

A MAGYAR TUDOMÁNYOS AKADÉMIA KUTATÓINTÉZETEI

**KÖZPONTI
FIZIKAI
KUTATÓINTÉZET**

ANYAGTUDOMÁNY

ATOMENERGIA

MÉRÉS- ÉS SZÁMÍTÁSTECHNIKA

MŰSZAKI FIZIKA

RÉSZECSKE- ÉS MAGFIZIKA

SZILÁRDTESTFIZIKA ÉS OPTIKA



MAGYAR TUDOMÁNYOS AKADÉMIA

KÖZPONTI FIZIKAI KUTATÓINTÉZET

**Központi Fizikai Kutatóintézet,
1950–91**

Atomenergia Kutatóintézet

**Mérés- és Számítástechnikai
Kutatóintézet, 1992–97**

**Műszaki Fizikai és Anyagtudományi
Kutatóintézet**

**Részecske- és Magfizikai
Kutatóintézet**

**Szilárdtestfizikai és Optikai
Kutatóintézet**

MAGYAR TUDOMÁNYOS AKADÉMIA

BUDAPEST • 2000

Szerkesztőbizottság

Beck Mihály, Bodnár György, Glatz Ferenc (elnök), Kónya Sándor (lektor),
Láng István, Pritz Pál, Szász Zoltán, Teplán István, Tolnai Márton,
Burucs Kornélia (titkár)

Szerkesztő

GLATZ FERENC

A szerkesztő munkatársa

Teplán István

Olvasószerkesztő

Pótó János

ISBN 963 508 235 5 ö

ISBN 963 508 263 0

Kiadja

a Magyar Tudományos Akadémia

Felelős kiadó: Burucs Kornélia

Kiadói szerkesztő: Kovács Éva

Nyomdai munkálatok: Akaprint Nyomdaipari Kft.

Felelős vezető: Freier László

Készült 15,51 (A/5) ív terjedelemben, 1500 példányban

Tartalom

<i>Jéki László</i> : Központi Fizikai Kutatóintézet, 1950–91	5
<i>Gadó János</i> : Atomenergia Kutatóintézet	79
<i>Lukács József</i> : Mérés- és Számítástechnikai Kutatóintézet, 1992–97	93
Műszaki Fizikai és Anyagtudományi Kutatóintézet	105
<i>Bartha László</i> : Műszaki Fizikai Kutatóintézet, 1958–98	108
<i>Gyulai József–Szabó György–Vértesy Gábor</i> : Anyagtudományi Kutatóintézet, 1992–98	120
<i>Jéki László</i> : Részecske- és Magfizikai Kutatóintézet	135
Szilárdtestfizikai és Optikai Kutatóintézet	151
<i>Tompa Kálmán</i> : Szilárdtestfizikai Kutatóintézet, 1992–98	153
<i>Janszky József</i> : Kristályfizikai Kutatólaboratórium, 1976–98	162

MAGYAR TUDOMÁNYOS AKADÉMIA

Központi Fizikai Kutatóintézet 1950–91

Írta

Jéki László

Bevezetés

A Központi Fizikai Kutatóintézet (KFKI) az alapítók szándéka szerint lett „központi”, vagyis több tudományterülettel foglalkozó nagy intézet, az országban a legnagyobb. (A „nagyság” nemcsak a létszámban és a költségvetési támogatásban nyilvánult meg, hanem a tudományos eredményekben vagy a saját árbevétel nagyságában is.) Az 1940-es évek második felében a politikusok az atombomba hatására felismerték a fizika fontosságát. A hidegháború első éveiben a magyar politikusok is számítottak a harmadik világháború közeli kitörésére, ezért fontosnak találták, hogy az ország legyen felkészült a sugárzások mérésében, ismerje azok hatásait. Ezért lett kezdetben az intézet legfontosabb része az Atomfizikai, a Radiológiai és a Kozmikus Sugárzási Osztály. Az új intézet részletes terveit – nyugat-európai tapasztalatok figyelembevételével – szakemberek dolgozták ki, hasznosítva a megelőző széles körű szakmai közvélemény-kutatás eredményeit. Itt kell cáfolni azt a gyakran megfogalmazott vádat, miszerint a KFKI a szovjet (sztálini) gigantomania hazai változataként született volna. Ugyanis nyugati országok egész sorában működtek hasonlóan nagy állami intézetek, ráadásul az intézet terveit kialakító szakemberek az 1940–50-es évek fordulóján éppen a szovjet intézeteket ismerték a legkevésbé. A „központi” szerepet erősítették az országban egyedül itt rendelkezésre álló nagyberendezések, mindenekelőtt az atomreaktor, a részecskegyorsítók és a számítóközpont. A nagyság és a komplexitás tette lehetővé, hogy olyan nagy programok valósuljanak meg sikeresen, mint például a Halley-üstökös tanulmányozására indított VEGA űrszondák műszereinek létrehozása vagy a paksi atomerőmű számítógépes reaktorirányítási rendszerének a kidolgozása.

A KFKI nevében a „fizikai” szó sohasem fedte pontosan az intézet jellegét. A KFKI-ban már a kezdet is sokszínű volt, majd az 1960-as évektől végig erős magfizikai, részecskefizikai, szilárdtestfizikai, optikai, anyagtudományi, reaktorfizikai és más fizikai kutatócsoportok működtek. Később megjelent az űrkutatás, a mikroelektronikát megalapozó kutatások. Az elméleti fizikai témák is változatosak voltak, a relativitáselmélettől a kvantumszindinamikán át a szuperfolyé-

konyság elméletéig. A fizika mellett eredményesen képviselték magukat más tudományágak, elsősorban a kémia, a matematika és a műszaki tudományok, élükön az elektronikával. E szakmai sokszínűség miatt volt képes a KFKI az új problémák gyors és átfogó elemzésére, valóban sokoldalú megközelítésére – példaként a magas hőmérsékletű szupravezetőket vagy az állítólagos hidegfúziót idézhetjük a nem túl távoli múltból.

A „kutatóintézet” megnevezés sem pontos. A kutatással párhuzamosan ugyanis már a kezdetektől jellemző volt az eredmények közvetett vagy közvetlen hasznosítása. Ez kezdetben mások számára végzett vizsgálatokat vagy néhány másutt is használható műszer eladását, később gyártásba adását jelentette. Az 1970–80-as években például már sorozatban építették a saját tervezésű számítógépeket. Az 1980-as évek közepén már 24 különböző modern anyag- és szerkezetvizsgáló módszer állt rendelkezésre, melyekkel a saját kutatások mellett jelentős külső igényeket is kielégítettek. Az alapkutatástól a kis sorozatú gyártásig terjedő skálán állandóan változott a kutatások és a gyakorlati alkalmazások aránya, ezt a kettőséget azonban mindig előírta és elvárta a mindenkori politika és tudományirányítás. Sok kutató szívesen látta volna tisztán alapkutató intézménynek a KFKI-t, sok vita is folyt erről, de nem ezt a feladatot és sorsot szánták az intézetnek. A KFKI történetének vége felé külső és belső okokból már kényszerítővé vált a bevételek növelése, ami végül az átalakulás egyik kikényszerítője lett.

A KFKI alapkutatói tevékenysége mindezeket figyelembe véve is eredményes volt. Igazolják ezt a különböző szcientometriai mutatók és a nemzetközi együttműködések, valamint az, hogy a KFKI munkatársai a világ minden részén szívesen látott előadók és kutatótársak voltak. Minden részterületen született néhány világviszonylatban is határozottan kiemelkedő eredmény.

Az alkalmazott kutatások és fejlesztések is sikeresek voltak, bár itt néhány eredményt kudarcnak szoktak minősíteni. Érdekes a memóriakutatások példáját vizsgálni. A kutatások több irányba indultak meg, de ezek közül néhányal rövid idő után felhagytak. A mágneses buborékmemória esetében a világelső után viszonylag hamar elkészült a memóriaegység a laboratóriumban. A kis sorozatú kísérleti gyártásra már nem volt pénz, így a fejlesztési eredményből nem lett termék. A KFKI azonban megoldotta vállalt feladatát: nem kevés szellemi és anyagi ráfordítással létrehozta a működő memóriaegységet.

Az alkalmazott kutatások igazi sikertörténete a nukleáris technikák meghonosítása, melyet a reaktorfizikai kutatások eredményes évtizedei követtek. Az alapításkor megszabott feladatoknak eleget téve, kidolgozták a sugárzások mérésének módszereit, megépítették a szükséges eszközöket, megtették az izotópgyártás kezdeti lépéseit, meghonosították a nukleáris analitikát. A reaktorok

üzemeltetéséhez és tervezéséhez fontos és hasznos ismerethalmazt eredményeztek a kritikus rendszerek (zéróreaktorok) mellett végzett kísérletek és a párhuzamosan folyó modellszámítások. A paksi atomerőmű blokkjainak létesítésében is komoly előkészítő szerepe volt a KFKI szakembereinek.

A számítógépes kultúra hazai megteremtésében és elterjesztésében is meghatározó volt a KFKI szerepe. A TPA számítógépcsalád gépei például olyan kategóriájúak voltak, amilyeneket más piacokról nem lehetett beszerezni a nyugati embargó miatt. A közel 1500 TPA gép nagyobb hányada itthon működött, kutatólaboratóriumban, kórházban, erőművekben és kőolajvezetékeknél, mezőgazdasági laboratóriumokban, a minisztériumok, a Posta vagy a bányüzemek irodáiban. A legkülönbözőbb feladatokat ellátó számítógépes rendszerek megtervezésén és elkészítésén túl a számítógépes kultúra elterjesztéséhez nagymértékben hozzájárult az intézet oktatási tevékenysége. A szakoktatáson, szakkönyvek írásán túl kiemelten foglalkoztak a gyerekekkel. Az intézet kezdeményezéseinek komoly szerepe volt abban, hogy megindult az iskolák számítógéppel való ellátása.

Adottságai révén a KFKI az országban elsőként kezdett hozzá több tudományág, műszaki terület műveléséhez. Legjellemzőbb példa erre az atomenergetika, általában véve a nukleáris technikák és a kapcsolódó műszerek vagy a számítógépek tervezése, gyártása és alkalmazása. Első volt a lézerek építésében, az űrfizika kísérleti eszközeinek létrehozásában. Létrejött több olyan technológia, amely azóta is az alap- és alkalmazott kutatások szolgálatára áll, ilyen a vékony rétegek készítése, az ionimplantáció, a kristálynövesztés és mások. A KFKI mindig feladatának tekintette az új tudományágak, műszaki kultúrák széles körű megismertetését, az oktatásba való bevezetését és nem utolsósorban az alkalmazásukat is.

Az 1950-es években a kutatók maguk terveztek és építettek meg szinte valamennyi kutatási eszközt. Ez a kényszer több területen a későbbiekben is fennállt, mivel a hazai ipar általában nem volt képes a kutatások csúcstechnológiai igényeit kielégíteni, a nyugati importhoz pedig vagy nem volt elegendő deviza, vagy az embargó tette azt lehetetlenné (elektronikai alkatrészek, oszcilloszkópok, számítógépek, mikroelektronikai technológiák, nagy teljesítményű lézerek stb.). Ilyen külső feltételek miatt épültek ki jelentős elektronikai és gépészeti fejlesztőrészlegek, ezért rendezkedett be a KFKI kis sorozatú gyártásra. A fejlesztési eredményeket szabadalmaztatták, s a KFKI-t a hazai szabadalmi listákon rendszerint csak egy gyógyszergyár előzte meg. A laboratóriumi mérőrendszerek és a számítógépek keresett terméké váltak a KGST-n belül és a fejlődő országokban. Jó néhány terméket később átvett a hazai ipar, elsősorban az Elektronikus Mérőkészülékek Gyára, a Gamma Optikai Művek és a Magyar Optikai Művek (MOM). Az 1970-es évek végén a MOM termelésének 17%-a kapcsolódott a KFKI eredményeihez.

Az 1980-as évek közepén megtört a korábbi lendület, intenzív belső viták folytak a szükséges változtatásokról. A kutatóközpont kormányzati segítséget is kért, hogy nemzeti laboratóriummá alakulhasson át. Az 1980-as évek végén véget ért az embargó korszaka, a világcégek magyarországi megjelenésével fel lehetett, sőt fel kellett hagyni a számítógépgyártással, az intézet anyagi helyzete viszont jórészt ezektől a bevételektől függött. A nagy erővel végzett mikroelekttronikai fejlesztések döntő része is okafogyottá vált. A külső hatások gyorsan kikényszerítették a változásokat. A már korábban létrejött gazdasági vállalkozások önállósultak, nagy részük ma KFKI Számítástechnikai Rt. néven a magyar informatikai piac jelentős és sikeres szereplője. 1992. január 1-jén öt önálló akadémiai kutatóintézet jött létre a kutatóközpontból.

Célok, feladatok, a szervezet változásai

Az alapítás előzményei (1949–50)

A Magyar Tudományos Tanács (MTT) 1949. február 25-én tartott alakuló ülést megnyitó beszédében mondta Gerő Ernő, az MTT elnöke: „Egész sor új tudományos kutatóintézetet kell létrehozunk, így például létre kell hozunk egy új szerveskémiai intézetet, egy szövetlenkémiai intézetet, egy vaskutató intézetet, egy finommechanikai és optikai kutatólaboratóriumot, egy alkalmazott matematikai intézetet, és meg kell építenünk s megfelelően fel kell szerelnünk egy igen komoly, teljesen korszerű fizikai intézetet.” Az alakuló ülésen tárgyalt főtitkári előterjesztésben már szerepelt a Központi Fizikai Intézet megnevezés.

Az MTT-t ténylegesen irányító pártkollégium május 14-i ülésén a 3. napirendi pontban *Fizika és műszerbeszerzés kérdései* címmel foglalkozott a létesítendő kutatóintézettel. A napirendi pont előadója Kovács István fizikus, egyetemi tanár, az előterjesztés elkészítésében Fenyő István matematikus, az MTT természettudományi szaktitkára, és Szamosi Géza fizikus, egyetemi adjunktus voltak a segítségére. „Magyarország [a fizikai kutatásokat tekintve] katasztrofálisan el van maradva. Ezen elmaradásunkon meg sem kísérelhetünk a siker reményében segíteni, ha nem gondoskodunk legalább egy valóban korszerűen felszerelt fizikai intézet létesítéséről, kutató kádereink kiszélesítéséről és az utánpótlás neveléséről. [...] Jánossy Lajos és Kahán Theo külföldön élő magyar kísérleti fizikusok hazahívandók. Jánossy a dublini egyetem fizikatanára, a kozmikus fizika és az atomfizika világhírű tudósa. Kahán Theo Joliot-Curie volt asszisztense, a radar és a rövidhullámú technika kiváló szakértője, atomfizikus.”

A kollégiumi ülés jegyzőkönyvéhez csatolt *Feljegyzés a fizikai kutatás kérdéseiről* tartalmazza a KFKI feladataira, szervezetére vonatkozó első konkrét javaslatokat. „A Magyar Tudományos Tanács állítson fel Budapesten egy Központi Fizikai Intézetet (KFI). Az Intézet helyéül ajánljuk Csillebércet, a Csillagvizsgáló Intézet közelében, mintegy 50 hold kiterjedésben. A hely mellett szól, hogy kívül fekszik a városon, mégis viszonylag jól megközelíthető, és a talaj a speciális követelményeknek megfelel. A látszólag nagy kiterjedésre azért van szükség, hogy a különböző kutatási ágakkal foglalkozó laboratóriumok olyan távolságban legyenek elhelyezve, hogy egymás munkáját ne zavarják, továbbá mód legyen a terjeszkedésre. A KFI felépítésének és berendezésének költsége kb. 40 millió Ft. [...] A tervezett nagyobb műszerek közül megemlíjtük a ciklotront, a Van de Graaff-generátort, a kaszkádgenerátort, elektronmikroszkópot, ultracentrifugát, elektroforézis-készüléket.” Javaslat a szervezeti egységek vezetőire: Radioaktív Osztály (Imre Lajos vagy Szalay Sándor); Atomfizikai Osztály (Jánossy Lajos); Rövidhullámú Osztály (Kahán Theo); Spektroszkópiai Osztály (Budó Ágoston és Kovács István). Az MTT pártkollégiuma május 14-i ülésén elfogadta az előterjesztést, négy hónapot adott az elhelyezésre, a költségekre, az építkezés ütemére vonatkozó vázlattev kidolgozására. A határozat utolsó pontja szerint „az egész intézet kérdése a Párt Titkársága elé viendő”. A titkárság május 18-án módosítás nélkül elfogadta az előterjesztést. Az MTT elnöksége kijelölte az előkészítő bizottságot: elnöke Erdey-Grúz Tibor professzor, tagjai Szigeti György fizikus, laboratóriumvezető és Gerendás István építészmérnök. A bizottság tagjait felkérő levelekben fordul elő először a Központi Fizikai Kutató Intézet megnevezés. (Kovács István visszaemlékezése szerint a Központi szó beillesztése Szamosi Géza gondolata volt.)

Kérdőívet állítottak össze, ez 6 témacsoportban 60 kérdést tartalmazott, a kérdések a létesítendő intézet épületeire, kutatási területeire, szolgáltatásaira, berendezésére, felszerelésére és egyéb jellemzőire vonatkoztak. A kérdőíveket több mint száz címre küldték ki. A levélre 34 válasz érkezett. A válaszolók túlnyomó többsége a pavilonrendszert ajánlotta a zavaró rezgések kiküszöbölése, a kisebb robbanás-, tűz- és sugárveszély miatt. A kutatási javaslatok között szinte mindenki javasolta az atomfizikát, a spektroszkópiát, a kozmikus sugárzás kutatását, az elektronikát. Többen javasolták a mikrohullámok fizikáját, az ultrahangkutatást, a szilárd anyagok szerkezetének vizsgálatát, az optikát, a meteorológiát és a vákuumtechnikát is. A kutatói létszámra vonatkozó javaslatok 10-15 főből 165 főig terjedtek.

Az előkészítő bizottság szeptember 15-én így fogalmazta meg a tervezett intézet rendeltetését: „A KFKI célja a magyar fizikai kutatást eddigi, a többi tudományághoz képest is messze elmaradt állapotából kiemelni, és lehetővé tenni a

termékeny tudományos kutatást a fizika minden területén, melyek a tudomány fejlesztése és alkalmazása szempontjából elsősorban fontosak.” (Az én kiemelésem, J. L.) Az előkészítő bizottság a fizika következő ágainak művelését tervezte: általános fizika (elektronika, mágneses vizsgálatok, anyagszerkezeti kutatások), mikrohullámok fizikája, atomfizika, radioaktivitás, kozmikus sugárzás.

A decemberben elfogadott első ötéves terv így írt a tervezett intézetről: „Öt év alatt meg kell építeni, illetőleg ki kell fejleszteni az új Központi Fizikai Kutató Intézetet. [...] Messzemenő segítséget kell nyújtani a Magyar Tudományos Akadémiának, amelyet elsősorban az ország termelőerőinek fejlesztését szolgáló, tervszerű természettudományos és műszaki tudományos kutatás központjává kell fejleszteni.” A tervtörvény 177,5 millió Ft beruházást irányzott elő tudományos kutatóintézetek létesítésére és bővítésére, ebből 70 milliót, a teljes keret 40%-át a KFKI felépítésére és felszerelésére szánták.

Az 1949 végén újjáalakult Magyar Tudományos Akadémia átvette a Magyar Tudományos Tanácstól a tudományos élet elvi és gazdasági irányítását. Az MTA új elnöksége már első ülésén elrendelte a beruházás elindítását (területkiszajátítás, beruházási engedélyek megszerzése, kiviteli tervek elkészíttetése). A KFKI-t az Országos Tervhivatal (OT) a nagyberuházások kategóriájába sorolta. Az MTA elnökségének július 7-i ülésén született határozat alapján az MTA elnöke és főtítkára (Rusznay István és Alexits György) Kovács István műegyetemi tanárt, az atomfizika professzorát bízta meg az igazgatói teendőik ideiglenes ellátásával. Szamosi Géza lett a megalakítandó Tudományos Tanács titkára. A nyár elején eldőlt, hogy létrehozzák a Távközlési Kutató Intézetet, Kahán Theó nem tér haza, Jánossy Lajos viszont a korábban tervezettnél előbb hazajön, ezért módosítani kellett az előkészítő bizottság terveit.

A Minisztertanács 1950. augusztus 18-i ülésén elrendelte „Központi Fizikai Kutató Intézet létesítését a Tudományos Akadémia irányítása alatt” (a Népgazdasági Tanács 49/25/1950. sz. határozata). „Az intézet mindazokat a fizikai kutatásokat végzi el elméleti és gyakorlati téren, amelyekkel az MTA megbízza. Az intézet igazgatóját és osztályvezetőit – az utóbbiakat az igazgató előterjesztésére – az Akadémia elnöke nevezi ki. Az intézet egyéb munkavállalóit, az osztályvezetők előterjesztésére, az igazgató alkalmazza. Az intézet felügyeletét a Tudományos Akadémia elnöke gyakorolja, s a személyi és dologi szükségletek fedezéséről is az Akadémia költségvetésében kell gondoskodni. Az intézet szervezeti és működési szabályzatát az Akadémia elnöke állapítja meg. Az intézet mellett tanácsadó szervként Tudományos Tanácsot kell alakítani, amelynek elnökét, titkárát és tagjait – az igazgató előterjesztésére – az Akadémia elnöke nevezi ki. A Tanácsba be kell hívni a nehézipari, valamint a vallás- és közoktatásügyi miniszterek, végül az Országos Tervhivatal elnökének kiküldöttjeit. Az intézet működése során

fokozott gondot kell fordítani az érdekelt szakmai kutató intézetekkel való együttműködésre.”

Útkeresés az első években (1950–55)

A KFKI 1950. szeptember 1-jén kezdte meg működését. Induláskor két osztályból állt: Spektroszkópiai Osztály (vezetője Kovács István) és Kozmikus Sugárzási Osztály (vezetője Jánossy Lajos). Az 1950. évre csak szűkös létszámkeret állt rendelkezésre, ezért az egyetemi állással rendelkező munkatársakat nem nevezték ki az intézet állományába. Szeptember 1-jén 4 fővel indult az intézet: igazgató, gazdasági vezető, titkárnő, gépíró. Az egyetemi dolgozók kinevezésére 1951. január 1-jei hatállyal került sor.

A *Spektroszkópiai Osztály* létszáma 1951 végére 28 főre nőtt. Tudományos programja: a molekulaszervezet elvi kérdéseinek tanulmányozása, kvalitatív és kvantitatív analitikai eljárások ipari alkalmazása, abszorpciós színképek tanulmányozása. Az ipari, más néven emissziós csoport már az első évben több mint 20 vállalat és kutatóintézet számára nyújtott szolgáltatásokat.

A *Kozmikus Sugárzási Osztálynak* 1951 végén 32 munkatársa volt. Mechanikai, elektromos és üvegtechnikai műhely létrehozását kezdték meg. A KFKI-ban szeptember 1-jén adták át a földszintes IV. épületet, az osztály szeptemberben költözött fel az egyetemről. A kísérletekhez föld alatti aknalaboratórium, illetve faház épült. Az osztály tudományos programja: a kozmikus sugárzás kiterjedt légi záporainak vizsgálata, a mezonok tulajdonságainak mérése és fotoemulziós vizsgálatok, ez utóbbi 1952-ben megszűnt. Hozzákezdtek a Geiger–Müller csövek gyártásához, a mérőeszközök jeleinek regisztrálására és feldolgozására elektronikus műszereket építettek. A kísérleti vizsgálatok 1952 második felében indultak meg.

Az MTA III. Osztályának fizikusbizottsága 1950. december 15-én elfogadott határozatában két további osztály szervezését javasolta, egyetemi kutatócsoportok beolvasztásával. Eszerint az *Elektromágneses Hullámok Osztály* az ELTE Fizikai Intézete két elektronikai csoportjának összevonásával, az *Akusztikai és Ultraakusztikai Osztály* az ELTE Fizikai Intézetében működő kutatócsoport áthelyezésével hozható létre. Az új osztályok 1951. május 1-jén létesültek. Az első, korai tervezetekben a mikrohullámú fizika a KFKI nagy létszámú, fontos részeként szerepelt. Új kísérleti eszközök hiányában azonban a két egyetemi csoportból szervezett osztályon az egyetemi méréseket folytatták (atommagok mágneses nyomatékának mérése), nem tudtak hozzákezdeni a rádiótechnikai mérésekhez. A létszám: 6 kutató, 3 műszerész és 3 egyéb alkalmazott. Az osztályt

átmenetileg vezető Jánossy Lajos után 1952. március 1-jén Faragó Pétert nevezték ki osztályvezetővé.

Az *Akusztikai és Ultrahangkutató Csoport* az Országos Tervhivatal javaslatára került a KFKI állományába, Tarnóczy Tamás vezetésével. Az indulásnál 7 fős létszám az év végére 12-re nőtt. Tudományos terveik: zajkutató, akusztika, ultrahangkutató, az ehhez szükséges műszerek megépítését pedig külön műszaki részleg biztosítaná. 1953. július 15-én az MTA főtitkára az Akusztikai és Ultrahangkutató Csoportot áthelyezte a Posta Kísérleti Állomásra.

Az *Atomfizikai Osztály* a KFKI ötödik tudományos osztályaként jött létre Simonyi Károly vezetésével. 1951 nyarán kezdte meg működését Sopronban, 1952 őszén az osztály létszáma 11 fő. A tudományos ötéves tervben megfogalmazott célkitűzések: részecskedetektáló berendezések, 1,5 MeV-os Van de Graaff-generátor, nehézvíz-elektrolizáló berendezés és 4 MeV-os betatron építése. Gyakorlati célok: ipari, biológiai, orvosi intézetek ellátása rövid felezési idejű radioaktív izotópokkal, kemény röntgensugarak szolgáltatása ipari kutatásokhoz.

1952. szeptember 1-jén létrejött a *Radiológiai Osztály*. A mesterséges radioaktív izotópok előállítását és kutatását tartották az osztály fő feladatának, vezetésével Bozóky Lászlót, az Országos Onkológiai Intézet fizikai osztályának vezetőjét bízták meg.

1953. január 1-jén alakult meg az *Elméleti Fizikai Osztály*. Gombás Pál összesen 14 fős kutatócsoportja a KFKI állományába került, de továbbra is a műegyetemen dolgoztak. Tudományos programjuk: szilárdtestek elmélete, atomok és atommagok statisztikus elmélete. 1954. szeptemberben MTA-elnöki rendeletre az osztály kivált a KFKI-ből, és az MTA Elméleti Fizikai Kutatócsoportjaként önállóan működött tovább.

Pál Lénárd vezetésével 1953 őszén alakult meg a *Ferromágneses Osztály*. Az MTA III. Osztályának vezetősége a Fizikai Állandó Bizottság október 1-jei javaslata alapján úgy döntött, hogy „a Szovjetunióból rövidesen hazatérő Pál Lénárd vezetése alatt felállítandó osztály mint Mágneses Osztály működjön”. Az osztály hivatalosan 1954. január 1-jén kezdte meg működését.

Az intézet vezetése 1952 tavaszán két jelentést készített az MDP Központi Vezetősége részére: az egyik a magyar fizika helyzetéről, a másik a KFKI-ról szólt. A határozati javaslatok közül az volt a leglényegesebb, amely azt javasolta, hogy a KFKI fő profilja az atommagfizika és az elektronika legyen. Kifogásolták, hogy még senki sem határozta meg a KFKI feladatát.

Horváth Márton, az MDP KV Agitációs és Propagandaosztály vezetője november 18-án terjesztett jelentést a Központi Vezetőség Titkársága elé „fizikai kutatómunkánk helyzetéről”. Ebben megállapítja: „Az elért eredmények [...]

nincsenek arányban sem a kormány által nyújtott támogatással, sem a rendelkezésre álló káderek nyújtotta lehetőségekkel. Jelentékeny elmaradás éppen azokon a területeken mutatkozik, melyek legszorosabb kapcsolatban vannak ipari termelésünk időszerű problémáival. [...] Fizikusaink jelentékeny része még mindig úgy látja, hogy *vagy* magas színvonalú »tisza« tudományos munka, *vagy »ipari rutinmunka«* között kell választania. [...] A hiányosságok legfőbb oka a fizikai kutatómunka tervszerűtlensége, az elégtelen tudományszervezés, az irányítás hiánya az Akadémia III. Osztálya és annak fizikus bizottsága részéről. [...] Nem javított a helyzeten a KFKI megalakítása sem. A KFKI vezetői (Jánossy, Kovács, Szamosi elvtársak) nem a magyar fizikai kutatómunka *legfontosabb* , hanem *egyetlen* centrumává akarták a gyakorlatban változtatni, mely függetleníti magát az Akadémiától. [...] A KFKI munkájának hiányosságaiért súlyos felelősség terheli az MTA-t is.” (Kiemelések az eredetiben, J. L.)

Az MDP KV Titkársága 1952. november 19-i ülésén tárgyalta a jelentést, a határozatot a KV nevében adták ki. „Ki kell fejleszteni az eddig is előtérben álló elméleti atomfizika mellett a kísérleti atomfizikát és a vele szorosabb kapcsolatban álló tudományokat (kozmosz sugárzás, mikrohullámok fizikája, elektronika stb.) [...] Tekintettel az atomfizika magasfokú igényeire és költségeire, ennek fejlesztése elsősorban a KFKI-ban történjék.” A határozati javaslat 5. pontja szerint „Az ugyancsak atomfizikai kutatással foglalkozó Debreceni Kísérleti Fizikai Intézet Szalay Sándor professzor vezetése alatt ugyancsak a KFKI keretében működjön.” A titkárság ebben a kérdésben nem döntött, az MTA-ra bízta a kérdés vizsgálatát és javaslat készítését.

A KFKI-ra működésének első három évében jelentős összegeket fordított az állam. 1951-ben 13,5 M Ft, 1952-ben 25,4 M Ft, 1953-ben 38 M Ft volt a ráfordítás, ebből beruházásra a három év alatt összesen 53 M Ft-t fordítottak. Építési beruházásra ebből összesen 35 M Ft-ot költöttek, 26 ezer légméter laboratóriumi építményt hoztak létre, ez jóval több, mint valamennyi egyetem fizikai intézeteinek összes térfogata. A létszám az 1951. évi 92-ről 1953-ra 364-re nőtt. 1953 második felében az állami beruházások csökkentése érintette a KFKI-t is, 1954-ben pedig az általános létszámleépítés keretében 15%-kal csökkentették a létszámot.

1954-ben az MTA Elnöksége két tudományos igazgatóhelyettesi beosztást létesített, amelyre Simonyi Károlyt és Jánossy Lajost nevezték ki.

Atomreaktor, átszervezések (1955–66)

A Szovjetunió 1955-ben a szocialista országoknak felajánlotta, hogy tudományos és műszaki segítséget nyújt a magfizikai kutatások fejlesztését és az atomenergia békés felhasználását szolgáló kísérleti eszközök építéséhez. Az ajánlat könnyűvízes típusú kutató atomreaktorra és ciklotron típusú részecskegyorsítóra vonatkozott. A magyar szakértők azt javasolták, hogy Magyarország csak atomreaktort építsen, nincs elegendő szakember két nagyberendezés működtetéséhez. 1955. június 13-án írták alá az államközi egyezményt. A szovjet fél vállalta, hogy még abban az évben térítésmentesen átadja a reaktor teljes műszaki dokumentációját, és a következő év végéig legyártja és önköltségi áron leszállítja a reaktor valamennyi berendezését. Vállalta továbbá, hogy térítésmentesen kiképzzi a reaktor leendő kezelőszemélyzetét, és gondoskodik az építkezés műszaki irányításáról és ellenőrzéséről. A magyar fél feladata a beruházás megszervezése és finanszírozása volt. Az államközi egyezmény aláírását követően, még júniusban, a KFKI-ban programot dolgoztak ki a kutatóreaktor létesítésére és felhasználására.

A Minisztertanács 4081/1955/III. 10. MT sz. határozatával rendelte el a kísérleti atomreaktor felépítését, felügyeleti szerve a később létrehozandó Országos Atomenergia-bizottság (OAB) lett. A Minisztertanács 1955. augusztus 26-án hagyta jóvá a KFKI Reaktorosztályának létesítéséről szóló javaslatot és az ezzel kapcsolatos beruházási programot. A határozat 1957-re írta elő a próbaüzemet.

1955. december 15-i minisztertanácsi határozat hozta létre az Országos Atomenergia-bizottságot. E határozat 8. pontja: „A MTA Központi Fizikai Kutató Intézet felett 1956. január 1-től kezdve az Országos Atomenergia Bizottság és a Magyar Tudományos Akadémia egyetértésben gyakorolja a felügyeleti jogot.” A közös felügyelet a tudományos kérdésekre és a kutatók kinevezésére korlátozódik, a költségvetési és pénzügyi felügyelet jogát az egész intézetre vonatkozóan az OAB gyakorolja. A beruházás irányítása is egyértelműen az OAB feladata. Az 1958. decemberi kormányhatározat 1959. január 1-jei hatállyal egységesíti az intézet korábban kettős gazdálkodási rendszerét az OAB költségvetési és pénzügyi felügyelete alatt, de a KFKI-t az OAB és az MTA együttes felügyelete alatt tartotta, együttes a tudományos felügyelet és a kutatók kinevezése. 1963. januárban az OAB elnöke és az MTA elnöke közös bizottságot hozott létre a KFKI felügyeletére, melyben a két főhatóságot egyenlő számú tag képviselte. A kettős felügyelet 1966. december 31-ig tartott.

Az OAB Pál Lénárdot bízta meg a tudományos és szervezeti kérdések megvizsgálásával, a megfelelő javaslatok kidolgozásával. Az év végére készült el a „Központi Fizikai Kutató Intézet kísérleti atomreaktorának tudományos szerve-

zésére” vonatkozó javaslata. A tanulmány elvi alapvetése: „A kísérleti atomreaktor módot ad egész sor olyan kísérleti kutatómunka megindítására, amelyre eddig hazánkban nem volt lehetőség. Különösen a fizikai kutatómunkának biztosít nagy fejlődési lehetőséget. A magfizikai és neutronfizikai vizsgálatok mellett fontosak a sugárhatás-fizikai vizsgálatok és a neutronsugarak segítségével végezhető anyagszerkezeti vizsgálatok. Ezeknek a vizsgálatoknak a megvalósításához igen alacsony hőmérsékletek (folyékony nitrogén és hidrogén, esetleg hélium) szükségesek. Reaktorok tervezésével és kivitelezésével kapcsolatosan egész sor műszaki-fizikai probléma merül fel. A kísérleti kutatómunka ezen a területen a reaktorok fizikai állandóinak meghatározására, különböző reaktortípusok elméleti vizsgálataira, a reaktorok vezérlési kérdéseinek kísérleti és elméleti tanulmányozására stb. irányulhat. A kísérleti atomreaktor felállításának egyik legközvetlenebb gyakorlati jelentősége abban áll, hogy radioaktív izotópokat állíthatunk elő és ezzel a legkülönbözőbb tudományágak és népgazdasági igények hazai kielégítését oldhatjuk meg. Ugyancsak fontos kérdés a sugárzás kémiai hatásainak tanulmányozása. Éppen ezért szükséges az izotópok előállítására és a sugárhatás-kémiára különös súlyt fektetni. A kísérleti atomreaktor üzemeltetése, karbantartása, a működtetésével kapcsolatos egészségügyi rendszabályok biztosítása fontos tapasztalatokat szolgáltat a később megépítendő ipari célokat szolgáló reaktorok felhasználásához. Ezért az üzemeltetés, karbantartás tudományos alapokon álló tanulmányozása igen fontos feladat.”

Kialakítják a Kísérleti Atomreaktor (KAR) szervezetét. Vezetője Pál Lénárd, egyben a KAR Fizikai Osztályának is vezetője, ugyancsak ő lett a KAR Tudományos Tanácsának elnöke, titkára Nagy László.

Kovács István igazgatót saját kérésére az MTA Elnöksége 1956. szeptember 25-i hatállyal felmentette, egyidejűleg Jánossy Lajos addigi igazgatóhelyettesét igazgatóvá kinevezte. Pál Lénárd július 1-jén tudományos igazgatóhelyettesi kinevezést kapott.

1956 októberében Simonyi Károlyt választják a KFKI Forradalmi Bizottsága elnökévé. Simonyi visszaemlékezéséből: „A KFKI-ban nem is történt a kritikus napokban rendbontás, később a sorok rendeződtek, és visszaállt a régi munkarend.” 1957. december 31-én Simonyi Károly lemondott igazgatóhelyettesi tisztségéről, KFKI-beli állásáról.

1957-ben a kormány mentesítette az intézetet a tavasszal elrendelt racionalizálás alól. Az Országos Tervhivatalból visszatért Kurucz Györgyöt 1957. november 1-jén műszaki igazgatóhelyettesé nevezik ki. (Kurucz György korábban a Honvédelmi Minisztériumban a Technikai Bizottság titkáráként foglalkozott a KFKI megalapításával, szervezésével, 1952–54-ben alezredesi rendfokozatban a KFKI-ban dolgozott.)

1957-ben a pénzügyi szervek külső megbízásos számlakeretet engedélyeztek „más tudományos intézetek és az ipar számára gyártandó – főleg nukleáris – műszerek előállítására”. Ez megteremtette a gyártási tevékenység fejlesztésének a jogi és gazdasági alapjait.

Az igazgató 1958. március 17-én Tudományos Bizottságot hozott létre azzal a feladattal, hogy tegyen javaslatot az intézet kutatási programjának szűkítésére. A bizottság három főirányt javasolt: elemi részek fizikája, magfizika és magenergetika. E javaslatok alapján dolgozták ki az 1959-es átszervezés részleteit.

1959-ben az MTA Elnöksége mint társfelügyeleti szerv jóváhagyta az OAB Elnöksége által már tárgyalt előterjesztést. A KFKI feladatának új megfogalmazása: *„Alap- és alkalmazott kutatások folytatása általában a kísérleti fizika és különösen az atomenergia békés felhasználásával kapcsolatos fizikai, kémiai és műszaki tudományok területén.”* A tudományos program: kozmikus sugárzás kutatása; fizikai-optikai kutatások; magreakciók vizsgálata, magspektroszkópia; neutronspektroszkópia; reaktorfizikai és technikai kutatások; szilárdtestfizika; magkémia; elektronikai kutatások.

1959 júliusában megkezdődött az átszervezés. Az 1959. október 1-jétől érvényes szervezeti felépítés: Kozmikus Sugárzási Laboratórium (Fenyves Ervin), Fizikai-optikai Laboratórium (Náray Zsolt), Magfizikai Laboratórium I. (Erő János), Magfizikai Laboratórium II. (Nagy László), Reaktorfizikai és technikai Laboratórium (Szabó Ferenc), Szilárdtestfizikai Laboratórium (Hoffmann Tibor), Magkémiai Laboratórium I. (Kiss István), Magkémiai Laboratórium II. (Szabó Elek), Elektronikai Laboratórium (Náray Zsolt). A laboratóriumok munkáját segítő részlegek: Gyorsítóüzem, Hidegüzem, Reaktorüzem, Gépészeti Üzem, Biztonsági és Sugárvédelmi Osztály.

Az MTA az MSZMP Politikai Bizottságának határozata alapján 1959-ben bizottságot küldött ki az intézetek felülvizsgálatára. A KFKI helyzetét felmérő bizottság 1960. március 30-án az MTA Elnöksége elé terjesztett jelentése megállapítja: „A bizottságnak az a véleménye, hogy az intézet vezetősége által az utóbbi években hozott intézkedések és átszervezés hazánkban az első eredményesnek ígérkező kezdeményezés nagy létszámú, modern kutatóintézet kialakítására.” Az MTA Elnöksége is jóváhagyta az OAB által már jóváhagyott szervezeti intézkedéseket.

Az OAB Elnökségének és a munkaügyi miniszternek az egyetértésével 1960. október 1-jén újabb átszervezés valósult meg, kiépítették a főosztályi szervezeteiket, az 1959-ben kialakított 9 laboratóriumot 5 főosztállyá vonták össze. Az új főosztályok: I. Fizikai Kutató Főosztály (Fenyves Ervin), II. Fizikai Kutató Főosztály (Nagy László), III. Fizikai Kutató Főosztály (Szabó Ferenc), Kémiai Kutató Főosztály (Kiss István), Elektronikus Főosztály (Náray Zsolt). Önálló a Sugárvédelmi Osztály (Fehér István). Átszervezték a műszaki és ügyviteli részlegeket is. A me-

chanikai műhelyek összevonásával és új központi műhelyek létrehozásával Műszaki Főosztályt szerveztek. Ennek keretében működött Műszaki Kísérleti Üzem (MÜKÜ) elnevezéssel a Gépészeti Üzem. A MÜKÜ feladata az egyedi kísérleti berendezések mechanikai részeinek az elkészítése, valamint az intézet számára fejlesztett berendezések gyártása külső felhasználók számára. 1961. szeptemberben az akadémiai intézeteket felülvizsgáló bizottság és az intézeti Tudományos Tanács javaslatára Elméleti Fizikai Főosztály alakult Siklós Tivadar vezetésével. A főosztály keretében működik a Numerikus Csoportból létrejött Számítástechnikai Osztály. Utóbbi 1963 áprilisában az újonnan létesített Matematikai Főosztályra került, az Elméleti Fizikai Főosztály pedig 1963 végén megszűnt.

Az intézet vezetése 1963-tól: igazgató Jánossy Lajos, első igazgatóhelyettes Pál Lénárd, tudományos igazgatóhelyettes Náray Zsolt, műszaki (ipari kapcsolatok) igazgatóhelyettes Kurucz György. Fenyves Ervint 1965. októberben nevezték ki igazgatóhelyettesé, de dubnai, majd bécsi NAÜ-megbízatai (Nemzetközi Atomenergia-ügynökség) miatt a posztot érdemben nem töltötte be.

Újra az MTA intézete (1967–74)

A Magyar Forradalmi Munkás-Paraszt Kormány 1966. október 4-i határozatával a KFKI-t 1967. január 1-jei hatállyal az *MTA kizárólagos felügyelete alá* helyezte. Ezzel megszűnt a kettős, OAB–MTA felügyelet. Ebben az évben az intézet engedélyezett létszáma 1188 fő volt, ehhez járul az Elektronikai Fejlesztő és Kísérleti Üzem és a külső megbízásos munkák 258 fős létszámkerete. Az intézetben 122 fizikus, 49 vegyész, 27 matematikus, 103 villamosmérnök, 51 gépészmérnök, 3 építészmérnök, 10 közgazdász és 3 jogász dolgozott.

1968-ban az új gazdasági mechanizmushoz, a reformhoz igazodó új vezetési rendszert alakítottak ki. Megszűnt az Intézeti Kollégium, s az MTA elnöke 1968. április 18-án igazgatótanácsot nevezett ki. Az igazgató kinevezte a Tudományos Tanácsok vezetőit és tagjait: Nagyenergiájú Fizikai Kutató Tudományos Tanács (elnök Fenyves Ervin, később Somogyi Antal), Magfizikai KTT (Nagy László), Fizikai-optikai KTT (Náray Zsolt), Szilárdtestfizikai KTT (Pál Lénárd), Magkémiai KTT (Kiss István, később Szabó Elek), Reaktorkutatási KTT (Szabó Ferenc), Elektronikus KTT (Sándory Mihály), Számítástechnikai KTT (Tóth Imre), Elektronikai Műszaki Tanács (Adorján Bence), Gépészeti Műszaki Tanács (Vályi Nagy József).

1968. május 13-án az igazgatótanács megállapította, hogy „az intézet konkrét gazdasági célra irányuló tevékenysége hasznos, és azért azt folytatni kell. Olyan gazdasági cél irányába kell a kutatást végezni, amely megfelel az ország gazdasági

céljának és nem szabad végezni olyan külső megbízással tevékenységet, amely nincs összhangban az intézet érdekeivel és amely az intézet alaptevékenységének visszaszorítását eredményezi. Az intézetnek – szerződéskötés alapján – szellemi értéket kell produkálni és ezt kell eladni.”

Az Elnöki Tanács az 1969. évi 41. sz. törvényerejű rendelettel újraszabályozta a Magyar Tudományos Akadémia jogállását. Ennek értelmében a tudományos testülektől a szakigazgatást vezető főtitkár vette át az akadémiai intézmények irányítását. Így 1970. február 7-én megszűnt az MTA Matematikai és Fizikai Tudományok Osztályának KFKI-Bizottsága.

A Magyar Tudományos Akadémia elnöke 1970. január 31. hatállyal Jánossy Lajos akadémiust saját kérésére, érdemei elismerése mellett felmentette a KFKI igazgatói tisztsége alól. Egyidejűleg Pál Lénárd akadémiai levelező tagot a KFKI igazgatójává és az igazgatótanács elnökévé nevezte ki.

1971. január 1-jétől kísérleti jelleggel bevezették az intézetben a feladatfinanszírozási kutatásirányítási rendszert, ehhez kijelölték az intézet kutatási főirányait és célprogramjait. Főirányok: elektronikai kutatások, fizikai-optikai kutatások, kémiai kutatások, magfizikai kutatások, matematikai kutatások, nagyenergiái kutatások, reaktorkutatások, szilárdtestkutatások. Célprogramok: implantációs kutatások, memóriakutatások, számítástechnikai berendezések kutatása, ZR-6 reaktor kutatások.

A Minisztertanács 1972. április 27-én elfogadta az Országos Távlati Tudományos Kutatási Tervet (OTKT), ennek keretében országos szintű kutatási főirányokat és célprogramokat jelölt ki. A KFKI kutatásait érintő kiemelések: 1. sz. országos szintű kutatási főirány: Szilárdtestek kutatása; 3. sz. országos szintű kutatási célprogram: A számítástechnikai központi fejlesztési program kutatási célprogramja; 7. sz. országos szintű kutatási célprogram: Elektronikai alkatrészek kutatása-fejlesztése.

1972. szeptember 1-jei hatállyal igazgatói utasítással az addig az igazgató közvetlen irányítása alá tartozó tudományos területeket 4 tudományos kutatási területre osztják, a kutatási területeket igazgatóhelyettesek irányítják: Szilárdtestkutatási Terület, igazgatóhelyettes Vasvári Béla; Részecske- és Magfizikai Kutatási Terület, igazgatóhelyettes Kiss Dezső; Atomenergia-kutatási Terület, igazgatóhelyettes Szabó Ferenc; Mérés- és Számítástechnikai Kutatási Terület, igazgatóhelyettes Sándory Mihály. Jánossy Lajos irányítása alá tartozik az Elméleti Fizikai Kutatócsoport. A központi műszaki, gazdasági és adminisztratív szervezeteket Doleschall Sándor ügyvezető igazgató irányítja.

Műszaki Szakigazgatás (MSZI) néven elektronikai és gépészeti fejlesztő és gyártó részlegeket tartalmazó központi műszaki bázist alakítanak ki, vezetője Szlávik Ferenc műszaki igazgatóhelyettes (1981-től műszaki igazgató).

A kormány Tudománypolitikai Bizottsága 1974. február 1-jei ülésén megtárgyalta a KFKI 1973-ban készített jelentését „munkájáról, helyzetéről, problémáiról”. 30.006/1974. sz. határozatában kimondta a kutatóintézet 4 intézetből álló kutatóközponttá való átszervezését. Új tudományos kutatások megindítását tűzte ki: termonukleáris fúzió, mikroelektronika, biofizika. Szükségesnek mondta az alap kutatások felfuttatását, az ipari megbízásoknál a hosszú távú megbízások kialakítását.

Kutatóközpont (1975–91)

A Magyar Tudományos Akadémia főtitkára (Köpeczi Béla) 12/1974. (AK 19.) MTA-F. sz. utasításával az MTA Központi Fizikai Kutatóintézetet 1975. január 1-jei hatállyal, változatlan elnevezéssel, önálló jogi személyként működő kutatóközponttá szervezte át. Élén főigazgató áll. A kutatóközpontban az alábbi, önálló jogi személyiséggel nem rendelkező kutatóintézetek működtek:

- Részecske- és Magfizikai Kutatóintézet (RMKI), tudományos igazgató: Szegő Károly (1975–91), tudományos igazgatóhelyettes: Jéki László (1975–80), Bencze Gyula (1980–87), Nagy Dénes Lajos (1987–90), Szőkefalvi-Nagy Zoltán (1990–91).
- Szilárdtestkutató Intézet (SZTKI), tudományos igazgató: Vasvári Béla (1975–78), Krén Emil (1978–81), tudományos igazgatóhelyettes: Tompa Kálmán (1975–81). Az SZTKI 1981-ben két kutatóintézetre vált szét.
- Atomenergia Kutatóintézet (AEKI), tudományos igazgató: Szabó Ferenc (1975–78), Gyimesi Zoltán (1978–89), Szatmáry Zoltán (1989), Gadó János (1990–91), tudományos igazgatóhelyettes: Gyimesi Zoltán (1975–78), Szatmáry Zoltán (1979–89), Gadó János (1989–90), Szabados László (1989–91).
- Mérés- és Számítástechnikai Kutatóintézet (MSZKI), tudományos igazgató: Sándory Mihály (1975–79), Törő Ferenc (1979–81), Szalay Miklós (1981–84), Szlankó János (1985–91), tudományos igazgatóhelyettes: Törő Ferenc (1975–79), Szalay Miklós (1980–81), Vashegyi György (1980–84), Lukács József (1985–91).

Az MTA 1977-ben „Atomenergia-kutatások” címmel tárcaszintű kutatási főirányt hozott létre. A koordináló intézet a KFKI, a Koordináló Tanács elnöke Szabó Ferenc, titkára Jéki László volt. A cél a már ekkor épülő VVER-440 és a jövőben megvalósításra kerülő VVER-1000 atomerőmű-egységek létesítésénél

és üzemvitelénél felvetődő egyes tudományos és műszaki kérdések megoldása, valamint az első lépések megtétele az ezredfordulóra várható új atomenergiaforrások hazai alkalmazásának az elősegítésére. A főirány szellemi kapacitásának közel kétharmadát a KFKI adta.

A Minisztertanács Pál Lénárdot 1978. január 15-én az Országos Műszaki Fejlesztési Bizottság elnökévé nevezte ki, utóda 1978. április 1-jei hatállyal Szabó Ferenc lett.

A főigazgató 1979. december 1-jei hatállyal módosította a kutatóközpont szervezetét. Megszüntette az ügyvezető igazgatói munkakört (Doleschall Sándor az Országos Kőolaj- és Gázipari Tröszthez távozott), és két főigazgató-helyettesi munkakört hozott létre. Az MTA főtitkára által kinevezett főigazgató-helyettesek: Kiss Dezső (1979-89) és Sándory Mihály (1979-83). Később Krén Emil (1983-91) és Szatmáry Zoltán (1988-90) töltött be főigazgató-helyettesi tiszteket. A Kémiai Főosztály kiválik a Szilárdtestkutató Intézetből, és az Atomenergia Kutatóintézet szervezetébe kerül. Az MSZKI Számítástechnikai Főosztálya kettéválik. A főosztály egyik része változatlan elnevezéssel az MSZKI szervezetében marad, a másik része Számítóközpont elnevezéssel önálló szervezeti egységgé alakul.

Pál Lénárd, az MTA főtitkára, 1981. április 1-jei hatállyal módosította a kutatóközpontban működő kutatóintézetek felsorolását. Az eddigi Szilárdtestkutató Intézet két intézetté alakul át. Az új intézetek: Szilárdtestfizikai Kutatóintézet és Mikroelektronikai Kutatóintézet, változatlanul maradt az RMKI, AEKI, MSZKI.

- Szilárdtestfizikai Kutatóintézet (SZFKI): tudományos igazgató Kroó Norbert (1981-91), tudományos igazgatóhelyettes Tompa Kálmán (1981-86), Cser László (1986-88), Kollár János (1988-91).
- Mikroelektronikai Kutatóintézet (MKI): tudományos igazgató Krén Emil (1981-86), Zimmer György (1987-91), tudományos igazgatóhelyettes Kisdi Dávidné (1981-86), Strausz Tamás (1987-91).

A KFKI létszámát tekintve az 1980-as évek közepén volt a legnagyobb. 1985. évi adatok szerint a Magyar Tudományos Akadémián a tudományos kutatók létszáma 3195 fő, ebből a KFKI-ban dolgozik 615 fő (19,2%). Az MTA Természettudományi Főosztályához tartozó kutatóhelyek összlétszáma 7517 fő, a KFKI összlétszáma 2144 fő (28,5%). Az MTA intézeteinek összes bevétele, költségvetési támogatás nélkül 2,9 milliárd Ft, ebből a KFKI része 1,5 milliárd (51,7%). Az 1984-ben érvényben volt belföldi találmányok száma az MTA-n 352, ebből 218 a KFKI-s találmány (61,9%). Ebben az évben a kutatóközpont

létszáma 2144 fő volt. A 875 diplomásból 615 végzett közvetlen kutató-fejlesztő munkát. Tudományos fokozattal rendelkezett: 7 akadémikus, 25 tudományok doktora, 111 kandidátus, 127 egyetemi doktor. Rajtuk kívül 9 címzetes egyetemi tanár, 6 címzetes egyetemi docens dolgozott ekkor a KFKI-ban. 111 kutató volt külföldi tanulmányúton, munkavállaláson, közülük 28-an töltöttek 3 évnél hosszabb időt külföldön.

1987. januárban az MTA főtitkára jelentést nyújtott be a KFKI kedvezőtlen helyzetéről a kormány Tudománypolitikai Bizottságának. A TPB 30.008/1987. sz. határozatával a jelentést tudomásul vette. Indokoltnak tartotta, hogy cselekvési program készüljön a KFKI munkájának tartalmi és szervezeti továbbfejlesztésére a következő 10-15 éves időszakra.

A Tudománypolitikai Bizottság 1974-es határozatai közül teljesült az új kutatási irányok megindítása (termonukleáris fúzió, mikroelektronika, biofizika), az alapkutatások felfuttatása, a hosszú távú ipari megbízások kialakítása azonban csak hiányosan vagy egyáltalán nem valósult meg. Aggasztónak minősítette, hogy a műszerpark elöregedett, értékének 35%-ára amortizálódott. Csökkent a költségvetési támogatás reálértéke, a költségvetési támogatás a költségeknek csak kb. 15%-át fedezi, az MTA más intézeteinél ez átlagosan 35% volt. Ugyanakkor tíz év alatt a KFKI adóbefizetései 66 millió Ft-ról 222 millióra nőttek, miközben az energia-, postai és szállítási költségek 22 millióról 77 millió forintra emelkedtek. A szerződéses tevékenység fokozásával sikerült elérni, hogy az intézetfejlesztési alap és a szociális célokra fordítható összeg (üdülés, bölcsőde, lakásépítési kölcsön stb.) együttesen 78 millió Ft-ot ért el. Az eredmények egyre nehezedő körülmények között születtek meg, s eközben a KFKI felélte belső tartalékait. A túlfeszített tempó következtében a kifáradás jelei mutatkoztak. Nem lett volna megengedhető, hogy az ország számára lényeges természettudományi és műszaki alapkutatások sorsa a KFKI egyetlen szakterülete, a számítástechnika piaci helyzetétől függjön.

1987. szeptemberre elkészült *A KFKI az ezredfordulón* című tanulmány. A belső vitákban két jövőkép fogalmazódott meg. Az egyik az utóbbi évek kényserűen intenzív szerződéses tevékenységének egyes negatív tapasztalatait általánosítva, teljesen vagy nagyrészt költségvetési finanszírozású, főként fizikai kutatóintézetet képzelt el hatékony műszaki háttérrel. A másik egy komplex, részben a költségvetésből, részben saját bevételeiből finanszírozott kutatóközpont korszerű változatára gondolt, az utóbbi évtized túlzásainak és torzulásainak kiküszöbölésével. A vezetés álláspontja szerint a 2. variációval érhető el az ország számára optimális tudományos, műszaki és gazdasági haszon. A cél az volt, hogy 2000-ig a KFKI váljék komplex, az általa művelt területek nagy részén *nemzeti*, jól kiválasztott kisebb részén *nemzetközi kutatóközponttá*.

Jól jellemzi a rendszerváltás előtti helyzetet Lovas István 1993-ban közzétett értékelése a KFKI 1989. végi helyzetéről: „A gazdasági gondok a vasfüggöny lehullásával katasztrofális méretet öltöttek. A magyar piacon megjelent a világ minden számottevő számítástechnikai cége, a Digital Equipment Corporation (DEC) is, ezért a TPA-programot le kellett állítani, szinte egyik napról a másikra. Megjelent a magyar piacon a mikroelektronika minden terméke, időközben leégett a Mikroelektronikai Vállalat. [...] A KFKI-ban felhalmozott tudás, felszerelés és raktárkészlet jelentős része máról holnapra értékelődött le. Az 1989. év végére minden érdekelt számára világossá vált, hogy a felsorolt okok miatt a KFKI-t át kell szervezni.”

Az átalakulás küszöbén (1990–91)

Szabó Ferenc főigazgató 1990. január 1-jén nyugállományba vonult, az MTA főtitkára további intézkedésig Szatmáry Zoltánt bízta meg a főigazgatói teendők ellátásával.

Összkeresési értekezleteken zajlottak a viták. Lovas István ismertette saját koncepcióját: a távoli jövőben a KFKI legyen olyan, mint más európai kis országok hasonló intézményei, legyen autonóm természettudományos és műszaki kutatóintézetekből álló központ. Szerinte tehát mihamarabb szét kell választani a tevékenységeket. Valkó János közzétette a Csillebérci Tudományos Technikai Park koncepcióját: az új KFKI oktató-kutató egyetemi magból, a körülötte, mellette lévő fejlesztő-termelő vállalatokból és a terület infrastruktúráját üzemeltető telep-menedzsmentből állna. Zawadowski Alfréd vitaesten ismertette véleményét az intézet múltjáról, jövőjéről: a KFKI demokratizálódjék, legyen vegyes finanszírozású nemzeti laboratórium, az MSZKI-t le kell választani.

Az MTA főtitkára 1991. december 31-éig főigazgatót kívánt kinevezni a KFKI élére az intézmény tevékenységének és szervezetének az átalakítására. A főtitkár meghívásos pályázatot hirdetett, a felkért jelöltek közül azonban egyedül Lovas István akadémikus adott igenlő választ. Az ő koncepciója szerint a KFKI kutatóközpont, öt intézet konföderációja. Hosszú távú stratégia: az innováció motorjává a piacgazdaság válik, nem lesz szükség arra, hogy tudományos intézmények termelő-, illetve szolgáltatótevékenységet folytassanak. A KFKI olyan, a felsőoktatásban és a tudományos továbbképzésben erőteljesen részt vevő kutatóközpont legyen, amely nemzetközileg elfogadott tudományos kutatással foglalkozik. Felügyeletét, stratégiai irányítását az MTA és az egyetemek képviselőiből álló felügyelőbizottság lássa el. Lovas tervei szerint a KFKI-t igazgatótanács vezeti majd, a főigazgatói tisztelet az intézetek igazgatói látják el, egymást rendszere-

sen váltva, az igazgatók kinevezésének feltétele pedig az, hogy az adott intézet kutatóinak többsége támogassa. A rendelkezésre álló anyagi eszközök szűkösek, ezért a kutatások között szelektálni kell. Az alap kutatások területén a szelekció vezérelve a korábbi eredményesség legyen. Láng István, az MTA főtitkára, 1990. július 2-án iktatta be főigazgatói tisztébe Lovas Istvánt.

Az MTA Matematikai, Fizikai és Műszaki Tudományok Osztálya tagjaiból álló együttes ad hoc bizottság állásfoglalást alakított ki a KFKI átalakításáról. Elismeréssel értékelték eddigi eredményeit, valamint a magyar fizikai és műszaki kutatásban betöltött szerepét. Megalapozottnak tartották az átalakítására vonatkozó igényt. (Az intézet minden tekintetben túl nagyra vált, egyre nagyobb összegű árbevételek elérésére kényszerítette önmagát, korábbi alapcélkitűzése, a tudományos kutatás egyre jobban háttérbe szorult.) Vagyonát nemzeti tulajdonnak kell tekinteni, az átalakulás során minden eszközzel meg kell tartani. Szükség van a kutatási, fejlesztési és gyártási tevékenység szétválasztására. A bizottság határozottan és egyértelműen szükségesnek tartotta, hogy az alap- és az alkalmazott kutatások az akkorinál lényegesen kedvezőbb helyzetbe kerüljenek, fennmaradjanak az MTA felügyelete alatt. Fokozni szükséges a kölcsönös érdekeken alapuló együttműködést a hazai egyetemekkel. Az átalakítás végrehajtása semmiképp sem veszélyeztetheti a KFKI intézeteiben felgyűlt szellemi és anyagi potenciált és annak rendeltetésszerű működését!

1989-től az MSZKI egyes részegységeiből a KFKI, részben külső tőke bevonásával, kft.-ket alakított. 1990. februárban a DEC, a KFKI és a SZÁMALK aláírták egy magyar-amerikai közös vállalat létrehozásának dokumentumait. Az új vállalat, a DEC Hungary Kft. április 2-án kezd működni. A DEC a részvényekből 51%-ot birtokolt és opciót kapott a közös vállalat részvényeinek a teljes megvásárlására. A vállalat célja a DEC rendkívül sikeres microVAX számítógépcsaládjának magyarországi forgalmazása. A DEC a hálózatba kapcsolt számítógéprendszerek legnagyobb szállítója a világon, vezető cég a rendszerintegrálásban is. Az MSZKI egyes részegységeiből alakult kft.-k szeptemberben a főigazgató jóváhagyásával holding részvénytársaságot hoztak létre a kft.-k üzleti és tulajdonosi koordinálására (KFKI Számítástechnikai Rt.). Az Rt. igazgatótanácsának elnöke Szlankó János, ügyvezető igazgató Szőnyi László. A KFKI e vállalkozásoktól remélte az adósságprobléma megoldását.

1990. december 22-én az igazgatótanács további vitára és az MTA-hoz előterjesztésre alkalmasnak találta az átalakított KFKI modelljét: öt önálló jogi személyiségű kutatóintézet, melyek integrálják a korábban központilag irányított szervezeteket. A KFKI részvénytársaság holdingszervezet feladata a telephely kezelése, az adósságállomány menedzselése, a befektetett eszközök vagyonkeze-

lése. A jogutód KFKI-szervezet dolga a szakmai koordináció, közös külső fellépés és képviselés.

A kormány Tudománypolitikai Bizottsága 1991. június 7-i ülésén jóváhagyta a KFKI átalakulásának elveire az MTA által beterjesztett javaslatot. Az MTA elnöke és főtitkára szeptember 30-án közös állásfoglalást, a kormány október 17-én határozatot fogadott el a kutatóközpont 1992. január 1-jei átalakulásáról.

1992. január 1-jétől a tartozások, követelések és a leértékelendő készletek zöme az új, a tulajdonosi jogokat gyakorló KFKI-szervezethez kerül. A KFKI, az MTA és a Tudománypolitikai Bizottság eredeti javaslata szerint az adósság felszámolása a vállalkozói szféra feladata lett volna, az októberi kormánydöntés azonban a költségvetési szférában hagyta az adósságállományt.

A KFKI csúcsidejében 2200–2250 fő volt a létszám, 1990. január 1-jén 2000 fő, 1990. július 1-jén 1809 fő. Az év végére a költségvetési szférában 997 fő maradt, a vállalkozási szférába kb. 680 fő került át. Az átalakulás során gyakorlatilag megszűnt a központi adminisztráció.

Az MTA KFKI a kormányhatározatnak megfelelően novemberben megalapította az önálló jogi személyiséggel rendelkező KFKI Innovációs Részvénytársaságot (KFKI Rt.), tulajdonosa a Magyar Köztársaság, a tulajdonosi jogokat az MTA KFKI gyakorolja. Az Innovációs Rt. mint holding birtokolja a KFKI-üzemeltető Kft.-t és a KFKI-vállalkozásokat, köztük az 1990-ban alapított négy új Számítástechnikai Rt.-szervezetet. A KFKI Innovációs Rt. 1992. évi üzleti tervében feladatául kapta, hogy a Számítástechnikai Rt.-t külföldi tőke bevonásával közös vállalkozássá alakítsa át. Az Innovációs Rt. decemberben 170% árfolyamon eladta a Számítástechnikai Rt. többségi tulajdonát (50% + 2 részvény).

1998 elején közös telephelyre, új irodaházba költöztek a KFKI Számítástechnikai Csoport cégei. 1995-től a KFKI Számítástechnikai Rt. jelentős mértékben hozzájárult a KFKI adósságállományának megszüntetéséhez.

1992. január 1-jén az MTA Központi Fizikai Kutatóintézetből kivált öt önálló jogi személyiséggel rendelkező költségvetési szervezet (kutatóintézet):

- KFKI Anyagtudományi Kutatóintézet, igazgató Gyulai József;
- KFKI Atomenergia Kutatóintézet, igazgató: Gadó János;
- KFKI Mérés- és Számítástechnikai Kutatóintézet, igazgató Vajda Ferenc;
- KFKI Részecske- és Magfizikai Kutatóintézet, igazgató Szegő Károly;
- KFKI Szilárdtestfizikai Kutatóintézet, igazgató Kroó Norbert.

Az MTA Központi Fizikai Kutatóintézet változatlan néven működik tovább, mint a korábbi kutatóközpont jogutódja és mint az Innovációs Rt. tulajdonosa. Első igazgatója Lovas István volt, akit 1994-ben Strausz Tamás követett. A kis létszámú szervezet legfontosabb feladata az átalakulás után fennmaradt adósságállomány megszüntetése volt, amit 1999 elejére sikerült is elérnie.

1999. november 1-jén az MTA főtitkára átszervezte a „kutatóközpont maradványszervezetét”, új neve: Magyar Tudományos Akadémia KFKI Telephelykezelő (rövidítve: MTA KFKIT). Feladatai: telephely-üzemeltetés, -fenntartás, szakkönyvtár működtetése, portfólió-kezelés, sport- és szociális létesítmények üzemeltetése.

Összességében megállapítható, hogy ugyan sok buktató után, de végül is sikerült a KFKI kutatóközpontot önálló, kisebb intézetekké átalakítani és az átalakulás időpontjában a költségvetési szférában maradt adósságállományt felszámolni. Az akadémiai intézetek 1997-ben végrehajtott konszolidációja stabilizálta a KFKI átalakításával létrehozott intézeteket.

Berendezések és tudományos eredmények

Több kutatási terület esetében nehéz szétválasztani a kutatási eredményeket a fejlesztőmunkától. A reaktorfizikai kutatási és fejlesztési (K+F) tevékenységet két részre bontottuk, egyik része itt a tudományos, másik része a gyakorlati eredmények között szerepel. Nem sikerült ugyanez az ionimplantáció esetében, ezért az alapkutatási eredményeik is a hasznosítás leírásában szerepelnek. Az Olvasó csak mindkét eredménytípus megismerésétől remélhet képet a KFKI eredményeiről.

Alapvető nagyberendezések és szolgáltatások

Néhány nagyberendezés és szolgáltatás alapvetően meghatározta az intézet kutatási lehetőségeit. Részecskegyorsítókra volt szükség a magfizikai, majd az alkalmazott magfizikai, anyagtudományi kutatásokhoz. Az atomreaktor léte új kutatási irányok megindulását tette lehetővé: reaktorfizikai, magfizikai, szilárdtestfizikai, magkémiai, sugárbiológiai kutatások indulhattak. A hidegüzemben cseppfolyósított levegő és hélium nélkül nem lehetne kísérletezni az alacsony hőmérsékletek tartományában. A nagy műszaki létesítmények nyújtotta kísérleti lehetőségek a műszerépítés, az elektronikai kutatás-fejlesztés számára is nagy kihívást jelentettek. A nagyberendezések komoly műszaki alkotások, sikeres működésük létrehozóik munkáját dicséri. Az alapvető nagyberendezések és szolgáltatások közé tartozik a számítástechnikai háttér, amelyet először központi nagy gépek, majd a hálózatba kapcsolt gépek képviseltek. Az eredményes kutatások elengedhetetlen háttere a jó könyvtár is.

Kísérleti atomreaktor

1959. március 29-én helyezték üzembe a kísérleti atomreaktort. A kutatóreaktor hármas feladatot lát el: kísérleti kutatás, izotóptermelés, szakemberképzés.

1963-ban a reaktorban *organikus kísérleti hurok* épült szerves moderátorok és hűtőközegek sugárhatás-kémiai vizsgálata céljából. Az effektív besugárzási hatásfokot és az üzemzavar nélkül teljesített üzemórákat tekintve a hurokberendezés egy amerikai berendezés mögött a *2. helyet foglalta el a világranglistán*. 1964-ben biológiai besugárzó csatorna létesült a reaktorban. A besugárzó berendezés gondosan kimért neutron- és gamma-dózis-terét használják a saját fejlesztésű bal-eseti dózismérők hitelesítésére.

A reaktor első rekonstrukciójára 1967-ben került sor. A *KFKI szakembereinek terveit szerint, saját kivitelezésben kicserélték az aktív zónát*. Ebben a kiépítésben 1986-ig üzemelt a reaktor.

A Minisztertanács Tudománypolitikai Bizottsága 1979-ben hagyta jóvá a kutatóreaktor rekonstrukciójára vonatkozó előterjesztést. 1986. májusban leállt a kutatóreaktor, megkezdődött a rekonstrukció. A bontást a KFKI szakemberei végezték, a dolgozók sugárterhelése nem haladta meg a megengedett dózis egytizedét. A rekonstrukció során kicserélték a gépészeti, villamos és sugárvédelmi rendszereket. A rekonstrukció egyik célja az 1990-es évek színvonalának megfelelő biztonság elérése volt. Ennek érdekében a berendezésen kisebb konstrukciós változtatásokat hajtottak végre, modern reaktorvédelmi rendszert építettek ki, és minderről korszerű biztonsági jelentés készült. Jelentősen megnövelték a kihűthető hőteljesítményt. A reaktor rekonstrukció utáni újraindítását a KFKI átalakulása körüli bizonytalanságok hátráltatták, és arra végül is csak az átalakulás utáni időszakban, 1992. december 12-én került sor.

Számítógépek, hálózatok

A kísérleti kutatások eredményeinek feldolgozása, az elméleti számítások, különösen a reaktorfizikai, részecskefizikai, elméleti magfizikai kutatások folyamatosan nagy számítástechnikai igényt támasztottak. A KFKI ezért a kezdetektől arra törekedett, hogy nagy teljesítményű, nagy kapacitású számítógéppel rendelkezék. Jelentős fejlesztőmunka is folyt. *A KFKI a hazai élvonalat képviselte a hálózati hardver- és szoftvereszközök fejlesztésében és a hálózatépítésben*.

1960-ban a két importált szovjet *URAL I. számítógép* egyike a KFKI-ba került. Az Ural számítógép azonban nem volt képes kielégíteni a növekvő igényeket: 1964-ben heti 120 órás üzemidővel az intézeti számítási igények 16%-át végezte csak el. 1966-ban helyezték üzembe az angol gyártmányú *ICT 1905* számítógé-

pet. Az ország ez időben legnagyobb számítógépét az Országos Tervhivatallal közösen szerezte be a KFKI. Jelentősen hozzájárult a számítástechnikai kultúra hazai elterjedéséhez, felhasználói voltak budapesti és vidéki egyetemek, kutatóintézetek, egyéb szervezetek. A feladatok kötegelte (batch) futtatását lehetővé tevő YKA feladatkezelő rendszert Varga László és munkatársai fejlesztették ki.

1973-tól az intézetben egymást követően több, IBM 360/370 kompatibilis gép működött. Ezek hozzájárultak az IBM-kultúra elterjedéséhez. A KFKI-ban helyezték üzembe Magyarországon az első szovjet gyártmányú ESZ-1020 (R-20) típusú számítógépet, 64 kByte memóriával, lyukkártya-perifériákkal, mágnesszalagos és diszkegységekkel. A géphez illesztett TPA-i közvetítésével dobplotterrel rajzolni is lehetett.

1977-ben az R-40 (ESZR-1040) NDK-gyártmányú számítógép követte 1 Mbyte memóriával, 87 Mbyte, később kb. 650 Mbyte diszkkapacitással, 18 terminállal. A gépet 1988-ban állították le, tízéves üzeme alatt átlagosan 95%-nál magasabb műszaki megbízhatósággal dolgozott. 1986-ban állt üzembe a nagyobb kapacitású, szovjet gyártmányú R-45 számítógép, ez azonban kevésbé volt megbízható. 1988-tól 1993-ig állt a felhasználók rendelkezésére az ugyancsak IBM-kompatibilis, de gyorsabb és megbízható BASF 7/61 típusú számítógép.

A TPA gépek már az ICT 1905 mellett megjelentek a számítóközpontban, a kis gépek elsősorban előfeldolgozást végeztek. 1975-ben az MSZKI-ban kifejlesztettek egy ESZR/IBM-TPA csatornaadaptert TPA gépekhez. Erre fejlesztette ki Telbisz Ferenc munkatársaival a CEDRUS (Conversational Editor and Remote User Support) interaktív szövegszerkesztő és job-előkészítő programrendszert. Ez volt az első ilyen működő rendszer a KGST-országokban. A kutatók, programozók terminálokról működtethették programjaikat. Az 1986–87. években a CEDRUS-ra alapozva készült a FILTER (File Transfer) rendszer, amely az IBM- és DEC-gépek közötti fájlvitelt és a DECnet-hálózatból az IBM-gépekhez való interaktív terminál-hozzáférést tette lehetővé.

1979 végétől a lokális hálózati rendszerek fejlesztése a LOCHNESS (Local Highspeed Network System) rendszerrel indult meg, a rendszer laboratóriumi mérési adatgyűjtés és folyamatirányítási célokra, TPA gépekre és CAMAC keretvezérlőkre készült.

1981. áprilisban indult a telefonvonalon történő kísérleti adatátvitel az RMKI PDP 11/428 gépe és a moszkvai Űrkutatási Intézet TPA-1140 számítógépe között. 1985. júniusban az RMKI-ban üzembe helyezték a moszkvai Űrkutatási Intézet és a Kozmikus Sugárzási Osztály TPA-1148 gépe közötti műholdas adatátviteli rendszert.

Az 1988–90. években kiépült a KFKI lokális Ethernet hálózata, az első nagyméretű Ethernet hálózat az országban, mintegy 300 géppel. Az Információs Infrastruktúra

túra-fejlesztési Program (IIF) X.25 hálózatához a KFKI helyi hálózata egy KFKI-gyártmányú TPA gateway gépen át csatlakozott, ezáltal lehetővé vált az *elektronikus levelezés* (e-mail).

A COCOM-korlátozások 1990 utáni megszűnése lehetővé tette a *nemzetközi hálózati rendszerekhez való csatlakozást*, így 1990-től a HEPnet (High Energy Physics network) 15 ország laboratóriumait összekötő DECnet hálózatához. 1991–92-ben a KFKI RMKI és a CERN között közvetlen bérelt vonalas összeköttetés létesült, majd az IIF program által biztosított vonalon létrejött az Internethez való csatlakozás.

A Számítógép-hálózati Központ működteti a központi szolgáltató gépeket, a telephelyi lokális hálózatot és a külső hálózati kapcsolatokat.

Könyvtár és kiadványok

1953-ban kezdődött meg a *KFKI Közlemények* kiadása, és 1971-ben szűnt meg. A 18 évfolyam összesen 804 cikket tartalmaz. Megszűntek a *reportsorozatok* is. 1972-től mindkét kiadványtípus helyett új, egységes jelzetű és számozású sorozat indult.

1971-ben kezdődött az INSPEC *számítógépes szakirodalom-figyelés*. (Az országban elsőként a KFKI ICT 1905 gépen indult meg 1970-ben információ-vissakeresési szolgáltatás, a Veszprémi Egyetem könyvtárának kezdeményezésére, a Chemical Abstracts mágnesszalagos adatbázisából.) Horváth Iván készítette a feldolgozást végző BINAR programrendszert, amely átdolgozásokkal 1993-ig volt használatban, Lengyelország is átvette. 1987. májustól működik a *nemzetközi on-line-adatbázisok lekérdezése*.

1971-ben kezdődött meg a KFKI-könyvtár saját anyagának számítógépes feldolgozása (reportok, gyarapodási jegyzékek, katalógusok). Ugyanettől az évtől az intézet angol és orosz nyelven részletes évkönyvet jelentetett meg. A könyvtár a *legnagyobb hazai fizikai gyűjtemény*, kiemelkedően gazdag a folyóirat-állománya, 1991-ben 739-féle folyóirat járt.

Részecskegyorsítók

A gyorsítóépítés sokféle mérnöki és fizikusi ismeret ötvözését igényli. Valamennyi gyorsító saját tervek alapján épült. Kezdetben a gyorsítók magfizikai célokat szolgáltak, majd egyre fontosabb felhasználók lettek az alkalmazott kutatások. A gyorsítóépítésben szerzett jártasság tette lehetővé azt is, hogy kisméretű gyorsítókat tervezzenek és építsenek az aktivációs analízis és az ionimplantáció céljaira.

Az első magyarországi részecskegyorsítót Simonyi Károly vezetésével Sopronban építették 1951-ben. A Budapesti Műszaki Egyetem tanszékének kutatói a gyorsító elkészültekor már a KFKI állományába tartoztak. Az Atomfizikai Osztály munkatársai Csillebércen több gyorsító építéséhez láttak hozzá, ők létesítették az S-1000, K-600, K-800 és az AG-4 részecskegyorsítókat.

1955-ben elkészült az 1 MV-os szalaggenerátor-elektromos gyorsító (S-1000), amit nagyon kemény gamma-sugárzás előállítására használtak, az Elektromágneses Hullámok Osztályán pedig 1956-ban befejeződött a mikrotron típusú elektromos gyorsító építése. A téma ezzel lezárult, a tervezett magfizikai méréseket nem végezték el.

Az Atomfizikai Osztályon 1956-ban elkészült a 600 kV-os kaszkádgenerátor építésénél felhasználták azokat a kondenzátorokat, amelyeket még a világháború alatt vásárolt Bay Zoltán, de gyorsítóépítési terveit akkor nem tudta megvalósítani. 1957-ben kezdett működni a 200 kV-os neutrongenerátor (NG-200), megkezdődhettek a magfizikai kísérletek 14 MeV-os gyors neutronokkal is.

1961-ben készült el első kiépítésében a máig legnagyobb berendezés, az AG-4 részecskegyorsító, a 4 millió voltos feszültségű nyomás alatti Van de Graaff-generátor, amely 12 ezer órát üzemelt. A gyorsítót a III. épületből 1964-ben telepítették át a gyorsító számára épített új épületbe, ettől kezdve EG-2 néven szerepel. Az 1980-as évek végéig többszöri átépítés, modernizálás mellett további összesen közel 80 ezer üzemórát működött a Van de Graaff-generátor. Kezdetben magfizikai alap kutatásokat szolgált, majd fokozatosan előtérbe kerültek az alkalmazott magfizikai témák, anyagtudományi, biofizikai vizsgálatokhoz használták a gyorsító analitikai technikákat (Rutherford-visszaszórás, channelling, PIXE stb.).

1964-ben a Magfizika II. Laboratóriumban épült az első az aktivációs analitikai célokat szolgáló neutrongenerátor (NA-1). A következő évben már három hasonló, de továbbfejlesztett neutrongenerátor épült (NA-2 típus).

1986-ban lezárult az RMKI-ben a NIK nehézion-gyorsító berendezés egy éve tartó próbaüzeme. Argon, kripton, xenon és nitrogén egyszeres, argon és xenon kétszeres töltésű ionjait gyorsították a 100–500 keV, illetve a 300–860 keV tartományban. A berendezés saját tervek alapján épült. A világon csak néhány hasonló, korszerű gyorsító működik. A berendezést elsősorban a mikroelektronika és a fémtechnológia új anyagainak kutatásához használják. A NIK-et később összekapcsolták a Van de Graaff-generátorral, így a rendszerben zárt ciklusban lehet vizsgálni az implanterben előállított anyag minőségét, tulajdonságait.

Hidegüzem

A hideglaboratórium előkészítésében a KFKI a miskolci kriptongyárral működött együtt. 1957 végén állt üzembe az első levegő-cseppfolyósító és -szétválasztó berendezés, kapacitása heti 750 liter nitrogén. 1959-ben Cseppfolyósító Üzem létesült, feladata cseppfolyós nitrogén ($-196\text{ }^{\circ}\text{C}$) és *cseppfolyós hélium* ($-269\text{ }^{\circ}\text{C}$) előállítása. A hélium-cseppfolyósítás megvalósításával Magyarországon először a KFKI-ban nyílt lehetőség rendkívül alacsony (kb. 4 K) hőmérsékleten végezhető szilárdtestfizikai, anyagtudományi kutatásokra.

Jelentősebb tudományos eredmények

Magfizikai kutatások

Simonyi Károly vezetésével a soproni egyetemen 1951. december 22-én *első ízben sikerült Magyarországon mesterségesen gyorsított részecskékkel atommag-átalakítást létrehozni*, a protonnal bombázott lítium-atommagok berilliummá alakultak. Csillebércen a 800 kV-os kaszkádgenerátornál 1953. július 23-án ismételték meg a Sopronban végrehajtott atommag-átalakítást.

Az 1950-es évek közepén születtek az első önálló kísérleti eredmények, 1958-ban publikálták nemzetközi folyóiratban az első magfizikai eredményt, a jódd-127 izotóp magfotoeffektusának részleteit (Keszthelyi Lajos, Erő János). Megmérték a gamma-sugarak cirkuláris polarizációját a B^{10} ($d, p\gamma$) magreakcióban (Zimányi József, Erő János, Pócs Lajos, Szentpétery Imre), kimutatták, hogy a direkt magreakció lefolyásában jelentős szerepe van a neutron-proton kölcsönhatás véges hatótávolságának. Az atomreaktor üzembe álltával Nagy László vezetésével maghasadási kísérletekbe kezdtek, Kiss Dezső, Zámori Zoltán, Kardon Béla az (n, γ) reakciókat tanulmányozta. A gyors neutronokkal kiváltott magreakciók mérése a neutrongenerátor mellé felépített, elvileg új megoldásokat hasznosító repülésiidő-spektrométerrel folyt (Ádám András, Pálla Gabriella). Az 1960-as években a Van de Graaff-gyorsítónál könnyű magokon végbemenő (d, p) magreakciók mechanizmusát tanulmányozták (Zimányi, Fodor Ilona, Szentpétery), izobár analóg rezonanciák szisztematikus keresésével foglalkoztak (Keszthelyi, Fodor Ilona).

A következő évtizedben a magfizikai kutatások mind *nagyobb részecskeenergiák* felé tolódtak el. A dubnai Egyesített Atomkutató Intézet 670 MeV-es szinkrociklotronjánál az atommagon belüli nukleoncsoportosulásokat vizsgálták. A leningrádi Magfizikai Intézetben az 1 GeV energiájú protonok és deuteronok ütközését tanulmányozta az Erő János vezette kutatócsoport. Pálla Gabriella

német kutatókkal együtt bebizonyította, hogy a négy nukleonátadással járó magreakciókban deformált magoknál igen jelentősek a kollektív gerjesztések okozta hatások. Dubnai és leningrádi kutatókkal együtt Horváth Dezső kísérletileg tisztázta a pionbefogás törvényszerűségeit gázkeverékekben, Kanadában pion- és müonatomokat vizsgált. Nagyenergiájú magfizikai kísérleteket végeztek a svájci SIS és a német GSI (Darmstadt) kutatóintézetben is.

Az elméleti vizsgálatok kezdetben a saját kísérletekhez kapcsolódtak, így pl. a (d, p) reakciók elméletében formulát adtak meg a stripping-reakció mátrixelemének számítására (Zimányi József). Györgyi Géza úttörő szerepet játszott abban, hogy az 1960-as évek elejétől a szimmetriákat (csoportelmélet) használták fel a jelenségek analízisére, új jelenségek felismerésére. Bencze Gyula vezette le a ma nevét viselő, ún. minimális csatolású egzakt integrálegyenleteket a kvantummechanikai N-test-probléma tárgyalására. A *néhánytest-problémák* elméleti kezelésében igen eredményes kutatókat „*budapesti iskola*” néven említették: Bencze Gyula, Doleschall Pál, Lovas István, Révai János tartoztak ide. Zimányi József és Lovas István a nehézion-reakciók elméletében, Bencze Gyula a sokrészeske-szóráselméletben ért el figyelemre méltó eredményeket.

Alkalmazott magfizikai kutatások

1960. novemberben Keszthelyi Lajos vezetésével sikeresen *reprodukálták a Mössbauer-effektust*, amelyet 1958-ban fedezett fel R. Mössbauer, aki felfedezéséért 1961-ben fizikai Nobel-díjat kapott. A magyar kutatók természetes vas abszorbenssel kapott mérési adatai az elmélettel megegyeztek, de eltértek az irodalmi értéktől. A gamma-sugárzás visszalökés-mentes rezonanciaabszorpciója a szilárdtestfizika, az anyagtudomány, a kémia, a metallurgia, geológia, biológia napjainkban is kiterjedten alkalmazott vizsgálati módszerévé vált.

1961-ben *új Mössbauer-sugárzó atomot* találtak a ritkaföldfémek között (terbium-159). Új eredményeket hoztak a *vízben oldott vassókon lefagyasztott állapotban* végzett vizsgálatok, megállapították, hogy a Mössbauer-effektus $-90\text{ }^{\circ}\text{C}$ táján eltűnik, majd megváltozott jellemzőkkel (vonalak távolsága, vastagsága) tér vissza fokozatosan. Az eredmény nagy nemzetközi figyelmet keltett. Keszthelyi Lajos és Cser László újabb, szilárdtestfizikai kutatások céljára szolgáló laboratóriumot hozott létre, Cser a mágneses ötvözetek fázisátalakulását, Vincze Imre pedig híg ötvözeteket tanulmányozott. Az 1970-es évek kiemelkedő eredménye volt a Mössbauer-spektroszkópiában és az ionsugaras analitikában, hogy Dézsi István és munkatársai megmutatták: *egyes szilicidok a szilícium kristályrácsára „folytonosan ráépülve” (epitaxiálisan) nőnek*. Ez világszerte további vizsgálatokat indított el, amelyek eredményeképp ma a mikroelektronikában megfelelő minőségű

kontaktusok készíthetők. Az 1980-as évek közepén Nagy Dénes Lajos és munkatársai megmutatták, hogy a radioaktív bomlás után igen *rövid ideig létező gerjesztett atomi elektronállapotok* alacsony hőmérsékleten és nagy külső mágneses térben végzett Mössbauer-mérésekkel még akkor is jellemezhetők, ha ezek az energiaállapotok sokkal gyorsabban elbomlanak, mint az atommag Mössbauer-nívója.

Az 1970–80-as években a Műszaki Szakigazgatás komplett Mössbauer-laboratóriumot fejlesztett ki és árusított, vásárolt belőlük többek között a Szovjetunió, Csehszlovákia és Brazília is. A laboratórium sikerrel szerepelt hazai és külföldi szakkiállításokon. Itthon 6, külföldön 21 Mössbauer-mérőrendszert telepítettek.

A hazai pozitronannihilációs vizsgálatok az 1960-as évek elején Lovas István kísérletével kezdődtek, melyben mágneses egykristályok elektronszerkezetét tanulmányozta szögkorrelációs módszerrel. Az 1970-es évek elején Ádám András, majd Dézsi István irányításával elsősorban Horváth Dezső és Kajcsos Zsolt foglalkozott e témával. Megteremtették a szükséges kísérleti háttérrel (nagy felbontású szögkorrelációs berendezés, élettartam-spektrométer), vizsgálataik közül kiemelkedik a vas-ródium fázisátmenet, az ionkristályok színcentrumai, a biológiai anyagok optikai aktivitásának tanulmányozása, majd fémüvegek szerkezetvizsgálatával, pozitroniumkémiaiával foglalkoztak. Az 1980-as évek második felének legfontosabb témája a magas hőmérsékletű szupravezetők pozitronannihilációs kutatása volt.

A biofizikai kutatásokat Keszthelyi Lajos indította meg: magfizikai módszerekkel (pozitronannihiláció, Mössbauer-effektus) az *élő anyag* optikai tisztaságának eredetét kutatta. A részecskegyorsítónál a karakterisztikus röntgensugárzás mérésével (PIXE) és más kifinomult nukleáris analitikai módszerekkel biológiai minták nyomelem-tartalmát elemzik Szőkefalvi-Nagy Zoltán vezetésével. Erdi Péter indította meg az idegrendszermodellek kutatását.

Részecskefizikai kutatások

1956-ban Dubnában, a nemzetközi intézetté alakulás idején, Faragó Péter szovjet kutatókkal együtt a világ akkori legnagyobb részecskegyorsítójánál, a 660 MeV energiájú protonokat szolgáltató szinkrociklotronnál megmérte a *protonok relativisztikus tömegnövekedését* – a mérési eredmények igazolták a speciális relativitáselméletet. Ez volt az első ilyen mérés elektronnál nehezebb részecskével.

1958-ban indult meg a magköölcsönhatások vizsgálata a dubnai Egyesített Atomkutató Intézet (EAI) szinkrofototronjában 9 GeV energiájú protonokkal és 7 GeV energiájú pí-mezonokkal besugárzott emulziókban. 1960-tól Bozóki György vezetésével a fotoemulziók mellett *buborékkamra*-felvételeken is tanul-

mányozták a részecskefolyamatokat, a buborékkamra-felvételeket a dubnai EAI-ból és a genfi CERN-ből kapták feldolgozásra.

A fotoemulziók, a buborékkamra-felvételek feldolgozása kezdetben jelentős laboránsi kapacitást igényelt. Később fokozatosan automatizálták az elemzést, majd számítógépes vezérlésű, *automatikus filmkiértékelők* épültek saját fejlesztésben. Kidolgozták az egyik helyérzékeny részecske-detektor-típus, a *sokszálas proporcionális kamrák* gyártástechnológiáját, a 2000×1000 mm aktív felületet is elérő nagy kamrák a dubnai EAI-ban, a szerpuhovi gyorsítónál és a leningrádi Magfizikai Intézetben működtek.

1968-ban készült el a szovjet Nagyenergiájú Fizikai Intézet (Szerpuhov) 70 GeV energiájú protonszinkrotronja, a kísérletekbe Dubnán keresztül lehetett bekapcsolódni. A magyar kutatók itt végezték az első, ún. elektronikus részecske-fizikai kísérleteket, a számlálók adatait számítógép rögzítette, nem volt szükség felvételek készítésére. A kísérletekben a K mezon regenerációját, a CP-sértést (a töltés és paritás szimmetriaegyüttes sérülését) vizsgálták (Kiss Dezső, Nagy Elemér, Vesztergombi György).

Az Európai Műon-együttműködés (EMC) keretében a CERN-ben vizsgálták a 180–280 GeV energiájú müonok mélyen rugalmatlan szórását hidrogén-, deutérium- és nehéz magokon. Felfedezték az EMC-effektust: a nukleon szerkezete függ a nukleon „környezetétől”, azaz az izolált és a magban kötött nukleon szerkezete eltér egymástól. Az atommagok következetes leírásához ezért a nukleonnál mélyebb szintre, a kvark-gluon szintre van szükség (Jancsó Gábor, Nagy Elemér, Vesztergombi György).

A CERN európai hibridspektrométer-kísérletében 360 GeV-es proton-proton kölcsönhatásokban ritka részecskék keletkezését vizsgálták a target fragmentációs tartományában, megállapították a KNO-scaling érvényesülését. Modellt dolgoztak ki az elektron-pozitron, proton-proton kölcsönhatás és a protonon belüli kvark-divark eloszlás leírására.

Az 1980-as évek második felében bekapcsolódtak a Bajkál-tónál létesülő víz alatti neutrínó-detektorrendszer építésének előkészítésébe (Kiss Dezső).

A CERN-ben 1989-re elkészült az ütközőnyalábos nagy elektron-pozitron gyorsítónál (LEP) az L3 detektorrendszer, s ezzel sikerült megmérni az elektrogyenge kölcsönhatást közvetítő Z^0 bozon jellemzőit. A mérési eredményekből egyértelműen megállapították, hogy csak háromféle neutrínó létezik a természetben.

A CERN-ben épülő új nagy részecskegyorsító (LHC) adatfeldolgozási és adatkezelési problémáinak megoldására masszívan parallel processzoros rendszer fejlesztésébe kezdtek.

Az elméleti részecskefizikában az első nagy eredmény az elemi részecskék egy olyan osztályozásának a kidolgozása volt, mely bizonyos vonásaiban megelö-

legezte a későbbi modern osztályozásokat. Domokos Gábor és Surányi Péter honosította meg a nagyenergiájú részecskefizika modern elméletét. Kuti Gyula az elemi részek zsákmodelljének kidolgozásával szerzett hírnevet. Az erős kölcsönhatást leíró *kvantumszíndinamika* rács-térelméletének művelésében a korabeli szakmai értékelés szerint a magyarok voltak a legjobbak: Hasenfratz Péter, Kuti Gyula, Montvai István, Polonyi János. A kvantumszíndinamika csak bizonyos hőmérséklet alatt írja le a kvarkok „bezárását”, bizonyos hőmérsékleten fázisátalakulás zajlik le, elvi lehetőség nyílik szabad kvarkok észlelésére. Zimányi József a kvark-gluon plazma létrejöttének feltételeit vizsgálta.

Az *általános relativitáselmélet* keretében az Einstein-egyenletek megoldásainak keresésében, a megoldások vizsgálatában Perjés Zoltán és Lukács Béla ért el jelentős eredményeket.

A kozmikus sugárzás kutatása

A kozmikus sugárzási kutatások megindításának kettős oka volt. Egyrészt a Dublinból hazatért Jánossy Lajos ekkor már e terület világszerte elismert kutatója volt, másrészt a kutatások részben a sugárzások észleléséhez szolgáló technikákhoz hasonló műszereket igényeltek. A készüléképítő periódus után évtizedeken át folyt az adatgyűjtés. Az 1970-es évek közepén a földi vizsgálatok lezárultak, a kutatók űrfizikai témákra tértek át.

1958. február 20-án állt üzembe a *kozmosz sugárzás mű-mezon komponensének* vizsgálatára szolgáló „föld alatti obszervatórium” Somogyi Antal vezetésével. A két, egyenként 120 Geiger–Müller-csőből álló, félköbös geometriájú, automatikusan regisztráló teleszkóp 1986-ig, két és fél napfoltcikluson át üzemelt. A világon mindössze *három teleszkóp működött megbízhatóan több napfoltcikluson keresztül, ezek egyike a „Budapest állomás”* (a másik kettő: Hobart, Ausztrália, 1957. októbertől; London 1960-tól). Március 25-én itt észlelték először a *Forbush-effektust* a nagy energiák tartományában. (A Forbush-effektus a kozmikus sugárzás intenzitásának hirtelen, a bolygóközi térben terjedő lökéshullámok által kiváltott lecsökkenése.) Később elsők voltak a *27 napos kvázi-periodicitás* észlelésében is ebben az energiatartományban (>10 GeV), korábban csak alacsonyabb energiákon volt ismeretes a jelenség. Az eredeti elektroncsöves berendezést 1964-ben tranzisztoros, 1975-ben integrált áramkörökből épített elektronika váltotta fel.

A bulgáriai Rila hegységben a *Muszala csúcson* levő magashegyi laboratóriumba telepített magyar mérőrendszerrel 1960 óta folyamatosan regisztrálták a nagy energiájú ($\approx 6 \times 10^{13}$ eV) kozmikus részecskék által keltett *kiterjedt légizáporok* adatait. 1968 és 1973 között 13 000 mérési óra alatt 114 millió kiterjedt légizáport észleltek. *Elsőnek mutattak ki anizotrópiát a galaktikus kozmikus sugárzás*

irányeloszlásában. A 0,1%-os anizotrópia arra utal, hogy a vizsgált energiatartományban a kozmikus sugárzás nagy része galaktikus eredetű. A feltűnést keltő, széles körben méltatott eredmény a *Nature* 1975. június 26-i számában jelent meg, szerzői Gombosi Tamás, Kóta József, Somogyi Antal, Varga András és 4 bolgár szakember.

Űrkutatás, űrfizika

Az űrkutatás az Atomenergia Kutatóintézetben (AEKI) a kozmikus eredetű szilárd anyagok kémiai összetételének aktivációs analitikával történő vizsgálatával kezdődött. 1970. november 28-án szovjet Vertyikál-1 rakétával a világűrbe emelkedett az *első magyar berendezés*, az András László és munkatársai által épített *mikrometeorit-csapda*. A *holdközvet* elemzésében a KFKI aktivációs analitikai és Mössbauer-effektus-vizsgálatokkal vett részt. A szocialista országok intézményei közül csak a KFKI kapott mintát a Szovjetuniótól. Az 1974-ben indított Interkozmosz-12, majd az IK-14 (1975) és az IK-17 (1977) mesterséges holdakon repültek az AEKI-ben kifejlesztett kombinált *mikrometeorit-érzékelők*, ezek voltak az űrkutatás történetében az *első magyar fejlesztésű és készítésű fedélzeti elektronikai műszerek*. Apáthy István vezetésével egy szovjet–csehszlovák kombinált mikrometeoritbecsapódás-érzékelőhöz fejlesztettek ki jelfeldolgozó elektronikát. A Prognosz-7 holdon felbocsátott napszéldetektor AEKI-ben készített fedélzeti adatfeldolgozó egységében alkalmaztak először mikroprocesszort az Interkozmosz történetében.

1970–80 között több lépcsőben laboratóriumi *termolumineszcens dózismérő* kiértékelőberendezést fejlesztettek ki a Sugárvédelmi Laboratóriumban. Ezen műszerekkel több alkalommal részt vettek az űrhajókon besugárzott dózismérők összehasonlító nemzetközi vizsgálatában. 1978-ban érzékeny, széles mérés-határú termolumineszcens búradózismérőt és fedélzeti mérésre alkalmas kisméretű, kompakt termolumineszcens dózismérő-kiértékelőt fejlesztettek, a *Pille* volt az *első, a fedélzeten kiolvasható doziméter* (Fehér István, Csőke Antal, Szabó Péter Pál). *Farkas Bertalan űrrepülése* (1980. május 26–június 3.) során, az űrutazás 2. és 6. napján kísérleteket végzett a Pillével. A készüléket 1984-ben Sally Ride, az első amerikai űrhajósnő is eredményesen alkalmazta a *Challenger* űrrepülőgép fedélzetén, ez volt az *első magyar eszköz amerikai űrrepülőgépen*. A készülék ipari változatát földi környezet-ellenőrzési célokra alkalmazzák, például a paksi atomerőműben.

Farkas Bertalan működtette az SZTKI-n Gyulai József vezetésével előkészített *Eötvös- (Ötvös) kísérletet* is. A szilíciumnál jobb félvezető tulajdonságú és lézeranyagként is használatos, nagy tisztaságú galliumarzenid kristályok gyártás-

technológiájának kidolgozásához azt vizsgálták, vajon a súlytalanság körülményei között el lehet-e érni, hogy a krómatomok egyenletesen oszoljanak el a kristályban. Indiumantimonid polikristályt is állítottak elő az űrállomás olvasztókemencéjében.

Az RMKI kutatói az 1970-es évek elején kapcsolódtak be az Interkozmosz műholdakon és a szovjet bolygóközi szondákon végzett *in situ* mérések kiértékelésébe. Az első igen jelentős eredmény a napszél-Vénusz kölcsönhatással kapcsolatos. A Venyera-9, -10, majd a Pioneer-Venus-Orbiter adatainak felhasználásával sikerült megmagyarázni a *Vénusz éjszakai ionoszférájának* kialakulását. (Gombosi Tamás volt az első, aki *szovjet és amerikai mérési adatokhoz* egyaránt hozzájuthatott.) A szoláris eredetű energikus töltött részecskék intenzitását mérő három űrszonda (Prognosz-6, Helios-1, -2) egyidejű mérésének felhasználásával a Nap koronájában történő részecsketerjedésről és ezáltal a korona szerkezetéről, valamint az ott zajló fizikai folyamatokról kaptak új információkat.

Az 1980-as évek elején indult a máig *legnagyobb magyar űrfizikai vállalkozás*, a részvétel a szovjet *Vénusz-Halley (VEGA) programban*. A csúcsidekban mintegy 400 fő dolgozott a programon a KFKI-ban Szabó Ferenc és Szegő Károly vezetésével (RMKI, AEKI, MSZKI, MSZI). 1986. március 6-án a VEGA-1 űrszonda 8890 km távolságban elrepült a Halley-üstökös mellett, a VEGA-2 március 9-én 8030 km-re közelítette meg az üstököst. A szondák műszereinek egyharmada Magyarországon, ennek jelentős hányada pedig a KFKI-ban készült. Az RMKI-ban tervezett és épített *televíziós rendszer* nemcsak képeket közvetített az üstökösről – a *történelemben először kaptunk képeket egy üstökös magjáról* –, hanem önállóan, földi utasítások nélkül megkereste és folyamatosan nyomon követte az üstökös magját, ráirányította a szondák mérőműszereit. Ez volt az *űrutatás történetében az első eset, amikor valós idejű képfeldolgozás alapján történt az autonóm vezérlés*. Az RMKI-ban tervezték és építették a VEGA-misszióhoz a TÜNDE töltött részecske-detektort, a plazma tanulmányozására szolgáló másik detektor (PLAZMAG) építésének magyar résztvevői az AEKI és az RMKI munkatársai voltak. Az adatok alapján sikerült kidolgozni az *üstökös mag háromdimenziós dinamikus modelljét, új, döntő felismerések születtek az üstököst körülvevő plazmáról*. A VEGA-misszió teljes siker volt. Az amerikai sajtó szerint az első szputnyik óta nem volt olyan szovjet űrvállalkozás, amely ennyire megragadta volna az amerikai emberek képzeletét. A *New York Times* írta: „A VEGA-misszió nem csupán technológiai sikert jelentett, hanem a tudományos kooperáció diadalát is, például a kamerák a magyar elektronika, a francia optika és a szovjet mechanika ötvözetei, s a talpazat, amin forognak, Csehszlovákiában készült.” A *Washington Post* is kiemelte, hogy „a magyarok kiemelkedő szerepet játszottak az elektronikus adatgyűjtésben”. A *Nature* különszámot szentelt az első tudományos eredmények-

nek, a VEGA szondák eredményeiről 15 szakközleményt közöltek, ezek közül 6-ban voltak társszerzők a KFKI munkatársai (Apáthy István, Balázs András, Endrőczy Gábor, Erdős Géza, ifj. Erő János, Faragó Miklós, Gárdos Miklós, Gombosi Tamás, Kanyó Miklós, Kecskeméty Károly, Kondor András, ifj. Kovács Tibor, Kozma Gyula, Lohonyai László, Nyitrai Zoltán, Rényi István, Ruzsnyák Péter, Somogyi Antal, Szabó Ferenc, Szabó László, Szalai Sándor, Szegő Károly, Szemerey István, Szendrő Sándor, Szentpétery Imre, Szepesvári Attila, Tátrallyay Mária, T. Szűcs István, Varga András, Várhalmi László, Windberg József, Zsenei Márton).

1985-től dolgoztak az RMKI és az AEKI munkatársai a Phobos programon, amelynek célja a Mars térségének és a Mars Phobos nevű holdjának a tanulmányozása volt. Komoly szerepet vállaltak: magyar, szovjet, osztrák, NSZK-, holland, ír és amerikai együttműködésben készült a részecskedetektor, a leszállóegység fedélzeti számítógépe szovjet–magyar együttműködésben. Ez volt az *első kisméretű, hibatoleráns autonóm fedélzeti számítógép*, a leszállási manőverre a szondák meghibásodása miatt nem kerülhetett sor. Az 1988. júliusban indított két szonda közül a Fobosz-2 értékes adatokat szolgáltatott a Mars plazmakörnyezetéről, a napszéladatokból arra következtettek, hogy a *Marsnak van gyenge mágneses tere*.

1988-ban indult meg a szovjet Mars-94 program tervezése. Az RMKI több plazmafizikai kísérletbe kapcsolódott be, fedélzeti számítógépet fejlesztettek a marsjáró roverhez. A programot többször módosították és halasztották, de a végül 1996-ban fellőtt űrszondát nem sikerült pályára állítani, és megsemmisült.

Az 1980–87. időszakban született tudományos publikációk közül 4 bekerült a Naprendszer-témakörben legmagasabb idézettséggel rendelkező 7 publikáció közé.

A fotonkísérletektől a kvantumelektronikáig

Jánossy Lajos az 1950-es évek elején kezdte meg fizikai optikai kísérleteit, a fény kettős természetére vonatkozó ismert gondolat-kísérletek megvalósítását. 1952-től Ádám Andrással és Varga Péterrel végezte a koincidencia-kísérleteket (első publikáció 1954-ben), 1955-től Náray Zsolttal az interferencia-kísérleteket (első publikáció 1957-ben). A máig gyakran idézett *Jánossy-kísérletek bizonyították a fény kettős természetét*. Ezekből a vizsgálatokból nőttek ki a későbbi fizikai-optikai kutatások.

Az 1959-ben önállósult Fizikai-optikai Laboratóriumban négy téma kutatásával foglalkoztak: fényforrások fluktuációja, a fény koherenciaképessége, fény és anyag kölcsönhatása, optikai mérés- és műszertechnika. Kimutatták, hogy egy kettéosztott koherens nyalábban a fényintenzitás fluktuációi nem függetlenek

egymástól, a koherens fénynyalámban fellépő intenzitásfluktuációk interferencia eredetűek, nem a fényforrás gázkiszüléseinek fluktuációjából származnak (Farkas Győző, Jánossy Lajos, Náray Zsolt, Varga Péter). Az 1963-ban elkészült, a gerjesztett atomok élettartamának mérésére szolgáló berendezés a *világon a második időanalizátorral működő élettartammérő* volt (Bakos József). Farkas Győző és Varga Péter új megoldást talált a *fotoelektron-sokszorozók sötétáramának csökkentésére*, mágnesesen defókuszálták a katódból kilépő elektronokat. 1965-ben a deutérium színkép-finomstruktúrájának kimérésével igazolták a Sommerfeld–Dirac elméletet, pontosították a Rydberg-állandó értékét (Csillag László).

1963. december 6-án a Fizikai-optikai Laboratóriumban működni kezdett az *első lézer Magyarországon*, egy infravörös fényt sugárzó hélium-neon gázlézer. Az új korszakot megindító eredmény Bakos József, Csillag László, Kántor Károly és Varga Péter nevéhez fűződik. A továbbiakban felsorolt *lézertípusok mindegyike a maga nemében az első volt Magyarországon*. 1964-ben impulzusüzemű, rubin-alapanyagú szilárdtestlézert építettek (Farkas Győző, Náray Zsolt, Varga Péter). 1965-ben készült a látható vörös fényt sugárzó hélium-neon lézer (Bakos, Csillag, Kántor, Salamon Tamás), 1969-ben rendkívül rövid, pikoszekundumos impulzusokat hoztak létre (Kertész Iván), 1970-ben született a hélium-kadmium lézer (Csillag, Jánossy Mihály, Kántor, Rózsa Károly, Salamon), ezt követte 1972-ben a neodímium-üveg YAG lézer (Czigány Imre, Kertész), 1974-ben a DFB festék-lézer (Bakos, Füzesy Zoltán, Sörlei Zsuzsa, Szigeti János) és az üreges katódú hélium-kripton lézer (Jánossy, Csillag, Rózsa, Salamon) valamint a hélium-réz katódporlasztásos üreges katódú lézer (Csillag, Jánossy, Rózsa, Salamon), 1979-ben született a „Halo” lézer (Horváth Zoltán), 1980-ban a 118 mikrométer hullámhosszú alkohol lézer (Bakos, Sörlei), 1981-ben a neodímium-foszfátüveg minilézer (Czigány, Kertész). 1983-ban az SZFKI és a moszkvai Lebegyev Intézet közös fejlesztőmunkával a világon egyedülálló, Q-kapcsolt neodímium-foszfát-üveg lézert hozott létre (Kertész, Czigány). A fél megawattos teljesítményű lézer másodpercenként néhány impulzus leadására képes.

1967-ben készítették el Magyarországon az *első hologram-fényképet*.

1974-ben Jánossy Mihály vezetésével a *világon elsőként új típusú, üreges katódú, folyamatosan sugárzó, kék színű, hélium-kripton ionlézert* hoztak létre. Különleges geometriájú, ún. belső anódos, a korábbiaknál nagyobb feszültséggel működő, üreges katódú kizülési csövet dolgoztak ki. Ezt különféle nemesgázokkal próbálták ki, számos új, addig nem ismert hullámhosszon sugárzó lézert fedeztek fel. A gázlézercsoport 1974-ben a *világon elsőként* hozott létre *katódporlasztással működő üreges katódú lézert*. A katódporlasztás teszi lehetővé a lézer szobahőmérsékleten való működtetését, egyébként 1300 °C hőmérsékleten kellene elpárologtatni a rezet.

1979-ben Horváth Zoltán a *világon egyedülálló síkban sugárzó lézert* hozott létre, a Glória (angolul Halo) lézer impulzus-üzem módban „fénykarikákat” bocsát ki. Neodímium-üveg lézer gerjesztéssel részlegesen fényvisszaverő belső falú festéklézert gerjesztettek, a hengerből kilépő lézersugár koherens fényt adott 360 fokos síkban.

A fény és anyag kölcsönhatását tanulmányozva Farkas Győző mutatta ki, nagy teljesítményű rubinlézert alkalmazva, 1967-ben elsőként a *nemlineáris fotoeffektus* létezését. A kísérletekkel extrém határesetben is nagy pontossággal igazolták a kvantum-elektrodinamika érvényét. A *többfotonos fotoionizációt* az 1970-es évek elején Bakos József valósította meg először a Lebegyev Intézetben. Neodímium-üveg lézer nagy intenzitású fényének hatására a fotoeffektus küszöbe alatt jött létre többfotonos szimultán ionizáció. Az intenzív lézerfény és az anyag kölcsönhatásának elméleti értelmezésében Bergou János és Varró Sándor eredményei emelkednek ki.

Szilárdtest-fizikai kutatások

A kísérleti fizika többi ágához hasonlóan a szilárdtest-fizikai kutatások is a szükséges eszközök megépítésével kezdődtek. Új, hagyományos és magfizikai vizsgálati módszereket honosítottak meg, közte a másutt tárgyalt Mössbauer-effektust, a magmágneses rezonancia (NMR) módszert és a neutronszerzési vizsgálatokat. 1959-től dolgoztak az NMR technika szilárdtest-fizikai vizsgálatokra való alkalmazásán, a szükséges eszközök megépítése után 1961-ben történtek az első vizsgálatok (Tompa Kálmán, Tóth Ferenc). A szilárdtest-fizikai célokra alkalmazott NMR és a neutronszerzési technikák ma is csak a KFKI-ban léteznek az országban. Jelentős technológiai fejlesztéseket hajtottak végre, megoldották a vizsgálandó minták készítését, a minták minősítését. Az 1960-as években és az 1970-es évek elején elsősorban híg ötvözetek vizsgálatával és a mágneses szerkezetek és fázisátalakulások kérdésével foglalkoztak. Az alap kutatások témaválasztásában, az alkalmazott kutatásokban a hazai ipar igényei is szerepet játszottak. 1964-ben kötötte meg a KFKI és a *Csepel Vas- és Fémművek* első együttműködési megállapodását, amit évtizedeken át érdemi, hosszú távra tekintő, közös kutatófejlesztő munka követett. A legfontosabb területek: lágymágneses vasötvözetek, nagy tisztaságú réz, fémüvegek vizsgálata.

Új kísérleti lehetőségek nyíltak meg az atomreaktor elkészültével: tanulmányozni lehetett a neutronok kiváltotta változásokat, és új, neutronokra alapozott vizsgálati módszereket (neutronszerzés) alkalmazhattak. A neutronos technikákkal atomi felbontásban vizsgálható a szilárdtestek szerkezete, az atomi folyamatok dinamikája. A neutronfizikai kutatásokat Pál Lénárd indította meg, majd Kroó Nor-

bert, később Cser László vezette. A repülési idő típusú neutronspektrométerhez épült a RITA 100 csatornás analízátor, programvezérelt egykristály-diffraktométer, por-diffraktométer, majd a Kurcsatov Atomenergia-intézettel közösen épített háromtengelyű neutronspektrométer szolgálta a kutatásokat. A neutronfizikai kísérletek elektronikájának létrehozásában Szlávik Ferenc játszott vezető szerepet.

Az első eredmények az *anyagok mágneses szerkezetére* vonatkozó kutatásokban születtek: új kísérleti tényeket tártak fel, amelyek fontosak az atomi és a mágneses rendeződés kapcsolatának megértéséhez. Új elméleti modellt dolgoztak ki a vas-alumínium ötvözetek mágneses anomáliáinak magyarázatára. Vas-ródium ötvözetekben vizsgálták az antiferromágneses-ferromágneses átalakulást, kimutatták, hogy a két fázis egyidejűleg létezik bizonyos hőmérséklet-tartományban. Tanulmányozták a rend-rendezetlen fázisátalakulás jellemzőit Cu, Au ötvözetben (Pál Lénárd, Nagy Elemér, Nagy Imre, Tóth József).

Vizsgálták a neutronsugárzásnak kitett anyagokban keletkező rácshibák és a mágneses tulajdonságok közti összefüggést, a rácshibák eloszlásának leírására statisztikus elmélet született. Híg ötvözetekben a szennyezés körüli töltés- és spinsűrűség-oszcillációk jellemzőit és azoknak a fizikai tulajdonságokra gyakorolt hatásait határozták meg és értelmezték Cu-, Al- és Fe- alapú ötvözetekben, közöttük az átmeneti fémszennyezések anomáliáit (Kondo-effektus) (Hargitai Csaba, Grüner György, Jánossy András, Kroó Norbert, Tompa Kálmán, Zawadowski Alfréd).

Mezei Ferenc 1972-ben *új neutronfizikai mérőeljárást* fedezett fel, a *neutron-spin-echo-spektrometriát*. A szilárdtestekben végbemenő folyamatok, a térbeli és időbeli változások neutronokkal egyidejűleg vizsgálhatók. A neutronszerzési kísérletekben a mintára eső neutronnyaláb sebességének és irányának a megváltozását mérik, mérni kell a beeső és a kilépő nyaláb energiáját. Minél pontosabban állítják be a beeső nyaláb energiáját, annál kisebb lesz a nyaláb intenzitása. A spin-echo-módszer egyetlen lépésben határozza meg a sebesség megváltozását. A gondolat megvalósíthatóságát Mezei Ferenc 1972-ben igazolta a KFKI-ban és a Laue-Langevin Intézetben (Grenoble) végzett kísérleteivel. A módszer érdemi vizsgálatokra csak nagy neutronáram esetén használható, ezért Grenoble-ban építették meg a spektrométert. A 10–100 angström, 0,1–20 nanosec tartományban nincs más vizsgálati módszer. Alkalmas óriásmolekulák, biológiai molekulák mozgásainak nyomon követésére, polimerfizikai vizsgálatokra, diffrakációs folyamatok, másodrendű fázisátalakulások vizsgálatára. Mezei 1986-ban elnyerte az igen rangos Hewlett-Packard Europhysics Díjat. A neutron-spin-echo-módszer felfedezését a *legnagyobb hazai fizikai felfedezések közé sorolják*.

A neutronspektroszkópiai kísérletekhez az SZFKI és az MSZI munkatársai viszonylag széles hullámhossztartományban működő, nagy áteresztőképességű

neutronsebesség-szelektort építettek, a forgótárcsás szerkezetben világszínvonalú műszaki konstrukciós megoldásokat valósítottak meg (Bán Tamásné, Cser László, Mezei Ferenc, Rosta László, Zsigmond György). Az első neutronmonokromátor-berendezés a CEN Saclay spin-echo mérőberendezésben működik, később az amerikai National Bureau of Standards, továbbá francia, japán, német, portugál laboratóriumok számára készítettek összesen 17 neutronsebesség-szelektort. 1989-ben francia–magyar közös vállalkozásban Saclay-ben épült spektrométer.

Az 1970-es évek második felétől és az 1980-as években a kísérleti kutatások középpontjában a fémüvegek és a folyadékkristályok álltak (Bakonyi Imre, Hargitai Csaba, Kádár Enikő, Kemény Tamás, Konczos Géza, Lovas Antal, Takács János, Tompa Kálmán, Vincze Imre). 1976 végére készültek el, alig néhány hónapos előkészítő munka után, az első *fémüveg* szalagok és korongok. A Magyarországon elsőként megvalósított technológiával, gyorsítással nióbbium-nikkel és vas-bór szalagokat, elektrolitikus rétegleválasztással pedig nikkel-foszfor és kobalt-foszfor korongokat készítettek. Országos kutatási együttműködés alakult ki, számos módszert alkalmaztak a fémüvegek tanulmányozására. Kétféle speciális neutrodiffrakciós módszert alkalmazva kimutatták, hogy a fém-metalloid típusú fémüvegekben közeli rend lép fel. Feltárták, hogy a fémüvegek szerkezetét leíró modellekben a geometriai tényezők mellett a kémiai kölcsönhatásokat is figyelembe kell venni. Csepeli kutatókkal együtt mutatták ki, hogy összefüggés van az előállítás körülményei és az amorf ötvözet mágneses tulajdonságai között. A fémüvegek kedvező lágymágneses tulajdonságait hasznosítva a legigényesebb hangtechnikai minőségi követelményeket teljesítő hangfrekvenciás transzformátort készítettek (Lovas Antal és Szöllősy János). A *KGST-országokban ez volt az első, a kereskedelemben kapható, fémüveget tartalmazó termék.*

A *folyadékkristály*-kutatások egyik célja a meglévőknél lényegesen, ezerszer gyorsabban kapcsolható folyadékkristály kifejlesztése volt. Sikerült 60 mikrosec alatt kapcsoló, szobahőmérsékleten is alkalmazható cellát létrehozni. Az anyag kedvezőbb belső rendezettsége miatt jobb, kontrasztosabb képet ad. A fejlesztés során *új fizikai jelenséget, elektromechanikai hatást* figyeltek meg: a jelenség analóg a piezoelektromos jelenséggel, de nem azonos vele (Bata Lajos, Buka Ágnes, Éber Nándor, Jánossy István, Jákli Antal). Számos gyorsított folyadékkristályban „üvegfázist” állítottak elő, ebből a hőkezelés függvényében más és más, eddig ismeretlen fázisállapotok alakulnak ki. Új, nemlineáris optikai jelenséget mutattak ki: lézerefény elektomágneses terével orientálták át a folyadékkristály-molekulákat. A folyadékkristályok színének hőmérséklet-érzékenységét felhasználva, kidolgozták a felületi hőmérséklet mérését, ez integrált áramkörök hibáinak kimutatására éppúgy alkalmazható, mint az emberi, állati bőrfelszín vizsgálatával elváltozások kimutatására.

Kiterjedt kísérleti és elméleti vizsgálatok folytak a mozgó *töltéssűrűség-hullámok* dinamikájának tanulmányozására. A leglényegesebb kísérleti eredményeket jól leíró modellt dolgoztak ki. Elsőként szereztek kísérleti bizonyítékot a töltéssűrűség-hullám fáziseloszlásának metastabil állapotára, feltárták ezen állapot több jellemzőjét, bizonyították a hullám polarizációját, nagy időtartományban megmérték a polarizáció relaxációját (Grüner György, Jánossy András, Mihály László, Mihály György, Zawadowski Alfréd).

1986-ban az IBM zürichi laboratóriumában dolgozó kutatók áttörést értek el a *magas hőmérsékletű szupravezető anyagok* előállításában, 25 K-en szupravezető anyagot fedeztek fel. 1987-ben Houstonban 92 K-en szupravezető anyagot találtak, a bejelentést követően nagyon rövid idővel az SZFKI kutatói is előállították az ittrium-bárium-rézoxid szupravezető kerámiát (Mihály László, Hutiray Gyula, Pekker Sándor, Kriza György). Újabb és újabb kerámiaanyagok előállításával párhuzamosan hozzákezdtek az új anyagok sokirányú vizsgálatához.

Az 1960-as évek közepétől *nemzetközileg kiemelkedő erős elméleti fizikai iskola* alakult ki Zawadowski Alfréd körül. Elsősorban a kondenzált anyagok fizikájával foglalkoztak, kutatásaik szoros kapcsolatban álltak a kísérleti vizsgálatokkal, a megfigyelt jelenségek megértésére, értelmezésére törekedtek. Kifejlesztették és a kondenzált anyagok fizikájában alkalmazták a folytonos renormálásicsoporthoz tartozó módszert. Nagy részecskeszámú rendszerek alacsony energiás tulajdonságait értelmezték, a módszert alkalmazták a Kondo-effektusra, egydimenziós elektronrendszerek tulajdonságait térképezték fel, kétállapotú és mezoszkópikus rendszerek tulajdonságait tanulmányozták (Menyhárd Nóra, Sólyom Jenő, Zawadowski Alfréd). Zawadowski adta meg a hagyományos szupravezetés különleges alagúteffektusának leírását. Tüttő Istvánnal a szuperfolyékony hélium elemi gerjesztéseit vizsgálta, kimutatták a két roton kötött állapotot, tanulmányozták ennek következményeit. Virosztek Attila a magas hőmérsékletű szupravezetés értelmezésére dolgozott ki új modellt. A töltéssűrűség- és spinsűrűség-hullámokkal foglalkozó kísérleti munkához kapcsolódva Tüttő, Virosztek és Zawadowski a deformálás dinamikáját elemezte. Kollár János különböző fémek és ötvözetek dinamikai és mágneses tulajdonságait számította koherens fázis megközelítésben. Fazekas Patrik a Kondo-effektus és a mágnesség elméletéhez adott értékes hozzájárulást.

Plazmafizika

Az 1970-es évek első felében a mainál lényegesen kedvezőbben, viszonylag közelinek ítélték meg a szabályozott termonukleáris fúziós reaktorok létrehozását. Az ígéretes új energiatermelési mód kutatási-fejlesztési előkészületeibe való

bekapcsolódás érdekében épült meg a tokamak kísérleti berendezés. 1979. június 12-én avatták az MT-1 tokamakot. A berendezés fő részeit a moszkvai Kurcsatov Atomenergia-intézet és a leningrádi Jefremov Intézet készítette. A tokamakban az indításkor 2,5 msec élettartamú hidrogénplazmát sikerült létrehozni 18 kA plazmaáram mellett. A tokamakon plazmadiagnosztikai vizsgálatokhoz kezdtek lágy-röntgenspektroszkópiával, lézeres módszerekkel és semleges nyalábtechnikával. (A tokamak többszöri modernizálással 1998-ig szolgálta a plazmafizikai kutatásokat, ezután lebontották.)

A nagy teljesítményű lézerimpulzus által keltett plazma visszahat a lézernyalábra, az áthaladó nyalábot a plazma fókuszálja. Bakos József és munkatársai az önfókuszálást tanulmányozva bebizonyították, hogy az önfókuszálás nagyon alacsony teljesítménysűrűségnél is fellép, és a plazma fűtése hozza létre. Ionimplantációs modellkísérletekkel tanulmányozták a reaktor falában a sugárterhelés hatására fellépő károsodásokat, a kísérleti eredmények értelmezésére kidolgozott modell képes a fellépő árkosodás jellemző hullámhosszának megjóslására (Pászti Ferenc).

Reaktorfizikai kutatások

Az 1960-as évek elejétől három évtizeden át *összehangolt elméleti és kísérleti reaktorfizikai kutatások* folytak. A reaktorfizikai számítási modellek alapvető adatokból (geometriai méretek, anyagi összetétel, magfizikai folyamatok hatáskeresztmetszetei) kiindulva, elméleti összefüggések, alapegyenletek alkalmas közelítéseinek numerikus megoldásával adják meg a fizikai mennyiségeket. Az elméleti reaktorfizikai modellek alapján gyakorlatilag is alkalmazható számítógépi programok születtek. A reaktorfizikai számítások nagy volumenű igényei mindenkor az intézeti nagy számítógép lehetőségeinek felső határát közelítették. A számítások eredményeit vagy matematikai statisztikai módszerekkel vetették össze a mérési adatokkal, vagy olyan számításokat végeztek, amelyek közvetlenül az ismert kísérleti rendszerre vonatkoztak. Erre kitűnő lehetőséget adtak a sorozatban épített zéró teljesítményű kritikus rendszerek. A számítások igényeit figyelembe vették a mérési programok kialakításánál. A kutatások Szabó Ferenc, Gyimesi Zoltán, Szatmáry Zoltán irányításával folytak, a meghatározó egyéniségek: Gácsi Lajos, Gadó János, Keresztúri András, Lux Iván, Makai Mihály, Túri László, Valkó János, Vértes Péter, Vidovszky István.

A kutatóreaktor megmaradt fűtőelemeiből állították össze 1959-ben az *SR-1 szubkritikus rendszert*, amelyet az évek során a ZR kritikus rendszerek sora követte. Az SR-1-nél a *kritikus tömeg* és a fluxuseloszlások meghatározását szolgáló kísérleteket végeztek. Az itt kapott eredményeknek fontos szerepük volt abban,

hogy később a kritikus rendszereken balesetmentesen tudtak több száz kritikus-sági kísérletet elvégezni. Az SR-1 rendszeren végzett mérésekkel ellenőrizték Pál Lénárdnak a hasadási neutrons szám ingadozását leíró, átfogó stochasztikus elméletét, a mérések igazolták a *Pál–Bell egyenlet* helyességét. Később a neutron-szám-ingadozás (*neutronzaj*) mérését fontos reaktordiagnosztikai módszerré fejlesztették. A kifejlesztett módszert, illetve az azon alapuló diagnosztikai rendszert a paksi atomerőműben és más atomerőművekben is használják.

1960. októberben helyezték üzembe a *ZR-1 kritikus rendszert*. A vízmoderátorú kritikus rendszerhez saját készítésű fűtőelemeket is felhasználtak. A ZR-1 volt az *első hazai tervezésű és építésű zéró teljesítményű reaktor*. Kidolgozták a reaktorok dinamikai viselkedését jellemző alapparaméterek mérésének módszertanát.

1962 végétől 1965 őszéig működött a *ZR-2 zéró teljesítményű reaktor*, ekkor fűtőelemeit átadták a kutatóreaktornak. A ZR-2 az előző reaktor továbbfejlesztett, jobb kísérleti lehetőségeket biztosító változata volt.

A *ZR-3* kritikus rendszeren kísérletezték ki a *kutatóreaktor rekonstrukciójának* lehetséges változatait, itt keresték meg az *optimális megoldásokat*. A rekonstrukció során megnőtt a hasadóanyag dúsítása, víz helyett berillium lett a reflektor, megváltozott a fűtőelem mérete. A kritikus rendszeren 20 zónavariánst vizsgáltak meg. A zérókísérlet biztosította, hogy a hasonló felépítésű *VVRSZ-M típusú reaktorok közül a KFKI reaktora a leggazdaságosabb neutronforrás*.

1966-ban a *BNV-n a KFKI-kiállítás szenzációja a működő ZR-4 zéróreaktor* volt, amely sugárforrásul szolgált aktivációs analitikai vizsgálatokhoz. A bemutató után a reaktor a reaktorfizikai modellek kísérleti ellenőrzésére és reaktorkinetikai vizsgálatokra szolgált. Az itteni biztonságvédelmi, reteszelő és működtető rendszerrel szerzett tapasztalatokat felhasználva épült a BME atomreaktora és a ZR-6 rendszer irányító rendszere.

A *ZR-5* kritikus rendszeren végezték el a *Budapesti Műszaki Egyetem atomreaktorjának nukleáris tervezéséhez* szükséges kísérleteket. Több zónakonfiguráció vizsgálata után döntöttek a végleges elrendezésről. Bebizonyosodott, hogy a KFKI számítási modelljének eredményeit elegendő kisszámú, speciálisan kiválasztott és nagy pontossággal elvégzett mérés útján ellenőrizni, és a legtöbb probléma biztonságosan megválaszolható a számított eredmények alapján.

Hét KGST-ország 1971-ben *Ideiglenes Nemzetközi Kutatókollektívát* alapított, mely a *KFKI-ban dolgozott, itt építették fel a ZR-6 modellreaktort*. A kollektíva feladata az volt, hogy pontos reaktorfizikai adatokat („benchmark”) szolgáltatson az erőművi VVER reaktorok tervezéséhez és üzemeltetéséhez, és segítsen a VVER-1000 reaktorra jellemző jelenségek megértésében. 1972. november 28-án volt az első kritikus-sági kísérlet. 1990. november 27-én a ZR-6 kritikus rendszer tudományos tanácsa befejezettnek nyilvánította a programot, a reaktort 1991-ben

leszerelték. 1972 és 1990 között 335 különböző zónakonfiguráción kb. 8000 nukleáris üzemórán keresztül 15-féle méréstípuson közel 60 külföldi és magyar kutató dolgozott a reaktoron. Az elvégzett munkáról mintegy 500 belső riport készült. Az összesített adatok 5 kötetben jelentek meg angol és orosz nyelven.

Az eredmények fontos részét képezik az együttműködésben részt vevő intézetek tudásbázisának, de a mérési eredményeket hasznosították a *VVER-1000 reaktorok nukleáris tervezése* során is, és a publikált adatbázist *energetikai világcégek* (Siemens, CEA, Westinghouse) reaktorfizikai számítások érvényességének ellenőrzésére használják. Az Egyesült Államok Energetikai Minisztériumában készül a reaktorfizikai számítások standard ellenőrzési bázisa, ennek részei a ZR-6-adatok is. A *paksi atomerőműben* a sűrített rácsosztású kiégettűtőelem-tároló szubkritikusági tervezésénél a *ZR-6-méréseket és a ZR-6-on kipróbált számítási modelleket* alkalmazták, a reaktorzóna tervezésére használt reaktorfizikai modell ellenőrzésének egyik alapja a ZR-6-méréssorozat adatbázisa, az erőmű biztonságos üzemvitelét nagyban javító VERONA zónamonitorozó rendszert szintén a ZR-6 adatbázis alapján ellenőrizték.

Az 1987–90-ben kidolgozott KARATE számítógépi programrendszer az 1000 MW-os erőművi reaktorok modellszámításait szolgálja, egyesíti a neutronfizikai és a termohidraulikai modelleket. A programrendszerrel számíthatók a névleges működési feltételek, a kiegészítés, a xenon és szamárium tranziensek és bizonyos baleseti feltételek is. Módosított változata a 440 MW-os blokkok számítására alkalmas.

Termohidraulikai kutatások

Az 1960-as évek elején kiterjedt elméleti és kísérleti vizsgálatok folytak *szerves moderátorú és hűtőközegű reaktorok* építésének előkészítésére. A Kémiai Főosztályon szerves moderátor anyagokat vizsgáltak, alkil-difenil származékokat és deuterizált difenileket állítottak elő. A korábban javasolt anyagokkal szemben kimutatták a difenil-difenilmetán eutektikus elegy kedvezőbb sajátosságait (Kiss István, Kósa Somogyi István, Roder Magda, Szabó Elekné). A szóba jöhető szerves vegyületek reaktorviszonyok közti viselkedésének tanulmányozására zónahurkot építettek a kutatóreaktorba.

A zéróreaktorhoz hasonló feladatra szolgálnak a *termohidraulikai kísérleti berendezések*. Adatokat szolgáltatnak a termohidraulikai számítások érvényességének az ellenőrzéséhez és segítik a különböző üzemzavari állapotok részleteinek a felderítését. A mai értelemben vett termohidraulikai kutatások 1970-ben kezdődtek. 1975-re készült el az NVH (Nagynyomású Vízhűtéses Hurok) termohidraulikai kísérleti berendezés, amely a VVER-440 és a VVER-1000 típusú

atomerőművi reaktorokban lejátszódó hőátadási és hidrodinamikai folyamatok vizsgálatára szolgál. Az NVH infrastruktúráját felhasználva unikális eszközt hoztak létre a hűtőközeg keveredésvizsgálatára VVER-440 típusú fűtőelemköteg-modellen, meghatározták a fűtőelem-csatornák közötti keresztáramlás mértékét.

Az MTA és a Szovjetunió Állami Atomenergia-bizottsága közötti, 1979-ben aláírt egyezmény keretében az NVH berendezéseinek kritikus hőfluxus-vizsgálatokat végeztek a VVER-1000 típusú zónákra vonatkozóan. A kísérleti rendszer üzemi paraméterei megegyeznek a fejlesztés alatt álló 1000 MW-os reaktor jellemzőivel. A nyolc évre tervezett program során arra kaptak választ, hogy reális fűtőelemköteg-geometriák esetén megfelelő-e a típusra alkalmazott kritikus hőfluxus-korreláció. A tudományos és hatósági engedélyezés szempontból is fontos válasz igen volt.

1985 óta működik a Paksi Modellkísérlet (PMK) kísérleti berendezés, a *paksi atomerőmű primerkörének termohidraulikai modellje*. Ez az első eszköz a működő VVER típusú atomerőművek tanulmányozására, az eszközzel a kis és közepes folyások, a természetes cirkuláció és az üzemzavari tranziens-jelenségek jelentős köre vizsgálható. A VVER típusra ezeket az adatokat korábban nem vizsgálták, a nyugati kísérleti eredmények pedig a típuseltérések miatt nem használhatók fel közvetlenül. A nyert adatok a fizikai folyamatok megértését, a számítógépi programok kísérleti ellenőrzését, az erőművi üzemviteli szabályzat kidolgozását és az operátorképzést szolgálják.

A számítógépi kódokat, programrendszereket kísérletekkel ellenőrzik. Eredményesen vettek részt a Nemzetközi Atomenergia-ügynökség kódvalidációs gyakorlatain, hűtőközeg-elvesztéses üzemzavari állapotokat modelleztek a PMK berendezésen. Az adatbázis bővítésére más kísérleteket is végeztek. A termohidraulikai kutatásokban Szabados László, Maróti László, Tóth Iván, Vigassy József játszott vezető szerepet.

Kémiai kutatások

Berei Klára és Vasáros László a magreakciókban keletkező, nagy kinetikus energiájú, „forró” atomok kémiájának területén elért eredmények alapján addig ismeretlen szerves asztáciumvegyületeket szintetizáltak, majd kromatográfiás módszerekkel azonosították őket és meghatározták tulajdonságaikat.

Egymástól csak stabilis izotóp-összetételükben különböző vegyületek termodinamikai és spektroszkópiai tulajdonságait vizsgálva fontos megállapításokat tettek tiszta folyadékok és oldatok szerkezetével kapcsolatosan. A kondenzált fázisú izotópeffektus-kutatások keretében kísérletileg meghatározzák az izotóphelyettesítés által előidézett változásokat, ezekből következtetnek az intermole-

kuláris kölcsönhatások és a kondenzált fázis szerkezete közötti összefüggésekre (Jancsó Gábor, Jákli György, Kiss István).

Matus Lajos és Opauszky István tömeg-spektrometriás és ionsugaras módszerekkel egy sor gázfázisú reakció sebességi viszonyait határozta meg, felderítették az elemi ütközések részletes atomi mechanizmusát is.

Nyikos Lajos, Pajkossy Tamás és Schiller Róbert fémek és vizes oldatok háttértegeinek elektrokémiai vizsgálata során kimutatta a fémfelszín fraktális geometriájának a transzportfolyamatok kinetikájában játszott szerepét. Az *elektrokémiai kinetika* alapkutatói eredménye az atomreaktorok korróziós problémáihoz és a napenergia konverziójához kapcsolódik.

Schiller Róbert szabadon mozgó, ún. felesleg-elektronok transzport-tulajdonságait értelmezte az anyagok dielektromos tulajdonságai és statisztikus mechanikai viselkedése alapján. Nagy Gáborral és Vértés Ákossal az atomi hidrogén interkalációját és transzport-tulajdonságait mérték és értelmezték fém-oxidokban.

Elektronikai kutatás-fejlesztés

A gyakran használatos műszerek, egységek (számlálók, erősítők, diszkriminátorok stb.) fejlesztése közben hamar megszületett a felismerés, hogy érdemes azonos mechanikai és elektronikus fellépítésű, egységes elvek alapján működő *műszercsaládokat* kialakítani. Az első, ún. „subrack” rendszer elektroncsöves felépítésű volt, fejlesztése 1964-ben zárult le. A Bába Miklós vezetésével kifejlesztett mintegy 40 egységet a Gamma Optikai Művek vette át gyártásra. Elsősorban a gamma-spektroszkópiában szükséges egységekből állították össze a Szabó László vezetésével kifejlesztett „modulrendszerű nukleáris műszercsaládot”. 1958-tól egy évtized alatt 30 különféle tranzistoros, majd integrált áramkörökre alapozott modult dolgoztak ki, a modulokból mintegy 1500 darabot gyártottak le. A harmadik műszercsalád a „nukleáris ipari műszercsalád” (NIM); a Pellionisz Péter és Pallagi Dezső vezetésével kifejlesztett rendszer az 1970-es évek végén 60 modulból állt. NIM-egységekkel szerelték fel a csillebérci kutatóreaktort, a BME tanreaktorát és egy finn kutatóreaktort. A műszercsaládot a Gamma Optikai Művek gyártotta tovább.

A számítógépek megjelenése lehetővé tette a laboratóriumi vagy ipari mérési adatok közvetlen feldolgozását, és megfordítva: a mérések, az ipari folyamatok számítógépes vezérlését. Az 1960-as évek végén az ESONE (European Standard on Nuclear Electronics) nemzetközi szervezet alakította ki a CAMAC szabványrendszert: egységesítették a valós idejű adatgyűjtő, ellenőrző, szabályozó perifériák és a számítógépek illesztését. Az ESONE munkájában, a szabványok kidol-

gozásában a kezdettől aktívan részt vettek a KFKI munkatársai. Biri János kidolgozta a hazai modulcsalád rendszertechnikai tervét, majd a KFKI több fejlesztő csoportjában megkezdődött a modulok tervezése. 1973-tól már sorozatban, nagy mennyiségben gyártották a modulokat. 1975-re dolgozták ki az intelligens keretvezérlőt: a mikroprocesszorral alapozott rendszerben nem a csatlakozó külső számítógép, hanem maga a CAMAC vezérlő képviseli az intelligenciát. 1978-ban BNV-nagydíjat kapott a programozható modulcsalád, az intelligens CAMAC rendszer. A TPA gépek újabb és újabb típusainak megjelenésével párhuzamosan rendre megoldották az új számítógéptípus és a CAMAC rendszer összeilleszthetőségét. 1987-ben készült el az IBM PC és a CAMAC rendszer összhangját biztosító illesztőkártya. Összesen mintegy 160 különböző CAMAC modult fejlesztettek ki és alkalmaztak Almási Lajos, Biri János, Somlai László és Szabó László vezetésével. A KFKI *Európában elsőként készített ipari környezetben alkalmazható CAMAC modulokat*. Az elemek nagy száma tette lehetővé, hogy az intézet sokféle, nagyon eltérő számítógépes feladat megoldására vállalkozzék. A legnagyobb megépített rendszer közel 1500 CAMAC modult tartalmazott. Az 1980-as évek második felében, a CAMAC-nál jóval kisebb darabszámban az új (VME, multibusz) szabványoknak megfelelő modulok is készültek.

A mikrovilág történéseiről mérőeszközök elektronikus jelei adnak hírt. Sokféle méréstípusnál visszatérő feladat az elektronikus jelek nagyság (amplitudó) szerinti szétválogatása, a jelek eloszlásának rögzítése. Ezt a feladatot végzik el a *sokcsatornás analízátorok*. Az analízátor először a mérőműszer analóg jelét digitális jellé alakítja (A/D konverter), majd a digitális információt tárolja, különböző szempontok szerint rendezi, feldolgozza. A sokcsatornás analízátor csatornáinak a száma arra utal, hogy a konverter az adott méréstartományban hányféle nagyságú jelet képes megkülönböztetni, milyen finom felbontásra képes. Az újabb és újabb analízátorok A/D konvertereinek fejlesztésében Biri János szerepe volt meghatározó. A sokcsatornás analízátor közvetlen elődje az egycsatornás megoldás, Ember György, illetve Szabó László építette az első példányokat 1955-ben. 1957-58-ban Zsdánszky Kálmán és Lukács József 20 csatornás analízátort készített. 1959-ben kezdett működni az első, később széles körben alkalmazott típus, a *128 csatornás, elektroncsöves, ferritmemóriás amplitúdóanalízátor*, amelynek megalkotásában Baránszky J. Imrének és Sándory Mihálynak volt fontos szerepe. A típus sorozatgyártása 1961-ben indult meg a KFKI-ban. Ezzel párhuzamosan Lukács József és Iványi Gyula már a japán tranzisztorokra alapozott következő generációs típus fejlesztésén dolgozott, 1964 végén már működött az első *256 csatornás tranzisztoros analízátor*. 1965-től gyártották a 256/512 csatornás, ún. A modellt, a később gyártásba vett B modell szintén 256/512 csatornás volt. A *KGST-ben Magyarországé lett az analízátorfejlesztési és -gyártási profil*. A KFKI

1969-ben az analizátor gyártási jogát átadta az Elektronikus Mérőkészülékek Gyárának.

Az analizátorok logikai funkcióinak rendszertechnikai elemzése alapján Sándory Mihály dolgozta ki az osztott egységekből felépülő 4096 csatornás analizátor koncepcióját. Ezekre a nagy analizátorrendszerekre alapozva alakítottak ki a nagyberendezések mellett több fizikai mérőközpontot (pl. az atomreaktor és a gyorsító melletti mérésekhez), ahol a mérési feladatnak megfelelően építették fel részegységekből a rendszert. Az ekkor kifejlesztett új mérőegységek idő- és mátrix méréseket is lehetővé tettek. Az adott célra létrehozott mérőközpontok keltették fel az igényt a számítógépek iránt, a fix huzalozás helyett az összehasonlíthatatlanul nagyobb rugalmasságot biztosító programvezérlésre lenne szükség. Ekkor jelent meg a külföldi piacokon a Digital Equipment Corporation PDP-8 számítógépe. A KFKI-ban hozzákezdték a PDP-vel csak utasításrendszerében kompatibilis, de saját fejlesztésű áramkörökre épülő számítógép megalkotásához. 1968-ra készült el az első „Tárolt Programú Analizátor” (vagy Adatfeldolgozó), vagyis az első TPA-1001 típusú számítógép.

Az integrált áramkörökből épített sokcsatornás analizátor alaptípusa az ICA-70 az 1970-es évek elején készült el Blasovszky Miklós vezetésével, 1980-ban már a 200. példányt szerelték össze a kísérleti üzemben. Ez a típus már a számítógépkorszak szülötte, az analizátor számítógéphez illeszthető, ezért elődeinél rugalmasabban használható fel. A személyi számítógépek megjelenése után Somlai László és Nemes Tibor fejlesztette ki a PC-hez illeszthető analizátor-kártyát, amelyet napjainkban is gyártanak.

Számítógépek fejlesztése

A KFKI-ban tervezett és épített *első számítógép a TPA-1001* 12 bit szóhosszúságú, 4k szó operatív tárolóval rendelkező tranzistoros, második generációs kisszámítógép volt. A szakmai nyilvánosság előtt 1968 őszén a Neumann János Számítógéptudományi Társaság konferenciájához kapcsolódó kiállításon mutatták be Esztergomban.

A számítógép-építés logikus lépés volt a sokcsatornás analizátorok fejlesztésének, építésének folytatásaként. Az amerikai Digital Equipment Corporation (DEC) laboratóriumi célokra kitűnően alkalmazható, közvetlenül a mérésekhez is illeszthető kisszámítógépe, a PDP-8 1965-ben jelent meg a piacon, Magyarországon azonban e gépeket az embargós megszorítások miatt nem importálhatta. A hazai fejlesztők olyan hardvert terveztek, hogy az végrehajtsa a DEC által kiadott kézikönyben leírt funkciójú utasításokat, az áramkörök Toshiba tranzisztor alkatrészbazison készültek. Az első számítógép a Tárolt Programú Analizátor

(vagy Adatfeldolgozó) nevet kapta, mert a hivatalos szervek nem a KFKI feladatának szánták a számítógép-építést. A kisszámítógép sikert aratott, megindult a sorozatgyártása a KFKI-ban. Ezzel párhuzamosan hozzákezdtek a következő generációs gépcsald fejlesztéséhez.

Az alkatrész-technológiák gyors fejlődését követve egyre korszerűbb eszközök felhasználásával tervezték az újabb típusokat. Integrált áramkörök felhasználásával készült a TPA/i hardverje, az ugyancsak PDP-8 kompatibilis TPA/L géptípus nevében az L az LSI (nagy integráltsági fokú) processzorra utal. A PDP-8 kompatibilis, 12 bit szóhosszal dolgozó TPA-család újabb és újabb tagjainak a fejlesztése az 1980-as évek elejéig tartott. A második generációs TPA-család kifejlesztése, gyártásának megindítása elsősorban Bánki Ferenc, Binder Gyula, Bogdány János, Iványi Gyula, Lukács József, Nyitrai Zoltán és Sándory Mihály nevéhez fűződik. Külön ki kell emelni Sándory Mihályt, akinek vezetőként kulcsszerepe volt a program megindításában és végrehajtásában.

Az 1970-es évek elején az Egyesült Államokban megjelent a piacon a Data General és a Hewlett–Packard 16 bit szóhosszúságú gépe. A KFKI-ban 1974-re készült el az első *16 bites gép, a TPA-70, amely saját hardver- és szoftverkonstrukció volt.* Az integrált áramkörökkel épített gép a tervezők 12 szabadalmazott hardvermegoldását tartalmazta. A korszerű, rugalmas architektúrájú szerkezetet bevizsgálta az amerikai nagy számítógépgyártó cég, a Control Data Corporation, és igen jó bizonyítványt állított ki róla (Bogdány János, Iványi Gyula, Kántor Judit, Reé Örs, Szabó Zsolt).

A DEC 16 bites új sorozatú gépe, a nagyon sikeres PDP-11/40 az 1970-es évek elején került piacra. A TPA-11 család első tagja, a TPA-11/40 a PDP gép pontos mása volt, a további típusok már részben saját fejlesztésűek. A TPA-11/440 egy hosszabb távú architektúrákutató-fejlesztési program eredményeként született meg, 1984-ben nagydíjat nyert a BNV-n, a megamini gép elsősorban a többfelhasználós környezetben jelentett lényeges előrelépést a korábbi kis gépekhez képest (Lőrincze Géza).

A DEC 32 bites VAX és MikroVAX gépeinek a TPA-másolatai is elkészültek, majd saját fejlesztéssel növelték meg a gép sebességét.

A KFKI számítástechnikával foglalkozó szakemberei Szlankó János vezetésével az 1980-as évek közepétől egyre inkább a szoftverfejlesztés, az alkalmazások, a rendszerintegráció felé fordultak. Így amikor 1989-ben az embargó megszűntével a magyar piacon is megjelentek az eredeti DEC-gépek, a DEC 1990-ben közös vállalatot alapított a KFKI-val, és a DEC-követő fejlesztés és gyártás leállt, megalakult a KFKI Számítástechnikai Rt., amely az informatikai szolgáltatások terén ma az ország egyik vezető vállalata.

A negyedszázad alatt megépített, közel 1500 TPA számítógép felhasználásáról az alkalmazások között adunk rövid áttekintést, ugyanott szerepelnek a KFKI-ban kifejlesztett és épített számítógép-perifériák is.

Egyedi műszerek, berendezések

Négy évtized alatt nagyszámú egyedi berendezés épült az intézetben. A nagyobbakról a tudományos témák bemutatásánál már szóltunk. Az alábbi néhány példa csak a sokszínűség további illusztrálását célozza.

1963-ban Fóti Ernő vezetésével készült el az első hazai *elektronsugaras hegesztőberendezés* prototípusa, később kidolgozták az ipari célokra alkalmas változatot is.

Az MSZI orvosokkal együttműködve kórházi-klinikai felhasználásra alkalmas *automatikus számítógépes EKG diagnosztikai rendszert* hozott létre az 1970-es évek végén, a berendezés továbbfejlesztett változata 1985-ben nagydíjat nyert a Budapesti Nemzetközi Vásáron. A Szlávik Ferenc vezetésével megalkotott rendszert a Medicor gyártotta. A Cardiplot számítógépes rendszer a *testfelszín elektromos feltérképezésére* szolgál, az első ilyen az 1980-as évek elejétől az Országos Kardiológiai Intézetben működött. Újdonság a rendszerben használt lényegkiemelési eljárás. A felületi térképezési rendszert folyamatosan továbbfejlesztették (Kozmann György). A SATELLITA klinikai kémiai analizátor vér- és vizeletminták sok paraméteres automatizált analizálására szolgál, a KGST mintarendszernek fogadta el, több hazai kórházban telepítették (Szőke József).

Az SZFKI-ban a több évtizedes mágneses kutatási tapasztalatokra alapozva ipari feladatokra használható mérőberendezéseket fejlesztettek ki. A fémek *roncsolásmentes anyagvizsgálatát* szolgáló műszerek a *mágneses jellemzők és az örvényáramok mérése* alapján lehetőséget adnak az alapanyagok azonosítására, a hőkezelések ellenőrzésére, a keménység, a bevonatok és a rétegvastagság mérésére, a mikrostruktúra ellenőrzésére, a mechanikai feszültségek mérésére, a fáradás vizsgálatára, a rejtett hibák, zárványok kimutatására. A Tóth Ferenc vezetésével kifejlesztett célberendezéseket meghatározott feladatkörre optimalizálták.

A részecskefizikai kísérletekben használatos sokszálas proporcionális kamerákhoz és hasonló detektorokhoz a *szálak feszességének mérésére alkalmas berendezést* fejlesztettek ki 1977-ben az RMKI-ban. A készülék világviszonylatban újdonság volt, a dubnai EAI-nak szállított berendezéseken kívül a genfi CERN kutatóközpont és a saclay-i részecskefizikai intézet is rendelt belőle.

Az 1970-es években kifejlesztett 200 csatornás *sztochasztikus analizátor* készülékcsalád sztochasztikus jelekből származtat diagnosztikai információkat, a Pellionisz Péter vezetésével kifejlesztett moduláris felépítésű mérőrendszer kor-

relációfüggvényeket, Fourier-spektrumokat, amplitúdó-eloszlásokat ad meg. A rendszert az Elektronikus Mérőkészülékek Gyára vásárolta meg.

Arató András és Vaspöri Teréz vakok számára fejlesztette ki 1984-ben a Brailab *beszélő számítógépet*. A Lukács testvérek által kifejlesztett Homelab-3 számítógépre alapozták a kötetlen szótáras rendszerrel működő gépet.

Az RMKI-ban a Magyar Honvédség repülőszakembereivel együttműködve *vadászipülőgépeken* és helikoptereken alkalmazható elektronikus *fedélzeti adattörzítő* és számítógépes kiértékelő rendszert dolgoztak ki 1989-ben (SZIROM rendszer). A szabadalmakat megvásárolta a Szovjetunió, az eszközt rendszeresítették a Magyar Néphadseregben.

Tudományos eredmények a gyakorlatban

Az intézet alapításától kezdve kitűzött cél és gyakorlat volt a tudományos eredmények alkalmazása, hasznosítása. Ezek sorából kiemelkedik a nukleáris ismeretek sokfajta alkalmazása, az izotópgyártástól a reaktorirányításig. A kísérleti kutatások igényeinek kielégítésére fejlesztették ki a sokcsatornás analizátorokat, majd a TPA-család számítógépeit. A nukleáris és számítástechnikai ismeretek ötvöztetésével valósultak meg olyan nagy munkák, mint az erőművi atomreaktorok irányítórendszereinek megépítése. A magfizikai és szilárdtest-fizikai alapkutatósokból ötvöződtek az anyagtudományi kutatások, ezeket a számítógépi memóriák és különböző félvezető eszközök előállításánál alkalmazták.

Radioaktív izotópok előállítása

A Radiológiai Osztály 1951-ben a radioaktív sugárzás problémái hazai kutatásának megindítását kapta feladatul. A teendők között szerepelt mérőberendezések és -eljárások tervezése és kivitelezése, valamint „a népgazdaság és az orvostudomány által számára alkalmanként feladott problémák” megoldása. Mire 1954. szeptemberben a Szovjetunióból megérkeztek az első mesterségesen előállított radioizotóp-szállítmányok, az osztály minden szempontból felkészülten állt a fogadásukra. Megalakult a Magyar Tudományos Akadémia Központi Izotópbizottsága Straub F. Brunó akadémikus elnöklétével, a sugárvédelemmel kapcsolatos elvi és gyakorlati tennivalókat Bozóky László irányította. A Radiológiai Osztály ősszel rendezte meg az *első izotóptanfolyamot* az országban, ehhez részletes jegyzetet írtak. A Radiológiai Osztályon az izotópcsoport *alapvető mérési eljárásokat és kísérleti berendezéseket* fejlesztett ki. Foszfor- és jódizotópokkal jelzett gyógyszereket készítettek. Izotópos nyomjelzéses módszert dolgoztak ki alumí-

niumkohókhoz az olvadék térfogatának mérésére és az áramlási viszonyok tanulmányozására.

Az Atomfizikai Osztályon 1954-ben, Magyarországon először, mesterséges radioaktív izotópot állítottak elő. Deuteronokat gyorsítottak a 800 kV-os kaszkádgenerátorban, majd neutronbesugárással állítottak elő radioaktív ezüstöt. 1955-ben a 800 kV-os kaszkádgenerátornál létrehozott neutronokkal radioaktív ezüst-, arany-, bróm-, jód- és mangánizotópokat állítottak elő. 1956. augusztusra készültek el a Kémiai Osztály izotóplaboratóriumai, üzembe helyezték a bór-10 izotópdúsító berendezést. A Kémiai Osztályon 1958-ban rövid felezési idejű izotópok készítéséhez szükséges eljárásokat dolgoztak ki, az év végére 18-féle izotóp előállítására készültek fel (Kiss István, Molnár Ferenc, Molnár József, Tóth Géza).

1959. áprilisban állították össze a *kutatóreaktor első izotópgyártási programját*. Ebben nátrium-24, kálium-42, króm-51, vas-59, ittrium-90, ezüst-110, jód-131 és arany-198 izotópok előállítása szerepelt. A próbakészítmények tisztasága elérte vagy meghaladta az importált szovjet és angol készítmények tisztaságát. 1961-ben már 25-féle izotóp készült 35 különböző vegyület formájában. 1961-ben megindult a radioaktív jód-131 izotóp gyártása.

A Magkémiai Laboratórium 1962-ben fokozatosan átadta az izotópgyártást az OAB Izotópinvézetének: 1963-ban már csak jód-131 és fluor-18 gyártásával foglalkoztak. 1965-ben a Kémiai Főosztályon gazdaságos eljárást dolgoztak ki az egyik legértékesebb nemesgázvegyület, a *xenonfluorid* előállítására, s ezt eredményesen használták fel jód-125 gyártására (Gróz Péter).

Néhány példa a nukleáris ismeretek alkalmazására

A Kémiai Osztály a Nehézipari Minisztérium Uránipari Főosztályának megbízásából 1956-ban megkezdte a *hazai uránérc komplex kémiai vizsgálatát*, s ennek keretében Fodor Miklós és Bakos László új uránanalitikai eljárásokat dolgoztak ki. A Pécsi Uránércbánya Vállalat 7 majd 18 munkatársa Csillebércen dolgozott. A KFKI nukleáris műszereket is készített a bánya üzemi laboratóriuma részére. A technológiai kutatásokat 1958 tavaszán a Fémipari Kutatóintézetbe helyezték át, később csak uránkémiai alapkutatások folytak Csillebércen. A Nehézipari Minisztérium megállapította, hogy az osztály „a hazai uránérc-feldolgozás kutatása terén úttörő és alapvető munkát végzett”.

1973-ban a Sugárvédelmi Főosztály (Fehér István, Csőke Antal) és az Országos Onkológiai Intézet együttműködésében a *daganatos betegek sugárkezeléséhez* kidolgozták az *utántöltős (after loading) technikát*. A beteg testébe behelyezett speciális applikátorba (illetve a kezelés után vissza a tárolóba) pneumatikusan juttat-

ják el az acélgolyókba zárt kobalt sugárforrásokat. Az Egri Béla által továbbfejlesztett változatot 6 magyar sugárterápiás központ használja rutinszerűen.

1964-ben helyezték üzembe az *egésztestszámlálót*, ez volt az országban a második készülék. (Az első 1963. áprilistól üzemelt az Országos Onkológiai Intézetben.) Árnyékolásához a régi Erzsébet hídnak a Dunából kiemelt roncsait használták föl, mivel a nukleáris fegyverkísérletek előtt gyártott vasaknak még rendkívül kicsi az aktivitása. A berendezés a KFKI és az Izotópintézet belső sugárterhelésnek kitett dolgozóinak rendszeres vizsgálatát szolgálja (Andrási Andor, Fehér István).

A reaktor egyik vízszintes csatornájánál végzik az egymást jól kiegészítő *neutron- és gamma-radiográfiai* vizsgálatokat. A roncsolásmentes anyagvizsgálati módszerek egyik fontos alkalmazása volt a jászberényi Lehel Hűtőgépgyár számára végzett vizsgálat, melyben neutronradiográfiával tárták fel a hűtőszekrények csőrendszerében keringő folyadék, illetve gáz mozgását (Balaskó Márton).

Kémikusok a Nemzetközi Atomenergia-ügynökség felkérésére a kiégett fűtőelemek tárolásával kapcsolatos *korróziós méréseket* végeztek. A paksi atomerőmű részére atomerőművek vízháztartására vonatkozó számítások készültek, reaktoranyagok korrózióját vizsgálták (Nyikos Lajos, Pajkossy Tamás, Schiller Róbert, Vass Szabolcs).

1986. április 26-án *reaktorbaleset történt Csernobilban*. A KFKI környezetellenőrző rendszere április 29-én a levegőben nyomnyi radioaktív jód- és céziumizotópot talált, este 8 és 9 óra között észlelték először a megnövekedett sugárzást: 300 nanogray/h terhelést mértek (a szokásos természetes háttér 80-100 ngray/h). A Sugárvédelmi Főosztály munkatársai heteken át rendszeresen mérték a levegő radioaktív aeroszol- és jódgőz-koncentrációját, valamint izotópösszetételét, a talajra kihullott izotópok mennyiségét és összetételét, a talaj izotópspecifikus szennyezettségének mértékét, a gamma-dózisteljesítmény változását, az emberi testbe került radioaktív izotópok mennyiségét, különös tekintettel a radiojódra, valamint az intézetbe szállított élelmiszerminták (tej, hús, gyümölcs) radioaktív szennyezettségét. A mérési adatokat naponta a Polgári Védelem Országos Parancsnokságának (PVOP) rendelkezésére bocsátották. A PVOP szakembereivel együtt hordozható műszerekkel bejárták az országot, és felmérték a radioaktív szennyeződés eloszlását. Megállapították, hogy egyes északi és nyugati területek a legszennyezettebbek, míg az alföldi és a tiszántúli régiókban a szennyezettség ennek csak mintegy tizede. Napok alatt kidolgozták és megvalósították a tej radioaktivitásának a tartálykocsikban történő közvetlen, gyors mérését. A határőrszerveket hordozható műszerekkel látták el a határforgalom ellenőrzésére. A mérések alapján május 10-én a nyilvánosság elé tárták, hogy a lakosság 70 év alatti várható sugárterhelését 1-2 millisievertre becsülik, ez a ter-

mészetes sugárterhelés félévi-évi értéke. A későbbi évek részletes hazai és nemzetközi szakértői vizsgálatai alapján megállapítható, hogy a magyar lakosság csernobili sugárterhelése nem lépi túl az 1 millisievertet. Május 25-én Szatmáry Zoltán AEKI-igazgatóhelyettes a bécsi magyar nagykövetségen tájékoztatta a nemzetközi sajtót a csernobili szerencsétlenség magyarországi kihatásairól. A baleset utáni évtizedben az intézet munkatársai nyomon követték a levegő radioaktív szennyeződésének változását, megmérték az emberi test radiocézium-tartalmát, ebből meghatározták a belső dózist, az ország területén mozgó laboratóriummal vizsgálták a talaj radiocézium-szennyeződésének mértékét.

Anyag- és szerkezetvizsgálati módszerek

A KFKI-ban az évtizedek során nagyszámú vizsgálati eljárást honosítottak meg, fejlesztettek tovább, dolgoztak ki. Az 1980-as évek közepén 24 modern vizsgálati módszer állt rendelkezésre. Ezek egy része a tudományos eredményeket bemutató fejezetben már szerepelt (Mössbauer-effektus, pozitronannihiláció, neutronszórás, Rutherford-visszaszórás, channelling, PIXE stb.), más eljárásokat az alkalmazások között ismertetünk (neutronradiográfia, aktivációs analízis stb.).

A *szikraionforrásos tömegspektrometria* nagy érzékenységű, minden elemre kiterjedő analitikai módszer. A vizsgálandó mintából készített két elektród között szikrakisülést hoznak létre, a keletkezett ionokat elektromos és mágneses terekkel választják szét, a tömegspektrumból minőségi és mennyiségi analízis végezhető. Az acél- és alumíniumipar számára végeztek elemzéseket, félvezetők, fémüvegek, vegyszerek nyomszennyeződéseit mutatták ki (Matus Lajos, Opauszky István).

Az intézetben 1976 óta foglalkoztak *akusztikus emisszióval*, Pellionisz Péter vezetésével. A mérőberendezés a mechanikai terhelésnek alávetett anyag belső hibáinak keletkezését és terjedését a kísérő finom hangjelenség elemzése révén észleli. A módszerrel nyomás alatti tartályok, műanyagok, kőzetek törésmechanikai állapotát határozzák meg, helikopterlapátokat, repülőgépek hidraulikus berendezéseit is vizsgálták. 1983-ban készült el az autóbuszba telepített akusztikus emissziós mozgó anyagvizsgáló laboratórium, mely 32 detektor hangjeleit dolgozza fel. A paksi atomerőmű a mérőberendezést évente használja a reaktor-tartályok nyomáspróbájánál.

Az 1980-as évek elején a műholdak mechanikai struktúrájának vizsgálatához dolgozták ki a *vibrációdiagnosztikai* eljárást Ránky Miklós vezetésével, majd ezt iparilag is használható méréstechnikává fejlesztették. A módszernek fontos szerepe volt a VEGA űrszondák műszereinek mechanikai vizsgálatában, majd gépek megbízhatóságának és vasúti kerekeknek a vizsgálatára alkalmazták.

Aktivációs analízis

Az aktivációs analízis nagyon kis anyagmennyiségek kimutatását teszi lehetővé. A mintát neutronokkal sugározzák be, a gerjesztett atomok gamma-sugárzása jellemző az anyagra, ennek mérésével azonosítható az izotóp, és mennyisége is meghatározható. A KFKI-ban három különböző technikát fejlesztettek ki, ezek elsősorban a neutronforrásban különböznek. Neutronforrás az *atomreaktor*, amelybe csőpostán, pneumatikus mintatovábbító juttatja be a vizsgálandó anyagot. Az OAB kezdeményezésére a Magkémiai Laboratóriumban már 1960-ban elvégezték az első elemzéseket, reaktorban besugárzott szilíciumminták tellúrtartalmát határozták meg (Szabó Elek, Ördögh Mária). Az 1980-as években már 70 elemből 0,01 mikrogrammnál kisebb mennyiségek kimutatására volt képes a laboratórium. Vizsgálták a mikroelektronikai alkatrészek nagy tisztaságú alapanyagait, atomerőművi szerkezeti anyagokat, biológiai minták mikroelemtartalmát határozták meg, geológiai minták ritkaföldfém-tartalmát elemezték. Rendőrségi nyomozásokhoz is végeznek elemzéseket. Simonits András új, magfizikai és reaktortechnikai megfontolásokon nyugvó eljárást dolgozott ki a mennyiségi hitelesítés megkönnyítésére (k_0 -módszer).

A *neutrongenerátoros* aktivációs analízisnél gyors, nagyenergiájú neutronokkal sugározzák be a mintát. Az első kísérletek a magfizikusok neutrongenerátoránál folytak, majd megépült a „*hordozható*”, kisméretű, könnyen telepíthető NA-2 neutrongenerátor (Pásztor Endre). A kisméretű gyorsítót és a hozzátartozó mérőrendszereket a KFKI gyártotta. 1967-ben a Dunai Vasműben üzembe helyezték a Vorsatz Brunó vezetésével kifejlesztett neutrongenerátoros labort, melylyel gyártás közben lehet ellenőrizni az *acélok oxigéntartalmát*. *Európában ez volt az első* ilyen rendszer, a vasmű jelentős megtakarítást ért el vele. Hasonló feladatra alkalmaztak egy rendszert Győrben a Rába gyár öntödéjében, külföldön pedig 12 neutronaktivációs laboratóriumot értékesítettek.

A harmadik módszer a *zártforrásos analitika*: az izotópos neutronforrást tartalmazó műszer főként nitrogén és klór kimutatására alkalmas. Az ezen az elven működő autoPRODET és contiPRODET műszereket állati takarmányok *nyersfehérje-tartalmának* kimutatására dolgozták ki.

Erőművi és más atomreaktorok diagnosztikai és irányítórendszerei, szimulátorok

A KFKI az Országos Atomenergia-bizottság felkérésére 1961-től dolgozott a *Budapesti Műszaki Egyetem atomreaktorának* az előkészítésén. 1971. május 22-én a KFKI kutatói helyezték üzembe a reaktort (Szabó Ferenc, Frankl László), elvé-

gezték a helyszíni bemérést. A KFKI-ban folyt a reaktorzóna nukleáris tervezése, megalkották és kiviteleztek a vezérlés, védelem és mérés rendszereit; megépítették az aktivációs analitikai célokat szolgáló csőpostát. 1979-ben a tanreaktor új nukleáris műszerrendszerét az AEKI-fejlesztésű Nukleáris Ipari Műszer család egységeiből készítették el.

1979–80-ban a *Líbiában* létesülő 10 MW-os szovjet kutatóreaktor számítógépes információs rendszeréhez a KFKI készítette el a rendszertervet, a teljes programrendszert és a vezénylőpultot.

1980. márciusban a csehszlovákiai *bohunicei* (Apátszentmihály) *atomerőmű* II. blokkjának fizikai indításában részt vettek az AEKI munkatársai is. A paksi reaktorindításra való előkészületek keretében első ízben alkalmazták energetikai reaktornál a mikroszámítógépes reaktorfizikai paramétermonitor-berendezést. November–decemberben hasonló munkát végeztek Bulgáriában a *kozloduji atomerőmű* III. blokkjának fizikai indításánál.

1980-tól az AEKI megvalósította a finn Technical Research Center TRIGA típusú kutatóreaktorának nukleáris irányítástechnikai újraműszerezését az AEKI-ben kifejlesztett nukleáris mérőláncokkal.

1982. december 28-án az országos hálózatra kapcsolták a *paksi atomerőmű I. blokkját*. A KFKI jelentős mértékben hozzájárult az építéshez, az üzembe helyezéshez és az üzemvitelhez. Laboratóriumot hoztak létre a nukleáris műszerek hitelesítésére. Megtervezték és kiviteleztek a *sugárvédelmi környezet-ellenőrző rendszert*, a mérési metodikákkal együtt (Fehér István, Deme Sándor). A VEIKI-vel együttműködve *diagnosztikai rendszert* tervezett és épített, kidolgozta a *reaktor diagnosztikai metodikákat*, neutrondetektorok, termopárok, nyomásmérők jeleinek ingadozásából nyernek dinamikai információkat (Kosály György, Valkó János, Pázsit Imre, Pór Gábor). Több *számítási és mérési eljárást honosítottak meg*.

1985. decemberben adták át az AEKI-ban kidolgozott *VERONA rendszert* Pakson az I. és II. blokknál. A VERONA a reaktorból a vezérlőterembe folyamatosan befutó 2000-3000 adatot fogadja, elemzi, összegzi és megjeleníti. A TPA-1148 gépre telepített rendszerhez két-két fekete, illetve színes képernyős megjelenítő tartozik. A VERONA a legfontosabb mérési adatokat tíz színes ábrába rendezve jeleníti meg, ezenkívül naplószerűen rendezi az összetartozó adatokat, amelyek szintén megjeleníthetők képernyőn, elemzi továbbá az adatok hihetőségét is. A rendszer az *atomerőmű-irányítás nélkülözhetetlen eszközévé* vált, az operátorok a VERONA-képernyőkre és -naplókra támaszkodva irányítják a reaktort és az azonnal értékelhető VERONA-kijelzések alapján döntenek megengedhető vagy beavatkozást igénylő állapotokról. Hasonló, továbbfejlesztett rendszerek működnek 1986-tól a III., 1987-től a IV. blokknál. A zajdiagnosztikai mérőrendszer a zónabeli és zónán kívüli neutroningadozáson kívül a hőmér-

séklet- és nyomásingadozásokat is nyomon követi (Valkó János, Lux Iván, Végh Endre, Adorján Ferenc).

1989. márciusban a sikeres próbaüzem végeztével átadták a *paksi atomerőmű tréning-szimulátorát*, amely az MSZKI fővállalkozásában, az AEKI közreműködésével készült. A KFKI-ban is egyedülálló volumenű és komplexitású program 4 évig tartott. Kéthetes turnusokban edzenek a berendezésen a paksi négy blokk öt-öt műszakjának dolgozói. A munkát Vashegyi György, Végh Endre és Jánosy János Sebestyén vezette. Júniusban a paksi atomerőműben átadták az AEKI-ben készült *alapelvi szimulátort*, amely a szakemberképzésben kiegészíti a teljes léptékű blokk-szimulátort, segítségével az erőmű alapvető fizikáját és irányítástechnikáját lehet *real time* viszonyok között tanulmányozni (Végh Endre, Jánosy János Sebestyén). A szimulátorokat a finn Nokia Electronics céggel együtt fejlesztette ki a KFKI.

Az 1989-91. években a Kurcsatov Atomenergia-intézet megrendelésére elkészítették az anyagvizsgálatra szolgáló reaktoradat-gyűjtő, információs és operátortámogató rendszerét. Zajdiagnosztikai rendszert építettek a szovjet Kalinyin atomerőmű számára. Egy-egy reaktorszimulátort adtak át a szovjet Kola, illetve Rovno atomerőművekben.

Lézeralkalmazások

Néhány hónappal az ország első lézerének elkészítése után Mester Endre orvosprofeszor, a SOTE II. Sz. Sebészeti Klinikájának igazgatója 1964-ben nehezen gyógyuló sebek lézeres kezelésével kezdett kísérletezni az aknalaboratóriumban. Később a KFKI-ból kapott lézerekkel folytatta kutatásait és gyógyító-munkáját. Az 1981-ben elkészült nagyteljesítményű, folyamatos üzemű, saját fejlesztésű YAG-lézerre alapozott *orvosi műtőberendezést* (MEDI-YAG) gasztroenterológiai, urológiai, pulmonológiai célokra alkalmazták kórházakban. (A megfelelő nyugati berendezés a nagy lézerteljesítmény miatt embargós volt.) *Mini méretű, nagy Nd-koncentrációjú foszfátüveg lézereket* fejlesztettek ki, melyek közül mind a léghűtéses, mind a vízhűtéses változat a kategóriájában világviszonylatban egyedülálló tulajdonságokkal rendelkeznek. Az oktatástól a távmérésen át a szemészeti és spektroszkópiai felhasználásig számos alkalmazás igényli az ilyen hordozható, könnyen illeszthető, olcsó eszközöket. A licenceket megvásárolta a Magyar Optikai Művek és az osztrák AOL cég.

A KFKI-s tapasztalatok felhasználásával kezdtek *lézerfejlesztésbe* a Magyar Optikai Művekben és az Egyesült Izzóban. A KFKI dolgozta ki a lézerek alkalmazását az ellenállások trimmelésére, a lézeres módszert a levegőtisztaság mérésére (a levegőben levő porszemcséket számlálják), megoldották a lézeres interferomet-

riával történő pontos távolságmérést. Anyagtudományi vizsgálatok céljára, szilárdtestek deformációinak tanulmányozására fejlesztették ki a holografikus interferometria módszerét. Kidolgozták az *optikai vékonyrétegek* előállítási technológiáját, lehetővé vált rendkívül rövid lézerpulzusok előállítása.

Számítógép-memóriák kutatása-fejlesztése

Az Országos Műszaki Fejlesztési Bizottság 1971-ben a számítógépek perspektivikus tárolóinak és tárolóanyagainak kutatására kötött szerződést a KFKI-val. 1974-ben a nemzetközi tendenciák elemzése alapján a KFKI-ban három memóriatípus hazai kutatását tartották ígéretesnek: a félvezető tárolók, a mágneses buboréktárolók és az optikai tárolók kutatását. A *huzalmemóriák* kutatása 1975-ben lezárult, a laboratóriumi szintű előállítást sikeresen megoldották. Az *optikai memória*-kutatásoknál a KFKI végezte az anyagkutatást, a beíró és kiolvasó rendszerek készítését, a Magyar Optikai Művek a műszaki-konstruktív kérdésekkel, speciális optikai rendszerek tervezésével és gyártásával foglalkozott. Az 1970-es évek közepén ezek a kutatások is lezárultak.

A *buborékmemóriák* hazai kutatásában először ortoferrit kristálylapkákra alapoztak, majd hozzákezdtek a ritkaföldfém-gránát epitaxiás filmek, az ehhez szükséges hordozókristályok előállításához. Kidolgozták a GGG (gallium-gadolínium-gránát) egykristályok, szeletek előállításának technológiáját. 1977-ben készült el az analóg szabályozású automatikus Czochralski rendszerű *egy-kristálynövesztő berendezés*. 1980-ra a KFKI munkatársai másokkal (MOM, HIKI, BME) együttműködve megoldották a mágneses buborékmémória hazai előállítását. A Krén Emil vezette programban elsősorban Zimmer György, Binder Gyula, Pardavi Márta szerepét kell kiemelni. A 110 kutatóév-ráfordítással elért eredmény két-három évvel maradt el a világ e téren legelőrehaladottabb országainak színvonalától. Az 1980-ban elkészült, *32 kbit kapacitású tároló* volt a hazánkban létrehozott legnagyobb elemsűrűségű (4000 elem/mm^2), legfinomabb felbontású (1,8 mikrométer) mikroelektronikai eszköz. A 32 bites tárolót 1983-ban követte a 256 kbites tároló, 1984-ben készült el a cserélhető memóriaegységes, ún. kazettás tároló. Mintaáramkört készítettek, kidolgozták a tokozás és minősítés technológiáját. Bírja-e a versenyt a magyar buborékmémória? – kérdezte már 1980-ban az egyik gazdasági szaklap, utalva arra, hogy Anglia és az NSZK üzleti megfontolásokból felhagyott a saját fejlesztéssel.

Az eredeti koncepció szerint a MOM gyártotta volna a KFKI-ban kifejlesztett tárolókat. A KFKI és a MOM már 1977 közepén javaslatot tett egy kísérleti üzem létesítésére, amely akkori árakon 200 millió forintos beruházást igényelt volna. Nem kapták meg a kért központi támogatást, a két intézmény forrásai

pedig nem voltak elegendők a kísérleti üzemi gyártás megteremtéséhez. Nőtt a világ élvonalához viszonyított lemaradás is. 1985-ben a MOM vezetése fizetőképes kereslet hiányában a buboréktárolóval kapcsolatos K+F munka leállítása mellett döntött. (Egy 1982-ben született értékelés szerint a buborékmemória lehetséges piacát világszerte túlbecsülték, míg a piacra hozatallal kapcsolatos nehézségeket messze alábecsülték.) A fejlesztőmunka azonban így is hozzájárult egy igen magas szintű technológiai kultúra megteremtéséhez, technológiai és tudományos eredmények születtek.

Ionimplantációs kutatások, félvezető elemek tervezése és gyártása

A KFKI 1971-ben azért indította meg az ionimplantációs kutatások célprogramot, hogy fokozatosan előkészítsék félvezető elemek kísérleti gyártását. Az implantáció módszerével korábban elképzelhetetlen pontossággal lehet atomokat bejuttatni egy szilárd test felületi rétegébe. A Gyulai József vezette program magfizikai és szilárdtest-fizikai módszerekre, ismeretekre épül. A Van de Graaff-részecskegyorsítónál meghonosították a *Rutherford-visszaszórási* technikát, amellyel roncsolásmentesen analizálható egy vékonyréteg vagy -felület, a *csatornahatás (chanelling) módszer* pedig az idegen atomok kristályrácsbeli elhelyezkedésének kimutatását teszi lehetővé. Új, igen érzékeny oxigénkimutatási módszert dolgoztak ki, az implantált bór kimutatására az (n, alfa) magreakciót vetették be.

1971-ben helyezték üzembe a KFKI-ban a Kurcsatov Atomenergia-intézetben készített, ILU-3a nagyáramú ionimplantáló berendezést. (A KFKI cserébe 2 TPA gépet „kölcsonzött” a Kurcsatov-intézetnek.) Az eredetileg más célra épített berendezést később a KFKI-ban átalakították, a korábban 10-12%-os homogenitás helyett 1% homogenitással lehet 50 mm-es félvezető lapkát adalékolni. A KFKI-s gyorsítóépítési tapasztalatokat felhasználva, Pásztor Endre vezetésével saját fejlesztésű, ipari célokra is alkalmas, 150 kV-os implantert hoztak létre. Fontos eredményeket értek el a diffúziós adalékolást megelőző implantáció folyamatainak a tisztázásában. Nemzetközileg új implantációs technikát dolgoztak ki, nagyobb dózisos implantálásával működik az ún. önillesztéses technológia. Sikeresen gyártottak implantációval MOS tranzisztorokat és egyszerű integrált áramköröket.

1976-ban a KFKI, a Műszaki Fizikai Kutatóintézet, a Híradásipari Kutatóintézet és a Távközlési Kutatóintézet az Egyesült Izzólámpa és Villamosági Rt. egyetértésével az V. ötéves terv időszakára Kutatási-fejlesztési Társulást (KFT) hozott létre. A KFT célja a hazai elektronikus ipar igényeinek és érdekeinek megfelelő n-csatornás MOS LSI (fém-oxid-félvezető típusú, nagy sűrűségű integrált áramkör alapú) eszközök előállítási technológiájának kidolgozása, s az

eredmények különböző LSI-eszközök (memóriák, mikroprocesszorok, egyéb berendezésorientált eszközök) laboratóriumi, illetve kísérleti gyártási szintű előállításával történő demonstrálása, valamint a várható kutatási-fejlesztési eredmények alapján a hazai LSI-eszközgyártás beruházási programjának megalapozása és előkészítése volt. A KFKI az alaptermék beállításában, a speciális technológiák (pl. ionimplantáció) kutatásában, a számítógépesáramkör-tervezésben és -minősítésben és az áramkörök tesztelésében vállalt feladatokat.

Gyulai József és J. W. Mayer (California Institute of Technology) felfedezte a „*dual implantation*” módszert, melynek részleteit Csepregi László dolgozta ki. Ez a kutatási eredmény a világon mindenütt az implantált áramköri technológia részévé vált, a méretek további csökkenésével csak 2005 táján válhat feleslegessé a gyakorlatban.

1978-ban készültek el a 2k maszkprogramozott ROM első példányai. 1979-ban az implantált integrált áramkörök célprogramkutatói az EIVRT (Egyesült Izzó) munkatársaival közösen dolgoztak ki a pnp nagyfrekvenciás tranzistorcsalád előállítására alkalmas technológiát. A pnp tranzisztorok teljesen implantált technológiája nemzetközileg is új.

Az előre gyártott, berendezésorientált áramkörökön megfelelő mikroelektronikai módszerekkel tranzisztorok sokaságát alakították ki. Az 1980-as évek közepén az intézet *háromféle alapáramkört gyártott*: az U224 és a DYNULA típusnevűek n-MOS, a felhasználók körében legnépszerűbb CG áramkör család tagjai pedig CMOS technológiával készültek. A CG áramkör belsejében különböző logikai funkciók megvalósítására alkalmas, 10 tranzisztorból álló alapcellák ismétlődnek, az áramkör szélén input/output cellák sorakoznak. Ezek az alapszeleteken már csak a fém összeköttetéseket kell a felhasználó igényei szerint kialakítani. A hatékony *áramkörtervezést* szolgálja az MKI-ban kidolgozott AULA-3 programrendszer. Az AULA-3 tetszőleges előre gyártott áramköri tervezésre alkalmas, technológiától és az áramkör típusától függetlenül. A rendszert TPA 1140 gépen használták, a legnagyobb beépíthető alapáramkör néhány ezer tranzisztorból állhat.

1986-ban a BNV-n különösen nagy érdeklődés kísérte a KFKI-pavilonban kiállított mikroelektronikai technológiai eszközöket a Mikroelektronikai Vállalatnál (MEV) történt tűz után. A KFKI felajánlotta, hogy átvállalja a MEV egyes kötelezettségeit a berendezésorientált áramkörök és az egyedi eszközök területén. A KFKI-berendezések egy csoportja olyan *mikroüzem* elemeit képviseli, amelyeken a gyártók kialakíthatják alkalmazásspecifikus integrált áramköreiket, a mikroüzem ezerdarabos áramköri szériák létrehozására képes. A tiszta laboratórium mindmáig a hazai félvezető-kutatás és mérnöki oktatás technológiai bázisa.

1987-ben a KFKI és a Videoton Elektronika szerződést kötött arról, hogy az MKI fővállalkozásban kulcsrakész félvezető-technológiai üzemet létesít Székesfehérvárott, előre gyártott gate-array félvezetőszeletek befejezésére. Az üzem az áramkörök tervezésétől a tokozásig a teljes gyártási folyamatot átfogja. Az 1990-es évek elején a KFKI Anyagtudományi Intézete visszavásárolta a technológiát, és ma is működteti.

Az 1980-as évek vége felé az érdeklődés a *mikroszenzorok* felé fordult. Az érzékelők a külvilág valamilyen állapotát jellemző mennyiséget számítógép által kezelhető elektromos adattá alakítják át. Mikroelektronikai technikákat alkalmazva nyomásérzékelő membránokat, miniatűr neurológiai elektródákat, mágneses ellenálláson alapuló helyzetérzékelőket fejlesztettek ki.

Számítógépes rendszerek

1968-ban épült az első TPA számítógép, 1988-ban már az 1000. gépet adták át, 1990 végéig pedig 1490 gépet építettek. A KFKI kezdettől arra törekedett, hogy ne pusztán számítógépeket állítson elő és adjon el, hanem a *számítógépek felhasználásával feladatokat oldjon meg*. Ezért volt szükség többféle géptípus, gépcsald kialakítására, a hardverfejlesztés és -építés mellett jelentős szoftverfejlesztés is folyt. A nagy feladatok megoldása, a nagy rendszerek telepítése a megrendelővel és esetenként más cégekkel is szoros együttműködésben zajlott.

Első nagy alkalmazási területként a *laboratóriumi mérésautomatizálás* fejlődött ki Biri János irányításával. Nagy volt az igény és az érdeklődés, a szocialista országokkal kialakított tudományos együttműködésben igen értékes fizetőeszköznek, „cseretárgynak” bizonyultak a KFKI-s számítógépes rendszerek, elsősorban az NDK-ban és a Szovjetunióban. A mérésautomatizálási rendszerek jelentős része fizikai kutatásokat szolgál, de jó néhány kémiai analitikai, orvosi-biológiai, mezőgazdasági rendszer is épült. 1975-ben avatták fel az új, 1 méteres tükrös teleszkópot az MTA Csillagvizsgáló Intézete piszkás-tetői obszervatóriumában, a beállítási és mérési folyamatok vezérlését, a mérési adatok feldolgozását TPA számítógép végzi. 1976-ban kezdte meg működését az ország első agrokémiai számítóközpontja a Pécs melletti Daniczpusztán. A Kurcsatov Atomenergiaintézet számára készült a világ első szupravezető mágneses tokamakjának, a T-7-nek vezérlő- és mérési adatgyűjtő rendszere. A számítógépes mérésautomatizálás igen sokfajta mérő- és beavatkozóegységet, konvertert, adatgyűjtőt, -tárolót és egyéb egységet igényel, a számítógépes rendszerekhez a saját fejlesztésű, CAMAC rendszerű egységeket használták fel. Ilyenekből épült fel a KFKI-ban tervezett és épített legnagyobb mérőrendszer. Ez a Kurcsatov Atomenergiaintézet számára készített rendszer a T-15 óriás tokamak vezérlését, mérési adata-

inak gyűjtését végezte. Teljes kiépítésében 14 TPA-1148 megamini gép, 153 CAMAC-keret, 51 mikroprocesszoros vezérlő és közel 1500 CAMAC-modul dolgozott együtt.

Az *ipari folyamat-ellenőrző és folyamatvezérlő rendszerek* Vashegyi György irányításával elsősorban a magyar gazdaság kulcsfontosságú iparágai, nagyvállalatai számára készültek, de jelentős számban kerültek exportra is. A legjelentősebbek a villamos *erőművekben* üzemelő rendszerek. Ezek on-line méréseken alapuló tanácsadással, folyamatdokumentálással segítik az üzemvitelt, a vészhelyzetek felismerését, üzemzavar után a történetek rögzítésével segítik az okok felderítését célzó, az esemény utáni, ún. postmortem analízist. 1975-ben a százhalombattai hőerőműben, a 215 MW-os blokkhoz telepített TPA/i számítógépre és CAMAC folyamatperifériákra alapozott számítógépes mérő-, adatgyűjtő és folyamat-ellenőrző rendszer volt az *első ipari környezetben installált on-line rendszer*. A rendszer 300 analóg érzékelőhelyet és 500 kétállapotú információt tapogat le ciklikusan. A Szovjetunióban a *kámai KAMAZ teherautógyárban* a dízelmotorok próbapadi ellenőrzését végzik, 1980-ban a VILATI fővállalkozásában 172 motorpróbapad-vezérlő rendszert telepítettek, a rendszer 15 számítógépét az MSZKI szállította. A rendszerek a gáz- és olajiparban csővezetéki szállításokat, vasúti ponttöltőket, tartálparkokat irányítanak. 1981 óta üzemel például az Adria csővezeték százhalombattai szivattyúállomásának automatikus irányítását végző intelligens CAMAC-bázisú rendszer. 1984-ben helyezték üzembe az Országos Kőolaj- és Gázipari Trösztnél az országos földgázhálózat számítógépes irányítórendszerét, a siófoki központban 150 nagynyomású elosztó-, ellenőrző- és fogadóállomás adatait dolgozzák fel. Ez volt az *első számítógépes gázhálózat-irányító rendszer a KGST-országokban*, a rendszert a KFKI, a SZTAKI és az MMG Automatika Művek építette. A Budapesti Vízművek Csepel-szigeti vízbázisán 1984-től TPA-1140 számítógépes rendszer felügyeli a termelést, és szabályozza a vízelosztást.

A harmadik fontos alkalmazási terület az *ügyvitel-gépesítés*, ezt a tevékenységet Karádi Pál irányította. Elsősorban on-line tranzakció-feldolgozó rendszereket hoztak létre. Az ügyviteli munkafolyamat minden tranzakcióját közvetlenül az ügyintézői munkahelyekre kihelyezett számítógép-terminálok hajtják végre, a tranzakciók eredményei pedig azonnal, következményeikkel együtt bekerülnek a központi adatbázisba. Az ilyen megoldások már az 1980-as években nélkülözhetetlenek voltak bankokban, raktárakban, a kereskedelemben, az utazási irodákban és a termelésirányításban. Így került sor a megyei tanácsok költségvetési hivatalainak számítógépesítésére. Az 1970-es évek végén Nógrád, Somogy, Csongrád és Heves megyében kezdték meg a munkát TPA gépekkel. Később kiépítették a Magyar Posta, a vízügy, a KSH meghatározott célú számítógépes rendszereit. Az első TPA-1140 rendszer 1981-től a Soproni Postaigazgatóságon

működik, Pécsen és Szegeden 1983-ban adták át a központokat. 1981-ben készült el a Veszprémi Szénbányák várpalotái üzemében a márkus-hegyi és a nagyegyházi bányák komplett irányítórendszere, 1982-ben a Mátraaljai Szénbányák alakította ki számítóközpontját. 1983-ban a Budapesten rendezett fedett pályás atlétikai Európa-bajnokság sajtótájékoztató információs rendszerét a KFKI szolgáltatta. A TPA-L gépre alapozott rendszert ingyen telepítették és működtették. Hasonló szerepet vállalt az intézet a Budapest Sportcsarnokban rendezett XXII. tornász-világbajnokságon is. A gabona- és malomipari vállalatoknál 1987 a „számítógépes korszak kezdete”, a 21 vállalat mindegyike TPA-Quadróra alapozott rendszert telepített. A KFKI szakemberei információs rendszert dolgoztak ki a Külkereskedelmi Minisztérium számára is. A legnagyobb ügyviteli rendszert a Központi Statisztikai Hivatal részére készítették az 1980-as évek második felében. A laboratóriumi és ipari alkalmazásoktól eltérően az ügyviteli alkalmazásoknál általában csak a hardvert és az alapszoftvert szállította a KFKI, és elvégezte a rendszerintegrációt.

Az 1987-ben létrehozott Gyártásautomatizálási Kutató-fejlesztő Társaság célja a *számítógéppel segített tervezési és gyártási kultúra ipari alkalmazásának elősegítése* volt. A KFKI elsősorban közepes nagyságú számítógépek gyártásával és az e gépeken működtethető CAD-szoftverek fejlesztésével, honosításával vett részt a munkában. Mintarendszerek készültek a Budapesti Műszaki Egyetem, a SZTAKI és az Electrocoop Ipari Szövetkezet számára. 1987-ben integrált gép-ipari tervező- és gyártórendszert mutattak be a BNV-n. Interaktív képfeldolgozó rendszert hoztak létre, textilipari minőség-ellenőrzési célokat szolgáló gyors rendszert fejlesztettek ki (Ambrózy György, Erényi István, Miskolczy János, Rényi István, Vajda Ferenc).

Számítógép-perifériák

A számítógépcsalád fejlesztése, gyártása mellett számítógép-perifériák fejlesztésével is foglalkozott az intézet. A SZTAKI-ban készült modellt továbbfejlesztve, 128k kapacitású hajlékonylemezes, ún. *fóliás diszket*, háttértárat hoztak létre, több száz darab készült belőle. A későbbi, KFKI-fejlesztésű diszkre alapozta a MOM saját nagy sorozatú *floppy disc drive*-gyártását.

1981-ben az Orion és a KFKI szerződést kötött az ESZR számítógépek mágnesszalagos háttértárolójának fejlesztésére. A KFKI-ban készített prototípust 1982-ben közösen állították ki a BNV-n. Az *MSX mágnesszalagos adattároló a KGST-országokban egyedülálló készülék volt*. 1984-ben az Ikladi Ipari Műszergyár megvásárolta az MSZI-n kifejlesztett *digitális dobplotter* (számítógéphez is alkalmazható precíziós rajzoló eszköz) licencét.

1986-ban készült el Egri Béla vezetésével egy korszerű, *winchester típusú mágneslemez*es számítógép-tároló működő modellje, gyártására a KFKI szerződést kötött a Magyar Optikai Művekkel, a fejlesztési munkát az OMFB támogatta. A DSX névre keresztelt 160 megabájtos egység 3 db 14 inch átmérőjű mágneslemez tartalmazott, a fejek és a lemezek ekkor még importból származtak. Később a fejet már itthon is képesek lettek volna gyártani, de az importliberalizáció fölöslegessé tette a közös erőfeszítéseket. A fejlesztőmunka leállt, a gyártás nem indult meg. A winchester-fejlesztéssel Magyarországon korábban ismeretlen színvonalú *finommechanikai kultúrát* teremtettek meg. A winchester-fejlesztéshez 1987-ben készült el az MSZI-n a *Magyarországon csúcsszínvonalat képviselő, nagy tisztaságú finommechanikai szerelőkomplexum*.

Az ember-gép kapcsolat eszközei közül a legfontosabb a display-fejlesztés volt. A *kvázigrafikus display* alkalmas előre programozott ábrák gyors előállítására, az ipari alkalmazási rendszerekben a folyamatok megjelenítésének fontos eszköze.

Széles körben alkalmazott *kommunikációs perifériák*, modemek, multiplexerek, különböző típusú gépeket összekötő egységek, hálózati illesztőegységek készültek. A kommunikációs perifériák fejlesztése és alkalmazása egyedülálló volt a KGST-országokban.

Oktatás, továbbképzés, közművelődés

A KFKI első vezetői, munkatársai túlnyomórészt a *Budapesti Műszaki Egyetem* és az *Eötvös Loránd Tudományegyetem* oktatói közül kerültek ki, többen megtartották egyetemi főállásukat. Az első években a csillebérci épületek elkészültéig a laboratóriumok egy része is az ELTE-n és a BME-n működött. Az intézet munkatársai rendszeresen oktattak az egyetemeken, a kapcsolatok az 1960-as években igen intenzívek voltak. Az 1964/65-ös tanévben a KFKI főállású munkatársai közül 51-en vettek részt a felsőfokú oktatásban, 34 fő az Eötvös Loránd Tudományegyetemen, 14 fő a Budapesti Műszaki Egyetemen. Besorolásuk: 1 tanszékvezető egyetemi tanár, 2 egyetemi tanár, 2 docens, 4 adjunktus, 8 tanársegéd, a többiek meghívott előadók és gyakorlatvezetők.

Az Eötvös Loránd Tudományegyetem 1958-ban *Atomfizika Tanszéket* létesített, a tanszéket 1970-ig Jánossy Lajos vezette. A tanszék indulásakor több kísérleti eszközt kapott a KFKI-tól (paramágneses rezonanciaabszorpció-mérő, szén-14 radioaktív kormeghatározási mérés, nehésvíz-analitikai célokra készített tömegspektrométer stb.). A tanszéken jelentős számú KFKI-s oktató, de számuk az 1970-es években és az 1980-as évek első felében jelentősen csökkent. A KFKI továbbra is nagy számban fogadott diplomamunkásokat, a budapesti fizikus-

évfolyamok harmada-fele a KFKI-ban készítette diplomamunkáját. 1983-ban az ELTE TTK Tudományos Diákköre a KFKI-ban rendezte nyári iskoláját, a hallgatók válogathattak az őket fogadni kész 20 laboratórium között. A KFKI támogatta a Magyar Fizikus Hallgatók Egyesületének létrejöttét, munkáját. A kapcsolatokban a *kihelyezett egyetemi laboratórium* létesítése hozott fordulatot. A művelődési miniszter 1989-ben megalapította az Eötvös Loránd Tudományegyetem kihelyezett Fizikaoktatási Laboratóriumát a KFKI-ban, ez az egyetem fizikatanzékcsoportjának a 7. egysége. Fő feladata: közreműködés az alapkursusok (I–IV. éves előadások, laboratóriumok) során a legfontosabb klasszikus és modern jelenségek kísérletes megismertetésének megújításában, az egyetemi fizikusképzés és -továbbképzés segítése. Az ELTE–KFKI egyezmény szerint három laboratórium jött létre: reaktorfizikai, szilárdtest-fizikai és úrkutatási, ez később magfizikával bővült.

A Budapesti Műszaki Egyetemmel az *egyetemi atomreaktor* építése során mélyültek el a kapcsolatok. A KFKI és a BME 1968 óta megállapodásokban szabályozta együttműködését. Az 1972-ben kötött megállapodás szerint elsősorban a számítástechnikai program és a paksi atomerőmű megvalósításán dolgoztak együtt. Összehangolták a kutatásokat, együtt végezték a szakemberképzést, a KFKI a gyakorlati képzéshez rendelkezére bocsátotta kutatási berendezéseit. Az 1980-as évek elején igen intenzív együttműködéssel épültek meg a Halley-üstökös tanulmányozására indított *VEGA űrszondák* műszerei. Az 1987-ben megújított együttműködési megállapodásban 18 olyan konkrét témát jelöltek meg, amelyben a KFKI szervezeti egységei és a BME tanszékei együttműködhetnek. A két intézmény közösen indította meg a mérnök-fizikus képzést. Az 1989-ben kötött megállapodás szerint a BME TTTK Fizikai Intézetében működő Kísérleti Fizikai Tanszékből és a KFKI Mikroelektronikai Kutatóintézet Fizikai Osztályából létrehozták a *BME–KFKI Kísérleti Fizikai Tanszéket*, és Gyulai Józsefet kérték fel annak vezetésére.

1988-ban két egyetem (ELTE, BME) és öt akadémiai kutatóintézet (KFKI, KKKI, MFKI, IKI, TTKL) a korábban közösen benyújtott és elnyert OTKA műszerberuházási pályázat megvalósítására létrehozta a *Budapesti Anyagtudományi Műszerközpontot* (BAM), a KFKI a gesztorintézmény. A BAM Tompa Kálmán vezette koordináló tanácsa 33 oktatólaboratórium létesítését határozta el, ezek közül 18 a KFKI-ban működik.

A KFKI munkatársainak túlnyomó többsége az intézetben végzett kutatómunkájukkal szerezte meg a tudományos fokozatokat. 1967-ben 2 akadémikus, 6 tudományok doktora és 34 kandidátus dolgozott az intézetben, 1985-ben 7 akadémikus, 25 tudományok doktora, 111 kandidátus, 127 egyetemi doktor. Belföldi aspiránsképzés nem folyt az intézetben. Az 1960–70-es években sok

külföldi, a fejlődő országokból (Egyiptom, Irak, Kuba, Szíria, Vietnam) érkezett aspiráns dolgozott az intézetben kandidátusi vagy doktori értekezésén.

A terjedelem szabta korlátok miatt csak példákat emelhetünk ki a KFKI-szerzők tolla alól kikerült szak- és ismeretterjesztő könyvek hosszú sorából. 1950-ben Oxfordban a Clarendon Press kiadónál 2. kiadásban jelent meg Jánošy Lajos *Cosmic Rays* című munkája, az először 1948-ban kiadott kézikönyv és tankönyv hosszú időn át világszerte a kozmikus sugárzás legszélesebb körben használt monográfiája volt. (Magyarul az eredetileg 1948-ban angolul kiadott rövid kozmikus sugárzási könyve látott napvilágot több kiadásban.) 1959-ben a Műszaki Könyvkiadónál megjelent Keszthelyi Lajos *Atomok és atomi részecskék* című könyve (2., bővített kiadás 1962). Ugyanebben a „kék fizika” sorozatban 1961-ben jelent meg Györgyi Géza *Elméleti magfizika* című kötete, 1964-ben a Műszaki Könyvkiadó adta ki Keszthelyi Lajos *Szcintillációs számlálók* című könyvét. Az abszorpciós csoport sokéves munkájának eredményeként 1959-ben jelent meg az első magyar abszorpciósszínkép-atlasz I. kötete, német, angol és orosz nyelven. Intézeti munkatársak szerkesztésében 1959-ben elkészült az első magyar nukleárisműszer-katalógus, két kötetben, három nyelven (magyar, orosz, angol). 1965-ben Oxfordban, a Clarendon Press kiadásában jelent meg Jánošy Lajos *Theory and Practice of the Evaluation of Measurements* című kézikönyve, ugyanebben az évben oroszul is (2. kiadásban 1968-ban), majd 1968-ban *Mérési eredmények kiértékelésének elmélete és gyakorlata* címmel az Akadémiai Kiadó adta ki magyarul. 1971-ben Kiss Dezső és Quittner Pál szerkesztésében az Akadémiai Kiadónál látott napvilágot a *Neutronfizika* című kézikönyv, a szerzők között a KFKI 17 munkatársa található. Kiss István és Schiller Róbert több nagy kémiai monográfia (magkémia, fizikai kémia) társszerzője. 1987-ben a Kozmosz Könyvek *Az én világom* sorozatában jelent meg Csillag László és Kroó Norbert *A lézerek titkai* című könyve. Az Akadémiai Kiadó könyvsorozataiban (*A szilárdtestkutatás újabb eredményei, Az atomenergia- és magkutatás újabb eredményei, A kémiai kutatások újabb eredményei*) gyakori szerzők voltak a KFKI kutatói, a szilárdtestkutatási sorozatot Siklós Tivadar szerkesztette.

1967-ben a Műszaki Könyvkiadó adta ki Lőcs Gyula *Az Algol 60 programozási nyelv* című könyvét. A KFKI munkatársai a későbbiekben is úttörő és meghatározó szerepet játszottak az újabb programozási nyelvek, a számítógépek megismertetésében. Lőcs Gyula, Vigassy József, Sarkadi Nagy István, Szlankó János, Zimányi Magdolna köteteiből ismerhették meg az érdeklődők a FORTRAN, BASIC, LIST nyelveket. A számítógépek világába vezettek be Csákány Antal, Vajda Ferenc, Erényi István, Biri János, Lukács József, Szalay Miklós könyvei.

A TPA számítógépek elterjedésével párhuzamosan az MSZKI rendszeresen szoftverképzést biztosított általános iskolás gyerektől kezdve a mérnöktovább-

képzés szintjéig. 1981-ben volt az első kéthetes *számítástechnikai nyári tábor általános iskolás és középiskolás diákoknak*, a táborokat évről évre egyre több turnusban rendezték meg nagy érdeklődés mellett. 1973-ban Computer labor elnevezéssel a KFKI és az ELTE integrált áramkörös logikai oktatótáblákat juttatott középfokú oktatási intézményeknek. Már 1977-ben bemutatták az OMFB-ben az MSZKI-ban megépített „iskolaszámítógép-modellt”, amely a közép- és szakmunkásképző iskolák matematika-fizika szakos tanárjelöltjeinek és tanárainak felkészítésében demonstrációs lehetőséget nyújt a logikai, digitális technikai és számítógép-ismeretek elsajátításához. 1978-tól a tudományos egyesületek (Eötvös Loránd Fizikai Társulat, Neumann János Számítógép-tudományi Társaság, Mérés- és Automatizálási Tudományos Egyesület) konferencián, nyári iskoláin a számítógépek iskolai alkalmazásáról tartottak előadásokat, bemutatókat (*TPA az oktatásban*, *Kisszámítógép az oktatásban*). 1987-ben laboratóriumi és oktatási célokra szánt, az iskola-számítógépekhez csatlakoztatható, hat szabadsági fokú mikrorobot készült.

A számítástechnikához hasonlóan a nukleáris ismeretek oktatásában is fontos szerep hárult az intézetre, pl. a paksi atomerőmű első blokkjának indítása előtt 30 emberév volumenben tartott továbbképzést a KFKI. A doktori ösztöndíjas rendszer keretében több nagyvállalat (pl. Tungstam, MOM) kezdő szakemberei a KFKI-ban kaptak továbbképzést.

A KFKI munkatársai rendszeresen és aktívan részt vettek a nagyközönség tájékoztatásában. A változó érdeklődésnek megfelelően beszámoltak az atomfizika, a nukleáris energetika, az űrkutatás vagy a lézerek újdonságairól. Többen vezető tisztségeket töltöttek be a Tudományos Ismeretterjesztő Társulatban. Még a televízió hőskorában, az 1960-as években lett népszerű TV-személyiség Jánossy Lajos. Sas Elemérrel együtt több sorozatban foglalkoztak a fizika különböző ágaival. Az 1970–80-as években több ismeretterjesztő kisfilm készült a KFKI-ban. Az intézet vezetése 1978-tól közművelődési díjjal ismerte el a magas szintű ismeretterjesztő tevékenységet. Különleges esemény volt az 1980-ban *Lézer-interferenciák* címmel a Magyar Nemzeti Galériában rendezett lézershow. Csáji Attila festőművész Kroó Norbert segítségével készített lézerkompozícióit, lézerinstallációkat és hologramjait mutatta be. A kiállítás rendkívül nagy közönségsikert aratott, komoly sajtóvisszhangja volt, később Helsinkiben, Koppenhágában, Bécsben és Párizsban is bemutatták.

Nemzetközi kapcsolatok

A politika szabta korlátok között az intézet intenzíven építette kapcsolatait, folyamatosan kezdeményezte a kapcsolatbővítést gátló akadályok felszámolását. A továbbiakban kiragadott példákon mutatjuk be a nemzetközi kapcsolatok változását, szerepét.

1953. szeptemberben zajlott le az intézet első nemzetközi bemutatkozása, az I. Magyar Fizikuskongresszusra és a Békevilágtanács ülésére érkezett külföldi tudósok közül az intézetbe látogatott F. Joliot-Curie, L. Infeld, J. D. Bernal, A. I. Oparin. Az 1950-es évek közepétől szaporodó látogatók számára kezdetben meglepetést jelentett az intézet fejlettsége, a kutatások magas színvonala. 1958-ban a brüsszeli világkiállításon, ugyancsak 1958-ban az atomenergia békés felhasználásáról Genfben rendezett II. ENSZ-konferencián műszereket állított ki az intézet. Bemutatkozott a Nemzetközi Atomenergia-ügynökség kiállításán 1959-ben Bécsben, 1960-ban Dubnában volt sikeres műszerbemutató.

Kezdetben országos csereegyezmények, együttműködési megállapodások keretében, majd egyre inkább a közvetlen kapcsolatokra építve szerveződtek a tanulmányutak, az együttműködések. 1968-ban már 550 kiutazásra került sor, ezek egyötöde irányult nyugati országokba, hat hónapnál hosszabb tanulmányútra 12 fő indult szocialista, 8 fő nyugati országba. Az 1960-as évektől sok Magyarországon rendezett nemzetközi konferenciának társ- vagy főrendezője a KFKI, az évek során szinte valamennyi, a KFKI-ban művelt tudományterület nagy európai vagy világkonferenciáját megrendezték, néhányat többször is. A legeredményesebb kutatók rendszeresen tagjai a nemzetközi konferenciák tudományos testületeinek, külföldi és nemzetközi folyóiratok szerkesztőbizottságaiban dolgoznak, magas tisztségeket töltenek be nemzetközi tudományos szervezetekben. Néhány kiragadott példa: az ENSZ Nemzetközi Atomenergia-ügynökség kormányzótanácsának alelnöke Jánossy Lajos (1961), a Nemzetközi Tiszta és Alkalmazott Fizikai Unió (IUPAP) alelnökévé választotta Pál Lénárdot (1969), Kroó Norbert a European Physical Society elnöke volt, az ICSU Űrkutatási Bizottsága (COSPAR) 9 tagú végrehajtó irodájának tagja volt Somogyi Antal (1982–90) és Szegő Károly (1990–98).

A KFKI történetében meghatározó jelentőségűek voltak a *kétoldalú magyar-szovjet kapcsolatok*. Az atomreaktor építéséről kötött államközi szerződésnek megfelelően 1956. szeptemberben megkezdődött a magyar szakemberek kiképzése a Szovjetunióban. Másfél év alatt 31 szakember járt több hónapos tanulmányúton szovjet tudományos intézetekben, szovjet szakértők segítették Csillebércen a reaktor építését. A reaktorfizikai, termohidraulikai kutatásokban a moszkvai *Kurcsatov Atomenergia-intézet* volt a fő partner, később intenzív együtt-

működés alakult ki szilárdtest-fizikai témákban és a szabályozott termonukleáris fúzió kutatásában is. Reaktorfizikai, magfizikai kutatásokban régi partner az obnyinszki Fizikai-energetikai Intézet. A Szovjetunió Tudományos Akadémiája (SZUTA) Fizikai Intézete (FIAN, Lebegyev Intézet) a kozmikus sugárzási, később a kvantumelektronikai, lézerfizikai kutatásokban volt meghatározó partner. Az űrfizikai kutatásokban a SZUTA Űrkutatási Intézete (IKI) töltött be ilyen szerepet. A szilárdtestfizikában 1973-tól a két akadémia magyar–szovjet közös bizottságot működtetett, ez szervezte és hangolta össze a közös kutatásokat, a magyar tagozat irányításában mindig vezető szerepet vittek a KFKI munkatársai, Pál Lénárd volt az első magyar társelnök. A kapcsolatok valamennyi területen rövid idő alatt egyenrangú partnerek érdemi együttműködésévé váltak, rengeteg témában folytak valóban közös kutatások. A közös tudományos programok kialakításában a szovjet tudósok közül elsősorban A. P. Alekszandrov, A. M. Prohorov és R. Z. Szaggyejev akadémikusok töltöttek be meghatározó szerepet.

A kozmikus sugárzás területén alakult ki az *első szervezett együttműködés a szocialista országok között*, 1955 tavaszán Drezdában, 1956 augusztusában Budapesten tartottak nemzetközi konferenciát. 1954–56-ban román és bolgár kutatók is hónapokig dolgoztak a Kozmikus Sugárzási Osztályon. Méréssorozatot szerveztek, ennek során 1957-től Csillebércen, Romániában és Bulgáriában végeztek méréseket. Az atomenergia békés felhasználásáról 1955-ben rendezett első genfi nemzetközi ENSZ-konferencián nyugati kutatócsoportok együttműködést kötöttek a Szovjetunióval, az NDK-val, Csehszlovákiával és Magyarországgal a Pó völgyében a magas légkörbe ballonokkal feljuttatott magemulziós lemezek feldolgozására, a magyar résztvevő a Kozmikus Sugárzási Osztály volt. 1960-tól 1973-ig folytak közös mérések magyar berendezésekkel a bulgáriai Muszala csúcson. 1974-ben szovjet(FIAN)–magyar(KFKI)–bolgár tudományos együttműködési megállapodás született a galaktikus kozmikus sugárzás irányeloszlásának közös vizsgálatáról, a Tien-Shan-hegységben levő tudományos megfigyelőállomáson telepített magyar mérőrendszer közös üzemeltetéséről; az adatgyűjtés 1983-ban zárult le.

1956-ban alakult meg a Moszkvához közeli *Dubnában az Egyesített Atomkutató Intézet (EAI)*. Magyarország az intézet alapító tagja. A dubnai intézet léte tette lehetővé számunkra a kísérleti részecskefizikai kutatásokat. Magyar kutatók dolgoztak Dubnában az ottani nagy (esetenként a világon akkor legnagyobb) részecskegyorsítók mellett végzett kísérletekben, ezzel párhuzamosan itthon folyt a Dubnából kapott adatok (emulziós lemezek, buborékkamra-felvételek) tudományos feldolgozása. Dubna után Szerpuhovban épült meg az akkor legnagyobb energiájú részecskegyorsító, az EAI-n keresztül lehetőség nyílt az ottani kutatásokra is. A részecskefizika mellett magfizikai, neutronfizikai, szilárdtest-

fizikai kutatásokhoz is egyedülálló lehetőségeket nyújtott a dubnai kutatóközpont. A KFKI több munkatársa töltött be magas tudományos vezetői tisztségeket a nemzetközi intézetben. 1990-től Kiss Dezső volt az igazgató, a dubnai intézetnek fennállása óta ő volt az első nem szovjet állampolgár vezetője. Korábban Fenyves Ervin 1964-től és Kiss Dezső 1976-tól három éven át az intézet aligazgatója (igazgatóhelyettese) volt. Laboratóriumi igazgatóhelyettesi tisztséget töltött be 3-3 évig a Neutronfizikai Laboratóriumban Kroó Norbert (1968) és Cser László (1975), a Magproblémák Laboratóriumban Erő János (1977).

A nyugat-európai országok genfi részecskefizikai kutatóközpontjával (CERN) az első kapcsolatok dubnai közvetítéssel jöttek létre. A Dubna-CERN együttműködések keretében kezdtek Genfben is dolgozni magyar kutatók. Idővel fokozatosan kiépültek a közvetlen kapcsolatok, amelyek 1992-re elvezettek Magyarországot teljes jogú CERN-tagságához. A CERN-ben mért adatok budapesti feldolgozásához egyre nagyobb információtömeg mozgására volt szükség, a CERN és a KFKI között fokozatosan kiépültek a közvetlen, nagy sebességű adatátviteli lehetőségek.

1966-ban hagyták jóvá a „szocialista országok együttműködése a világűr békés célú kutatásában, felhasználásában” nevű programot, megszületett az *Interkozmosz-együttműködés*. A KFKI munkatársai az 1970-ben felbocsátott első magyar műszert követően fokozatosan egyre nagyobb műszaki és tudományos feladatokat oldottak meg. A VEGA űrszondák felbocsátása előtti években Magyarország, a KFKI űrkutatási vezetői jelentős szerepet kaptak a *nemzetközi űrpolitikában*. 1982-ben Magyarországon kötött egyezményt az amerikai űrügynökség, a NASA, a nyugat-európai űrügynökség, az ESA, és az Interkozmosz arról, hogy a VEGA szondák adatai segítségével irányítják az ESA Giotto szondáját a Halley-üstökös közvetlen közelébe (az akció sikeresen megvalósult). Amerikai kutatók több ízben magyar közvetítéssel kapcsolódtak be a VEGA programba. Ekkor született meg a NASA-val az első magyar együttműködési egyezmény. Az 1980-as években először a VEGA program, majd más szovjet programok is megnyíltak a nyugati kutatók számára. Ezek keretében szoros és közvetlen együttműködést alakított ki a KFKI német, francia, angol, ír, majd amerikai kutatóhelyekkel is. E kapcsolatok készítették elő ESA és a NASA programjaiba való bekapcsolódást az 1990-es években. Magyarország 1991-ben együttműködési szerződést kötött az ESA-val.

A nemzetközi együttműködésekben elterjedté vált a *mérőberendezések közös építése*. A big science területeken (részecskefizika, űrfizika) nincs is más megoldás, kis ország csak részfeladatokat vállalva kapcsolódhat be a kísérleti kutatásokba. Évtizedenként csak egy-egy példát kiragadva: 1959-ben a Kozmikus Sugárzási Osztályon lengyel kutatókkal együtt automatikus buborékkamrafelvétel-kiérté-

kelő berendezést hoztak létre. A Dubnában üzembe állított berendezés elektronikája Varsóban, optikai-mechanikai része a KFKI-ban készült. 1973 óta üzemel az atomreaktor egyik vízszintes csatornájánál a szovjet kooperációban épített automatizált neutronfizikai nagyberendezés, a háromtengelyű kristályspektrométer. A berendezés párja a közös építésben partner Kurcsatov Atomenergia-intézetben működik. 1989-ben ünnepélyesen avatták fel Saclay-ban a Francia Atomenergia-bizottság és a magyar Országos Atomenergia-bizottság közötti egyezmény keretében létrehozott neutrons spin-echo-spektrométert. A Mezei Ferenc által felfedezett módszer alapján az Orphée reaktor egyik hidegneutron-csatornájánál épült berendezés 1/3 részben a KFKI hozzájárulásával (a KFKI-ban készített berendezésekkel) valósult meg. Ez a berendezés biztosította akkor a világon legnagyobb energiafelbontású mérési lehetőséget.

1971. június elején Keszthelyen ülésezett a KGST Atomenergia Állandó Bizottságának XX. ülése. Elhatározták, hogy *ideiglenes kutatókollektívát* hoznak létre, a KFKI-ban pedig felépítenek egy modellreaktort (ZR-6). A kollektíva feladata, hogy pontos *reaktorfizikai* adatokat szolgáltatson az erőművi VVER reaktorok tervezéséhez és üzemeltetéséhez, ehhez számítási módszereket dolgozzanak ki és ezeket a zéróreaktoron ellenőrizzék. A hét KGST-ország kutatóiból álló ideiglenes nemzetközi kutatókollektíva 1972 végén kezdte meg vizsgálatait a ZR-6 kritikus rendszernél. 1980-ban a kollektívához csatlakozott a Finn Műszaki Kutatóintézet és rajta keresztül a finnországi szovjet tervezésű atomerőműveket üzemeltető Imatran Voima cég, valamint Kuba és Vietnam is. 1990 végén befejezettek nyilvánították az igen eredményes programot, a reaktort 1991-ben leszerelték.

1983-ban az MTA és a KFKI közös irányítása alatt jött létre a *Nemzetközi Elméleti Fizikai Műhely (NEFIM)*. Ez intézményi keretet biztosít 1–6 hét időtartamú munkamegbeszélésekre (workshop), amelyeken intenzív információcserével problémákat oldanak meg az elméleti fizika kiválasztott területein. Az alapítás évében 3 workshopot tartottak 59 külföldi és 49 magyar résztvevővel: relativisztikus atommag-atommag ütközések (igazgató Zimányi József), elektromos terek üstökös környezetében (igazgató Szegő Károly), kvantum-kromodinamika rácson (igazgató Patkós András, ELTE). 1984–85-ben 6-6 workshopot rendeztek, 1987-től a NEFIM ösztöndíjat is meghirdetett. A NEFIM élén társelnökök állnak, az első társelnökök Marx György (ELTE) és Zimányi József (későbbi társelnökök: Perjés Zoltán, Nagy Károly [ELTE]; Lovas István, Pócsik György [ELTE]).

Az 1980-as években a nemzetközi kapcsolatok kiteljesedéséhez jelentősen hozzájárultak a KFKI azon korábbi kutatói is, akik külföldön telepedtek le, és egyetemek, kutatóintézetek vezető munkatársai lettek. A hosszú névsorból Do-

mokos Gábor, Fenyves Ervin, Gombosi Tamás, Grüner György, Kuti Gyula, Mezei Ferenc, Montvai István, Nagy Elemér szerepét említjük példaként.

Magyar–szovjet közös, a KFKI-ban működő *kutatólaboratóriumok* jöttek létre. 1986-ban alakult meg a KFKI és a Szovjetunió Tudományos Akadémiája Űrkutatási Intézetének közös nemzetközi kollektívája (*Szovjet–Magyar Ideiglenes Űrkutatási Kollektíva*). Az RMKI-ban kialakított laboratóriumban elsősorban elektronikus jellegű feladatokon dolgoztak együtt, az űrszondákhoz kifejlesztett berendezések gyakorlati alkalmazása mellett újabb űrműszereket terveztek és építettek. 1987-ban a SZUTA Általános Fizikai Intézete és a KFKI közös, budapesti telephelyű *lézerfizikai tudományos-műszaki kutatókollektívát* hozott létre. A cél olyan világszínvonalú lézereszközök fejlesztése, melyeket elsősorban anyagmunkálási és orvosi területeken (szemészet, sebészet, urológia, pulmonológia) kívántak alkalmazni.

1988-ban hozták létre az első *nemzetközi vegyesvállalatot*. Az ICON Kft. svájci–magyar vegyesvállalatban 51% a KFKI tulajdonhányada. A KFKI ingatlant és készpénzt vitt a vállalkozásba, a cég vámszabad területen működik a Felvinci úton. Az új cég lehetőséget teremt arra, hogy az MSZKI külkapcsolatai szélesedjenek, a rendszerházként működő ICON MSZKI termékeket, a mérnöki tudást adja el (vezetője Salamon Márton). A cég 15 emberrel indult, működésének első (töredék) évében 400 ezer svájci frank árbevételt ért el. 1990-ben hozták létre a Digital Equipment Corporation, a KFKI és a SZÁMALK közös vállalatát, a DEC Hungary Kft.-t, amelynek létrejötte nagy hatással volt a KFKI későbbi átalakulására.

Megkezdődik a *bekapcsolódás a nagy európai programokba* (ESA, COST, EUREKA), rendszerint már az ország hivatalos csatlakozását megelőzően. 1990-től vesz részt az SZTKI az EUREKA Eurolézer 226 projektjében, több kilowatt teljesítményű ipari lézert fejlesztenek ki kanadai, francia, olasz, német és magyar együttműködésben. 1991-ben írta alá Pungor Ernő tárca nélküli miniszter Magyarország csatlakozását a COST (European Cooperation in the Field of Scientific and Technical Research) európai tudományos és műszaki együttműködési szerződéshez. Már korábban meghívást kapott a COST-226 programba az RMKI (1990), a program a számítógépes hálózatok szervezési kérdéseivel, a földi hang-, video- és adatátviteli hálózatok közötti műholdas összeköttetés megteremtésével foglalkozik.

Jelentősebb tudományos díjak, elismerések

Külföldi akadémiák tagjává választották az intézet tagjai közül:

Jánossy Lajos a Német (NDK) Tudományos Akadémia tiszteleti tagja (1954), Jánossy Lajos a Bolgár Tudományos Akadémia tiszteleti tagja (1958), Jánossy Lajos a Mongol Tudományos Akadémia tiszteleti tagja (1961), Pál Lénárd a Szovjetunió Tudományos Akadémiája külső tagja (1976), Dézsi István a Belga Királyi Tudományos Irodalmi és Szépművészeti Akadémia külföldi tagja (1979), Lovas István a Művészetek és Tudományok Európai Akadémiája tagja (1981), Somogyi Antal a Nemzetközi Asztronautikai Akadémia tagja (1987), Szegő Károly a Nemzetközi Asztronautikai Akadémia tagja (1988).

Kossuth- és Állami Díjat kaptak:

Jánossy Lajos: a Kossuth-díj ezüst fokozata a kozmikus sugárzás kutatása terén kifejtett munkásságáért (1951); Kovács István: a Kossuth-díj (Budó Ágostonnal megosztott) ezüst fokozata a molekula-színképek vizsgálata terén elért eredményeiért (1951); Simonyi Károly: a Kossuth-díj ezüst fokozata a fizikai kutatások szempontjából nagy jelentőségű gyorsítóberendezés hazai eszközökkel való megépítéséért (1952); Pál Lénárd: a Kossuth-díj II. fokozata a reaktorfizika terén elért elméleti és kísérleti eredményeiért (1962); Kiss István: a Kossuth-díj III. fokozata a mesterséges radioaktív izotópok előállítására irányuló kutatásaiért, valamint az izotópok termelésének gyakorlati megvalósításában elért eredményeiért (1963); Náray Zsolt: a Kossuth-díj III. fokozata a hazai magfizikai mérés-technika fejlesztésében, valamint a hazai magfizikai műszeripar kialakításában végzett munkásságáért (1963); Fenyves Ervin: az Állami Díj II. fokozata a kozmikus sugárzás területén végzett, egy évtizedet meghaladó munkássága eredményeiért (1965); Bánki Ferenc, Binder Gyula, Bogdány János, Iványi Gyula, Lukács József, Sándory Mihály: az Állami Díj megosztott II. fokozata a TPA második generációs és a TPA/i harmadik generációs, univerzális, digitális kyszámítógép-család kifejlesztéséért és a kísérleti gyártásba történő bevezetéséért (1973); Kuti Gyula: az Állami Díj II. fokozata a proton szerkezetére vonatkozó kvarkmodell kidolgozásáért (1975); Gyimesi Zoltán, Szabó Ferenc és Szatmáry Zoltán: megosztott Állami Díj a reaktorkutatásban elért kiemelkedő eredményeikért, különös tekintettel a hazai atomenergetika tudományos hátterének megteremtésében szerzett érdemeikért (1978); Almási Lajos, Biri János, Somlai László, Somogyi Gyula (Műszeripari Kutatóintézet) és Szabó László: megosztott Állami Díj a laboratóriumi és ipari folyamatok számítógépes adatgyűjtő, ellenőrző, szabályozó elemcsalád kifejlesztéséért (1980); Menyhárd Nóra, Sólyom Jenő és Zawadowski Alfréd: megosztott Állami Díj az elméleti szilárdtestfizika területén végzett kiemelkedő kutatásaikért (1980); Fehér István (hat, nem

KFKI-s társával): megosztott Állami Díj a paksi atomerőmű megvalósításában végzett kiemelkedő hazai kutatási, tervezési, beruházási tevékenységéért (1985); Apáthy István, Szabó Ferenc, Szabó László, Szalai Sándor, Szegő Károly (és a Budapesti Műszaki Egyetem három kutatója): megosztott Állami Díj a VEGA programban elért eredményekért (1986); Horváth Péter: megosztott Állami Díj a félvezető anyagok új vizsgálati módszerének kifejlesztéséért, új mérőeszköz gyártásának és értékesítésének megszervezéséért (1988); Vashegyi György: megosztott Állami Díj a paksi atomerőmű III–IV. sz. blokkja információs számítógéprendszereinek a hazai ipar részvételével megvalósított létesítéséért (1988).

Akadémiai Aranyéremben részesült: Jánossy Lajos (1972) és Pál Lénárd (1975).

Akadémiai Díjat kapott: Gróz Péter, Vasáros László II. fokozat (1961); Kiss István, Matus Lajos, Opauszky István I. fokozat (1962); Nagy László I. fokozat (1963); Fodor Miklós, Kósa Somogyi Istvánné, Fóti Ernő III. fokozat (1963); Ádám András III. fokozat (1964); Baránszky-Jób Imre, Bogdány János, Iványi Gyula, Lukács József, Náray Zsolt és Sándory Mihály I. fokozat (1965); Hoffmann Tibor II. fokozat (1965); Kiss Dezső III. fokozat (1965); Keszthelyi Lajos, Dézsi István, Pócs Lajos, Demeter István (1968); Kroó Norbert, Bata Lajos és Vizi Imre (1970); Kiss Dezső, Nagy Elemér, Urbán László, Vesztergombi György (1973); Gyimesi Zoltán, Szabó Ferenc, Szatmáry Zoltán, Turi László, Valkó János (1974); Zawadowski Alfréd (1977); Lovas István (1978); Zimányi József (1981); Gyulai József, Mezey Gábor, Kótai Endre, Lohner Tivadar, Manuaba Iba Asrama (1984); Forgács Péter (1985); Bencze Gyula, Doleschall Pál, Révai János (1988); Kemény Tamás, Vincze Imre (1991).

MTA III. Osztály díjait kapták: Erő János: Fizikai Fődíj (1988) és Szlachányi Kornél: Fizikai Díj (1989).

Az intézeti kutatók egyéb hazai és nemzetközi elismerései: *Európai Fizikai Társaság (EPS) Hewlett–Packard Europhysics Díj*: Mezei Ferenc (a neutronspinecho felfedezése és megvalósítása) (1986); *Eötvös Loránd-díj (OMFB-elnök)*: Szlankó János (1990); *MTESZ-díj*: Szegő Károly (1991).

A KFKI a következő kollektív elismerésekben részesült: a kutatóközpont elnyerte a Magyar Szocialista Munkáspárt Központi Bizottsága által adományozott „Kongresszusi zászlót”; a Magyar Tudományos Akadémia „Az MTA Kiváló Intézete” kitüntető címet adományozta a KFKI-nak (1981); a Minisztertanács és a SZOT Elnöksége a KFKI dolgozóinak „Vörös Zászlót” adományozott; az MTA főtitkára és a Közalkalmazottak Szakszervezetének főtitkára „Kiváló Intézet” címmel tüntette ki a KFKI-t (1985).

KÖZPONTI FIZIKAI KUTATÓINTÉZET

Atomenergia Kutatóintézet

Írta

Gadó János

MTA KFKI ATOMENERGIA KUTATÓINTÉZET

Igazgató: Gadó János

1121 Budapest Konkoly Thege u. 29–33.

Telefon: 395-9159

Fax: 395-9293

Postai cím: 1525 Budapest Pf. 49

E-mail: gado@sunserv.kfki.hu

Honlap: <http://www.kfki.hu/~aekihp/>

Atomenergia-kutatás Tudományos Tanácsa. Vezetője: Jancsó Gábor

Kutatók száma: 86

a tudomány doktorainak és az MTA doktorainak száma: 6

a kandidátusok száma: 16

a PhD-fokozattal rendelkezők száma: 6

a 35 év alatti kutatók száma: 17

PERIODIKÁK:

Progress Report on Research Activities (évente)

TUDOMÁNYOS RÉSZLEGEK:

Alkalmazott Reaktorfizikai Laboratórium, Fizikai-Kémiai Laboratórium, Fűtőelem és Reaktoranyagok Laboratórium, Reaktoranalízis Laboratórium, Reaktortechnikai Laboratórium, Sugárvédelmi és Környezetfizikai Laboratórium, Szimulátor Laboratórium, Termohidraulikai Laboratórium, Reaktor Üzem

Célok, feladatok, a szervezet változásai

A KFKI Atomenergia Kutatóintézet (AEKI) önálló léte előtt az MTA Központi Fizikai Kutatóintézet részeként működött. Az MTA elnöke és főtitkára a KFKI átalakulásának részeként 1992. január 1-jei hatállyal létrehozta az AEKI-t mint az MTA önálló kutatóintézetét. Az AEKI a KFKI átalakulása során tudatosan készült az önálló létre, tehát az önállóvá válás semmilyen gyakorlati problémát nem okozott. Az MTA-elnöki-főtitkári utasítás, amely egyben az intézet alapító okiratának szerepét is betölti, a következőképpen határozza meg az intézet feladatait:

„Alap-, alkalmazott és fejlesztő kutatás a következő területeken: reaktorfizika, reaktordiagnosztika, termohidraulika, valós idejű információs és tanácsadói rendszerek, reaktorszimuláció, atomerőművek biztonságának determinisztikus és valószínűségi elemzése, sugárkárosodás, törésmechanika, szivárgásdetektlálás és sugárvédelem, továbbá környezetvédelem, környezeti ellenőrző rendszerek, kockázatelemzés, analitikai kémia, fizikai kémia, akusztikus emissziós módszerek, reaktorelektronika, űrelektronika.” Az MTA konszolidációja során az intézet feladatai nem változtak.

Az AEKI igazgatója Gadó János (1992 óta), tudományos igazgatóhelyettese Szabados László (1992 óta). Az intézet igazgatásában az idők folyamán szükségessé vált újabb igazgatóhelyettesi megbízások kiadása, úgymint gazdasági igazgatóhelyettes, ügyvezető igazgatóhelyettes (aki a reaktor tudományos és ipari hasznosításáért, valamint az Országos Atomenergia-hivatallal [OAH] való kapcsolatokért felelős), atomenergetikai igazgatóhelyettes (aki a Paksi Atomerőmű Rt.-vel való kapcsolatokért felelős) és műszaki igazgatóhelyettes. Az AEKI-ben Tudományos Tanács működik, amelynek tagjait az igazgató a tudományos fokkal rendelkező munkatársak szavazása alapján bízza meg. A Tudományos Tanács elnökei: Makai Mihály (1990–93), Koblinger László (1993–96), Jancsó Gábor (1996 óta).

Az AEKI szervezeti struktúrája azzal az igénnyel jött létre, hogy biztosítsa egyrészt a kutatómunka folyamatosságát és infrastruktúráját, másrészt pedig a

felvetődő konkrét kutatási-fejlesztési feladatok megoldását. Az adott diszciplína kutatásának letéteményesei a laboratóriumok, míg a kutatási-fejlesztési feladatokat projektekben és kutatási témákban oldják meg. A projektek vezetőit az adott feladat (külső megbízás, elnyert pályázat) időtartamára bízta meg az igazgató, a Tudományos Tanács által, belső pályázati rendszerben kitűzött kutatási témák vezetői pedig naptári évre kapnak megbízást. Ez a mátrixstruktúra eredményesebbnek bizonyult, mint a szokásos hierarchikus rendszer. Az igazgatóhelyettesek e mátrixstruktúra felett nem hierarchikus rendszerben működnek. Az AEKI-ben a laboratóriumokon kívül funkcionális szervezetek is léteznek, úgymint a Reaktor Üzem (amelynek feladata a kutatóreaktor üzemeltetése), a Környezetvédelmi Szolgálat (amelynek feladata a telephely környezet-ellenőrzésének az ellátása), továbbá az Igazgatói Titkárság és a Gazdasági Szervezet.

Az AEKI laboratóriumait a személyi feltételek és a feladatok változásának függvényében többször átszervezték. 1992-től folyamatosan létezik a Reaktoranalízis Laboratórium, a Termohidraulikai Laboratórium, az Alkalmazott Reaktorfizikai Laboratórium, valamint a Szimulátor Laboratórium. 1996-ban a Termohidraulikai Laboratórium bázisán, más laboratóriumok munkatársait is bevonva, létrejött a Fűtőelem és Reaktoranyagok Laboratórium. Ezekben a laboratóriumokban zajlanak a reaktorbiztonsági kutatások. A sugár- és környezetvédelmi kutatások többszöri átszervezés után a Sugárvédelmi és Környezetfizikai Laboratóriumban összpontosulnak. Az önálló Fizikai Kémiai Laboratórium felelős a fizikai kémiai kutatásokért. Végül – ugyancsak többszöri átszervezés után – létrejött a Reaktorkutatási Laboratórium, amelyben az AEKI-ben a kutatóreaktoron végzett kutatások, valamint a reaktortechnológiai és reaktorelektronikai kutatás-fejlesztés csoportosul.

Az AEKI kutatási-fejlesztési munkája a források szerint a következőképpen csoportosítható. A reaktorbiztonsági kutatások fő forrásai az Országos Atomenergia-hivatal (OAH), az Országos Műszaki Fejlesztési Bizottság, az Európai Unió PHARE és egyéb programjai, valamint az MTA költségvetése. Az intézet az OAH számára szakértői (tudományos háttérintézményi) tevékenységet, a Paksi Atomerőmű Rt. számára pedig konkrét biztonsági elemzéseket és a biztonsággal kapcsolatos fejlesztéseket végez. E tevékenységek élesen elkülönülnek az intézmény más munkáitól. Az intézet több feladatot oldott meg a Nukleárisbaleset-elhárítási Kormánybizottság számára. Jelenleg alakul ki az AEKI szerepvállalása a nukleáris hulladékok hazai elhelyezésével kapcsolatos kutatásokban. Végül – részben költségvetési, részben a Nemzetközi Atomenergia-ügynökség (NAÜ) és az Európai Unió (EU) forrásaiból – az intézet fejleszti a kutatóreaktort, és folyamatosan törekszik az annak biztonságára vonatkozó új ismeretek megszerzésére.

A kutatási-fejlesztési munkák sokrétősége miatt és egyes feladatokban a függetlenség biztosítása érdekében az AEKI 1995-től minőségbiztosítási rendszert vezetett be. E rendszer 1996-ban az OAH-tól megkapta a paksi atomerőműbe történő nukleáris beszállításhoz szükséges minősítést, majd 1999-ben a Magyar Szabványügyi Testület tanúsította az ISO-9001 szerinti működést.

A kutatóreaktor üzemeltetése teljes egészében az AEKI feladata. Az összes hatósági engedélyeztetési eljárást az AEKI végzi. A kutatóreaktor az OAH által jóváhagyott szabályzatok és minőségbiztosítás szerint működik. A kutatóreaktoron folyó kutatások koordinálására 1992 óta létezik a Budapesti Kutatóreaktor Műszerközpont (BKM), amelynek tagjai az MTA Szilárdtestfizikai és Optikai Kutatóintézet, az MTA Kémiai Kutatóközpont Izotóp- és Felületkémiai Intézete, valamint 1999-től az MTA Műszaki Fizikai és Anyagtudományi Kutatóintézete is. A BKM gesztorintézete az AEKI. A BKM koordinálja a reaktorral kapcsolatos fejlesztéseket és az ott folyó kutatómunkát.

Nagyberendezések és kutatások

Nagyberendezések

A Budapesti Kutatóreaktor

A kutatóreaktor rekonstrukciója a KFKI átalakulásának idején fejeződött be, üzembe helyezésre már az AEKI önálló létének elnyerése után került sor. A hatósági engedélyek beszerzése után, a lakossági fórum véleményének ismeretében, a reaktor fizikai indítására 1992. december 12-én került sor. A fizikai és energetikai indítási program sikeres befejeztével és a próbaüzem után az AEKI 1993 novemberében megkapta a reaktor üzemeltetési engedélyét, amelyet az OAH az új atomtörvény életbe lépése után 1998-ban megerősített.

A kutatóreaktor 1993 óta több mint 20 000 üzemórát teljesített. A reaktor 10 MW hőteljesítményen üzemel (összehasonlításképpen a paksi atomerőmű egyetlen blokkjának 1375 MW a hőteljesítménye). Az elért maximális termikus neutronfluxus 2×10^{14} neutron/cm²/s.

A reaktor biztonságával kapcsolatos főbb mutatók:

- az indokolatlan leállások száma 25 (ebből 20 esetben kétoldali feszültségkimaradás, amelynek okát időközben megszüntették),
- az összes elszállított szilárd radioaktív hulladék 4,7 m³,
- a 46 fős személyzet kollektív dózisa 1993 óta 280 mSv (azaz a megengedettnek kb. 5%-a).

A reaktor körüli berendezéseket, amelyek üzembe helyezésére fokozatosan került sor, a következő kutatási területeken használják: kis szögű neutronszórás, neutrodiffraktometria, neutronradiográfia, háromtengelyű neutronspektrometria, neutronreflektometria, neutronaktivációs analízis, prompt gamma-aktivációs analízis, neutron-gamma biológiai besugárzások, reaktoranyagok sugárkárosodása.

A kutatóreaktort az Izotóp Intézet Kft. radioaktív izotópok előállítására veszi igénybe.

A kutatóreaktor mellett létesül a hidegneutron-forrás (HNF). A HNF lehetővé teszi, hogy az eddiginél nagyobb hullámhosszú, anyagvizsgálatra fokozottan alkalmas neutronspektrumot biztosítsanak különböző reaktor körüli berendezéseknél. A mintegy 1 millió USD értékű HNF létrehozását a Nemzetközi Atomenergia-ügynökség, az Európai Unió, az OTKA és a BKM-ben részt vevő kutatóintézetek beruházási forrásai tették lehetővé. A HNF összeszerelése megtörtént, próbamérései megkezdődtek. Üzembe helyezése 1999 végére várható.

A PMK-2 integrális termohidraulikai berendezés

A Paksi Modellkísérlet (PMK) berendezés második változata 1990 óta üzemel. A nemzetközileg is unikálisnak tekinthető berendezés lehetővé teszi a paksi atomerőmű (és a hasonló VVER atomerőművek) primer körében lejátszódó hőfizikai és áramlási folyamatok kísérleti modellezését úgy, hogy a méretek függőlegesen a valóságosnak felelnek meg, míg a térfogati és teljesítmény méretarány 1:2070. A reaktorzónát modellező fűtőelemszakasz fűtése elektromos úton történik. A PMK-2 berendezés elemei és műszerezése a feladatoknak megfelelően fejlődnek, jelenleg a műszerezés jelentős korszerűsítése (az Európai Unió finanszírozásában) történik.

A berendezésen 1992 óta 21 reaktorbiztonsági feladat megoldására végeztek kísérleteket. Ezek közül négy a paksi atomerőműben történt, addig teljességgel meg nem magyarázott jelenségek vizsgálatára irányult; kilencre az Európai Unió által finanszírozott különböző kutatási projektekben került sor; nyolc kísérletet pedig saját kezdeményezésű kutatásként, az OMFb finanszírozásával és többségében a Paksi Atomerőmű Rt. visszafizetési kötelezettségvállalása mellett végeztek el.

A CODEX súlyos baleseti kísérleti berendezés

Az atomreaktorok súlyos baleseti folyamatainak integrális vizsgálatára hoztuk létre 1993-ban a CODEX (Core Degradation EXperiment) berendezést. A zóna sérülését kísérő magas hőmérsékletű jelenségeket a reaktorokban használatos

fűtőelemekből álló, elektromosan fűtött kötegek segítségével lehet nyomon követni. A kísérletek során regisztrálják a legfontosabb hőtechnikai adatokat, a kémiai kölcsönhatásokat és szerkezeti változásokat pedig a mérést követő metallográfiai, kémiai és elektronmikroszkópos vizsgálatok eredményei mutatják.

A kísérleti program első mérései VVER típusú kötegek sérülését modellezték gyors és lassú lehűtési körülmények közepette. 1997–99 között az Európai Unió támogatásával nyugati PWR típusú reaktorok fűtőelemeivel végeztek olyan speciális vizsgálatokat, amelyek kimutatták, hogy levegő jelenlétében a zónasérülési folyamat jelentősen felgyorsul. A CODEX-kísérletek kiegészítéseként számos szeparált effektus kis léptékű mérésére is sor került, a reaktoranyagokban fellépő magas hőmérsékletű fizikai és kémiai jelenségek vizsgálata céljából.

Tudományos eredmények és alkalmazások

Az AEKI tevékenységében a szigorúan vett tudományos eredmények és a kutatófejlesztő munka gyakorlatban felhasznált eredményei alig választhatók szét, ezért ezeket egy fejezetben érdemes tárgyalni.

Az AEKI máig legnagyobb feladata a paksi atomerőmű biztonságának újraértékelésére szolgáló *AGNES projekt* vezetése volt. Az 1991–94 között zajlott országos fontosságú programot az OAH kezdeményezte, de részt vettek benne az AEKI a VEIKI és az ERŐTERV, valamint a Paksi Atomerőmű Rt. munkatársai és jelentős nyugati cégek is. A projekt bebizonyította, hogy a paksi atomerőmű tervezési biztonsága nyugati elemzési módszerek alkalmazása esetén is megfelel a nemzetközi normáknak, ugyanakkor megállapította, hogy melyek azok a tényleges tennivalók, amelyekkel a tervezés hiányosságai kiküszöbölhetők. A paksi atomerőműben az *AGNES projekt* alapján kezdődtek meg a biztonságnövelési intézkedések (BNI), melyek végrehajtása ma is tart.

Az AEKI feladata a *paksi BNI program egyes intézkedéseinek és egyéb átalakításoknak a részletes tudományos megalapozása*. Ennek érdekében számtalan termohidraulikai és reaktorfizikai üzemzavar elemzés készült olyan esetek megfelelő kezelésére, mint a földrengésvédelmi koncepció bevezetése, a primer-szekunder átfolyás kezelése kollektortörés esetén, a térfogat-kiegyenlítő biztonsági szelepek cseréje, a mesterséges feszültségmentesítés megszüntetése, a bórhígulások üzemzavarok lehetőségeinek kizárása, a lefűvások-újrátöltéses balesetkezelési eljárások bevezetése stb.

Az AEKI eredetileg a VVER-1000 típusú reaktorokra dolgozta ki a stacioner és lassú tranziens üzemállapotok komplex reaktorfizikai modelljét, a *KARATE programrendszer*t. Az 1990-es években elkészült a programrendszer VVER-440

változata is, amelyet ma a paksi atomerőműben minden blokkon minden évben a fűtőelemtöltet számításának ellenőrzésére használnak.

Az AEKI kifejlesztette és validálta a KIKO3D kódot, amelynek segítségével lehetővé vált a gyors neutronkinetikai tranziensek háromdimenziós számításos modellezése. A kódot összekapcsolták az ATHLET termohidraulikai rendszerkóddal is, és így lehetővé vált a VVER-440 reaktorok igen bonyolult üzemzavarainak számításos modellezése is.

A PMK-2 berendezésen termohidraulikai kísérleteket folytattak, egyes üzemzavar-folyamatok jobb megértése és a számításos modellezésre szolgáló, ún. rendszerkódok validációja érdekében. A legfontosabb kísérletek a természetes cirkulációs üzemállapot jobb megértését, a biztonság növelésével kapcsolatos egyes szakmai kérdések megoldását, a gyors leállás nélküli tranziensek lefutásának modellezését szolgálták.

Az AEKI-ben 1990-től kezdve egy sor kísérleti és számítási munka folyt a paksi fűtőelemek viselkedésének modellezése céljából. A nyugati szabványoktól eltérő anyagok alkalmazása miatt originális eredményekre volt szükség üzemi és üzemzavari hőmérsékleteken a burkolat oxidációja és hidrogénfelvétele kinetikájának leírása érdekében.

Az AEKI üzemzavar-elemzésekkel vett részt a paksi atomerőmű fűtőelemdiverzifikálási programjában. A kutatások kiterjedtek mind az angol BNFL cég fűtőelemkötegére, mind az orosz fűtőelemgyártó cég új típusú, dúsításprofilírozott fűtőelemkötegére.

Az atomerőművek súlyos baleseteinek kutatása terén említésre méltóak a CODEX berendezésen végzett mérések, amelyek alapján meg lehet érteni a reaktorzóna degradálódási folyamatát mind vízgőz-, mind levegő-atmoszférában. Ugyancsak értékes eredmény a számítógépes súlyos baleseti szimulátor kifejlesztése, amely elsősorban oktatási célokat szolgál.

Az AEKI hagyományos feladata a paksi atomerőmű reaktortartályaival kapcsolatos problémák vizsgálata. Az elmúlt időszakban az AEKI tökéletesítette a tartályokat üzemzavar esetén érő hőszökkenet hatásainak elemzési módszereit, részt vett a paksi tartályok új ellenőrzési programjának kidolgozásában és végrehajtásában, méréseket végzett a tartályok termikus öregedésének meghatározására stb.

Az AEKI-ben korábban kialakított VERONA zónamonitorozó rendszert az 1990-es években jelentősen továbbfejlesztették. A VERONA nélkül ma a blokkok legfeljebb 24 óráig üzemeltethetők. Megtörtént a reaktor teljesítménykorlátozásának új tudományos megalapozása; az új korlátozások bevezetésére a közeljövőben kerül sor.

Az AEKI az elmúlt években kifejlesztette az OAH krízisközpontjának egyik fontos elemét, az on-line biztonsági paraméter képernyő rendszert. Az új rendszer biz-

tosítja, hogy a központban dolgozó hatósági szakemberek normális és üzembetavari helyzetekben egyaránt folyamatosan figyelemmel kíséressék a paksi blokkok működését.

A paksi atomerőműben végrehajtott egyik legnagyobb változtatás a reaktorvédelmi rendszer rekonstrukciója. Az AEKI feladata a reaktorvédelmi rendszer funkcionálisának felülvizsgálata és a szükségessé vált új védelmi jelek bevezetésének a megalapozása volt.

A paksi atomerőműben most készülnek fel az ún. állapotorientált kezelési utasítás bevezetésére, amely a ma már elavultnak tekinthető, az üzembetavarok elsődleges kiváltó okának kiderítésére alapozott, eseményorientált kezelési utasítást hivatott felváltani. Az AEKI egyrészt üzembetavar-elemzésekkel és az új kezelési utasítás oktatási anyagaival járul hozzá ehhez, másrészt kifejleszti azt a rendszert, amelynek révén lehetségessé válik a kritikus biztonsági funkciók monitorozása.

Az AEKI kutatásaiban hagyományosan nagy szerepet játszik a számítógépes szimulátorok fejlesztése. Az elmúlt időszakban az AEKI a fűtőelemek sérüléséig terjesztette ki a paksi szimulátor modellezési tartományát; az új számítógépes lehetőségek kihasználásával csökkentette a szimulátor ciklusidejét. Így a szimulátort az üzembetavari helyzetek oktatása mellett egyre gyakrabban használják új fejlesztések eszközeként (reaktorvédelmi rendszer, blokkszámítógép-rekonstrukció). Az AEKI-ben, EUREKA program keretében, korszerű számítógépi környezetet alakítottak ki. Az AEKI részt vett a VVER-440 erőművek multifunkcionális szimulátorokkal való ellátását szolgáló PHARE/TACIS EU-projektben.

Az AEKI kifejlesztette a SINAC környezeti szimulátort, amely alkalmas a nukleáris baleseteket követő folyamatok modellezésére, beleértve a lakossági sugárterhelés számítását és óvó rendszabályok bevezetésének mérlegelését. A berendezés részben oktatási célokat szolgál, de operatíván is működik a Nukleáris-baleset-elhárítási Kormánybizottság Titkárságán. Az AEKI munkatársai aktívan vettek részt a különböző nemzetközi nukleárisbaleset-elhárítási gyakorlatokon. Az 1998-as INEX2(HUN) gyakorlat forgatókönyvét az intézetben dolgozták ki.

Az említett eredményeken kívül a sugárvédelmi kutatások nemzetközi elismerést szereztek a következő területeken:

- inhalált radioaktív aeroszol-részecskék vizsgálata ember- és patkánytűdőben,
- környezeti radioaktivitás monitorozása (*in situ* méréstechnika, mozgólaboratórium),
- retrospektív radonexpozíciós vizsgálatok,
- a belső sugárterhelés meghatározása és radionuklidok metabolizmusának vizsgálata egésztest-számláló felhasználásával.

Az AEKI kutatói magyarországi háttér- és városi aeroszolk forrásmegoszlását határozták meg automatikus egyedi részecskés elektronsugaras mikroanalízissel. Mérték fosszilis tüzelésű erőművek szilárd halmazállapotú légköri kibocsátását, és modellezték a szennyező anyagok légköri terjedését, száraz kiülepedését, valamint környezeti hatásaikat. Az aeroszolk és az erőművi pernyék vizsgálatához speciális röntgenemissziós, -abszorpciós és -fluoreszcenciás módszereket alkalmaztak, illetve fejlesztettek ki. A vizsgálatok európai együttműködési programok kereteiben zajlottak.

1993–95-ben az AEKI-ben kifejlesztették a PILLE kisméretű, hordozható termolumineszcens dózismérő korszerűsített változatának prototípusát. A berendezést sikeresen használták a NASA és az ESA űrhajósai a MIR űrállomáson. Feltérképezték a dóziseloszlást az űrállomáson, kimutatták a dél-atlanti anomália hatását, elsőként állapították meg az űrhajósokat űrséta közben érő dózis nagyságát. A PILLE továbbfejlesztett változata felkerül a Nemzetközi Űrállomás fedélzetére. A PILLE földi, telepes változatát a paksi atomerőműben standard műszerként használják.

Az AEKI kutatói részt vesznek az ESA által felbocsátandó ROSETTA űrszonda leszállóegysége műszereinek elkészítésében, amely először fog közvetlen méréseket végezni egy üstökös magjának a felszínén.

Az AEKI-ben folyó fizikai-kémiai kutatások elsősorban a kondenzált fázisok és a szilárd/folyadék határfelületek tulajdonságainak megismerésére irányulnak. Kolloidok hidrofób hidratációs szerkezeteinek vizsgálatával tisztázták a víznek a hidrofób kölcsönhatásokban játszott szerepét. Elméleti modellekkel és elektrokémiai, valamint felületanalitikai mérésekkel meghatározták egyes korrózióálló fémek és elektrolitoldatok határfelületének a szerkezetét, valamint a korróziós folyamatokat gyorsító halogénadszorpció kinetikáját. Laboratóriumi léptékű kísérletek alapján következtettek az atomerőművekben extrém körülmények között képződő szerves jódvegyületek összetételére. Meghatározták, hogy az oldószer deutériumtartalma miként befolyásolja különböző szerves vegyületek oldatainak a szerkezetét és az oldószer meg az oldott anyag közötti kölcsönhatások erősségét.

Az AEKI neutronaktivációs laboratóriuma jó felszereltségű. Az analízis az intézetben kifejlesztett és nemzetközileg elfogadott K_0 standardizációs módszerre épül, amivel mintegy 70 elemre 1% érzékenység érhető el. A neutronaktivációs analitika igen széles intervallumban alkalmas a minta alkotóelemeinek nagy pontosságú kimutatására. Alkalmazható az orvosi kutatásban (pl. szelén kimutatása), a geológiai kutatásban és számos gyakorlati feladat megoldása során is.

A statikus és a dinamikus gamma- és neutronradiográfia céljait szolgálja a kutatóreaktor egy-egy vízszintes csatornája. A dinamikus radiográfia a mozgó

jelenségek közvetlen tanulmányozhatósága révén unikális. A hűtőgépiparban a radiográfia már a technológiai lánc része. A röntgenradiográfia jól kiegészíti a neutronradiográfiát a kis energiák tartományában.

Az AEKI-ben kutatott témák között szerepel a reaktortechnikai eszközök, elsősorban műszer- és irányítástechnikai berendezések fejlesztése. Az eredetileg a reaktorrekonstrukció során kifejlesztett berendezések (PLC-bázisú reaktorvédelmi logika, rúdhajtásvezérlő rendszer, dozimetriai ellenőrző rendszer, operátort támogató számítógépes adatgyűjtő stb.) jó üzemeltetési tapasztalata alapján került sor több kisebb, a Nemzetközi Atomenergia-ügynökség által finanszírozott, különböző kutatóreaktorok számára készült projektekre, majd az Egyiptomi Nukleáris Kutatóközpont adott több megbízást az egyiptomi kutatóreaktor felújításával kapcsolatban.

Oktatás, továbbképzés

Az AEKI oktatási kapcsolatait alapvetően a kihelyezett laboratóriumokban végzett munka jelenti. A laboratóriumok a következők:

- ELTE TTK Sugárvédelmi Oktatási Laboratórium, vezető: Zombori Péter, féléves graduális és egyéves posztgraduális képzés, hatósági vizsgával;
- ELTE TTK Kondenzált Anyagok Laboratóriuma, vezető: Schiller Róbert, vizsgaköteles speciális kollégiumok, laboratóriumi gyakorlatok, doktori iskola;
- BME Fizikai Kémiai Tanszék Elektrokémiai Laboratórium, vezető: Nyikos Lajos, féléves vizsgaköteles előadások és laboratóriumi gyakorlatok;
- Veszprémi Egyetem, Határfelületek Laboratóriuma, vezető: Nagy Gábor, féléves, vizsgaköteles speciális kollégiumok.

Nemzetközi kapcsolatok

Az AEKI nemzetközi kapcsolatainak nagy része konkrét feladatokhoz, főképp EU-projektekhez kapcsolódik; ezek nagy száma miatt meg sem kísérelhető a részletes ismertetés, de annyit érdemes kiemelni, hogy az AEKI munkatársai szinte valamennyi olyan jelentős európai nukleáris kutatóintézetrel és számos ipari intézménnyel kapcsolatban állnak, amelyek szerepet játszanak a reaktorbiztonsági kutatásokban. Az alábbiakban csak a legfontosabb kapcsolatokat említjük.

Az AEKI volt az 1970–80-as évek legnagyobb kelet-európai reaktorfizikai projektjének, a ZR-6-kutatásoknak a házigazdája. Ez 1990-ben lezárult, és a részt vevő intézmények úgy határoztak, hogy egy új, nyitott, intézetközi és nem államközi megállapodáson alapuló együttműködést hoznak létre. Az Atomic Energy Research (AER) együttműködés azóta is létezik, ma 25 tagintézménye van. A meghatározott területeken folyó közös kutatások, a tapasztalatok cseréje igen hasznos, az együttműködés bővülő szakaszában van. Az AER titkársági teendőit az AEKI látja el.

Az AEKI számára igen jelentős esemény volt, hogy 1996-tól Magyarország tagja lett az OECD Nuclear Energy Agency szervezetnek (NEA). Az AEKI munkatársai a NEA számos bizottságában és munkacsoportjában tevékenykednek.

Az OECD NEA Halden Reactor Projecttel való együttműködés negyvenéves múltja tekinthet vissza. Azzal, hogy az AEKI 1995-től az együttműködés társult tagjává vált, az összes korábbi, szinte felbecsülhetetlen értékű ismerethez hozzáférhetett, és részesévé vált a legmodernebb fűtőelem-viselkedési és ember-gép kapcsolati kutatásoknak. Tekintettel arra, hogy az ilyen típusú együttműködések nagyon hasznosak az ország számára, az OMFb rendszeresen biztosítja az éves tagdíj egy részének fedezetét. Az AEKI több munkatársa dolgozott és dolgozik a projekt norvégiai központjában.

Az AEKI ugyancsak tagja az OECD NEA Rasplav Projectnek is. Ennek keretében a moszkvai Kurcsatov Intézetben olyan kísérletek folynak, amelyek súlyos baleseti körülmények között vizsgálják a megolvadt zóna és a reaktortartály kölcsönhatását.

A Nemzetközi Atomenergia-ügynökség kereteiben folyó együttműködések az intézet sok kutatási témáját befolyásolják. A legfontosabb területek a kutatóreaktor, a reaktortartály-anyagvizsgálatok, a termohidraulika és a sugárvédelem.

Az AEKI 1998-ban csatlakozott az AMES (Ageing Material Evaluation System) elnevezésű EU kutatási hálózathoz. A hálózat célja a nukleáris berendezések szerkezeti anyagaival kapcsolatos kutatások összehangolása. Gyakorlatilag valamennyi, a témában érdekelt nagy EU-kutatóintézet tagja a hálózatnak.

A német GRS és a francia IPSN intézetek Németország és Franciaország nukleáris hatásainak tudományos háttérintézményei. Ezek az intézetek az 1990-es években az AEKI legfontosabb európai partnereivé váltak. Mindkettővel számos közös kódfejlesztési együttműködés folyik, és közös kódellenőrzések is történnek a VVER típusú reaktorok viszonyaira vonatkozó AEKI-mérések alapján.

Az AEKI 1992 óta részt vesz az US NRC által szervezett CAMP együttműködésben, amelynek célja az Egyesült Államok Nukleáris Hatósága által fejleszt-

tett reaktorbiztonsági számítógépi programok nemzetközi tesztelése és továbbfejlesztése. Ennek az együttműködésnek a kereteiben lehet hozzáférni a korszerű amerikai kódokhoz. Az együttműködéshez az AEKI elsősorban a VVER típusú atomerőművekre vonatkozó ellenőrzéshez alapot adó PMK-2-kísérletekkel járul hozzá.

Az AEKI úrkutatási tevékenységében a fő partnerek a NASA és az ESA. Magyarország kinyilvánított szándéka, hogy az Európai Unióhoz való csatlakozás során az ESA tagjainak sorába is belép. A jelenleg az ESA-hoz kapcsolódó tevékenység az ESA programirodájával, a PRODEX-szel kötött szerződés keretében folyik.



Az AEKI csak 1992-től önálló, korábban a KFKI egyik intézeteként működött. Az intézet a tudományos bázisintézmény szerepét játszotta a paksi atomerőmű létesítése során. Tevékenyen közreműködött abban, hogy a szovjet tervezésű atomerőművek legnagyobb gyengeségét, az ember-gép kapcsolat nem igazán korszerű kialakítását a paksi atomerőműben már a létesítés során felismerték. Jórészt az AEKI fejlesztései révén a paksi atomerőmű nem szenved ezektől a gyengeségektől. Az 1990-es évek első felében az AEKI vezette a paksi atomerőmű biztonságának újraértékelésére szolgáló AGNES projektet, amely meghatározta a biztonságnövelési program prioritásait. A hazai tudásbázis ilyen felelőségi alkalmazása Kelet-Európában egyedülálló. Az AEKI a biztonságnövelési program megvalósítása során állandó és sokrétű tanácsadó és problémamegoldó szerepet tölt be a Paksi Atomerőmű Rt. megbízásából. Az intézet ugyanakkor az atomenergia biztonságos felhasználásáért felelős magyar hatóság tudományos-műszaki háttérintézménye is.

Mindezek a gyakorlati eredmények nem jöhettek volna létre mélyreható kutatómunka nélkül. Az AEKI-ben folyó reaktorfizikai, termohidraulikai, fűtőelem-viselkedési, sugárkárosodási kísérleti, elméleti és modellezési kutatások mindig szem előtt tartották a valóságos követelményeket, de azokat nagyon igényesen közelítették meg. Így vált lehetségessé, hogy az AEKI kísérleti eredményeit a nemzetközi kutatóközösség rendszeresen használja. A szovjet tervezésű atomreaktorok modellezésében az AEKI kísérleti eredményei az igazolás alapjának szerepét töltik be.

Az AEKI-ben folyó egyéb kutatások a reaktorbiztonsági kutatásokhoz kapcsolódnak. A sugárvédelem, az űrdozimetria, a fizikai kémia, az aktivációs analízis, a környezetfizika terén elért eredmények jelentősen szaporodtak az utóbbi években.

Az AEKI fontos feladata a kutatóreaktor üzemeltetése. A reaktor rekonstrukció utáni üzembe helyezése és üzemeltetése zavartalan volt. A kutatóreaktor által nyújtott kutatási lehetőségek jelentősen növekednek a hidegneutron-forrás üzembe helyezésével. Az AEKI reaktortechnikai ismereteit más kutatóreaktoroknál is hasznosítja.

KÖZPONTI FIZIKAI KUTATÓINTÉZET

Mérés- és Számítástechnikai Kutatóintézet, 1992–97

Írta

Lukács József

Megalakulása és szervezete

A KFKI Mérés- és Számítástechnikai Kutatóintézet (KFKI-MSZKI) 1992. január 1-jén lett a Magyar Tudományos Akadémia önálló kutatóintézete. Előtte, 1975-től a KFKI Kutatóközpont Mérés- és Számítástechnikai Kutatóintézete volt. Az 1980-as évek közepén létszáma ötszáz fő körül mozgott. A rendszerváltásig az MSZKI jelentős szerepet játszott az ország számítástechnikai és mérés-technikai kultúrájának megalapozásában, tevékenysége a kutatás-fejlesztésen kívül ilyen rendszerek létrehozására, gyakorlati alkalmazására is kiterjedt. A rendszerváltáskor alapjaiban módosultak az ország kutatás-fejlesztési és műszaki lehetőségei és igényei, ennek megfelelően az MSZKI is lényegesen átalakult. A gyártással, értékesítéssel és gyakorlati alkalmazás kérdéseivel foglalkozók a vállalkozói szférában folytatták a munkát, míg a kutatással és a kutatásokhoz közvetlenül kapcsolódó fejlesztésekkel foglalkozók maradtak az önállósult MSZKI-ban. Az MSZKI létszáma ezzel ötödére csökkent, a kutatók száma ötven körül volt.

Az önállóvá vált MSZKI a következőkben határozta meg *alaptevékenységét*: „alap-, alkalmazott és fejlesztő kutatás a műszaki tudományok területén, valamint részvétel a felsőfokú oktatásban. A kutatási feladatok a következők: alap-, alkalmazott és fejlesztő kutatás a párhuzamos számítógép-architektúrákkal kapcsolatban, továbbá ehhez kapcsolódó szoftverek és alkalmazások kutatása; képfelismerés, képfeldolgozás és algoritmusorientált architektúrák kutatása; mesterséges intelligenciát alkalmazó objektumorientált szimulációs rendszerek; protokolltechnológiai eszközök és formális leírási technikák kutatása; beszéd- és rehabilitációs technológiai módszerek és eszközök kutatása; alkalmazott és fejlesztő kutatás a laboratóriumi mérés-technika és műszerezés területén; alkalmazott és fejlesztő kutatás ipari rendszerek, elsősorban villamosenergia-rendszerek automatizálásával kapcsolatban.”

Az intézet igazgatója Vajda Ferenc, a műszaki tudomány doktora, a Budapesti Műszaki Egyetem Villamosmérnöki és Informatikai Karának habilitált professzora. Igazgatóhelyettes: Lukács József. Az intézet munkatársai közül 1 fő

akadémikus, 3 fő a tudomány doktora, 12 fő a tudomány kandidátusa, illetve PhD-fokozattal rendelkezett.

Az intézet szervezeti felépítése a következő:

- Informatika Főosztály (vezető: Erényi István, helyettese: Rényi István)
 - Párhuzamos és Elosztott Rendszerek Osztály (vezető: Kacsuk Péter)
 - Alkalmazott és Protokoll Technológia Osztály (vezető: Tarnay Katalin)
 - Képfeldolgozás Osztály (vezető: Rényi István)
 - Szimuláció Módszertani és Alkalmazástechnikai Osztály (vezető: Jávor András)
 - Beszéd- és Rehabilitációs Technológia Osztály (vezető: Arató András)
- Laboratóriumi Automatizálási Főosztály (vezető: Biri János, helyettese: Blausovszky Miklós)
 - Digitális Jelfeldolgozási Osztály (vezető: Katona Zoltán)
 - Mérésautomatizálási Eszközök és Rendszerek Osztály (vezető: Sarkadi János)
 - Laboratóriumi Méréstechnika Osztály (vezető: Zárándi Zsolt)
- Ipari Automatizálási Főosztály 1996 végéig (vezető: Vashegyi György).

Az MSZKI 1997 végéig működött. Az Akadémia 1997. májusi közgyűlésének határozata szerint a Számítástechnikai és Automatizálási Kutatóintézettel (SZTAKI) ésszerű fúziót kellett végrehajtani. Ennek keretében a Párhuzamos és Elosztott Rendszerek Osztálya a SZTAKI keretében folytatta munkáját, a Beszéd- és Rehabilitációs Technológia Osztály a KFKI Részecske- és Magfizikai Kutatóintézetbe került. A többi kutatási terület megszűnt, vagy kikerült az akadémiai kutatóhálózatból.

Tudományos kutatások és eredmények

Párhuzamos és elosztott rendszerek

A párhuzamos és elosztott rendszerekkel kapcsolatos kutatás egyik fő iránya a programozási nyelvek sokprocesszoros környezetben való megvalósíthatósága volt. Ennek keretében kidolgoztak egy nagy párhuzamosságú Prolog implementációt soktranszputeres rendszeren. Ennek továbbfejlesztéseképpen elkészült a munkaállomás clustereken használható változata LOGFLOW elnevezéssel. A munka során létrejött egy olyan grafikus láttató rendszer, amelynek segítségével az elosztott Prolog rendszer ütemezője vizsgálható és a processzorok dinamikus terheléselosztása grafi-

kusan követhető. A munka nemzetközi szinten is elismerést aratott: a rendszer implementálásra került egy 16 transzputeres gépen az Új Lisszaboni Egyetemen és egy 8 transzputeres gépen a Bécsi Műszaki Egyetemen. Az elosztott Prolog rendszert alkalmazzák a KFKI Atomenergia Kutatóintézetrel közös projektben a paksi atomerőművi operátori tréning-szimulátornál.

A *párhuzamos és konkurens módszertannal* kapcsolatban kifejlesztettek egy párhuzamos objektumorientált végrehajtási modellt és annak grafikus változatát, majd ennek alapján egy európai uniós együttműködés keretében egy általánosan használható párhuzamos grafikus nyelvet és editort (GRAPNEL, GRED). Ez a munka bővült ki a párhuzamos feldolgozás általános szoftvermérnöki környezet (Software Engineering for Parallel Processing) nemzetközi projekt keretében való kidolgozásával. Ez a rendszer lehetővé teszi, hogy a párhuzamos tevékenységeket grafikával, a szekvenciális tevékenységeket szöveges nyelven írják le.

A grafikus nyelvet, grafikus szerkesztőt, a párhuzamos programok teljesítményanalízisét megmutató *vizualizációs rendszert és az elosztott hibakeresőt és -javítót* építették össze egyetlen, PACVIS elnevezésű rendszerbe, ezáltal a felhasználó ugyanabban a grafikus környezetben tudja ellenőrizni és javítani programját, mint amiben megtervezte és megvalósította.

A munkaállomás-hálózatok elosztott programozási módszereinek és eszközeinek vizsgálata című téma keretében kidolgoztak egy dinamikus munkaelosztást megvalósító elosztott schedulert. Implementálták a nemzetközi szabványú PVM (Parallel Virtual Machine) és MPI (Message Passing Interface) rendszereket az MSZKI és a BME munkaállomásaiból álló hálózatán.

A Párhuzamos és Elosztott Rendszerek Osztálynak a BME Folyamatszabályozási, valamint a Műszer- és Méréstechnikai Tanszékeivel és a Miskolci Egyetem Irányítástechnikai Tanszékével volt *oktatási együttműködése*. Két PhD-hallgató munkáját irányították. Az osztály munkatársai kidolgozták egy Tempus projekt tantárgyainak tananyagát és jegyzeteit. A BME Villamosmérnöki Karával együtt megalakították a Párhuzamos Számítási és Módszertani Központot. Az osztály vezetője vendégprofesszorként előadásokat tartott a Bécsi Műszaki Egyetemen.

Az osztály több Copernicus projektben, ESPRIT IV projektben, két PHARE-projektben vett részt vezetőként, illetve koordinátorként. Ezekon felül német, osztrák és japán pályázatokat is nyertek közös kutatásokra.

Protokolltechnológia

A kommunikációs technológia gyors fejlődésével és eszközei elterjedésével rendkívül megnőtt a nemzetközi kutatóközösség érdeklődése a *protokolltechnológia* iránt. (A protokollok a kommunikáció szabályrendszerit írják le, amiket az átvitelben részt vevő hardver- és szoftverrendszereknek be kell tartaniuk.) Az Alkalmazott és Protokoll Technológia Osztály munkatársai kidolgoztak egy PROCONSUL elnevezésű *protokoll engineering munkaállomást*, amelynek segítségével protokollokat lehet specifikálni, szerkeszteni, szimulálni, érvényességét vizsgálni (validálni) és konformanciatesztelni. Olyan fejlesztői környezetet alakítottak ki, mely a protokoll teljes életciklusát végigkíséri, és azt automatikus eszközökkel támogatja, így a protokolltechnológia teljes területét felöleli.

Elméleti vizsgálatok több irányban folytak. Új *formális módszereket* dolgoztak ki kommunikációs rendszerek specifikálására, validálására és ellenőrzésére. A cél azoknak a formális módszereknek az elemzése, amelyek elsősorban protokollok vizsgálatára alkalmasak. Vizsgálatokat folytattak *tesztsorozatok kiválasztása optimalizálásának* lehetséges módszereire, elsősorban a lineáris programozás alkalmazásával, a költség-idő függvény optimalizálásával. Ugyancsak megvizsgálták a PERT (Program Evaluation and Review Technique) lehetőségeit sztochasztikus módszerek használatával.

Több protokoll tesztsorozatát dolgozták ki e módszerekkel. Az Alkalmazott és Protokoll Technológia Osztály a protokollkonformancia-vizsgálatban szerzett tapasztalatai alapján független *szakértői laboratóriumként* a Hírközlési Főfelügyelet megbízásából közreműködött az akkreditált vizsgálólaboratóriumok kijelölésében, ellenőrzésében.

Az osztály munkatársai részt vettek az *egyetemi oktatásban* a Budapesti Műszaki Egyetem Távközlési és Telemechanikai Tanszékén előadások, laborgyakorlatok, diplomamunkák és a PhD-képzés területén. Hét PhD-hallgató készítette disszertációját az osztályon. Az osztály a BME-vel közösen létrehozta a távközlési Protokolltanácsadó Központot, mely többször szervezett szemináriumot, és külföldi nyári iskolákra előadókat biztosított. E központ egyenes folytatásaképpen az Ericsson cég konformanciateszt-laboratóriumot alapított Budapesten. 1995-ben az MSZKI és a BME idegen nyelvi képzése kihelyezett laboratóriumot hozott létre az intézet területén, amely a számítástechnikai architektúrák, kommunikációs protokollok, multimédia-alkalmazások és az üzleti távközlés területén szakértő irányítást nyújtott jól kiépített környezetben.

Az osztály munkáját a *nemzetközi környezet* is elismerte. A COST-247 (Verification and validation methods for formal description used in software engineering) Conformance testing munkacsoport vezetője Tarnay Katalin volt. A nem-

zetközi csoportban 18 ország szakértői vettek részt. Ezenfelül több európai uniós projektben is közreműködtek (PHARE, Accord).

Képfeldolgozás

A képfeldolgozással kapcsolatos elméleti munkák egyik iránya a képfeldolgozási algoritmusok leképzésének vizsgálata volt párhuzamos processzorokra. A pixel-orientált finom granularitású feldolgozóstruktúrákat, majd a közepes szemcsézettségű, morfológiai elemzésre használható algoritmusokat tanulmányozták az azokhoz illesztett architekturális megoldásokkal. Ezután a textúravizsgálati algoritmusok leképzéseit kutatták. Másik elméleti irány a kép, illetve képsorozatok kommunikációjánál és tárolásánál fontos hatékony *tömörítés* volt. Ehhez kapcsolódó algoritmusokat dolgoztak ki és valósítottak meg, különös tekintettel a mozgásbecslésen és a wavelet-transzformáción alapuló algoritmusokra.

Az új módszerek és eljárások helyességét a gyakorlatban is igazolták, illetve az elvi kutatásokat sok esetben egy felvetődő *gyakorlati feladat* kezdeményezte. *Textilek laboratóriumi* minősítéséhez kidolgozták a minősítési módszereket és algoritmusokat, majd a rendszer megvalósítása után sikeresen tesztelték különböző szövettípusokon. Az *orvosi* vizuális módszerek területén a SOTE Szemészeti Klinikájával együttműködve szemfenékről lézeres ophtalmoszkóppal készült időbeli (angiográfiás) és mélységi képsorozatok diagnosztikai célú, számítógéppel segített kiértékeléséhez dolgoztak ki előfeldolgozó rendszert. *Agrobiológiai* alkalmazások voltak a gyümölcsminősítés és -válogatás, pollenek, szarvasmarhaembriók és -kromoszómák automatikus képi kiértékelése. *Közlekedési* alkalmazás volt egy vizuális elvű városi forgalmi adatgyűjtő algoritmusainak kimunkálása, megvalósítása és laboratóriumi tesztelése valós idejű környezetben.

Az osztály munkatársai részt vettek a *BME Mikrohullámú Tanszék* és a *Műszer- és Méréstechnika Tanszék* képkódolással és képfeldolgozással, valamint korszerű számítógép-architektúrákkal foglalkozó oktatási anyagának összeállításában, véleményezésében. A BME-vel közösen alakították meg a Jel- és Képfeldolgozó Kutatási és Oktatási Központot.

Az osztály két európai uniós projektben vett részt, és kapcsolata volt olasz, angol és görög egyetemekkel.

Szimulációs kutatások

A *szimulációs kutatások* első eredményeként elkészült a mesterséges intelligenciával vezérelt, objektumorientált metodikával megalkotott Cassandra elnevezésű *szimulációs programrendszer*. E rendszerben megvalósították a tudás-attribútumú Petri-hálókat. Ennek keretében kidolgoztak egy grafikus modellfelépítő bemenő nyelvet, amely lehetővé teszi, hogy gyorsan és kényelmesen létre lehessen hozni az alkalmazási területek széles skálájára az illető szakterület fogalomrendszerét igénylő célszimulátort. Ugyancsak beépítettek a szimulációs rendszerbe egy kísérletvezérlő intelligens démont, amely adott paraméterekre optimalizálni tudja a modell működését. A világon eddig használt szimulátorok vagy teljesen általánosak voltak, és ekkor igen bonyolultan lehetett ezeket speciális problémákra adaptálni, vagy pedig kifejezetten csak egy speciális alkalmazásra voltak kifejlesztve. Ez az új rendszerű szimulátor egy általános magból állt, amelyet könnyen lehetett célszimulátorra felépíteni. A metodikai kutatások a *párhuzamos architektúrájú szimulátorok* kutatásával folytatódtak a szimuláció futási idejének csökkentése céljából. Ezen belül kutatásokat végeztek különböző szimulációs vezérlő algoritmusokra vonatkozólag, és ezeket összehasonlították egy négyprocesszoros munkaállomás konfiguráción.

Az elméleti eredmények egyik gyakorlati alkalmazása során elkészítették egy német *vállalat gyártó- és összeszerelő részének minőség-ellenőrző modelljét*, majd szimulációs vizsgálatát. Az eredményeket a koordináló Bundesministerium für Bildung, Wissenschaft und Technologie kiemelkedő színvonalúnak ítélte. Kidolgoztak továbbá egy olyan *közlekedési szimulációs modellt*, amely a forgalomban részt vevő járművek diszkrét reprezentációjával a közlekedési trendek és vezetési szokások figyelembevételével írja le a közlekedés dinamikáját, és ennek, valamint a járműtípusok jellemzői alapján szolgáltat dinamikus környezetszennyezési információt. Ennek során létrehozták Budapest forgalmi és emissziós környezetszennyezési modelljét. Az intézetben kidolgozott, alkalmazott tudás-attribútumú Petri-hálón alapuló diszkrét modell lehetővé tette a nagy komplexitású modell viselkedésének finom felbontású szimulációját. A szimulációs modell felhasználói felülete a szimulált városképnek megfelelő térképszerű grafikai megjelenítés a különböző típusú járművek animációs megjelenítésével. A rendszerbe épített mesterséges intelligenciával (tudásbázisokkal és következtetési eljárásokkal) ellátott démonobjektumok segítségével a forgalomirányításra vonatkozó szimulációs optimalizációs kísérleteket végeztek a környezetszennyezés csökkentésének céljából.

Az osztály tagjai a *BME Távközlési és Telemechanikai Tanszékén*, a *BME Elektronikus Eszközök Tanszékén* és a *győri Széchenyi István Főiskolán* oktattak. Új okta-

tási terület volt a Semmelweis Orvostudományi Egyetem másoddiplomás hallgatóinak oktatása. Az osztály vezetője a Bécsi Műszaki Egyetemen tartott előadás-sorozatot.

Az MSZKI-ban alakult meg az International McLeod Institute of Simulation Sciences magyar központja. Ennek igazgatójává Jávor Andrászt nevezte ki a nemzetközi intézet vezetője.

Az osztály egy Copernicus és egy Esprit *nemzetközi projektben* vett részt.

Beszédtechnológiai kutatások

A *beszédtechnológiai kutatások* fő célja sérült emberek, elsősorban vakok munkájának támogatása, rehabilitációja. A legjelentősebb eredmények két, az Európai Unió által szervezett programhoz kapcsolódtak. A Digibook elnevezésű projekt célja olyan korszerű információtechnológiai eszközök kidolgozása, amelyekkel a látássérült és vak emberek számára jól használható, *CD-n tárolható „könyvek”* készíthetők. Ehhez először beszéd-tömörítő algoritmusokat, majd a strukturált dokumentumok vizsgálata után egy kísérleti implementációt terveztek, és ennek segítségével elkészült négy strukturált ASCII és hibrid hangos könyv. A másik, Learn-ed elnevezésű program célja *távoktatási és távkonferencia-rendszer* kidolgozása sérült emberek számára. Ennek keretében fejlesztették ki a vakok számára használható távlapozási rendszert, és összehangolták az itt készült tanári controllert és a diák-démont a nemzetközi együttműködés többi tagja által kifejlesztett Mac, Windows és UNIX-os változatokkal.

A vakok számítógépes kapcsolatteremtésének elősegítésére előbb kifejlesztettek egy 9600 baudos *csomagrádiós állomást*, majd egy 2 Mbit/s sebességű pont-pont rádiós hálózati interfészt. Megtervezték a Brailab-gépcsalád újabb hordozható változatát. A korábbi változatot eddig már több száz vak és gyengén látó használta. Elkészült a text-to-speech rendszer finom konverziójának fejlesztő-rendszere.

Az *ELTE TTK Általános Számítástudományi Tanszékével* speciálkollégiumok keretében a leendő oktatókkal együtt megvizsgálták a teljes távoktatási rendszert. A speciálkollégium előadói az MSZKI, ELTE és RMKI munkatársai voltak.

A *mozgásvezérlés és egyensúlyi idegi szabályozása és biomechanikája* témakörben elkészítették az emberi karmozgások dinamikus kinematikai modelljének számítógépes szimulációját. Evvel kapcsolatban a Testnevelési Egyetemen tartott Laczkó József tanfolyamot.

Laboratóriumi automatizálás

A laboratóriumi automatizáláshoz kapcsolódó kutatás-fejlesztések egyre inkább a nagy nemzetközi laboratóriumok munkáihoz kapcsolódtak. Az egyik legnagyobb sikerű eredménye a főosztálynak a KFA jülichi kutatóközpontban 1993-ban felavatott COSY elnevezésű gyorsító munkáiban való részvétel. A COSY 184 méter kerületű, ovális alakú nagyberendezés, ionokat, elsősorban protonokat gyorsít és tárol. Specialitása az igen élesen fókuszált, nagy energiafelbontású, ún. hűtött nyaláb, amellyel az anyag belső szerkezetét kutatják. A főosztály kutatói fejlesztették ki a nyaláb mindenkori helyzetére és dinamikus viselkedésére jellemző paraméterek meghatározását szolgáló, ún. nyalábpozíció-monitorelekttronikát. A monitor meghatározza és rögzíti az elhaladó nyaláb időbeli lefolyását és a nyalábban található rezgések komponenseit, amely a nyaláb stabilitásáról ad felvilágosítást. Ezen adatok alapján dönt a számítógépes vezérlőrendszer, hogy hol és milyen mértékű beavatkozásra van szükség. A sikeres jülichi megoldás után előbb a bonni egyetem gyorsítójánál oldottak meg hasonló problémát, majd mostanában folyik a karlsruhei kutatóközpontban hasonló munka.

A CERN-i intézet több kutatási témájában is részt vettek a főosztály munkatársai. Az új gyorsító, az LHC detektorai által generált nagy mennyiségű adat szimulálására elkészítették a HIPPI elnevezésű eszközt. Ugyancsak megoldották egy optikai átvivő csatornához tartozó előfeldolgozás feladatát. Az RMKI-ban készült, a CERN-i méréseknél használt ún. Budapest Wall rendszerbe a főosztályon készült Constant Fraction Discriminator modulokat építették be. E modulok továbbfejlesztésének eredménye, hogy a Marburgi Egyetem felkérésére újabb mérőrendszert készítettek a CERN NA49 kísérlethez.

A nukleáris mérési módszerek és eszközök kutatása során a sokelemes Ge detektorokhoz nagy felbontóképességű, töltésérzékeny erősítő array-t fejlesztettek ki. Az így felépített mérő-összeállítást a KFA Jülich és ESFR Grenoble együttműködésben alkalmazzák. A rendszer felbontása detektorral együtt 0,52–0,58 keV, ami nemzetközi szinten is kimagasló eredmény.

A mérésautomatizálás korszerű eszközei keretében *DSP (Digital Signal Processing) eszközök használatát vizsgálták szabályozórendszerekben*. Ennek keretében elkészült egy mezőorientált motorvezérlő rendszer. Itt a hagyományos PI típusú szabályozót fuzzy-logikán alapuló szabályozóval egészítették ki.

Az *orvoselektronikai kutatások* téma a koraszülött-monitorozást, valamint -terápiát támogató információtechnológiai eszközök metodikájának kutatásával foglalkozott a SOTE I. Sz. Gyermekeklinika Perinatális Intenzív Centrumával együttműködve. Kidolgoztak egy automatikus levegő-oxigén szabályozó rendszert, valamint egy monitorrendszert, amely alkalmas az impedancia-respiro-

gráfián, apnea és bradycardia őrzésén felül pulzus-oximéteres, SpO₂ típusú tartós vérgáz-monitorozásra is.

A főosztály munkatársai a Veszprémi Műszaki Egyetem harmadéves informatika szakos hallgatóinak tartottak előadást *Korszerű buszrendszerek alkalmazása mérőrendszerekben*, valamint *Digitális jelfeldolgozó processzorok* címmel.

Ipari automatizálás

Az ipari automatizálási tevékenység súlypontját a villamosenergia-szállító és -elosztó technológiák felügyeletéhez és irányításához kapcsolódó kutatási és fejlesztési feladatok képezték. A neurális hálózatok alkalmazása a villamosenergia-rendszer irányításp problémáinak megoldására elnevezésű kutatás célja a megfelelő neurális hálózati struktúra kiválasztása a villamos hálózat felügyeletéül alapot szolgáltató digitális jelzések feldolgozására. Ennek során kimutatták, hogy a Kohonen háló és a szekvenciális kiértékelő algoritmus a legalkalmasabb erre a célra. A kutatás az Arizona State University és a BME Műszer- és Méréstechnikai Tanszékkal együttműködésben folyt.

A mintaillesztésre alapozott toleráns védelmi kiértékelőrendszer a technológiából érkező jelzésekhez előre eltárolt mintákkal hasonlítja össze. Elkészítettek egy eseménykiértékelő rendszert, valamint egy toleráns mintaillesztő programot, grafikus megjelenítőt és menürendszert.

Az operátori *tréning-szimulátor* funkció módosításával, illetve bővítésével egyetemi oktatási és engineering szimulátor irányába folyt tovább a fejlesztés. Ennek rendszerterve és néhány részletének implementációja készült el.

A neurális hálózatokkal kapcsolatos eredmények a BME Villamos Művek Tanszékén az egyetemi oktatásban is megjelentek.

A villamosenergia-elosztó hálózat privatizációja után ez a kutatási-fejlesztési munka átkerült az üzleti szférába, és nem volt igény tovább erre a kutatási bázisra. Ezért ez a tevékenység 1996 folyamán fokozatosan megszűnt.

★

Az 1992-ben alakult új MSZKI igyekezett megőrizni az előző időszak jó hagyományait és ugyanakkor alkalmazkodni az új körülményekhez. A hazai alkalmazói közösség lehetőségeinek gyengülésével és az anyagi finanszírozás csökkenésével elengedhetetlen volt a nemzetközi, elsősorban az európai országokkal közös programokban való részvétel, ami egyrészt objektív minősítést adta a munkának, másrészt pedig visszacsatolta a tapasztalatokat. Az európai

programokhoz való csatlakozást természetesen csak fokozatosan lehetett erősíteni. Nagyon jellemző erre a nemzetközi pályázatokon elnyert kutatás-fejlesztési projektek számának és támogatásának növekedése évről évre: 1993-ban 3 projekt (10,5 millió Ft támogatással), 1994-ben 7 projekt (28,6 millió Ft támogatással), 1995-en 9 projekt (45,6 millió Ft támogatással) és 1996-ban 10 projekt (53,6 millió Ft támogatással).

Országos szinten is jelentős volt az MSZKI részvétele az európai uniós projektekben: 1993 és 1996 között informatika és kommunikáció témában 46 elfogadott pályázat volt országos szinten, ebből az MSZKI elfogadott pályázatainak száma 14 volt.

Nagy gondot fordított az intézet arra is, hogy megerősödjenek az alap- és alapotkutató kutatások. Ennek eredményeképpen a sikeres OTKA-pályázatok száma többszörösére nőtt az intézetben. Az 1997 és 2000 közötti informatika és kommunikáció témájú, sikeres OTKA-pályázatok száma összesen 28 volt, ebből az MSZKI sikeres pályázatainak száma 6.

A tudományos tevékenység integráns részeként 1992-95 között nemzetközi együttműködés eredményeképpen 86 publikáció született. (1993 és 1996 között az összes publikáció száma 369 volt.) Nemzetközi tudományos szervezetben, bizottságokban 7 kutató töltött be tisztséget. Munkatársaink 21 nemzetközi konferencia és 23 szeminárium, illetve szimpózium szervezésében és 8 külföldi tudományos folyóirat szerkesztőbizottságában vettek részt.

KÖZPONTI FIZIKAI KUTATÓINTÉZET

Műszaki Fizikai és Anyagtudományi Kutatóintézet

Műszaki Fizikai Kutatóintézet,
1958–98 (Bartha László)

Anyagtudományi Kutatóintézet,
1992–98 (Gyulai József, Szabó György,
Vértesy Gábor)

MTA MŰSZAKI FIZIKAI ÉS ANYAGTUDOMÁNYI
KUTATÓINTÉZET

Igazgató: Gyulai József

1121 Budapest Konkoly-Thege u. 29/33.

Telefon: 392-2224, 392-2225

Fax: 392-2226

Postai cím: 1525 Budapest Pf. 49

E-mail: gyulai@mfa.kfki.hu

Honlap: <http://www.mfa.kfki.hu>

Tudományos Tanács. Elnöke: Belezny Ferenc

Kutatók száma: 81

az akadémikusok száma: 1

a tudomány doktorainak és az MTA doktorainak száma: 9

a kandidátusok száma: 16

a PhD-fokozattal rendelkezők száma: 20

a 35 év alatti kutatók száma: 19

TUDOMÁNYOS RÉSZLEGEK:

Vegyületfélvezető Osztály, Eszközfizikai Osztály,
Magneoopt. & diagn. Osztály, Ionsug. anal. & op. av. Osztály,
Szenzor és Mt. Osztály, Biomérnökség, Elméleti Fizikai Osztály,
Vékonyr.-Nanoszerk. Osztály, Nanoszerkezetek Osztály,
Felületfizikai Osztály, Vékonyréteg-fizikai Osztály,
Kerámiakutatási Osztály

Az MTA Konzolidációs Bizottsága a diszciplináris szakmai szempontokat követve 1997-ben úgy döntött, hogy az MTA Műszaki Fizikai Kutatóintézetet (MFKI) és a KFKI Anyagtudományi Kutatóintézetet (ATKI) 1998. január 1-jével a KFKI-campuson mint telephelyen egyesíti. Jogi megoldásként az MFKI jogfolytonosságát és az ATKI bezárását választották, mivel ellenkező esetben az MFKI-nak az OMFB részére való visszafizetési kötelezettségét azonnal rendeznie kellett volna.

A konzolidáció koordinátori feladatát az ATKI igazgatója, Gyulai József vállalta, akit 1998. január 1-jével megbízott igazgatónak neveztek ki úgy, hogy Bartha László, az MFKI igazgatója a helyén maradt.

Kutatói elbocsátásra gyakorlatilag nem került sor, de a zömmel Újpesten, az MFKI korábbi telephelyén lakó segéderők – szinte kivétel nélkül – a végkielégítést választották. Az első egységek 1998 májusában tudtak költözni, a nyár végére pedig valamennyi megmaradó részleg átköltözött, így az 1999-es évre létre lehetett hozni az új tudományos és gazdasági rendet. Az intézet mintegy fél év alatt kiheverte a költözés gondjait, és az 1999. évi teljesítmények felmérésekor a legtöbb részleg publikációs tevékenységén már alig lehetett észrevenni a kiesett időszakot.

2000 elején – ezt a pályázati sikerek is motiválták – az új intézetet üzemképessnek lehet deklarálni. Ehhez szükséges volt az MTA és az OMFB egyezsége is amely lehetővé tette az OMFB-tartozás visszafizetésének halasztását. Az intézet élére 2000. január 1-jével – pályázat eredményeként – Gyulai Józsefet nevezte ki az MTA elnöke.

Az intézet kiemelkedő sikerrel vett részt az EU 5. keretprogram pályázatain: egyrészt, több témája révén – amelyek beletartoznak a KFKI-campuson működő „Kondenzált Anyagok Kutató Központjába” – részes az EU által megítélt Kiválósági Központ (Centre of Excellence) címben. Emellett további négy nyertes keretprogramban vesz részt, amelyek közül három tematikus („a mesterséges orr” gázérzékelőknek, a GaN lézerek struktúrájának, valamint egy új típusú

kisüléssel fényforrás kutatása), egy pedig a szén nanocsövek kutatásával foglalkozó tudományos intézethálózathoz való tartozást jelenti. Hasonló sikerrel vesz részt három NATO pályázati kutatásban is (Science for Peace).

Az eltelt idő alatt az intézet öt munkatársa szerezte meg az MTA doktora címet: Arató Péter, Barna Árpád, Barna B. Péter, Kádár György és Radnóczi György. Két további doktori eljárás folyamatban van. Az intézeti kutatók által az 1998–2000 között megszerzett PhD-fokokozatok száma 11.

A következőkben a két elődintézmény történetét mutatjuk be.

Műszaki Fizikai Kutatóintézet, 1958–98

Az intézet megalakulása

Az 1950-es évek elején az Egyesült Izzólámpa és Villamossági Rt. (EIVRT) három, kimagaslóan sikeres kutatója, Szigeti György, Millner Tivadar és Winter Ernő, a MTA Kossuth-díjas tagjai, hosszú évek tapasztalatai nyomán arra a következtetésre jutottak, hogy sem az ipari kutatóintézetek, sem az akadémiai, illetve egyetemi kutatóhálózat, sem pedig az EIVRT saját kutató-fejlesztő részlegei nem fedik le sem a híradástechnikai (félvezető eszközök, elektroncsövek), sem a világítástechnikai ipar (kisülő fényforrások, izzólámpák) alap kutatás jelleget igényeit. Ezért javasolták egy önálló akadémiai kutatóintézet létesítését a fenti igények kielégítésére. Javaslatuk alapján került sor a Műszaki Fizikai Kutatóintézet (MFKI) megalapítására a 2.173/1956. (X. 3.) sz. minisztertanácsi határozat alapján. Az alapítólevél az intézet feladatait a következőkben szabta meg:

- tudományos kutatás az anyagszerkezet, fémfizika és vákuumtechnika területén, valamint a műszaki-tudományos módszerek fejlesztése,
- az alapvetően új gyártmányok előállításához szükséges alap kutatások elvégzése,
- magas képzettségű tudományos káderek képzése,
- nemzetközi kapcsolatok létesítése hasonló kutatóintézetekkel.

Az intézet 1958. január 1-jén kezdte meg működését. Saját telephely hiányában adminisztrációs központja az MTA használatában volt V. ker. Martinelli tér 5. sz. alatti épületben, kutatórészlegei részben az Egyesült Izzólámpa és Villamossági Rt. (Tungsram Rt.) kutatóintézete helyén létesült Távközlési Ipari Kutatóintézet (TÁKI), illetve Híradástechnikai Ipari Kutatóintézet (HIKI) laboratóriumaiban, továbbá egyetemek (ELTE, KLTE), majd később a MTA Központi Kémiai Kutatóintézet területén helyezkedtek el. A saját telephelyet Újpesten, a IV. ker. Fóti út 56 sz. alatt 1965-ben vették át, ahol az intézet 1997. december 31-ig, átalakulásáig működött. A MFKI a MTA szervezetén belül a Műszaki Tudományok Osztályához tartozott, szakmai felügyeletében azonban a Fizikai Tudományok Osztálya is közreműködött.

Az intézet – az alapítói szándékoknak megfelelően – működésének első évtizedében az alábbi területeken fejtette ki tevékenységét:

- lumineszcens és félvezető anyagok tulajdonságainak kutatása, ami magában foglalta fluoreszkáló mono- és polikristályos ZnS új előállítási módjainak kidolgozását, valamint epitaxiálisan növesztett félvezető heteroátmenetek előállítását és tulajdonságaik tanulmányozását;
- az izzólámpa izzóspiráljaként használt, ún. kálium-alumínium-szilícium adalékos volfrám-mikroötvözet hasznos tulajdonságait biztosító mikroszerkezet kialakulásának feltárása;
- a (termikus) elektronemisszió vizsgálata az elektroncsövek és kisülékes fényforrások követelményeinek megfelelően;
- az anyagok kristályszerkezetének és hibaszerkezetének meghatározására, illetve feltárására szolgáló szerkezetvizsgáló módszerek honosítása és fejlesztése, valamint ezek alkalmazása a vékonyrétegek növekedésének kutatásában, a félvezető rétegszerkezetek vizsgálatában, valamint a fémes mikroötvözetek mikroszerkezetének feltárásában.

Az intézet alapító igazgatója Szigeti György volt, aki ezt a munkakört 1974-ig töltötte be. Utódja, Nagy Elemér 1974–88 között, őt követően pedig Bartha László 1988–98 között látta el ezt a feladatot.

Tudományos kutatások és eredmények

A lumineszcens és félvezető anyagok kutatását előbb Szigeti György, 1966–70 között Gergely György, ezt követően – igazgatóhelyettesi megbízása mellett – Szép Iván irányította. Később a jelentősen megnövekedett létszám és a kibővült tematika miatt, a kutatási egység a fénykeltési jelenségekkel foglalkozó Félvezető-

optikai Főosztályá, valamint a mikrohullámú eszközökkel foglalkozó főosztályá alakult. Előbbit Lendvay Ödön, utóbbit Mojzes Imre vezette.

Millner Tivadar indította el és 1970-ig irányította az izzószálként használt, adalékos volfrámon végzett kutatást. E téma legfontosabb feladata azon mikro-szerkezet természetének és technológiai kialakulásának a feltárása volt, amely az izzóspirálok melegszilárdságát igen magas homológ hőmérsékleten ($0,8 T_m$) is biztosítja. A volfrámkutatás meghatározó személyiségei közül Prohászka János 1963-ban a Budapesti Műszaki Egyetem tanára lett. A kutatást 1970–88 között Bartha László vezette Gaál István, Horacsek Ottó, Vadasdi Károly és mások közreműködésével. 1988–98 között Vadasdi Károly volt az egység vezetője.

Az elektronemissziós (és az áttételesen ehhez kapcsolódó vákuumtechnológiai) kutatások Winter Ernő vezetésével folytak. E téma áttételes folytatásának tekinthető az intézet felületfizikai kutatási ága, amelynek megindításában Bodó Zalának és Gergely Györgynek volt úttörő szerepe. De ilyen folytatásnak tekinthető az egyre terebélyesedő vékonyréteg-kutatás is, amelynek megindításában Pócza Jenőnek voltak kiemelkedő érdemei. A fenti kutatásokat és a szerkezetvizsgálati tevékenységet összefogó Szerkezetkutatási Főosztályt 1975-ben bekövetkezett váratlan haláláig Pócza Jenő vezette. Munkakörét 1976-ban Zsoldos Lehel vette át, akit 1992-ben történt igazgatóhelyettesi kinevezése után Radnóczy György követett.

Az intézet fennállásának 40 éve során végig nyomon követhető volt tematikájának az a hármas vonulata, amelynek körvonalait alapítóik rajzolták meg. Induló témái részben a tudomány fejlődéséből adódóan, részben a kor követelményeihez igazodva, természetes változásokon mennek át. Így a lumineszcenciajelenségek kutatása a félvezető anyagokban zajló fénykeltő jelenségek (világító diódák, lézerek) kutatása felé, a vákuumtechnikai kutatások a nagy vákuumtechnikai ismereteket kívánó felület- és vékonyréteg-kutatás irányába tolódtak, a volfrámkutatás pedig az alapanyagoknak a legkorszerűbb vizsgáló módszerekkel történő elemzésével, továbbá a halogénlámpák magas hőmérsékleti folyamatait célzó kutatással bővült ki.

Az intézetben folyó kutatásokat az jellemzi, hogy azok kiindulópontját általában az ipari gyakorlatban felvetődő, megoldandó problémák képezik. Az intézet berendezkedett arra, hogy technológiai folyamatok elemi lépéseit a technológiában szokásosnál jóval definiáltabb körülmények között végezze el, széles eszköztárat alkalmazzon az anyagok, szerkezetek, folyamatok leírására, s az eredményeket a fizika, igen gyakran a legkorszerűbb elméleti fizika módszereivel elemezze, illetve modellezze.

A hagyományos (izzólámpák, kisülő lámpák) és félvezető-alapú (világító diódák, félvezető-alapú lézerek) fényforrások terén megerősödött a fényforrások mi-

nősítésére irányuló munka, amelynek eredményeként Schanda János irányításával az intézetben nemzetközileg elfogadott fotometriai és radiometriai minősítő egység jött létre. Schanda János 1986-ban a CIE bécsi irodájának vezetője lett.

A félvezető anyagok és jelenségek kutatása az intézet létrejötte után hamarosan megkezdődött, és az 1960-as évek közepére a tevékenységünket meghatározó kutatási területté vált. Az évtized végére már látszott, hogy a felhasználás a félvezető egykristályok egyes rétegei tulajdonságainak módosítását igényli, ezért előtérbe került az epitaxiás növesztés. Az intézet a Ge-Ge és a Ge-Si epitaxiás szerkezetekkel, a „heteroátmenetekkel” kezdett foglalkozni. A szakterület kevés előzménnyel rendelkezett. A szilárdtestfizikában és -technológiában tapasztalattal szerzett idősebb munkatársak – Szép Iván, Bodó Zalán, Gergely György – irányítása mellett nagyszámú, igen tehetséges fiatal kutató – Lendvay Ödön, Ferenczi György, Beleznyai Ferenc, Pataki György, Mojzes Imre és még sokan mások – alakította ki igen eredményesen és markánsan tevékenységi területét. Az 1960-as években az intézetnek döntenie kellett, hogy a láthatóan robbanás-szerűen fejlődő ágazat melyik területére koncentrálja erőit. A döntés eredményeként nem csatlakozott az uralkodó szilíciumkutatási irányhoz, hanem a Ge-Si heteroszerkezeteken átmenetileg végzett kutatások után a sok elvi és technológiai érdekességet ígérő vegyületfélvezető-kutatásra, azon belül a III-V típusú félvezető vegyületek, különösen pedig a heteroátmenetek kutatására összpontosított. Az intenzív kutatások eredményeinek elismeréseként – világméretben is első ízben – az intézet 1970-ben sikeres nemzetközi konferenciát rendezett Budapesten a heteroepitaxiás rétegszerkezetek tárgykörében. Jelképesen innen számítható a MFKI félvezető-kutatásának általános nemzetközi elismertsége.

Az intézet fémkutatásának területén – amelyet Millner Tivadar vezetett – a legfontosabb feladat annak a mechanizmusnak a megismerése volt, amely az adalékos volfrám izzószálból készített izzólámpaspirál magas hőmérsékleti kúszásállóságát, illetve alaktartó képességét biztosította. Ez az ismeret különösen az 1960–70-es évek fordulóján vált fontossá a halogén-izzólámpák felfedezésével, ami a spirál használati hőmérsékletét több száz fokkal, 3000 °C fölé emelte, s ez óriási igénybevételt jelentett nemcsak az izzószál, hanem a lámpa többi szerkezeti anyaga számára is. Az igen éles versenyben az intézet kutatási eredményei és szabadalmi révén széles körű nemzetközi elismertséget vívott ki. Ennek eredményeként 1970–75 között egyezményrel szabályozott kutatási együttműködést folytatott a General Electric Co. fényforrásfejlesztő szervezetével, s ugyanekkor kezdődött a TUNGSRAM Rt.-vel, majd GE-Tungsrammal több mint 25 év óta megszokás nélkül fennálló kutatási együttműködés.

1960-ban az ELTE területén működő Elektrondiffrakciós Kutatócsoport Pócza Jenő irányításával az intézethez csatlakozott, s ezzel a MFKI, figyelembe

véve a már korábban hozzátartozó röntgendiffrakciós egységet, az ország legjelentősebb szerkezetkutatói központja lett. Kiváló eszköztechnikai és anyagtudományi felkészültségű szakemberek, mint Barna Péter, Barna Árpád majd később Radnóczy György munkássága olyan eredményekre vezettek, amelyek révén a csoport messzemenő elismerést és ismertséget szerzett világszerte. 1963-ban jött létre az első, komoly visszhangot kiváltó eredmény, az *in situ* elektronmikroszkópia. Ez időben egybeesett a korszak egyik legjobbjának tartott JEOL 6A típusú elektronmikroszkóp beszerzésével. A kísérlet során az elektronmikroszkóp vákuumterében végbemenő kristálynövekedési és -átalakulási folyamatokat közvetlenül a látótérben figyelhették meg. Ez a munka egy sikeres későbbi profilhoz, a vékonyrétegek nukleációjával és növekedésével, a képződés mechanizmusával foglalkozó kutatáshoz vezetett. Az amorf, elemi félvezető rétegek kialakulásának, a szerkezet és a képződési viszonyok kapcsolatának leírása nemzetközi visszhangot kiváltó, jelentős eredmény volt. Nagy szakmai előrelátásra mutatott a LEED-Auger berendezés beszerzése 1971-ben, amely megalapozta a később meghatározó fontosságú felületfizikai kutatásokat. Az intézet vezette be és fejlesztette tovább a kvantitatív felület- és vékonyréteg-analízis számára az Auger és veszteségi elektronspektroszkópiát, amelyet a félvezetők, vékonyrétegek és a fémek (Auger-fraktográfia, volfrám, acélok) terén nagyszámú vizsgálatnál alkalmaznak. A spektrométer nagyrészt a hazai elektronikai és ultravákuumalkatrészekből készült. Jelentősen hozzájárult az ipari félvezető-technológia hazai fejlődéséhez az ellipszometriás mérés technika megvalósítása vékonyrétegek minősítésére.

Az MFKI fennállásának első, 1958–74 közötti időszakában létrehozta és kiépítette kutatói állományát, szerkezetét, a kutatást segítő kiegészítő személyzetét, kiformalta, megalapozta és sikeresen művelte azt a kutatást, amely a további években is munkássága alapját képezte. Kutatói filozófiája, alapítólevelének megfelelően az volt, hogy a legkorszerűbb iparágak területén adódó kérdésekre keressen alaptudományi igényességű válaszokat, s ezeket úgy fogalmazza meg, hogy a válaszok a műszaki gyakorlat számára is jól használható, új információkat tartalmazzanak. Ezt a törekvést fejezte ki az intézetben mindig jelen lévő, főként elméleti fizikusokból álló kis kutatócsoport is, amelynek munkája nagyon eredményes, megtermékenyítő hatású volt.

Geszti Tamásnak a halogénlámpák belsejében lejátszódó kémiai reakciókkal és transzportfolyamatokkal foglalkozó, napjainkban is hivatkozott írása közvetlenül hatott az intézet lámpakutatásaira. Kertész János és Vicsek Tamás nemzetközileg elismert kutatásokat indított el a perkoláció jelenségkörében, ami elősegítette a szinterelési folyamat részleteinek értelmezését, valamint az inhomogén anyagok vezetési tulajdonságainak analízisét.

Az 1980-as évek közepétől Vicsek Tamás részben Kertész Jánossal, részben széles körű nemzetközi együttműködés keretében, fraktálszerkezetű objektumok kialakulásának törvényszerűségeit kutatta. A vizsgálatok különböző természeti és technológiai jelenségekre terjedtek ki. Kiemelkedő nemzetközi visszhangot váltottak ki a diffúziólimitált folyamatok, mint pl. az aggregáció, a viszkozus ujjasodás dinamikája terén elért eredmények. E munka keretében született a felületek mozgásához kapcsolódó dinamikus skálázás első elméleti leírása is, amely szorosan kapcsolódott olyan intézeti tevékenységhez, mint pl. a vékonyrétegek kutatása.

1974-ben, Szigeti György nyugalomba vonulásával, az MFKI alapozási időszaka befejeződött. Ekkor Nagy Elemér, az MTA levelező (később rendes) tagja lett az intézet igazgatója. Irányítása alatt az intézetet erős expanzió jellemezte. Létszáma a korábbi 160-180 főről 300 fölé növekedett, a kutatók száma megközelítette a 120-at. A hazai és külföldi iparvállalatokkal intenzív, széles körű kapcsolatok jöttek létre. A Tungfram Rt.-vel az intézet fennállása óta együttműködésben végzett volfrám- és fényforrás-kutatás mellett más jelentős magyar (Dunai Vasmű, Lenin Kohászati Művek, Ikladi Műszergyár, Remix, Mikroelektronikai Vállalat, Ipari Szerelvény- és Gépgyár, Magyar Optikai Művek, Radelkis Ipari Szövetkezet, Csepel Művek, Fémipari Kutatóintézet stb.) és külföldi (Werk Fernsehelektronik, NDK, Wolfram Bergbau- und Hüttengesellschaft, Ausztria, H. C. Starck, NSZK, Treibacher Chemische Werke, Ausztria, OSRAM-Sylvania, USA, PRC Krochman, NSZK, Sandvik, Svédország) iparvállalatokkal lépett szerződésen alapuló kutatási-fejlesztési kapcsolatba, amely – pénzügyi előnyei mellett – rendkívül kiszélesítette az intézet munkatársainak rálátását a fejlett technológiát használó ágazatok érdeklődési területeire és szakmai kérdésselvetéseire.

Ebben az időszakban – a gyakran igen jelentős visszhangot kiváltó kutatási eredmények mellett – technológiai eljárások és eszközök, mérőberendezések, speciális feladatú áramkörök és alkatrészek is készültek, melyek jogvédelme céljából az intézet 140 magyar és mintegy 30 nemzetközi szabadalmat szerzett. A kutatási eredmények és a hozzájuk csatlakozó szabadalmak közül néhányat az alábbiakban sorolunk fel.

Félvezető-kutatás

Mély nívó tranziens spektrométer (DLTS), félvezető alapanyagok minőségének vizsgálatára. A szabadalom alapján készített mérőberendezésből eddig kb. 150 db készült és került exportra, ami által az egyik legsikeresebb magyar műszeripari

termékké vált. Kezdetben az intézet, később a Radelkis Szövetkezet, végül – s még jelenleg is – a készülék gyártására és forgalmazására, valamint újabb mérési elvek kidolgozására az intézet kutatói és más szakemberei által létesített önálló vállalkozás, a SEMILAB Rt. állítja elő és értékesíti. Az eszköz színvonalát jelzi, hogy létrehozói – Ferenczi György, Boda István és Horváth Péter (KFKI) – munkásságuk elismeréseként 1988-ban Állami Díj kitüntetésben részesültek.

Gunn-dióda és GaAs-alapú félvezető eszközök. A mikrohullámú mikroelektronika meghatározó aktív eleme, amely az intézetben folyó félvezető-kutatás és mikrotechnológia, valamint a szerkezetkutatás szakembereinek együttműködésével, szabadalommal is védett eljárással, 1976-ban valósult meg. Sok éven át meghatározó szerepet játszott a félvezető-kutatás területén szerzett ismeretek gyakorlati alkalmazási lehetőségeinek megvalósításában, és hatással volt a kutatás sokszínűségének és – elsősorban a gazdasági embargó korszakában – jövedelmezőségének biztosítására. Az intézet félvezető-technológiai laboratóriumaiban, főként a gőzfázisú epitaxiás berendezés segítségével, elkészített aktív és passzív mikrohullámú eszközök, valamint azok felhasználásával épített funkcionális modulok (táv mérő, nedvességmérő, járműazonosító stb.) a szakterületen dolgozó munkatársak érdeklődésének sokoldalúságát bizonyították.

Világító diódák és félvezető lézerek. A félvezető rétegszerkezetekkel történő fénykeltés különböző módszerei és eszközei meghatározó szerepet játszottak a MFKI tevékenységében, s egyaránt eredményeztek tudományos, műszaki és gazdasági sikereket. Ebben kiemelkedő szerepe van annak a folyadékfázisú epitaxiás rétegnövesztő technológiának, amelyet a félvezető-optikai kutatás szakemberei dolgoztak ki, s amelynek révén – az eszközök és a technológia egyszerűsége, valamint a módszer gazdaságossága következtében – az általuk készített világító eszközök komolyan versenyképpessé váltak.

Felületi akusztikus hullámú eszközök. Az 1960-as évek második felében a nagy terű jelenségek vizsgálata során piezoelektromos anyagok vizsgálata folyt. Kiderült, hogy az ezek felületén terjedő akusztoelektromos hullámok hasznosítása lehetővé teszi analóg jelformáló passzív elemek, legismertebben szurok integrálódását, amelyek jól kiegészítik az aktív félvezető integrált áramkörök mikroelektronikai alkalmazását. Közel 10 év munkájával, OMFB- és ipari támogatással és szakvállalatok együttműködésével olyan szűrőcsaládot sikerült kifejleszteni, amely kiszolgálta a hazai TV-stúdiók és -gyártók fejlesztési és gyártási szükségleteit. A felvetődő új igényeket ma az átalakult intézet elégíti ki, nem elhanyagolható gazdasági eredménnyel.

A fenti eszközcsoport mintegy 600 publikációs visszahivatkozással minősíthető kutatási munka eredményein alapul, melyet az intézet munkatársai a heteroszerkezetek kutatása terén értek el.

Fémkutatás

Környezetkímélő kémiai-technológiai eljárások csoportja a volfrámalapanyag- és izzólámpagyártásban. A magas olvadáspontú fémek gyártástechnológiájában adódó, elsősorban környezeti ártalmakat okozó problémák kiküszöbölésére a korábban vagy jelenleg is alkalmazottakkal szemben igen sok előnnyel rendelkező eljárások kidolgozására, szabadalmaztatására és alkalmazására került sor.

a) Volfrám izzólámpaspirálok, valamint gázkisülő fényforráskatódók molibdénmagjának kioldása a volfrámhuzal mellől, az utóbbi minimális korróziójával. Az ezen művelethez általában használt kénsav-salétromsav elegyet hidrogénperoxiddal helyettesítették úgy, hogy az oldás folyamatát katalitikusan szabályozták. Ezzel a képződő hulladéksók mennyiségét és a környezeti ártalom veszélyét igen jelentősen csökkentették. (Alkalmazás: LUMA Metal, Svédország.)

b) Fémhulladékok volfrámtartalmának szelektív visszanyerésére – az agresszív és költséges kémiai és termikus eljárások helyett – irányított elektrolitikus oxidációt alkalmaztak, ahol a káros melléktermékek mennyisége minimálisra csökken. (Alkalmazás: Wolfram Hüttenges, Ausztria, Sandvik, Svédország, GE-Tungstram, Magyarország.)

c) A volfrám-alapanyaggyártás köztes termékének, a Na-volframátnak nátriumtartalmát elektrodialízissel szeparálva és visszaforgatva, a gyártás során egyébként képződő és a környezetet terhelő hulladéksók mennyiségét 90%-kal csökkentették. (Alkalmazás: GE-Tungstram, Magyarország.)

A *diszperz káliumfázis kialakulásának*, valamint a szinterelés és a termomechanikus alakítás alatti kémiai és morfológiai változásainak számos, fontos vonását az intézet kutatói tisztázták. A legfontosabb hazai eredményeket két, nemzetközi együttműködésben született monográfia foglalja össze (Pink-Bartha: *Metallurgy of Doped-non Sag Tungsten*. Elsevier, 1989; Bartha-Lassner-Schubert-Lux: *The Chemistry of Doped Tungsten*. Pergamon, 1995). Az adalékos volfrám kutatásának elismerését mutatja Millner Tivadar kitüntetése a Plansee-éremmel. A volfrámkutatási eredmények technológiai vonatkozásainak kidolgozásáért Gaál Istvánt, Horacsek Ottót és Neugebauer Jenőt 1997-ben Széchenyi-díjjal tüntették ki.

Szerkezetkutatás

Kis beesési szögű (1981) és *kis energiájú* (1997) *ionmaró berendezések* transzmissziós elektronmikroszkópos minták *hatékony vékonyításához*. A berendezések kidolgozása és széles körű, nemzetközi jogvédelme átütő jelentőségű eredmény a transzmissziós

sziós elektronmikroszkópiás minták preparálásában, amelyek amellet, hogy jelentős javulást eredményeztek a TEM-képek minőségében és értékelhetőségében, komoly gazdasági sikert is hoztak. Míg kezdetben a berendezéseket az intézet készítette és forgalmazta, ez később licenc-megállapodások keretében a liechtensteini Balzers, illetve a budapesti Technoorg Linda cégekhez került át. Kvalitásainak eredményeként az eszköz több mint száz példányban található meg a világ legkülönbözőbb elektronmikroszkópos laboratóriumaiban. Műszaki és gazdasági sikerei mellett meghatározó szerepet játszott az intézet kimagasló szerkezetkutatási eredményeiben. Így az 1992-ben beszerzett Philips gym. rácsfelbontású elektronmikroszkópjával az intézet munkatársai kiemelkedő minőségű és információtartalmú felvételeket készíthettek. Az ionágyú módosított változatát összeépítve az Auger-spektroszkóppal, létrehozták a világon a legjobbak közé tartozó Auger mélységi polírozóberendezést. Az eredményeket mintegy 3000 hivatkozás minősíti.

Egyéb területek

Optikai és radiometriai módszerek és eszközök. Átfogó módszertani kutatások folytak az optikai hírközlés elemeinek (fényvezető szál, fényforrás, detektor stb.) vizsgálatára területén, aminek során a hazai igényeket kielégítő laboratórium jött létre. A félvezető optikai eszközök (pl. LED-ek) radiometriai vizsgálata során olyan új eljárásokat vezettek be, amelyek alapján az 1990-es években nemzetközi szabványok kerültek kidolgozásra.

A lumineszcencia-jelenségek kutatása, a félvezető anyagok és fényvezető szálak kutatása, valamint a radiometriai és fotometriai vizsgálatok során felhalmozott ismeretek alapján számos optikai műszert fejlesztettek ki, amelyek révén az intézet szerepe e területen meghatározóvá vált.

Különleges kerámiaanyagok és alkatrészek. A magas olvadáspontú fémek kutatása során szerzett tapasztalatok alapján 1985-ben Bartha László kezdeményezésére az intézet – OMFB-támogatással – speciális porkohászati laboratóriumot hozott létre, amelyben mindenekelőtt különleges összetételű kerámiaanyagok képződési folyamatainak és felhasználási módszereinek vizsgálatát tervezte, mivel egyes anyagoktól korábban nem ismert minőségi paraméterek voltak várhatók. Elsősorban szilíciumnitrid-kerámiák kutatását tűzték ki célul, melyek kedvező mechanikai, hőtani, kémiai tulajdonságait a világ akkoriban kezdte megismerni. Az Arató Péter által vezetett laboratórium a porkohászat szokásos technológiai és vizsgálóeszközei mellett a kutatás egy kiemelkedően fontos eszközével, meleg izosztikus préssel (HIP) is rendelkezett, s rövid időn belül képessé vált közel

elméleti sűrűségű, szilíciumnitrid minták előállítására szabadalommal védett eljárása révén. Az összetétel, a szerkezet és a mechanikai tulajdonságok közötti kapcsolatokat vizsgáló kutatás mellett 1991-től kezdődően technológiai bázist és sikeres piacot is kiépítettek nagy igénybevételnek kitett, kisméretű, nagy fajlagos értékű gépalkatrészek forgalmazására, ami nem elhanyagolható gazdasági eredménnyel is jár.

Az 1980-as évektől az intézet nemzetközi tudományos kapcsolatai jelentősen bővültek. Mind a színvonalas folyóiratokban megjelenő közlemények növekvő száma, mind a konferenciákon való egyre gyakoribb szereplések eredményeként kutatóink egyre ismertebbekké váltak a nemzetközi szakmai közvélemény előtt.

1987 végével Nagy Elemér nyugalomba vonult. Őt az igazgatói munkakör ellátásában Bartha László követte, aki ezt a feladatot az intézet átalakulásáig látta el. A korábbi évek kedvező gazdasági viszonyai által táplált növekedés ekkor már nem volt fenntartható. Helyette lassú redukció és a dolgozói arányok kívánatos, ésszerű irányú átalakítása lett a jellemző. Az intézet csökkentette az iparhoz fűződő kutatási témáit, s fokozta publikációs tevékenységét. Nagy figyelmet fordított arra, hogy munkatársai minél nagyobb számban szerezzenek magas tudományos fokozatokat. Tizenhat kutató szerzett tudományok doktora fokozatot: Arató Péter*, Barna Árpád*, Barna Péter*, Bartha László, Beleznyai Ferenc, Bodó Zalán, Ferenczi György, Gergely György, Kertész János, Lendvai Ödön, Menyhárd Miklós, Mojzes Imre, Radnóczy György*, Schanda János, Szép Iván, Vicsek Tamás.

Oktatás

Az intézet fennállása során mindvégig, de különösen az 1990-es években, nagy hangsúlyt helyezett a felsőoktatásban való részvételre. Munkatársai közül Prohászka János, Kertész János és Mojzes Imre a BME, Geszti Tamás és Vicsek Tamás az ELTE, Schanda János pedig a Veszprémi Egyetem professzorai lettek. Hat kutató címzetes egyetemi tanári, számos további pedig címzetes docensi címet kapott különböző magyar vagy külföldi egyetemektől. Különösen gyümölcsözőnek bizonyult a kihelyezett laboratóriumok rendszere, amely elsősorban a szerkezetkutatás és a félvezető-kutatás területén épült ki. Ennek révén nem csupán a kutatók szakismeretét sikerült a felsőoktatás szolgálatába állítani, hanem sok olyan egyedi berendezést is, melyek csak az intézetben állnak rendelkezésre.

* Már az átalakult MTA MFA tagjaként.

Az intézet eszközparkja

Az MFKI eszközparkjának legjelentősebb darabjai szerkezetkutatási feladatok megoldását szolgálták. A rácsfeloldású transzmissziós elektronmikroszkópot a saját fejlesztésű mintapreparáló berendezés tette egyedi képességűvé.

Pásztázó elektronmikroszkópjai analitikai feltétellel, illetve képanalízist végző szoftverrel a legkényesebb feladatok megoldására képesek.

Az Auger-spektróméter az egyedi ionmaróval kiegészítve a mélységi analízis terén mutat egyedülálló képességeket.

A kerámiakutatás területén a 2000 °C hőmérsékletig és 2000 atm. nyomásig működő meleg izosztikus prés ritkaságszámba menő, különleges vizsgálati és technológiai lehetőségeket biztosító eszköz.

A saját fejlesztésű és építésű termikus emissziós elektronmikroszkóp magas (1500 °C fölötti) hőmérsékleten teszi lehetővé fémek szövetszerkezetében végbemenő változások folyamatos nyomon követését és filmezését.

A félvezető rétegszerkezetek előállítására alkalmas technológiai berendezés-együttes (epitaxiás rendszerek) segítségével mikrohullámú aktív eszközök, valamint világító diódák és félvezető lézerek készíthetők mind anyagtudományi vizsgálatok, mind különféle felhasználások céljaira.

A kutatást mintegy 25 ezer kötetes szakkönyvtár szolgálja.

★

Az intézet – a MTA konszolidációja során – az Anyagtudományi Kutatóintézetrel egyesülve, 1998. január 1-jétől mint a MTA Műszaki Fizikai és Anyagtudományi Kutatóintézete (MFA) folytatja működését. A IV. ker. Fóti úti telephelyről a KFKI-campus területére költözött át, a korábbihoz képest csökkent létszámmal.

Negyvenéves fennállása során eleget tett az alapító okiratban foglaltaknak. Eredményei néhány számmal is jellemezhetők:

Megjelentetett közlemények száma kb. 1500,
Megszerzett magyar szabadalmak száma 140,
Tudomány doktora fokozatok száma 17,
Kandidátusi fokozatok száma (doktorok nélkül) kb. 45,
Könyvek (monográfia, tankönyv, kézikönyv stb.) kb. 35,
Jelentős nemzetközi konferenciák szervezése 7,
Tudományirányító szervezetek tisztségviselője 8,
UNESCO-szakértő 5.

Az intézetben művelt témák közül különösen kiemelkedő nemzetközi elismerésre tettek szert:

- a) a magas hőmérsékleti szilárdságot meghatározó adalékolási folyamat mechanizmusát tisztázó és technológiai konzekvenciáit is sikeresen levonó volfrámkutatás,
- b) a vékonyrétegek képződésének mechanizmusát, az amorf elemi félvezető rétegek, valamint a többkomponensű polikristályos rétegek (ötvözetek kompozitok és multirétegek) szerkezetének kialakulását tisztázó kutatás,
- c) kvázikristályos és amorf szerkezetek képződéséhez vezető szilárd fázisú reakciók kutatása,
- d) a rugalmas elektronszórás-spektrometria kidolgozása és alkalmazása elektronok szabad úthosszának meghatározására, továbbá nagy felbontóképességű mélységi elemzés Auger-spektrométerrel,
- e) a félvezető heteroátmenetek és vegyület-félvezető rétegszerkezetek tulajdonságainak és mikroelektronikai alkalmazhatóságának tisztázására irányuló kutatás,
- f) mélynívók tulajdonságainak meghatározása és „kétdimenziós” rendszerek (kvantum) transzportjelenségeinek kutatása félvezető anyagokon,
- g) a volfrámgyártáshoz kapcsolódó, környezetkímélő kémiai technológiák létrehozásához kapcsolódó kutatás,
- h) különösen hőszigetelő kerámiák szerkezetének kutatása,
- i) a statisztikus fizika különböző területein elért, több ezer irodalmi visszahivatkozással minősített kutatások.

A kiemelkedő teljesítmények legmagasabb hazai elismerését mutatja, hogy *Kossuth-díj*ban részesült Szigeti György, Szép Iván, Bodó Zsolt és Millner Tivadar, *Állami Díj*at kapott Ferenczi György, Boda István, Horváth Péter (KFKI), *Széchenyi-díj*at pedig Gaál István, Horáček Ottó és Neugebauer Jenő.

Anyagtudományi Kutatóintézet, 1992–98

Megalakulása és szervezete

Az Anyagtudományi Kutatóintézet (ATKI) a korábbi Központi Fizikai Kutatóintézet (KFKI) Mikroelektronikai Kutatóintézetének (MKI) jogutódként jött létre 1992. január 1-jén. A KFKI átalakítása során kiváltak a termékek (számítógépek, mérőműszerek, szoftverek stb.) fejlesztésével és előállításával foglalkozó részlegek, és a központ öt, gazdaságilag független kutatóintézetté alakult át. Az átalakításnál az ATKI örökölte az MKI személyi állományát és berendezésparkját, amelyek összetételét a korábbi buborékmemória-program és a félvezető eszközök, illetve technológiák fejlesztésével kapcsolatos kutatások alakították ki. A helyzetet súlyosbította, hogy a Mikroelektronikai Vállalat (MEV) leégését követően az MKI háttérparancs nélkül maradt. A sikeres továbbélés érdekében az MKI tevékenységének súlypontját olyan technológiai eszközök és mérőberendezések kifejlesztésére helyezte át, melyeket az akkori szocialista országokban értékesítettek. Az 1990-es évek elejének politikai változásai (a vasfüggöny leomlása és a keleti piacok fizetésképtelenné válása) az intézet életében újabb fordulatot és jelentős átalakításokat tettek szükségessé.

Az 1991. esztendő végén az ATKI átalakítására és új kutatási arculatának kialakítására Gyulai József, az MTA levelező tagja kapott megbízást. Az intézet már a nevének megváltoztatásával is jelezni kívánta azt a fordulatot, hogy a fejlesztőmunkáról a kutatásra helyezte át a súlypontokat. Kiemelt figyelmet biztosítottak a tudományos iskoláknak (ionimplantáció, mágneses kutatás, ellipszometriá), melyek az alap kutatásban már nemzetközi tekintélyt szereztek, és emellett azoknak is (pl. számítógépes modellezés és vékonyréteg-kutatás), melyektől elvárható volt, hogy rövid idő alatt elérik ezt a szintet.

Az önállóvá vált intézet fő feladata interdiszciplináris természet- és műszaki tudományos kutatás, ezen belül elsősorban a tervezhető tulajdonságú anyagok (engineered materials) létrehozása és alkalmazása. Ez többnyire metastabil atomi méretű rendszerek előállítását és tanulmányozását jelenti, amihez hozzátartozik az indukált hibaszerkezetek kutatása is egykristályos, polikristályos és amorf vékonyrétegekben és határfelületeken. Egyenrangú feladatának tekinti a kutatási eredményeknek know-how, vizsgálati módszer, berendezésfejlesztés formájában történő hasznosítását.

A legnehezebb pénzügyi feladatot a megörökölt és akkoriban az országban, később pedig már a régióban is egyedülálló technológiai eszközpark (nagyisztaságúfélvezető-laboratórium, litográfiai berendezések, fotomaszk-laboratórium, egykristály- és vékonyréteg-növesztő eszközök) megőrzése jelentette. Az intézeti Tudományos Tanács is egyetértett ui. abban – vállalva az esetleg hátrányos megítélést is –, hogy az anyagtudományos kutatómunka színvonalas minták *helyben való* előállítására nélkül csak „Patyomkin-falu” jellegű, függést jelentő kutatásként lehetséges.

Az 1990-ben mintegy 200 M Ft építési költséggel elkészült Félvezető Laboratóriummal teljessé vált az a komplexum, amelyhez ezen kívül a korábban épült Maszklaboratórium tartozott. Ez az együttes ma az MTA egyik kiemelkedő fontosságú infrastrukturális létesítménye. Az ATKI létezése idején az országban ez volt ui. az egyetlen olyan laboratórium, ahol szilíciumalapú elektronikai eszközöket, érzékelőket stb. létre lehetett hozni. Ezeknek a költséges laboratóriumoknak a folyamatos működtetését (és ezáltal megőrzését, átmentését) az tette lehetővé, hogy a versenyképes kutatási témák mellett a technológiai szakemberek továbbra is vállalták néhány mikroelektronikai eszköz kifejlesztését (nyomá szenzor), illetve az ipar által igényelt, kis sorozatú eszközök előállítását. Például a kábeltelevíziózás elterjedése miatt folyamatosan évente néhányszor százdarabos igény jelentkezett előírt tulajdonságú felületi hullámszűrők gyártására, és az ebből származó bevétel lényegében fedezte a Félvezető Laboratórium fenn tartási költségeinek azt a részét, amelyet már csak a eredményes kutatási témák rovására lehetett volna a folyamatosan csökkenő költségvetési ellátmányból fedezni.

A másik magas működtetési költséget igénylő és korábban sikeres laboratóriumunkat, a magas olvadáspontú oxidegykristályok előállítására alkalmas kristálynövesztő berendezésekkel az intézet vezetésének és dolgozóinak igyekezete ellenére sem sikerült megőrizni. Külső segítség híján végül is a korábban ezen a területen dolgozó kutatók rokon területeken (mágneses és elméleti kutatás) találtak feladatot maguknak, míg a laboránsok egy része kisvállalkozásokban helyezkedett el. Az MKI 1991. január 1-jei 139 fős létszámáról az ATKI 1992. december 31-ig 103 főre csökkent. A későbbiekben az eltávozók helyére fiatal kutatókat alkalmazott az intézet, így a létszám már nem apadt észrevehetően.

Az intézet vezetése az átalakítás során a korábbi három főosztályos tagozódás helyett tíz kutatási osztályt hozott létre, zömmel új osztályvezetőkkel.

A legfontosabb célok között szerepelt a tudományos minősítettek számának növelése, mivel ezen a területen az intézet korábbi életében súlyos elmaradások mutatkoztak (1 akadémiai levelező tag, 7 kandidátus). Az akadémiai értékrendhez való igazodást segítette a kutatók és témavezetők évenkénti beszámoltatása,

aminek felügyeletét a külső tagokkal kiegészített intézeti Tudományos Tanács végezte. Az időszak végére az intézetben már 1 MTA rendes tag, 1 tudomány doktora, 14 kandidátus (PhD) dolgozott.

Az ATKI életének jelentős eleme volt az 1989-ben alakult BME–KFKI Közös Kísérleti Fizika Tanszék – mint az ország egyik első ilyen intézménye. A tanszéknek az volt a célja, hogy lehetőséget nyújtson mind az egyetemi oktatóknak kutatómunka végzésére az ATKI-ban, mind a kutatóknak, hogy oktathassanak a műegyetemen. Kutatóink emellett kapcsolatot tartottak szinte valamennyi fizikát is oktató hazai egyetemmel, főiskolával.

A tudományos irányváltásra a hazai közösség pozitívan reagált azzal, hogy jelentősen megjavult az intézet pályázati sikeressége. Ez a sikeres OTKA- és AKA-pályázatok évről évre növekvő számában mutatkozott meg. Az intézet korábbi nemzetközi beágyazottsága pedig sikereket eredményezett az Európai Unió pályázatain: mind networkök keretében, mind kutatási konzorciumokban olyan sikeresen szerepelt az ATKI, hogy a pályázati tevékenység ezen formája elsőrendű szerepet játszott a finanszírozásában, és megalapozta a konszolidációt követő időszak eredményességét.

Az *intézetkonszolidáció* komolyan befolyásolta az intézmény életét, mivel átvilágításánál az 1992–95-ös időszakot vették alapul, amikor az ATKI-beli változások még éppen csak elkezdődtek, illetve azok eredményei nem jelentkezhettek. Az MTA vezetése azonban végül is meggyőződött az intézet életképességéről, és a Konzolidációs Bizottság olyan döntést hozott, amely formailag és látszólag ugyan elmarasztalta az intézetet (azaz az ATKI jogi személyként való megszüntetéséről intézkedett, de az MTA Műszaki Fizikai Kutatóintézettel való egyesülést az ATKI telephelyén határozta el), az intézet lényeges értékei azonban ezzel átmentődtek és megmaradtak az egyesített ATKI–Műszaki Fizikai Kutatóintézetben, az MFA-ban.

Az intézet igazgatójának munkáját három igazgatóhelyettes segítette. A gazdasági igazgatóhelyettes Maróti Lászlóné volt, illetve nyugdíjba menetele után a feladatát Tóthné Gittinger Edit vette át. A tudományos igazgatóhelyettesi feladatok ellátására a külföldről hazatérő Bársony István kapott megbízást, aki 1995-től ügyvezető igazgatóként segítette az intézet irányítását. A műszaki igazgató Szabó Zsolt volt.

A kutatói munka az alábbi felosztásban folyt az egymástól független osztályokon, melyeket jellegüktől függően neveztünk laboratóriumnak vagy csoportnak is:

- Bioelektronikai Laboratórium (vez.: Kozmann György)
- Nanotechnológiai Laboratórium (vez.: Balázs Erzsébet)

- Vékonyréteg Laboratórium (vez.: Pető Gábor)
- Félvezető Laboratórium (vez.: Dücső Csaba)
- Elméleti Csoport (vez.: Szabó György)
- Mágneses és Kristálynövesztő Laboratórium (vez.: Vértesy Gábor)
- Optikai Anyagvizsgáló Laboratórium (vez.: Fried Miklós)
- Ionimplantációs Laboratórium (vez.: Lohner Tivadar)
- Képfeldolgozó Laboratórium (vez.: Eördög Imre)
- Vákuumtechnológiai Csoport (vez.: Krafcsik István)

A Vákuumtechnológiai Csoport 1996-ban fokozatosan kivált az intézetből.

Nagyberendezések

Félvezető és Szenzorika Laboratórium

A laboratórium előbb az egyetlen hazai, később a régió egyetlen minősített légállapotú (kiemelt pontjain ún. Class 10, másutt 100, illetve 10 000), komplett félvezető-technológiák végzésére alkalmas laboratórium. A benne elvégezhető műveletek: nedves tisztítás, oxidáció és magas hőmérsékletű műveletek, ionimplantáció, fotolitográfia, kémiai rétegleválasztás, fizikai rétegleválasztás, kémiai és plazmás marások, minősítő mérések. A laboratórium építése 1990-ben fejeződött be és a berendezését, üzembe állítását már az ATKI végezte.

Maszklaboratórium

A – szintén Class 10 és 100 légállapotú – laboratórium alkalmas 100 mm-es méretű, nagy felbontású fotomaszkok tervezésére és gyártására. Rendelkezik ábragenerátorral, léptető kamerával, maszkelőhívó és -minősítő rendszerekkel.

Vékonyréteg Laboratórium

Ez a komplex laboratórium abban az értelemben „nagyberendezés”, hogy azokat a nagy értékű, fizikai rétegleválasztó berendezéseket tartalmazza, amelyeket – szakmai megfontolások alapján – nem a Félvezető és Szenzorika Laboratóriumba telepített az intézet. Plazmás rétegleválasztó, ultravákuumos párologtatóberendezés, lézeres párologtató stb. jelentik e nagy értékű berendezés-parkot.

Kristálynövesztő Laboratórium

Czochralski típusú kristálynövesztésre szolgáló berendezések (3 db). Alkalmasak magas olvadáspontú (1800–1900 °C) egykristályok vákuumban vagy zárt atmoszférában történő növesztésére. Az egyik berendezés 1", a másik kettő 2" átmérőjű kristályok növesztését teszi lehetővé, automatikus átmérőszabályozással.

Folyadékfázisú epitaxiális növesztőkemencék (3 db). A berendezések 1" vagy 2" átmérőjű hordozóra történő, olvadékoldatból való epitaxiális rétegnövesztésre szolgálnak, max. 1100 °C hőmérsékleten. Az egyik berendezés teljesen automatizált, a másik kettő félautomatikus.

Ionimplanter („Neon”-implanter). A berendezés alkalmas gáz halmazállapotból előállítható, max. 120 keV energiájú ionok implantálására, $11 \times 11 \text{ cm}^2$ felületű targetba. Az implanter nem rendelkezik mágnesestömeg-szeparálással, viszont az elérhető legnagyobb áramsűrűség a minta teljes felületén nagy, mintegy $3 \mu\text{A}/\text{cm}^2$.

Röntgenlaboratórium

A röntgenlaborban több nagyberendezés működik:

A Müller Mikro 111 röntngenerátorhoz két röntgendiffrakciós berendezés kapcsolódik: Philips PW 1050 diffraktométer (vízszintes tengelyű, hajlított kvarc analizátorral, Cu-anódú röntgensóvel használható, későbbi fejlesztésű számítógépes adatgyűjtő van hozzá) és Philips X DC-700 Guinier-kamra (film-mel működik, Cu- és Cr-anódú csővel használható).

RT-3 kétkristályos röntgentopográfiás goniométer, MFKI-gyártmány. Enraf Nonius Diffractis-generátor a sugárforrása.

Müller Mikro 60 készülék, többszörösen átépítve (az eredeti 1934-ből). Egyreflexiós Laue-kamrával használjuk egykristályok orientálására.

Ionsugaras mintavékonyító berendezés diffúziós szivattyús vákuumrendszerrel TEM-minták preparálására.

Pásztázó elektronmikroszkóp (SEM) Laboratórium

A JEOL JSM 840 típusú készülék szekunder és visszaszórt elektrondetektorokkal van felszerelve, a gyorsítófeszültség 0,2 és 1,0 keV között változtatható. A visszaszórtelektron-detektor kompozíciós és topografikus üzemmódban működik. A készülékhez Ortec System 5000 típusú, Be-ablakos detektorral felsze-

relt energiadiszperszív röntgenspektrométer (EDS) is tartozik, ami 0,1 tömegszázalék detektálási határ elérését teszi lehetővé.

Alagútmikroszkóp (STM) Laboratórium

Az USA-gyártmányú, RHK-100-as típusú pásztázóalagútmikroszkóp-rendszer számítógépből, elektronikai rendszerből és 2 db pásztázófejből áll. A pásztázófejek UHV-635-ös típusúak, alkalmasak vákuum alatti mérésekhez. Az egyik fejet szabad levegős és folyadék alatti mérésekhez használjuk, a másik fejt egy részben hazai tervezésű és kivitelezésű vákuumrendszerben használható.

Tudományos kutatások

Implantációs, ionsugaras analitikai kutatások

Az ionimplantációs kutatások jelentik azt az alapot, amelyhez az intézet számos egyéb kutatási területe is kapcsolódik. A kutatások alapfeladata az ion–szilárdtest kölcsönhatások vizsgálata, az ionsugaras analitikai módszerek továbbfejlesztése.

A vizsgálatok egy része az implantáció után visszamaradó hibaszerkezet tanulmányozására és tudatos alakítására koncentrálódott. Megerősítést nyert, hogy az ionimplantáció által roncsolt kristály jobban tud visszánövekedni, ha a legfelső réteget eltávolítják, mivel ebben a rétegben alakulnak ki azok a stabil kristályhibák, amelyek a tökéletes visszánövést gátolják.

Az implantáláskor alkalmazott egyidejű fotonbesugárzás hatásának vizsgálata során kimutatták, hogy a bórral implantált mintákban tapasztalható töltéshordozó élettartam-csökkenése jóval kisebb mértékű, mint a konvencionálisan implantált mintákban. Az ilyen körülmények között létrehozott hibaszerkezeti különbségek hatásai igen erősek a hőkezelés alatti diffúzióban mind a bórral, mind az arzénnal implantált minták esetében.

A *MeV energiájú könnyű ionok okozta rács hibák alkalmazása töltéshordozók élettartamának szabályozására* című EU-projekt (CaLif) keretében megoldották a töltéshordozók élettartamának akár 100 μm mélységig történő tervszerű módosítását könnyű ionok implantációjával. Létrehoztak egy az implantáció során alkalmazott, ék alakú maszkot, amely lehetővé teszi a mintán a különböző mélységtartományokban keltett hibák élettartamra gyakorolt hatásának az elkülönítését.

Az extrém nagy energiájú (>200 MeV) ionokkal besugárzott felületek pásztázó szondás vizsgálata során sikerült egymástól jól megkülönböztethető nyom-

típusokat megfigyelni, aszerint hogy mag-mag ütközéseken alapuló vagy pedig elektronfékezés volt a gyors részecske domináns kölcsönhatás-mechanizmusa a nyomkeltés során. Ez a módszer lehetőséget nyújt az implantációs kaszkádok vizsgálatára a teljes behatolási tartományban.

Bekapcsolódtak a pórusos szilícium kutatásába is. Kísérletek történtek belső szerkezetének stabilizálására plazmaimmerzióval és a struktúra mechanikai és elektromos tulajdonságainak megváltoztatására kis és nagy energiájú ionimplantációval. Vizsgálták, hogy a különböző ionsugaras analitikai technikák hogyan alkalmazhatók nagy porozitású, mezoszkópikus rétegeken. Egy Monte Carlo-programot dolgoztak ki ennek a jelenségnek a szimulációjára, követésére. Megállapították, hogy a pórusos Si sokkal nagyobb dózisú implantációt visel el „mechanikai” károsodás nélkül, mint a tömör.

Új mérési módszereket dolgoztak ki könnyű szennyezők, elsősorban az oxigén, nitrogén és a szén mélységi eloszlásának meghatározására, különféle anyagokban. Ebből a célból tanulmányozták a $^{15}\text{N}(p,ag)$; $^{16}\text{O}(d,p)$, $^{16}\text{O}(d,a)$, $^{12}\text{C}(d,p)$, $^{18}\text{O}(p,a)$ és egyéb magreakciókat és ezek használatát különböző energiákon és mérési elrendezésekben. Idekapcsolódnak az elméleti kutatások a többszörös szóródás területén.

Vékonyréteg-kutatások, nanotechnológia

A vékonyréteg-kutatások alapfeladata méreteffektusok vizsgálata, a nanotechnológiai téma pedig a pásztázószondás módszerek (STM) metodikai kutatására és alkalmazására irányul.

Kimutatták, hogy 30 nanométernél vékonyabb gadolíniumréteg és szilíciumhordozó szilárd fázisú vékony réteg reakciójában a kialakuló epitaxiális szilicid fázist a hordozó orientációja határozza meg, függetlenül attól, hogy a szokásos rétegvastagságok mellett zajló vékonyréteg-reakcióban melyik az első kialakuló fázis. Elsőként készítettek szilárd fázisú vékonyréteg-reakcióban szilárdtest-amorfizációval amorf Gd-Si-fázist (100) orientációjú szilíciumhordozón. Megállapították, hogy bizonyos kiinduló gadolínium-rétegvastagság alatt a kialakuló Gd-szilicid fázis nem függ a szokásos fázissorrendtől és hőkezeléstől.

Elektronszerkezet-vizsgálatokkal azt találták, hogy az ionimplantációval amorfizált Si-Ge rendszerekben a felületi amorf kristályos átalakulás döntő mértékben meghatározza a hibamentes visszánövés lehetőségét, nem csak a felületen. Tisztázták, hogy az ionimplantált amorf Si-ban is a tetraéderestől az eddig ismertnél lényegesen jobban eltérő rövid távú rend alakul ki, hasonlóan a Ge-hoz.

Lézeres párologtatással 10 nm laterális mérettartományú és éles méreteloszlású rendszereket (Cu-, Co-, Pt-, Ag-) hoztak létre. A kisméretű Cu-nanorészecskék elektronszerkezetét a Fermi-nívón mérhető állapotsűrűségnek és a 2 eV kötési energiájú 3d állapotok sűrűségének tömbi értékéhez képest drasztikus csökkenése jellemzi. Megállapították, hogy az Ag-, Pt- 4d-, 5d-eredetű, kisebb kötési energiájú állapotai változnak legérzékenyebben a méret csökkenésével a Cu 3d állapotokhoz hasonlóan.

Kimutatták, hogy lézerimpulzussal történő olvasztással különleges, biológiailag aktív titánfelületet lehet létrehozni, amelyben a csontosodási folyamat lényegesen hatásosabb, mint az eddig ismert módszerekkel létrehozott és a gyakorlatban alkalmazott felületek esetén.

Az alagúteffektus elméleti kutatása során analitikus módszerekkel meghatározták az egydimenziós hullámcsomag fejlődését. Kimutatták, hogy nem létezik térben és időben egyaránt kompakt tartójú hullámcsomag. A vizsgálatokat kiterjesztették az időfüggő Schrödinger-egyenlet 3-dimenziós numerikus megoldására.

Csiszolt fémfelületek (Ni, Cr, Mo, Cu, Fe) felületi durvaságát STM-mel megvizsgálva, úgy találták, hogy a felületek nm-es léptékben simának tekinthetők, viszont néhány száz nm-es egyenetlenségekkel tarkítottak. A galvanizált fémfelületek felülete fraktálszerű egyenetlenségekkel borított, míg a vákuumpárologtatott fémfelületek simábbak. Si-hordozó esetén akár 2-3 nm-es átlagos felületi durvaság is elérhető, ez kiváló érték.

Jelentős eredmények születtek a jövő új anyagaként aposztrofált szén nanocsövek ionbesugárzással való előállítására (dubnai együttműködés) és „boncolása” terén.

Félvezetőszenzor-kutatások

Az alapfeladat új félvezető anyagok, szerkezetek kutatása és ezen alapuló szenzorikai fejlesztések, valamint az országban egyedül itt működő teljes félvezető-megmunkáló sor hazai és nemzetközi együttműködésben történő hasznosítása.

Multikristályos napelemek készítése céljából plazmaimerziós berendezést építettek, amelyben sikerült 50–100 nm vastag, 150–200 Ω /nm rétegellenállású n típusú rétegeket készíteni. A vékonyabb emitternek köszönhetően az elemek kvantumhatásfoka az UV tartományban 5–10%-kal megnövekedett. Az Al-hátlap elkészítéséhez kidolgozták azt az eljárást, amelyben egyidejűleg alakítható ki a napelemek hatásfokát növelő reflektáló réteg, a fémes kontaktus és a hátoldali potenciállépcső. Tanulmányozták a plazmaimerziós implantációnak mint olcsó és nagy kihozattal bíró technológiának a lehetőségeit is.

A pórusos Si kutatása keretében megállapították, hogy gyors hőkezeléssel kialakított oxidáció esetén a méretektől függő mechanikai feszültség keletkezik a pórusos-kristályos határfelületen. Anódikus oxidáció esetén a sugárzó és nem sugárzó átmenetek arányát az elektrokémiai oxidáció sebessége befolyásolja. Sikeresen demonstrálták, hogy a pórusos szilícium a napelemek antireflexiós rétegeként is alkalmazható, előállítására jól illeszthető a szelektív emitteres technológiába. A pórusos Si-rétegek optikai tulajdonságai tág határok között reprodukálhatóan, előre megtervezett módon változtathatóak. Bórral és foszforral adalékolt Si- és HF-tartalmú elektrolit-határfelületek elektrokémiai vizsgálatával meghatározták a koncentrációprofilokhoz tartozó I-V karakterisztikákat azon célból, hogy implantált mintázattal rendelkező szeleteken vastag pórusos rétegek kialakítására nyíljon lehetőség.

A pórusos Si vezetési mechanizmusának kutatása keretében Magyarországon elsőként és egyedül sikerült elektrolumineszkáló, szilárd kontaktusos pórusos szilíciumstruktúrát előállítani. A szabad szemmel is látható fehéres fény emissziója már 2–5 V feszültségnél megfigyelhető. A struktúra változtatásával előállítottak egy vörös fényt emittáló, kb. 3 nagyságrenddel jobb hatásfokú szerkezetet is.

Egy Copernicus-program keretében a pórusos szilícium nagy fajlagos felületét használják ki gázérzékelő mikroszerkezetek előállításához. Bebizonyították, hogy az atomos rétegepitaxiás (ALE) eljárás módosításával egyenletes rétegleválás érhető el 1–3 mm vastag mezopórusos rétegekben is. Megtervezték és előállították az integrálható gázérzékelő alapszerkezet első változatait.

A rácscsatolóval ellátott hullámvezető szenzor orvosi és biotechnológiai célokra történő hasznosítása keretében (EUREKA program) kidolgozták a világrekordot jelentő, 0,2 μm vonalszélességű, nagy felületű, szinuszos vastagságeloszlású ábrák anizotróp marási technikáját, és olyan felülettisztítási technikák fejlesztését kezdték meg (mechanikai polírozás, nedves kémiai marások és plazmás tisztítások kombinációja), melyek az üveghordozó felületének optikai tulajdonságait érintetlenül hagyják.

A BME-KFKI Kísérleti Fizika Tanszékkal közösen előállították a piezorezisztív elven működő gyorsulásérzékelők első példányait, valamint az MMG AM megbízásából megtervezték és előállították a 10–600 bar nyomástartományban működő piezorezisztív nyomásmérő csipek teszt-példányait.

A BME Atomfizika Tanszékével közösen végzett gyémántréteg-leválasztások vizsgálata során megállapították, hogy a mikrohullámú plazmás eljárással Si-ra leválasztott gyémántfilmek SiC, amorf C és gyémánt C rétegekből épülnek fel. Sikeresen adaptálták a 30–70 MHz tartományban működő felületi akusztikus hullámszűrők (SAWF) teljes gyártástechnológiáját a LiNbO₃-szeletek megmunkálásától a tokozásig. A technológia birtokában lehetőség nyílt könnyen mérhető, tokozott szenzorok előállítására is.

Mágneses kutatások és kristálynövesztés

A kutatások alapfeladata különleges tulajdonságokkal rendelkező lágymágneses anyagok (egykristályos, nanokristályos és amorf szalag) előállítására és tulajdonságainak vizsgálata, valamint ezen anyagok alkalmazása szenzorikai célra.

Kimutatták a koercitív tulajdonságok és a doménszerkezet közötti összefüggést, és kísérletileg alátámasztott elméleti számításokkal igazolták, hogy magnetosztatikus módon befolyásolhatók a hiszterézis-veszteségek. Kvantitatív, empirikus kapcsolatot mutattak ki a koercitív tulajdonságok és az egyéb mágneses paraméterek, valamint a hőmérséklet és a kristályszerkezet között. Mérési eljárást dolgoztak ki, amelynek segítségével meghatározták, hogy a koercitivitás két alapvető forrása – a doménfalak mágneses paraméterei, valamint az anyag lokális inhomogenitásai – közül az anyaghibák azok, amelyek döntő mértékben befolyásolják a mérhető koercitív térerősséget.

Kutatásaikat kiterjesztették a Finemet típusú amorf/nanokristályos ötvözetekre, továbbá a vékony-, illetve multirétegekre is, amelyek a mágneses kutatások és alkalmazások új, sokat ígérő anyagát jelentik. Meghatározták, hogy a kristályosodási lépések hogyan zajlanak le a különbözőképpen előállított amorf szalagokból kiindulva. Kidolgozták a vasalapú amorf és nanokristályos ötvözetek klaszterizációjának, modelljét. Megállapították, hogy a nanokristályos szalagban elérhető mágneses tulajdonságok szempontjából lényeges az amorf állapotban létrejövő klaszterizáció és kialakították a lágymágneses viselkedés szempontjából legkedvezőbb hőkezelést.

Feszültség (húzás) alatt hőkezelt amorf szalagokban megállapították a koercitív térerősség függését az indukált anizotrópia nagyságától, a doménszerkezettől, az alkalmazott mágneses tér irányától és a kristályosodás mértékétől. Kimutatták, hogy bizonyos esetekben a különféle, koercitivitásra vezető hatások additíve összegezhethetők.

Kifejlesztettek és sikerrel alkalmaztak egy olyan új mérési összeállítást, amelynek segítségével a hiszterézis-folyamatokat leíró elméleti Preisach-modell következtetései közvetlenül összevethetők a kísérleti adatokkal. A négyszögletes hiszterézissel bíró részecskékből álló rendszer elemei közötti magnetosztatikus kölcsönhatást vizsgálták, közvetlen mérésekkel és numerikus módszerrel.

Az egykristálynövesztés terén kidolgoztak egy új eljárást, ami a Czochralski típusú növesztés során változtatja a húzási sebességet, és ezáltal biztosítja az adalékok egyenletesebb eloszlását. Emellett optimalizálták a különféle lézerkristályok (Nd, Cr:GGG és Nd:YVO₄) növesztését. Az epitaxiális gránátrétegek növesztésénél kidolgozták az extra vastagságú (300 μm), illetve vékonyágú (<1 μm) rétegek előállítását is, melyeket a magnetooptikai hullámvezető eszközökben lehet hasznosítani.

Kidolgoztak egy $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_{12}$ magas hőmérsékletű szupravezető oxid-egykristály előállítására szolgáló optimális módszert. Az itt előállított szupravezető egykristályokon elvégzett vizsgálatok több, a világon először kimutatott jelenséget eredményeztek (transzportáram által generált feszültség tér- és idő-korrelációja, mágneses és ellenállás-anomália kimutatása 220 K környékén).

Az általuk kifejlesztett nagy érzékenységű mágneses térmérési metodikát alkalmazták az örvényáramú anyagvizsgálatban. Ezzel a módszerrel a vezető anyagokban lévő szerkezeti hibák igen nagy érzékenységgel vizsgálhatók. Standard mintákon sikerült a hátoldalon lévő 10%-os repedéseket kimutatni.

Optikai anyagvizsgálati kutatások

A kutatások alapfeladata a foton-szilárdtest kölcsönhatások vizsgálata, az eredmények felhasználásával optikai mérési, vizsgálati módszerek fejlesztése az intézet kutatási feladatainak megoldására.

Az optikai kutatások több, részben összefüggő témában folytak. Az első az ellipszometria (reflexiós polarimetria) témában való mérési és méréskiértékelési módszerek fejlesztése és a módszerek alkalmazása vékonyréteg-technológiai kutatásokra. Az egyhullámhosszas berendezéssel folytatott kísérletek alapján kidolgozott módszereket sikeresen adaptálták a spektroszkópiai ellipszométeres (SE) mérésekhez. Üzembe helyeztek továbbá egy saját fejlesztésben előállított ellipszométert. A mérésekkel meghatározták az ionimplantált szilícium-rácskárosodás profilját. A módszer lehetővé teszi hőkezelés hatásainak vizsgálatát is. A pórusos szilíciumrétegek vastagságának és törésmutatójának (porozitásának) meghatározását spektroellipszometriával és egyhullámhosszas ellipszometriával több projektben is alkalmazták.

Szisztematikus vizsgálatok folytak arról, hogy a spektroellipszometriát kvantitatív módszerré tegyék az ionimplantáció okozta rácskárosodás mélységprofiljának meghatározására. A mélyen eltemetett roncsolt rétegek esetén a spektrumok nagy hullámhosszú tartományában megfigyelt interferenciaoscillációk megfelelő optikai modellel végrehajtott kiértékelése reális mélységprofil eredményezett.

A pásztázó infravörös mikroszkóp (SIRM) fejlesztése és tesztelése során sikerült bebizonyítani, hogy ez az eszköz képes a több száz μm vastag szeletek belsejében is mikron alatti felbontással detektálni a különböző szórócentrumokat, és egyúttal alkalmas a mikroüregek statisztikai változásának követésére is.

Az anyagtudományi alkalmazott lézeres kutatások terén sikerült megvalósítani optikai rácscsatolt hullámvezetőket biológiai anyagok érzékelése céljából. A 2400 vonal/mm-es rácsot sikerült ionimplantációval „exponálni” üveg felülete

alá úgy, hogy az üveg eredeti felülete megmaradt, így lehetséges síkban megmaradó hullámvezetőt készíteni a felületére.

Az elméleti optikai kutatások terén széles szögű interferencia-kísérleteket végeztek lumineszcens fényben. A SIRM-fejlesztés elméleti megalapozására végzett munka (analitikusan megoldott diffrakciós integrálok) más területeken is alkalmazhatónak bizonyult (pl. üvegszálás fókuszálás vagy a Fourier-optika).

Bioelektronika

A csoport tevékenysége a szív által létrehozott testfelszíni potenciáeloszlás információtartalmának vizsgálatára, illetve a diagnosztikai célú „lényegkiemelésre” irányult.

A testfelszíni potenciáltérképezés a hagyományos EKG sokelektrodás kiterjesztése, ami lehetővé teszi a szívizom lokális elektromos elváltozásainak részletesebb megismerését. A propagációs szívmodell felhasználásával igazolták, hogy a testfelszíni potenciáeloszlás alapján detektálhatók a szíven belüli aktivációs hullám terjedésének fiziológiai szempontból karakterisztikus mozzanatai.

Kidolgozták a statisztikai térképinterpretáció-adatbank osztályonkénti mintanagyságára vonatkozó követelményeket, a térképábrázolás dimenzionalitása függvényében. Megállapították, hogy fix számú minta esetén a figyelembe vehető dimenzionalitásnak optimuma van. A statisztikai térkép-interpretációt lehetővé tevő adatbázis létrehozására megteremtették a módszertani és programkereteket, magára az adatfeltöltésre nemzetközi kooperációt hoztak létre.

A kamrai aktiváció karakterisztikus eseménydetektálás-tulajdonságainak szimulációs eljárásokkal való elemzése során megállapították, hogy a predikciós eljáráson alapuló korábbi eljárás kimutatja azon karakterisztikus eseményeket is, amelyek az aktivációs front és egy infarktusz terület kölcsönhatásából keletkeznek. Felvázolták egy olyan inverz feladatmegoldó rendszer elvét, amely a karakterisztikus eseményeket detektáló algoritmus alapján generálja a karakterisztikus események szekvenciáját, majd második lépésben a fenti szekvenciához illeszthető modellt határozza meg, és ezt tekinti az inverz feladat eredményének.

Kvantitatív mikroszkópia

A téma alapfeladata automatikus képfelismerési módszerek fejlesztése, elsősorban mikroszkópiai vizsgálatokra. Kifejlesztettek egy általános képfeldolgozó rendszert, amely kompozitok, textilből készült anyagok, kovácsolt volfrámtöret

felület, plazmaszórt és lézeresen hőkezelt rétegek szerkezetvizsgálata mellett orvosbiológiai célokra is használható.

A textilstruktúrát vizsgáló rendszer alkalmas fonalszálak átmérőjének és csavarodási szögének mérésére és ez alapján annak meghatározására, hogyan változnak a fonalszál geometriai paraméterei különböző igénybevételek hatására. Létrehozta egy mikroszámítógéppel vezérelt rendszert félvezetőszeleteken elhelyezett optikai karakter és vagy vonalkódok felismerésére. Automatikus töretfelület ellenőrző rendszer készült a GE, valamint mikroszkópos felületanalizáló rendszer a Protetim részére.

Tumordiagnosztikai területen kidolgoztak egy gyors és pontos DNS-tartalom-meghatározó és a betegséget korán diagnosztizáló és prognosztizáló eljárást. Diagnosztikai eljárást dolgoztak ki a belsőleg adott antibiotikumok, nem szteroid gyulladáscsökkentők, láz- és fájdalomcsillapítók okozta nemkívánatos bőrijelenségek és gyógyszeres szenzibilizáció vérből történő meghatározására. Kapillármikroszkóphoz illesztett egyedi vörsejtek sebességének mérésére alkalmas diagnosztikai berendezést készítettek a Debreceni Orvostudományi Egyetem megrendelésére, amely alkalmas keringési rendellenességek vizsgálatára.

Számítógépes modellezés és elméleti kutatások

Az atomok rendeződési jelenségeinek leírására az Ising típusú modellek nagyon sikeresnek bizonyultak. Az elméleti csoport ezen vizsgálatok kiterjesztését tűzte ki célul olyan anyagcsaládokra, melyek bonyolult kristályszerkezettel rendelkeznek, illetve olyan nem egyensúlyi folyamatokra, melyek a technológia számára kínálnak újabb lehetőségeket. E vizsgálatok során a számítógépes szimulációk mellett továbbfejlesztették a dinamikusklaszter-módszert, és javasoltak néhány fenomenologikus leírást is a jelenségek értelmezésére.

Az alkáli fulleridek egyensúlyi (szerkezeti) tulajdonságainak, illetve fázisdiagramjainak értelmezésére kidolgoztak egy olyan rácsgázmodellt, ami az alkáliionok Coulomb-kölcsönhatása mellett az árnyékolást is figyelembe veszi.

Az elektromos tér rendeződésre gyakorolt hatását vizsgálva megmutatták, hogy az egyen és váltakozó terek alkalmazásával a láncszerkezetű atomi elrendeződések iránya befolyásolható. Elméleti szempontból ennél is fontosabb, hogy a hosszú távú, saktáblaszerű elrendeződés kialakulását a külső elektromos tér képes megakadályozni. Sikerült bebizonyítani, hogy az önszerveződő polidomén állapotot a szemcsehatárok mentén kialakuló részecskeáramlás, illetve az ennek következtében megjelenő határfelületi instabilitás tarja fent.

A későbbiek során ezeket a kifejlesztett technikákat a csoport eredményesen adoptálta más modellek (sztochasztikus sejtautomaták, egyesülő-megsemmisülő bolyongás, térbeli evolúciós játékelmélet, két hőmérsékletű rendszerek) és univerzális nem egyensúlyi fázisátmenetek vizsgálatára is, melyek ékesen bizonyítják a statisztikus fizika módszereinek eredményességét számos más területen is.

Hazai és nemzetközi kapcsolatok, oktatás

Az intézet számos külföldi és hazai társintézménnyel, illetve egyetemmel áll igen szoros és szakmailag gyümölcsöző kapcsolatban.

Nemzetközi projektekből partnerek voltak:

Techn. Univ., Helsinki; CNRS, Párizs; Fraunhofer Institut für Integrierte Schaltungen, Erlangen, Németország; Semilab Rt., Budapest; CSNSM Orsay, Franciaország; Université, Paris 7, Groupe de Physique de Solides, CNRS, Franciaország; SOPRA SA., Franciaország; CE Saclay, Franciaország; Techn. Univ., Bratislava, Szlovákia; Inst. Mol. Phys., Poznań, Lengyelország, EAI, Dubna, Oroszország; Protetim, Hódmezővásárhely; IMEC, Leuven, Belgium; Masaryk Univ., Brno, Csehország; ELEKTROKARBON, Topolcany, Szlovákia.

Közös kutatások folytak:

Pécsi JPTE Fizika Tanszék; MTA KKKI; MTA MFKI; MTA KFKI RMKI; HIETE II. Sz. Belklinika; Csongrád M. Önk. Mellkasi Betegségek Szakkórháza, Deszk; Univ. Parma, Dept. Biomeasurement, Olaszország; Univ. Utah, CVRTI, Salt Lake City, USA; Free University, Brüsszel; Univ. of Bath, UK; BME Polimer és Textil Tanszék, Elm. Villamosságtan Tanszék; Zfk, Rossendorf, Németország; Fraunhofer Institut für Integrierte Schaltungen, Erlangen, Németország; Inst. Galileo Ferraris, Torino; Techn. Univ., Wien; CSTA Fizikai Intézet, Prága; SZTA Fizikai Intézet, Pozsony; Kísérleti Fizikai Intézet, Kassa; Safárik Tud. Egy., Kassa; George Washington Univ., Washington; LTA Fizikai Intézet, Varsó; Varsói Tud. Egy. Bialystoki Tagozata; Tokyo Univ., Tokio; Szilárdtestfizikai Intézet, Róma; IOFAN, Moszkva; Pennsylvania State University, USA; Aristoteles Univ., Thessaloniki; MTA Kristályfizikai Kutatólaboratórium; ELTE TTK Fizikai Kémia Tanszék; Oxford University, UK; MTA IKI; Chalmers. Univ., Göteborg, Svédország; Twente Univ., Hollandia.

Ipari, üzleti jellegű kapcsolataik voltak (gyártást, fejlesztést végeztek számukra):

MMG AM, Budapest; WESZTA-T Ipari és Kereskedelmi Kft., Budapest; Interbip Rt., Budapest; Furukawa Institute of Electronics, Japán; RMKI; Uzsoki Úti Kórház, Budapest; General Electric, USA; Protetim Kft., Hódmezővásár-

hely; BAYATI, Budapest; DOTE III. Belklinika, Debrecen; MEMC Novara, Olaszország; MEMC St. Peters, USA.

Egyéb kapcsolataik voltak:

IIT Madras, IIT Bangalore, ISCS Calcutta, IIT és ISP Delhi, India; Grazi Egyetem Biomérnöki Intézete.

Az intézet munkatársai rendszeres oktatási tevékenységet végeztek:

BME Elektronikus Eszközök Tsz., Anyagtechnológia Tsz., Fizikai Intézet BME-KFKI Közös Tsz., Atomfizika Tsz., ELTE TTK Szilárdtestfizika Tsz., Veszprémi Egyetem Információs Rendszerek Tsz., Képfeldolgozás és Neuroszámítógépek Tsz., Kandó K. Műszaki Főiskola.

Az intézet kutatóinak munkáját több kitüntetéssel is elismerték. 1992-ben Japánban az Év Feltalálója címet Bársony István, az Akadémiai Ifjúsági Díjat Fried Miklós kapta. 1993-ban Széchenyi-díjban részesült Gyulai József, 1996-ban pedig Szigeti György-díjban Lohner Tivadar.

KÖZPONTI FIZIKAI KUTATÓINTÉZET

Részecske- és Magfizikai Kutatóintézet

Írta

Jéki László

MTA KFKI RÉSZECESKE- ÉS MAGFIZIKAI KUTATÓINTÉZET

Igazgató: Szegő Károly

1121 Budapest Konkoly-Thege u. 29/33.

Telefon: 395-9289, 392-2512, 392-2598

Fax: 395-9151

Postai cím: 1525 Budapest Pf. 49

E-mail: szego@rmki.kfki.hu

Honlap: <http://www.rmki.kfki.hu>

Tudományos Tanács. Elnöke: Zimányi József

Kutatók száma: 123

az akadémikusok száma: 1

a tudomány doktorainak és az MTA doktorainak száma: 24

a PhD-fokozattal rendelkezők száma: 60

a 35 év alatti kutatók száma: 34

TUDOMÁNYOS RÉSZLEGEK:

Magfizikai Főosztály: Magfizikai Osztály, Anyagtudományi Osztály, Szilárdtest- és Molekulaspektroszkópiái Osztály, Ionnyaláb Analitikai Osztály, Gyorsítók Osztálya, Egzotikus Atomok és Részecskék Osztálya.
Részecskefizikai Főosztály: Detektor Fejlesztési és Építési Osztály, Elektro-gyenge Kölcsönhatások Osztálya, Erős Kölcsönhatások Osztálya.
Kozmikus Fizikai Főosztály: Bolygó kutatási Osztály, Interplanetáris Kutatások Osztálya. Elméleti Fizikai Főosztály: Néhánytest Fizikai Osztály, Nehézion Fizikai Osztály, Matematikai Fizikai Osztály, Részecskefizikai Osztály. Technikai Főosztály: Műszerfejlesztési Osztály, Kivitelezési Osztály, Ellenőrző Berendezések Osztálya, Számítógép Fejlesztési Osztály, Program Fejlesztési Osztály. Számítógép Hálózati Központ: Hálózatüzemeltetési Osztály, Információs Rendszerek Osztálya, Beszéd- és Rehabilitációs Osztály. Plazmafizikai Főosztály: Lézer Spektroszkópiái Osztály, Plazma Alkalmazási Osztály, Tokamak Fizikai Osztály

Megalapítása és szervezete

A KFKI Részecske- és Magfizikai Kutatóintézet (KFKI RMKI) 1992. január 1-jétől az MTA önálló kutatóintézete. 1975-től ugyanezen a néven korlátozott önállósággal rendelkezett a kutatóközponti szervezetben működő Központi Fizikai Kutatóintézetben. A KFKI átalakulásakor az intézet létszáma, felépítése csak kissé változott: a megszűnt központi műszaki szervezettől átvette a rezgésdiagnosztikai csoportot. Szervezetileg az RMKI-hoz csatolták a csillebérci campus egészét kiszolgáló Számítógép-hálózati Központot is.

Az RMKI alapító okiratban rögzített feladatai: kísérleti és elméleti tudományos alap kutatás és műszaki fejlesztés a magfizika, részecskefizika, plazmafizika, űrfizika, anyagtudományok és a biofizika területén. Nagyberendezéseket, valamint a kutatást és a kapcsolatokat szolgáló számítógépes hálózatot üzemeltet. A KFKI-telephelyen kialakított megállapodásnak megfelelően felügyeli a telephelyi számítástechnikai hálózat üzemeltetését. Az RMKI az ISO 9001 minőségbiztosítási szabvány előírásainak megfelelően dolgozik.

Az intézet igazgatója Szegő Károly, a fizikai tudomány doktora, korábban, 1975-től az RMKI tudományos igazgatója volt. Általános igazgatóhelyettes Szőkefalvi-Nagy Zoltán, a fizikai tudomány doktora, aki 1990-től az elődintézet tudományos igazgatóhelyetteseként működött. 1993-ban alakították ki az azóta lényegében változatlan szervezeti felépítést:

- Elméleti Fizikai Főosztály (vezetője Tóth Kálmán).
- Kozmikus Fizikai Főosztály (Varga András, 1997-től Erdős Géza).
- Magfizikai Főosztály (Nagy Dénes Lajos).
- Plazmafizikai Főosztály (Bakos József, 1996-től Sörlei Zsuzsa).
- Részecskefizikai Főosztály (Vesztergombi György).
- Technikai Főosztály (Zalán Péter).
- Biofizikai Önálló Osztály (Érdi Péter).
- Számítógép-hálózati Központ (Zimányi Magda).
- Lokális Hálózati Önálló Osztály (Giese Piroska, 1999-től Földy Lajos).
- Internetalkalmazási Önálló Osztály (1999-től Giese Piroska).

Az akadémiai intézethálózat konszolidációja során az RMKI 1997-ben átvette az MSZKI egyik csoportját. Ugyancsak a konszolidáció következménye volt az MT-1 tokamak kutatási nagyberendezés végleges leállítása, a plazmafizikai kutatások átstrukturálása. 1999-ben Magyarország az EURATOM tagja lett, az RMKI aktívan részt vesz a Magyar-Euratom Fúziós Egyesülés keretében folyó európai szabályozott fúziós kutatásokban. A konszolidációt előkészítő felmérések szerint az RMKI az MTA második legeredményesebb intézete az élettelen természettudományok területén. A konszolidáció eredményeképp javult az intézet anyagi ellátottsága.

Mind szükségesebbé válik ugyanakkor a kutatási infrastruktúra megjavítása, a mai helyzet nehezíti az Európai Unió V. keretprogramjában való részvételt. A kísérleti technika fokozatos elavulása egyre nehezebbé teszi a nyugati pályázatokon való sikeres szereplést.

Nagyberendezések

Számítógéphálózat

A KFKI lokális hálózata az 1988–90. években épült ki mintegy 300 géppel, ez volt az országban az első nagyméretű Ethernet hálózat. 1990-ben megkezdődött a csatlakozás a nemzetközi hálózatokhoz, először a 15 ország laboratóriumait összekötő, nagy energiájú HEPnet hálózathoz. 1991–92-ben közvetlen bérelt vonalas összeköttetés létesült a KFKI és a CERN között, majd létrejött az Internet-csatlakozás. A központi szolgáltató gépeket, a telephelyi lokális hálózatot és a külső hálózati kapcsolatokat a Számítógép-hálózati Központ működteti.

1992-től jelentős előrelépés történt a telephely számítástechnikai infrastruktúrájában. Az *Emberi erőforrások fejlesztése világbanki támogatással* című, az Információs Infrastruktúra-fejlesztési Program által kiírt pályázaton elnyert támogatással teljesen felújították és részben bővítették is a telephelyi hálózatot. Optikai kábelezés váltotta fel az 1980-as években kiépített, újabb épületeket csatlakoztattak a hálózathoz. Az intézetek új, központi szervergépet szereztek be (Sun SPARCCenter 2000). A szerveren számos szolgáltatást biztosítanak. A korábbi gopher szolgáltatást felváltotta a web, news-szolgáltatást működtetnek, jelentős terjedelmű az anonymous ftp (file transfer) szolgáltatás, mely fontos külföldi ftp-szolgáltatások magyarországi tükörszervere. Számos levelezőlistát működtetnek, közte a FIZINFO-t, a hazai fizikusok kommunikációs fórumát. A telephelyi számítógép-felhasználók mintegy fele a szolgáltatásokat otthonról, modemen keresztül is használja. A Számítógép-hálózati Központ szerezte be és működteti a könyvtár számára az ALEPH könyvtári rendszert, melyen az on-line elérhető katalógus alapul.

Részecskegyorsítók

A KFKI-ban már 1951-ben megkezdték az elsősorban magfizikai célokat szolgáló részecskegyorsítók építését. A mai Van de Graaff-generátor elődje, az AG-4 generátor 1961-től működött, 1964-ben telepítették át EG-2 néven mai helyére, 1968–70 között jelentősen átépítették és modernizálták. A magfizikai alapkutató-sok mellett fokozatosan előtérbe kerültek az alkalmazott magfizikai témák, anyagtudományi, biofizikai vizsgálatokhoz használták a gyorsítós analitikai technikákat (Rutherford-visszaszórás, channelling, PIXE, magreakció-analitika). 1991-ben újabb rekonstrukció kezdődött, 1993 őszén indultak újra a fizikai kísérletek. Az elmúlt években évente 1500–2500 órában folytak mérések. 0,5–5 megavolt gyorsítófeszültség-tartományban protonokat, deuteronokat, alfa-részecskéket és nitrogénionokat gyorsítottak.

1985-ben készült el a NIK nehézion-gyorsító berendezés. A NIK-et 1997-ben összekapcsolták a Van de Graaff-generátorral, így zárt ciklusban lehet vizsgálni az implanterben előállított anyag minőségét, tulajdonságait. Kevés hasonló, *in situ* méréseket lehetővé tevő rendszer működik a világon. A NIK gyorsítófeszültsége 100–500 kilovolt tartományban változtatható, elvileg a hidrogén és a xenon közé eső ionok gyorsítására alkalmazható, a fizikai kísérletekhez elsősorban nemesgáz- és fémionokat szolgáltatnak. Nagyenergiájú implantációt a Van de Graaff-generátorral végeznek.

Tokamak

1979. júniusban avatták fel a plazmafizikai kutatás céljaira szolgáló tokamak típusú kísérleti berendezést, melynek fő részeit a moszkvai Kurcsatov Atomenergia-intézetben és a leningrádi Jefremov Intézetben készítették. A berendezést a nyolcvanas évek második felében jelentősen modernizálták. A külföldi partnerek részvételével folyt plazmafizikai vizsgálatok 1998. júniusban zárultak, ekkor az MTA Konzolidációs Bizottsága határozatának megfelelően megkezdődött és 1999. májusra befejeződött a berendezés lebontása.

Tudományos kutatások

Az önálló RMKI kutatási témái szerves folytatásai a KFKI-ban végzett vizsgálatoknak, melyekről az Olvasó e füzet más helyén talál összefoglalót, itt csak címszavakban utalunk az előzményekre.

A kutatások jelentős része, elsősorban a kísérleti részecskefizika és az űrfizika a „big science” körébe tartozik. Meghatározó a nemzetközi együttműködés, a költségek megosztása. Sok ország kutatói dolgoznak együtt hosszú távú programokon. Részecskegyorsítók és részecske-detektor-rendszerek építése, egy űrmisszió előkészítése évtizedes feladat, a mérési adatok gyűjtése és feldolgozása gyakran egy újabb évtized. A jelen írásban csak az elmúlt néhány évet tekintjük át, ezért a hosszú kutatási ciklusból csak kis részek esnek az írás időhatárai közé.

Nagyenergiájú kísérleti részecske- és nehézion-fizika

A kísérleti részecskefizikai kutatások a KFKI kozmikus sugárzási kutatásaiból nőttek ki. Magyarország alapítója tagja volt 1956-ban a dubnai Egyesített Atomkutató Intézetnek, később a dubnai kutatóközponton keresztül nyílt lehetőség szerpuhovi és genfi kutatásokra is. A genfi CERN nemzetközi kutatóközpontnak Magyarország 1992-ben lett teljes jogú tagja.

A CERN-ben az RMKI aktív résztvevője az NA49 kísérletnek. Ionizált ólom atommagokat ütköztetnek ólom céltárgyra, a kísérletekben az anyag ötödik halmazállapotát, a természetben az ősrobbanás után létezett kvark-gluon plazmát állítják elő. Ma ebben a kísérletben koncentrálnak a legnagyobb energiát egyetlen részecskére. A detektorrendszer egyik fontos részét, a repülési idő-mérő falat az RMKI munkatársai tervezték, építették és helyezték üzembe. A BUDAPEST fal (BW) spektrométer 1995 óta sikeresen működik. A BW adataiból következtetéseket lehet levonni a kvark-gluon plazma méretére vonatkozóan. Kimutatták, hogy ólom-ólom ütközéseknél a tömegközéppontban mintegy 30 protonból álló pozitív töltéskoncentráció lép fel.

A CERN-ben az L3 együttműködés keretében a Z események adatait elemezték, a Z az elektrogyenge kölcsönhatás közvetítő részecskéje. Az adatok megerősítették, hogy az elemi részecskecsaládok száma három. A részeredmények is jó egyezésben vannak az átfogó Standard Modell jóslataival. Az egyre nagyobb energiákon végzett mérések eddigi adatai nem igazolták sem szuperszimmetrikus részecskék jelenlétét, sem új részecskegenerációhoz tartozó instabil leptonok megjelenését. 1997-ben a LEP gyorsító, a világon először, 184 GeV tömegközépponti energián hozott létre elektron-pozitron ütközéseket.

A részecskefizika ma egyik legjobban igazolt elméletének, a Standard Modellnek még hiányzó része az elmélet által várt Higgs-bozonok kísérleti kimutatása. A CERN-ben az OPAL kísérletben alsó korlátot adtak meg a keresett részecske tömegére. A magyar kutatók az OPAL aldetektorának továbbfejlesztésében is részt vettek.

A CERN LEAR antiproton tárológyűrűjénél az antiprotonok lassulását és az antiprotonok héliumban megfigyelhető anomálishan hosszú élettartamú állapotait tanulmányozták.

Fontos feladatokat vállaltak a CERN-ben 2005-ben működésbe lépő Nagy Hadron-ütköztető (LHC) részecskegyorsító kísérleteinek az előkészítéséből. Részt vesznek az épülő mérőberendezések tervezésében és részegységeinek technikai kidolgozásában. Erőiket két készülő nagy kísérletre (ALICE, CMS) összpontosítják. Az új kísérletek a mai szintet meghaladó informatikai és detektor-technikai követelményeket igényelnek, az RMKI munkatársai az igen nagy sebességű és adatforgalmú hardver- és szoftverfeladatok megoldásán dolgoznak.

Kísérleti magfizika

A KFKI alapításakor indult, évtizedekig nagy volumenű magfizikai kutatások az 1980-as évektől az egyre nagyobb részecskeenergiák felé tolódtak el. A klasszikus magfizikai kutatások helyét a nagyenergiájú nehézion-fizikai és részecskefizikai kísérletek vették át.

Korrekt leírást adtak az erősen deformált könnyű atommagok tartományában megfigyelt anomális rugalmas szórásra. A hagyományos elméletek jóslataitól való jelentős eltérést mutattak ki a deuteron hullámfüggvényében, az adatokat a franciaországi Saclay-ban mérték.

Anyagtudomány és szilárdtestfizika – kísérleti magfizikai módszerekkel

A kutatások célja vékonyrétegek összetételének, hibaszerkezetének és mágneses szerkezetének tanulmányozása, kristályokban és implantált rendszerekben az atomok körüli lokális, elektromos és mágneses szerkezet és a dinamikus tulajdonságok meghatározása, az implantáció fizikai folyamatainak megismerése. A kutatások részben az RMKI Van de Graaff-iongyorsítójánál és nehézion-implanterénél, valamint Mössbauer- és pozitronannihilációs laboratóriumában, részben bel- és külföldi együttműködő partnerek eszközeinek, valamint nemzetközi nagyberendezéseknek igénybevételével folynak. Ez utóbbiak közül egyre nagyobb jelentőségre tesznek szert az ultranagyvákuum vékonyréteg-előállító berendezések, valamint a szinkrotron-sugárforrások.

Az ionimplantáció az „anyagmérnökség” ma már igen széles körben elterjedt eszköze, mellyel különböző anyagok felületének tulajdonságai előre tervezett módon megváltoztathatók. Nehézion-besugárzások esetében a hibák egy része

ütközési kaszkádban keletkezik. A kaszkádok kölcsönhatásának vizsgálatára molekulaionokat használtak. Megállapították, hogy a molekula- és atomos implantáció által keltett kristályhibák mennyisége közötti különbség a várakozással ellentétben nagyobb energiákon nem tűnik el, hanem ellentétes irányba fordul. Feltárták a jelenség magyarázatát is: az okot az ionok által keltett spontán visszakristályosodásban találták meg.

Roncsolt felületű szilíciummintákon tanulmányozták protonok csatornairányú fékeződését, kimutatták, hogy amorf anyagokban a fékeződés 30%-kal nő az egykristályban mért csatornairányú fékeződéshez képest. A fékeződés roncsolásfüggésére elméleti leírást is adtak.

Ionsugaras analitikai módszereket alkalmaztak porózus anyagok szerkezetének meghatározására. Felismerték, hogy porózus anyagok esetén az ion-visszaszórásban megjelenő rezonanciacsúcs szélessége rendkívül érzékenyen reagál a porózus szerkezetre. Ennek alapján porózus szilícium esetében megállapították, hogy az ionbombázás tömörödést okoz, mely alapvetően az atomok meglökésétől függ, és hogy így szilicidek ionimplantációs szintézise is megvalósítható.

Algoritmust dolgoztak ki ionsugaras analitikai módszerek energia- és mélységfelbontó képességének korrekt figyelembevételére, az eljárást multirétegszerkezetekre is általánosították.

Vékonyrétegek és multirétegek súroló beeséses gamma-szórási spektroszkópiájában elsőként mutatták meg, hogy szinkrotronok mellett néhány nm-es felbontással végezhető felületérzékeny mérések. Kidolgozták az új eljárás, a Mössbauer-reflektometria röntgenoptikai elméletét. Általános algoritmust adtak meg a Mössbauer-spektrumok rendkívül gyors kiszámítására. Az eljárás előreszórási és súroló beesési geometriában egyaránt alkalmas mind a hagyományos, mind a szinkrotronsugárzásos mérések kiértékelésére. Izotópperiodikus multirétegen elsőként figyelték meg szinkrotronsugárzás tiszta nukleáris reflexióját, és a fenti módszerrel Fe/Si multirétegek és néhány más vékonyréteg mágneses szerkezetét is meghatározták.

Felismerték, hogy a jövő mikroelektronikája egyik legfontosabb anyagának tartott Si/Ge rendszeren epitaxiális szilicidrétegek képződéséhez először egy Si buffer réteget kell növeszteni a kívánt szilicid rétegvastagságnak megfelelően. Egyes kobalttal adalékolt vas-szilicidekben meghatározták a beépített kobaltatomok helyzetét. Elsőként mutatták ki, hogy átmenetifém-szilicideknél a szilícium felületén az oxigén jelenléte nanoméretű fémrészecskék képződését okozza.

A pozitronannihilációs spektroszkópia a nukleáris szondás anyagszerkezeti vizsgálati módszerek egyik széleskörűen alkalmazható eljárásává érett. A hosszabb élettartamú ortopozitronium szétsugárzása 3-gamma annihiláció, minden más pozitron- vagy pozitronium-bomlásfolyamat 2-gamma annihiláció. Kimu-

tatták, hogy a 3-gamma annihiláció észlelésére optimalizált, az RMKI-ban kidolgozott mérési módszer igen érzékeny az ortopozitronium járulékra. Ez lehetőségét nyújt a mikroporozus szerkezetek belső felületeinek vizsgálatára, a módszerrel zeolitok nanocsatornáiról nyernek információt.

Elméleti fizika

Az elméleti fizikai kutatások az általános relativitáselmélet és asztrofizika, a magfizika, a részecskefizika és a két utóbbi határterületének számító relativisztikus nehézion-ütközések fizikája kérdéseinek megoldására irányulnak.

Az általános relativitáselmélet igen fontos, a tapasztalat által eddig nem igazolt jóslata a gravitációs hullámok létezése. Az előkészületben levő nagy nemzetközi kísérletek számára fontos információ, hogy sikerült kiszámítani egy forgó fekete lyuk körül keringő kozmikus test gravitációs sugárzása által elvitt energiát és impulzusmomentumot. Új, egzakt megoldást adtak meg az erre vonatkozó Einstein–Maxwell egyenletekre. Általános matematikai algoritmust közöltek a relativitáselmélet diszkrét Regge-féle modelljeinek kiszámítására.

Az erős kölcsönhatások elméletének vetélytárs nélküli jelöltje a kvantum-szindinamika. A hatékony számítási módszerek eredményeinek ellenőrzéséhez hiányzó egzakt adatokat realiztikus és megoldható elméleti modellek szolgáltatják. Jelentős előrehaladást értek el a kvarkbezárás megértésében, magyarázatában (Gribov-modell). Jóslatot adtak meg a keresett Higgs-részecske tömegére. Kísérleti vizsgálatokhoz kapcsolódva keresik a részecskefizika sikeres Standard Modelljének korlátait.

Az ún. alacsony dimenziós modellek fontos „laboratóriumi” vizsgálati terepül szolgálnak a „reális” négydimenziós kvantumtérelméletek részleteinek megértéséhez. A kétdimenziós szigma-modellben elért eredmények a kvantum-szindinamikában diszkrét tér-idő közelítést használó eljárások, a kétdimenziós konform-térelméletek szimmetriatulajdonságaival kapcsolatos eredmények az összes alapvető kölcsönhatást – reménység szerint – egyesítő húrelmélet szempontjából fontosak.

Az elméleti várakozások szerint a nagyenergiás nehézion-ütközésekben egy kritikus energiasűrűség felett különleges halmazállapot, kvarkanyag jön létre. Olyan modellt dolgoztak ki, amely egyfelől tud az egész jelenségkör elméleti hátteréről szolgáló kvantumszindinamika alapvető fontosságú következményéről, a kvarkbezárásról, másfelől kiértékelhető jóslatot tesz a létrejövő hadronanyag összetételéről. A modell számított eredményei összhangban vannak a mérési eredményekkel, ez arra utal, hogy a CERN-ben az ólom-ólom ütközés-

sekben esetleg már sikerült kvarkanyagot létrehozni. A nehézion-ütközések végállapotában igen sok pion jelenik meg. Olyan különleges, koherens sokpion-állapot megvalósulásának lehetőségét mutatták ki, amelyet analógiák alapján „pion-lézer” névvel lehet jellemezni.

Az alacsonyabb energiákon lezajló nukleáris folyamatok vizsgálata során a magreakciók mechanizmusa és a kvantitatív leírást is lehetővé tevő realiztikus modellek megismerése a feladat. A nukleáris folyamatok kvantummechanikai tárgyalására korábban kidolgozott speciális módszerüket sokcsatornás esetre általánosították. Kimutatták, hogy az 1936-ban deutronmag-reakciók leírására megalkotott Philips–Oppenheimer modell szerinti folyamat valószínűsége olyan kicsi, hogy a gyakorlati megfigyelhetőség szempontjából nemlétezőnek tekinthető.

Űrfizika

Az űrfizikai kutatások is az 1950-es évek elején indult kozmikus sugárzási kutatásokból nőttek ki. 1966-tól a szocialista országok Interkozmosz együttműködése biztosította a lehetőségeket, majd fokozatosan kiépültek a kapcsolatok és az együttműködés jogi keretei az Európai Űrügynökséggel (ESA) és az amerikai NASA-val is. Az RMKI űrkutatóinak eddigi legnagyobb vállalkozása és egyben legnagyobb sikere a Halley-üstökös tanulmányozására indított VEGA űrszondák megépítésében és eredményeinek értelmezésében való részvétel volt.

A kutatás fő irányai ma a Föld magnetoszférájának, a Nap és a Föld fizikai kapcsolatainak, a napszél és a nem mágneses égitestek, valamint a napszél és a Jupiter, illetve Szaturnusz bolygó kölcsönhatásának vizsgálata. Egyaránt részt vesznek a kutatások elvégzéséhez szükséges kísérleti eszközök létrehozásában (elsősorban fedélzeti digitális adatgyűjtő eszközök és földi ellenőrző rendszerek készítésében) és a kutatási eredmények elméleti értelmezésében.

A Nap kutatására 1995. december 2-án felbocsátott SOHO űrszondán a részben az RMKI-ban épített LION detektor az energikus részecskéket méri. Az Ullysses űrszonda adatai alapján a helioszféra mágneses terét vizsgálták. Ez volt az első űrszonda, mely kilépett a bolygók keringési síkjából, az ekliptikából, és így lehetővé vált a Nap sarki tartományainak vizsgálata is. Meglepetést keltett, hogy a helioszférikus mágneses tér erőssége a pólusok felé haladva, minden korábbi várakozással ellentétben, nem növekszik. Jelentős módosításra szorulnak tehát a napkoronát leíró modellek. Meghatározták a kétféle mágneses polaritású tartományt elválasztó hullámos áramlepel alakját.

A Föld környezetének vizsgálatára indult az ESA CLUSTER elnevezésű programja, melynek keretében 4 azonos műszerezettségű szonda egyidejűleg, a tér 4

különböző pontján gyűjt adatokat – hasonlóra még nem volt példa az űrkutatásban. A CLUSTER-holdak fedézetére az RMKI több műszer építésében vállalt szerepet, a fellövés 1996. június 4-én a rakéta meghibásodása miatt kudarcba fulladt. Az újraépített CLUSTER-szondákat 2000 nyarán sikeresen a tervezett pályára állították. A földi magnetoszféra kozmikus eredetű porszemcsékre gyakorolt hatásának vizsgálatával kimutatták, hogy a magnetoszférának sok paramétertől függő, „árnyékoló” hatása van.

A napszél- és a bolygóeredetű plazmák kölcsönhatását vizsgálva a Vénusz esetében megállapították, hogy a kölcsönhatási tartományban jelentős energia- és impulzuscsere történik a kétféle eredetű plazma között. A Vénusz és a Mars bolygók ionoszférája napszéllel való kölcsönhatásának modellezése nyomán új típusú ütközésmentes csatolási mechanizmust találtak az ionszféra és a napszél-plazma között.

A Mars magnetoszférája és a napszél közötti kölcsönhatást az 1989-ben a Fobosz programban gyűjtött plazmaadatok alapján vizsgálták. Megállapították, hogy a kölcsönhatás folyamán a Mars körül kialakuló fejhullám szerkezete hasonlít a Földéhez és a Vénuszéhoz. Tisztázták, hogy a sokfajta, látszólag különálló egyedi határfelület egy összetett plazmaréteg megnyilvánulása, ez a Mars „nappali mellénye”. Magyarázatot találtak a napszél sebességének a fejhullám előtti térségben való csökkenésére. Három műszert építettek az orosz Mars-96 űrszonda fedézetére, de a szondát nem sikerült a tervezett pályára állítani, megsemmisült.

1997. október 15-én a NASA sikeresen fellőtte a 17 ország, köztük Magyarország együttműködésében készített Cassini űrszondát. Ez a tudományos célú űrkutatás eddigi legnagyobb szabású vállalkozása, célja 2004 és 2008 között a Szaturnusz bolygó környezetének vizsgálata és leszállóegység eljuttatása a Titán holdra. Az RMKI munkatársai a mágneses térerősséget és a plazmarészecskék eloszlását mérő műszerek létrehozásában vettek részt a földi fejlesztést és a kalibrálást támogató berendezések elkészítésével, a NASA díjjal ismerte el tevékenységüket. A folyamatos adatgyűjtés 2000-ben, a Jupiter megközelítése idején indul. Sikeres modellt dolgoztak ki a Szaturnusz E gyűrűje térbeli struktúrájának és optikai mélységeloszlásának magyarázatára. Ez a legnagyobb kiterjedésű, 6 holdat is magában foglaló porgyűrű a Naprendszerben, a Cassini a tervek szerint többször áthalad majd rajta, és méri a poreloszlást.

Modellszámításokat végeztek a Naptól távoli üstökösök felszínének viselkedéséről, kimutatták, hogy a felszínről kilökött, néhány mikron méretű porszemcsék feltöltődnek, és csillapított rezgőmozgást végeznek. A számítások az ESA Rosetta űrmissziójának előkészítését szolgálták. A 2003-ban indítandó Rosetta szonda leszállóegysége leereszkedik majd a Wirtanen-üstökösre. E programban hardverépítéssel is részt vesz az RMKI.

Plazmafizika

„Lézersugárzás által hajtott rakéta” elvén működő mikrorészecske-injektáló eljárást fejlesztettek ki. Ezt a módszert a budapesti, jülichi és garchingi tokamakoknál, illetve stellaratornál alkalmazták: 10 mikrométer nagyságrendbe eső mikrorészecskéket injektáltak. Alumínium mikropelleket a tokamakba löve, megfigyelték az azok párolgásakor tapasztalható fluktuációkat, meghatározták az anyag körül kialakuló felhő részecskéinek a plazma paramétereitől függő térbeli eloszlását és sugárzását. Megfigyelték az ionizált felhőnek a mágneses erővonalakra merőleges elmozdulását.

Garchingi kutatókkal együttműködve vizsgálták a röntgensugárzással fűtött anyagok röntgenreemisszióját, és megállapították, hogy az a rendszámmal monoton nő. Az inerciális (mikrorobbantásos) fúziós kapszulát tehát alacsony rendszámú anyaggal kell bevonni, hogy minél kisebb legyen az újrakibocsátás, több energia fordítódjék az összenyomásra.

Módszert dolgoztak ki az atomok extrém mély hőmérsékletre való hűtésére: frekvenciamodulált fényimpulzusokkal a folytonos fénynél gyorsabban és hatásosabban végezhető hűtés. A módszer olyan esetekben is alkalmazható, pl. a hosszú élettartamú (metastabil) állapotú atomok esetében, amikor az eredeti megoldás nem. Az alapállapotba való gyors visszatérésre a Dicke-féle szuper-sugárzást használják, az éppen bomló atom gyorsítja a szomszédságában levő atomok bomlását. Megmutatták, hogy időben változó frekvenciájú lézerimpulzusokkal való kölcsönhatással megvalósítható az atomnyaláb fékezése, eltérítése, kettéosztása, a spontán emisszió sebességétől függetlenül. A módszer kísérleti megvalósításához rubídium atomsugárzó berendezést és megfelelő hangolható lézerrendszert hoztak létre. A folyamat végére az atomok szobahőmérsékletretről egy kelvinnél alacsonyabb hőmérsékletnek megfelelő sebességre lassultak le.

Lézerrel keltett plazmából a lézersugárzáshoz hasonló tulajdonságú, magasabb frekvenciájú sugárzás léphet ki. Femtoszekundumos, igen nagy intenzitású ultraibolya lézerimpulzusokat használva, a vákuum ultraibolya és extrém vákuum ultraibolya hullámhossz-tartományban sugárzó koherens fényforrást állítottak elő. A szegedi JATE kutatóival együttműködve olyan módszert dolgoztak ki, mellyel befolyásolni lehet, hogy a fényforrás a keltő lézer hányadik harmonikusán sugározzék jelentősebben. Ultrarövid impulzusú lézerrel szilárdtest-minta felületéről ablációval leválasztott anyag utóionizációjával kvantitatíven meghatározták a minta összetételét.

Biofizika

Ionnyaláb-analitikai módszerek és biokémiai elválasztási eljárások kombinálásával tárják fel fehérjemintákban az esszenciális és toxikus fémek eloszlását, kötődését. A korábban kifejlesztett, a világon egyedülálló PIXE-PAGE elektroforetogram-kiértékelő eljárás alkalmazhatóságát kiterjesztették izoelektromos fókuszálás, illetve cellulózacetát-alapú elektroforetogramok vizsgálatára is. Kidolgozták a fehérje mennyiségének egyidejű mérési lehetőségét is, alkalmas magreakciókból származó gamma-sugárzás detektálásával. Az atmoszférára kihozott „külső protonnyalábos” elrendezéssel műtárgyakat, festett faszobrokat analizáltak roncsolásmentesen, múzeumi restaurátorokkal együttműködve.

Idegrendszeri modellezési munkáik abba az irányba haladtak, hogy realiztikus dinamikus modellekkel összekapcsolják a „mikroszkopikus” egysejt-viselkedést a „makroszkopikus”, globális agyműködés jellemzőivel. A kutatások mind az egészséges idegrendszeri tevékenységet, mind bizonyos patológikus működési mechanizmusainak megértését célozták. Így a nagy sejtpopulációk szimulációjára kidolgozott statisztikus modell az agykérgi ritmogenézis, illetve az aktivitások téridőbeli szimulációjára is alkalmas. A modellt felhasználták a hippocampalis epileptikus kisülések generálási és szabályozási mechanizmusainak kutatására. A szaglógumó korábban vizsgált determinisztikus modelljét úgy fejlesztették ki, hogy az a zajok hatásának figyelembevételére is alkalmas lett. Megállapították, hogy a rendszerek kimenetét akcióspotenciálok sorozatának idealizálva, meghatározható egy optimális zajszint, amely mellett a sejtmodell a periodikus vezérlés frekvenciájához leginkább hasonlító tüzeléssorozatot produkál. Megbízható kísérleti adatokra építve modellt állítottak fel a dopamin-rendszerrel kapcsolatos neuro-immun kölcsönhatás leírására.

Az intézet helye a hazai és nemzetközi tudományos életben

Az intézet élő, érdemi tudományos kapcsolatokat tart fenn a csillebérci telephely többi kutatóintézetével. A másutt lévő akadémiai kutatóhelyekkel való együttműködések közül kiemelkednek a több évtizedes múltra visszatekintő közös munkák a debreceni Atommagkutató Intézettel (ATOMKI) és a Szegedi Biológiai Központtal. A korábbi magfizikai kutatások után kísérleti részecskefizikai együttműködés alakult ki az ATOMKI-val. Az úrfizikában a Csillagászati Kutatóintézet és a soproni Geodéziai és Geofizikai Kutatóintézet fontos partner.

Az intézet egyetemi kapcsolatai is szorosak. Az ELTE Kihelyezett Oktatási Laboratóriumában sikeresen folynak laboratóriumi gyakorlatok részecskefizikai, nukleáris anyagtudományi, plazmafizikai és biofizikai témákban. 1998-ban 25

munkatárs tartott előadásokat, gyakorlatokat az ELTE, a BME, a Janus Pannoniusz Tudományegyetem, a József Attila Tudományegyetem, a Kossuth Lajos Tudományegyetem és az Állatorvos-tudományi Egyetem tanszékein. Évente 10-15 hallgató készíti diplomamunkáját az intézetben, 20-25 fiatal dolgozik PhD-disszertációján az intézet munkatársainak szakmai irányításával.

Közös OTKA-téma keretében folynak a kutatások az ELTE Magkémiai, Elméleti Fizikai, a KLTE Fizikai, Fizikai Kémiai Tanszékeivel, de intézményesített a közös kutatómunka az Agrártudományi Egyetem Számítástechnikai Tanszékével is. Az intézet munkatársai aktívan részt vesznek az ELTE Természet-tudományi Kari Habilitációs Bizottság és a Fizikai Szakterületi Habilitációs Bizottság, valamint a Professzori Tanács munkájában.

Az RMKI intenzív nemzetközi kapcsolatai már az 1980-as években kiépültek. A legtöbb kutatási téma a „big science” kategóriájába tartozik, ahol a nemzetközi együttműködések meghatározó jelentőségűek. Az 1990-es években megkönnyítette és kibővítette az együttműködési lehetőségeket, hogy Magyarország a CERN tagállama lett, országos szinten váltak intézménnyé az úrkutatói kapcsolatok az európai és az amerikai őrügynökséggel. Eredményes a kapcsolat számos nemzetközi és nemzeti intézménnyel (NSF, DFG, CNRS, CNR, JSPS, Max Planck intézetek, GPS, ESRF, ILL, EAI Dubna stb.) és egy sor egyetemmel (Leuven, Hamburg, Helsinki, Mainz, Lausanne, Princeton, Columbia Egyetem, Kaliforniai Egyetem, Berkeley, Heidelberg, Frankfurt, Giessen, Lund, Bécs, Varsó, Kiotó, Oszaka és mások). A nemzetközi trendekkel összhangban a kísérleti munkában egyre nagyobb szerepet kapnak a külföldi, elsősorban európai nagyberendezések (szinkrotronok, iongyorsítók, neutronforrások, tokamakok) mellett végzett néhány napos mérések. Az RMKI munkatársai aktív résztvevői a nemzetközi tudományos közéletnek, számos nemzetközi tudományos szervezet, bizottság tisztségviselői vagy tagjai.

Az RMKI kutatóinak munkáját számos hazai és külföldi díjjal és kitüntetéssel is elismerték. Így többek között 1992-ben Akadémiai Díjat Vesztergombi György, Akadémiai Ifjúsági Díjat Hajdú Csaba, 1993-ban Akadémiai Ifjúsági Díjat Lévai Péter kapott. 1994-ben a COSPAR (Committee on Space Research) Distinguished Service Medal díját és az MTA Eötvös József-koszorúját Somogyi Antal, az Akadémiai Ifjúsági Díjat Kocsis Gábor, Veres Gábor és Zoletnik Sándor vehette át. 1996-ban az E. R. Caianiello Award for Biocybernetics díjat Aradi Ildikó és Érdi Péter, a Fulbright Foundation (USA) Advanced Research Award díjat Csörgő Tamás kapta. 1997-ben Akadémiai Díjban Bíró Tamás Sándor, Akadémiai Ifjúsági Díjban pedig Csörgő Tamás részesült. 1998-ban Földy Lajos, Gladkih Irina (AEKI), Nagy László, Szalai Sándor, Szegő Károly vehette át az USA National Aeronautics and Space Administration NASA-díját.

★

Az önálló kutatóintézetté történő átalakulás nagyobb zökkenők nélkül ment végbe. A fő kutatási irányok nem változtak, az akadémiai intézethálózat konszolidációja kisebb átstrukturálódással járt.

A közeli években az űrmissziók (Cassini, CLUSTER, Rosetta) adatainak feldolgozásától és a CERN-ben folyó, a kvark-gluon plazma megismerését célzó NA49 kísérlettől várható jelentős eredmény. Mindkét témakörben az RMKI munkatársai az eddigiekben eredményesen dolgoztak a kísérleteket előkészítő elméleti modelleken és egyes kísérleti részegységek megépítésén.

KÖZPONTI FIZIKAI KUTATÓINTÉZET

Szilárdtestfizikai és Optikai Kutatóintézet

Szilárdtestfizikai Kutatóintézet,
1992–98 (Tompa Kálmán)

Kristályfizikai Kutatólaboratórium,
1976–98 (Janszky József)

MTA SZILÁRDTESTFIZIKAI ÉS OPTIKAI KUTATÓINTÉZET

Igazgató: Kollár János

1121 Budapest Konkoly Thege Miklós út 29–33.

Telefon: 392-2212

Fax: 392-2215

Postai cím: 1525 Budapest Pf. 49

E-mail: szfki@szfki.hu

Honlap: <http://www.kfki.hu/~szfkihp/>

Doktorok Tanácsa. Vezetője: Sólyom Jenő

Kutatók száma: 107

az akadémikusok száma: 4

a tudomány doktorainak és az MTA doktorainak száma: 28

a kandidátusok száma: 34

a PhD-fokozattal rendelkezők száma: 21

a 35 év alatti kutatók száma: 31

PERIODIKÁK:

Annual Report (évente)

TUDOMÁNYOS RÉSZLEGEK:

Elméleti Szilárdtestfizikai Osztály, Kísérleti Szilárdtestfizikai Osztály,
Folyadékkristály Osztály, Fémkutatási Osztály, Neutronfizikai Osztály,
Neutronspektroszkópiai Osztály, Lézerfizikai Osztály,
Lézeralkalmazási Osztály; Kristályfizikai Főosztály;
Kristályfizikai Osztály, Kristálytechnológiai Osztály,
Nemlineáris és Kvantumoptikai Osztály

Az intézet a MTA 1998-as kutatóhálózati konszolidációjának eredményeképpen a KFKI Szilárdtestfizikai Kutatóintézete és a TTKL Kristályfizikai Kutatólaboratórium egyesüléséből jött létre.

Az intézet igazgatója Kollár János, a fizikai tudomány doktora, igazgató-helyettese Buka Ágnes, a fizikai tudomány doktora. Létszáma 159, ebből 107 kutató.

Az intézet történetét a két elődintézmény múltjának felvázolásával ismertetjük.

Szilárdtestfizikai Kutatóintézet, 1992–98

Az MTA Szilárdtestfizikai Kutatóintézete (SZFKI) 1992. január 1-jével vált jogi értelemben önálló intézménnyé. Az elmúlt néhány év történéseit történelemmé rendezni legfeljebb befejezett jelenben, nem pedig múlt időben lehet. Az események értékelése pedig ennél hosszabb távot igényel. Így a kutatást meghatározó feltételek megemlítését, a minősített kutatók felsorolását és az eredmények egy részének a bemutatását tekintettük feladatunknak.

Előzmények

A szilárdtestkutatások még akkor kezdődtek, az 1950-es évek közepén, amikor még senki nem beszélt szilárdtestek vagy kondenzált anyagok kutatásáról. Az első publikált eredmények a KFKI Ferromágneses Osztályán a mágneses anizotrópia kvantumelméletéről, a permeabilitás mikrohullámú viselkedésének

méréséről, a kobalt szuszceptibilitásának tanulmányozásáról és homogén mágneses tereket előállító, valamint mágneses jellemzőket mérő eszközök tervezéséről és létrehozásáról tanúskodnak. A hajdan volt Neutronfizikai Osztály a szilárd anyag sugársérülései tanulmányozásának kezdeteit, a neutrondiffrakciós kultúra indítását, az Elektromágneses Hullámok Osztálya pedig az elektronspinrezonancia (ESR) és a nukleáris mágneses rezonancia (NMR) alapjait ültették a majdani szilárdtestkutatás témái, illetve módszerei közé.

1959 közepén alakult meg a *Szilárdtestfizikai Laboratórium* mint kutatási egység, Hoffmann Tibor vezetésével, Pál Lénárd igazgatóhelyettes közvetlen felügyelete alatt. A laboratórium szervezeti egységként 1969. december végéig létezett, előbb Szabó Pál, majd 1968 januárjától Tompa Kálmán vezetése alatt. Inzuló létszáma 30 fő körül volt.

1970. január elejétől 1974. június végéig a *Szilárdtestfizikai Főosztály* adott keretet a kondenzált rendszerek kutatásának, főosztályvezető Tompa Kálmán, helyettese Konczos Géza. A tevékenység Pál Lénárd igazgatóhelyettes, majd főigazgató közvetlen irányítása alá tartozott. A létszám a periódus végén megközelítően 120 fő volt. Ekkor alakultak ki a szilárdtest-elméleti kutatásoknak, a röntgen és neutronsórás, a mágneses rezonancia, a transzport és mágneses jellemzők mérésének, a kutatáshoz szükséges anyagminták készítésének, az alacsony hőmérsékletű technikájának az alapjai, továbbá a kísérleti munkához nélkülözhetetlen elektronikus, üvegtechnikai és gépészeti háttér.

Az 1974-ig terjedő periódusban az MTA tagja lett Pál Lénárd (1973), a fizikai tudomány doktora fokozatot Kroó Norbert (1969), Siklós Tivadar (1973), Tompa Kálmán (1971), Zawadowski Alfréd (1969), a kandidátusi fokozatot pedig 8 fő nyerte el.

Hét kötetet töltenek meg az intézet munkatársai által 1974-ig publikált idegen és magyar nyelvű munkák. 1968-ban, illetve 1971-ben már nemzetközi konferenciákat rendeztek a *Mágnességről*, illetve a *Híg ötvözetek elektromos és mágneses tulajdonságairól*. A periódus legtöbb kutatót megmozgató és legeredményesebb témái a mágneses szerkezetek és jelenségek, a fázisátalakulások, a híg ötvözetek és a szupravezetés néhány kérdése köré csoportosíthatók. További, ma is kutatott téma indítása fűződik e periódushoz, nevezetesen a folyadékkristálykutatás (1972).

1974 júliusától a szilárdtestkutatások útja leginkább egy változó közlekedési szabályú autópálya-csomópontra emlékeztet, mind a témáit, mind a céljait illetően. Ekkor jött létre a Magkémiai, az Optikai és Szilárdtestfizikai Főosztályok egybeolvasztásával a *Szilárdtest-kutatási Terület* (igazgatóhelyettes Vasvári Béla, általános helyettes Tompa Kálmán), ami 1975. május végéig élt, és 1975 júniusától 1981. március végéig *Szilárdtestkutató Intézetként (SZTKI)* működött. Igazga-

tója 1977 végéig Vasvári Béla, 1978 februárjától Krén Emil, helyettesük Tompa Kálmán. Az intézetnek öt főosztálya és egy önálló osztálya volt – Fizika I. (főosztályvezető Krén Emil, majd Zimmer György), Fizika II. (Kósa Somogyi István), Optikai Főosztály (Kroó Norbert), Kémiai Főosztály (Kiss István, majd Schiller Róbert), Technikai Főosztály (Balla János), Szilárdtestelméleti Osztály (osztályvezető Siklós Tivadar). A 360 fő körüli intézet szerteágazó tevékenysége és eredményei nem mutathatók be részletesen. Helyette a tevékenységet lényegesen befolyásoló tényezők közül azokat említjük, amelyek az SZFKI jelen helyzetének a kialakításához, valamint a ma is élő témák indításához vezettek.

A Szilárdtestkutatások Országos Főirány. A Minisztertanács 1012/1972. sz. rendeletével az Országos Távlati Tudományos Kutatási Terv részeként a Szilárdtestkutatásokat országos főiránnyá emelte. Az MTA Szilárdtestfizikai Komplex Bizottsága által készített, 1971 októberében kelt tanulmány szerint ekkor e területen megközelítően 450 kutató dolgozott, 18%-uk rendelkezett tudományos fokozattal, és alacsony szintű volt a technikus/mérnöki háttér. A főirány tevékenységi területei: a fémek és ötvözetek, a félvezetők (benne az ionimplantációs kutatások), a mágneses anyagok (benne a buboréktároló és huzalmemória kutatása/fejlesztése) és az optikai anyagok (benne az optikai tárolóanyagok) kutatása. A főirány 1985 végéig meghatározó tényezője volt a hazai és így a KFKI-ban folyó szilárdtestkutatásoknak. Ebben a periódusban kezdődtek olyan kutatások, mint az egykristálynövesztés (1972), a vékonyrétegek előállítása, a fémüvegek előállítása és vizsgálata (1976) stb.

Célprogramok. A memóriakutatások és ionimplantációs kutatás-fejlesztések célkitűzései ipari háttér nélküli, a kutatási oldalról kiinduló, egészen a mintapéldánygyártásig nyúló tevékenységsort jelentettek. Az SZTKI-ban a feladat lényegében a Fizika I. Főosztályra tartozott. A célprogramokat koordinátorok, egy átmeneti periódus után Krén Emil és Zimmer György, illetve Gyulai József vezették. Anyagi-beruházási ellátottságuk az OMFB támogatás következtében lényegesen jobb volt, mint a többi kutatásé.

A Csepel Művek Fémművel kötött kutatási szerződés azt az útkeresést testesítette meg, amely egy jól működő iparvállalat és a tudomány társadalmi hasznosulását komolyan gondoló, alapkutatásokat folytató intézet között létrejöhett. Időtartama 1967-től 1985 végéig tartott. A kérdésfelvetéseket – nevezetesen a lágymágneses anyagok, a nagy tisztaságú réz, az antimágneses ötvözetek, a fém-gáz rendszerek és végül a fémüvegek kutatását – a termelésfejlesztési igény és a kutatóintézeti szellemi-infrastrukturális lehetőségek összehangolása jellemezte.

A szerződéses kutatások kiterjedtek műszerek (pl. hőmérséklet-szabályozók, fázisérzékeny detektorok stb.) kis sorozatú előállítására és a lézerek gyakorlati alkalmazására.

A *Dubnai Egyesített Atomkutató Központtal* és a *Kurcsatov Intézettel* létrejött, valamint a KGST keretében megvalósult nemzetközi együttműködések jellemezték ezt a periódust.

Az *alap- és alkalmazott kutatások* különböző értékrendje és az így generálódó feszültségek végül is az SZTKI két intézetre való hasadásához vezettek. 1981. április 1-jén az SZTKI egyik utódintézeteként alakult meg a *KFKI Szilárdtestfizikai Kutatóintézete* (SZFKI), és a KFKI intézeteként 1991. december 31-ig működött, igazgatója Kroó Norbert, igazgatóhelyettese 1986. március végéig Tompa Kálmán, 1990-ig Cser László, majd Kollár János. A 160 fős létszám az előző Szilárdtestelméleti Osztályából és részben az SZTKI többi, már felsorolt főosztályának alapkutató részlegeiből származik.

Erre a periódusra esik a *pályázati rendszer indulása*. Az SZFKI kutatói számos OTKA-pályázatot nyertek el, közöttük olyan kollektív célokkal, amelyek több intézet és egyetem közös munkájával valósultak meg.

A *Budapesti Anyagtudományi Műszerközpont* (BAM) egy sikeres OTKA-pályázat elnyerésével a KFKI gesztorálásával az MTA IKI, MTA KKI, MTA MFKI, MTA TTKL, BME és ELTE együttműködésében jön létre közhasznú szakterületi műszerközpontként. A 160 kutató és 80 fő segéderő kutatásai mintegy 1600 nemzetközi publikációt eredményeztek, melyekre több mint 5000 hivatkozás érkezett. A műszerközpont az összehangolt beruházást az eszközök nem kisajátított felhasználását és a kutatólaboratóriumok oktatóműhelyekként való működtetését tette lehetővé a Komplex Bizottság 1990-es értékelése szerint. A pályázat keretében beszerzett eszközök ma is számottevő elemei az eszközparknak.

A periódusban indított új témák: a magashőmérsékleti szupravezetők, a fullerének, az alacsonydimenziós rendszerek, a nem egyensúlyi folyamatok és instabilitások vizsgálata.

A közelmúlt

A *KFKI Szilárdtestfizikai Kutatóintézet* (SZFKI) 1992. január 1-jével vált önállóvá. Igazgatója 1998 szeptemberéig Kroó Norbert, helyettese Kollár János, azóta igazgató Kollár János, helyettese pedig Buka Ágnes.

Az *intézet fő feladatai* a kutatóhálózat konszolidációjának megfelelően 1998-ban bizonyos mértékben kibővítve:

- *alapkutatások* végzése az elméleti és kísérleti szilárdtestfizika (kondenzált anyagok fizikája, fémfizika, vékony rétegek és felületek fizikája), továbbá az elméleti és kísérleti optika (optikai kristályok fizikája, kvantumoptika és lézerfizika) területén;

- *alkalmazott kutatások* végzése (új anyagok előállítása, minősítése és vizsgálata, új anyagvizsgáló módszerek fejlesztése, új optikai kristályok és vékonyréteg eszközök előállítása és alkalmazása, valamint a lézerek fejlesztése és alkalmazása);
- az alaptevékenységhez illeszkedő *új metodikák* fejlesztése;
- graduális és posztgraduális *szakemberképzés*.

1991 végén az alábbi akadémikusok és doktorok tartoztak az SZFKI minősített kutatói állományába. Akadémikusok: Mezei Ferenc rendes tag (1987), Kroó Norbert rendes tag (1990), Zawadowski Alfréd rendes tag (1990), Sólyom Jenő levelező tag (1987). A tudomány doktorai: Bata Lajos (1979), Buka Ágnes (1991), Cser László (1983), Farkas Győző (1980), Kollár János (1988), Jánossy András (1983), Mihály György (1986), Szentirmai Zsolt (1991), Szépfalusyné Menyhárd Nóra (1981), Tompa Kálmán (1971), Vincze Imre (1984), továbbá 27 fő kandidátus.

Azóta magasabb fokozatot szereztek: Sólyom Jenő rendes tag (1993), Jánossy András levelező tag (1993), Mihály György levelező tag (1995) akadémikusok; Bergou János (1994), Sütő András (1994), Virosztek Attila (1994), Tüttő István (1995), Kamarás Katalin (1997), Kriza György (1997), Pekker Sándor (1997), Rózsa Károly (1997), Faigel Gyula (1998), Czitrovszy Aladár (1999) a tudomány doktorai, illetve az MTA doktorai; továbbá 10 fő kandidátus.

Az MTA 1998-as kutatóhálózati konszolidációjának eredményeképpen az SZFKI korábbi tevékenysége kibővült az MTA TTKL Kristályfizikai Kutatólaboratóriumának tevékenységével (a témafelsorolás p , q , r témái), és állományának egy részével, benne Földvári István, Hartmann Ervin, Janszky József, Watterich Andrea a tudomány doktoraival és 6 fő kandidátussal. Az összevont kutatóintézet *Szilárdtestfizikai és Optikai Kutatóintézet* néven, változatlan SZFKI rövidítéssel tevékenykedik, konszolidációs létszáma 145 fő.

Tudományos kutatások és eredmények

a) *Az erősen korrelált rendszerek* (témavezető Sólyom Jenő) keretében az alacsony dimenziós mágneses modellek (pl. antiferromágneses Heisenberg-láncok), az egydimenziós fermionmodellek (pl. Hubbard-modell) tanulmányozása képezte a kutatás gerincét.

b) *A komplex rendszerek* (Szépfalusyné Menyhárd Nóra) vizsgálata az egyensúlyi és nem egyensúlyi statisztikus fizikai (pl. anomális diffúzió rendezetlen közegben) és kvantumrendszerek fázisátalakulásainak (pl. Bose-kondenzáció), kritikus jelenségeinek a tanulmányozását foglalja magában.

c) *Elektronállapotok fémekben* (Kollár János) téma keretében fémek felületi energiáira, ezek alapján nanokristályok egyensúlyi alakjára, felületi lépcsők képződési energiáira, továbbá a d-elektron-rendszerekben fellépő térindukált jelenségekre (pl. óriási mágneses ellenállás), továbbá a magas hőmérsékletű szupravezetők Raman-spektrumának leírására vonatkozó elméleti kutatás folyt.

d) *A nem-egyensúlyi ötvözetek* (Vincze Imre) témában amorf és nanokristályos ötvözeteket állítottak elő (pl. Fe-Zr-B-Cu) és határozták meg a szerkezetük fő jellemzőit és mágneses tulajdonságaikat, továbbá neutrondiffrakciós és röntgendiffrakciós méréseket végeztek, modellszámítás alkalmazásával meghatározták a parciális szerkezeti függvényeket és a rövid távú rendet jellemző paramétereket amorf Zr-Be rendszeren. Neutronradiográfiával vizsgálták folyadékok (víz, olaj) áramlását kőzetekben.

e) *A röntgendiffrakció* (Faigel Gyula) témában alkáli fulleridek termodinamikai stabilitására, kialakulási mechanizmusukra és kötés konfigurációjukra vonatkozó kvantumkémiai számításokat végeztek, és erre alapozva elsőként sikerült szintetizálni egy új kétdimenziós kristályos polimert, a Na_4C_{60} -at. Kidolgozták és továbbfejlesztették az atomi felbontású holografikus mérések technikáját, így a rekonstruált képen izotrópfelbontás érhető el. Új eredményeket értek el a nukleációelmélet terén.

f) *Töltés- és spinsűrűség-hullámok* (Krizsa György). A Fermi-folyadéktól eltérő viselkedés várható közel egydimenziós fémekben, pl. a $(\text{TMTSF})_2\text{PF}_6$ közel egydimenziós fémekben, amelyben mágneses tér hatására a fémes viselkedés szigetelő viselkedéssé alakul. Ellenállásméréseket végeztek ezen az anyagon a hőmérséklet, a hidrosztatikus nyomás és a mágneses tér függvényében, továbbá NMR-relaxációs vizsgálatok folytak töltéssűrűség-hullám rendszereken.

g) *A folyadék-kristályok kutatása* (Bata Lajos) keretében különböző ferroelektromos folyadék-kristályokat állítottak elő, vizsgálták és értelmezték a rendszerek elektromechanikus válaszait, továbbá termotróp folyadék-kristályok deuterizált változatait előállítva, rajtuk molekuladinamikai vizsgálatokat végeztek NMR-spektroszkópiával.

h) *Az instabilitások és nemlineáris jelenségek folyadék-kristályokban* (Buka Ágnes) téma keretében a nematikus réteg direktorának precesszióját, a túlhűtött nematikusban növekedő szmektikus B fázis mintázatképző instabilitásait, az effektív viszkozitás hatását a nematikus-levegő fázishatár morfológiájára és dinamikájára, homeotróp nematikus rétegben az elektrohidrodinamikai konvekció küszöb-feszültségét, a hozzá tartozó hullámszámot, és a rendezett-rendezetlen struktúrák közötti átmenethez tartozó kritikus feszültséget határozták meg.

i) *A fémfizika* (Tompá Kálmán) keretében amorf (pl. Ni-Zr-H) és kristályos (pl. Pd-Ag-H) fémhidridekben a hidrogéndiffúzió sajátosságait, átmenetifém-

komplexekben három mag (H, B, F) NMR-spektruma alapján a spinátmenet és a molekuláris mozgások közti korrelációt, továbbá a nanokristályos állapot olvadákból történő gyorsűtéssel való előállításának feltételeit és fémes Ni-Cu/Cu multirétegek óriási mágneses ellenállását tanulmányozták.

j) *A fémtechnológia és mágnesség* (Varga Lajos Károly) témában nanokristályos lágymágneses anyagok mágneses jellemzőit (pl. telítési mágnessezettség, a koercitív erő, a kezdőpermeabilitás) határozták meg, tisztázták a ferromágneses-szuper paramágneses átmenet és a térben középpontos köbös fázis Curie-hőmérséklete közti különbséget, új pásztázó elektronmikroszkópra alapozott mérési eljárásokat dolgoztak ki a felszín alatti mágneses doménszerkezet vizsgálatára és a domének mozgásának a filmezésére.

k) *A neutronszerzés kondenzált fázisú anyagokban* (Rosta László) témában különböző szerkezetű ferrofluidumok dinamikai viselkedését tanulmányozták neutronspin-echo-spektroszkópiai módszerrel, továbbá ferrogélek fázisrendeződését. Polimer-membránok hőstabilitását vizsgálták kis szögű neutronszerzéssel. Szén-diszulfid-tetrametil-karbamid (TMU) keverékeket tanulmányoztak neutrondiffrakcióval; a Reverse Monte Carlo-módszer által szolgáltatott szerkezeti modellek alapján megállapították, hogy TMU kontaktpárok szignifikáns arányban keletkez(het)nek. Volfrámdrót kis szögű neutronszerzéses vizsgálata kvantitatív információt szolgáltatott a termokémiai kezelés hatására kialakult kálium-buborékok deformációjáról.

l) *A lézerefény és anyag kölcsönhatásai* (Farkas Győző) témában a nagy hullámhosszú ultrarövid intenzív lézerefénnyel megvilágított aranykatód váratlanul nagy fotoelektron-emissziót és jelentős elektronenergiákat adott, ellentétben rendkívül erős IR- és XUV-fénysugárzást keltett. Az eredmények a röntgenlézerek kutatásában új lehetőségeket jelentenek. Elméletileg megmutatták, hogy az erős lézerpulzusokkal érhető el elektrongyorsítás, illetve szórt röntgenfénnyel keltés.

m) *A lézerefizika* (Jánossy Mihály) témában a gázlézerek és plazmák vizsgálatában és modellezésében, a többdimenziós lézerek kutatásában, az elektrolitkatódos atmoszferikus nyomású ködfénykisülés tanulmányozásában, a vékony nemesfém- és fullerén rétegek optikai vizsgálatában, a felületi érdesség meghatározásában értek el eredményeket.

n) *A lézeralkalmazások* (Kertész Iván, majd Czitrovszky Aladár) témában a kifejlesztett Nd:YAG lézerben piezo-vezérelt Fabry-Perot Q-kapcsolóval tovább növelték az átlagteljesítményt, kísérleti berendezést fejlesztettek ki a kétmódusú squeeze fénnyel generálására, létrehozták a mikrorészecskék sebességének és méreteloszlásának egyidejű mérésére alkalmas számítógép-vezérelt berendezést, s ezzel tanulmányozták nukleáris aeroszolok diszperzitását és koncentrációját; OMFB-támogatással felállítottak egy ultragyors (femtosekundu-mos) lézertechnikai és lézerspektroszkópiai laboratóriumot.

o) *Az optikai vékonyrétegek* (Ferencz Kárpát) témában femtoszekundumos lézerekhez fejlesztettek ki fáziskorrigáló dielektrikum tükröket, segítségével az együttműködő holland, osztrák és japán partnerek a közeli infravörös, illetve a látható hullámhossztartományban állítottak elő 5 fs-nál rövidebb fényimpulzusokat, amelyek a jelenleg ismert legrövidebb mesterségesen keltett elektromágneses hullámcsomagok. Amorf vékonyrétegek (a-C:H) Raman-spektrumának vizsgálatában egy új módszer született, amelyik a neutronos vizsgálatokhoz képest igen költségtakarékos.

p) *Az optikai egykristályok növesztése és minősítése* (Földvári István) téma keretében nemlineáris optikai és fotorefraktív tulajdonságú oxid és borát egykristályokat növesztettek, krómmal adalékolt Bi_2TeO_5 kristályokon fotokrómjelenséget figyeltek meg, amit a Cr^{6+} – Cr^{5+} töltésváltozással értelmeztek. Difrakciós és termoanalitikai módszerekkel meghatározták a $\text{Bi}_2\text{Te}_4\text{O}_{11}$ vegyület keletkezésének reakcióútját és intermedier termékeit. Meghatározták a β - BaB_2O_4 (BBO) és Bi_2TeO_5 kristályok polarizált Raman-színképeit, ami felhasználható a kristályminták roncsolásmentes jellemzésére.

q) *Az optikai kristályok jellemzése és ponthibái* (Watterich Andrea) témában YAl_3 , $(\text{BO}_3)_4$, TeO_2 , V_2O_5 és LiNbO_3 :Fe egykristályokban, ZnWO_4 -ban és LiNbO_3 :Mg kristályokban adalékolással, illetve lézer- és röntgenbesugárással különböző centrumokat (köztük vakanciaaggregátumokat, újfajta elektron- és lyukcentrumokat) keltettek és azonosítottak.

r) *A nemlineáris és kvantumoptika* (Ádám Péter) témában kidolgoztak egy kaskád homodin mérési eljárást, amellyel a fény kvantumállapotához rendelt kvázivalószínűségeloszlás-függvény a fázistérben pontról pontra megkapható. Megmutatták, hogy egy rezonátorban tárolt sugárzási módus tetszőleges fotonszám-sajátállapota (Fock-állapot) létrehozható egyetlen atom segítségével. Egy háromfotonos legerjesztési folyamatban létrehozott, ún. csillagállapotok tulajdonságait vizsgálták.

Az intézet helye a hazai és nemzetközi tudományos életben

Az SZFKI több egyetemen is részt vesz a szilárdtestfizika és – kisebb mértékben – az optika oktatásában (ELTE, BME, JATE, JPTE, SOTE). Legszorosabb a kapcsolat az ELTE TTK-n folyó fizikusképzéssel. Ez a részvétel rendes és speciális előadások tartásában, laboratóriumi gyakorlatok vezetésében és diplomamunkások irányításában valósul meg. 1989 óta működik a KFKI-ban az ELTE Kihelyezett Fizikaoktatási Laboratóriuma s ezen belül az SZFKI-ban a Szilárdtestfizikai-kvantumelektronikai Labor. Az itt beállított laboratóriumi mérés-

sek 1991 óta a fizikus egyetemi hallgatók kötelező laborgyakorlatainak részévé váltak, de rendelkezésre állnak további, emelt szintű gyakorlatok is, melyek komolyabb vizsgálatokra adnak alkalmat. Ezek a mérések nagymértékben támaszkodnak a kutatóintézeti háttérre (anyagminták, cseppfolyós He, lézertechnika stb.). Az elmúlt két évben a laborgyakorlatokba bekapcsolódtak a BME hallgatói is. A posztgraduális képzésben való intézeti részvétel számszerűleg is nagyon jelentős, megközelítően 20 fő az egyszerre itt lévő doktoranduszok száma, a tevékenység disszertációk készítésének elősegítése, valamint továbbképző oktatás formájában történik.

Az SZFKI-nak a kutatás minden területén élő és szoros kapcsolatai vannak, főként európai és USA-beli egyetemekkel és kutatóintézetekkel. Ezt az is mutatja, hogy 1998. évi publikációinak több mint 65%-ánál legalább az egyik szerző külföldi. A kapcsolattartás formái: rövid idejű kölcsönös látogatások, hosszabb idejű külföldi munkavégzés, továbbá részvétel közös kutatási programokban. Az SZFKI már az 1990-es évek elején bekapcsolódott az Európai Unió keretében folyó kutatásokhoz (pl. EUREKA, ANTE, COST projektek), az 1998 végén meghirdetett EU V. keretprogramban 1999 végéig három pályázatát fogadták el.



A szilárdtestfizika, illetve a szilárdtest- és optikai kutatás 40 évének eredményeit több ezer tudományos dolgozat bizonyítja. Létrehoztak az országban unikális laboratóriumi kultúrákat, elsősorban a nukleáris (neutron, NMR, Mössbauer-spektroszkópia, röntgendiffrakció) módszerek, a lézerfejlesztés és -alkalmazás és a mágneses és dielektromos mérések területén, új technológiák jöttek létre az optikai kristálynövesztés, a vékonyréteg, az amorf és nanokristályos ötvözetek előállításában. Nemzetközileg jegyzett elméleti iskolák jöttek létre a szilárdtestfizika, a statisztikusfizika és optika területén. Az ICSU által 1993-ban végzett felmérés az intézet munkáját „különösen eredményesnek” ítélte.

A szilárdtestfizika két metodikai eredményét szükséges külön is kiemelni, amelyek világviszonylatban is újdonságok: ezek a Mezei Ferenc által alkotott neutronspin-echo és a Faigel Gyula és Tegze Miklós által megalkotott egyforrású röntgenholográfia.

Az SZFKI széles körű nemzetközi kapcsolatokkal és elismertséggel, néhány kivételtől eltekintve korszerűnek egyáltalán nem mondható laboratóriumi eszközparkkal, gyenge és szegényedő műszaki-technológiai háttérrel érkezett az ezredfordulóhoz, és próbál eleget tenni a 21. század tudományos kutatással szembeni elvárásainak.

Kristályfizikai Kutatólaboratórium, 1976–98

Előzmények

Az MTA Kristályfizikai Kutatólaboratóriuma (KFKL), a Gyulai–Tarján kristályfizikai iskola folytatójaként, az ország egyik legrégebbi hagyományokra visszatekintő fizikai kutatóhelye. Gyulai Zoltán még az első világháború előtt Kolozsvárott kezdett szilárdtestkutatással foglalkozni. Hosszú hadifogság után, az 1920–30-as években előbb Göttingenben Pohl közvetlen munkatársaként, majd itthon a kristályhibák koncepciójának egyik fő kidolgozója volt. Nevéhez fűződik a kristályhibák létének első kísérleti bizonyítéka, amely a későbbiekben Gyulai–Hartly-effektus néven vált világhírűvé. Sajnos az első szegedi, illetve debreceni Gyulai-iskolát szétzilálta a második világháború. Maga Gyulai rövid időre visszatért szülőföldjére, Kolozsvárott kapott katedrát. Jól mutatja az akkori viszonyokat az a szomorú tény, hogy a legnevesebb Gyulai-tanítványnak, Tarján Imrének munkája a fényelektromos jelenségekről a háború miatt csak mintegy tízéves késéssel jelent meg külföldön.

Az 1940–50-es években Tarján Imre adott új lendületet a hazai kristályfizikai kutatásoknak a gyakorlati alkalmazás szempontjából is érdekes anyagok felé való orientálódással, a célzott kristálynövesztés meghonosításával. Gyulai és Tarján utolsó közös fontos eredménye: már lényegében Tarján vezetése alatt megoldották a mesterséges kvarc előállítását, egy időben az amerikai óriással, a Bell Laboratóriummal. Sajnos az akkori szűk látókörű magyar gazdasági vezetés nem ismerte fel az ebben az eredményben rejlő hatalmas lehetőségeket, a laboratóriumi kísérlet nem juthatott el a gyártásig. Az akkori publikációs viszonyok között a kvarckristály-előállításról csak magyar nyelvű közlemény jelenhetett meg.

A háború után a Magyarországra hazatért Gyulai Zoltán a Műszaki Egyetemen, Tarján Imre a budapesti orvostudományi egyetemen indítja újra a kristályfizikai kutatást, alapít új iskolát.

A Budapesti Műszaki Egyetemen létrejött az MTA Kristálynövesztési Tanszéki Kutatócsoport, itt Gyulai Zoltán munkatársai voltak: a régi tanítvány Boros János, Jeszenszky Béla, Hartmann Ervin, Malicskó László és Morlin Zoltán. A Semmelweis Orvostudományi Egyetem Biofizikai Intézete mellett működött az MTA Kristályfizikai Tanszéki Kutatócsoportja. Itt Tarján Imre fontosabb

tanítványai Turchányi György, Voszka Rudolf, Ujhelyi Sándor, Raksányi Kund, a korán elhunyt Somló Ágnes, Horváth Tünde, majd a fiatalabbak között Watterich Andrea, Janszky József, Földvári István és Corradi Gábor voltak. Nemzetközi összehasonlításban is kiemelkedő eredménye ennek a korszaknak a röntgen- és gamma-sugárzás detektálására kifejlesztett NaI:Tl, a béta-sugárzás mérésére előállított antracén-kristály. A NaI:Tl gyártását átvette a GAMMA gyár, amely az átvett technológiának, majd továbbfejlesztésének köszönhetően több évtizeden át tudott jelentős pozíciót tartani a világ szcintillátorgyártásában. Ekkor dolgozta ki Voszka Rudolf az ultratiszta, OH-ion-mentes alkálihalogenid kristályok előállítását, ezzel a magyar kristályfizikai iskola éveken át világrekord-minőségű kristályokkal rendelkezett.

A laboratórium megalakulása, szervezete

Még az 1960-as években kialakult egy olyan koncepció, hogy a legjobb, ugyanakkor a tanszékeken nagyon zsúfolt körülmények között élő MTA-kutatócsoportok számára az Akadémia létrehoz egy kutatóhelyet a Budaörsi úton. Az MTA vezetése 1976. január 1-jei hatállyal az orvosegyetemen, illetve műegyetemen működő két kristályfizikai kutatócsoportból, munkájuk elismeréséül, létrehozta a MTA Kristályfizikai Kutatólaboratóriumát. Az új kutatóegységet a Budaörsi úti toronyházban helyezték el, az akkor megalakult MTA Természet-tudományi Kutatólaboratóriumai (TTKL) részeként. A TTKL többi részét az Akusztikai, a Geokémiai és a Szervetlen Kémiai Kutatólaboratórium alkotta, a későbbiekben csatlakozott a TTKL-hez a Biofizikai Kutatólaboratórium is. Sajnos az elhúzódo építkezés miatt a TTKL létrehozása alaposan megkésett, az alapítás idejére az 1970-es évek olajválsága átjutott a „vasfüggönyön”, így az új kutatólaboratórium induló beruházása kevesebb lett forintban, mint amennyi az az eredeti tervek szerint dollárban lett volna. A TTKL koncepciója sem váltotta be az alapítók reményeit: a különböző határterületek művelői közötti szinergikus együttműködés helyett az esetek többségében az egymással szembeni érdekérvényesítési törekvés volt az együttélés jellemzője.

A laboratórium alapító igazgatója Voszka Rudolf volt (1976), tőle a vezetést 1990 végén vette át Janszky József. A KFKL 1982-ig belső szerkezet nélkül működött, 1982-ben alakult ki 2 osztálya, a Kristálytechnológiai Osztály (vezetője Földvári István) és a Kristályfizikai Osztály (vezetője Janszky József). Az osztály-szerkezet kialakulásának dacára a laboratóriumban mindig erős törekvés volt a vezető kutatók körül kialakuló kutató-teamek szabad szerveződésének elősegítése. Ilyen teamek voltak (vezető kutatóikkal):

- optikai egykristályok növesztése (Földvári István, Polgár Katalin, Péter Ágnes),
- ponthibák vizsgálata (Watterich Andrea, Corradi Gábor, Kovács László),
- diszlokációk vizsgálata (Turchányi György),
- kristály-kvantumkémiái vizsgálatok (Raksányi Kund),
- optikai kristályok minősítése (Hartmann Ervin, Malicskó László),
- nemlineáris és kvantumoptika (Janszky József, Ádám Péter).

1997-ben az akadémiai közgyűlés határozatának megfelelően a Kristályfizikai Kutatólaboratórium és a KFKI Szilárdtestfizikai Kutatóintézete egyesült az MTA Szilárdtestfizikai és Optikai Kutatóintézet név alatt. A Budaörsi útról a KFKL, az MTA vezetése által biztosított konszolidációs pénzforrások segítségével, teljes létszámmal és felszereléssel, 1997–98-ban felköltözött a KFKI-telephelyre. Az MTA Szilárdtestfizikai és Optikai Kutatóintézetben a volt KFKL mint Kristályfizikai Főosztály működik. A vizsgálatok, növesztések mára (1999 ősze) már új erővel folynak, a kristályfizikai kutatások és kutatók Csillebércen új barátokra és új otthonra leltek. A volt KFKL jelenlegi struktúrája:

- MTA SZFKI Kristályfizikai Főosztály (vezetője Janszky József),
- Kristálytechnológiai Osztály (vezetője Földvári István),
- Kristályfizikai Osztály (vezetője Watterich Andrea),
- Nemlineáris és Kvantumoptikai Osztály (vezetője Ádám Péter).

Tudományos kutatások és eredmények

A KFKL tudományos főfeladata a kezdetektől fogva a kristálynövekedés, a kristályok tulajdonságainak vizsgálata volt, különös tekintettel a kristályok reálstruktúrája és az alkalmazás szempontjából fontos tulajdonságaik közötti kapcsolatra.

Ahogy a lézerek széles körű elterjedésével, az optikai információtovábbítás és jelfeldolgozás fejlődésével az évek során az érdeklődés mindinkább a nemlineáris optikai kristályok felé fordult, úgy egészült ki ez a tematika a kristályokban folyó nemlineáris optikai folyamatok és az így keletkezett, különleges tulajdonságú fény tanulmányozásával. A tarjáni koncepciónak megfelelően mindig betartották azt az elvet, hogy kutatási témáik kiválasztásában tudatosan törekedjenek arra, hogy vizsgált kristályaik alapkutatási érdekességük mellett fontosak legyenek a gyakorlat számára is.

Módszertani fejlődés

A KFKL megalakulása előtti, eredeti tanszéki kutatócsoportok fejlődésének költségvetésük szűkössége csak részben szabott határt, legalább ekkora korlátot jelentett az a zsúfoltság, amiben a Budaörsi útra történt átköltözésük előtt éltek. A hirtelen többszörösére nőtt alapterület rohamos fejlődést tett lehetővé. Ezt a feladatot Tarján Imre közvetlen tanítványa, Voszka Rudolf teljesítette ki egy komplex anyagtudományi lánc kialakításával (alapanyag-előállítás és tisztítás, kristálynövesztés, -orientálás és -megmunkálás, -minősítés és a tulajdonságok vizsgálata). Ehhez létre kellett hozni egy kémiai analitikai-preparatív labort, új kristálynövesztő berendezéseket kellett kifejleszteni, egy röntgenorientáló egységet, továbbá egy vágó, csiszoló és polírozó munkahelyet kellett kialakítani. Megszervezték a különböző egységek közötti információáramlást a kristályminőség optimalizálására.

A laboratórium életében a legfontosabb fejlesztés a Czochralski-berendezések átmérőszabályozása volt (Schmidt Ferenc és Voszka Rudolf) az 1970-es évek végén. Az alkalmazott, nagyon szellemes és olcsón kivitelezhető megoldás máig is versenyképes a modern, számítógépes módszerekkel.

Az anyagtudományi lánc teljes kiépítésével párhuzamosan az 1980-as évek végén, az 1990-es években újabb kristálynövesztő módszereket sajátítottak el, így bevezetésre került a flux-növesztés és a zárt rendszerű Czochralski-módszer (Polgár Katalin). A kristályokban születő különleges tulajdonságú fény kutatására ugyanekkor a laboratóriumban kialakult az első hazai elméleti kvantumoptikai iskola (Janszky József).

Eredmények

A kristályhibák vizsgálatának fontosságát az adja, hogy befolyásolják az anyag makroszkopikus tulajdonságait. Erre jó példa a későbbiekben ismerttetendő $ZnWO_4$, amelynek színét a látható tartományban a Fe és Cr szennyező okozza. A ponthibák szerkezetének és az anyag jellegzetességeit befolyásoló hatásának ismeretében széles határok között szabályozhatjuk az anyag tulajdonságait. Az előző példában a látható tartományban fellépő abszorpció káros, mert rontja a $ZnWO_4$ hasonló tartományában fellépő lumineszcenciájának hatásfokát, ezáltal csökkentve az anyag szcintillátorként történő alkalmazási lehetőségét. Az alapanyagok gondos tisztításával azonban ez a káros hatás elkerülhető. Más esetekben éppen adalékolással érhető el kedvező változás. A továbbiakban szintén ismerttetendő $LiNbO_3$ optikai sérülékenysége nem elhanyagolható, és mivel opti-

kai elemként is alkalmazzák, jelentős felismerés volt, hogy Mg adalékolásával (egy bizonyos küszöbkoncentráció felett) a lézertűrő képesség két nagyságrenddel javult.

Az atomi méretű hibák szondaként is felhasználhatók, amennyiben a különböző anyagokban fellépő ponthibák szerkezetének eltéréseiből magáról a gazdárácsról is információt nyerhetünk. Például a különbözően adalékolt kristályokban fellépő különböző OH-centrumok megjelenéséből a LiNbO_3 kristályban jelenlévő egyéb centrumok létre lehetett következtetni.

A következő vázlatos ismertetésben néhány, általuk növesztett kristály jellegzetes tulajdonságait, felhasználási területeit és az elért fontosabb eredményeket mutatjuk be.

Paratellurit – TeO_2

A paratellurit a legjobb ismert akusztó-optikai jósági tényezőjű anyag a látható fénytartományban ($M_2 = 1,2 \times 10^{-15} \text{ s}^3 \text{ g}^{-1}$). Többek között akusztó-optikai modulator, deflektor, Q-kapcsoló és hangolható szűrő készítésére használják.

Megállapították, hogy a kristályok minőségét elsősorban a vasszennyezés és az ehhez kapcsolódó platinatégelyanyag-beoldódás rontja. Az alapanyag tisztítása és a növesztés optimalizálása után az ismert legkisebb akusztikus csillapítást ($\langle 110 \rangle$ lassú nyíró módusra: $220 \text{ db cm}^{-1} \text{ GHz}^{-2}$), a legkisebb diszlokációs-sűrűséget ((001) lapra: $3 \times 10^3 \text{ cm}^{-2}$) és a legjobb optikai áteresztést (400 nm-nél a veszteség $< 0,05 \text{ cm}^{-1}$) érték el, és igazolták a fenti paraméterek közti kapcsolatot. A kristályokat Czochralski-eljárással, $27 \text{ mm} \times 50 \text{ mm}$ méretben növesztik (Földvári István).

Lítium-niobát – LiNbO_3

A lítium-niobát változatos nemlineáris tulajdonságokkal rendelkező anyag, amelynek optikai, akusztikus és termikus nemlinearitását, valamint ezek kereszteffektusait kiterjedten használják a gyakorlatban. Csak néhány példát említve: akusztikus felületi hullámszűrőt (AFH-szűrő), rezgésdetektort, frekvencia-kétszerezőt, Q-kapcsolót, piezoátalakítót készítenek a kristályból.

Értelmezték az anyagban a Mg-adalékolás hatását, eljárást fejlesztettek ki a kristályösszetétel gyors, roncsolásmentes meghatározására. A kristályokat Czochralski-módszerrel akusztikus, optikai és lézertűrő minőségekben készítik (max. $50 \text{ mm f} \times 50 \text{ mm}$ méretben). A lézertűrő kristály 315 nm -ig áteresztő, és folytonos lézerrel, 532 nm -nél 400 W/cm^2 teljesítményt bírt el roncsolódás nélkül. Sikeresült merőben új tulajdonságú, sztöchiometrikus összetételű lítium-

niobát egykristályt előállítaniuk, ami iránt nagy nemzetközi érdeklődés nyilvánul meg (Polgár Katalin).

Szillenitek – $\text{Bi}_{12}\text{MeO}_{20}$ (Me = Si, Ge, Ti)

A szillenitek gyors reakcióidejű nemlineáris optikai anyagok, amelyeket AFH-szűrőként, integrált optikában és fotorefraktív eszközökben használnak. A négy vegyértékű fémkomponens típusától függően módosulnak az anyag tulajdonságai. Az adalékolatlan kristályokban az abszorpció sél környékén széles abszorpció sáv található, ami kitűnő fotovezetést eredményez.

A $\text{Bi}_{12}\text{SiO}_{20}$ (BSO) és $\text{Bi}_{12}\text{GeO}_{20}$ (BGO) Czochralski-módszerrel, a $\text{Bi}_{12}\text{TiO}_{20}$ (BTO) flux módszerrel növeszthető. A BSO és BGO kristályokat 25 mm f × 40 mm méretben, a BTO-t és a BSO/BGO/BTO elegykristályokat kisebb méretben növesztik. Meghatározták az Al- és Fe-adalékolás szerepét a kristály fotokróm tulajdonságaiban. Tisztázták a szillenitek fotorefraktív tulajdonságaiban megfigyelt egyes anomáliákat, és elsőként mérték és értelmezték a fotorefraktivitás hőmérséklettől való függését.

Bizmut-tellurit – Bi_2TeO_5

A bizmut-tellurit egy új, nemlineáris optikai anyag, amelyet a laboratóriumban állítottak elő elsőként optikai minőségben és vizsgálatokra alkalmas méretben. Az anyag áteresztő a 400–7000 nm fénytartományban. A kristályszerkezetére jellemző az üres oxigénhelyek nagy száma (17%), ami más kristályok szobahőmérsékleten stabil fázisában nem figyelhető meg.

Megállapították, hogy az anyag fotorefraktív tulajdonsággal rendelkezik, és meghatározták ennek jellemzőit folytonos és impulzus- (18 ps) lézer-gerjesztésnél. A négy hullámkeverés egyik fotorefraktív jelkomponensének élettartama hosszabb, mint 4 év. Ez a jel, más ismert anyagoktól eltérően, külön fixáló kezelés nélkül alakul ki, ami érdekes lehet a holografikus memóriaként történő alkalmazásban. A kristályokat Czochralski-módszerrel, 25 mm f × 40 mm méretben növesztik (Földvári István).

Borátok

A ciklikus borátok az első olyan vegyületcsoport, amelynek nemlineáris tulajdonságait elméleti modell alapján jósolták meg. A gyűrűs szerkezet keretein belül kialakuló változatos vegyületek egymástól eltérő kristályszerkezeteket és tulajdonságokat eredményeznek. A gyakorlatban használt borátokra jellemző a

széles optikai áteresztési tartomány, jó kémiai és mechanikai stabilitás és a kiváló lézertűró képesség. A laboratóriumban több borát típusú kristály előállításával és vizsgálatával foglalkoznak, alább a három legfontosabb boráttal kapcsolatos eredményeket ismertetjük.

A β -bárium-metaborát (β -BaB₂O₄, BBO) trigonális kristályszerkezetű anyag, áteresztő a 190–3500 nm fénytartományban. Közeleli infravörös lézerek (pl. Nd:YAG) magasabb harmónikusának előállítására használják, beleértve az ötödik harmónikus is, valamint frekvenciakeverésre, optikai parametrikus oszcillációra. Az egykristályokat maggal vezérelt olvadékoldatos (top seeded flux) módszerrel növesztik, előállítottak már 60 mm f × 13 mm méretű mintát is. Szelektív maratási eljárásokat dolgoztak ki a különböző orientációjú kristálylapokra, amelyekkel jól lehetett követni az esetleges ikerképződést, és amelyek alkalmasak a piezoelektromos tengely irányának azonosítására is.

A lítium-triborát (LiB₃O₅, LBO) ortorombos szerkezetű, áteresztő a 160–2600 nm fénytartományban. Változatos nemlineáris optikai célokra használják, amelyek közül a legfontosabbnak a nem kritikus fázisillesztésű második és harmadik harmonikus keltés tűnik. A kristályokat maggal vezérelt olvadékoldatos módszerrel növesztik 30 mm f × 15 mm méretben.

A lítium-tetaborát (Li₂B₄O₇, LTB) tetragonális szerkezetben kristályosodik. Hőmérséklettől független karakterisztikájú AFH-szűrők és termolumineszcenciás dózismérők készítésére használják. Olvadékból Czochralski-eljárással növeszthető (Polgár Katalin).

Cink-volframát – ZnWO₄

A cink-volframát nem higroszkópos, nagy sugárzás-abszorpciójú, alacsony utánvilágítású (<0,1% 3 s után), jó fényhozamú (35% a NaI:Tl-hoz viszonyítva) szcintillátor anyag. Fő felhasználási területe a számítógépes tomográfia.

A kutatások a kristály fénykihozatalának fokozására irányultak. Igazolták, hogy ez az emittált fény önabszorpciójának függvénye, amelyet 480 nm környékén, döntően a Fe²⁺ ionok okoznak. A fénykihozatal fokozható tisztítással és olyan adalékokkal (Sb, Nb), amelyek a vasionokat 3+ töltésállapotban stabilizálják. Ezek alapján a laboratóriumban állítják elő a legjobb fénykihozatalú kristályokat.

Nemlineáris kvantumoptika

A következőkben röviden ismertetjük a laboratórium legfiatalabb kutatási témájában, a nemlineáris és kvantumoptikában elért fontosabb eredményeket (Janszky József, Ádám Péter, Domokos Péter, Kiss Tamás, Kis Zsolt).

Nemlineáris optikai kristályokban a kristálytani anizotrópiát kihasználva, a vizsgálandó fénynyaláb időbeli és térbeli jellemzői közötti leképzésen alapuló módszereket dolgoztunk ki az igen rövid egyedi lézerimpulzusok mérésére, amelyek az Egyesült Államoktól Japánig a világ számos országában elterjedtek.

A kristályok anizotrópiáját felhasználva, előre történő négy hullámkeverési módszert dolgoztak ki, amelynek segítségével a fény utóbbi időben megtalált új állapota, az ún. *összenyomott* vagy *squeezed állapot* (ebben az állapotban a fény kvantumstatisztikáját leíró valamilyen két, kvantummechanikai értelemben komplementer mennyiség közül az egyiknek a zaja kisebb, mint ugyanez a zaj vákuumban) közvetlenül, a keletkező nemklasszikus fényen tükrökkel és nyalábosztókkal végrehajtott manipulációk nélkül állítható elő. Az ilyen fény igen ígéretes a zajmentes optikai távközlésben és alapvető fizikai mérések lehetőségeinek kibővítésében.

Kimutatták, hogy a *squeezed*-állapotban lévő fény sokszorososan felülmúlja a lézerefény hatásfokát sokfotonos folyamatokban. Bebizonyították, hogy az erősítés folyamata a fent említett extrém nagy hatásfokot nem rontja le.

Az irodalomban elsőként bevezették az *összenyomott fononállapot* fogalmát. Számításaik alapján 1993-ban az egyesült államokbeli Rochesteri Egyetemen hoztak létre összenyomott rezgési állapotban lévő molekulát. Rámutattak arra, hogy periodikus, hirtelen frekvenciaváltozással különlegesen nagy fokú *squeezing* érhető el. Japán együttműködésben kimutatták, hogy megkettőzött, igen rövid, illetve csörpölt lézerimpulzussal rácshibákat és molekulákat két koherens állapot kvantummechanikai szuperpozíciójaként létrejövő rezgési „*Schrödinger-macska*”-állapotba* lehet hozni. Felvetették, hogy az ilyen rezgési Schrödinger-macska-állapot kiindulópontja lehet kémiai „*Schrödinger-macska-állapot*” létrehozásának, ebben az állapotban ugyanaz a molekula egyidejűleg lehet két különböző kémiai vegyület formájában.

Elsőként mutattak rá, hogy az optikai Schrödinger-macska-állapot *squeezing*-tulajdonságot mutat. Új, egydimenziós reprezentációt dolgoztak ki a fény kvantumállapotainak, így az összenyomott állapotnak a tárgyalására. Rámutattak, hogy az optikai Schrödinger-macska-állapotok általánosításával olyan diszkrét szuperpozíciókra jutunk, amelyekkel gyakorlatilag *tetszőleges állapot* megközelíthető. Kísérleti módszert dolgoztak ki az ilyen szuperpozíciók előállítására.

* Schrödinger-macska – a kifejezés Erwin Schrödingernek, a kvantummechanika egyik megalapítójának híres paradoxonjára utal: a kvantumvilágban a klasszikustól eltérően sokkal nagyobb a bizonytalanság, ott elvileg elképzelhető, hogy egy macska egyidejűleg legyen részben tökéletesen egészséges, részben halott.

Tudományos eredmények a gyakorlatban

A Kristályfizikai Kutatólaboratóriumban előállított egykristályok gazdasági hatása a segítségükkel lehetővé tett fejlesztések révén sokszorososan felülmúlta piaci értéküket. A teljesség igénye nélkül felsorolunk jellemző kristálymegrendelőket:

- TeO_2 – BME, MA MFKI, Indian Institute of Science (Bangalor, India) (akusztó-optika).
- LiNbO_3 – BME, Interbip Invest Mikroelektronikai Rt., Akusztikai Kutató, MEV, Lisaboni Egyetem, Osnabrücker Egyetem, Korea University (Szöul), Korea Basic Science Center és Indian Institute of Science (Bangalore, India) (lézertika, integrált optika, rezgésdetektor, AFH-szűrő).
- ZnWO_4 – MEDICOR, GAMMA (szcintillátor).
- Borátok – JATE, MFKI, KFKI, OPTILAB Kft., Rutherford Appleton Laboratory (Oxford), Laser Laboratorium (Göttingen), MEA Optical Bt., Lisaboni Egyetem, Rice University (Houston, Texas) (nemlineáris optika).
- Szillenitek és eulitinek – Bitt Technology-H Kft., Siemens AG Kutatólaboratóriuma, Miskolci Egyetem, Indian Institute of Science (Bangalore, India) (szcintillációs detektor, elektrooptika).
- Alkálihalogénidek – MTA MFKI, KFKI, Miskolci Egyetem.

A laboratórium helye a hazai és nemzetközi tudományos életben

A KFKL, amely két tanszéki kutatócsoport egyesítése révén jött létre, hagyományosan aktívan részt vesz az egyetemi oktatásban. Az alapítás utáni években a laboratórium kutatói elsősorban az anyaegyetemeken, a Semmelweis Orvostudományi Egyetemen és a Budapesti Műszaki Egyetemen tanítottak. Az egy főre eső oktatási leterhelés akkoriban közel volt egy egyetemi támogatott kutatóhelyen dolgozó kutatóéhoz. A fokozatosan csökkenő oktatási aktivitás valamikor az 1980-as évek derekán érte el a minimumát, azóta állandóan növekszik. A KFKL-ben a diplomamunkások összesített száma megközelíti a kutatói létszámot, a laboratóriumban tanult PhD-hallgatók száma a kutatói létszám fele. Az 1990-es évek elejétől az oktatási tevékenység jelentősen megnőtt, jelenleg a Kristályfizikai Főosztály kutatói oktatnak a BME-n, az ELTE-n, Szegeden a JATE-n, Pécsen a JPTE-n, közülük hárman, Ádám Péter, Földvári István és Janszky József, Széchenyi professzori ösztöndíjasok.

A KFKL nemzetközi együttműködései döntően hozzájárultak tudományos céljaik megvalósításához. Amellett, hogy igényes alapkutatót csak a nemzetközi tudományos élettel való szoros kapcsolatban lehet végezni, kristályaik sokoldalú komplex vizsgálata olyan mérőberendezéseket követel meg, amelyek csak nemzetközi együttműködésben hozzáférhetők. Stratégiájuk: extraminőségű kristályok hazai növesztése és tulajdonságaik hazai kutatók által történő kimérése nagyobbrészt külföldön. Kiterjedt tudományos kapcsolataik marketingtevékenységüket is segítették. Kétoldali együttműködéseik közül kiemelkedik a Connecticuti Egyetem Fizikai Tanszékével és Anyagtudományi Intézetével fennálló kapcsolat. Hatéves, nagyon sikeres MTA–NSF projekt után, az NSF, történetében egyedülálló módon, a közös projekt finanszírozását egy harmadik hároméves periódusra is vállalta. Különleges minőségű kristályaikra és széles körű külföldi kapcsolataikra alapozva, hároméves szervezőmunkával egy Európai (ESF) Network született *Oxidkristályok kutatása* témában 1994-ben. Az ESF a hálózatot (21 kutatóhely, gesztorintézet a Kristályfizikai Kutatólaboratórium) 700 000 francia frankkal támogatta. A hálózat fennállása alatt 4 nemzetközi workshopot szervezett.

A Magyar Tudományos Akadémia kutatóintézet-hálózata félszáz esztendő.

Az egyetemi oktatástól független kutatóintézetek tömeges alapítása a 20. századi tudományfejlődés eredménye. A 20. századé, amikor a kutatás a napi életfeltételeink újratermelésében és javításában – mind a technikai, mind az egészségügyi, mind a kulturális életkörülményeink újratermelésében – nélkülözhetetlenné lett. Nélkülözhetetlen, így kifizetődik a függetlenített főállású kutatók tömeges alkalmazása és adott célokra szerveződött kutatóintézetek létrehozása.

A századelőn mind az Egyesült Államokban, mind Európában kialakulnak a nagy kutatóközpontok. Európában a legismertebbek: a Kaiser-Wilhelm-Gesellschaft (1911) és a francia CNRS (1939) kutatóhálózata. Magyarországon 1920 után alapítják az első kutatóintézeteket állami erőből, sajátos módon a társadalom-, mindenekelőtt a történettudomány területén. Ezt a természettudományok területén csak gyenge kezdemények követik – elsősorban a magánszférában. Az állami alapítású „tudományos nagyüzem”-et, amely a kor kultuszminiszterének, gróf Klebelsberg Kunónak volt az álma, majd paradox módon a szovjet rendszer valósította meg 1949 után.

A Szovjetunió a fejlett nyugati társadalmak termelési, katonai előnyét – tanulva a németek példáján – a tudományos kutatás intenzitásának erősítésével kívánta behozni. E célra kiterjedt kutatóintézet-hálózatokat hozott létre. Hasonló megfontolások vezették a szovjet megszállás alá került közép-kelet-európai államok tudománypolitikáját 1949 után. Közöttük a magyar tudománypolitikát is: nagy költségráfordítással, a már meglévő kis műhelyekre, kis kutatói közösségekre alapítva hoznak létre intézeteket. Egy részükben a közvetlen állami-hatósági feladatok teljesítéséhez szükséges alkalmazott kutatásokat folytatnak miniszteriális felügyelet alatt, másik részük alapkutatási célokkal az Akadémia felügyelete alá kerül.

Az akadémiai intézethálózat létrehozásának ideológiai-politikai céljait már elmosta a történelem (1990). A politikai-gazdasági változások, mindenekelőtt a tulajdonviszonyok megváltozása, az állami közalkalmazottakat sújtó társadalmi válság pedig megrázta mind a természet-, mind a társadalomkutató intézeteket. A századelőn már felismert alapelv azonban érvényes maradt a politikai rendszer leváltása után is: az intenzíven működtetett tudományos nagyüzem a közösség termelési és kulturális erőnkifejtésének első számú segítője, modernizációs motorja lehet.

Így gondolkodott az Akadémia vezetése 1990 után, amikor a rendszerváltozás viharaiiban megőrizte kutatóhálózatát. És ez az alapelv vezette az 1997-ben megindított intézetkonszolidációs programot, amelynek célja: az intézethálózatot a nemzetgazdaság, a nemzeti érdekek szolgálatában tartani; a piacgazdaság körülményeihez igazítani; megállítani a szétesést; megállapítani az államilag garantált kutatói létszámot, rendbe hozni az alapellátást, majd rendezni a kutatói béreket, korszerűsíteni a műszerellátottságot. És közben közös erővel korszerűsíteni a tudományos menedzsmentet...

Ennek a folyamatnak egyik része az a törekvésünk, hogy az intézetek készítsék el a maguk „önéletrajzát”. Mutatkozzanak be a kutatói közösségeknek, az oktatói és a termelési szférának. És egyben – mint minden önéletrajz közben teszi az ember – vessenek számot a maguk erejével, hiányosságaival, tennivalóival. Hogy magunk határozzuk meg, autonóm módon, korszerűsítéseink útjait, az új célok elérésének legeredményesebb módszereit.