

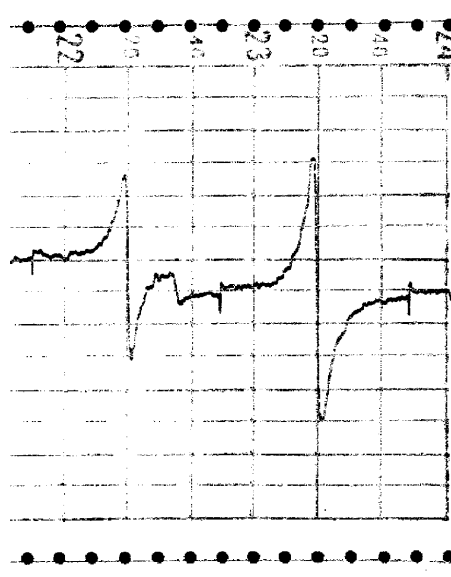
A magyarországi NMR-kutatások kezdetei

Tompa Kálmán, a fizikai tudományok doktora
 MTA Szilárdtestfizikai és Optikai Kutatóintézete, Budapest
 tompa@power.szfi.hu

Jó közelítéssel, fél évszázada, hogy elkezdődött a tevékenység a fent nevezett kutatóintézet jogelődjének egyik osztályán, az Elektromágneses Hullámok Osztályán, illetve induláskor annak gyökereit tartó Gyakorlati Fizikai Intézetben az Eötvös Lóránd Tudomány Egyetem Természettudományi Karán. A kettős eredet csak látszatra bonyolult; átmenetileg mindkét helyen ugyanazok a kutatók tették meg a kezdő lépéseket, Faragó Péter vezetésével Gécs Mária (később Erőné Gécs Mária) és Mertz János. A gondolat – miszerint az eszközhátteret illetően, itthon is eredményesen művelhető kutatás elinduljon- Bay Zoltántól származott. A javaslattevő személyét illetően több okból nem kell csodálkoznunk, közülük csak azt említjük meg, hogy a második háború alatt ő is ugyanúgy a radartechnikán, azaz a rádióhullámok előállításának és kezelésének sajátos változatán szerzett magas szintű gyakorlatot, mint az NMR módszer felfedezéséért 1952-ben fizikai Nobel-díjjal kitüntetett F. Bloch és E.M. Purcell.

A történekek természetesen csak a tudományág egyetemes történelmének időskáláján ábrázolhatók; ezen a startgomb hazai megnyomásának pillanata nem pontosan azonosítható. Az eszközépítést követően az első hazai publikációk 1954-ben és 1955-ben ¹⁻³, tehát nyolc illetve, kilenc évvel a Nobel-díjas dolgozatok megjelenése után kerültek a világ szeme elé. Az említett első dolgozat lábjegyzete szerint az abban megjelenő eredmények 1951-ben az első, a Pécsi Fizikai Vándorgyűlésen már bemutatásra kerültek. Az első dolgozat tehát egy egyszerű, az NMR spektrum abszorpciós módusának detektálására alkalmas eszköz mutat be. A spektrométer további részei: akkumulátorral táplált és toló ellenállással szabályozott, korábban a hallgatói laboratóriumban Faraday effektus mérésére használt elektromágnes, és egy Székesfehérvár melletti repülőgép roncsból Mertz János által kiserelt rádió adóvevőre alapozott rádióhullám forrás. Az oszcilloszkóp ernyőn bemutatott NMR jel feltehetően víz protonoktól származik. A második és harmadik dolgozatban ¹⁹F, ²³Na és ³¹P magok giromágneses faktorának a pontos újra mérése volt a cél, az illető magok NMR jelének a detektálásán túl. Mindez a kísérleti technika továbbfejlesztését is igényelte (elektromágnes, váltóáramú kettős-T híd). A cél tehát egyértelműen magfizikai, hasonlóan az első periódus másutt is követett célkitűzéseivel.

A következő periódus jellemzéséhez szükséges felidézni 1956 történelmi léptékű változását az országban, a változást az Elektromágneses Hullámok Osztálya élén, Hoffman Tibor lett az osztályvezető, és a változást a kutatói csapatban. Valószínű, még Faragó Péter kezdeményezésének folytatásaként, folyt egy, akkori léptékben merész kísérlet előkészítése: Overhauser effektus ⁴ kísérleti demonstrálása nemfém mintában. (1. ábra)



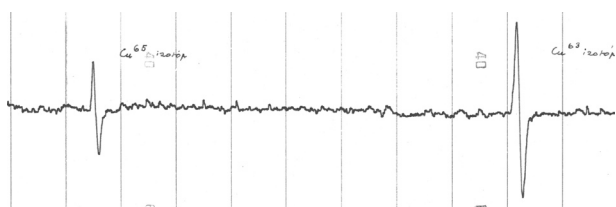
1. Ábra. Overhauser effektus szabad gyököt tartalmazó DPPH minta proton NMR spektrumában. A kisebb intenzitású derivált spektrum mikrohullámú telítés nélkül, a nagyobb elektron rezonanciátelítéssel

Alapjaiban H.G. Beljers és munkatársai által végzett kísérlet ⁵ reprodukciója, szerényebb kísérleti körülmények között. A vizsgált anyag a stabil szabad gyököt tartalmazó difenil-pikril-hidrazil (DPPH), és a cél a polarizáció átvitele a telített elektron spin rendszerről a telítetlen proton spin rendszerre. Mindkét spin $\frac{1}{2}$, és az ellentétes előjelű giromágneses faktorok valamint az impulzus momentum megmaradás következtében az elektron spin rendszer relaxációja az alacsonyabb energiájú állapotban lévő protonok számát növeli meg, ami a detektálható NMR jel intenzitás növekedését vonja maga után. A csapat: Mertz János (egy ideig), Tompa Kálmán, Tóth Ferenc, és a kapitány Gécs Mária. Az 1958-59-ben rendelkezésünkre álló és menetközben létrehozott mérés technika: egy klisztron által produkált és koaxiális erősítővel növelt, néhány wattnyi, ~25 cm hullámhosszú mikrohullám, egy TE₁₀₂ módusú, az NMR mérőtekerccset is tartalmazó üregrezonátor, egy 430 gaussnyi teret előállító elektromágnes, és a már említett váltóáramú híd és generátor. Tóth Ferenc ekkor készíti el az első hazai fázis-érzékeny (lock-in) erősítőt a zajszint alatti jelek láthatóvá tételére. Mindezek együtt és egyszerre is működtek stabilitásuknak megfelelő szinten, negyvenöt évvel ezelőtt; a bizonyíték az 1. ábrán látható; két derivált abszorpciós proton spektrum, az egyik, a kicsi az elektronok segítségével, a nagyobb egy kis külső, mikrohullámú rásegítéssel. Az eredmények kvantitatív értékelésére javasolt magyar nyelvű közleményen ⁶ kívül más publikáció nem született, a „miért nem”-re.

E sorok szerzője nem tud a változásokon és hangsúly eltolódásokon kívül más magyarázatot adni. Pedig, szép

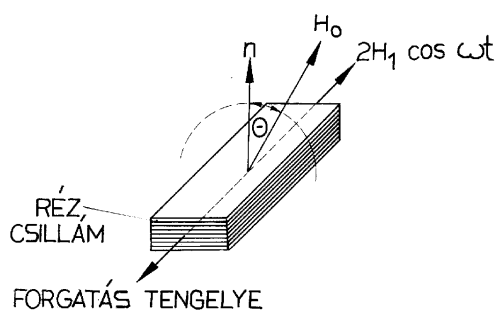
akkori műszaki és kísérleti kutatási teljesítménynek kell a két bemutatott spektrum felvételét most is tartanunk

1959 közepén megszűnt az Elektromágneses Hullámok Osztálya, megalakult a Szilárdtestfizikai Laboratórium, Hoffmann Tibor, Nagy Elemér és Pál Lénárd irányításával elindult kutatási tevékenysége. A Laboratórium keretében Tompa Kálmán és Tóth Ferenc kapták a szilárdtestek vizsgálatára alkalmas NMR berendezés kidolgozásának és szilárdtest-fizikai kutatási alkalmazásának a feladatát. Néhány „nyugati” műszert is kapunk, egy Newport elektromágneset kellően (10^{-5}) stabil tápegységgel, és egy nyolcjegyű Racal digitális frekvenciamérőt. A többi egység itthon készült, közöttük egy stabil Robinson oszcillátor az NMR átmenetek gerjesztésére és detektálására. A spektrométer bemutatására a Magyar Fizikai Folyóiratban került sor ⁷. 1961-62 fordulóján megszületett az első szilárdtest NMR spektrum (2.ábra) a két rézizotópról fém rézben.



2. Ábra. Az első hazai fém mintán felvett NMR spektrum; réz fóliákon folytonos gerjesztéssel felvett derivált spektrumok a ^{63}Cu és ^{65}Cu izotópokon.

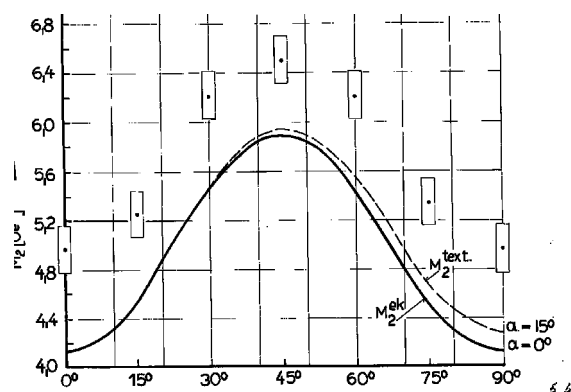
Az anyagmintánk nem szokványos „por minta” hanem egy kitűnő minőségű leporelló-szerűen hajtogatott kondenzátor 10 μm -es rézfóliáiból kivágott és csillámlemezekkel váltakozva összerakott „fólia rakás” (3. ábra).



3. Ábra. „Fólia rakás” minta: későbbi sikerek forrása.

Később derült ki, hogy a fóliáinkon mérhető NMR intenzitás kb. kétszer nagyobb, mint az ugyanakkora tömegű pormintán kapható, és több mindent köszönhetünk a mintánknak. Egy percre meg kell itt állnunk, pontosabban előbbre kell futnunk a tapasztalatszerzés útján, hogy felhívjuk a figyelmet egy sarok-pontra. Jelesül arra, hogy az anyagtudományi-kísérleti szilárdtest fizikai kutatások alfája a reprodukálhatóan előállítható, megbízható anyagminta. A kérdés az első örömmön túlmenően az volt, hogy lehet-e valami újat mondani a már sokat vizsgált fém rézen viszonylag egyszerű eszközökkel, és ha igen, hogyan. A válasz a kérdés második felére nagyon egyszerű: pontosan kell mérni, mint Tyho Brache tette a „csillagokkal”. Ez az igény kísérleti

körülményeink szerénysége következtében, végig kísérte kutatói tevékenységünket. Az öreg kondenzátor sugallta minta következő változataként olyan, „kocka-textúrával” rendelkező rézfóliákat készítettünk, amelyek majdnem egykristályok voltak ⁸, és rajtuk mérve szét tudtuk választani a réz magok által érzett lokális mágneses tér izotróp és anizotróp járulékait (4.ábra).



4. Ábra. Irány-független és irányfüggő járulékok szétválasztása fém réz NMR spektrumában.

Ezt kihasználva, és a két rézizotóp NMR spektrumának második momentumaiban mérhető, a mérési hiba nagyságrendjébe eső különbség alapján meghatároztuk a Ruderman-Kittel (más néven indirekt) csatolási állandó, 200 ± 50 Hz-es értékét. Megemlítjük, hogy a spektrumok kiértékeléséhez szükséges integrálok numerikus kiszámolása már nem kézi-tekerésű géppel, hanem motorral forgatott Cellatronnal, majd URAL-2-vel történt. E.R Andrew a MAS (magic angle spinning, azaz a bűvös szög körüli forgatás) technika megalkotója, egyik első, később publikált eredménye éppen ezen állandó meghatározása volt ⁹. Eredményül, 230 ± 15 Hz-et kapott, és úgy nyilatkozott mérési eredményünket illetően: el sem tudta képzelni, hogy hagyományos módszerrel olyan pontosan is lehet mérni, mint ahogy azt mi tettük.

A továbbiakban a MTA KFKI (ma részbeni jogutódként MTA SZFKI) NMR laboratóriumá-nak további tevékenységéből olyan példákat válogattam, amelyek

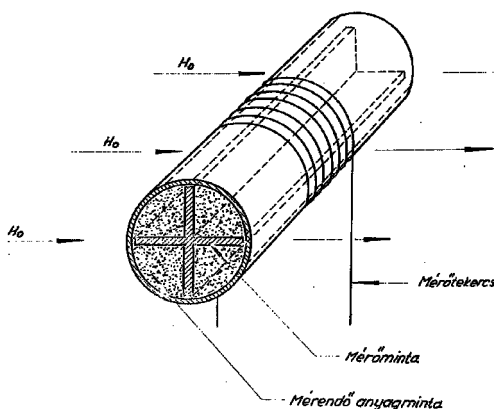
- a célkitűzésnek megfelelően kezdetet jelentenek (módszer, anyagcsalád, jelenség szempontjából, és nemcsak a magyar ugaron),
- homogénnek tekintett, de valójában heterogén rendszerek vizsgálatára vonatkoznak,
- nem egyetlen fizikai/kémiai jellemző mérésén és annak értelmezésén, hanem a kutatás összetett mivoltát illetően több paraméter együttes vizsgálatán alapulnak,
- ma is folytatódnak újabb „szövegekörnyezetben”, nem lezártak, tekintettel arra, hogy a kutatás egyes fázisai csak átmenetileg tekinthetők lezártak.

Az utóbbi három bajusz pedagógiai célzatú, mert „történelmet” írni kizárólag tanítási céllal érdemes. A bemutatást jellegzetes csoportokra bontva végezzük.

Makroszkopikus mágneses jellemzők, és vonaleltolódás

A NMR módszer egyik alapvető adottsága a rezonáns atommag helyén lévő lokális mágneses tér mérése, ami eredetére nézve többféle lehet, pl. kémiai eltolódás, a

fémes anyagok Knight eltolódása, a minta makroszkopikus mágnesezettségéből származó tér-járulékok, stb. Első példánkban, (Grüner György diplomamunkája, ELTE TTK, 1965-66), arra hívtuk fel a figyelmet¹⁰, hogy egy ügyesen megformált rezonáns magokat tartalmazó „kereszt alakú” mintával (5. ábra), amit történetesen antiferromágneses-paramágneses átmenetet mutató MnO környezetbe helyeztünk, nem csak a B és H tér mérhető, hanem azok különbsége is, továbbá a hőmérséklet változtatásával az említett fázisátalakulás is tanulmányozható.



5. Ábra. Kereszt alakú minta: B és H együttes mérésére, azaz a makroszkopikus mágnesezés tanulmányozására.

A minta alakjának a kihasználása a későbbiekben a makroszkopikus szuszceptibilitás és a mikroszkopikus Knight eltolódás egyszerre történő mérését tette lehetővé¹¹ egy fémüveg-hidrogén rendszerben. Az egyszerű kép, miszerint az eltolódás arányos a szuszceptibilitással, (azaz mindkettő az állapotsűrűséggel) kis hidrogén tartalmaknál nem áll fenn itt az eltolódás függetlenné válik a szuszceptibilitástól.

Megtanultuk, elsősorban Mössbauer spektroszkópiai vizsgálatokból, hogy a napi szóhasználat szerinti mágnesezés, pontosan szólva ferromágneses anyagok atommagjainál lévő hiperfinom tér értéke óriási, pl. vas esetében ~ 33T (330 kOe) értékű. Ekkora térben, természetesen külső mágnesezés nélkül alkalmazása nélkül is nagyon szép NMR jel detektálható, a vas izotóp kis előfordulása, kis giromágneses faktora ellenére is. 1972-ben jelenik meg¹² a frekvencia modulált belső-tér mérő berendezésről írt dolgozat, aminek a felhasználásával már meg tudjuk különböztetni a vasba ötvözött kobalt szomszédságában lévő vas atomok magjainál lévő belső tereket¹³. A ferromágneses anyag elemi „domén”-jei a gerjesztő rádióhullám hatására foroghatnak, vagy a közöttük lévő falak eltolódhatnak. Ezek az effektusok lényegesen megnövelik a rezonáns mag helyén lévő rádiófrekvenciás tér intenzitását, a faleltolódás mintegy három nagyságrenddel. Varga Lajos Károly e témakörben írta meg egyetemi doktori dolgozatát (ELTE TTK, 1975)

Az alacsony-spinű magas-spinű elektronspin-átmenetek komplex vizsgálatának első lépését mi tettük meg a hagyományos szuszceptibilitás, a Mössbauer spektroszkópia és az NMR spektrum-szélesség mérésével vas(II)bisz(1,10-fenantrolin)-tociánaton 1967-ben¹⁴. A jelenség megfigyelése óta fennáll az a kérdés, hogy a mágnesezés átalakulás oka, vagy következménye az anyagban végbemenő szerkezeti

változásoknak, vagy pl. a magas szimmetriájú molekula csoport mozgások befagyásának, beindulásának. A kérdésre több mag több NMR jellemzőjének a mérésével, kiegészítve röntgen és pozitron annihilációs vizsgálata-tok alapján kerestük a választ^{15,16,17}.

Híg ötvözetek

A nagy tisztaságú fémbe bevitt kevésszámú, nem kölcsönható ötvöző alkotta rendszer a híg-ötvözet, és a hatvanas évek végén, a hetvenes évek elején a szilárdtest kutatások egyik első számú favoritja volt. Rendelkezésünkre állt egy igényes technológia a szükséges anyagminták megbízható előállítására, és izgalmas elméleti modellek az idegen atom környezetében fellépő töltés és spin (mágnesezés momentum)-sűrűségeket illetően. Valószínűleg Friedel töltéssűrűség oszcillációra vonatkozó elmélete a legáltalánosabban ismert. Aszimptotikus eredményt ad a töltéssűrűsége, következésképpen a köbös szimmetriát rontó idegen atom által keltett elektromos tér-gradiensre is. Kísérleti adatok csak az idegen atom közvetlen környezetére álltak rendelkezésre, az asimptotikus tartományra nem. „Fóliarakás” mintáink lehetővé tették az asimptotikus tartomány vizsgálatát. Kevés platinát tartalmazó nagy tisztaságú réz alapú Cu-Pt ötvözetben meglepő eredmény született; egyetlen Pt atom hatását 1900 ± 100 (amit kioltási számnak nevezünk) réz mag érzi, szemben a pre-aszimptotikus tartomány 50 ± 5 atomot tartalmazó hatásgömbjével¹⁸, és Jánossy András diplomamunkája, ELTE TTK, 1966-67). Éppen a híg Al-Ta ötvözetben kapott asimptotikus eredményeink (kioltási szám 1200) véglegesítésén dolgoztunk¹⁹ amikor megjelent J.M. Brettell és A.J. Heeger (később Nobel-díjas)²⁰ közleménye az Al-Fe és Al-Mn és Al-Cu ötvözeteken mért kevert (pre-aszimptotikus +asimptotikus) tartományok keverékére vonatkozó) eredményekről. Az un. kioltási számok alapjául szolgáló fém reszelékeken mért NMR jelamplitúdó mérési hibáik megközelítően ötszöröse az általunk kapottaknak. A réz alapú híg ötvözeteken végzett szisztematikus vizsgálataink eredményei²¹ J. Friedel jóváhagyásával kerültek közzétételre. Joggal gondolhatjuk, hogy mindez a precíz hazai technológiának, a különböző kísérleti és elméleti módszerekkel együtt végzett kutatásnak, továbbá NMR szempontból a gondosan összerakott fólia-rakás mintáinknak köszönhető. Talán nem önteltség kijelenteni, mert az 1972-ben megrendezett nemzetközi konferencia (Tihany) sikere is bizonyítja, ahol majdnem mindenki itt volt, aki számított, hogy a hazai szilárdtest kutatás a világ élvonalában volt. Napjainkban, a nanokristályos anyagok tanulmányozásának korszakában, ugyanezen referencia minták, és több NMR metodika együttes használata segítette megérteni a leegyszerűsítő homogénnek gondolt anyag heterogenitásának néhány kérdését, és meghatározni annak jellemzőit²².

Jelentős technikai előrelépés határozta meg további mozgásunkat; egy 4-100 MHz. frekvencia tartományú nagy homogenitású elektromágnessel és széles hőmérséklet tartományokkal rendelkező Bruker spektrométert kaptunk 1973-ban! Kiegészítésekkel és saját fejlesztésekkel ma is, mint immáron harminc éve, ez a berendezés jelenti kutatásaink alap-készülékét. Következésképpen céljaink meghatározásánál a lehetőségek a mérvadók, és nem pedig a vágyak.

Üvegfémek

P. Duwez és diákjai 1959-ben azzal hívták fel a fémek-világ figyelmét, hogy üvegfémek: hosszú-távú kristálytani renddel nem rendelkező ötvözetet állítottak elő gyors, mondhatjuk nagyon gyors hűtéssel. A hazai technológia, már a gyorsított változat mellett az elektrolitikus előállítási formával együtt 1976-ban képes volt üvegfémek előállítására. Paul Duwez is hazánkba látogatott, és 1980-ban pedig, ismételtén „mindenki” részvételével nemzetközi konferencia színhelye Budapest, harminchat magyar, közöttük öt NMR tárgyú előadással. Mit jelent a hosszú-távú rend hiánya az elektron-szerkezetben, és létezik-e valamilyen rövidtávú rend, és ha igen, miként jellemezhető; ezek voltak a fontos, és az NMR számára is kezelhető kezdeti kérdések. A dipólus-dipólus csatolás erős távolságfüggésén keresztül a rövidtávú rendről ²³, a Hahn-Carr-Purcell típusú ²⁴ valamint a kvadrupólus echók ²⁵ pedig a fémüvegek heterogén geometriai és elektron-szerkezetéről nyújtottak további, még ma sem teljesen kihasznált információt.

Fém-hidrogén rendszerek

Ma is meglepődnek a hallgatók, ha feltesszük azt a kérdést: miként fér el a megközelítően két és fél liter cseppfolyós hidrogén az egy literes vanádium tömbben. Nem hiszik, hogy a kérdés nem „red herring”, mert a folyadékok összenyomhatatlanságáról tanultak. Sok hasonlóan különös kérdés tehető fel, a fém-hidrid akkumulátoroktól az atommeghajtású tengeralattjárók cirkonium-hidrid reflektoráig, amíg a kutató eljut az alapkérdésekig: miként megy be, miként mozog és épül be a hidrogén atom a fém kristályrácsába. Továbbá, az előadás célját illetően, maradt-e még valami új a fentnevezett laboratórium NMR csoportja számára? Majdnem 150 éves a Pd-H rendszeren elvégzett első kísérlet! A matuzsálem korú kutatás ellenére, maradt elég; ami említésre méltó. Amit már említettünk: együtt mértük a szuszceptibilitást és a proton rezonancia Knight eltolódását Zr-Ni-H rendszerben ¹¹. A hidrogén mozgását (diffúzió) a heterogén rendszerben minden modell az aktivációs energiák eloszlása alapján értelmezi. Megmutattuk, hogy nem az aktivációs energiák, hanem a mozgás korrelációs idői azok, amelyek alapvetően változnak egy fémüveg-hidrogén rendszerben ²⁶. Most éppen ott tartunk, hogy megkérdőjeleztük azt a tankönyvi állítást, miszerint a hidrogén feltöltés menete a Pd-H ös-típus ötvözetben úgy zajlik, hogy először a rács-gáz alfa, majd a hidrid béta fázisa töltődik fel. Állításunk az, hogy mindkettő egyszerre töltődik, és a két fázis hidrogénjei nem cserélődnek, hanem százezzer, illetve egymillió lépés erejéig az adott fázisban maradva végzik helyi diffúziós mozgásukat ²⁷. Tehát maradtak még megoldandó „első” kérdések.

Futottak és futnak még „kezdetek”

Nemesítési céllal szemenkénti olajtartalom meghatározást végeztünk napraforgó magokon, az első NMR mérést mi végeztük ²⁰⁵Tl magokon magas hőmérsékletű szupravezető oxidokban ²⁸. Induló témáink a nanocsövekben maradó ferromágneses katalizátor maradványok NMR jellemzőkre gyakorolt hatásának a kiderítése, és a saját NMR jellemzők megértése; továbbá, a lézereként alkalmazott YAB:Er

(erbiummal adalékolt itrium-alumínium borát) szimmetria és rácshiba tulajdonságainak a tanulmányozása ²⁹.

Élettudomány és NMR: múlt és jövő

Az élő-anyag fizikája, vagy ha úgy tetszik az élettudomány fizikai aspektusa hosszú évek, történetesen az 1970-es évek első fele óta érdeklődésünk homlokterében áll; és itt is csak az első lépésekről ejtünk szót. A csirkemájba traszplantálható hepatóma NMR spektroszkópiája volt az első, ahol a vízmolekulákban lévő protonokat faggattuk a rosszindulatú daganatos betegség relaxációs idők megnyújtásában mutatkozó következményeiről. Majd a fizikus számára legegyszerűbbnek tűnő szövet, a szemlencse vizsgálatában az aggkori szürke-hályogot, valamint a normál lencsék életképességét ^{30,31} tanulmányoztuk, jelesül azt, hogy a hidrát burok protonjai mit tudnak a fenti kérdésekről mondani. Szerencsére több NMR jellemző (a spektrum, az intenzitás, a relaxációs idők) mérhető, így több kérdés tehető fel a természetüknel fogva heterogén rendszerekről. Röviden szólva, mert az idő eljárt, a makromolekulák elektrosztatikai/dinamikai tulajdonságait is feltáró hidratációs kérdések megismerése a célunk, különös tekintettel az extrém tulajdonságokat mutató fehérjék vizes oldataira.

Összefoglaló

A hazai NMR kutatások történelmének kezdeteit, majd a KFKI-ban és annak utódintézetében tett néhány tematikus első lépését vázoltam. A kezdő lépéseket, Faragó Péter vezetésével Gécs Mária és Mertz János tették meg. A gondolat – miszerint az eszközháttérrel illetően, itthon is eredményesen művelhető kutatás elinduljon- Bay Zoltántól származott. Az első hazai publikációk 1954-ben és 1955-ben, tehát nyolc illetve, kilenc évvel F.Bloch és E. M. Purcell és munkatársaik Nobel-díjas dolgozatai megjelenése után kerültek a világ szeme elé. A továbbiakban a MTA KFKI (ma részbeni jogutódként MTA SZFKI) NMR laboratóriumának első lépéseit ismertettem, majd a további tevékenységéből olyan példákat válogattam, amelyek

- a célkitűzésnek megfelelően kezdetet jelentettek (módszer és eszközfejlesztés, anyagcsalád, vagy fizikai jelenség szempontjából, és természetesen nemcsak a magyar ugaron). Példaként itt a híg ötvözetek, a fémüvegek, a fém-hidrogén rendszerek, valamint az élettudomány számára fontos anyagok említése történt.
- a leegyszerűsítő modellek alapján homogénnek tekintett, de valójában heterogén rendszerek vizsgálatára vonatkoznak,
- nem egyetlen fizikai/kémiai jellemző mérésén és annak értelmezésén, hanem a kutatás összetett mivoltát illetően több paraméter együttes vizsgálatán alapulnak,
- ma is folytatódnak újabb „szöveg-környezetben”.

Nem vállalkoztam arra, hogy a tudomány más területein tett első hazai NMR kutatási lépéseket is felsoroljam; ezt megtette Sohár Pál a Magyar Kémiai Folyóiratban ³². Annyit talán érdemes ismételní, hogy a molekulaszakértő vizsgálatra szánt első „nagyfelbontású” 60 MHz-es NMR berendezés 1964-ben került a MTA KKKI-ba, és ugyanitt helyezték

1973-ban üzembe az első 100 MHz frekvenciájú Varian FT berendezést, ugyan akkor, mint a Központi Fizikai Kutató Intézetben a széles frekvencia tartományban működő Bruker pulzus spektrométert. A KFKI-s csoport a tudományterület szélesítése érdekében végzett tevékenységéhez tartozik még két előadássorozat: 1961-62 fordulóján a Magyar Kémikus Egyesület rendezvényeként, Szőke József szervezésében „Nagyfelbontású NMR spektroszkópia kémiai alkalmazásai”, majd 1975 tavaszán Mátrafüreden „NMR módszer és biokémiai alkalmazásai” címmel. Történelmet írni királyokról szoktak, a mi történelmünk ettől eltér, de a tudományművelők közül legalább az irodalomjegyzékben igyekeztem felsorolni azokat, akik tevőlegesen alakították a kezdeteket.

Irodalom

1. Faragó, P.S.; Gécs, M.; Mertz, J. *Acta Phys. Hung.* **1954**, *3*, 329.
2. Faragó, P.S. *Suppl. Nuovo Cimento* **1955**, *1*, 249.
3. Faragó, P.S.; Gécs, M.; Mertz, J. *Il Nuovo Cimento* **1955**, *X 2*, 1110
4. Overhauser, A.W. *Phys. Rev.* **1953**, *92*, 411.
5. Beljers, H.G.; van der Kint, L.; Wieringen, J.S. *Phys. Rev.* **1954**, *95*, 1683.
6. Tompa K. *KFKI Közlemények* **1959**, *7*, 115.
7. Tompa K.; Tóth F. *Magyar Fizikai Folyóirat* 1963, *11*, 177.
8. Tompa, K. *Phys. Stat. Sol.* **1966**, *18*, 391
9. Andrew, E.R. *Proc. of XVII Congress AMPERE*, Turku , **1972**, 18.
10. Tompa, K.; Tóth, F.; Grüner, G. *Phys. Stat. Sol.* **1967**, *22*, K11.
11. Tompa, K.; Bánki, P.; Lasanda, G.; Varga, L.K. *J. Alloys Comp.* **1995**, *231*, 330.
12. Tóth, F.; Tompa, K.; Grüner, G. *J. Phys.E.: Sci. Instr.* **1972**, *5*, 42.
13. Grüner, G.; Tompa, K. *J. Phys.F.: Metal Phys.* **1972**, *3*, 189.
14. Dézsi, I.; Molnár, B.; Tarnóczy, T.; Tompa, K. *J. Inorg. Nucl. Chem.* **1967**, *29*, 2486.
15. Bokor, M.; Marek, T.; Tompa, K. *J. Magn. Res. A* **1996**, *122*, 164.
16. Bokor, M.; Marek, T.; Tompa, K.; Gütlich, P.; Vértes, A. *Eur. Phys. J. D* **1999**, *7*, 567.
17. Marek, T.; Bokor, M.; Lasanda, Gy.; Tompa, K.; Párkányi, L.; Buschmann, J. *J. Phys. Chem. Solids* **2000**, *61*, 621.
18. Tompa, K.; Tóth, F.; Jánossy, A. *Phys. Lett.* **1967**, *25*, A 587.
19. Tompa, K.; Tóth, F.; Grüner, G. *Solid State Comm.* **1969**, *7*, 51.
20. Bortell, J. M.; Heeger, A. J. *Phys. Rev.* **1967**, *153*, 319.
21. Tompa, K. *J. Phys. Chem. Solids* **1972**, *33*, 163.
22. Tompa, K.; Bánki, P.; Bokor, M.; Lasanda, Gy.; Varga, L.K.; Champion, Y.; Takács, L. *J. Applied Magn. Res.*, közlésre elfogadva
23. Bakonyi, I.; Takács, L.; Tompa, K. *Phys. Stat. Sol. (b)* **1981**, *103*, 489.
24. Tompa, K.; Bakonyi, I.; Bánki, P. *Proc. of Conf. On Met. Glasses: Science and Technology, Budapest* **1980**, 125.
25. Tompa, K.; Bakonyi, I.; Bánki, P.; Takács, L. *Proc. of Conf. On Met. Glasses: Science and Technology, Budapest* **1980**, 341.
26. Tompa, K.; Bánki, P.; Hargiti, C.; Lasanda, Gy.; Lovas, A.; Varga, L.K. *J. of Alloys Comp.* **1997**, *253-254*, 428.
27. Tompa, K.; Bánki, P.; Bokor, M. *Defect and Diffusion Forum* **2003**, *224-225*, 93.
28. Mihály, L.; Tompa, K.; Bakonyi, I.; Bánki, P.; Zsoldos, É.; Pekker, S.; Oszlányi, G.; Hutiray, Gy. *Int. J. of Modern Phys. B.* **1988**, *1*, 1227.
29. Bokor, M.; Beregi, E.; Bánki, P.; Watterich, A.; Tompa, K. *publ. alatt*
30. Tompa, K.; Rácz, P. *Proc. of XIXth Congress AMPERE, Heidelberg* **1976**, 341, *KFKI Preprint* 77-1.
31. Rácz, P.; Tompa, K.; Pócsik, I. *Exp. Eye Res.* **1975**, *29*, 601.
32. Sohár, P. *Magyar Kémiai Folyóirat* **1994**, *100*, 469.