

egészséges kész probléma, mely a megoldásért üvölt – és viszont az egyoldalú filozófia – akár a skolasztika, akár a tizenkilencedik századi mechanisztikus szemlélet – torz, rossz kérdéseket szegez önnön melléne.<sup>19</sup> Most már tudjuk: a jó kérdések az Egészre vonatkoznak, vagy legalább, a holon jelleg következtében, az Egész és a rész összefüggésére. A tudat és anyag, a meditáló és tudományos,

a racionális és irracionális megismerésnek együtt kell működnie. Ez pedig tipikusan áltudományos álláspont.

Ha így van, miért szeretik oly sokan Koestlert? Először is a *Sötétség délben* miatt, mely több generáció számára megvilágító erejű mű volt. Mondhatnánk, azért is, mert a tudományt illetően gyanakvóak, másrészt mégis hiszékenyek, minden babonát, csalást, csodagyógyszert, kanálhajlítást, jóslást örömmel fogadnak. Nyilván ilyenek is vannak, nem kevesen. Sok embert vonz a miszticizmus, az irracionális. Esetleg azért szeretik, mert nem tudják a fizikát, nem ismerik a tudományt. Ebből a típusból talán még többen vannak. Én inkább azt mondanám, Koestler írásaiban nem látszik egyben az egész gondolatrendszer, ha pedig itt-ott felbukkan az itt bemutatott gondolatvilág, botlásnak lehet érezni a millió rendkívül érdekes tény és gondolatmenet közepette. A hetvenes évek könyveit botlásnak, az idősebb mester fércművének tekintik. Koestler

<sup>19</sup> *A vak véletlen gyökerei*, 330. o.

tényleg nagyon érdekes könyveket írt, csodálatosan élvezetes nyelvezettel. Még a nagyon nyíltan paratudományos művek is hallatlanul szórakoztatóak és tanulságosak. *Agatha Christie*-nek is elnézzük, hogy rémes gyilkosokról ír. Nem tartjuk szadistának, inkább élvezzük prózáját, gondolatsorait, figuráinak életmódját, szokásait, és nem vesszük komolyan antihumánus elemeit.

Koestler a kitűnő író, a fantasztikus életutat bejárt ember, a nagy értelmiségi, antitotalitárius baloldali, aki a híres nagy magyar tudósokkal a legbensőbb kapcsolatban állt: *Szilárd Leó*t fiatal korától ismerte, *Polányi Mihály* közeli barátja volt, *Gábor Dénes* komolyan végiggondolta Koestler nézeteit, *Teller* politikai gondolkodását alapvetően alakította, a 20. század egyik legérdekesebben gondolkodó, nagyon széles körben ismert, olvasott embere volt. Nem kell egyetérteni valakivel ahhoz, hogy kedveljük.

#### Irodalom

- A. KOESTLER: *Sötétség délben* (Darkness at Noon, 1940) – Európa, Budapest, 1988, ford.: *Bart István*
- A. KOESTLER: *A jógi és a komisszár* (The Yogi and the Commissar and other Essays, 1945) – Osiris–Századvég, Budapest, 1994, ford.: *Hruby József*
- A. KOESTLER: *Insight and Outlook* – Macmillan, New York, 1949.
- A. KOESTLER: *Nyilvessző a végtelenbe* (Arrow in the Blue, 1952) – Osiris, Budapest, 1996, ford.: *Boris János*
- A. KOESTLER: *A láthatatlan írás* (The Invisible Writing, 1954) – Osiris, Budapest, 1997, ford.: *Makovecz Benjamin*
- A. KOESTLER: *Alvajárók* (The Sleepwalkers: a History of Man's Changing Vision of the Universe, 1959) – Európa, Budapest, 1996, ford.: *Makovecz Benjamin*
- A. KOESTLER: *A teremtés* (The Act of Creation, 1964) – Európa, Budapest, 1998, ford.: *Makovecz Benjamin*
- A. KOESTLER: *Szellem a gépben* (The Ghost in the Machine, 1967) – Európa, Budapest, 2000, ford.: *Makovecz Benjamin*
- A. KOESTLER: *A dajkabéka esete/A vak véletlen gyökerei* (The Case of the Midwife Toad, 1971) – Európa, Budapest, 2002, ford.: *Makovecz Benjamin*
- D. CESARANI: *Arthur Koestler: The homeless Mind* – Vintage, London, 1998.

## NEUTRON-VISSZASZÓRÁSI HATÁSKERESZTMETSZET

Király Beáta

MTA Atommagkutató Intézet

A neutron-visszaszórás hatáskeresztmetszet fogalmát *Csikai* és *Buczko* vezették be 1999-ben [1]. Ez a mikroszkopikus paraméter jól jellemzi a különböző atomok reflexiós tulajdonságait. Szoros kapcsolat mutatható ki a neutron-visszaszórás hatáskeresztmetszet és a rugalmas szóráshatáskeresztmetszete között. A fogalom megalkotását hasznossága indokolta. Előzménye az *Amaldi* és *Fermi* által 1936-ban bevezetett albedó fogalma [2], amely szintén a különböző anyagok neutron-visszaszórását jellemzi, de makroszkopikus értelemben.

A neutron-visszaszórás (reflexiós) hatáskeresztmetszetet  $\sigma_{\beta}$ -val jelöljük, utalván az indexben a  $\beta$  albedóra. A neutron-visszaszórás hatáskeresztmetszet a geometriától

*Csikai Gyulán*nak ajánlva 75-ik születésnapjára.

nem független mennyiség, a szóróközeg elemi összetételén kívül függ a mérés elrendezésétől is.

Az 1. ábrán az a mérési elrendezés látható, amelyet *Csikai* és *Buczko* a reflexiós hatáskeresztmetszet meghatározására alkalmaztak. A Pu-Be forrásból kilépő gyors neutronok a henger alakú hidrogénes moderátorban lassulnak. A moderátor tetején elhelyezett, szintén henger alakú mintába bejutó neutronok egy része visszaverődik a moderátor irányába. Az átlagos szóródási szög nagyobb 90°-nál. Az itt lévő BF<sub>3</sub>-számláló detektálja a visszaszórt termikus neutronok bizonyos (a pontos geometriától és a számláló paramétereitől függő) részét. A számlálócsövet csak a minta felől szabadon hagyó Cd-borítás biztosítja azért, hogy a moderátor felől érkező neutronok ne szóltassák meg a detektort.

Helyezzünk mintát a mintatartóba, s az így mért, időegységenkénti beütésszámot jelölje  $I$ ! Ismételjük meg a mérést üres mintatartóval, az így mért mennyiség legyen  $I_0$ ! Ekkor az  $R = (I - I_0)/I_0$  háttér feletti relatív többletbeütés arányos a minta atomjai által felületegységenként kitekart felülettel:

$$R = C \frac{n \sigma_{\beta}}{S} = CNd \sigma_{\beta}, \quad (1)$$

ahol  $C$  arányossági tényező,  $n$  a minta összes atomjainak száma,  $\sigma_{\beta}$  a mintára jellemző (de a geometriától is függő) neutron-visszaszórási hatáskeresztmetszet,  $S$  a minta detektor felé néző felületének nagysága,  $N$  a minta egységnyi térfogatában levő atomok száma,  $d$  a minta vastagsága. Amennyiben az (1) egyenlőségben  $S$ -et  $\text{cm}^2$ -ben,  $N$ -et  $\text{atom}/\text{cm}^3$ -ben,  $d$ -t  $\text{cm}$ -ben és  $\sigma_{\beta}$ -t barnban kívánjuk megadni, a  $C$  arányossági tényező értéke  $C = 10^{-24} \text{ cm}^2/\text{barn}$ .

Az (1) egyenlőség átrendezésével a  $\sigma_{\beta}$  neutron-visszaszórási hatáskeresztmetszetre a következőt kapjuk:

$$\sigma_{\beta} = \frac{RS}{Cn} = \frac{R}{CNd}. \quad (2)$$

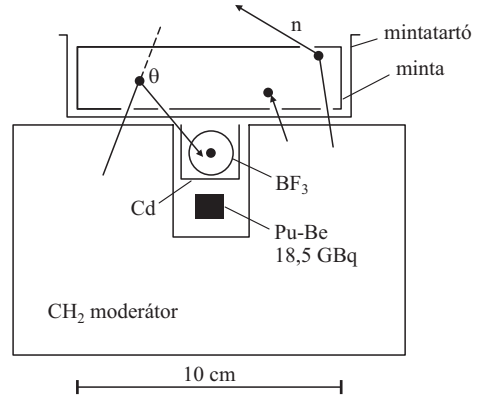
A minta  $d$  vastagságának növelésével a mért  $I$  mennyiség – és ezzel  $R$  – is növekszik, minthogy növekszik a visszaszórásban részt vevő atomok  $n$  száma. Az  $I$  mennyiséget a  $d$  mintavastagság függvényében ábrázolva egy telítésbe futó görbét kapunk. Ennek az az oka, hogy a visszaszórásban csak a minta alsó rétege vesz részt, a felsőbb rétegekbe vagy el sem jutnak a neutronok, vagy onnan visszafelé szóródva a detektor elérése előtt elnyelődnek a mintában. Emiatt ügyelni kell a minta vastagságának megválasztásánál, különösen nagy abszorpciós hatáskeresztmetszetű elemek (Cl, Co, Ag, Hg stb.), továbbá néhány fém (Zn, Fe, Cu) és vegyületeik esetében.

A tapasztalatok igazolták azt a feltevést, hogy ha a minta anyaga olyan molekulákból áll, melyeket felépítő atomoknak különböző a neutron-visszaszórási hatáskeresztmetszetük, akkor a molekulára vonatkozó reflexiós hatáskeresztmetszet az egyes atomok hatáskeresztmetszetének az atomok számával súlyozott összegeként számítható. Eszerint tehát:

$$\sigma_{\beta \text{mol}} = \sum_i n_i \sigma_{\beta i} = \frac{RS}{C n_{\text{mol}}} = \frac{R}{CN_{\text{mol}} d}, \quad (3)$$

ahol  $\sigma_{\beta \text{mol}}$  a molekula neutron-visszaszórási hatáskeresztmetszete,  $n_i$  az  $i$  típusú atomok száma a molekulában,  $\sigma_{\beta i}$  az  $i$  típusú atom visszaszórási hatáskeresztmetszete,  $n_{\text{mol}}$  a mintában levő összes molekulák száma,  $N_{\text{mol}}$  a minta egységnyi térfogatában levő molekulák száma. (A visszaszórási hatáskeresztmetszet is additív.)

Csikai és Buczkó számos mérést végeztek [1] különböző összetételű minták felhasználásával. A vizsgálatok elvégzésére közvetlenül alkalmas, tiszta elemeken (C, Fe, Al stb.) kívül a (3) egyenlőség felhasználásával gáz halmazállapotban előforduló elemek (O, H, Cl stb.) termikus neutron-visszaszórási hatáskeresztmetszetét is meghatározták szerves és szervetlen vegyületekből.



1. ábra. Mérési elrendezés a neutron-visszaszórási hatáskeresztmetszet vizsgálatához

Amint az ütközések mechanikájának ismeretében várható, a hidrogén reflexiós hatáskeresztmetszete messze a legnagyobb a többi elemhez képest. Ezért ennek a paraméternek a mérésén alapuló módszer jól alkalmazható minták hidrogén- és víztartalmának meghatározására. Tekintettel azonban, hogy a hidrogénre kapott  $\sigma_{\beta, H}$  értékekben jelentősebb eltérések figyelhetők meg (kristályos és nem kristályos alakú vegyületeket alapul véve), a kristályos szerkezet lehetséges hatásait nem szabad figyelmen kívül hagyni.

Míg a neutron-visszaszórási hatáskeresztmetszet különböző elemekre vonatkozó értékei függenek a konkrét mérési elrendezéstől, addig az egymáshoz viszonyított relatív értékek ettől függetlenek. A hidrogén kiemelkedő szerepe miatt a hidrogénre kapott  $\sigma_{\beta, H}$ -hoz viszonyítjuk a különböző elemekre kapott  $\sigma_{\beta, X}$  értékeket,  $R_{\beta} = \sigma_{\beta, X} / \sigma_{\beta, H}$ . Az ennek mintájára a rugalmas szóródás (elastic scattering) hatáskeresztmetszeteiből számított  $R_{EL} = \sigma_{EL, X} / \sigma_{EL, H}$  értékek felhasználásával képezzük az  $R_{\beta} / R_{EL}$  hányadosokat. Ezek nagy része a mérések szerint 1-hez közel esik. Mivel

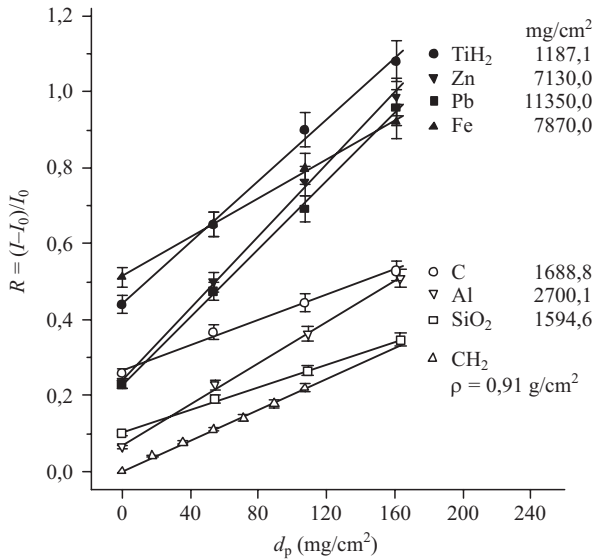
$$\frac{R_{\beta}}{R_{EL}} = \frac{\sigma_{\beta, X} / \sigma_{\beta, H}}{\sigma_{EL, X} / \sigma_{EL, H}} = \frac{\sigma_{\beta, X} / \sigma_{EL, X}}{\sigma_{\beta, H} / \sigma_{EL, H}}, \quad (4)$$

ezt is jelenti egyúttal, hogy a különböző elemek neutron-visszaszórási hatáskeresztmetszete a megfelelő rugalmas szórási hatáskeresztmetszethez állandó arányú része. Ennek alapján az adatkönyvtárakból hiányzó  $\sigma_{EL}$  rugalmas szórási hatáskeresztmetszetek a  $\sigma_{\beta}$  neutron-visszaszórási hatáskeresztmetszetek méréseiből megadhatók.

## Relatív mérés, ekvivalens vastagság

Noha bebizonyosodott, hogy a  $\text{BF}_3$ -számláló helyett alkalmazott aktivációs fóliával, egyértelműbb mérési geometriában jól lehet mérni a neutron-visszaszórási hatáskeresztmetszetet, bizonyos érvek (a fólia önabszorpciója, a  $\text{BF}_3$ -számlálólal végzett gyorsabb mérés) mellett szóltak, hogy proporcionális számláló alkalmazásával folytassuk vizsgálatainkat. A korábbiaktól eltérően azonban igyekeztünk a reflexiós hatáskeresztmetszeteket egy újabb eljárás szerint, relatív módszerrel meghatározni.

A szilárd minták közül az  $R$  többletbeütés polietilén ( $\text{CH}_2$ ) esetében volt a legnagyobb. Különböző minőségű

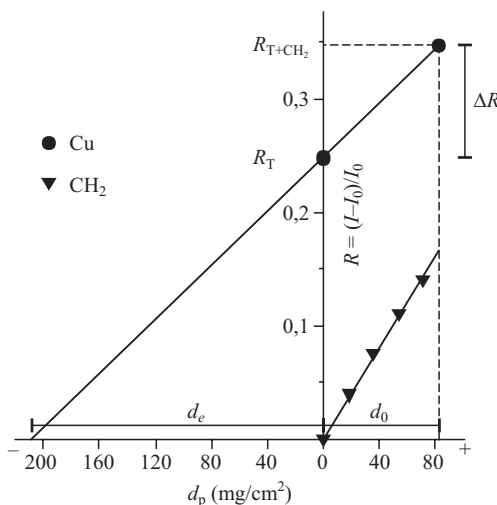


2. ábra. Különböző mintákra vonatkozó többletbeütések a polietilén vastagságának függvényében

polietilének (granulátum, nagy sűrűségű por, vékony és vastag fóliák) és paraffin méréséből a CH<sub>2</sub> atomcsoport neutron-visszaszórási hatáskeresztmetszete a következőt kaptuk:  $\sigma_{\beta, \text{CH}_2} = 37,6 \pm 1,0$  barn. Ezt az adatot, mint könnyen és jól meghatározható értéket, a további relatív mérésekhez referenciának tekintettük.

Mértük a különböző anyagú, 1 cm vastagságú mintáktól származó  $R$  többletbeütéseket úgy, hogy vékony polietilénréteget helyeztünk el a minta belsejében ( $1/4d$ ,  $1/2d$ ,  $3/4d$  pozícióban), alatta és felette. Azt tapasztaltuk, hogy azonos polietilénvastagság esetén az  $R$  nem függ a polietilénfólia helyzetétől, ha az a minta belsejében elosztva vagy  $1/2d$  pozícióban van. Amikor a polietilént a minta alatt vagy felett helyeztük el, az előzőektől kissé eltérő többletbeütést kaptunk (főleg nagyobb fóliavastagságnál). Ez azt jelenti, hogy a mintában egyenletesen elkevert nagy hidrogéntartalmú anyagot a minta közepén ( $1/2d$ ) elhelyezett fóliával jól modellezhetjük. Megmértük az  $R$  többletbeütéseket néhány minta esetén úgy, hogy az  $1/2d$  pozícióban elhelyezett polietilénfólia vastagságát változtattuk (2. ábra).

3. ábra. Az ekvivalens vastagság fogalmához



Ez a mérés több szempontból is érdekes és fontos. Módot ad egyrészt arra, hogy kalibrációs görbét vegyünk fel ismert összetételű, de ismeretlen mennyiségű hidrogént (vagy vizet) tartalmazó minta hidrogéntartalmának megállapításához. A kalibrációhoz használt alapmintával ekkor nem kell homogéneen elkeverni a hidrogéntartalmú anyagot, elég azt egy rétegben annak közepére helyezni. Másrészt a minta és polietilén együttes mérésével lehetővé válik a mintát alkotó atomok vagy molekulák neutron-visszaszórási hatáskeresztmetszetének relatív meghatározása.

Módszert dolgoztunk ki, amellyel lehetővé válik a neutron-visszaszórási hatáskeresztmetszet relatív mérése. Referenciának tekintettük a CH<sub>2</sub> atomcsoport reflexiók hatáskeresztmetszetét. A módszer alapja az a tapasztalatunk, hogy a mintában  $1/2d$  pozícióban elhelyezett polietilén fóliaréteg vastagságának az  $R$  többletbeütés a vizsgált tartományban lineáris függvénye (2. ábra). Formába öntve:

$$R = s d_p + R_T, \quad (5)$$

ahol  $s$  (slope) a meredekség,  $d_p$  a polietilén vastagsága,  $R_T$  a  $\delta$  vastagságú tiszta mintától ( $T$ : target) származó többletbeütés. A vastagságokat itt hosszúság dimenzióban értjük annak ellenére, hogy az ábrán nem így szerepel.

Tekintsük a 3. ábrát, melyen az  $R$  többletbeütés látható a polietilén vastagságának függvényében tiszta polietilén-, valamint rézminta közepébe helyezett polietilén esetében! A  $\delta$  vastagságú tiszta minta esetén mért  $R_T$ , és a  $d_0$  (esetünkben 80 mg/cm<sup>2</sup>, mely körülbelül 0,88 mm-nek felel meg) vastag polietilénnel együtt mért  $R_{T+\text{CH}_2}$  többletbeütések felhasználásával számítsuk ki az egyenes meredekségét:

$$s = \frac{\Delta R}{d_0} = \frac{R_{T+\text{CH}_2} - R_T}{d_0}. \quad (6)$$

Extrapoláljuk az egyenest! Az  $R = 0$  érték esetében kapott  $d_e = |R_T/s|$  polietilénvastagságot nevezzük ekvivalens vastagságnak. Ezt a pozitív tengelyre mérve máris világossá válik a jelentése.

A  $d_e$  ekvivalens vastagság a polietilénfólia azon vastagsága, melynél a polietiléntől a minta jelenlétében származó többletbeütés ugyanannyi, mint az adott vastagságú tiszta mintától származó. Ez – az eltérő meredekség miatt – nem egyenlő a polietilén azon vastagságával, melyet tiszta polietilén mérésével kapnánk.

A fenti meghatározás a következőt jelenti:

$$R_{\text{CH}_2}^T(d_e) = R_T(\delta), \quad (6)$$

ahol a  $T$  felső index azt jelöli, hogy a minta jelenlétében mértük a polietiléntől származó többletbeütést. Az (1) felhasználásával az egyenlőséget így írhatjuk:

$$C N_{\text{CH}_2} d_e \sigma_{\beta, \text{CH}_2} = C N_T \delta \sigma_{\beta, T}, \quad (7)$$

ahol  $C = 10^{-24} \text{ cm}^2/\text{barn}$ ,  $N_{\text{CH}_2}$  és  $N_T$  a polietilén, illetve a minta egységnyi térfogatában levő molekulák száma,  $d_e$  az ekvivalens vastagság,  $\delta$  a minta vastagsága,  $\sigma_{\beta, \text{CH}_2}$  és  $\sigma_{\beta, T}$  a megfelelő neutron-visszaszórási hatáskeresztmetszetek.

Az  $Nd$  helyére a következőt írhatjuk:

$$Nd = \frac{m}{M} N_A \frac{1}{V} d = \frac{N_A}{M} \rho d,$$

ahol  $m$  a tömeg,  $M$  a moláris tömeg,  $N_A$  az Avogadro-szám,  $V$  a térfogat,  $\rho$  a sűrűség,  $\rho d$  pedig nem más, mint a vastagság tömeg/felszín dimenzióban. Ezt a (7)-be helyettesítve kapjuk:

$$\frac{\rho_{\text{CH}_2} d_e}{M_{\text{CH}_2}} \sigma_{\beta, \text{CH}_2} = \frac{\rho_T \delta}{M_T} \sigma_{\beta, T},$$

átrendezve:

$$\sigma_{\beta, T} = \frac{\rho_{\text{CH}_2} d_e}{\rho_T \delta} \frac{M_T}{M_{\text{CH}_2}} \sigma_{\beta, \text{CH}_2}. \quad (8)$$

Ha a minta keverékanyagból áll, a moláris tömeget a következő átlagként számíthatjuk:

$$\langle M \rangle = \frac{\sum_i m_i}{\sum_i \frac{m_i}{M_i}}, \quad (9)$$

ahol  $m_i$  és  $M_i$  rendre a keveréket alkotó  $i$  típusú atomok össztömege és moláris tömege. Keverékanyag esetén a neutron-visszaszórási hatáskeresztmetszet a következő módon áll elő:

$$\langle \sigma_{\beta} \rangle = \frac{\sum_i n_i \sigma_{\beta_i}}{\sum_i n_i}, \quad (10)$$

ahol  $n_i$  és  $\sigma_{\beta_i}$  rendre a keverékben levő  $i$  típusú atomok száma és reflexiós hatáskeresztmetszete.

A fenti módszer alkalmas arra, hogy az ekvivalens vastagság meghatározásával és a (8) felhasználásával az adott mintát alkotó atomok vagy molekulák neutron-visszaszórási hatáskeresztmetszetét relatív módon határozzuk meg,

ahol a polietilénre vonatkozó  $\sigma_{\beta, \text{CH}_2} = 37,6 \pm 1,0$  barn értéket használva referenciaként.

A reflexiós hatáskeresztmetszetek ismeretében bármely  $X$  elemre vagy vegyületre mint referenciára vonatkozó  $d_{e,X}$  ekvivalens vastagság kiszámítható. Ehhez tekintsük a (8) jobb oldalán álló kifejezésben a polietilénre mint referenciára vonatkozó mennyiségeket. Helyettesítsük ezeket az  $X$  elemre vagy vegyületre mint referenciára érvényes adatokkal úgy, hogy a jobb oldal értéke ne változzék:

$$\frac{\rho_{\text{CH}_2} d_{e, \text{CH}_2}}{M_{\text{CH}_2}} \sigma_{\beta, \text{CH}_2} = \frac{\rho_X \delta_{e,X}}{M_X} \sigma_{\beta, X}.$$

Ebből átrendezéssel a következőt kapjuk:

$$\rho_X d_{e,X} = \frac{M_X}{M_{\text{CH}_2}} \frac{\sigma_{\beta, \text{CH}_2}}{\sigma_{\beta, X}} \rho_{\text{CH}_2} d_{e, \text{CH}_2}. \quad (11)$$

Ha például a  $\delta$  vastagságú mintába vezet teszünk referenciaanyagként ( $X = \text{H}_2\text{O}$ ), akkor a (11) egyenlőség adja meg a víz és a már ismert, polietilénre vonatkozó ekvivalens vastagság közötti összefüggést. Ez főként akkor lehet hasznos, ha nem akarjuk, hogy a mintánk vízzel érintkezzen, mégis szükségünk lenne elemzéshez a kalibrációs egyenes felvételére. A tiszta mintára vonatkozó többletbeütés ( $R_T$ ) és a víznek mint referenciának ekvivalens vastagsága elegendő az egyenes meghatározásához.

#### Köszönetnyilvánítás

Köszönetet tartozom és 75. születésnapja alkalmával további jó egészséget kívánok *Csikai Gyula* professzornak, akinek vezetésével a Debreceni Egyetem Kísérleti Fizikai Tanszékén a doktori értekezésemet készítettem 1999 és 2003 között [3]. Jelen cikkben ennek egyik témáját ismertettem röviden.

#### Irodalom

1. J. CSIKAI, CS.M. BUCZKÓ: *The concept of the reflection cross section of thermal neutrons* – Applied Radiation and Isotopes 50 (1999) 487–490
2. E. AMALDI, E. FERMI: *On the absorption and the diffusion of slow neutrons* – Physical Review 50 (1936) 899–928
3. KIRÁLY B.: *Kiterjedt közegek analitikai vizsgálata neutronokkal* – Doktori (PhD) értekezés, Debreceni Egyetem, Természettudományi kar, Debrecen, 2003

## MÁGNESES SZERKEZETEK ÉS FÁZISÁTALAKULÁSOK VIZSGÁLATA NEUTRONDIFFRAKCIÓVAL

Kádár György, MTA Műszaki Fizikai és Anyagtudományi Kutatóintézet  
Krénn Emil, KFKI Számítástechnikai Rt.

Bizonyára sokan egyetértéssel fogadnák azt a kijelentést, hogy a KFKI-ban a szilárdtestfizika professzionális művelése az 1960-as években különleges lendületet kapott. A vizsgált kondenzált anyagok akkoriban elsősorban a kristályos szerkezetű szilárdtestek, azon belül is a mágneses

*Pál Lénárd*nak ajánlva 80-ik születésnapjára.

tulajdonságaik miatt érdekes anyagok voltak. A vizsgálati módszerek tekintetében kiemelt szerepet kaptak a nukleáris kísérleti módszerek, a Mössbauer-effektus, a nukleáris mágneses rezonancia és a neutronszórás, kiegészítve a klasszikusnak számító röntgendiffrakcióval és a makroszkopikus mágneses paraméterek mérésével. Fejlettebb nyugati laboratóriumokat is megjárta fiatal munkatársak a