



# ATOMKI KÖZLEMÉNYEK

26 kötet / 4. szám



MTA

ATOMMAGKUTATÓ INTÉZETE, DEBRECEN / 1984



## ATOMKI Report A/4 (1984)

Isometric Ratio and Cross Section Measurements for Reaction  
 $^{107}\text{Ag}(n,2n)^{106\text{m}}\text{Ag}$  by X-ray and Gamma Detection at a  
Neutron Energy of 14.65 MeV

M. Berrada, A. Reggoug, A. Ait Haddou and M. Viennot  
Nuclear Physical Laboratory, Faculty of Sciences,  
University Mohammed V., P.O.B. 1014, Rabat, Marocco

Abstract: The isomeric cross section ratio for reaction  $^{107}\text{Ag}(n,2n)^{106\text{g}}\text{Ag}$  has been measured by X- and gamma-ray detection at a neutron energy of 14.65 MeV. The weighted mean of the results is  $0.670 \pm 0.038$ . The cross section for isometric state has also been measured. The obtained result is  $604 \pm 48$  mb. A cross section of  $901 \pm 88$  mb has been deduced for the ground state.

## INTRODUCTION

The simultaneous measurement of cross section by detection of X- and gamma-rays allows to check the nuclear data used in each method by comparison of the values obtained [1]. The aim of the present paper is to investigate the reaction  $^{107}\text{Ag}(n,2n)^{106\text{g}}\text{Ag}$  by this method.

## EXPERIMENTAL METHOD

The irradiation were performed at a distance of 7 mm from the tritium target of a T-400 SAMES accelerator. The accelerating voltage was 270 kV. The mean neutron energy was  $(14.65 \pm 0.15)$  MeV due to the  $D^+$  and  $D_2^+$  components of the ion beam [2].

40 mg of highly enriched powdered  $^{107}\text{Ag}$  sample was used for the X-ray technique. A pure natural silver foil with a diameter of 2 cm and a mass of 337 mg was used for the gamma technique. The foil was sandwiched between 2 thin aluminium foils and 2 thin copper foils which were used as monitors.

The X-ray spectra were measured by a hyperpure Ge detector with a diameter of 16 mm, thickness of 7 mm. The thickness of beryllium window was 25  $\mu\text{m}$ . The gamma spectra were measured by a  $67 \text{ cm}^3$  Ge(Li) detector.

For the gamma method the foil was irradiated for 10 min at a constant flux, cooled for 20 min and counted first for 20 min to study the reaction  $^{107}\text{Ag}(n,2n)^{106\text{g}}\text{Ag}$ . The sample was placed 5 cm far from the detector between two cylindrical plastic

plates with a thickness of 1 cm to annihilate the positrons of  $^{106}\text{Ag}$ . The double (511 and 512) keV peak from  $^{106}\text{gAg}$  and  $^{106}\text{mAg}$  was summarised. After 40 h cooling, when  $^{106}\text{gAg}$  practically had been disintegrated, the same foil was counted under the same conditions for 12 h to measure the 512 keV peak of  $^{106}\text{mAg}$  separately. The counting at 5 cm from the detector made the coincidence corrections negligible.

The Al and Cu monitor foils were used to check the contribution of the scattered neutrons originating principally from the cooling water and the target holder. Copper is sensitive to the direct neutrons, only, since the  $^{63}\text{Cu}(n,2n)$  reaction has a threshold of 11 MeV. Aluminium is sensitive, additionally to the scattered neutrons since the  $^{27}\text{Al}(n,\alpha)$  reaction has a threshold of 3.25 MeV.

In the natural foil the  $^{109}\text{Ag}$  is not disturbing because the  $^{109}\text{g,nPd}$  from the reaction  $^{109}\text{Ag}(n,p)^{109}\text{g,mPd}$  is not a positron emitter.  $^{108}\text{Ag}$  from the reaction  $^{109}\text{Ag}(n,2n)^{108}\text{Ag}$  is a weak positron emitter (0.24%) with a half life of 2.4 min. It can be practically eliminated with 20 min cooling. This was confirmed by disappearance of the more intense 633 keV peak from the same decay. The  $^{106}\text{Rh}$  from the reaction  $^{109}\text{Ag}(n,\alpha)^{106}\text{Rh}$  is also not disturbing because of its short half life.

For X-ray method the Pd  $K_{\alpha}$  peak from the electronic capture of  $^{106}\text{g,mAg}$  followed partly by internal conversion and from the positron decay of  $^{106}\text{gAg}$  followed by internal conversion was integrated. Enriched  $^{107}\text{Ag}$  isotope was used to avoid the disturbing effects of reactions  $^{109}\text{Ag}(n,p)^{109}\text{mPd}$  and  $^{109}\text{Ag}(n,2n)^{108}\text{Ag}$  producing Pd  $K_{\alpha}$  X-ray emitters also. This was tested by measuring the gamma spectrum of the irradiated enriched silver sample, where the gamma lines of  $^{109}\text{mPd}$  and  $^{108}\text{Ag}$  were absent, only the gamma lines of  $^{106}\text{g,mAg}$  were observable.

The sample was 1 cm far from the X-ray detector on a plexiglass plate which annihilates the positrons of  $^{106}\text{Ag}$  preventing them from reaching the detector to increase the dead time and to destroy the resolution. The decay of the Pd  $K_{\alpha}$  peak was followed using programmed mode of a multichannel analyser for 15 days. The change in the spectrum during the observation is indicated in Fig. 1.

## RESULTS AND DISCUSSION

To determine the isomeric ratio, only the Pd  $K_{\alpha}$  peak should be measured for the X-ray method and the (511+512) keV double peak for the gamma method. The decay curve of Pd  $K_{\alpha}$  peak shows half lifes of 24 min and 8.46 d belonging to  $^{106}\text{Ag}$  and  $^{106}\text{mAg}$ , respectively. A linear optimization code was used to determine the activities of the above isotopes at the end of the irradiation. For the gamma method the contribution of  $^{208}\text{Tl}$  from the background was subtracted. Thus, the experimental errors were reduced to a minimum corresponding to a relative standard deviation of 1.5% for gamma method and 0.9% for X-ray method due to the statistical errors. The nuclear data used are summarized in Table 1. The relative errors of the present measurements are small compared to the uncertainties of nuclear data which are 6 and 8%. Taking into account these the X-ray

method yields the ratio

$$\frac{\sigma_m}{\sigma_g} = 0.676 \pm 0.045$$

and the gamma method yield the ratio

$$\frac{\sigma_m}{\sigma_g} = 0.658 \pm 0.068$$

The two results are in good agreement confirming the reliability of the nuclear data which have been used.

The weighted mean of the two independent measurement is

$$\frac{\sigma_m}{\sigma_g} = 0.670 \pm 0.038$$

The cross section for isomeric state was measured by gamma method using the aluminium and copper monitors and accepting the nuclear data listed in Table 2.

The errors of the measurements with aluminium and copper monitors are 3 and 1.5%, respectively. These are small compared to the errors of nuclear data which are 6.4 and 7.9%. The results are

$$\sigma_m = (566 \pm 40) \text{ mb using } {}^{27}\text{Al}(n,\alpha) \text{ as a monitor reaction and}$$

$$\sigma_m = (604 \pm 28) \text{ mb using } {}^{63}\text{Cu}(n,2n) \text{ as a monitor reaction.}$$

The difference between these values is larger than allowed by the errors of the measurements. It can be explained by the influence of the scattered neutrons in case of aluminium monitor, therefore the cross section obtained by copper monitor was accepted.

The cross section for ground state was deduced from the isomeric ratio obtained and from the cross section measured for the isomeric state. The results are listed in Table 3 with some literature values for comparison.

Acknowledgements. The authors would like to express their gratitude to Professor J. Csikai for many stimulating discussions concerning this measurement and for constructive criticism of the manuscript.

#### REFERENCES

- [1] A. Reggoug et al., Proceedings of the Nuclear Data for Sciences and Technology Conference, Antwerpen, 6-10 Sept. (1982)
- [2] A. Chiadli, Diplome de 3eme cycle, Faculte des Sciences Rabat (1982)
- [3] B. Harmatz, Nuclear Data Sheets, 30 (1980) 305
- [4] H. Vonach, INDC/NEANDC (1980)
- [5] D. Crumpton, A.J. Cox, J. Inorg. Nucl. Chem. 31 (1969) 1
- [6] B. Minetti et al. Nucl. Phys. A118 (1968) 449
- [7] H. Vonach et al. EANDC(E) 894 (1968) 37
- [8] P. Cuzzocrea et al Nuovo Cimento 54 B1 (1968) 53
- [9] J. Lurec, C.E.A. R.5109 (1981)

Table 1. The X- and gamma-ray intensities accepted from ref. [3]

Transition	Isotope	Intensity (%)
X	$^{106m}\text{Ag}$	$86.13 \pm 2.67$
X	$^{106g}\text{Ag}$	$35.45 \pm 2.03$
$\gamma(512 \text{ keV})$	$^{106m}\text{Ag}$	$88.00 \pm 5.65$
$\beta^+$	$^{106g}\text{Ag}$	$135.10 \pm 10.8$

Table 2. The nuclear data used for the monitor reactions

Reaction	E (keV)	I (%)	$\sigma$ (mb)	Reference
$^{27}\text{Al}(n,\alpha)^{24}\text{Na}$	1368	100	$113.1 \pm 0.4$	(4)
$^{63}\text{Cu}(n,2n)^{62}\text{Cu}$	511	195.6	$603 \pm 28$	(5)

Table 3. The present results with some literature data

$E_n$	$\sigma_m$ (mb)	$\sigma_g$ (mb)	$\sigma_m/\sigma_g$	Ref.	Monitor reaction
14.7	$653 \pm 30$	$870 \pm 40$	0.75	[6]	-
14.7	$599 \pm 20$	$740 \pm 80$	0.81	[7]	$^{27}\text{Al}(n,\alpha)$ , 111 mb
14.67	-	1096		[8]	$^{63}\text{Cu}(n,2n)$ , 469 mb
14.8	603			[9]	$^{27}\text{Al}(n,\alpha)$ , 112 mb
14.65	$604 \pm 48$	$901 \pm 88$	$0.670 \pm 0.038$	present work	$^{63}\text{Cu}(n,2n)$ , 603 mb

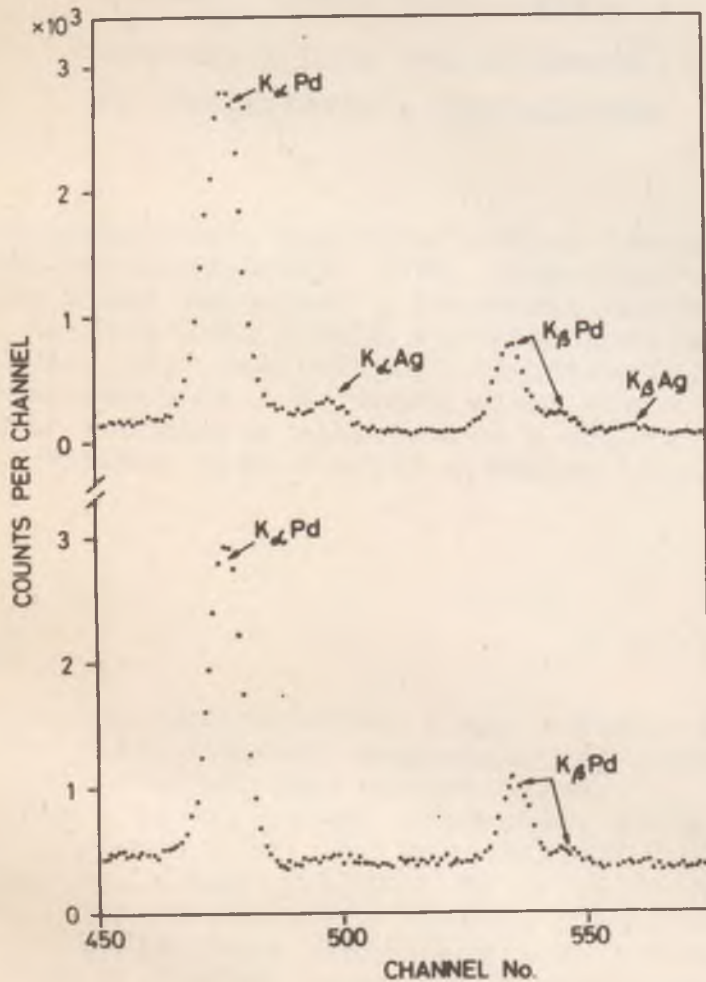


Fig.1. X-ray spectra showing the Pd  $K_{\alpha}$  and Pd  $K_{\beta}$  rays. In the upper spectrum the Ag  $K_{\alpha}$  and Ag  $K_{\beta}$  are present due to the ionisation of silver by positrons from the decay of  $^{106}\text{Ag}$ . According to the lower spectrum these have disappeared with the disintegration of  $^{106}\text{Ag}$  after 13 days cooling time.

Referee: J. Csikai





ATOMKI Riport X/11 (1984)

TUDOMÁNYOS ÜLÉS SZALAY SÁNDOR  
75. SZÜLETÉSNAJJA TISZTELETÉRE

Az MTA Atommagkutató Intézete alapító igazgatója, Szalay Sándor akadémikus tiszteletére 1984. szeptember 27-én egész napos tudományos ülést rendezett a Debreceni Akadémiai Bizottság Székházában. Az ülés ebéd előtti részében hangzottak el a különböző intézmények, régi tanítványok köszöntései. Az alábbiakban ezeknek a köszöntéseknek a szövegét adjuk közre. A szorosabb értelemben vett tudományos előadásokra a délután folyamán került sor. Ezeket a Fizikai Szemle egyik számában közöljük.

## MEGNYITÓ

Berényi Dénes

Szeretettel köszöntöm Önöket a mai tudományos ülésen, amelyet intézetünk Szalay Sándor akadémikus, az ATOMKI alapítója 75. születésnapja tiszteletére hívott össze.

Szalay Sándor tevékenysége, eredményei széles területre sugároztak és sugároznak ki, sok más intézmény és közösség is magáénak vallja őt. A mai alkalomra ők is eljöttek, elküldték képviselőiket, hogy köszöntsék a 75 éves Szalay Sándort.

Először is Tarján Imre akadémikust, az MTA Matematikai és Fizikai Osztályának elnökét kérem fel köszöntőjének elmondására.

## KÖSZÖNTÉSEK

Tarján Imre, akadémikus, az MTA Matematikai és Fizikai Osztályának elnöke

A Magyar Tudományos Akadémia nevében köszöntöm Szalay Sándor professzort, az MTA r. tagját 75. születésnapja alkalmából.

Szalay Sándor kiemelkedő egyéniség a fizika területén. Neve ismert itthon és külföldön. Klasszikus kísérleti fizikus. E sajátosság a tudományos problémák felvetésében és kidolgozásuk módjában egyaránt megmutatkozik. Külön is említésre méltó módszerfejlesztő és műszerépítő beállítottsága. Szalay Sándort a realitások és kevésbé az absztrakciók iránti érzék jellemzi. A problémák, amiket felvetett, mindig igazalmasan aktuálisak, vizsgálatuk végrehajtása szellemesen eredeti volt. Mindennek szép példái a magreakciókra és magszerkezetekre vonatkozó kutatásai ill. eredményei.

Az előbb azt mondtam, hogy Szalay Sándor klasszikus kísérleti fizikus. Ugyanakkor modern is: legalább annyira jellemzője

ugyanis az inter- és multidiszciplináris kutatási stílus. Ezzel kapcsolatban elég utalni az orvoskutatókkal közösen elért eredményeire vagy a humuszsav szerepének felderítésére a mikroelemek (főként a nehéz kationok) beúszulása szempontjából, vagy a primordiális atmoszféra összetételének meghatározására.

Eredményei elsősorban fundamentális kérdésekre vonatkoznak, de Szalay Sándor érdeklődéssel fordult mindig a gyakorlat felé is. A magyar uránkincs felfedezésében játszott szerepe erre is példa. Ennek történetét egyébként szépen dokumentálja a Mecseki Ércbányászati Vállalat muzeumában összeállított anyag.

Szalay Sándor a 30-as évek második felében kezdte el hazánkban a magfizikai kutatásokat. Az egyetemi tanszéken ő honosította meg a magfizikát és ő az ATOMKI alapító igazgatója. Számos tanítványt nevelt, iskolát hozott létre. Debrecen városát ismerik a fizika területén világszerte, és ebben Szalay Sándornak jelentős szerepe van.

Szalay Sándor mindig gondot fordított munkatársai kiválasztására és igényes is volt velük szemben. Véleményének kinyilvánításában ilyen vonatkozásban is nyílt és őszinte volt, gondolom ma is az, köntörfalazás, finomkodás nélkül, érzékenységgel nem mindig számolva. Igényes lehetett, hiszen maga elé is magas követelményeket állított és azért is, mert törődött munkatársaival, sohasem fukarkodott tanácsokkal, nem volt féltékeny tudására. Mindaz, amit előzőleg Szalay Sándor munkásságának jellemzésére mondtam, iskolájára is érvényes, ami így élénk színt ad a hazai fizikus palettán.

Külön öröm számomra, hogy én üdvözölhetem Szalay Sándort. Nagyjából kortársak vagyunk, csak 3 év hibádzik. Az Eötvös Kollegiumban talákoztunk, azután több éven át együtt dolgoztunk még a 30-as években Gyulai Zoltán mellett a Debreceni Orvostudományi Fizikai Intézetben. Sokat tanultam tőle. Ilyen körülmények között nehéz objektívnek lenni. Elfogultságomat bocsássák meg nekem, Szalay Sándor se vegye rossz néven tőlem. Sok esemény, sok probléma, sok élmény közös volt életünkben: a nagy, világot formáló események épp úgy, mint a hazai gondok, aggodás tudományunk mindenkori jelenéért és jövőjéért, a helyes emberi értékrendért, a tudományos utánpótlásért. Tanuja voltam eddigi eredményeinek, sikereinek, fogadja el tőlem annak a jókívánságnak őszinte kifejezését, hogy még sok éven át dolgozzék saját boldogságára és élvezetére, családjára és mindnyájunk örömére.

#### Gyarmati Kálmán, a Hajdu-Bihar Megyei Tanács elnökhelyettese

Debrecen város évszázadokon át arról is híres volt, hogy a szellem fénye messze világított innen, túl a város falain. A táj, az ország és a nagyvilág ismerte ezáltal városunk nevét, jelentőségét.

Köszönhető volt ez mindenkor jeles tudósainknak, művészeinknek, a közélet vezetőinek.

Ebben a sorban méltán emlithetjük Szalay Sándor akadémikus nevét, aki évtizedeken át egyszerre volt Debrecené, az országé, és az egyetemes tudományé. Egyszerre volt kutató, oktató és a közélet munkása. S mindezt tette szerényen, szívós kitartással,

s magas színvonalon. Ezért köszöntöm most születésnapján nagy tisztelettel és köszönettel a párt és a tanács megyei és városi szerveinek képviselőjében. Kivánok számára további hosszú, boldog alkotó életet.

Varga Pálné, Városi Népfrent Bizottság elnöke, Debrecen

A Hazafias Népfrent Hajdu-Bihar Megyei és Debrecen Városi Bizottsága nevében szeretettel és tisztelettel köszöntöm Szalay Sándor akademikust 75. születésnapja alkalmából.

Kivánjuk, hogy még hosszú éveken keresztül maradjon sorainkban, segítse továbbra is munkánkat. Köszönjük a szerteágazó, gyümölcsöző fáradozásait, a sok jó tanácsot, az emberi példamutatást, a lankadatlan hitet a mozgalomban és a sok éves hűséget a mozgalomhoz.

Bognár Rezső akadémikus, a DAB elnöke

Engedtessek meg Nekem, hogy Tarján Imre akadémikusnak az Akadémia III. Osztály elnökének köszöntő és üdvözlő szavai után a Magyar Tudományos Akadémia Debreceni Akadémiai Bizottságának minden tagja és a magam nevében köszöntsem a mi Szalay Sándorunkat 75. születésnapja alkalmából.

Őszinte nagyrabecsüléssel és tisztelettel de ugyanakkor baráti szeretettel is kívánunk Neked kedves Sándor minden jót, erőt egészséget és még sok-sok évig tartó eredményekben gazdag kutató- és alkotó munkát.

Rendkívül eredményes munkásságod ismerete és elismerése mellett meg kell mondanunk azt is, hogy nemcsak a Debreceni Akadémiai Bizottság, de egész Debrecen is, büszke lehet Rád. Köszönjük, hogy munkásságodat végig városunkban folytattad és hogy jó értelemben vett makacs kitartással és célratörő határozottsággal felbecsülhetetlen és elévülhetetlen érdemeket szereztél az ATOMKI megteremtésével és kifejlesztésével. Mind a ketten emlékszünk az akkori nehézségekre és az 50-es évek legelején Vas Zoltán - úgy emlékszem akkori OT elnöke - látogatására, aminek alapján az ATOMKI létesítése lehetővé vált.

Tarján Imrétől hallottuk tudományos munkásságod eredményeinek rövid ismertetését. Ismételten hangsúlyozni kell azt az iskolateremtő tevékenységedet, amelyet kiváló munkatársak kiválasztásával tudtál elérni.

Én személy szerint őszintén csodálom rendkívül széleskörű és sokoldalú tevékenységedet a különböző kutatási területeken.

A neutrínótól a humin anyagokig, a gyorsítóktól a rendkívül fontos nyomelemkutatásokig, az élet keletkezésének problémáitól, a primordiális gázok vizsgálatától magas szintű oktatómunkáig, stb. terjed ki kutatómunkád és érdeklődésed. Szinte azt mondhatnám, hogy a fizika polihisztorának nevezhetjük Szalay Sándort. Sokirányú kutatási tevékenységeddel szinte minden területén maradandót alkottál.

Tudjuk, hogy kutatómunkádat még ma is intenzíven folytatod. Jelenlegi vizsgálataid a primordiális légkörnek és a jelenlegi földi légkörnek az összefüggésére irányulnak az élet evolúciójával kapcsolatban.

Kivánjuk, hogy még hosszú-hosszu évekig töretlenül folytasd eredményes kutatómunkádat és ehhez kívánunk ismételten erőtt egészséget és sok sikert.

Beck Mihály akadémikus, a KLTE rektorhelyettese

Különleges öröm és megtiszteltetés számomra, hogy én tol-mácsolhatom a Kossuth Lajos Tudományegyetem jókivánságait Szalay Sándor akadémikus 75. születésnapja alkalmából.

Szalay Sándor munkássága majd öt évtizede kapcsolódik sok szállal és meghatározó módon Egyetemünkhöz. Nélküle, munkássága nélkül más, csekélyebb értékű lenne az Egyetem egésze, közelebb-ről pedig a Természettudományi Kar és annak Kisérleti Fizikai Tanszéke. A lelkes és lelkesítő előadót épp úgy tiszteljük benne, mint a szenvedélyes kivételesen széles érdeklődésű kutatót. Az Egyetem működésére nemcsak kutató és oktatómunkájának elsődleges eredményeivel hatott, hanem kiváló fizikusok egész sorának nevelésével is, akik ma már sok helyen töltenek be vezető posztokat.

Egyetemünk 1978-ban azzal a kitüntetéssel ismerte el Szalay Sándor akadémikus Egyetemünk szempontjából is kivételes jelentőségű munkásságát, melynek értékét nem csökkentette a gyakori adományozás, hiszen mindössze néhányan mondhatják magukat Egyetemünk Honoris Causa doktorának.

Szívből kívánunk jó egészséget, munkakedvet Szalay akadémikusnak, hogy még hosszú éveken át dolgozzék, érjen el új eredményeket Egyetemünk és az egész magyar tudomány dicsőségére.

Karmassin László, a Debreceni Orvostudományi Egyetem rektora

A Debreceni Orvostudományi Egyetem Tanácsa és dolgozói nevében tisztelettel és szeretettel köszöntöm 75. születésnapján. Professzor Ur igen eredményes, nemzetközi sikerekben gazdag pályafutását egyetemünk Orvosi Fizikai Intézetében kezdte el, rendkívül nehéz és kezdetleges körülmények között, 1935-ben. Ennek az intézetnek volt igazgató professzora, egészen addig az időig, amíg az orvostudományi egyetem önállóvá válásával Professzor Ur a Kossuth Lajos Tudományegyetem Kisérleti Fizikai Tanszékének élére került. Így tehát Professzor Ur munkásságát és tevékenységét egyetemünk is szeretné nagyrabecsöléssel illetni. A Kossuth Lajos Tudományegyetem 1978-ban tartott tanácsülésén Professzor Urat az egyetem disz doktorává avatták, és ezen ünnepi tanácsülésen Professzor Ur a következőket mondta: "Meggyőződésem, hogy a tudományok szakmákra, szakterületekre való felosztása az osztályozó emberi elme szükségszerű, de mesterséges terméke. A szakosodás tehát nélkülözhetetlen. Nincs eléggé a köztudatban azonban, hogy ez a szükségszerű szakosodás végeredményben mégis mesterséges, és tulzásba vitele szükíti perspektivánkat."

Professzor Ur azon időszak alatt, míg az Orvosi Fizikai Intézetet vezette és később is, mint a Kisérleti Fizikai Tanszék igazgatója, munkásságával bizonyította, hogy a szakosodás, a specializálódás nem jelenti mindenképpen a beszükülést, mert

intézetében minden időben adódott lehetőség az orvos-biológiai kutatómunkák végzésére, sőt bizonyos betegségek kezelésében alkalmazott módszerek kidolgozására is.

Ezen ünnepi pillanatban tehát nemcsak az orvosegyetem érdekében végzett oktató-nevelő munkáját szeretném megköszönni, hanem tolmácsolom azoknak a betegeknek a köszönetét is, akiknek gyógyulásához Professzor Ur és intézete mindig készségesen nyújtott segítséget. Ennek kifejezéseképpen szeretném átadni Professzor Urnak egyetemünk legnagyobb elismerését jelentő PRO UNIVERSITATAE érdemérmét, és kívánok mindannyiunk nevében további, sikerekben gazdag évtizedeket.

Loch Jakab, a DATE Mezőgazdasági Karának dékánja

A Debreceni Agrártudományi Egyetem és a DAB Mezőgazdasági Kémiai Munkabizottsága nevében tisztelettel köszöntöm Szalay Sándor akademikust 75. születésnapján.

Köszöntőmben Szalay professzornak az interdiszciplináris kutatások fejlesztése terén kifejtett tevékenységét, az agrárterületen végzett munkásságát szeretném méltatni. Sokoldalú tudományos érdeklődésének köszönhető, hogy szűkebb szakterületének eredményeit más területen is tudta alkalmazni.

Az uránérc kutatások során egyes széntelepeken nagymértékű uránium és egyéb nehézfém feldusulást észlelt. Munkatársaival arra a megállapításra jutott, hogy a nehézfémek feldusulása a szenedés első fázisában az ősi lápokban, tőzegekben jelenlévő huminsavak szorpciós hatására ment végbe. Számos nehézfémre jól definiálható dúsítási állandót sikerült megállapítania.

E felismerés késztette arra, hogy a növényi anyagcsere-folyamatokhoz nélkülözhetetlen mikrotápelemek mennyiségi viszonyait és felvehetőségét vizsgálja a hazai láptalajokon. Vizsgálataiból kitűnt, hogy e talajok az említett tápelemek viszonylag nagy mennyiségben vannak jelen, azonban feltételezte, hogy ezeket a növényeket, erős kötődésük miatt nem tudják felvenni.

A hazai lápterületeken végzett széles körű talaj- és növényvizsgálatok igazolták a feltételezést. Csaknem valamennyi kulturnövénynél és számos vadonélő növénynél Mn- és Cu-hiány volt kimutatható, sok esetben Fe- és Zn-hiány is mutatkozott. A nagy szervesanyag-tartalmú talajokon a növények a talajhoz adott mikrotápelemeket - a huminsavak fémadszorpciója következtében - rosszul hasznosítják, ezért Szalay professzor a permetező trágyázás alkalmazását javasolta. Az e célra kidolgozott permetezőtrágyát hazánkban és külföldön is szabadalmaztatta.

A láptalajok után figyelme a szikes talajok felé fordult. Mivel e talajokon a lugos kémhatás akadályozza a mikroelemek felvételét, itt is a permetező trágyázás alkalmazását javasolta, melynek segítségével az előzetes vizsgálatokkal megállapított mikroelem-hiány megszüntethető és a termés is növelhető.

Különös elismerést érdemel, hogy kutatásai során a talaj-növény-állat táplálkozási lánc vizsgálatára vállalkozott sőt az elmúlt években számos élelmiszer-analizist is végzett. A teljes táplálkozási lánc elemzése napjainkban általánosan elfogadott és megkívánt kutatási megközelítés, azonban nagyon kevés intézményben valósul meg teljesen.

Szalay professzor említett tevékenysége nemcsak sokoldalú tudo-

mányos érdeklődését, hanem nagyszerű szervező és együttműködési készségét bizonyítja. Munkáját az agráregyetemek és más kutatóhelyek, termelőüzemek szakembereivel együtt végezte és ezzel követendő példát állított az interdiszciplináris kutatások művelésére.

Születésnapj jókívánságként azt kívánom, hogy még sokáig munkálkodhassék erőben és egészségben a tudomány javára.

Csikai Gyula,\* akadémikus, KLTE Kisérleti Fizikai Tanszék

A Kossuth Lajos Tudományegyetem Kisérleti Fizikai Tanszékének munkatársai szeretettel köszöntik Professzor Urat 75. születésnapja alkalmából, és ezúton kívánnak további jó egészséget és még sok, tudományos munkálkodásban eltöltött, eredményekben gazdag esztendőt.

\*Távirat. Felolvasta Daróczy Sándor. Csikai Gyula három hónapra Thaiföldre utazott a Chiangma-i Egyetemre, mint szakértő.

Daróczy Sándor, KLTE Kisérleti Fizikai Tanszék

Szalay professzor gyümölcsöző és szerteágazó tudományos tevékenységét, iskolateremtő oktató-nevelő munkáját előttem többen is részletesen ismertették, elemezték, méltatták. Ezek után én csak egy nagyon rövid méltatást merek megengedni magamnak: úgy érzem, nekünk magyaroknak Szalay Sándor Rutherford és Vernádszkij egyszemélyben, s ma már talán valamennyien egyetérthetünk abban, hogy ha csak az egyik lenne a kettő közül, akkor a debreceni, de talán az egész magyar magfizika sem tartana ott, ahol ma tart.

Végül szeretném biztosítani Professzor Urat arról, hogy azok a gondolatok, eszmék, amelyeket több évtizedes munkálkodása során tanszékünkön elhintett, ma is tovább élnek oktató-nevelő és tudományos munkánk szinte minden területén.

Székyné Fux Vilma, KLTE Ásványi- és Földtani Intézete

A KLTE Ásvány- és Földtani Tanszék nevében 75 éves születésnapján tisztelettel köszöntöm. Ugy éreztük, hogy a köszöntők sorából a földtan sem maradhat el. Professzor Ur évtizedek óta kapcsolatban állt Tanszékünkkel. Jól emlékszem, hogy Hoffer András tanszékvezető professzorunk vezetése mellett mint fiatal adjunktus részt vett a Tanszék földtani tanulmányutján és együtt járta be velünk Erdély legszebb részeit, a Gyergyói havasokat.

Hazai nyersanyag kutatásunk szempontjából - hogy csak a legfontosabbakat említsem - úttörők és alapvetők a Földvári Aladár professzorral és Vogl Máriával a Velencei hegységben és a Mecsekben végzett rádióaktív kutatásai. Nemzetközi sikert értek el az urán másodlagos felhalmozódását értelmező kutatásai. Nevéhez fűződik számos kiváló tanítványának akikkel most is együtt dolgozunk, többek között Bacsó Józsefnek, Balogh Kadosá-

nak, Bohátka Sándornak, Kovách Ádámnak, Sámsoni Zoltánnak a földtan felé való irányítása, az ATOMKI és a Magyar Állami Földtani Intézettel kialakult kapcsolat megindítása.

Azt kívánjuk, hogy ez a földtanhoz fűződő kapcsolat és érdeklődés sokáig fennmaradjon.

Engedje meg, hogy születésnapja alkalmából a legelső önálló magyar tudományos egyesület a Magyarhoni Földtani Társulat 125 éves jubileumára készült "MENTE et MALLEO" feliratu jubileumi plakettjét a debreceni geológusok nevében átadjam.

Bencze Gyula igazgatóhelyettes, KFKI Részecske- és Magfizikai Kutató Intézete

Nagy megtiszteltetésnek tartom, hogy én tolmácsolhatom a KFKI főigazgatójának, kutatói kollektívájának és nem utolsósorban magfizikusainak jókívánságait professzor ur 75. születésnapja alkalmából.

Őszintén kívánjuk, hogy jó egészségben folytassa alkotó munkáját, valamint a magyar magfizika érdekében kifejtett tudományos közéleti tevékenységét.

Engedje meg, hogy ez alkalomból átadjam a KFKI emlékérmét, Borsos Miklós szobrászművész alkotását, amely Prometheust ábrázolja. Professzor ur személyében először részesül magyar tudós ilyen elismerésben.

Németh Judit, Eötvös Loránd Fizikai Társulat

Az Eötvös Loránd Fizikai Társulat és a Magfizika és Alkalmazási Szakcsoport nevében szeretettel köszöntöm Professzor Urat hetvenötödik születésnapja alkalmából. Én nem akarom bővíteni azok sorát, akik ismertetik és méltatják Professzor Ur munkásságát, erre vannak nálam alkalmasabbak itt, én csak két dolgot szeretnék külön kiemelni, amire én mindig külön elismeréssel gondoltam Professzor Ur tevékenységében. Az egyik az a tény, hogy munkásságának színhelyéül Debrecent választotta, és sikerült elérnie azt a nagyon ritka eredményt, hogy egy vidéki városban a maga területén a budapestivel egyforma (ha nem magasabb szintű) intézet, illetve kutatógárda jöjjön létre. Azt hiszem, mindannyian tudjuk, hogy ez milyen nehézséggel járt, és milyen energiát illetve áldozatkész munkát igényelt, mennyivel könnyebb lett volna ehelyett Pestre mennie és ott dolgozni valahol. Sajnos, ilyen vidéki iskolateremtésre nagyon kevés példát ismerünk hazánkban.

A másik figyelemre méltó Professzor Urnál az a lendület, amivel állandóan a fizika új és új határterületei felé fordult. Eredményeit mindannyian jól ismerjük, de kicsit érdemes elgondolkozni azon a fiatalos szellemen, amelyik korát meghazudtoló módon nemcsak hajlandó új területeket felderíteni, de ezeket a területeket a fizikus közvélemény számára is érdekessé tudja tenni. A fizikus vándorgyűléseken mindig nagy érdeklődéssel vártam Szalay Professzor Ur előadásait, mert megszoktam, hogy élvezetes élményben lesz részem. Remélem, még sokáig lesz módunk

arra, hogy az új és új területekre merészkedő előadásában gyönyörködhetünk, és ezekre a területekre esetleg követhessük is. Minden jót kívánok még egyszer Professzor Urnak a Fizikai Társulat, az Eötvös Egyetem és végül a saját nevemben is.

### Medveczky László, ATOMKI Debrecen

Legrégibb tanítványaid és munkatársaid nevében köszöntelek 75-ik születésnapod alkalmából és kívánom a legjobbakat.

Engedd meg, hogy szubjektív legyek és őszintén megvalljam, fejtörést okozott nekünk, hogy mivel lepjünk meg ez alkalommal. Valami egyedit és ezen alkalomra szólót szerettünk volna kitálatni. Arról le kellett mondanunk, hogy ajándékunk szimbolizálhassa mindazt, amit Tőled tanultunk, mert az olyan sok és sokféle. Végül az az elgondolás győzött, hogy portrédat és a debreceni fizikai iskolát alkotó akadémiai és egyetemi intézet épületeinek madártávlati képét komponálja össze Prim Zoltán ötvösművész egységes domborműben.

Kérlek fogadd a megemlékezés e jelét és maradj még közöttünk jó egészségben, a Tőled megszokott alkotó kedvvel nagyon sokáig.

### Berényi Dénes

Szalay Sándor kutatási stílusa és kutatói magatartása kétségkívül számos intézményre hatott, tanítványai és volt munkatársai ma szerte az országban, sőt az országhatárokon kívül is különböző tudományterületeken dolgoznak.

Az is kétségtelen azonban, hogy mindezen intézmények közül kiválik az ATOMKI mint - talán szabad így mondani - "legédesebb" gyermeke, mint kutatásainak és kutatói magatartásának legfőbb letéteményezője és továbbvivője, mint Szalay Sándor életművében a legnagyobb és legfontosabb alkotás. Ez az az intézet, ahol Szalay professzor ma is dolgozik.

Amikor ennek az intézetnek a nevében köszöntöm Szalay akadémikust akaratlanul is személyes emlékek merülnek fel bennem. Eszembe jut az a pincehelyiség - az óvóhely - a Kisérleti Fizikán, amely a későbbi ATOMKI jelentős részének otthont adott az ötvenes évek legelején. Ott volt a vákuumtechnika, a béta-spektroszkópia, a neutron generátor, a szomszédban a Wilson-féle ködkamra.

De eszembe jutnak azok a szombat délutáni beszélgetések is Professzor Urral az épület előtti padon, amelyek engem elindítottak kutatói pályámon. Nem lehet elfelejteni a professzori szobában az asztalt körülülve tartott szemináriumokat, amelyen összesen 8-an, 10-en vettünk részt a demonstrátorokkal, tehát még hallgatókkal együtt és ahová nagy öröm és megtiszteltetés volt bebocsáttatni. Vagy ki ne emlékezne, aki részese volt, mint fiatal tanársegéd a késő estébe, éjszakába nyúló közös munkának Professzor Urral és közben a vacsorának is a professzori családi asztalnál, hiszen Professzor Ur bent lakott az egyetemi intézetben, az ő élete egy volt az intézettel.

Régi és új munkatársak, fiatalok és öregek, más-más emlékeket, köztük nem egy anekdotát őrzünk Szalay professzor urról.



Messzeható kutatói egyéniségének látható eredményei és köztük elsősorban az ATOMKI, az ATOMKI eredményei és elismertsége külföldön és belföldön, önmagukért beszélnek.

Ezekkel a gondolatokkal kívánok az ATOMKI kollektívája nevében még sok, eredményes boldog évet és nyujtom át megemlékezésképpen az ATOMKI emblémával ékesített gyűrűt.



## ATOMKI Riport X/12 (1984)

## A MAGANYAG\*

Sailer K.

KLTE Kisérleti Fizikai Tanszék, Debrecen

Áttekintést nyernek a maganyag elméletének újabb eredményei. A normálállapotú maganyagra vonatkozó elméleti számítások eredményei és a mérési adatok közti eltérés okát a soktest-feladat megoldására alkalmazott közelítő módszerek nagymérvű tökéletesedésének köszönhetően elsősorban a valódi többtest-erők (a nem nukleonikus szabadsági fokok) figyelmen kívül hagyásában kell keresnünk. Az utóbbi időben a nehézion-reakciók kapcsán előtérbe került a nem normálállapotú maganyag állapotegyenletének és feltételezett fázisátalakulásainak a kísérleti és elméleti vizsgálata.

## BEVEZETÉS

Az utóbbi évtized alatt a maganyag elméletében lényeges előrelépés figyelhető meg. A közepesen nehéz és nehéz atommagok középponti anyagának kísérleti vizsgálatából ismeretes, hogy zérus hőmérsékleten a maganyag telítettsége  $\rho_0 = (0,156 \pm 0,015) \text{ fm}^{-3}$  sűrűségnél következik be, amikor az egy nukleonra eső kötési energia a sűrűség függvényében a minimális  $\epsilon_0 = (-16 \pm 1) \text{ MeV}$  értéket veszi fel. Az ilyen, ún. normálállapotban lévő maganyag  $K$  "kompresszibilitását" a közelmúltban meghatározták ( $K_0 = (210 \pm 30) \text{ MeV}$ ), és ezzel újabb mérési adattal bővültek a normálállapotú maganyagra vonatkozó ismereteink.

A normálállapotú maganyag leírására használt elméleti modellek nemrelativisztikus sokrészecske-rendszernek tekintik a maganyagot, a nukleonokat pedig pontszerűeknek. Az elméleti számítások bemenő adataként különböző fenomenológikus NN-potenciálokot használnak, amelyek a kétnukleon-rendszerre vonatkozó kísérleti ismereteinket helyesen írják le és csak az energiahéjon kívüli viselkedésükben különböznek egymástól. Az elméletnek ez ideig nem sikerült az ismert fenomenológikus NN-potenciálok egyikével sem reprodukálnia a maganyag normálállapotát a kísérletileg megfigyelt  $\rho_0$ ,  $\epsilon_0$ ,  $K_0$  értékekkel, s így egyelőre az sem lehetséges, hogy a különböző fenomenológikus NN-potenciálok közül kiválasszunk egyet (v. többet), amely(ek) a maganyag normálállapotát is helyesen írja (írják) le. Ennek ellenére a soktest-feladat megoldása során alkalmazott közelítéseket az utóbbi évtizedben sikerült annyira tökéletesíteni, hogy ma már bizonyosak lehetünk, az elmélet és kísérlet közötti eltérés oka nem az alkalmazott közelítő módszerek pontatlansá-

---

\*Az 1985. januári Magfizikai Téli Iskola előadásának anyaga

gában keresendő. A kezdeti próbálkozások eredményei valószínűsítik, hogy az eltérés megszüntethető a valódi többtest-erők figyelembevételével, amelyek a nukleonokon túl olyan további szabadsági fokokkal is számolnak a maganyagban, mint a nukleonok gerjesztett állapotai (pl.  $\Delta$ -rezonanciák) és a mezonok. A valódi többtest-erőket figyelembevevő következetes elmélet kidolgozása a jövő feladata.

Itt jegyezzük meg, hogy az utóbbi években fedezték fel az un. EMC-jelenséget, amelynek lényege, hogy a nukleonokon belül a kvarkok impulzuseloszlása megváltozik, ha a nukleon beépül az atommagba. Az EMC-jelenség azt sugallja, hogy a kvark szabadsági fokok közvetlen szerepet játszanak a normálállapotú maganyagban is. Ugyanakkor kísérleti és elméleti indítékok vannak arra nézve, hogy a nukleonok sugara kb. lfm, ami azt jelenti, hogy a normálállapotú maganyagban a nukleonok egymással érintkező v. egymást átfedő kvarkzsákok. Mindez felveti egy olyan elméleti modellt kifejlesztésének igényét, amely a maganyagban a nukleonokat kiterjedt objektumoknak tekinti és valamilyen módon közvetlenül veszi figyelembe a kvark szabadsági fokokat [1].

Az utóbbi évtized eredménye az is, hogy a nagyenergiájú nukleon-atommag- és nehézion-ütközések kísérleti megvalósítása lehetővé tette, hogy a maganyagot a normálállapottól lényegesen különböző, magas hőmérsékletű állapotokban is előállíthassuk laboratóriumi körülmények között. Ezáltal lehetővé vált a maganyag állapotegyenletének széles hőmérséklet- és sűrűség-intervallumban történő vizsgálata. A nem zérus hőmérsékletű végtelen maganyagra vonatkozó elméleti jóslatok szerint a maganyagnak különböző fázisai lehetségesek, amelyekben az állapotegyenlet (az energiasűrűség sűrűségfüggése) különböző. Az elmélet  $T \approx 20$  MeV hőmérséklet és  $\rho_0$  sűrűség esetén folyadék-gáz típusú elsőrendű fázisátalakulás lehetőségét jósolja. Ugy tűnik, hogy egy ilyen fázisátalakulás következményeit meg is figyelték nagyenergiájú nukleon-atommag- és nehézion-ütközések során keletkező fragmentek tömegeloszlásában. A maganyag többi jóslott fázisának létezésére egyelőre nincsenek kísérleti bizonyítékaink. A normálállapotú maganyag tulajdonságai alapján az állapotegyenlet nem extrapolálható egyértelműen nem zérus hőmérsékletekre, ezért az elmélet további fejlődéséhez elengedhetetlenül szükséges az állapotegyenlet kísérleti vizsgálata a nehézion-reakciók révén. Így lehet reményünk a maganyag esetleges, eddig nem detektált fázisátalakulásainak kimutatására is.

## I. A zérus hőmérsékletű normál maganyag

### I.1. Mérhető fizikai jellemzők

A végtelen maganyag azonos számú neutronból és protonból ( $N=Z$ ) álló végtelen térfogatu ( $V \rightarrow \infty$ ) közeg, amelyben a nukleonok száma  $A=N+Z$  a térfogattal úgy tart végtelenhez ( $A \rightarrow \infty$ ), hogy közben a nukleonsűrűség állandó marad, vis.  $\rho=A/V=\text{áll.}$  A protonok közötti Coulomb-kölcsönhatást definíció szerint elhanyagoljuk.

A nehéz atommagok középpontjában uralkodó nukleonsűrűség a tömegszámtól független. Ezt a jelenséget a magerők telített-sűrűségének nevezzük, és a nehéz magok középpontjában uralkodó sűrűséget a zérus hőmérsékletű, normálfázisu maganyag egyensúlyi állapotában felvett  $\rho_0$  sűrűségével azonosítjuk. A zérus hőmér-

sékletű, normálállapotú maganyag termodinamikai egyensúlyi állapotát (hőszigetelés és zérus külső nyomás esetén) normálállapotnak nevezzük.

A normálállapotú maganyag sűrűségét nagyenergiájú elektronok nehéz atommagokon történő rugalmas szóródásának differenciális hatáskeresztmetszetéből lehet meghatározni:  $\rho_0 = (0,156 \pm 0,015) \text{fm}^{-3}$  [2]. Az atommagok középponti sűrűségének meghatározása szempontjából a nagy impulzusátadással járó szórási folyamatok a lényegesebbek, amelyekben azonban a nukleonok és az elektron közötti elektromágneses kölcsönhatás jelentősen módosul a nukleonok közti kölcsönhatást közvetítő mezonok hatására (a mezon-kicserélő áramok hatására). A mezonkicserélő áramok hatása elméletileg nem teljesen tisztázott, s ez korlátozza a  $\rho_0$  sűrűségre vonatkozó becslések pontosságát. A normálállapotú maganyag egy nukleonra eső kötési energiáját a tömegformula térfogati tagjának együtthatója adja meg:  $\epsilon_0 = -16 \text{MeV} \pm 1 \text{MeV}$ .

A maganyag "kompresszibilitása" a  $\rho = \rho_0$  pontban,

$$K_0 = 9\rho^2 \cdot \delta^2 \epsilon / \delta \rho^2 |_{\rho_0},$$

az egy nukleonra eső kötési energia sűrűségfüggését (vis. az  $\epsilon(\rho)$  görbe görbületét) határozza meg az energiaminimum környezetében. A "kompresszibilitás" becsülhető az atommagok óriás monopol-rezonanciáinak energiájából [3], ill. nehézion-reakciókban emittált negatív pionok multiplicitásának méréséből [4]:

$$K_0 = (210 \pm 30) \text{keV} [3], \quad K_0 = 240 \text{ MeV} [4].$$

## I.2. Az elméleti értelmezés

A maganyagot tulajdonságainak elméleti értelmezése során nem-relativisztikusan mozgó pontszerű nukleonok rendszerének szokás tekinteni. Az elméleti leírás egyik célja: Az ismert nukleon-nukleon potenciálok a két-nukleonrendszerre vonatkozó mérési adatok felhasználásával lettek megalkotva, így azok egymástól alapvetően csak az energiahéjon kívüli viselkedésükben különböznek egymástól. A maganyagon belül azonban a nem energiahéjon vett nukleon-nukleon kölcsönhatás is szerepet játszik. Ezért várható, hogy az energiahéjon azonos viselkedésű fenomenológikus nukleon-nukleon potenciálok közül kiválasztható egy vagy néhány olyan, amelyiknek az energiahéjon kívüli viselkedése lehetővé teszi a normálállapotú maganyag fizikai tulajdonságainak ( $\rho_0$ ,  $\epsilon_0$ ,  $K_0$ ) elméleti reprodukálását.

Az 1. ábrán pontok jelölik az egy nukleonra eső kötési energia és a nukleonsűrűség azon összetartozó értékeit, amelyeknél a ma ismert legjobb félempirikus nukleon-nukleon potenciálok felhasználásával végzett számolások a maganyag normálállapotát jósolják [5]. Az ábrán nyíl mutatja, hogy az egyik esetben hogyan módosul az eredmény, amikor az alkalmazott közelítő számolásban a numerikusan számottevő magasabb rendű korrekciókat is figyelembe veszik. Hasonló értelmű módosulás a többi esetben is várható. A maganyag normálállapota a mérési adatok szerint az 1. ábrán bekeretezett tartományba esik. Az ábráról látható, hogy az elmélet az energiahéjon illesztett

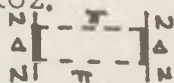
nukleon-nukleon potenciálok alapján egyelőre nem tudja megmagyarázni a normálállapotú maganyag tulajdonságait.

Az elméleti számolások és a mérések eredményei közti eltérés okát kereshetjük:

- a/ a nukleon-nukleon kölcsönhatás pontatlan ismeretében,
- b/ a soktest-feladat megoldása során alkalmazott közelítések nem megengedett voltában,
- c/ a valódi többtest-erők elhanyagolásában.

a/ Valószínűtlennek tűnik az a magyarázat, hogy a nukleon-nukleon kölcsönhatás pontatlan ismerete okozza az elméleti számolások és a mérések eredményei közötti eltérést. Ennek ellenére a fenomenológikus mezonkicserélő potenciálokkal szemben bizonyos fenntartások fogalmazhatók meg. Az egyik az, hogy a nukleonok kvarkszerkezete miatt a nukleon-nukleon kölcsönhatás bizonyosan nem lokális. Amíg a mezonkicserélő potenciálok a rövid hatótávolságú nukleon-nukleon kölcsönhatást csak erősen fenomenológikusan írják le, addig egy tökéletesebb elméleti leírásnak a nukleonok kvarkszerkezetét is figyelembe kell vennie. A szabad kétnukleon-rendszerre vonatkozó ismeretek azonban egy ilyen nukleon-nukleon "potenciálra" is erős megszorítást jelentenek, s így valószínűtlen, hogy ennek felhasználása a maganyag-számítások eredményében lényeges változást okozna. Itt érdemes megjegyezni, hogy számos indíték van arra nézve, hogy a nukleonok átmérője összemérhető a nukleonok közötti átlagos távolsággal a normálállapotú maganyagban [1]. Ezért elképzelhető, hogy a maganyag leírásának feladatát új alapokon kell tárgyalni, amikor a nukleonok kiterjedtségét és a kvarkszabadsági fokok szerepét már a maganyag Hamilton-operátorában explicit módon figyelembe vesszük.

A mezonkicserélő nukleon-nukleon potenciálokkal kapcsolatban meg kell jegyeznünk, hogy azokban (főként az egyszerűség kedvéért) a nukleon-nukleon kölcsönhatás energiafüggése el van nyomva. Ugyanakkor pl. a kétpion-cserés folyamat  $\Delta$ -járuléka lényeges energiafüggést okoz.



Az ilyen, nem nukleonikus szabadsági fokokat is figyelembe vevő kéttest-erők csak a többtest-erőkkel együttesen vehetők következetesen figyelembe, ezért szerepükre a c/ pontban még visszatérünk.

b/ A maganyag elméleti leírását célzó magfizikai soktest-feladat megoldásában lényegében két közelítő módszer nyert széleskörű alkalmazást [2]: a Bethe-Brueckner-Goldstone-módszer (BBG) [5,7] és a variációs módszer (V) [8,9].

A BBG-módszer a nukleonok közötti kölcsönhatás  $V$  potenciális energiáját perturbációnak tekinti és a  $|\phi_0\rangle$  alapállapotú maganyag  $\mathcal{E}$  energiáját a Schrödinger-féle perturbációs sor alapján számolja

$$\mathcal{E} = \mathcal{E}_0 + \langle \phi_0 | V | \phi_0 \rangle + \langle \phi_0 | V (\mathcal{E}_0 - H_0)^{-1} P V | \phi_0 \rangle + \dots ,$$

ahol  $H_0$  ill.  $\mathcal{E}_0$  a kölcsönhatásmentes nukleongáz Hamilton-operátora ill. alapállapotú energiája, és  $P = 1 - |\phi_0\rangle\langle\phi_0|$  [10]. A perturbációs sor tagjai diagramokkal ábrázolhatók. Goldstone

tétele értelmében az alapállapot  $\epsilon_0$  energiájának kiszámolásakor elegendő csak az összefüggő gráfok járulékait összegezni. A nukleonok taszító törzse miatt a perturbációs sor egyes tagjainak nagysága erősen ingadozik. Az energia közelítő számolása ezért csak úgy lehetséges, ha a sor végtelen részsorozatai közül összegezzük a lényegeseket. A diagrammokat a független lyukvonalak száma szerint osztályozzuk és külön-külön összegezzük az  $n=2,3,4\dots$  független lyukvonalat tartalmazó gráfok részsorozatit, amelyek járuléka az egy nukleonra eső kötési energiához  $D_n$ ; vis.  $\epsilon = \epsilon_0/A = \epsilon_0/A + D_2 + D_3 + D_4 + \dots$

Ez a sor lényegében a  $\rho$  nukleonsűrűség növekvő hatványai szerint halad, mivel minden független lyukvonal impulzusa szerint integrálni kell a Fermi-gömbre az egyes diagrammok járulékanak kiszámolásakor. A BBG-módszer természetesen módon figyelembe veszi, hogy a Fermi-tengerben lévő két nukleon a Pauli-elv miatt csak a Fermi-szint fölé szóródhat. A Pauli-elv és a maganyag polarizációja miatt módosul a nukleonok közti kölcsönhatás és az egy-nukleon-állapotok energiája is.

A különböző közelítések következetes számolása érdekében a sokrészecskés Schrödinger-egyenletet átfogalmazták csatolt-klaszteres egyenletek rendszerévé. A számolást háromlyukvonalas közelítésben egzaktul elvégezték néhány fenomenológikus nukleon-nukleon potenciállal és a négylyukvonalas diagrammok járulékat is megbecsülték [5]. Az eredmények a posteriori igazolták a diagrammoknak a független lyukvonalak száma szerinti osztályozását:  $D_2/D_3 \approx D_3/D_4 \approx 0,15-0,20$  adódott. Az 1. ábrán kétlyukvonalas közelítés eredményei vannak feltüntetve, míg a nyíl a négylyukvonalas közelítés eredményét mutatja.

A V-módszerben a maganyag leírására olyan  $\Psi$  próbahullámfüggvényt használunk, amely nukleon-nukleon korrelációs operátorok és a kölcsönhatásmentes Fermi-gáz  $\phi$  hullámfüggvényének szorzata:

$$\Psi = F \phi, \quad F = \prod_{i,j} f(r_{ij}),$$

és a rendszer alapállapotú energiáját a

$$\frac{\langle \phi | F^+ H F | \phi \rangle}{\langle \phi | F^+ F | \phi \rangle} = \frac{\langle \Psi | H_0 | \Psi \rangle + \langle \Psi | V | \Psi \rangle}{\langle \Psi | \Psi \rangle}$$

várható érték minimalizálása révén határozzuk meg. A korrelációs operátor csak olyan korlátok között variálható, amelyet a potenciális energia kiszámítására alkalmazott közelítések megengednek. A potenciális energia várható értékét a  $g(r_{12})$  két-részecskés eloszlás-függvénnyel lehet kifejezni, amelynek kiszámolására a fermionokra vonatkozó hiperhálós láncközelítés (FHNC) nyert széleskörű alkalmazást [2,8]. Megjegyzendő, hogy az FHNC-közelítés a variációs elvtől függetlenül kerül alkalmazásra, és így az energia várható értékére kapott minimális érték nem tekinthető az energia felső korlátjának. Ennek ellenére spin-izospinfüggő párkorrelációk, valamint a próbafüggvényben implicit módon bennfoglaltakon túli háromnukleon-korrelációk explicit figyelembe vétele esetén a variációs módszer meglehetősen jól egyező eredményt ad a négylyukvonalas BBG-számolások eredményével. Ugyanazon fenomenológikus nukleon-nukleon potenciált használva a V-módszer  $\rho_0 = 0,303 \text{ fm}^{-3}$ ,  $\epsilon_0 = -17,11 \text{ MeV}$  esetén [11], a BBG-módszer négylyukvonalas közelítésben

$\rho_0 = (0,223 \pm 0,015) \text{ fm}^{-3}$ ,  $\epsilon_0 = (-17,3 \pm 1,5) \text{ MeV}$  esetén [5] jósolja a maganyag normálállapotát.

A soktest-feladat megoldására szolgáló BBG- és variációs módszer tehát a módszerek közti lényeges elvi különbségek ellenére jól egyező eredményt szolgáltat. Így a soktest-feladat megoldására alkalmazott közelítő módszerek elegendően pontosaknak tekinthetők ahhoz, hogy a maganyagra vonatkozó elméleti számolások eredménye és a mérési adatok közötti eltérés okát ne a közelítő módszerekben keressük.

c/ Az eddig elmondottak alapján valószínűnek látszik, hogy a maganyagra vonatkozó elméleti számolások eredményei és a mérési adatok közti eltérés okát abban kell keresni, hogy a maganyagban a nem nukleonikus szabadsági fokok közvetlenül is szerepet játszanak, és olyan további kéttest-erőket eredményeznek, amelyek korábban nem lettek figyelembe véve. Azt várjuk, hogy ezek az erők a  $\rho_0$  normál nukleon-sűrűségnél megnövelik a maganyag számolt, egy nukleonra eső kötési energiáját.

A modern fenomenologikus nukleon-nukleon potenciálok figyelembe veszik a kétpion-kicserélődési járulékokat. A diszperziós elmélet lehetővé teszi az izobár-közbenső állapotok járulékanak következetes számolását a  $\pi N$ - és  $\pi\pi$ -szórás kísérletileg ismert fázistolásainak felhasználásával. A maganyagban azonban a  $\Delta$ -rezonanciák (akárcsak a nukleonok) alá vannak vetve a Pauli-elvnek és az energiájuk is megváltozik a közeg polarizációja miatt. Ezeket az effektusokat a fenomenologikus nukleon-nukleon potenciálok nem veszik figyelembe. Hatásuk azonban a nukleonok közti effektív kölcsönhatás taszító jellegének erősödésében nyilvánul meg. Itt jegyezzük meg, hogy az izobár és mezon-szabadsági fokok az egypion-cserés folyamathoz is járulékot adnak: módosítják a pion-tömegét és a pion-propagátort. Ez a járulék azonban elhanyagolható, ami azzal kapcsolatos, hogy a maganyagban a legegyszerűbb egypion-cserés folyamat járuléka a kötési energiához zérus. A valódi háromtest-erők a kölcsönhatás első rendjében az egypion-cserés folyamat fenti korrekciójával egyenértékűek, ezért lényeges járulékot csak a kölcsönhatás második rendjében adnak.

A kéttest-erők korrekciójának és a valódi háromtest-erőknek együttesen történő következetes figyelembevételére pl. történhet azon az alapon, hogy mind a kéttest-, mind a háromtest-erőket kapcsolatba hozzuk a pszeudofizikai  $NN + \pi\pi$  amplitudó iterálásával a t-csatornában, miközben biztosítjuk az  $NN + \pi\pi$  amplitudók összhangját a  $\pi N$ -szórásra vonatkozó mérési eredményekkel.

A valódi többtest-erők következetes figyelembe vételére a maganyag királis, relativisztikus térelméleti leírása ugyancsak lehetőséget nyújt. [6,19,20] Ugyanakkor a többtest-erők leglényegesebb hatása a fenomenologikus nukleon-nukleon potenciálok használó, hagyományos maganyag-számolásokban szintén reprodukálható úgy, hogy a  $\sigma$ -mezonnak a potenciálban szereplő tömegét sűrűségfüggőnek tekintjük [2]. A térelméleti számolásokat azonban általában átlagtér-közelítésben lehet elvégezni, s ennek az az ára, hogy az elméletben szereplő csatolási állandókat nehéz kapcsolatba hozni a szabad részecskék csatolási állandóival.

Az eddigi számolásokból [2,6,11,19,20] véleményem szerint egyenlőre annyi látszik, hogy a valódi többtest-erők beépítése



a maganyag modelljébe olyan paraméterek felléptét vonja maga után, amelyek alkalmas megválasztása révén a normálállapotra vonatkozó elméleti számolási eredmények és a mérési eredmények egyezése elérhető.

## II. A maganyag állapotegyenlete, fázisátalakulásai

A nehézion-gyorsítók épülésével megnyílt a lehetőség, hogy földi, laboratóriumi körülmények között tanulmányozzák a nem normálállapotú maganyag viselkedését. A nehézion-reakció véges idő alatt lejátszódó bonyolult folyamat, így nem triviális, hogy bizonyos reakciótermékek fizikai jellemzőit mérve a folyamat egészéről vagy csak valamelyik szakaszáról, esetleg pillanataról szerzünk tudomást. Így az állapotegyenletre általában csak közvetve, a reakciómodell-számolások és a mérések eredményeinek összehasonlításából lehet következtetni.

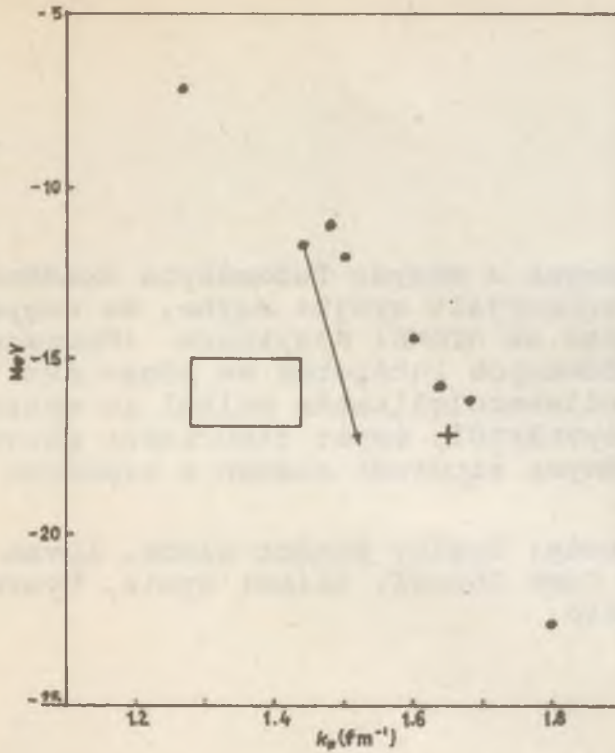
A végtelen kiterjedésű maganyagra vonatkozó fenomenologikus térelméleti modellek és a kvantumszindinamika alapján az elmélet azt jósolja, hogy a maganyagnak különböző fázisai vannak [12] (2. ábra). A normálállapot a normálfázisu maganyag egy állapota. A  $T < 15$  MeV hőmérsékleteken és  $\rho < \rho_0$  sűrűségek esetén a maganyag állapotegyenlete a reális gázok Van der Waals-egyenletére emlékeztet: létezik egy kritikus hőmérséklet, amely alatt elsőrendű fázisátalakulás lehetséges a normálfázisból (folyadék) a gáz-fázisba [13,14]. Az ábrán bevonalkázott tartományban a két fázis egyszerre létezhet. Nagyon valószínű, hogy a 100 GeV-os protonok által kiváltott magreakciókban és a 10-1000 MeV/nukleon energiákon lezajló nehézion-reakciókban a reakciótermékként keletkező atommagok tömegeloszlása a folyadék-gáz fázisátalakulás következményeit mutatja [15,16]. Számos munka szól emellett, hogy a normálsűrűség néhányszorosa és nem túl magas hőmérséklet esetén a normálfázisu maganyag pion-kondenzált fázisba alakulhat át, amelyben a nukleonok a véges várható értékű piontér hatására spin-izospin szerint rendezett "kristályrácsot" hoznak létre [17,18]. Végül magas hőmérsékleten és/vagy nagy sűrűségek esetén megszűnhet a kvarkbezárás. A feltetelezés szerint ekkor a maganyag szabad kvarkok és gluonok "tengerévé", kvarkgluon-plazmává válik.

A maganyag állapotegyenletének, esetleges fázisátalakulásaiban a nehézion-reakciók révén történő vizsgálata általános érvényű kérdéseket is felvet a véges szabadsági fokú, nem egyensúlyi rendszerek statisztikus fizikai viselkedésével kapcsolatban [16]. Ha elfogadjuk, hogy a nehézionreakció során végbemennek fázisátalakulások, akkor ezek - a klasszikus fizikában megszokott esetekkel ellentétben - olyan rendszerben zajlanak le, amely nincsen termodinamikai egyensúlyban. Meglehet, hogy a termikus vagy/és a kémiai egyensúly beáll a folyamat során, de a mechanikai biztosan nem. További fontos körülmény, hogy nehézion-reakciókban csak néhány száz részecske vesz részt, míg a fázisátalakulások klasszikus példáiban nagyságrendben  $10^{23}$  részecskét tartalmazó rendszerekkel van dolgunk. A szabadsági fokok véges száma miatt jelentős lehet a rendszert jellemző termodinamikai mennyiségek fluktuációja és ezért a fázisátalakulás nem mindig jelentkezik olyan élesen mint végtelen szabadsági fokú rendszerekben.

## IRODALOM

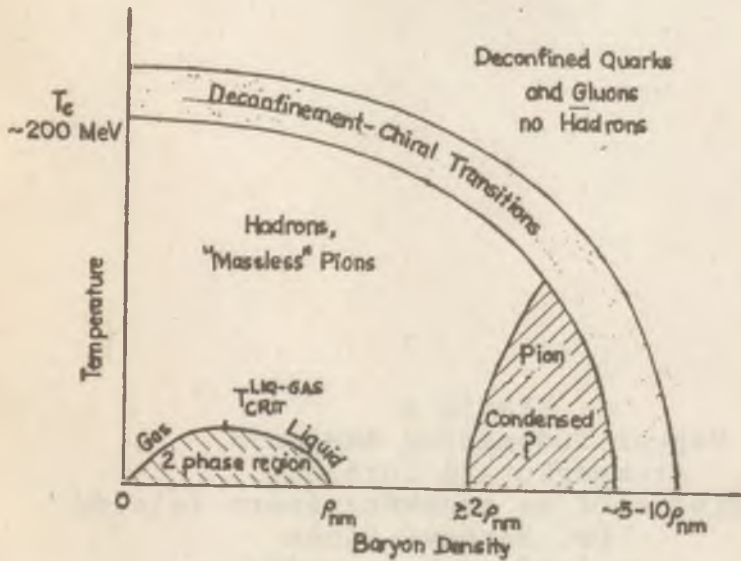
1. A.W. THOMAS, Adv. Nucl. Phys. 13 (1984), 1
2. A.D. JACKSON, An. Rev. Nucl. Part. Sci. 33 (1983), 105
3. J.P. BLAIZOT et al. Nucl. Phys. A265 (1976), 315
4. R. STOCK et al. Phys. Rev. Lett. 49 (1982), 1236
5. B.D. DAY Proc. of the Int. School of Phys. "E.FERMI", 1981, North-Holland, Amsterdam, 1
6. J. BOGUTA, H. STOCKER, Phys. Lett. 120B (1983), 289
7. B.D. DAY, Rev. Mod. Phys. 50 (1978), 495
8. S. ROSATI, Proc. of the Int. School of Phys. "E.FERMI", 1981, North-Holland, Amsterdam, 73.
9. J.W. CLARK, Prog. Part. Nucl. Phys., Vol2, 1979, Pergamon Press, Oxford; (ed. D. WILKINSON), 89
10. BALAZS E, KISDI D., MFF XVIII (1970), 197
11. I.E. LAGARIS, V.R. PANDHARIPANDE, Nucl. Phys. A359 (1981), 349
12. G. BAYM, Proc. Int. Workshop on Gross Properties of Nuclei and Nuclear Excitations XII (1984. Darmstadt, GSI) ISSN-0720-8715, 79.
13. B. FRIEDMAN, V.R. PANDHARIPANDE, NP A361 (1981), 502
14. I. LOVAS, GY. WOLF, Prep. KFKI-1984-24.
15. A.D. PANAGIOTON et al. Phys. Rev. Lett. 52 (1984), 496.
16. A.L. GOODMAN, J.I. KAPUSTA, A.Z. MEKJIAN LBL-16471 Preprint, 1983
17. M. RHO, D. WILKINSON, Mesons in Nuclei Vol. III. Amsterdam, North-Holland, 1979.
18. T.E.O. ERICSON, Proc. Int. School Phys. "E.FERMI", 1981, North-Holland, Amsterdam, 277.
19. A. BOUYSSY et al., Nucl. Phys. A422 (1984), 541
20. J. BOGUTA, Phys. Lett. 120B (1983), 34

Szakmai lektor: Lovas István



1. ábra

A maganyag normálállapota  $k_F = (3\pi^2 \rho_0 / 2)^{1/3}$ ,  $\epsilon_0$  / kétlyukvonalas BBG-közelítésben [5] / $\circ$ / és variációs módszerrel [11] /+/ Számolva különböző NN-potenciálok esetén. A nyíllal jelölt négylyukvonalas BBG-számolással [5] és a variációs módszerrel kapott eredmény ugyanahhoz az NN-potenciálhoz tartozik.




2. ábra

A maganyag fázisdiagrammja/[12] alapján /.

Az ATOMKI Közlemények a Magyar Tudományos Akadémia Atommagkutató Intézetének riportjait gyűjti egybe, és negyedévenként jelenik meg. Terjeszti az ATOMKI Könyvtára (Debrecen, Postafiók 51, 4001). Tudományos intézetek és könyvtárak kiadványaikért cserébe vagy ellenszolgáltatás nélkül is megrendelhetik. Egyes számokat a Könyvtártól, egyes riportokat közvetlenül a szerzőktől (gyűjteményes riportok esetén a riportok szerkesztőtől) lehet kérni.

Szerkesztő Bizottság: Szalay Sándor elnök, Lovas Rezső titkár, Berényi Dénes, Cseh József, Csikai Gyula, Gyarmati Borbála és Medveczky László.



Kiadja a  
Magyar Tudományos Akadémia  
Atommagkutató Intézete  
A kiadásért és szerkesztésért felelős  
Dr. Berényi Dénes  
az intézet igazgatója

Készült a Kinizsi Szakszövetkezet  
Nyomdájában

Törzsszám: 65758

Példányszám: 220

Debrecen, 1984. december



# ATOMKI KÖZLEMÉNYEK

Volume 26 / Number 4.

## CONTENTS

M. Berrada, A. Reggoug, A. Ait Haddou and M. Viennot: Isometric Ratio and Cross Section Measurements for Reaction $^{107}\text{Ag}(n,\text{zn})^{108}\text{mAg}$ by X-ray and Gamma Detection at a Neutron Energy of 14.65 MeV	201
Tudományos Glés Szalay Sándor 75. szüle- tésnapja tiszteletére	207
Sailer K.: A maganyag	217