

- 
- [A13] A. Csótó and G. M. Hale, Nature of the first excited state of  ${}^4\text{He}$ , Phys. Rev. C**55**, 2366 (1997).
- [A14] R. Pichler, H. Oberhammer, A. Csótó, and S. A. Moshkowsky, Three-alpha structures in  ${}^{12}\text{C}$ , Nucl. Phys. A**618**, 55 (1997).
- [A15] A. Csótó, B. F. Gibson, and G. L. Payne, Parity conserving  $\gamma$  asymmetry in n-p radiative capture, Phys Rev. C**56**, 631 (1997).
- [A16] A. Csótó and K. Langanke, Effects of  ${}^8\text{B}$  size on the low-energy  ${}^7\text{Be}(p, \gamma){}^8\text{B}$  cross section, Nucl. Phys. A**636**, 240 (1998).
- [A17] A. Csótó and K. Langanke, Large-space cluster model calculations for the  ${}^3\text{He}({}^3\text{He}, 2p){}^4\text{He}$  and  ${}^3\text{H}({}^3\text{H}, 2n){}^4\text{He}$  reactions, Nucl. Phys. A, in press.
- [A18] A. Csótó and G. M. Hale, Search for excited states in  ${}^3\text{H}$  and  ${}^3\text{He}$ , Phys. Rev. C, in press.
- [A19] A. Csótó, On the three-body continuum spectrum of  ${}^6\text{He}$ , nucl-th/9807016.

# Néhánytest-dinamika atommagokban és magreakciókban

Csótó ATTILA

*Eötvös Loránd Tudományegyetem*



Budapest, 1999. január

## Az értekezés témaköréből megjelent közlemények

- [A1] A. Csótó, Neutron halo of  ${}^6\text{He}$  in a microscopic model, *Phys. Rev. C* **48**, 165 (1993).
- [A2] A. Csótó, Proton skin of  ${}^8\text{B}$  in a microscopic model, *Phys. Lett. B* **315**, 24 (1993).
- [A3] A. Csótó and D. Baye, Microscopic description of the beta delayed deuteron emission from  ${}^6\text{He}$ , *Phys. Rev. C* **49**, 818 (1994).
- [A4] A. Csótó, Three-body resonances by complex scaling, *Phys. Rev. C* **49**, 2244 (1994).
- [A5] A. Csótó, Three-body resonances in  ${}^6\text{He}$ ,  ${}^6\text{Li}$ , and  ${}^6\text{Be}$ , and the soft dipole mode problem of neutron halo nuclei, *Phys. Rev. C* **49**, 3035 (1994).
- [A6] A. Csótó, K. Langanke, S. E. Koonin, and T. D. Shoppa,  ${}^7\text{Be}(p, \gamma){}^8\text{B}$  cross section and the properties of  ${}^7\text{Be}$ , *Phys. Rev. C* **52**, 1130 (1995).
- [A7] B. A. Brown, A. Csótó, and R. Sherr, Coulomb displacement energy and the low-energy astrophysical  $S_{17}$  factor for the  ${}^7\text{Be}(p, \gamma){}^8\text{B}$  reaction, *Nucl. Phys. A* **597**, 66 (1996).
- [A8] A. Csótó, H. Oberhammer, and R. Pichler, Searching for three-nucleon resonances, *Phys. Rev. C* **53**, 1589 (1996).
- [A9] A. Csótó and K. Langanke, Parity-violating  $\alpha$ -decay of the 3.56-MeV  $J^\pi, T=0^+$ , 1 state of  ${}^6\text{Li}$ , *Nucl. Phys. A* **601**, 131 (1996).
- [A10] A. Csótó and S. Karataglidis, Low-energy M1 strength in the  ${}^7\text{Li}(p, \gamma){}^8\text{Be}$  reaction, *Nucl. Phys. A* **607**, 62 (1996).
- [A11] A. Csótó and G. M. Hale, S-matrix and R-matrix determination of the low-energy  ${}^5\text{He}$  and  ${}^5\text{Li}$  resonance parameters, *Phys. Rev. C* **55**, 536 (1997).
- [A12] A. Csótó, Off-shell effects in the energy dependence of the  ${}^7\text{Be}(p, \gamma){}^8\text{B}$  astrophysical S factor, *Phys. Lett. B* **394**, 247 (1997).

4e. Vizsgáltam a  ${}^3\text{H}({}^3\text{H}, 2n){}^4\text{He}$  és  ${}^3\text{He}({}^3\text{He}, 2p){}^4\text{He}$  folyamatokat. Megállapítottam, hogy egy hipotetikus alacsonyenergiájú rezonancia jelenléte a  ${}^3\text{He}({}^3\text{He}, 2p){}^4\text{He}$  reakcióban, amely jelentősen módosítaná az elméletileg jóslott  ${}^7\text{Be}$  és  ${}^8\text{B}$  Nap-neutrínó-fluxusokat, megkérdőjelezhetően valószínűtlen.

5a. Meghatároztam a  ${}^6\text{Li}$  mag  $0^+$  állapotának paritásértő alfa-bomlási szélességét. Rámutattam, hogy az  $\alpha + p + n$  modelltérén túli szabadsági fokok jelentősen befolyásolják az eredményt.

5b. Meghatároztam a polarizált hideg neutronoknak hidrogénezen történő befogásakor jelentkező paritásörző gamma-aszimmetriát. Eredményeimet egy olyan kísérlet tervezésében használták fel, amelyben a paritásértő  $\pi - N$  csatolási állandót kívánják megmérni. Eredményeim alapján tervezzik a hideg neutronok vizsgálatánál használandó polarizációs monitor építését is.

Vizsgálataim alapkutatás jellegűek, így főként a magfizika belső fejlődéséhez járulnak hozzá. Ezen belül is elsősorban a nukleon-nukleon kölcsönhatás természetének jobb megismerésében, valamint a néhánytest-dinamika és a soktest-dinamika közötti átmenet felderítésében játszanak szerepet. Eredményeim közül néhány közvetlenül alkalmazásra került az asztrofizikában és a gyenge kölcsönhatások fizikájában.

Az itt bemutatott eredmények jelentős nemzetközi visszhangot váltottak ki. Az [A1–A19] cikkekre (original research papers) 1999 januárjáig 211 független (alien) hivatkozást kaptunk, amelyből a rám eső rész 168. A rendszeresen frissített publikációs és hivatkozási adataim megtalálhatók az interneten, a <http://nova.elte.hu/~csoto> honlapon. Ugyanitt elérhetők a cikkek, az értekezés és a PhD-disszertációm tartalma, továbbá előadások anyaga és más hasznos információk.

## Kutatási feladatok

Az elmúlt évtizedben a hagyományos magfizikai kutatások jelentős része a stabilitástól távoli magtartományok felé tolódt el. Ezt a folyamatot a radioaktív nyalábok megjelenése indította el, és ma is az ilyen nyalábokon végzett vizsgálatok jelentik a fő hajtóerőt. A radioaktív nyalábokon végzett egyik legelső kísérletsorozat rögtön szenzációk felismeréséhez vezetett. Mint kiderült, a mag neutron-halo szerkezetének felismeréséhez vezetett.  ${}^{11}\text{Li}$  magban az utolsó két neutron egy rendkívül kiterjedt, kis sűrűségű neutronfelhőt (halo) alkot a kompakt és stabil magoknál megszokott szerkezetű  ${}^9\text{Li}$  törzs körül. A  ${}^{11}\text{Li}$  egy olyan valódi háromtest-rendszernek bizonyult ( ${}^{11}\text{Li} = {}^9\text{Li} + n + n$ , ahol nincs kötött kéttest-alrendszer), amely a távoli két külső neutronjával inkább emlékeztet a He atomra, mint egy hagyományosan megszokott atommagra.

A halo-magok a megszokottól eltérő tulajdonságaikkal és viselkedésükkel kiváló példát jelentenek arra az esetre, amikor a magszerkezet leírásában nem az átlagtér, hanem a néhánytest-dinamika játssza a főszerepet. A héjmodell fundamentális volta és nagy sikerei a magfizikában az átlagtér-koncepción alapuló gondolkodásmódot tették általanossá. Az elmúlt 10–15 év magfizikai kutatásainak, közöttük a radioaktív nyalábok vizsgálatának az egyik legfőbb általános tanulsága viszont az, hogy a könnyű és/vagy stabilitástól távoli magok esetén, ahol néhány dinamikai szabadsági fok általában kitüntetett fontossággal bír, a néhánytest-dinamika precíz kezelése elengedhetetlen. Ilyen problémákkal kapcsolatos vizsgálataim eredményeit foglalom itt össze.

Téziseim négy egymással összefüggő területet tárgyalnak: néhánytest-rendszerek rezonanciái, stabilitástól távoli halo-magok szerkezete, asztrofizikai jelentőségű magreakciók és nukleáris paritásértés. Az általam használt modellek mikroszkopikusak, azaz a problémákat a nukleonok szintjére lebontva kezelik.

Magfizikai néhánytest-rendszerekben jelen lévő rezonanciák vizsgálata nagy fontossággal bír a nukleon-nukleon kölcsönhatás természetének megismerésében, valamint a néhánytest-dinamika és a soktest-dinamika közötti

kapcsolat felderítésében. A könnyű atommagokbeli állapotoknak csak elenyészően kis része kötött állapot, a többi instabil rezonanciaállapot. Ennek ellenére a hagyományos elméleti módszerek egy része kötött állapotként kezelte ezeket a struktúrákat, más részük pedig a szórási viselkedésből igyekeztek információt nyerni tulajdonságaikról. A kísérleti analízisek zöme a hagyományos  $R$ -mátrix-leírást használja, amely konstrukciójánál fogva csak bizonyos speciális állapotok (egycsatornás, keskeny, izolált rezonanciák) esetén képes megalapozott és bizonytalanságoktól mentes eredményeket szolgáltatni. Mind a hagyományos elméleti leírás, mind pedig a kísérleti analízisek zöme az esetek nagy részében képtelen a rezonanciaállapotok valódi természetének megértésére. Célnl tűztük ki ezért egy olyan módszer kidolgozását és alkalmazását, amely a rezonanciákat a szórási mátrix szingularitásaként lokalizálva, ezen állapotok legfőkéleesebb leírását képes adni. Téziseimben a könnyű atommagokbeli rezonanciaállapotok korrek leírására indított programunk első eredményeit mutatom be.

Az elméleti megszerkezeti kutatások számára napjainkban az egyik legnagyobb kihívást az újonnan felfedezett halo-magok leírása jelenti. Azok a magok, amelyekben a halot egyetlen neutron (vagy esetleg proton) alkotja viszonylag könnyebben kezelhetők, és a legfőbb problémát a törzs belső szerkezetére és gejeszthetősége jelenti. A háromtest-szerkezetű halo-magok esetén az elméletnek valamennyi alrendszer helyesen kell leírnia, továbbá képesnek kell lennie a háromtest-probléma precíz kezelésére. Az alrendszerekre vonatkozó kísérleti adatok viszonylagos hiánya, és a  ${}^9\text{Li}$  törzs könnyű gerjeszthetősége a  ${}^{11}\text{Li}$  elméleti vizsgálatát nagyon megnehezíti. Szerencsére létezik egy, a  ${}^{11}\text{Li}$  maggal teljesen analóg mag, a  ${}^6\text{He}(= {}^4\text{He} + n + n)$ , ahol ezek a problémák nem jelentkeznek. Célnl tűztük ki ezért a  ${}^6\text{He}$  mag neutron-halo szerkezetének, béta-bomlásának, és kontinuum-spektrumának a tanulmányozását. Vizsgálataink és eredményeink úttörőnek számítórtak, és modellink jelenleg is az elérhető legjobb leírások között található.

Az első olyan mag, amelyben proton halo jelenlétét gyantították a  ${}^8\text{B}$  volt. Célnl tűztük ki ennek tanulmányozását is.

A közelmúltban kifejlesztett radioaktív nyalábokon végzett vizsgálatok legfontosabb területe a nukleáris asztrofizikához kapcsolódik. Az ősröbábanban, a csillagokban és a szupernovákban lejátszóó nukleoszintézisben rengeteg olyan magreakció vesz részt, amely stabilitásától távoli magokon

3b. Meghatároztam a  ${}^6\text{He}$  mag béta-késleketett deuteronkibocsátási valószínűségének energiafüggvényét. Rámuttertam, hogy a  ${}^6\text{He}$  mag halo-aszimptotikájára jelentős szerepet játszik az  $\alpha + d$  állapotba történő bomlás valószínűségének lecsökkentésében.

3c. Realisztikus mikroszkopikus modellt használva első ízben sikerült megérőstíenem azt a kísérleti jóslatot, hogy a  ${}^8\text{B}$  mag proton haloval rendelkezik. Rámuttertam, hogy a  ${}^8\text{B}$  nagy kvadrupólmomentumáért részben a könnyen deformálódó  ${}^7\text{Be}$  törzs a felelős.

3d. Rámuttertam, hogy a neutron-halo magokbeli, úgynevezett puha dipólus állapotok létezésének mi az egyértelmű és csallatatlan bizonyítéka. Ennek alapján megmutattam, hogy a  ${}^6\text{He}$  magban nincs jele ilyen állapotnak. Első ízben reprodukáltam az  $A=6$  magok ismert háromtest-rezonanciáit egy mikroszkopikus modellben.

4a. Megmutattam, hogy a nagyenergiájú Nap-neutrínók fluxusát meghatározó  ${}^7\text{Be}(p, \gamma){}^8\text{B}$  termikus reakció-hatáskeresztmetszet értékét első-sorban az effektív  ${}^7\text{Be}-p$  potenciál sugara befolyásolja. Ennek alapján kimutattam, hogy a zérus energiájú asztrofizikai  $S$ -faktor,  $S_{17}(0)$ , erős korrelációban van bizonyos méhétéő  ${}^7\text{Be}$  és  ${}^8\text{B}$  tulajdonságokkal. Ezeket a korrelációkat felhasználtam  $S_{17}(0)$  értékének a becsléséhez.

4b. Úgy találtam, hogy a gyakran használt  ${}^7\text{Be} + p$  potenciálmódelllben  $S_{17}(0)$  a  ${}^8\text{Li} - {}^8\text{B}$  Coulomb-eltolódási energiával szoros kapcsolatban áll. Meghatároztam egy, kísérleti vizsgálatokban nagyon hasznosnak bizonyult összefüggést  $S_{17}(0)$  és a valenciaproton-eloszlás sűrűsége között.

4c. Megmutattam, hogy a  ${}^7\text{Li}(n, \gamma){}^8\text{Li}$  reakció termikus hatáskeresztmetszetének több évtizedes problémáját a  ${}^7\text{Li} + n$  szórásbeli off-shell effektusok egyszerűen képesek magyarázni. Felhívтам a figyelmet az off-shell effektusoknak az  $S_{17}(E)$  asztrofizikai  $S$ -faktor energiafüggését befolyásoló hatására is.

4d. Vizsgáltam a  ${}^7\text{Li}(p, \gamma){}^8\text{Be}$  reakcióban alacsony energián kísérletileg észlelt jelentős  $MI$  erősség természetét. Megérőstítettem azt a jóslatot, hogy az  $MI$  erősség egy magasan fekvő rezonancia alacsonyenergiájú szármáyától ered.

tásssértéssel (5) kapcsolatban végeztem kutatásokat. Konkrét eredményeim a következők:

1. Továbbfejlesztettem egy módszert kéttest-problémák szórási mátrixainak a komplex energiasíkra történő direkt analitikus folytatására. Egy kéttest-rendszer rezonanciáinak vizsgálatában használt módszert továbbfejlesztettem háromtest-rendszerre. Rámutattam, hogy a háromtest-rendszer rezonáns kéttest-alrendszerei látszólagos struktúrák megjelenéséhez vezethetnek a háromtest-kontinuumban.
- 2a. Megjósoltam egy háromneutron- és háromproton-rezonancia létét a  $J^\pi = 3/2^+$  állapotban. Úgy találtam, hogy más parciális hullámokban nincsenek jelen rezonanciák.
- 2b. Megtaláltam a  $^3\text{H}$  és  $^3\text{He}$  atommagok “gerjesztett állapotait”. Ezek olyan virtuális állapotok, amelyek energiában a  $d + N$  küszöb alatt fekszenek, de ebben a csatornában nem kötöttek.
- 2c. A  $^{12}\text{C}$  mag összes ismert alacsonyenergiájú, természetes paritású állapotát sikerült reprodukálni egy olyan három-alfa modellben, amely az  $\alpha + \alpha$  alrendszereket a kísérleti rezonanciaenergia adja. Elsőként adtam szigorú bizonyítékát annak, hogy az asztrofizikailag fontos  $0_2^+$  állapot a  $^{12}\text{C}$  mag valódi belső állapota.
- 2d. A  $^4\text{He}$  mag  $0_2^+$  állapotát első ízben sikerült egy realiztikus mikroszkopikus modellben azonosítani a  $^3\text{H} + p$  és  $^3\text{He} + n$  küszöbök között. Az általam meghatározott rezonanciaparaméterek jó egyezésben vannak a kísérleti adatok kiterjesztett  $R$ -mátrixos analíziséből jövő eredményekkel.
- 2e. A  $^5\text{He}$  és  $^5\text{Li}$  magok alacsonyan fekvő rezonanciáinak a paramétereit a szórási mátrixok póluspozícióiból határoztam meg. Eredményeim megerősítik a kiterjesztett  $R$ -mátrix-modell jóslatait, ugyanakkor rámutatnak a hagyományos  $R$ -mátrixos leírás korlátaira.
- 3a. Elsőként sikerült a  $^6\text{He}$  mag kétneutron-szeparációs energiáját realiztikus mikroszkopikus modellben reprodukálnom. Ezt a  $^3\text{H} + ^3\text{H}$  csatorna bevételel értem el. Kimutattam, hogy a  $^6\text{He}$  magban egy nagy kiterjedésű neutron halo van jelen.

megy végbe, s így ezidáig nem vagy csak elvétve volt tanulmányozható. Különösen érdekesek a Napunk belsejében zajló energia- és neutrínótermelő magreakciók. A Napból jövő neutrínók fluxusára vonatkozó elméleti jóslatok és kísérleti eredmények közötti eltérés, az úgynevezett Nap-neutrínó-probléma, mintegy három évtizede ismeretes. Az utóbbi években ez a kezdetben csak apróbb diszkrepanciának tűnő jelenség olyan súlyos problémává vált, hogy jelenleg ezt az effektust tekintik a Standard Modellel túli fizika létezésére (véges neutrínó tömeg) utaló legmegalapozottabb (és jelenleg szinte egyetlen) jelzésnek. Ahhoz azonban, hogy a jelzésből szilárd bizonyíték legyen, fontos, hogy a Napunk működését leíró modellek szilárd alapokon nyugodjanak. A Nap-modellek bemenő adatai közül a napbeli energia- és neutrínótermelő magreakciók hatáskeresztmetszeit a magfizika szolgáltatja. Az egyik legfontosabb, és ezzel együtt legbizonytalanabb magfizikai bemenő adat a  $^7\text{Be}(p, \gamma)^8\text{B}$  reakció hatáskeresztmetszete, amely a nagyenergiájú Nap-neutrínók fluxusát határozza meg. Részletesen vizsgáltuk ezt a folyamatot és néhány ezzel kapcsolatos problémát azzal a céllal, hogy az elméletileg jószolt hatáskeresztmetszet bizonytalanságait megértsük és csökkentjük.

Egy másik igen fontos napbeli magreakció a  $^3\text{He}(^3\text{He}, 2p)^4\text{He}$  folyamat, amely a napbeli magreakció-lánc neutrínótermelő és neutrínómentes ágának egyensúlyát határozza meg. Egy alacsony energián esetleg jelenlévő hipotetikus rezonancia a Nap-neutrínó-fluxusokat jelentősen befolyásolná. Ennek a problémának a vizsgálatát is célul tűztük ki.

Az elemi részeket és kölcsönhatásaikat leíró Standard Modell egyik legkevésbé ismert területe a gyenge kölcsönhatás nem különös (nonstrange) hadronikus szektorbeli viselkedése. Noha az ezzel kapcsolatos jelenséget, a nukleáris paritásértést negyven éve megjósolták, és időközben számos kísérletben ki is mutatták, a nukleonok közötti gyenge kölcsönhatás kvantitatív megértése továbbra is várat magára. Ennek oka egyrészt az erős kölcsönhatás elméletének (QCD) a nem perturbatív régióbeli rendkívüli bonyolultsága, másrészt a nukleáris paritásértést vizsgáló kísérletekben a gyenge kölcsönhatás jelét elnyomó, erős kölcsönhatástól jövő háttér jelenléte. A nukleáris paritásértéssel kapcsolatos kutatások egyik alapvető célja a paritásértő nukleon-mezon csatolási állandók meghatározása. Célul tűztük ki két paritásértő magfolyamatnak, a  $^6\text{Li}$  magbeli  $0^+$  állapot alfa-bomlásának és a polarizált hideg neutronoknak protonokon történő

befogásakor megjelenő gamma-aszimmetriának a tanulmányozását. Cé-  
lunk az, hogy bizonyos jellemzők (paritásértő bomlási szélesség, illetve  
paritásörző gamma-aszimmetria) elméleti meghatározásával a csatolási ál-  
landók mérésére irányuló kísérleti erőfeszítéseket támogassunk.

## Módszerek és vizsgálatok

Az általunk vizsgált valamennyi probléma olyan természeti, hogy egy  
vagy két szabadsági fok kiütemített fontosságú, azaz a tanulmányozott  
magok mindegyike alapvetően két- vagy háromtest-rendszer. A magok-  
nak ezt a néhánytest-dinamikáját precízen kezeljük, az esetleges további  
szabadsági fokokat pedig a mikroszkopikus klasztermodell keretei között  
vesszük figyelembe. A klasztermodell feltételezi, hogy bizonyos magok  
hullámfüggvénye nagy sűrűvel tartalmaz olyan komponenseket, amelyek a  
magnak két-három klaszterre való tagozódását írják le. A klasztereken  
belüli kvantumállapotokat viszonylag egyszerű harmonikusoszillátor-álla-  
potoknak választva, a soktest-mátrixelemek számolása lényegesen leegyszer-  
rűsíthető. A klasztermodellbeli konfigurációkat természetesen a lényeges  
szabadsági fokokkal összhangban kell megválasztanunk.

Vizsgálatainkban a néhánystest-dinamika szintjén kötött-, szórás- és re-  
zonanciaállapotok vannak jelen, ezért az ilyen állapotok leírására precíz  
módszerekkel kell rendelkezniünk. Precíz módszereken olyan eljárásokat  
értünk, amelyek numerikusan tetszőlegesen pontosá (azaz numerikusan  
egzakttá) tehetőek.

Két- és háromtest-rendszerek kötött állapotainak leírására a variációs  
elven alapuló, négyzetesen integrálható bázison történő sortfejtés módszerét  
(WFE – wave function expansion) alkalmazzuk. Bizonyos fizikai mennyi-  
ségek (például sugárzásos befogási reakciók alacsonyenergiájú hatáskereszt-  
metszete) a hullámfüggvények igen nagy távolságú részleteire is érzékenyek.  
Ilyen esetekben a kéttest-aszimptotikájú kötött állapotokat a Stegert-féle  
variációs módszerrel határozzuk meg, amely garantálja a helyes aszimpt-  
otikát.

A kéttest-aszimptotikájú szórás állapotok leírására a Kohn-Hulthén-  
féle variációs módszert használjuk, amely az aszimptotikát szintén kor-

rektül kezeli. Az egyetlen olyan vizsgálatunkban ahol háromtest-szórásai  
végállapot lép fel, a kontinuumdiszkretizált csatolt csatornák módszerét  
alkalmazzuk. Erről a módszerről, noha igen sok megbízható eredményt  
érték el vele az irodalomban, nem bizonyítható, hogy numerikusan tetsző-  
legesen pontosá tehető, így eredményünk a legjobb esetben is csak közeli-  
tőnek tekinthető. Általában is elmondható, hogy numerikusan tetsző-  
eredményeink jóságát és megbízhatóságát a kísérletekkel való összevetésből  
mérhetjük le leginkább.

A rezonanciákat a szórásai mátrix szingularitásain keresztül azonosítjuk.

A szórásai mátrix póhúsainak meghatározására két, részben általunk kidol-  
gozott módszert használunk. Kéttest-aszimptotikájú szórás esetén a szórásai  
mátrix analitikusan folytatható a Riemann-féle komplex energiatelittletre,  
ahol szingularitásai lokalizálhatók. Egy másik lehetőséget kínál a komplex  
skalázási transzformáció használata. Egy ilyen transzformációnak alávetve  
a Schrödinger-egyenletet, elérhető, hogy a rezonanciaállapotok hullámfügg-  
vénye négyzetesen integrálhatóvá váljon. Ekkor a kötött állapotok esetén  
használt bázissortfejtéses módszerhez nagyon hasonló eljárás alkalmazható  
a rezonanciaállapotoknak mint általánosított sajátállapotoknak a megha-  
tározására. Ez a módszer mind kéttest-, mind pedig háromtest-rendszerek  
esetén működőképes.

A kötött-, szórás- és rezonanciaállapotok hullámfüggvényeinek megha-  
tározása után további fizikai mennyiségek várható értékei is számolhatók.  
Mivel mikroszkopikus modelleket használunk, így a várható értékek meg-  
határozása soktest-mátrixelemek számolásához vezet. Az ilyen számítások  
technikai részleteiről számos leírás létezik (közöttük a PhD-disszertáción),  
ezért erre részletesebben nem térünk ki.

## Tudományos eredmények

Kutatásaim során módszereket dolgoztam ki és fejlesztettem tovább két- és  
háromtest-rendszerek kötött-, szórás- és rezonanciaállapotainak leírására  
(1). Ezeket a módszereket használva, néhánystest-rendszerek rezonanciái-  
nak polológiai vizsgálatával (2), könnyű, stabilitástól távoli magok szerke-  
zetével (3), asztrófizikai jelentőségű magreakciókkal (4) és nukleáris pari-