

NÉHÁNY EREDMÉNY AZ ATOMKI ELMÚLT 6 ÉVES MAGSZERKEZETI KUTATÁSAIBÓL

Sohler Dóra
MTA Atomki

2018. szept. 1.

16. Magfizikus Találkozó, Jávorkút

Magyszerkezeti kutatások

➤ Egzotikus N/Z arányú atommagok:

- Stabilitási sávtól távoliak
- Héjzáródások fejlődése
- Deformált szigetek kialakulása

➤ Egzotikus mozgásformák:

- Stabilitási sávhoz közel helyezkednek el
- Háromtengelyűen deformált atommagokban fellépő jelenségek

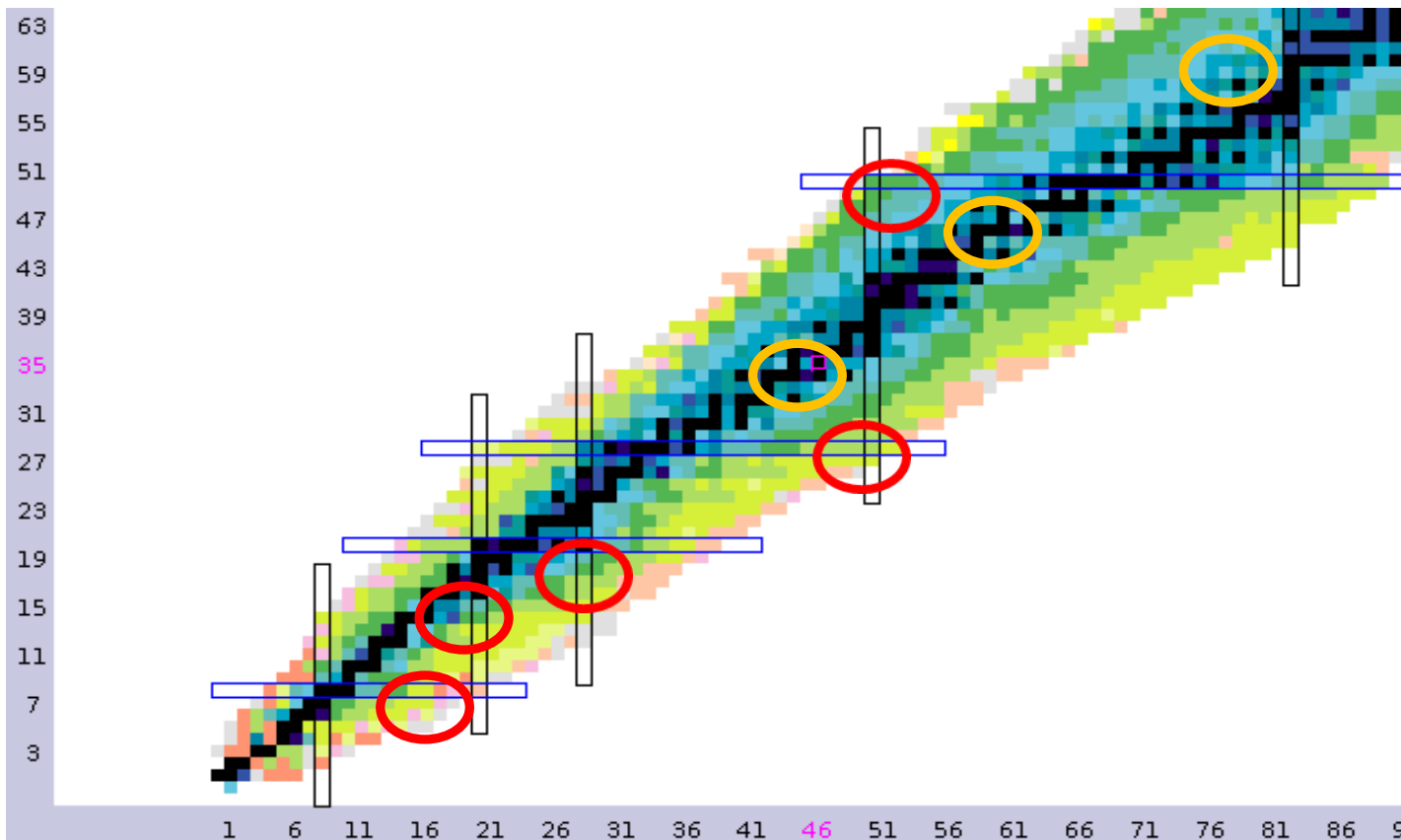
Módszerek

- A vizsgált atommagok ill. szerkezetek nagyon kicsi hatáskeresztmetszettel állnak elő
- Gamma-spektroszkópiai technika:
 - Gamma-sugárzás azonosítása
 - Koincidencia kapcsolatok feltárása
 - Gerjesztett állapotok rendszerének felépítése
 - A gerjesztett állapotok konfigurációjának megállapítása
 - Ezek alapján magszerkezeti következtetések levonása

Módszerek

- Gamma-spektroszkópiai technika:
 - A legmodernebb, 100-200 detektort tartalmazó rendszerek:
 - szcinitillátor detektorok: Chateau de Cristal (BaF₂), DALI2 (NaI)
 - HPGe detektorok: szegmentált EXOGAM, EURICA
nyomkövető (tracking) GRETINA, AGATA
 - Kiváló reakció csatorna szelekció:
 - töltött részecske és neutron segéddetektorok alkalmazása, pl. DIAMANT
- Stabil és radioaktív nyalábok:
 - Európában: GANIL, INFN-LNL, JYFL
 - Nagyvilágban: RIKEN, MSU, iThemba

Vizsgált magtartományok



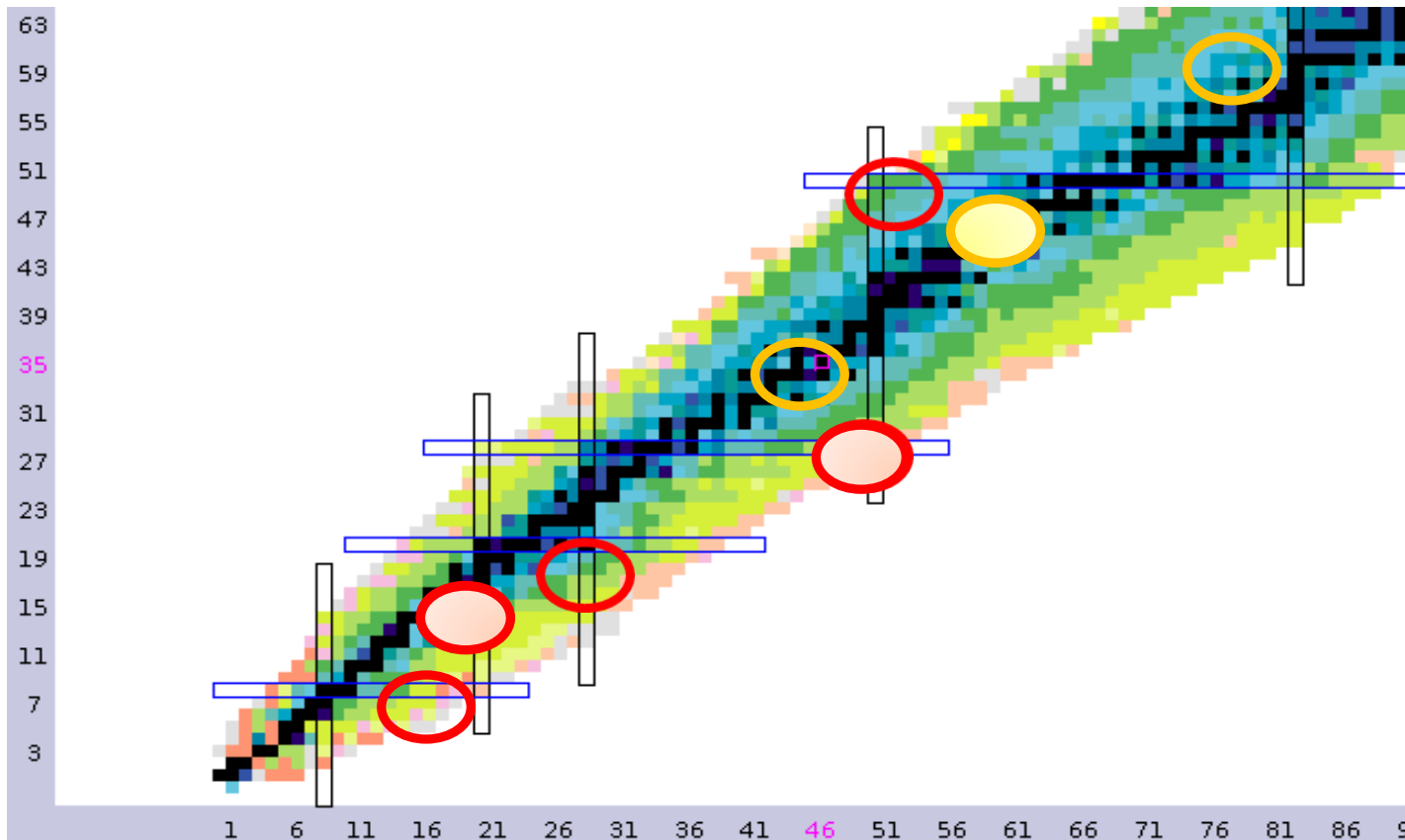
Egzotikus N/Z
arányú atommagok:

- $N=14, 16$ C- F
- $N=20$, ^{32}Mg - ^{34}Si
- $N=28$, ^{42}Si - ^{46}Ar
- ^{78}Ni környéke
- ^{100}Sn környéke

Egzotikus mozgás-
formák:

- $A \sim 80$
- $A \sim 100$
- $A \sim 130$

Vizsgált magtartományok



Egzotikus N/Z
arányú atommagok:

- $N=14$, 16 C- F
- $N=20$, ^{32}Mg - ^{34}Si
- $N=28$, ^{42}Si - ^{46}Ar
- ^{78}Ni környéke
- ^{100}Sn környéke

Egzotikus mozgás-
formák:

- $A \sim 80$
- $A \sim 100$
- $A \sim 130$

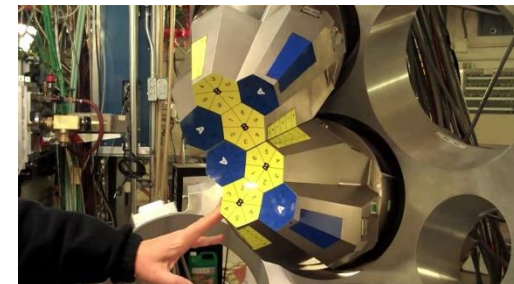
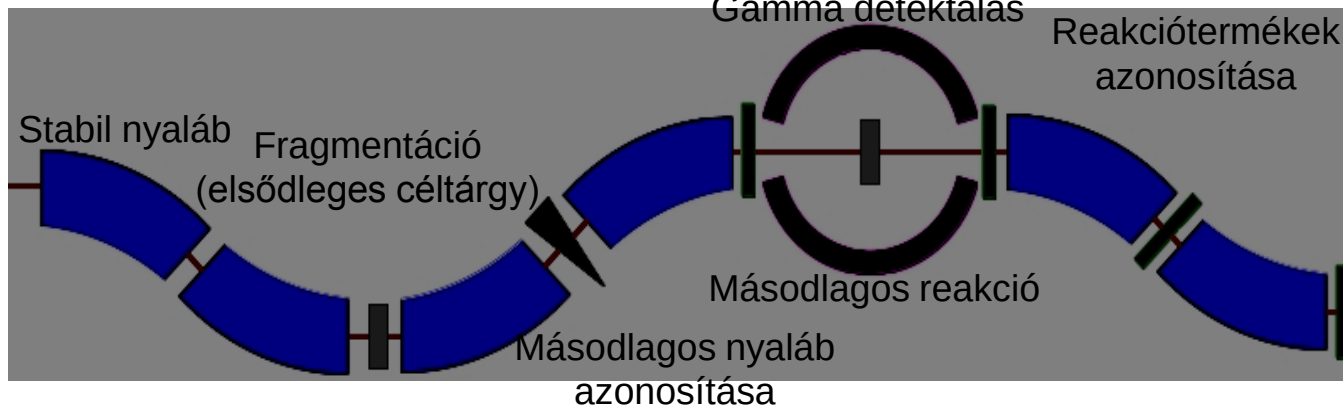
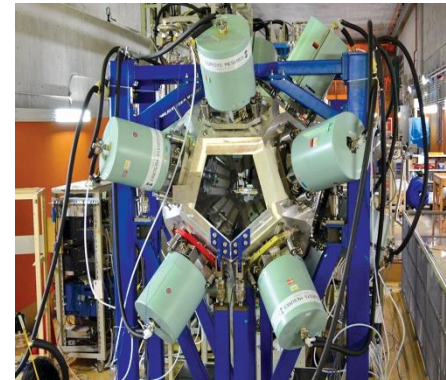
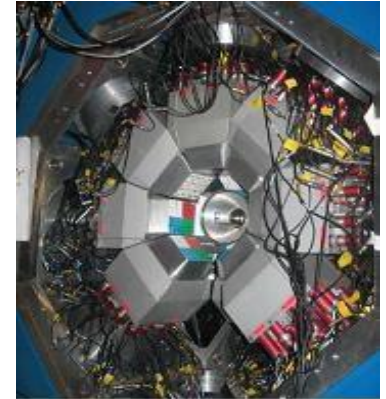
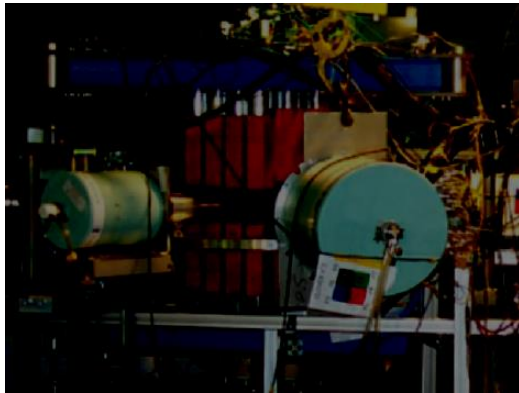
Egzotikus N/Z arányú atommagok

- Héjzáródások stabilitása
- A stabilitási vonal menti tradicionális héjzáródások eltűnése, újak megjelenése
- Deformációs szigetek kialakulása
- Alak-koegzisztencia fellépése
- Egyrészecke-energiák módosulása
- π - ν effektív kölcsönhatások változása a neutron elhullatási vonal felé
- A páros-páros atommagok mellett az egyszer páratlan és a páratlan-páratlan atommagokat is vizsgáljuk

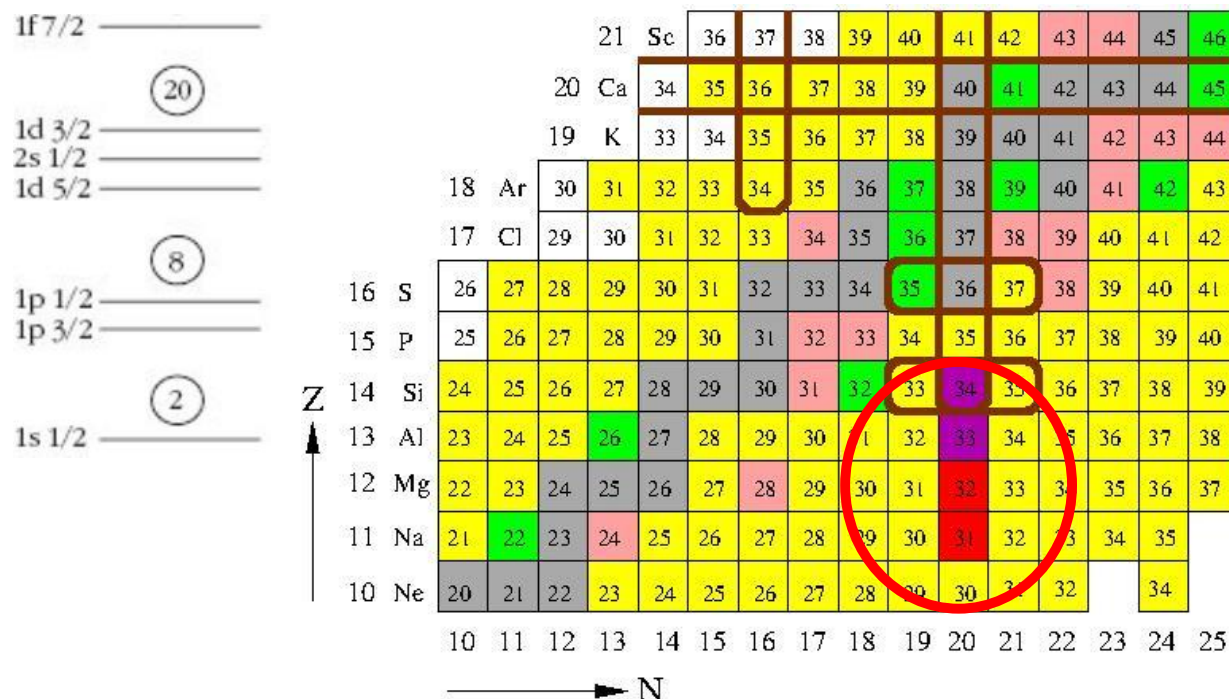
Egzotikus N/Z arányú atommagok

Radioaktív nyalábos kísérletek:

nukleon kiütés, Coulomb-gerjesztés, rugalmatlan szórás, β -bomlás

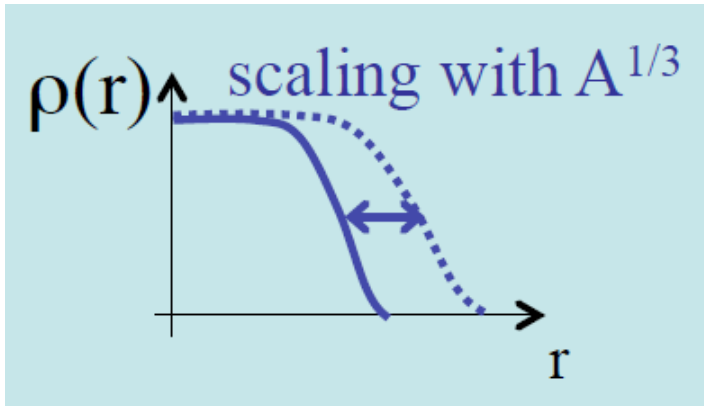


A ^{32}Mg körüli deformációs sziget



- Mágikus számok nem „kőbe vésettek”
- Magtérképen mágikus szigetek léteznek
- Mágikus szigetek alatt deformációs régiók alakulnak ki
- Kollaboráció: francia-magyar-román-amerikai, projektvezető: GANIL

Buborékmag: ^{34}Si

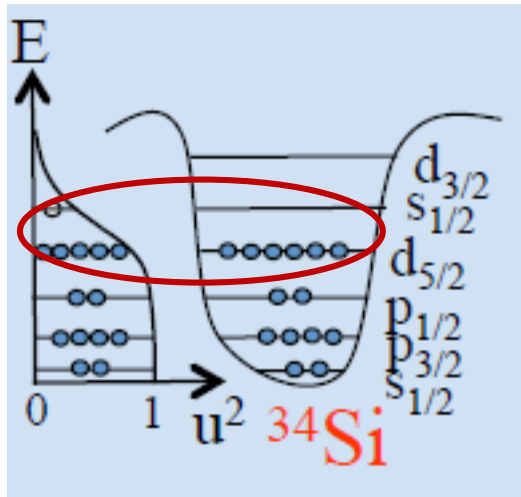


Cseppmodell:

- Állandó nukelonsűrűség az atommag közepén
- A véges hatótávolságú magerők telítődése miatt



Nem létezhet buborékszerkezet az atommagban



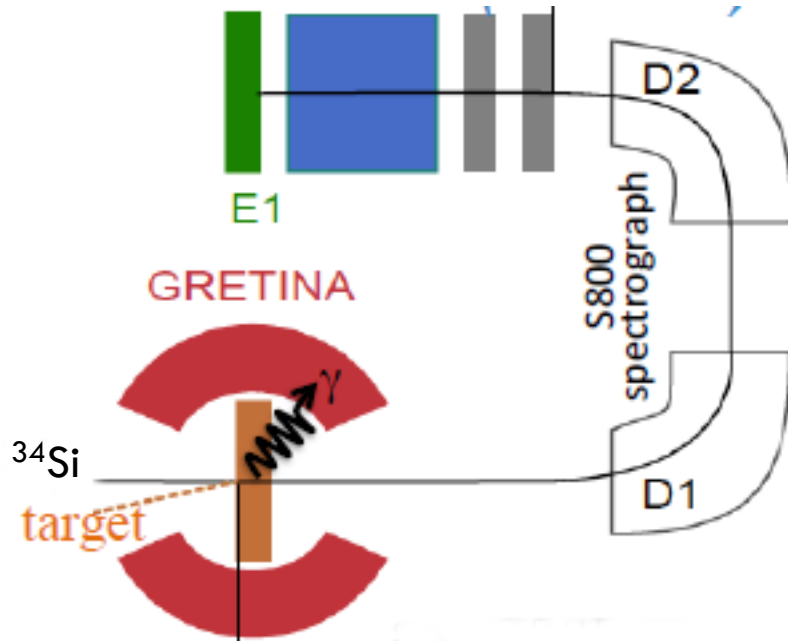
Héjmodell:

- $2s_{1/2}$ pálya az atommag közepén helyezkedik el
- Az atommag középső részén megjelenő anyagihiány nagysága függ a $\pi 2s_{1/2}$ pálya betöltöttségétől

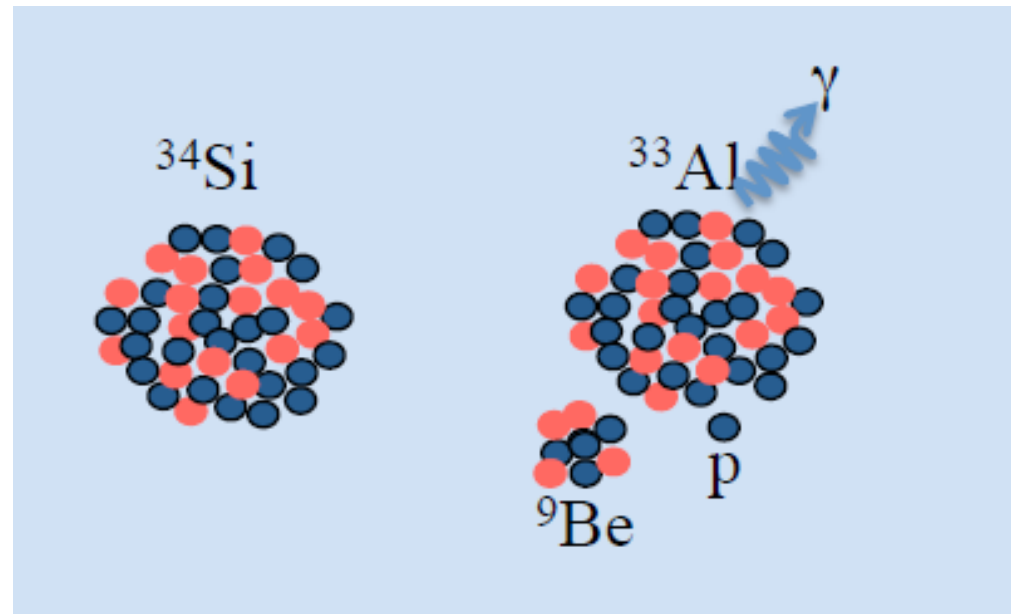
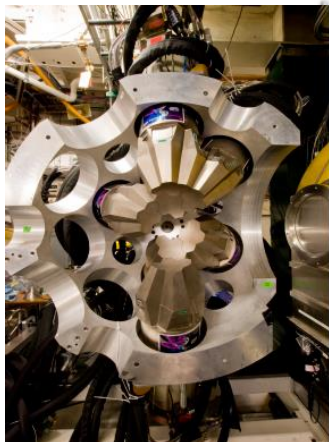


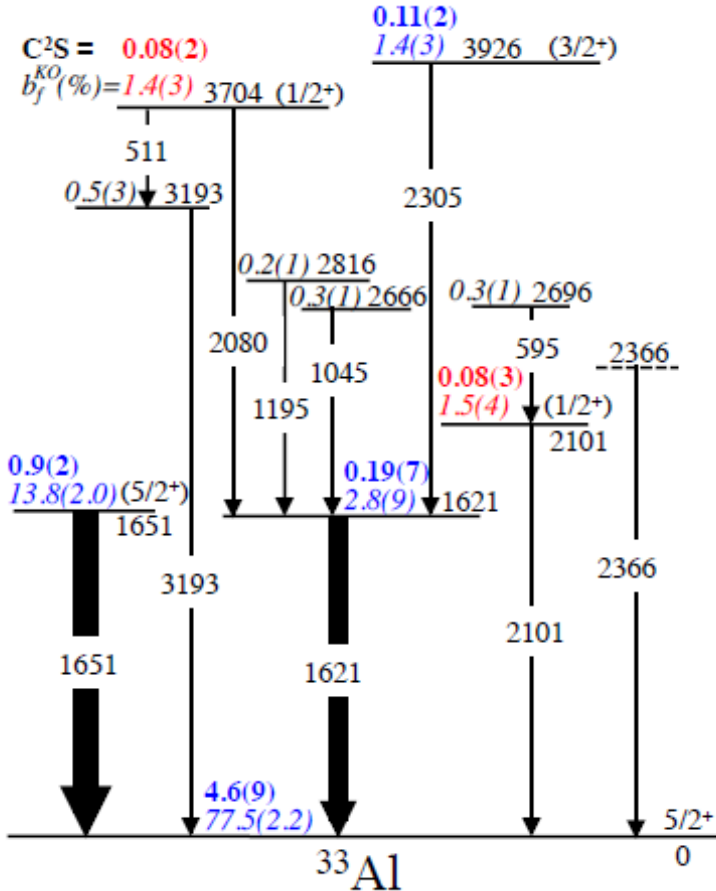
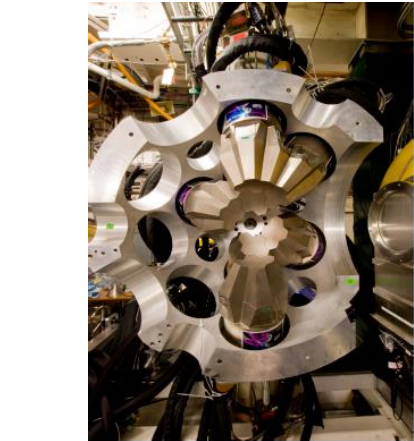
Létezhet buborékmag

Proton buborékszerkezet a ^{34}Si -ban

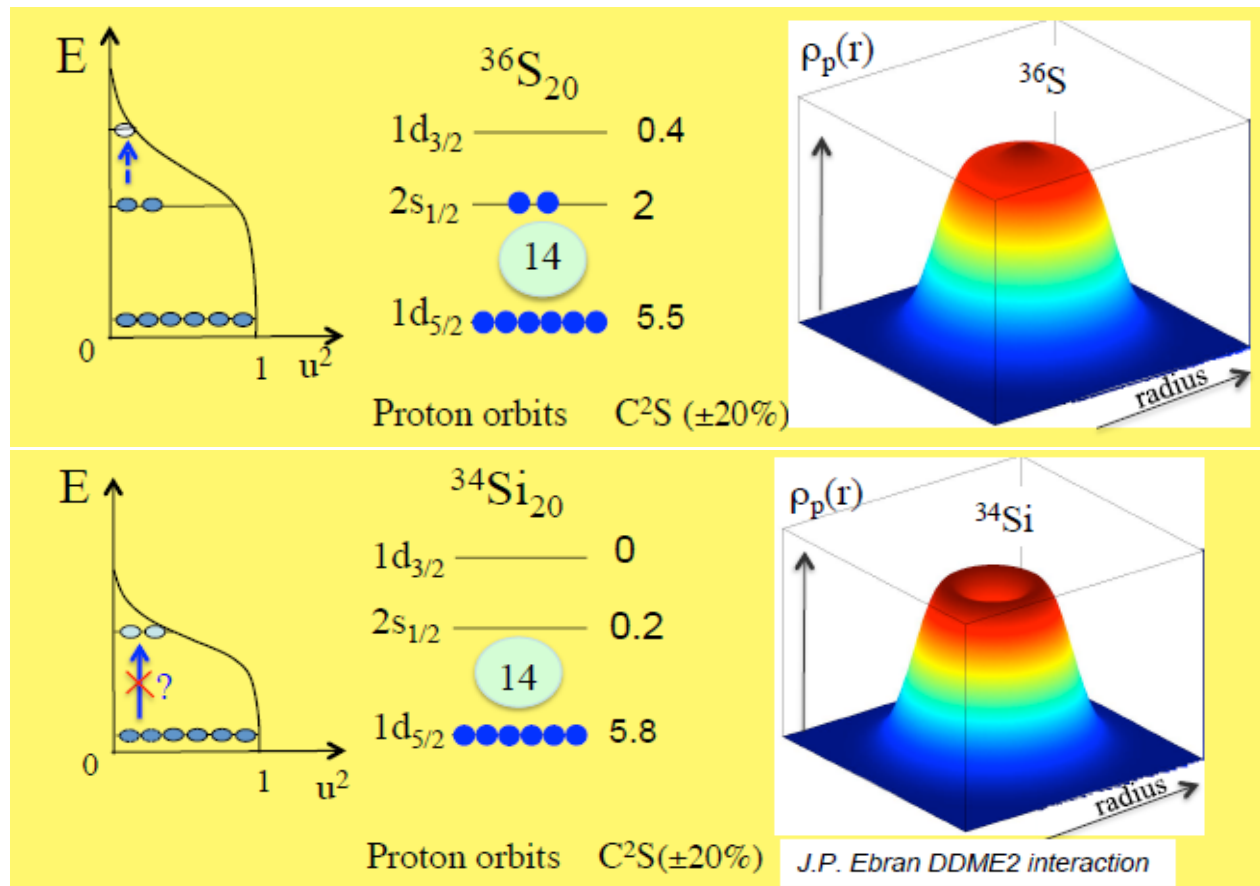


Proton kiütéses kísérlet at NSCL-ban (MSU)





Proton buborékszerkezet a ^{34}Si -ban

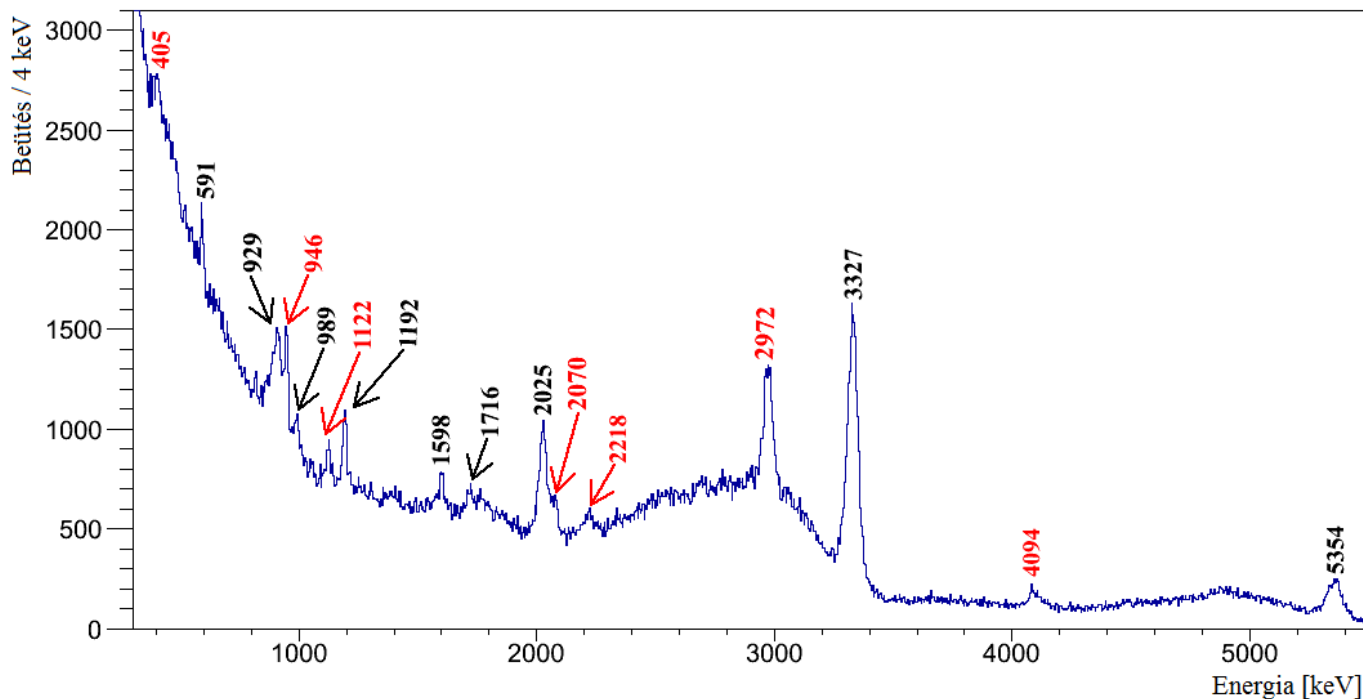
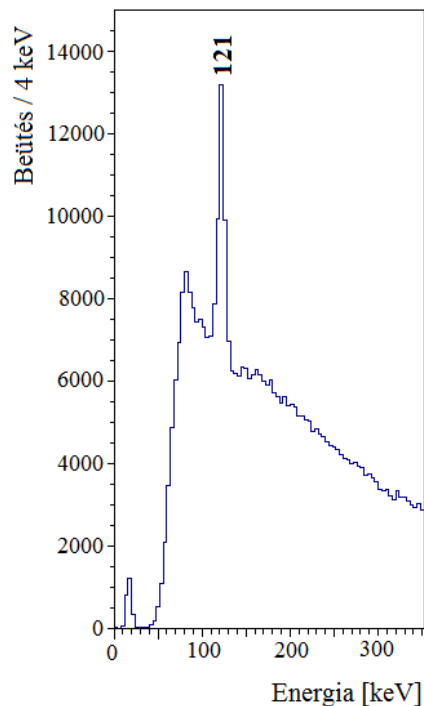


- A proton $2s_{1/2}$ pálya nagyon kevésbé van betöltve
- Nagy központi sűrűséghiány

A. Mutschler, ..., Zs. Dombrádi, D. Sohler, et al.: *Nature Physics* 13, 152 (2017)

A $Z=14$ -es alhéjzáródás erősségének meghatározása a ^{34}Si atommagban

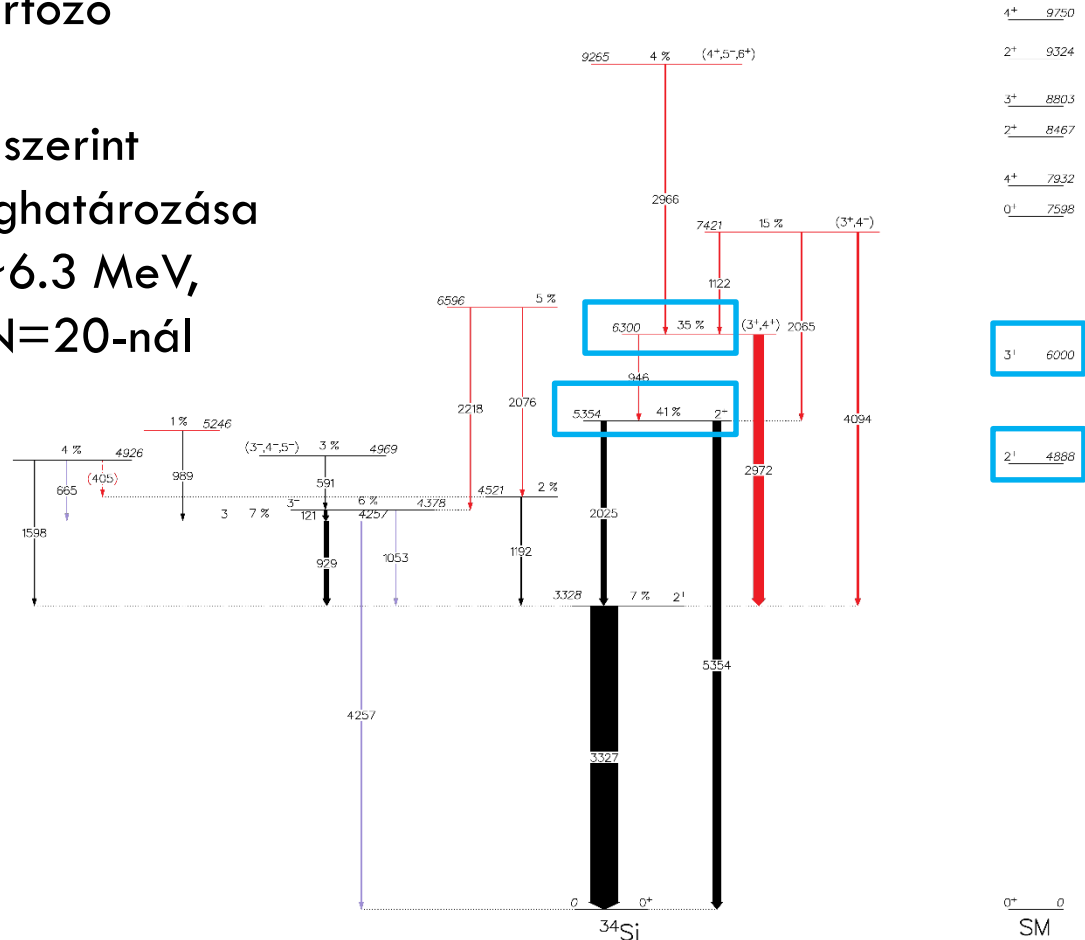
- $\pi d_{5/2}^{-1} s_{1/2}$ konfigurációhoz tartozó állapotok azonosítása



A $Z=14$ -es alhéjzáródás erősségének meghatározása a ^{34}Si atommagban

- $\pi d_{5/2}^{-1} s_{1/2}$ konfigurációhoz tartozó állapotok azonosítása
- A kísérleti multiplett $J(J+1)$ szerint súlyozott középpontjának meghatározása
- Az elméleti $Z=14$ -es héjköz ~ 6.3 MeV,
- a kísérleti héjköz ~ 6.7 MeV $N=20$ -nál

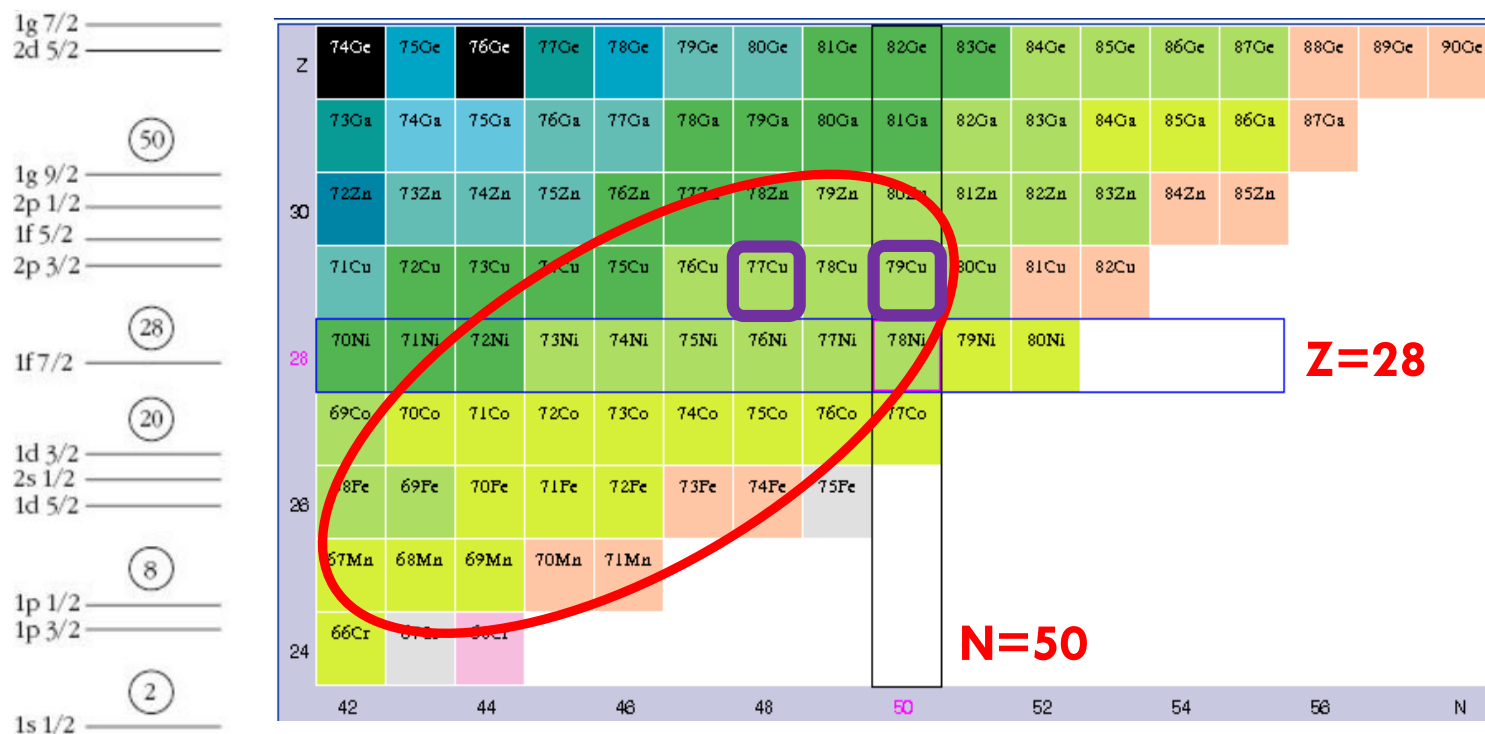
G. Koncz, D. Sohler, et al.



Jövő: ^{32}Mg , ^{31}Al , ^{32}Al szerkezetének feltárása

M. Begala, D. Sohler, et al.

^{78}Ni körüli atommagok vizsgálata

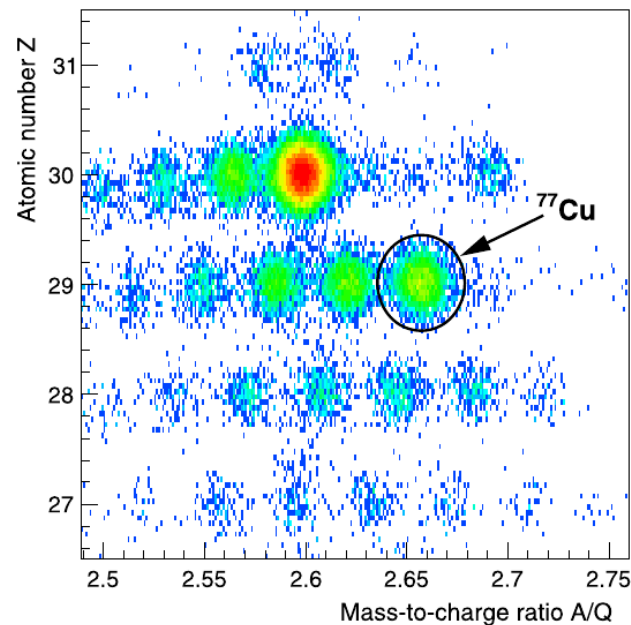
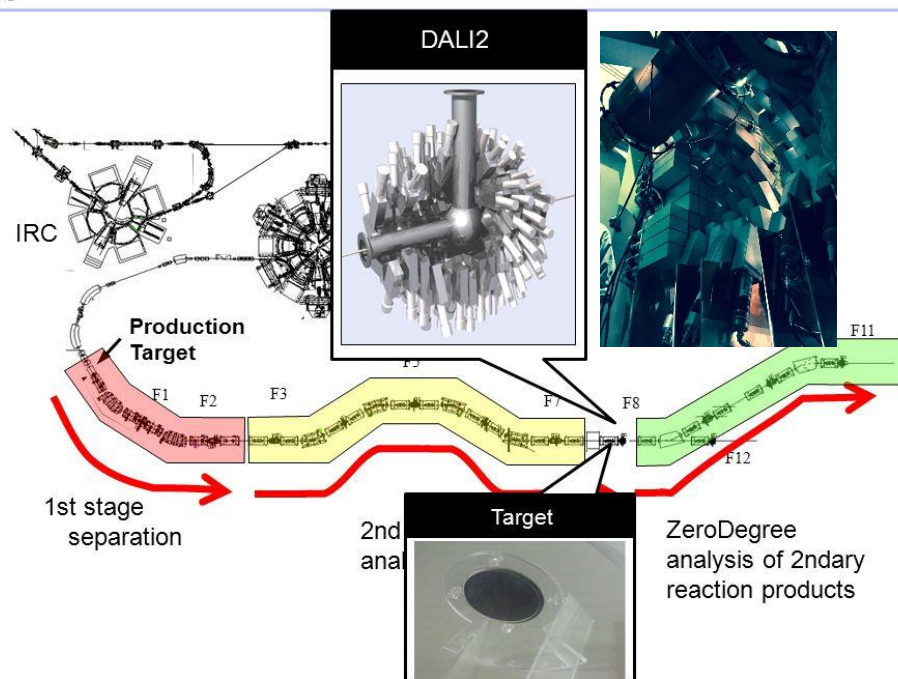


- ^{78}Ni mágikus atommag-e? Ha igen, akkor az egyik leg-neutrontöbbetes kétszeresen mágikus atommag lesz.
- Nukleon kiütéses és béta-bomlásos kísérletek RIKEN-ben (Sunflower, Seastar, Eurica)
- Atomki-s hozzájárulás: in-beam adatok feldolgozása a ^{77}Cu és ^{79}Cu -ra vonatkozóan
- Proton egyrészecske állapotok vándorlása, Z=28 héjzáródás stabilitása

^{77}Cu és ^{79}Cu szerkezetének vizsgálata

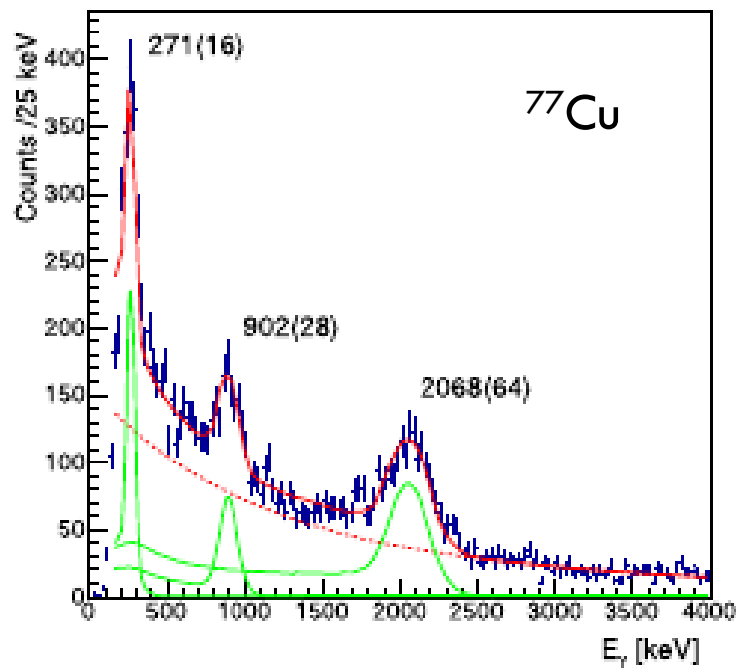


γ -ray spectroscopy setup @ BigRIPS/ZeroDegree

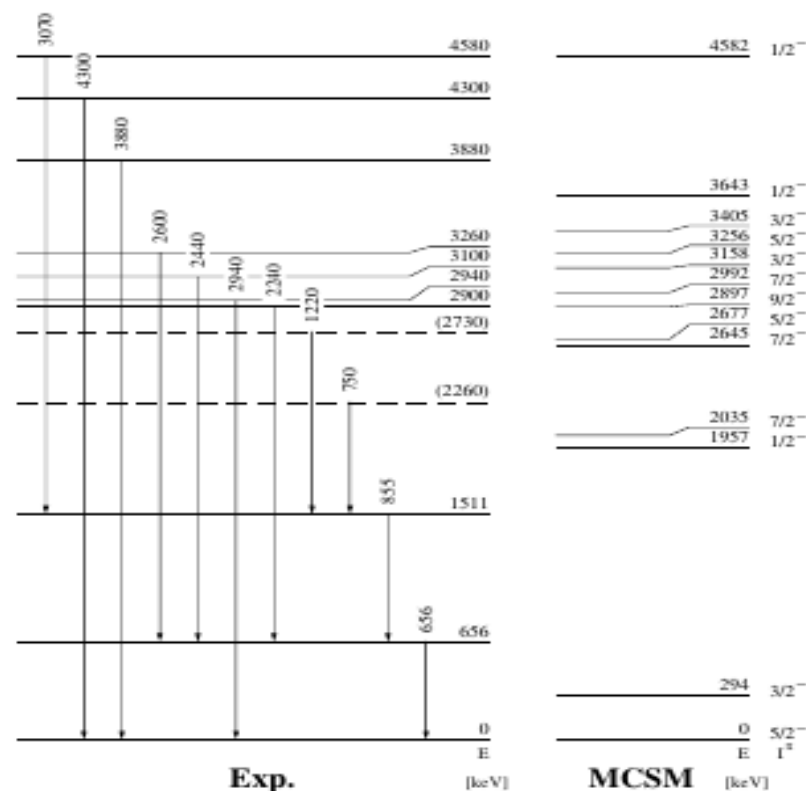


- Másodlagos nyaláb: ^{238}U in-flight bomlásából, azonosítás: BigRIP ($B\rho$ - ΔE -ToF)
- Reakció: 1 p kilókés ^9Be illetve MINOS folyékony hidrogén céltárgyon
- Reakciótermék azonosítása: ZeroDegree ($B\rho$ - ΔE -ToF)

^{77}Cu és ^{79}Cu szerkezetének vizsgálata

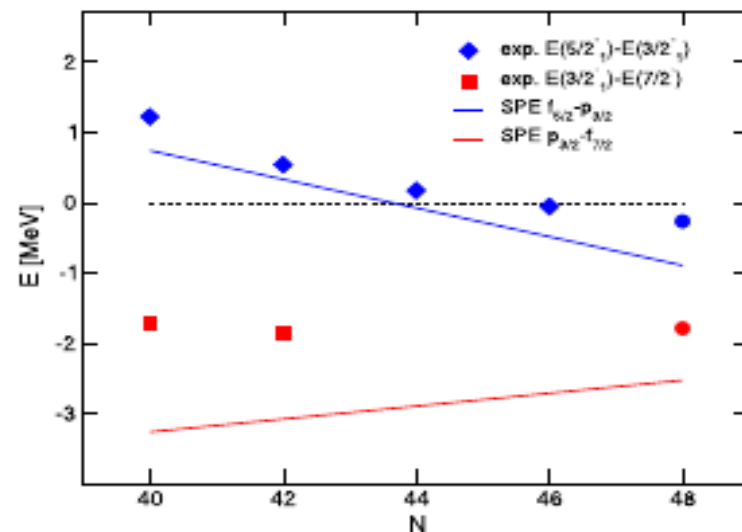
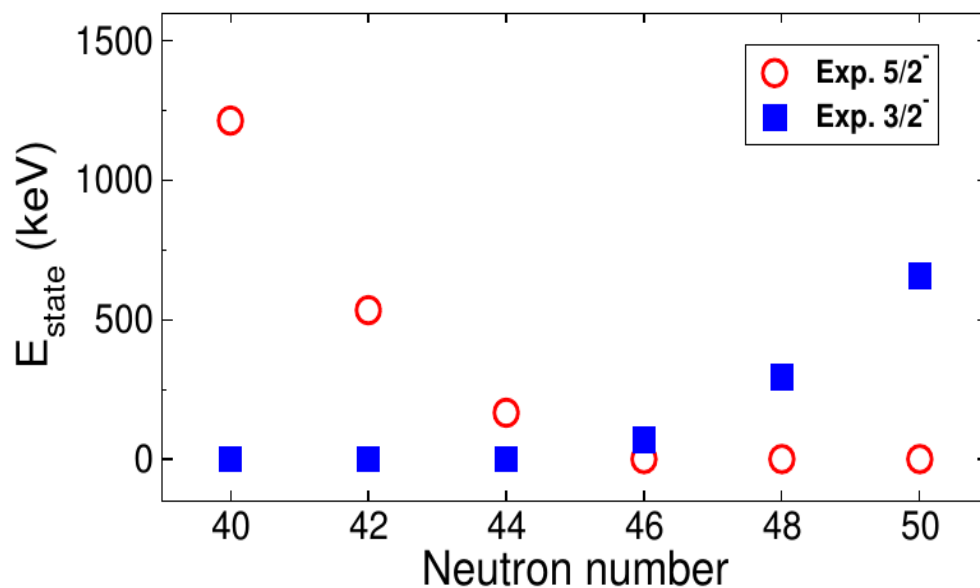


^{79}Cu



- 1p kilökés: szelektív reakció
- Információ a proton $f_{7/2}$, $p_{3/2}$ és $f_{5/2}$ állapotokra

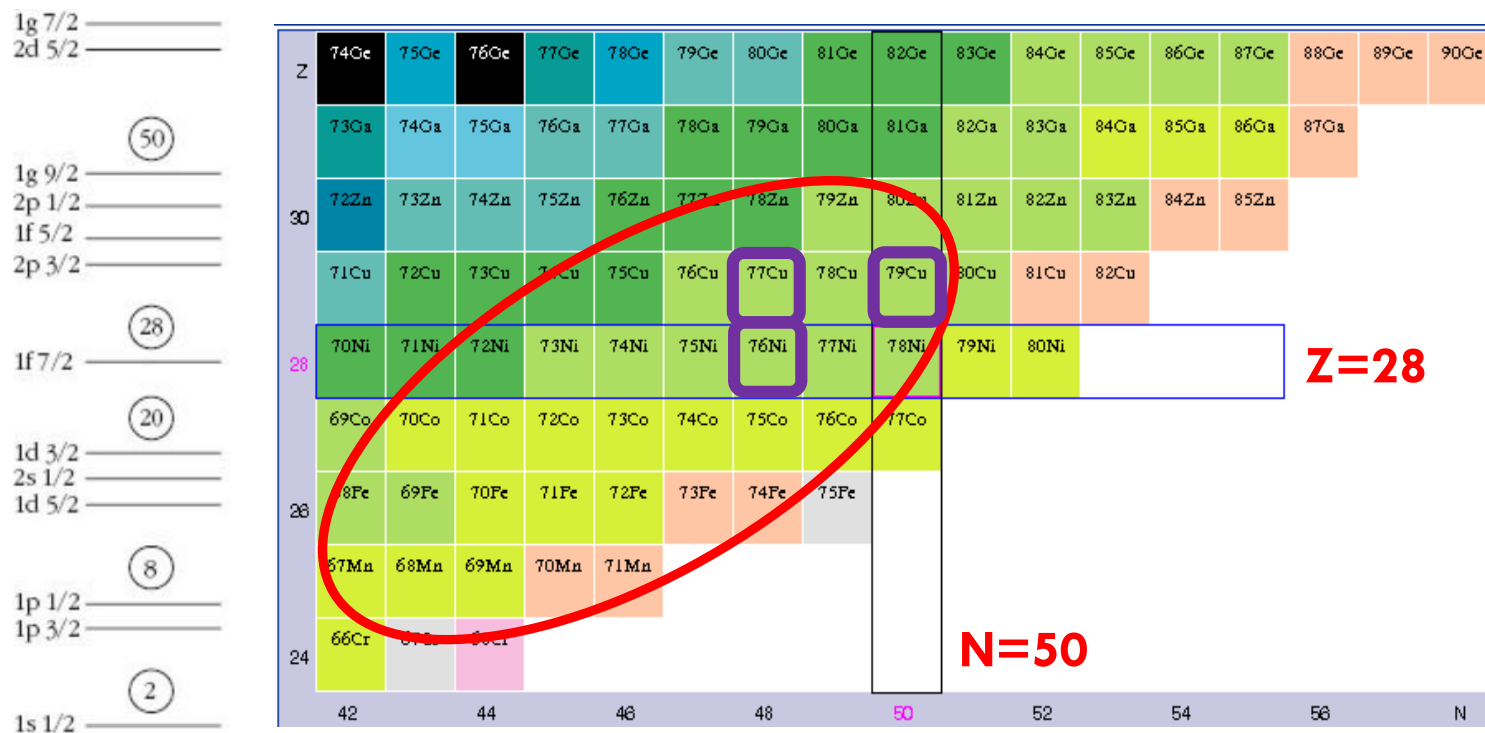
^{77}Cu és ^{79}Cu szerkezetének vizsgálata



- $N=40$ alhéjzáródás felett a $p_{3/2}$ és $d_{5/2}$ állapotok valóban felcserélődnek
- A $3/2^-$ és a $7/2^-$ állapotok energiakülönbsége állandó $\rightarrow$ a $Z=28$ héjzáródás stabil
- Nehezebb Cu magokban az $5/2^-$ állapot lesüllyed $\rightarrow$ ahogy feltöltjük a $\nu g_{9/2}$ pályát, a tenzor erő miatt a $\pi f_{5/2}$ pálya kötöttebbé válik, mint a $\pi f_{7/2}$ pálya

L. Olivier, ..., Zs. Vajta, D. Sohler, ..., Z. Dombrádi, et al., PRL 118, 242502 (2017),
 Zs. Vajta, D. Sohler, ..., Zs. Dombrádi, et al.: PLB 782, 99 (2018).

^{78}Ni körüli atommagok vizsgálata



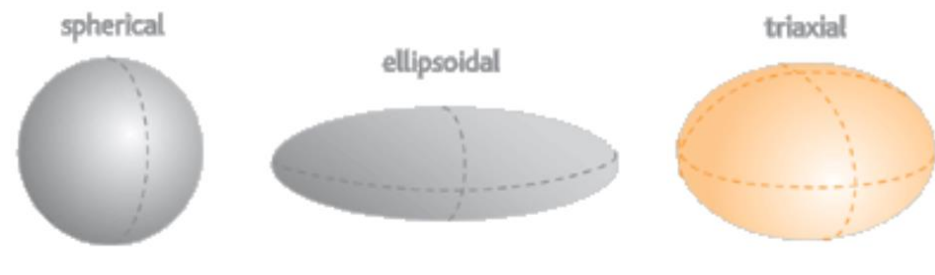
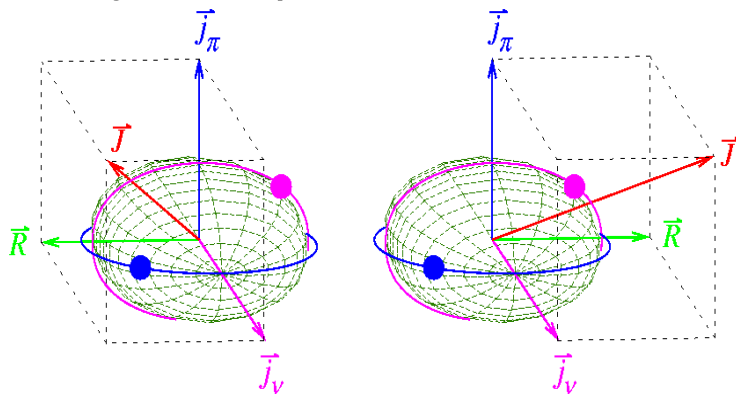
- **Jövő:** ^{76}Ni szerkezetének vizsgálata, Seastar (Z. Elekes, Á. Kripkó, D. Sohler et al.)

Egzotikus mozgásformák

Háromtengelyűen deformált atommagok

Magkiralitás:

- részecske-típusú: kistengely
- lyuk-típusú: nagytengely
- magtörzs: közepes tengely
➔ jobb- ill. balsodrású elrendeződés
- két, energetikailag megegyező állapot
- Kísérletileg majdnem degenerált, dipól forgási sávpárt észlelünk

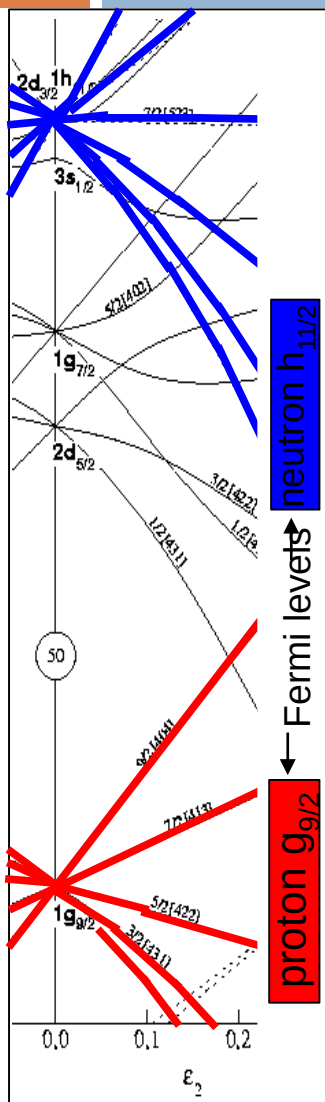


Kóválygó forgás:

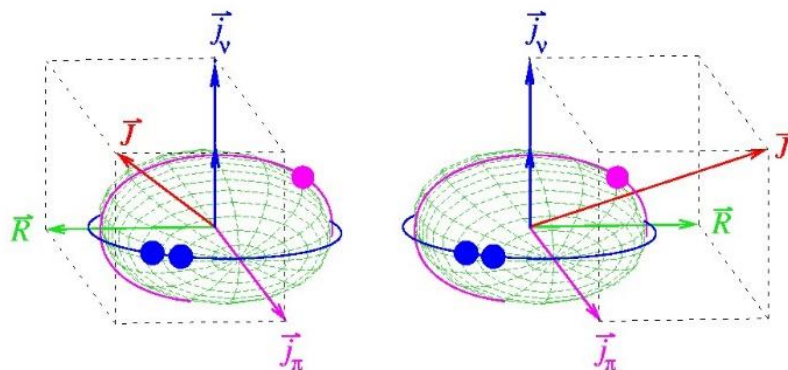
- A forgási tengely oszcillál a nagytengely körül



Kiralitás az $A \sim 100$ tartományban



- Háromtengelyűen deformált magalak és „jó” nagy- j értékű állapotok $\rightarrow$ lehetséges a kiralitás megjelenése
- Nemcsak a kétszer páratlan, hanem az egyszer páratlan magokban is



Tartalmazhat királis sávpárokat és egyszer páratlan atommagok

Királis sávpárokat tartalmaznak és egyszer páratlan atommagok

Királis sávpárokat tartalmaznak és páratlan-páratlan atommagok

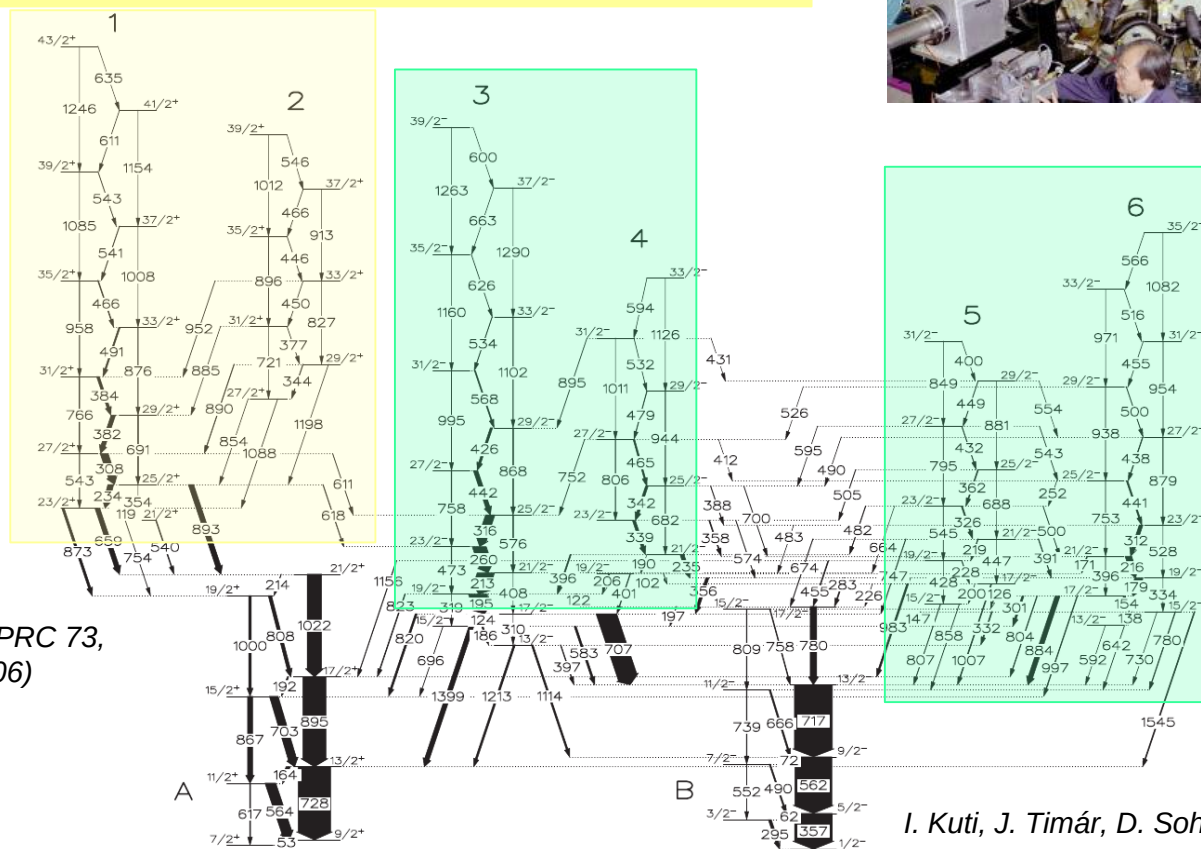
Z								
47	104	105	106	107	108	109	110	Ag
46	103	104	105	106	107	108	109	Pd
45	102	103	104	105	106	107	108	Rh
44	101	102	103	104	105	106	107	Ru
43	100	101	102	103	104	105	106	Tc
	57	58	59	60	61	62	63	N

Többszörös kiralitás az $A \sim 100$ tartományban: ^{103}Rh

GAMMASPHERE, LBL-ben, Berkeley

$^{96}\text{Zr}(^{11}\text{B}, 4n)^{103}\text{Rh}$ fúzió-evaporációs reakció

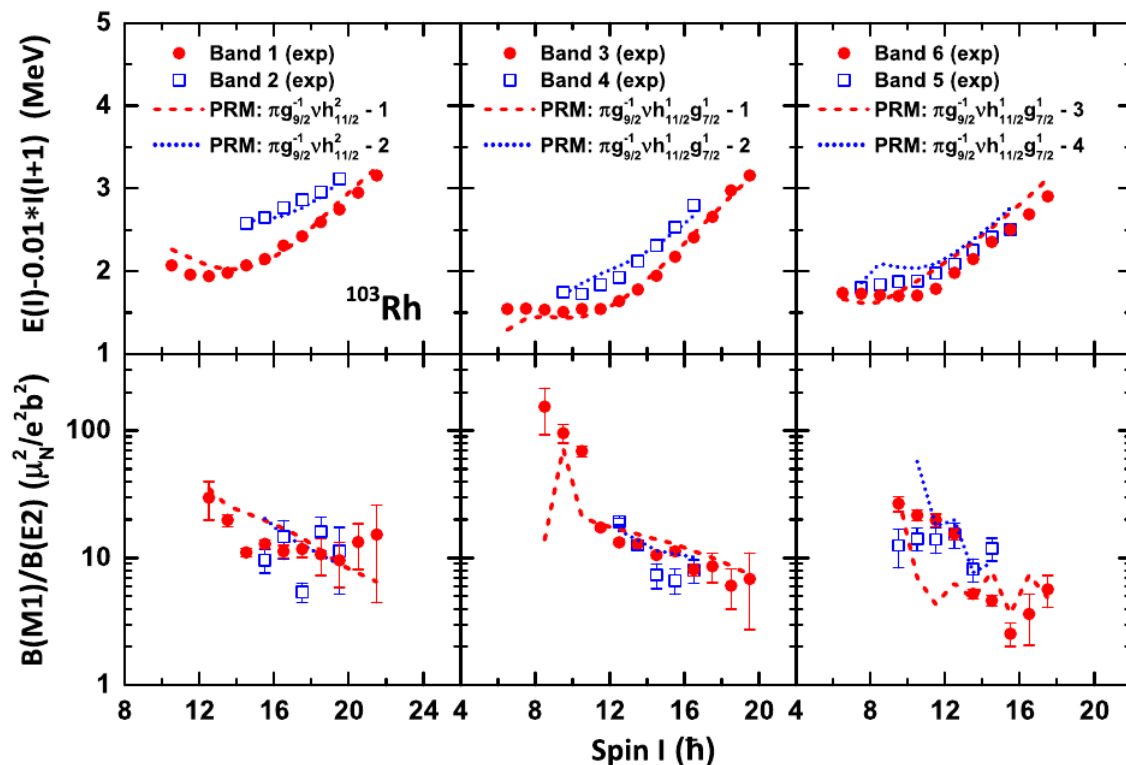
$\sim 9 \times 10^8$ négy- ill. többszörös koincidencia esemény legerősebb reakció csatorna



J. Timár et al., PRC 73, 011301(R) (2006)

I. Kuti, J. Timár, D. Sohler et al., PRL 113, 032501 (2014)

Többszörös kiralitás az $A \sim 100$ tartományban: ^{103}Rh



- 3 királis pár van a ^{103}Rh -ban
- 2 ugyanahhoz a konfigurációhoz tartozik:
 $\pi(1g_{9/2})^{-1} \otimes \nu(1h_{11/2})^1(1g_{7/2})^1$
- Az első ilyen többszörös királis sávpár

➔ A királis szerkezetek az atommag belső gerjesztései mellett is megmaradnak

I. Kuti, J. Timár, D. Sohler et al., PRL 113, 032501 (2014)

Jövő: hasonló szerkezetek keresése más Rh atommagban (^{104}Rh)

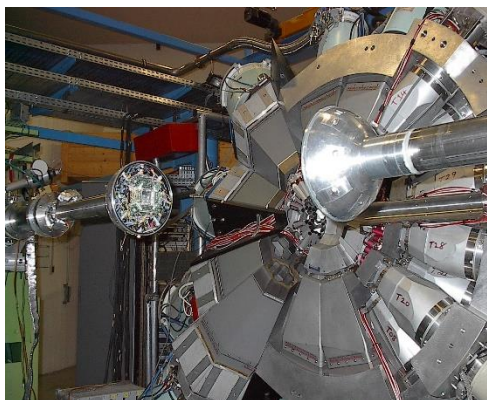
Kóválygó (wobbling) forgás az $A \sim 100$ tartományban

Kóválygó (wobbling) forgás a triaxiális atommagokban:

- A forgástengely oszcillál a nagytengely körül
- A valencia nukleon imp. mom. vektora merőleges
- a forgástengelyre → **transzverzális kóválygó mozgás**
- $^{161,163,165,167}\text{Lu}$ and ^{167}Ta SD bands
 ^{135}Pr ND bands

Kísérleti megjelenés:

- 2 db, különböző szignatúrájú $\Delta I=2$ sáv
- A sávok közötti dipól átmenetek erős E2 bekeveredést mutatnak
- Csökkenő wobbling frekvencia



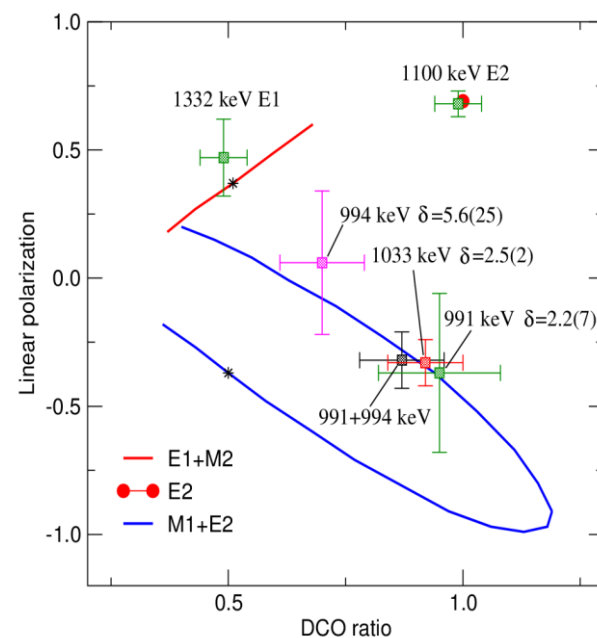
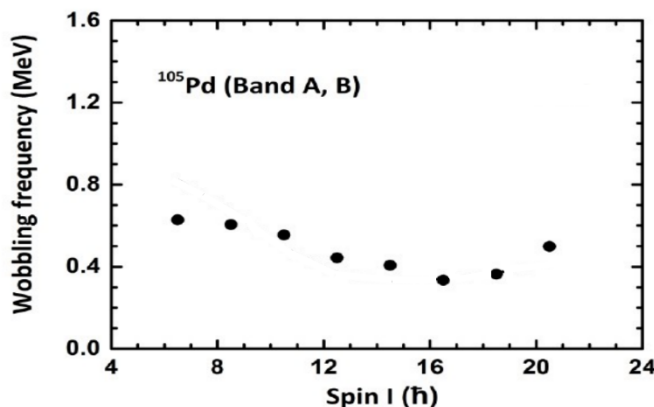
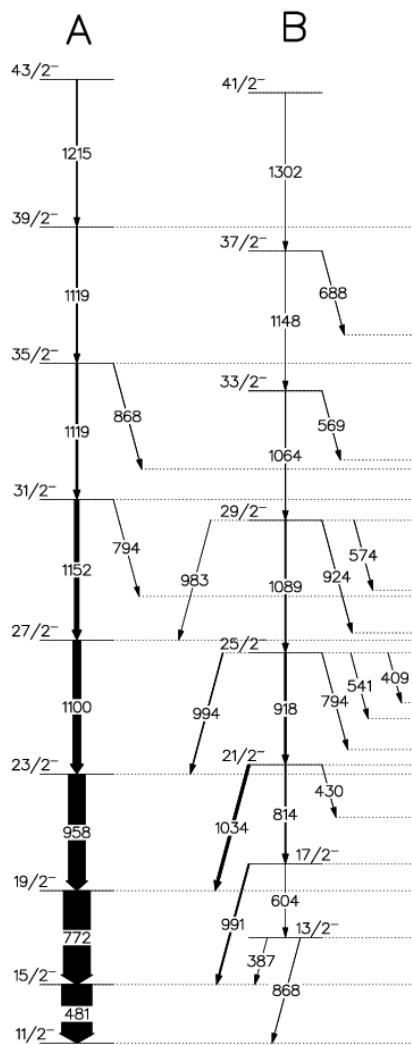
EUROBALL + DIAMANT a Vivitron-nál (IreS)

$^{96}\text{Zr}(^{13}\text{C}, 4n)^{105}\text{Pd}$ fúzió-evaporációs reakció

Nyalábénergia: 51 MeV és 58 MeV

$\sim 2 \times 10^9$ háromszoros- ill. többszörös koincidencia esemény

Kóválygó (wobbling) forgás az $A \sim 100$ tartományban: ^{105}Pd



Csökkenő (wobbling) frekvencia

Nagy E2 bekeveredés a sávok közötti $\Delta I=1$ átmenetekben:

- Szögeloszlás (DCO) analízis és lineáris polarizáció meghatározás
- Megfelelő detektorrendszer

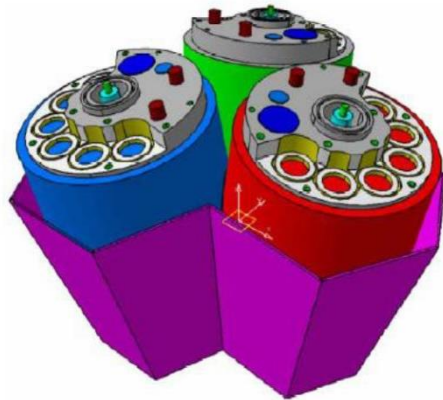
B. Kruzsicz, J. Timár, D. Sohler, I. Kuti et al.

Jövő: beadott mérési javaslat a ^{107}Pd -ra a GANIL-ba EXOGAM-DIAMANT-NEDA kampány részeként

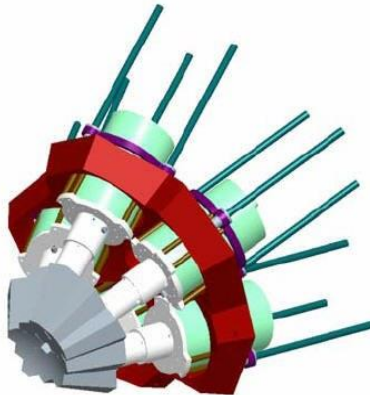
R&D projekt

Infrastrukturális GINOP projekt:

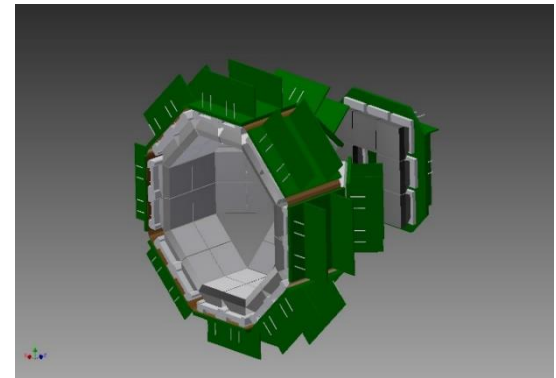
- Ginop-2.3.3.15-2016
- egy tracking AGATA Triple cluster detektor és a hozzátartozó kriosztát (~1 M EUR) beszerzése
- kapcsolódás az AGATA kollaborációhoz
- 15 db 3"x3" méretű $\text{LaBr}_3(\text{Ce})$ detektor beszerzése



AGATA Triple Cluster



AGATA konfiguráció a GANIL-ban



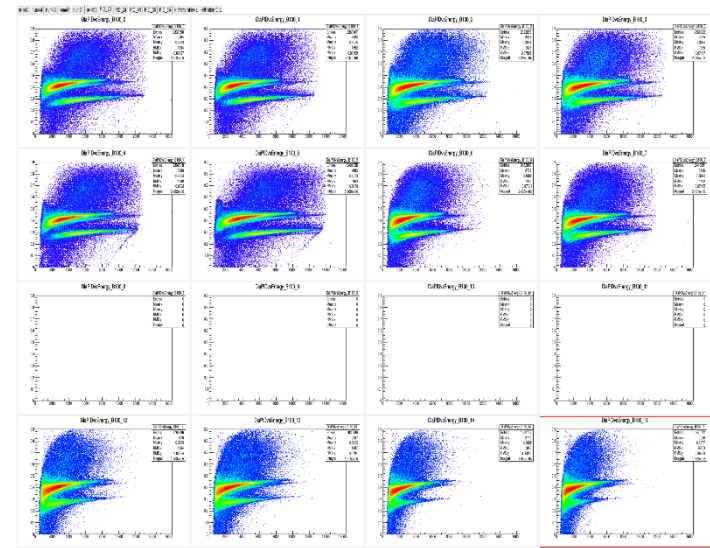
DIAMANT

R&D projekt

A DIAMANT CeI(Tl) töltött-részecske detektorrendszer fejlesztése

- a detektor geometriájának illesztése az AGATA és a plunger kísérletekhez
- a detektor elektronikájának illesztése AGATA rendszeréhez
- 5 végrehajtott kísérlet az idei AGATA@GANIL kampányban

Jövő: további elfogadott méréstervek a következő AGATA@GANIL kampányba



Köszönöm a figyelmet!

Atomki Magszerkezeti kutatócsoport:

Dombrádi Zsolt

Begala Marcell (BSc)

Elekes Zoltán

Koncz Gabriella (MSc)

Kripkó Áron (MSc)

Kruzsicz Bernadett (BSc)

Kuti István

Nyakó Barna

Sohler Dóra

Timár János