

Az NN114454 projekt záró szakmai beszámolója

Célkitűzések

A projekt szakmai céljaként három téma elemzését jelöltük meg: (1) a mágikusság változása a stabilitástól távol, (2) a törperezonancia neutrongazdag atommagokban és (3) az rp-folyamat várakozási pontjai. Ennek érdekében mindegyik témához egy-egy kísérlet elvégzését vállaltuk a RIKEN kutatóintézetben. Fontosnak tartottuk azt is, hogy a munkába magyar fiatalokat vonjunk be. A kísérletek elvégzéséhez berendezésfejlesztést is terveztünk.

Megvalósult kísérletek

2015

1. NP1312-SAMURAI21: Spectroscopy of unbound oxygen isotopes II; 11,5 nap (1. téma)

2016

2. NP1306-SAMURAI20: Measurement of the neutron-decay lifetime of the ^{26}O ground state at the SAMURAI setup at RIBF; 4 nap (1. téma)
3. NP1512-SAMURAI36: Search for ^{22}C (2^+), ^{21}B , ^{23}C and ^{25}N : Structure at and beyond the $N=16$ sub-shell closure; 3 nap (1. téma)

2017

4. NP1312-SAMURAI09R1: Electric dipole response of neutron-rich Ca isotopes; 5 nap (2. téma)
5. NP1512-SAMURAI37: Dipole response of the drip-line nuclei ^8He , ^{24}O , and ^{29}F Search for the genuine soft dipole mode; 5,5 nap (2. téma)
6. NP1406-SAMURAI19R1: Investigation of the ^4n system at SAMURAI by measuring (p,pa) quasi-free scattering at large momentum transfer in complete kinematics; 8 nap (1. téma)
7. NP1512-SAMURAI39R2: SEASTAR: 3rd Campaign; 8 nap (1. téma)

2018

8. NP1412-SAMURAI30: Charge-exchange (p,n) reactions in inverse kinematics on light nuclei near neutron drip line; 5 nap (2. téma)
9. NP1412-SAMURAI29R1: Inclusive and exclusive breakup of ^9C in nuclear and Coulomb fields; 3 nap (3. téma)

2019

10. NP1406-SAMURAI24: Investigation of proton-unbound states in neutron-deficient isotopes ^{66}Se and ^{58}Zn ; 5,5 nap (3. téma)

A felsorolásból látszik, hogy a vállalt három helyett 10 kísérletben vettünk részt, amelyek összesen 58,5 nap mérési időt tesznek ki. Ebben a tekintetben tehát a projekt igen sikeresnek mondható, hiszen a tervezettnél jóval több kísérlet megvalósulásából vettük ki a részünket. A RIKEN-ben a gyorsítók üzemeltetése ennyire időre körülbelül 700-1000 millió forint (az adott időszak áramárától függően), tehát a projekt 21 millió forintos hozzájárulása kitűnő befektetésnek mondható.

Atomfizikai eredmények

1. Vizsgáltuk a ^{76}Ni atommag alacsony energiájú gerjesztéseit. A γ -spektrumban (p,2p) reakció segítségével három, eddig még nem azonosított átmenetet találtunk 2227 keV, 2441 keV és 2838 keV energiánál. A $\gamma\gamma$ és $\gamma\gamma\gamma$ koincidenciaspektrumok azt mutatták, hogy az első γ -vonal mindkét már ismert, 930 keV és 990 keV energiájú, a $4_1^+ \rightarrow 2_1^+ \rightarrow 0_1^+$ kaszkádkhoz tartozó átmenettel koincidenciában van. Ez azt jelenti, hogy 4147 keV energiánál egy új gerjesztett állapotot találtunk. A másik két átmenet nagy valószínűséggel a 2_1^+ állapotba bomlik, ami 3431 keV-nél és 3828 keV-nél két újabb gerjesztett állapot jelenlétére utal. A kísérleti eredmények és héjmodellszámítások összevetéséből arra lehet következtetni, hogy a 4147 keV-es állapot vagy az 5_1^+ vagy a 4_3^+ proton lyukállapothoz rendelhető. Ezen túl a számolt hatáskeresztmetszetek is jól egyeznek a kísérletiekkel, és eredményeink a Z=28-as héjzáródás meglétét bizonyítják a ^{76}Ni atommagban.
2. A nem kötött ^{28}O atommagot protonkilökési reakcióban hoztuk létre 235 MeV/nukleon energiájú ^{29}F ionnyaláb felhasználásával egy 15 cm hosszúságú folyékony hidrogén céltárgyban. Az azonnal elbomló állapotok energiáját a kirepülő neutronok és fragmentumok impulzusából rekonstruáltuk. Ez rendkívül nehéz feladat, mivel egyszerre kell 4 neutront és a ^{24}O izotópot detektálni. Egyelőre addig jutottunk, hogy a rendszer működését ellenőriztük a $^{24}\text{O}+1n$ és a $^{24}\text{O}+2n$ csatornában, és jó egyezést kaptunk a ^{25}O és ^{26}O eddig ismert spektrumával. A négyneutronos események analízise folyamatban van.
3. Számítások arra utalnak, hogy a ^{26}O atommag alapállapota viszonylag hosszú élettartamú lehet. Ezért egy új módszerrel tanulmányoztuk ezt az élettartamot. Az alapötlet az, hogy minél hosszabb a ^{27}F ionnyalábból protonkilökéssel keletkező ^{26}O atommag alapállapotának élettartama, annál nagyobb része bomlik el a céltárgyon kívül. Ez a bomlásban keletkező neutronok és ^{24}O fragmentum sebességkülönbségében jelentkezik. Ezt a sebességspektrumot elemezve meg tudjuk határozni az élettartamot. Jelenleg az analízis ott tart, hogy a módszert már ellenőriztük a $^{24}\text{O}+1n$ csatornában, és a ^{25}O atommag élettartamára jó egyezést kaptunk az eddigi adatokkal.
4. Az atomfizikát régóta foglalkoztató kérdést, a tetra neutron létezését tanulmányoztuk új módszerrel. A $^8\text{He}(p,\alpha)4n$ reakciót vizsgáltuk nagy impulzusátadásnál úgy, hogy 156 MeV/nukleon energiájú ^8He ionnyalábot lőttünk folyékony hidrogén céltárgyra. A négyneutronos spektrumot a töltött részecskék impulzusának meghatározásával a hiányzó tömeg módszerrel generáljuk. Ellenőrzésként eddig az adatokban szintén jelenlévő $^6\text{He}(p,\alpha)2n$ csatornát analizáltuk. A négyneutronos események analízise folyamatban van.
5. Az N=16-os új héjzáródást eddig igen kiterjedten vizsgálták. Ennek természetes folytatásaként a tanulmányokat kiterjesztettük nem kötött rendszerekre is. Elsősorban a szénizotópoknál tapasztalt neutronlecsatolódás jelenségére voltunk kíváncsiak a ^{22}C atommagban, ezért az első 2^+ gerjesztett állapot energiáját akartuk meghatározni. Az analízis folyamatban van, egyelőre a kisebb rendszámú szénizotópoknál visszakaptuk az eddig ismert első gerjesztett állapotokat, tehát a rendszer jól működött.
6. Több rendszerben (^6He , ^8He , $^{50,52}\text{Ca}$) kerestük a törperezonancia jelenlétét. A Coulomb-feltörés és a Coulomb-gerjesztés módszerét alkalmaztuk. Az alacsony tömegszámú hélium atommagok gerjesztés után neutronkibocsátással bomlottak, a kirepülő neutronok és fragmentumok impulzusának segítségével generáljuk a spektrumokat. A kalciumizotópok legerjesztődését pedig az újonnan kifejlesztett CsI(Na) detektorokból álló CATANA rendszerrel detektáltuk. Az elemzések azt mutatják, hogy a részrendszerek működése kifogástalan volt, az adatok analízise folyamatban van.
7. Az asztrofizikai rp-folyamat szempontjából fontos magreakciókat tanulmányoztunk. A ^9C atommag esetén Coulomb-feltöréssel, a ^{66}Se , ^{65}As gerjesztett állapotait pedig neutronkilökési

reakciókban hoztuk létre. Az elbomló állapotok eredményeként megjelenő protonokat, fragmentumokat és γ -sugárzást is detektáltuk. Az első kísérlet analízise azt mutatja, hogy sikerült a fragmentumok és protonok egyidőben történő észlelése a szilíciumdetektorokban, ami kulcsfontosságú ahhoz, hogy a végleges gerjesztett energia spektrumot rekonstruáljuk. A ^{66}Se , ^{65}As kísérlet 2019. március 26-án fejeződött be. A kísérlet közben történt elemzések arra utalnak, hogy a várt hatáskeresztmetszeteknél kb. 5-ször többet láttunk, tehát minden feltétel adott, hogy a protonelhullatási vonalhoz közeli rezonanciákat meghatározzuk.

Fejlesztések eredményei

A projekt indulásakor azt terveztük, hogy a kísérletek elvégzéséhez egy vákuumkamrát és a gamma-detektorok tartórendszerét készítjük el a magyar pénzügyi keret felhasználásával. A vákuumkamra megvalósult, azonban időközben a helyérzékeny szilíciumdetektorok előerősítőinek fejlesztésével foglalkozó japán kolléga kivált az együttműködésből. Ebben a nehéz helyzetben elvállaltuk, hogy a tartórendszer helyett a sokkal nagyobb kihívást jelentő előerősítőket megtervezzük és legyártjuk. Erőfeszítéseink sikerrel jártak, 2018 végén az NP1412-SAMURAI29R1 jelű kísérletben először vetettük be az eszközöket teljes sikerrel. Majd a projekt utolsó kísérletében (NP1406-SAMURAI24) idén tavasszal újra jól vizsgázott a rendszer. Összességében elmondhatjuk, hogy a módosított magyar fejlesztési hozzájárulás alapvető szerepet játszott ennek a két kísérletnek a sikerében.

Magyar hallgatók részvétele a projektben

1. Fehér Rózsa, BSc, 2015, Debreceni Egyetem, témavezető: Elekes Zoltán
2. Kripkó Áron, TDK, 2015, Eötvös Loránd Tudományegyetem, témavezető: Elekes Zoltán
3. Koncz Gabriella, BSc, 2016, Eötvös Loránd Tudományegyetem, témavezető: Kunné Sohler Dorottya
4. Lengyel Zsolt, BSc, 2016, Debreceni Egyetem, témavezető: Elekes Zoltán
5. Kripkó Áron, BSc, 2016, Eötvös Loránd Tudományegyetem, témavezető: Elekes Zoltán
6. Kruzsicz Bernadett, BSc, 2017, Debreceni Egyetem, (társ)témavezető: Kunné Sohler Dorottya
7. Varga Flóra, BSc, 2017, Debreceni Egyetem, témavezető: Kunné Sohler Dorottya, Kuti István
8. Juhász Marcell, BSc, 2017, Debreceni Egyetem, témavezető: Elekes Zoltán
9. Kruzsicz Benadett, TDK, 2017, Debreceni Egyetem, (társ)témavezető: Kunné Sohler Dorottya
10. Koncz Gabriella, TDK, 2017, Eötvös Loránd Tudományegyetem, témavezető: Kunné Sohler Dorottya
11. Kripkó Áron, MSc, 2018, Eötvös Loránd Tudományegyetem, témavezető: Elekes Zoltán
12. Koncz Gabriella, MSc, 2018, Eötvös Loránd Tudományegyetem, témavezető: Kunné Sohler Dorottya
13. Begala Marcell, BSc, 2018, Debreceni Egyetem, témavezető: Kunné Sohler Dorottya
14. Begala Marcell, TDK, 2019, Debreceni Egyetem, témavezető: Kunné Sohler Dorottya
15. Juhász Marcell, TDK, 2019, Debreceni Egyetem, témavezető: Elekes Zoltán
16. Juhász Marcell, MSc, 2019 (folyamatban), Debreceni Egyetem, témavezető Elekes Zoltán
17. Begala Marcell, Msc, (folyamatban), Debreceni Egyetem, témavezető: Kunné Sohler Dorottya

Számos hallgatót sikerült bevonni a magfizikába, akik betekintést nyerhettek a kutatásoknak ebbe az ágába. Örvendetes, hogy Koncz Gabriella és Kripkó Áron diplomamunkájának elkészítése után továbbra is magfizikával foglalkozik; Németországban végzik a doktori munkájukat. Juhász Marcell pedig idén végez a Debreceni Egyetem fizikus szakán, majd a doktori iskolába felvételizik, így Elekes Zoltán vezetésével folytathatja a kutatásokat.

A projekt következményei, a közeli jövő

A magyar hozzájárulás segítségével elkészült helyérzékeny szilícium detektorrendszer a jövőben bármely olyan kísérletben alkalmazható, amikor könnyű vagy nehéz fragmentumok pályáját kell külön vagy egyidőben meghatározni a céltárgy után. Ez különösen fontos a protongazdag atommagok tanulmányozása során. Komoly sikerként könyvelhetjük el, hogy a RIKEN-ben legutóbb 2018. november 29-30-án megtartott programtervező tanácsülésen elfogadtak egy kísérletet (NP1812-SAMURAI43; Shell evolution at $Z=14$ around ^{22}Si , mirror of the doubly magic ^{22}O), amelyben a Si-rendszer kulcsszerepet játszik.

Kutatócsoportunk pályázott, és megkapta az ^{51}Ar , ^{61}V és ^{63}V atommagok γ -spektroszkópiai analízisének, illetve a ^{66}Se , ^{65}As rezonanciaspektrumai feltérképezésének jogát, ami az elkövetkező pár évre komoly feladattal látja el a csoport diákjait.

Publikációk

A projektben elvégzett kísérletek rendkívül bonyolultak, ezért analízisük éveket vesz igénybe. Ezért a munkatervben azt jeleztük, hogy a projekt végére remélhetően az első publikáció megjelenik. Ahhoz, hogy ígéretünket tartani tudjuk, egy éves hosszabbítást kértünk. Az első cikk a ^{76}Ni atommag szerkezetéről valóban meg is jelent a Physical Review C (PRC) újságban, D1-es publikációként. Ezen kívül a folyamatban lévő elemzésekről, illetve fejlesztésekről 12 jelentést és 1 konferenciaközleményt írtunk. A referált PRC cikkben természetesen szerepel a projekt száma, azonban a jelentésekben, a méretkorlátok miatt, egy kivételével nem, és azokban a szokások szerint együttműködőink sem tüntették fel a saját forrásaikat. Természetesen az elkövetkező években még számos olyan referált közleményt várunk, ahol a projekt számát is meg tudjuk jeleníteni. Egy ilyen cikket már beküldtünk a Nuclear Instruments and Methods B újságba.