

ԿԱՐԾԻՔ

Ռոգա Վախտանգի Ավետիսյանի «Պրոտոն և ֆոտոն հարուցված ռեակցիաների գրգռման ֆունկցիաների և իզոմեր հարաբերությունների ուսումնասիրումը տարբեր միջուկների վրա» Ա.04.16 - «Միջուկի, տարրական մասնիկների և տիեզերական ճառագայթների ֆիզիկա» մասնագիտությամբ ֆիզիկամաթեմատիկական գիտությունների թեկնածուի գիտական աստիճանի հայցման ատենախոսության

Միջուկային ռեակցիայի մեխանիզմի ուսումնասիրությունները միջուկի կառուցվածքը և միջուկի ներսում գտնվող նուկլոնների միջև փոխազդեցության ուժը հասկանալու միակ էֆեկտիվ միջոցն են: Հայտնի միջուկային ռեակցիաներից շատերն առաջանում են տարբեր նյութերն արագացված մասնիկներով ճառագայթելով: Առկա տեսական մոդելները ստուգելու և զարգացնելու համար խիստ անհրաժեշտ են նոր լայնածավալ տվյալներ ռեակցիայի կտրվածքի, գրգռման ֆունկցիաների, միջուկից արտանետվող մասնիկների էներգիայի և անկյունային բաշխումների վերաբերյալ: Միջուկային ռեակցիաների համար հնարավորինս շատ և ճիշտ տվյալների ստացման խնդիրը վաղուց դարձել և մնում է արդիական, քանզի միջուկային ռեակցիաներն են բժշկական և կիրառական նպատակներով օգտագործվող ռադիոակտիվ իզոտոպների ստացման միակ աղբյուրը:

Վերջին տարիներին միջուկային բժշկության մեջ կա լուրջ առաջընթաց և շատ նորարարական լուծումներ են ներդրվել: Միաժամանակ մշակվել են նոր և ավելի զրավիչ մեթոդներ ռադիոակտիվ իզոտոպների օպտիմալ արտադրության համար: Բազմաթիվ իզոտոպներից միայն քչերն են, որ կիրառելի են բժշկական նպատակներով: Նրանց ընտրության պահանջները տարբեր են՝ և խիստ կախված կիրառման նպատակից: Առաջին հերթին անհրաժեշտ է, որ իզոտոպի ճառագայթման տեսակը համապատասխանի բուժման նպատակներին: Ռադիոիզոտոպը պետք է ունենա կարճ կյանքի տևողություն, որը համապատասխանում է բժշկական ընթացակարգին և հեշտությամբ քայքայվի մինչև կայուն կամ շատ երկարակյաց իզոտոպի, ունենա արդյունավետ և անվտանգ արտադրական ուղի:

Ռադիոակտիվ իզոտոպներ կարելի է արտադրել տարբեր միջուկային ռեակցիաներով, ճառագայթելով կայուն թիրախ-միջուկները ֆոտոնների, պրոտոնների կամ նեյտրոնների ինտենսիվ փնջերով (բավարար ակտիվություն ստանալու համար): Միջուկային ռեակտորները շատ էֆեկտիվ են երկար կյանքի տևողության իզոտոպների արտադրության համար: Բայց կարճ կյանքի տևողությամբ իզոտոպների արտադրության համար ավելի նպատակահարմար են կլինիկաներին

կից կառուցված ցիկլոտրոնները և էլեկտրոնային արագացուցիչները: Կիրառական և միջուկային պրոցեսների հիմնարար հետազոտությունների համար առանձնապես հետաքրքիր են պրոտոններով և ֆոտոններով հարուցված միջուկային ռեակցիաները, որոնք ուղեկցվում են 1-2 և ավելի նեյտրոնների արտանետումով: Այս ռեակցիաները հանդիսանում են իզոտոպների ստացման հիմնական աղբյուրը, որոնց պահանջարկը բժշկության, էլեկտրոնիկայի և արդյունաբերության բնագավառում օրեցօր աճում է:

Միջուկային ռեակցիաները նկարագրող լավագույն բնութագրերից են նրանց գրգռման ֆունկցիաները, որոնք ցույց են տալիս ռեակցիայի բացարձակ կտրվածքի կախվածությունը թիրախ-միջուկին հարվածող մասնիկի էներգիայից: Լիցքավորված մասնիկներով (պրոտոններով) հարուցած ռեակցիաներում միջուկի պոտենցիալի արգելքը հաղթահարելու համար ընկնող մասնիկին պետք է լրացուցիչ կինետիկ էներգիա: Նման ռեակցիաներում միջուկի գրգռման ֆունկցիան կախված էներգիայից սկզբում աճող է, ապա, հասնելով առավելագույն արժեքի դառնում է ասիմպտոտիկ նվազող: Գրգռման ֆունկցիաների որոշման համար առավել հաճախ օգտագործվում է այսպես կոչված “stacked-foil” մեթոդը, որի դեպքում միաժամանակ ճառագայթվում են ուսումնասիրվող թիրախը, մոնիտոր թիրախը և դեգրադերը: Ճառագայթումից հետո նմուշներից յուրաքանչյուրի ակտիվությունը չափվում է առանձին-առանձին, հաշվելով նաև նրանց համար փնջի համապատասխան էներգիան: Հենց նման մեթոդ է օգտագործվել ԱՄԳԼ-ում կատարված այս աշխատանքում:

Ատենախոսությունը նվիրված է բնական վոլֆրամից պրոտոնով հարուցած ռեակցիաների գրգռման ֆունկցիաների փորձարարական չափումներին և տեսական ուսումնասիրություններին, ինչպես նաև արգելակման ճառագայթման ֆոտոնների հոսքին-հավասարակշռած բնական ռենիումի և նիոբիումի միջին կտրվածքների չափմանը: Ուշադրության կենտրոնում են եղել այն թիրախները, որոնք կարող են օգտագործվել կիրառական նպատակներով: Գիտափորձերում օգտագործվել են բարձր մաքրության բնական թիրախներ և ԱՄԳԼ-ի LUE-75 արագացուցչի 30 ՄԷՎ և 40 ՄԷՎ էներգիայի էլեկտրոնային, և ցիկլոտրոն C18/18-ի 18 ՄԷՎ էներգիայի պրոտոնային փնջերը: Ատենախոսության բովանդակությունը շարադրված է 102 տպագրական էջով, և նրա հիմնական մասը կազմված է ներածությունից, հինգ գլխից և եզրակացությունից: Կան նաև լրացուցիչ տեղեկություններ նկարների և աղյուսակների անվանման, և օգտագործված գրականության ցանկի վերաբերյալ:

Ներածությունում քննարկվում են միջուկային ռեակցիաները և դրանք նկարագրող տեսական մոդելները: Համառոտ ներկայացված է ատենախոսության կառուցվածքը: Կարևորվում է միջուկային ռեակցիաների ուսումնասիրությունը միջուկի ներսում գտնվող նուկլոնների փոխազդեցության և միջուկի կառուցվածքը

հասկանալու հարցում: Միջուկային ռեակցիաները նկարագրող մոդելների ստուգման և նրանց հետագա զարգացման համար կարևոր է ունենալ լայնածավալ տվյալներ ռեակցիայի կտրվածքների, գրգռման ֆունկցիաների, արտանետվող մասնիկների էներգիաի և անկյունային բաշխումների, և այլ բնութագրերի համար: Հիմնարար և կիրառական հետազոտությունների համար առանձնապես մեծ հետաքրքրություն են ներկայացնում նեյտրոնների արտանետումով ռեակցիաները: Ֆոտոնով և պրոտոնով հարուցված միջուկային ռեակցիաների և ռադիո-իզոտոպների ծնման վերաբերյալ տվյալները սակավ են, ուստի նոր փորձարարական տվյալները խիստ անհրաժեշտ:

Առաջին գլխում բերված են ԱՄԳԼ-ի LUE-75 արագացուցչի և C18/18 ցիկլոտրոնի մանրամասն նկարագրությունները, նրանց աշխատանքային հիմնական պարամետրերը: LUE-75-ում կատարված փորձերում օգտագործվել են 30 ՄԷՎ և 40 ՄԷՎ էներգիայի էլեկտրոնային փնջեր: Արգելակման ճառագայթման ֆոտոններ ստանալու համար, էլեկտրոնային փնջի ճանապարհին տեղադրվել է տանտալի թիրախ, որի օպտիմալ հաստությունը GEANT4 մոդելավորմամբ որոշվել է 2 մմ: Ցիկլոտրոնի փորձերում օգտագործված պրոտոնային փնջի էներգիան եղել է 18 ՄԷՎ: Ֆոտոնների հոսքով-հավասարակշռած (“flux-weighted”) միջին կտրվածքները (ֆոտոններով հարուցած ռեակցիաների համար), և մնացորդային ռադիոնուկլիդների միջուկների գրգռման ֆունկցիաները (պրոտոններով հարուցված ռեակցիաների համար) չափվել են ակտիվացիոն անալիզի մեթոդով: Օգտագործվել է ԱՄԳԼ-ում գործող Բարձր Մաքրության Գերմանիումի HPGe դետեկտորը, որի բնութագրերը մանրամասն բերված են այս գլխում: Փորձարարական տվյալների մշակման համար օգտագործվել է MAESTRO ծրագրային փաթեթը: HPGe-ի էֆեկտիվությունը որոշվել է հայտնի (“standard”) ռադիոակտիվ աղբյուրների միջոցով, և այն սանդղավորվել է դետեկտորի գլխիկից (“cup”) տարբեր հեռավորությունների համար:

Երկրորդ գլխում ամփոփված են թեզի հետ կապված տեսական հաշվարկներ կատարելու միջուկային ծրագրերը: Միանգամայն պարզ է, որ բացի հնարավորինս լայն կինեմատիկ տիրույթում միջուկային ռեակցիաների փորձնական չափումից, միջուկային ռեակցիաները հասկանալու համար անհրաժեշտ է այդ ռեակցիաների տեսական հաշվարկներ և մոդելավորումներ: Սույն աշխատանքում տեսական հաշվարկները կատարվել են համընդհանուր ընդունված և լայն կիրառություն գտած TALYS և EMPIRE ծրագրային փաթեթներով, որոնք պարբերաբար լավացվում են:

Երրորդ գլուխը նվիրված է ֆոտոններով և պրոտոններով հարուցված ռեակցիաների փորձերին: Նկարագրված են ինչպես LUE-75 գծային արագացուցչում և C18/18 ցիկլոտրոնում ճառագայթման պայմանները, այնպես էլ գիտափորձերին անհրաժեշտ թիրախների նախապատրաստման աշխատանքները: Երկու դեպքում էլ,

և՛ ֆոտոնով, և՛ պրոտոնով կատարված փորձերի համար թիրախակալները սարքվել են ԱՍԳԼ-ում: Թեզի այս գլխում մանրամասն ներկայացված են յուրաքանչյուր թիրախի պարամետրերը: Գիտափորձերից ստացված արդյունքները համեմատվել են տեսական հաշվարկների և գրականության մեջ առկա այլ աշխատանքների տվյալների հետ: Քննարկման արդյունքից կարելի է եզրակացնել, որ անհրաժեշտ է կատարել նոր չափումներ շատ ավելի փոքր էներգետիկ քայլերով:

Չորրորդ գլուխը նվիրված է $^{182m.g}\text{Re}$, $^{184m.g}\text{Re}$ և $^{186m.g}\text{Re}$ իզոմեր զույգերի Իզոմեր Կտրվածքների Հարաբերությունների ICR չափումներին: Որոշվել են ֆոտոնային և պրոտոնային ռեակցիաների ICR-ները: Նշենք, որ հիմնարար տեսանկյունից ICR-ների նման ուսումնասիրությունները ներկայումս ունեն մեծ հետաքրքրություն: Ստացվել են էմպիրիկ և կիսա-էմպիրիկ արդյունքներ ինչպես ֆոտոններով, այնպես էլ պրոտոններով հարուցված ռեակցիաների համար: Բերված է $^{182m.g}\text{Re}$ և $^{184m.g}\text{Re}$ իզոմեր զույգերի փորձարարական և տեսական ICR-ների համեմատությունը, ինչպես նաև կիսա-էմպիրիկ արդյունքներ ֆոտոններով հարուցված ռեակցիաներում $^{186m.g}\text{Re}$ իզոմերային զույգի համար: Հարկ է նշել, որ $^{182m.g}\text{Re}$ -ի և $^{184m.g}\text{Re}$ -ի համար նման տվյալներ ստացվել են առաջին անգամ:

Հինգերորդ գլուխում քննարկվում է ^{186g}Re -ի արտադրության հնարավորությունը ֆոտոններով և պրոտոններով հարուցված ռեակցիաներում: Արժե նշել, որ ^{186g}Re -ը միջուկային բժշկության ոլորտում լայնորեն կիրառվող ռադիոիզոտոպներից է: Ինչպես ակտիվության հաշվարկները, այնպես էլ բոլոր չափումները կատարվել են ԱՍԳԼ-ում: Բերված են 30 ՄԷՎ և 40 ՄԷՎ առավելագույն էներգիայի արգելակման ճառագայթման ֆոտոնային փնջերով հարուցված “specific activity” արդյունքները: Շնորհիվ փորձում օգտագործված “stacked-foil” թիրախի, պրոտոնի հարուցած ^{186g}Re -ի ծնման համար ստացվել են տվյալներ էներգիայի տաս սարքեր արժեքների համար: Պրոտոնի էներգիան “stacked-foil” թիրախի առանձին շերտերի համար որոշվել է SRIM/TRIM ծրագրային փաթեթի վրա հիմնված Մոնտե-Կարլո հաշվարկներով: Այս արդյունքները ստացվել են բարակ թիրախների համար, մինչդեռ իզոտոպների արտադրության տեսանկյունից հետաքրքրություն է ներկայացնում ինտեգրալ ակտիվությունը: Ուստի, սույն աշխատանքում բարակ թիրախների համար ստացված ակտիվության տվյալները ինտեգրվել են:

Եզրակացություն բաժնում ամփոփված են ատենախոսության հիմնական արդյունքները և նրանց համեմատումը այլ խմբերի կողմից ստացված տվյալների հետ: Ի դեպ, ^{91m}Nb ռադիոնուկլիդի և $^{182m.g}\text{Re}$, $^{184m.g}\text{Re}$ իզոմեր զույգերի համար ICR-ների տվյալները ստացվել են առաջին անգամ: Քննարկված է փորձարարական

արդյունքների կարևորությունը առկա տեսական մոդելների ստուգման համար, ինչպես նաև այս բնագավառի սպասվող ապագա զարգացումների հարցը:

Ատենախոսության հիմնական արդյունքներն են:

1. Չափվել է $^{nat}\text{Re}(\gamma, xn)$ ռեակցիաների համար ֆոտոնային փնջի հոսքով-հավասարակշռած (“flux-weighted”) միջին կտրվածքները;
2. Կատարվել են $^{nat}\text{Nb}(\gamma, xn)$ ռեակցիաների ֆոտոնային փնջի հոսքով-հավասարակշռած (“flux-weighted”) միջին կտրվածքների չափումներ;
3. ^{nat}W -ի վրա պրոտոնային փնջով հարուցած ռեակցիաներով չափվել են $^{181;182;183;184;186}\text{Re}$ նուկլիդների զրգոման ֆունկցիաները;
4. Կատարվել են $^{182m,g}\text{Re}$, $^{184m,g}\text{Re}$ և $^{186m,g}\text{Re}$ իզոմերային զույգերի իզոմեր հարաբերությունների չափումներ;
5. ^{186g}Re միջուկի համար որոշվել է ֆոտոններով և պրոտոններով հարուցված ռեակցիաների արդյունքում ստացված ակտիվությունները:

Ատենախոսությունը գուրկ չէ որոշ թերություններից և բացթողումներից: Օրինակ՝

1. Թեզում $^{nat}\text{Nb}(\gamma, xn)$ կտրվածքների բացարձակ նորմավորման համար նույնպես օգտագործվել է $^{65}\text{Cu}(\gamma, n)^{64}\text{Cu}$ մոնիտոր ռեակցիան: Ուսումնասիրվող և մոնիտոր ռեակցիաների շեմային էներգիաների տարբերությունը հաշվի է առնվում՝ օգտագործելով տվյալների ուղղման C_x լրացուցիչ գործակից (էջ 40, բանաձև 3.4): Սակայն չի քննարկվում այդ գործակցի հնարավոր սխալների և բերված արդյունքների վրա նրանց ազդեցության հարցը:
2. Մանրամասն չի քննարկվում գիտափորձերում ստացված կտրվածքների և իզոմեր հարաբերությունների սխալների հիմնական աղբյուրները և նվազեցման հնարավորությունը, որը արժեքավոր կլիներ ապագա չափումների համար:
3. Ցիկլոտրոնի պրոտոնային փնջով չափումներում օգտագործվել է տարբեր տարրերից կազմված բազմաշերտ թիրախ (Cu, W, Al ...): Շերտերից առաջինը՝ Cu, ծառայել է որպես մոնիտոր թիրախ: Առանձին շերտերի համար պրոտոնի էներգիան որոշվել է SRIM/TRIM ծրագրային փաթեթի հաշվարկներով: Նման թիրախի դեպքում փնջի հոսքը տարբեր է տարբեր թիրախների համար, և նրա մեծ տատանումները կարող են ազդել թիրախի առանձին շերտերում համապատասխան պրոտոնի էներգիայի գնահատման ճշտության վրա: Ցավոք այս հարց մանրամասն չի քննարկվում:

4. Թեզուս բերված պրոտոններով հարուցված բնական վոլֆրամի գրգռման ֆունկցիաների էներգիայից կախվածությունը զգալի տարբերվում է գոյություն ունեցող այլ գիտափորձերի չափումներից և տեսական հաշվարկներից (էջ 70-73, Նկ. 3.23-3.26), սակայն տարբերության հարցը համարյա չի մեկնաբանվում:
5. Ցիկլոտրոնի պրոտոնային փնջով կատարված չափումներում բացակայում է նաև նեյտրոնային ֆոնի հնարավոր ազդեցության քննարկման հարցը:

Սակայն, վերը նշված դիտողությունները ավելի շատ խորհրդական են և չեն ազդում ատենախոսության գիտական արժեքի և եզրակացությունների վրա:

Ատենախոսությունում ընդգրկված աշխատանքները կատարված են բարձր մակարդակով, և ստացված արդյունքները կարևոր են միջուկային ռեակցիաների տեսության զարգացման և ռադիոիզոտոպների արտադրության մեթոդների հետազարդման համար: Ստացվել են նոր փորձարարական տվյալներ, որոնք համեմատվել են գրականության մեջ հայտնի նախկին չափումների հետ, ինչպես նաև TALYS և EMPIRE ծրագրային փաթեթներով կատարված տեսական հաշվարկների հետ: Հիմնականում, թե՛ տեսական, և թե՛ նախկին չափումների նկատմամբ դիտվել է բավականին լավ համաձայնություն: Սակայն, որոշ դեպքերում դրանց միջև նկատելի են էական անհամապատասխանություններ, որոնք պարզաբանման համար պահանջում են լրացուցիչ չափումներ և հաշվարկային մոդելների բարելավումներ: Չափումներով և տեսական հաշվարկներով ցույց է տրված, որ հարստացված վոլֆրամի թիրախը ցիկլոտրոն C18/18-ի 5–15 ՄԷՎ էներգիական տիրույթի և 100 μ A հոսանքի պրոտոնային փնջով ճառագայթելիս հնարավոր է ստանալ ^{186}Re բժշկական ռադիոիզոտոպ: Գիտափորձերի արդյունքում ստացվել են միջուկային ռեակցիաների կտրվածքների նոր տվյալներ, որոնց մի մասն ընդգրկվել են ընդհանուր օգտագործման EXFOR տվյալների բազա: Դրանք կնպաստեն ինչպես տեսական մոդելների զարգացմանը, այնպես էլ նոր ռադիոիզոտոպների արտադրությանը: Չափումների համար անհրաժեշտ թիրախների նախապատրաստման, փորձերի կատարման և տվյալների մշակման ձեռք բերված հարուստ փորձը և հմտությունները կարևոր հիմք են ԱՄԳԼ-ում նման հետազոտությունների խթանման և հետագա զարգացման համար:

Ամփոփելով՝ կարող եմ միանշանակ անել հետևյալ եզրակացությունը.

Ներկայացված աշխատանքն իր գիտական արժեքով և ծավալով լիովին համապատասխանում է թեկնածուական ատենախոսության համար ԲՈԿ-ի բոլոր պահանջներին, և Ռոզա Վախտանգի Ավետիսյանը արժանի է Ա.04.16 –“Միջուկի, տարրական մասնիկների և տիեզերական ճառագայթների ֆիզիկա” մասնագիտությամբ ֆիզիկամաթեմատիկական գիտությունների թեկնածուի գիտական աստիճանի շնորհման: Սեղմագիրն իր կառուցվածքով և բովանդակությամբ լիովին համապատասխանում է ատենախոսությանը և ամփոփում նրա բոլոր դրույթները:

Ֆիզմաթ-գիտությունների դոկտոր՝

Ի. Արարչյան

Գ. Մկրտչյան

Ստորագրությունը հաստատում եմ

ԱԱԳԼ-ի գիտ. Քարտուղար՝

Ա. Փիլոյան

Ա. Փիլոյան

29.04.2022թ.

