

Нейтроны Нэг Удаагийн Сарнилаар Устөрөгчийн Агуулгыг Тодорхойлох Арга

Б.Отгоолой

Монгол улсын их сургууль, Цөмийн судалгааны төв

Энэхүү аргын үндэс нь резонансын шүүлтүүрээр тайрагдсан энергийн спектрийн мужид хөнгөн элементүүд дээрх сарнилаар орж ирсэн нейтроныг нимгэн резонансын детектороор бүртгэх замаар тухайн элементүүдийн орцыг тодорхойлдог. Зөвхөн устөрөгч дээр нейтрон урагш сарнидагт үндэслэн нейтроныг дээж дотор сарнисан чиглэлээр нь ялган бүртгэхэд уг аргын гол санаа нь оршино. Энэ ажлаар нейтроны нэг удаагийн сарнилаар устөрөгчийн агуулгыг тодорхойлох арга боловсруулсан. (Энэхүү ажлыг "Хэрэглэгээний цөмийн физикийн судалгаа" сэдэвт ажлын дагуу гүйцэтгэв)

Судлагдсан байдал

Оросын эрдэмтэн Ю.Г.Тетерьев резонансны шүүлтүүрийн тусламжтайгаар нейтроны зөвхөн нэг удаагийн сарнилаар хөнгөн элементийн агуулгыг тодорхойлох арга боловсруулсан байдаг [1]. Энэ ажлын үндэс нь: Дулааны нейтроныг бүрэн шингээгч кадми цилиндр сав дотор 1.1÷2.2 эВ энергитэй нейтроныг бүрэн шингээгч индий бортгонд олон байгаа дээжийг роди ялтсаар (детектороор) ороож байрлуулаланаль ч талаас нь нейтроноор шарна. Кадми болон инди резонансын шүүлтүүр нь 2.2 эВ-ээс бага энергитэй нейтронуудыг бүрэн шингээх үүргийг гүйцэтгэнэ. Иймд роди ялтас болон дээж рүү 2.2 эВ-ээс их энергитэй нейтронууд нэвтрэнэ. Харин инди болон родийн нейтрон шингээгч резонансын энергиүд нь харгалзан 1.46±0.75 эВ; 1.26±0.20 эВ байдаг. Дээж дэх хөнгөн элементүүд дээр удааширч 1.1÷2.2 эВ мужид харгалзах энергитэй болсон нейтронуудаар роди ялтас идэвхжинэ. Дээжний эзэлхүүн нь нейтрон зөвхөн нэг удаа сарнихаар сонгогдсон тул родийн идэвхжилийн хэмжээ дээж дэх хөнгөн элементүүдийн орцтой пропорциональ байдаг. Энэ аргын дутагдалтай тал нь устөрөгчтэй ойролцоо масстай элементүүдээс өгөх эффектийг ялгадаггүй учраас хөнгөн элементүүдийн нийлбэр агуулгыг тодорхойлдог.

Иймд ажлын гол зорилго нь зөвхөн устөрөгчөөс өгөх эффектийг ялган тодорхойлох аргыг боловсруулахад оршино.

Устөрөгчийн эффектийг ялгах нь

Аргын физик үндэс нь зөвхөн устөрөгчийн цөм дээр нейтрон анх туссан чиглэлийнхээ дагуу сарнидаг зүй тогтол юм. Энэ нь түүний атомын масс нейтроныхтой бараг тэнцүү байдагтай холбоотой. Устөрөгчийн хувьд нейтроны сарнилын өнцөгийн μ – косинус лабораторийн системд дараах байдлаар илэрхийлэгддэг [2].

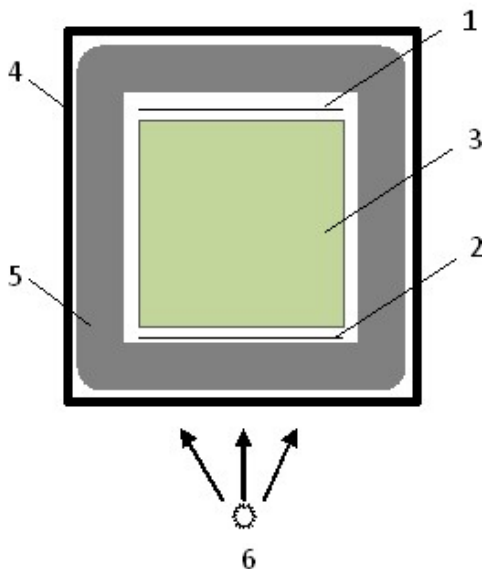
$$\mu = \frac{\cos \theta + 1}{\sqrt{2(1 + \cos \theta)}} = \cos \frac{\theta}{2}$$

θ - инерцийн төвийн систем дахь сарнилын өнцөг.

Иймд дэвшүүлж байгаа шийдлийн онцлог нь хөнгөн элементүүдтэй мөргөлдөж энергиэ алдсан нейтронуудыг сарнисан чиглэлээр нь ялгаж бүртгэхийн тулд дээжний дээд, доод сууринд ижилхэн диаметртэй роди детекторуудийг байрлуулж аль нэг суурин талаас нь нейтроноор шарна. Шаралтын геометрийг 1-р зурагт үзүүлэв.

Дулааны нейтроныг шингээгч 0.5 мм зузаантай кадми, резонансын (жигд дулааны) нейтроныг шингээгч 2.5 мм зузаантай инди шүүлтүүрүүд 2.2 эВ-ээс их энергитэй нейтронуудыг дээж рүү нэвтрүүлнэ. Эдгээр нейтронууд хүчилтөрөгчөөс хүнд элементүүд дээр нэг удаагийн сарнилаар 2.2 эВ-ээс бага энергитэй болж чадахгүй[3]. Харин дээжин дэх хөнгөн элементүүд дээр нэг удаагийн сарнилаар удааширч ойролцоогоор 1.1÷2.2 эВ

мужид харгалзах энергитэй болсон нейтонууд роди 1, роди 2 детекторуудыг идэвхжүүлнэ.



Зураг.1. Дээжийг шарах геометр

1,2-роди ялтсан детекторууд, 3-дээж (3.2 см^3), 4-металл кадми савны ханын зузаан(0.5мм), 5- металл инди сав (зузаан 2.5мм), 6-нейтроны үүсгүүр, PuBe

Дээр тэмдэглэсэн ёсоор шаралтын зохистой сайн геометрт роди-1 детектор устөрөгч болон бусад хөнгөн изотопууд дээр сарнисан нейтонуудаар идэвхжих бөгөөд харин роди-2 детектор устөрөгчөөс бусад изотопууд дээр сарнисан нейтонуудаар идэвхжих ёстой.

Устөрөгчийг хүнд устөрөгчөөс (дейтроноос) ялган тодорхойлсон туршилт

Туршилтанд $7 \cdot 10^6 \text{ н/с}$ гаралттай Pu-Be үүсгүүр ашигласан. Эхлээд дээжийн оронд хүнд элемент бүхий цулгуй зэс цилиндрийг байрлуулан шарж роди 1, 2 детекторуудад харгалзах фоныг тогтоосон. Ийнхүү хэмжилт болгоны дүнгээс фонын утгыг хассан. Детекторуудын идэвхжилийг 4.4 минутын хагас задралын үетэй роди-104 изотопоос гарах 4.5 МэВ энергитэй β^- бөөмийг бета тоолуураар бүртгэх замаар хэмжсэн.

Дээжний оронд цэвэр нэрмэл усыг байрлуулан шарж, тодорхой хугацаанд P_H жинтэй устөрөгчөөс роди 1, 2 детекторуудад өгсөн идэвхжилээс тоологдох N_{H1} , N_{H2}

импульсын тоог хэмжсэн. Эндээс устөрөгчийн нэгж жингээс роди 1 ба роди 2 детекторуудад өгөх dN_{H1} , dN_{H2} эффектүүдийг тодорхойлсныг бичвэл:

$$dN_{H1} = \frac{N_{H1}}{P_H} = 35660 \text{ имп / гр} ;$$

$$dN_{H2} = \frac{N_{H2}}{P_H} = 22860 \text{ имп / гр}$$

Дээрх эффектүүд нь зөвхөн устөрөгчөөс өгсөн эффектүүд юм.

Дээрхийн адилаар 99,8% -ийн D_2O хүнд усыг ашиглаж дейтроны хувьд хэмжилт хийснийг бичвэл:

$$dN_{D1} = \frac{N_{D1}}{P_D} = 3390 \text{ имп / гр} ;$$

$$dN_{D2} = \frac{N_{D2}}{P_D} = 3830 \text{ имп / гр}$$

Алт байгаа элементийн орцоос үл хамааран тухайн геометрт тогтмол байдаг дараах параметруудийг тодорхойлсон байх шаардлагатай. Үүнд:

$$K_H = \frac{dN_{H1}}{dN_{H2}} = \frac{N_{H1}}{N_{H2}} = 1.56 \pm 0.01 ;$$

$$K_D = \frac{dN_{D1}}{dN_{D2}} = \frac{N_{D1}}{N_{D2}} = 0.886 \pm 0.009$$

K_H , K_D тогтмолууд нь нейтроноор шарах геометр, нейтроны үүсгүүрийн спектрээс хамааран өөрчлөгдөх параметр бөгөөд тухайн нөхцөлд харгалзах хэмжилтийн дээд доод хязгаарууд болно.

Авч үзэж буй элементүүд дээжинд байгаа тохиолдолд роди-1 ба роди-2 детекторуудад харгалзах N_1 , N_2 нийлбэр импульсын тоонууд дараах хэлбэртэй байна.

$$N_1 = N_{H1} + N_{D1}; \quad N_2 = N_{H2} + N_{D2}$$

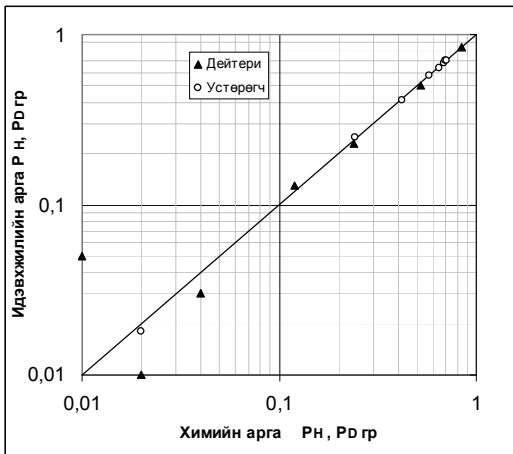
Эдгээр тэнцэтгэлүүд болон өмнө тодорхойлогдсон параметруудийн тусламжтайгаар P_D , P_H жингүүд болон тэдгээрийн харьцааг илэрхийлбэл:

$$P_D = \frac{N_2(K_H - \frac{N_1}{N_2})}{dN_{D2}(K_H - K_D)}, \quad (1)$$

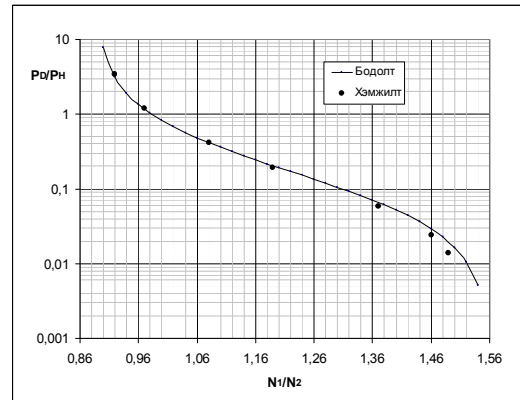
$$P_H = \frac{N_2(\frac{N_1}{N_2} - K_D)}{dN_{H2}(K_H - K_D)}, \quad (2)$$

$$\frac{P_D}{P_H} = \frac{dN_{H2}(K_H - \frac{N_1}{N_2})}{dN_{D2}(\frac{N_1}{N_2} - K_D)}, \quad (3)$$

Тодорхойлогдсон дээрх параметруудийн тусламжтайгаар дейтрон бүхий уусмалуудад байгаа хөнгөн устөрөгч болон дейтерийг ялган тодорхойлох туршилтын хэмжилтүүдийг хийсэн. Тогтмол $6,3\text{см}^3$ эзэлхүүнтэй 0.16% ; 0.31% ; 0.63% ; 1.88% ; 3.75% ; 8.13% ; 13.13% дейтеритэй, холимог уусмалуудад хийсэн идэвхжилийн шинжилгээний дүнг химийн аргатай болон тооцоотой харьцуулсныг харгалзан 2 ба 3-р зургуудад үзүүлэв.



Зураг.2. Туршилт болон химийн аргуудын дүн



Зураг.3. Тооцоо болон хэмжилтийн дүн

Хэмжилтийн дүнгүүд химийн болон (3) томъёогоор бодсон дүнгүүдтэй гарч байгаа нь зургуудаас харагдаж байна.

Дүгнэлт: Дэвшүүлсэн аргаар устөрөгчийг ялган тодорхойлох боломжтойг туршлагаар нотлон харуулав. Харин тухайн изотопуудыг мэдрэх чадвар (0,01г) тийм өндөр биш байгаа нь шаралтын геометр, түүнчилэн нейтроны үүсгүүрийн чадал болон спектртэй холбоотой. Эдгээр дутагдлыг практик дээр багасгах бүрэн боломжтой. Энэхүү боловсруулсан аргыг нь ялангуяа Монголын нүүрс, нефтийн орд газруудын нарийвчилсан зарим судалгаанд ашиглах боломжтой юм.

Ном зохиол

1. Тетерев.Ю.Г., Формирование полей эпитепловых нейтронов применительно к задачам анализа элементного состава вещества, УДК 539.1.06 18-88-111, Киев, 1988.
2. Бродер, Д.Л., Козловский С.А., Кызыюров, В.С., Попков, К.К., Рубанов, С.М., Биологическая защита транспортных реакторных установок, Москва, “Атомиздат”, 1969
3. К. Бекурц, К. Виртц
Нейтронная физика, Атомиздат, Москва, 1968г.