

ХУРДАН НЕЙТРОНООР ЯВАГДАХ (n,p) УРВАЛЫН ОГТЛОЛ
I.Статистик загвар

Г.Хүүхэнхүү, Г.Үнэнбат
МУИС, Цөмийн судалгааны төв

Түлхүүр үг: Хурдан нейтрон, цөмийн урвал, статистик загвар, урвалын огтлол, систематик анализ, огтлолын томъёо

Товч утга: Цөмийн урвалын статистик загварт тулгуурлан, тогтмол температурын нарийвчлалд, ууршилтын загварыг ашиглан нейтроны үйлчлэлээр цэнэгт бөөм үүсэх урвалын огтлолын ерөнхий томъёог гаргав. (n,p) урвалын тохиолдолд систематик анализ хийхэд тохиромжтой хялбар томъёог гаргав.

ОРШИЛ

Цөмийн урвалын гол хэмжигдэхүүн болох огтлолын утгууд системлэн анализ хийж, ерөнхий зүй тогтолыг олж тогтоох нь онц практикийн чухал ач холбогдолтой. Тухайлбал, цөмийн урвалын огтлолын систематик зүй тогтолоос тухайн урвалд зонхилж буй механизмыг тодорхойлох, огтлолын хэмжигдсэн утгууд үнэмшлийн хувьд зэрэг түвшинд байгааг үнэлэх, хэмжилт хийгдээгүй изотопын хувьд урвалын огтлолын боломжит утгыг баримжаалах зэрэг боломж нээгддэг. Гэвч эдгээр боломжийг ашиглахын тулд урвалын огтлолын анализ улам нарийсгаж, систематик зүй тогтолыг илэрхийлэгч томъёонуудыг онолын үндэслэлийг гаргаж, урвалын механизмтай холбож өгөх шаардлагатай.

Хурдан нейтроноор явагдах (n,p) урвалын огтлолын туршлагын утгуудыг анх 1956 онд В.Н.Левковский [1] нэгтгэн анализ хийж, тухайн элементийн изотопуудын хувьд тодорхой харьцаа байгааг тогтоогосон. 1957 онд (n,p) урвалын огтлол бай-цөм дэх протоны тоог масс тоонд харьцуулсан параметрээс экспоненциал хуулиар хамаарч байгааг харуулжээ [2].

Энэ ажлыг Монгол Улсын шинжлэх ухаан-технологийн сангаас дэмжигдсэн НЕЙТРОН төслийн хүрээнд гүйцэтгэв.

Дээрхи зүй тогтолуудыг 1962 онд D.G.Gardner [3,4] цөмийн урвалын статистик загвараар тайлбарлах анхны оролдлогыг хийв. 1963 онд В.Н.Левковский [5] 14-15 МэВ энергитэй нейтроноор явагдах (n, p) урвалын огтлолын систематик зүй тогтлолыг илэрхийлсэн туршлагын анхны томъёог бичжээ. Энэ томъёог одоо хүртэл өргөн хэрэглэж, бүх систематик анализын үндэс болгож байна.

Үүнээс хойш, хурдан нейтроноор явагдах (n, p) урвалын огтлолын систематик зүй тогтолын талаар олон ажил хэвлэгдсэн бөгөөд тэдгээрт үндсэн гурван хандлага ажиглагдаж байгаа нь:

1. Туршлагын үр дүнгүүдтэй хамгийн сайн тохирох томъёо ба түүний параметруудийг хөөж олох [5-15];
2. Хөөж олсон туршлагын томъёог цөмийн урвалын статистик загварт

тулгуурлан онолын хувьд үндэслэж гаргах [16-28];

3. Цөмийн урвалын шууд ба хагас шууд механизмын нөлөөг систематик зүй тогтолд тооцох [29-32] зэрэг юм.

Саяханыг хүртэл энэ бүх судалгаанууд зөвхөн 14-15 МэВ энергитэй нейтроноор явагдах урвалын хувьд хийгдэж байв.

1993 оноос хойш бидний явуулсан судалгаагаар [33-37] зөвхөн $E_n = 14-15$ МэВ төдийгүй, нейтроны энергийн өргөн ($E_n = 2-16$ МэВ) мужид (n, p) урвалын огтлолын утгууд тодорхой систематик зүй тогтолтой болох нь тогтоогдов. Ийм ерөнхий зүй тогтолыг онолын хувьд нарийвчлан авч үзэж, тайлбарлах шаардлага зүй ёсоор гарч байна. Үүнд дөхөм үзүүлэх зорилго цөмийн урвалын статистик онолд тулгуурлан (n, p) урвалын огтлолын томъёог гаргаж, түүнд анализ хийсэн тухай энэ өгүүлнэ.

1. (n, x) УРВАЛЫН ОГТЛОЛ

Нейтроны үйлчлэлээр цэнэгтэй x -бөөм үүсэх урвалын огтлолын хувьд цөмийн урвалын статистик загварыг ашиглан судлаачдын гаргасан томъёонууд гадаад хэлбэрээрээ ялгаатай боловч утгаараа ижил бөгөөд тухайн нөхцөлөөс болж өөр томъёонууд гарч байгааг анх 1979 онд Ю.Н.Трофимов [22] харуулжээ. Гэвч уг ажилд урвалын огтлолын ерөнхий томъёог гаргаагүй учир аль томъёо, ямар нөхцөлд, хэрхэн гарч байгаа нь ойлгомж муутай байна. Үүнээс хойш уг асуудалд судлаачид анхаарлаа хандуулаагүй болтой. Харин бидний судалгааны дүнд нейтроны энергийн өргөн мужид (n, p) ба урвалын огтлолд систематик зүй тогтол байгаа нь

тогтоогдсоноор [33-37,39] дээрх асуудлыг дахин нарийвчилж авч үзэв. Шаардлагатай болов.

Цөмийн урвалын статистик онолыг ашиглан (n, x) урвалын огтлолыг ерөнхий томъёог эхлээд гаргая. Цөмийн урвалын компаунд механизм ёсоор (n, x) урвалын огтлолыг дараах хэлбэртэй илэрхийлж болно [38]:

$$\sigma(n, x) = \sigma_c(n) G(x) \quad (1)$$

Энд: $\sigma_c(n)$ - нейтроны үйлчлэлээр компаунд цөм үүсэх огтлол; $G(x)$ - үүссэн компаунд цөмөөс цэнэгтэй x -бөөм гарах магадлал. $E_n = 14-15$ МэВ үед

$$\sigma_c(n) = \pi r_0^2 (A^{1/3} + 1)^2 \quad (2)$$

гэж үздэг [6]. Энд: $r_0 = 1.4 \cdot 10^{-13}$ см; A -бай цөмийн масс тоо. Нейтроны долгиолог чанарыг тооцоогүй, зөвхөн геометр огтлолын (2) томъёо $E_n \geq 10$ МэВ үед хэрэглэх боломжтой боловч нейтроны энергийн өргө мужид дараах томъёо илүү тохиромжтой [38,39]:

$$\sigma_c(n) = \pi (R + \lambda)^2 \quad (3)$$

Энд: $R = r_0 A^{1/3}$ бай цөмийн радиус; λ - тусч буй нейтроны долгионы урт 2π -д хуваасан утга бөгөөд

$$\lambda = \frac{\hbar}{\sqrt{2mE_n}} = \frac{4.55 \cdot 10^{-13}}{\sqrt{E_n (MeV)}} (cm), \quad (4)$$

гэж тодорхойлогдоно. Энд: $\hbar = h / 2\pi$, h - Планкийн тогтмол; m - нейтроны масс; E_n - нейтроны энерги.

Компаунд цөм задрах магадлалыг

$$G(x) = \frac{\Gamma_x}{\Gamma} \quad (5)$$

гэж болно [38]. Энд: Γ_x - компаунд цөмийн өдөөгдсөн төлөвийн түвшний x -бөөмд харгалзах өргөн; Γ - туайн түвшний нийт өргөн:

$$\Gamma = \Gamma_n + \Gamma_p + \Gamma_\gamma + \Gamma_\alpha + \dots = \sum_i \Gamma_i \quad (6)$$

гэж тодорхойлогддог [38].

Компаунд цөм задрах процесст x - бөөм "уурших" загварыг [15,38] ашиглавал

$$\Gamma_x = \frac{2S_x + 1}{\pi^2 h^2 \rho_c(E_c)} M_x \int_{I_x}^{\varepsilon_x^{\max}} \varepsilon_x \sigma_c(\varepsilon_x) \rho_Y(U_x) d\varepsilon_x \quad (7)$$

гэж болно. Энд: S_x - x -бөөмийн спин; M_x - x -бөөмийн масс;

$\rho_c(E_c)$ - компаунд цөмийн түвшиний нягт; $\rho_Y(U_x)$ - урвалаас үүссэн цөмийн түвшиний нягт; $\sigma_c(\varepsilon_x)$ - ε_x энергитэй x -бөөм Y -цөмд шингэж компаунд цөм үүсгэх урвуу урвалын огтлол; I_x - үүссэн Y -цөмийн зүгээс x -бөөмд учруулах кулоны потенциал саад.

$A \gg 1$ үед компаунд цөмийн өдөөлтийн энерги

$$E_c = E_n + B_n + \delta_n \quad (8)$$

Энд: B_n - нейтроны холбоос энерги; δ_n - нейтроны тооны тэгш-сондгойгоос хамаарсан засвар. A бага E_n их үед урвалын кинематик ёсоор инерцийн төвийн хөдөлгөөнийг тооцож

$$E_c = \frac{A}{A+1} E_n + B_n + \delta_n \quad \text{гэдэг.} \quad (8a)$$

Урвалаас үүсэн гарч буй x -бөөмийн max энерги

$$\varepsilon_x^{\max} = E_c - B_x - \delta_x \approx E_n + Q_K \quad (9)$$

Энд:

$$Q_K = B_n - B_x + \delta_n - \delta_x$$

Үүссэн Y -цөмийн өдөөлтийн энерги

$$U_x = \varepsilon_x^{\max} - \varepsilon_x \quad (10)$$

Квази-классик тохиолдолд урвуу урвалын огтлолыг дараах байдлаар авдаг [38,40]:

$$\sigma_c(\varepsilon_x) = \begin{cases} \pi R^2 \left(1 - \frac{V_x}{\varepsilon_x}\right) & \varepsilon_x > V_x \\ 0 & \varepsilon_x < V_x \end{cases} \quad \forall \varepsilon_x \quad (11)$$

Цөмийн энтропийг

$$S(E) = \ln N \quad (12)$$

гэж авбал [38], түвшиний нягт

$$\rho(E) = \frac{N}{\Delta E} = \frac{1}{\Delta E} e^{S(E)} \quad (13)$$

болно. Үүний ΔE -энергийн муж; N -энергийн энэ мужид харгалзах түвшиний тоо. Тодорхойлолт ёсоор

$$\frac{dS}{dE} = \frac{1}{\Theta} \quad (14)$$

Энд: $\Theta = kT$ термодинамик температур; k -Больцманы тогтмол; T абсолют температур. Тогтмол температурын нарийвчлалд [38,40] (14)-өөс

$S_y - S_c = (U_x - E_c) / \Theta$ болж (9) ба (10) ёсоор

$$\frac{\rho_y(U_x)}{\rho_c(E_c)} \approx e^{S_y - S_c} = e^{-\frac{1}{\Theta}(B_x + \delta_x + \varepsilon_x)} \quad (15)$$

гарна [28]. (7) илэрхийлэлд (11) ба (15) -ыг орлуулвал

$$\Gamma_x = \frac{2S_x + 1}{\pi \hbar^2} M_x R^2 \int_{V_x}^{\varepsilon_x^{\max}} \varepsilon_x \left(1 - \frac{V_x}{\varepsilon_x}\right) e^{-\frac{B_x + \delta_x + \varepsilon_x}{\Theta}} d\varepsilon_x \quad (16)$$

болж, интеграл авсаны дараа

$$\Gamma_x = \frac{2S_x + 1}{\pi \hbar^2} M_x R^2 \Theta^2 e^{-\frac{B_x + \delta_x + V_x}{\Theta}} \left\{ 1 - \frac{\varepsilon_x^{\max} - V_x}{\Theta} e^{-\frac{\varepsilon_x^{\max} - V_x}{\Theta}} - e^{-\frac{\varepsilon_x^{\max} - V_x}{\Theta}} \right\} \quad (17)$$

гарна. Хэрэв гамма-квантыг тооцолгүй, урвалаас зөвхөн бөөм гарна гэвэл (1), (5), (6), (9), (17) илэрхийлэлүүдээс (n, x) урвалын огтлолын ерөнхий томъёог дараах хэлбэртэй бичиж болно:

$$\sigma(n, x) = \sigma_c(n) \cdot \frac{(2S_x + 1) M_x e^{-\frac{B_x + \delta_x + V_x}{\Theta}} \left\{ 1 - \frac{W_{nx}}{\Theta} e^{-\frac{W_{nx}}{\Theta}} - e^{-\frac{W_{nx}}{\Theta}} \right\}}{\sum_i (2S_i + 1) M_i e^{-\frac{B_i + \delta_i + V_i}{\Theta}} \left\{ 1 - \frac{W_{ni}}{\Theta} e^{-\frac{W_{ni}}{\Theta}} - e^{-\frac{W_{ni}}{\Theta}} \right\}} \quad (18)$$

Энд: $W_{nx} = E_n + Q_{nx} - V_x$ ба $W_{ni} = E_n + Q_{ni} - V_i$.

Хурдан нейтроны ($E_n \geq 1\text{МэВ}$) хувьд

$$\Gamma \approx \Gamma_n. \quad (19)$$

гэвэл $i = n$, $V_n = 0$, $Q_{nn} = 0$ учир (18)-аас

$$\sigma(n, x) = \sigma_c(n) \frac{2S_x + 1}{2S_n + 1} \cdot \frac{M_x}{M_n} \cdot e^{\frac{Q_{nn} - V_x}{\Theta}} \left\{ \frac{1 - \frac{W_{nx}}{\Theta} e^{-\frac{W_{nx}}{\Theta}} - e^{-\frac{W_{nx}}{\Theta}}}{1 - \frac{E_n}{\Theta} e^{-\frac{E_n}{\Theta}} - e^{-\frac{E_n}{\Theta}}} \right\} \quad (20)$$

гэж ашиглахад хялбар томъёо гарна.

2. (n, x) УРВАЛЫН ОГТЛОЛЫН ТОМЪЁОНЫ АНАЛИЗ

Нейтроноор явагдах урвалын гаралтын бүх сувагт

$$(E_n + Q_{ni} - V_i) \gg \Theta \quad (21)$$

гэвэл (18)-ын хүртвэр ба хуваарь дахь том хаалттай илэрхийллүүд нэг рүү тэмүүлж

$$\sigma(n, x) = \sigma_c(n) \frac{(2S_x + 1) M_x e^{-\frac{B_x + \delta_x + V_x}{\Theta}}}{\sum_i (2S_i + 1) M_i e^{-\frac{B_i + \delta_i + V_i}{\Theta}}} \quad (22)$$

1960 онд Т.Эриксоны [40] гаргасан томъёотой эквивалент илэрхийлэл гарав. Т.Эриксон уг томъёог гаргахдаа (16) илэрхийллийн интегралын дээд хязгаарыг хязгааргүйгээр сольжээ. Энэ нь $\varepsilon_i^{\max} = (E_n + Q_{ni}) \rightarrow \infty$ буюу (21) нөхцөл биелэгдэнэ гэсэн үг.

Мөн (20) буюу (22)-т (19) нөхцөлийг тооцвол $i = n$ гээд 1971 онд Р.Сuzzosrea нарын [24] гаргасан томъёо болно

$$\sigma(n, x) = \sigma_c(n) \frac{(2S_x + 1)}{(2S_n + 1)} \cdot \frac{M_x}{M_n} e^{\frac{Q_{nx} - I_x}{\Theta}} \quad (23)$$

Ийнхүү бидний гаргасан (18), (20) томъёонуудаас Т.Эриксоны Р.Сuzzосега нарын (22), (23) томъёонууд тухайн тохиолдол болон гар байна.

3. (n, p) УРВАЛЫН ОГТЛОЛ

(20) томъёог хялбарчилж том хаалттай хэсгийг тооцолгүйгээр (n, p) урвалын огтлолыг бичье:

$$\sigma(n, p) = \sigma_c(n) \frac{(2S_p + 1)}{(2S_n + 1)} \cdot \frac{M_p}{M_n} e^{\frac{Q_{np} - I_p}{\Theta}} \quad (24)$$

Энд: $S_p = S_n = \frac{1}{2}$ бөгөөд $M_p \approx M_n$ учир (3) ба (24)-өөс

$$\sigma(n, p) = \pi(R + \lambda)^2 e^{\frac{Q_{np} - I_p}{\Theta}} \quad (25)$$

гэж систематик анализ хийхэд хялбар томъёог гаргаж болно. (25)-тай төстэй томъёог Н.Л.Рай [25,26], Wen-deh Lu, R.W.Fink [20], S.Ait-Tahar [18], Kh.T.Osman нар [28] гаргасан боловч тэд зөвхөн $I_n = 14-15$ МэВ үед тохируулан $\sigma_c(n)$ -ийг (2) хэлбэртэй авчээ.

Үүссэн цөмийн зүгээс протонд учруулах потенциал саадыг N.B.Gove R.Nakasima (1961), D.G.Gardner, S.Rosenblum (1967) нар [23,41]

$$V_p = \frac{1.029(Z - 1)}{A^{1/3} + 1} \text{ (МэВ)} \quad (26)$$

хэлбэртэй авчээ.

Q_{np} -ийн томъёог гаргахын тулд цөмийн холбоос энергийг тооцдог C.F.von.Weizsacker -ийн [42] томъёог ашиглая. Бай-цөмийн холбоос энерги

$$E_f = \alpha A - \beta A^{2/3} - \gamma \frac{Z^2}{A^{1/4}} - \xi \frac{(A - 2Z)^2}{A} - \frac{\delta_f}{A^{1/4}} ; \quad (27)$$

Үүссэн цөмийн холбоос энерги

$$E_f = \alpha A - \beta A^{2/3} - \gamma \frac{(Z-1)^2}{A^{1/4}} - \xi \frac{[A - 2(Z-1)]^2}{A} - \frac{\delta_f}{A^{1/4}} \quad (28)$$

Энд: $\alpha=15.7$ МэВ, $\beta=17.8$ МэВ, $\gamma=0.71$ МэВ, $\xi=23.7$ МэВ, $|\delta|=34$ МэВ
буюу 0 байдаг. Эндээс (n, p) урвалын энергийг олж болно [21]:

$$Q_{np} = E_f - E_i = \gamma \frac{2Z-1}{A^{1/3}} - 4\xi \frac{N-Z+1}{A} + \frac{\Delta}{A^{3/4}} \quad (29)$$

Энд $\Delta = \delta_i - \delta_f$ гэсэн тэмдэглэгээ хийвэл (25) ба (29)-өөс

$$\sigma(n, p) = \pi(R+\lambda)^2 \exp \frac{1}{\Theta} \left\{ \gamma \frac{2Z-1}{A^{1/3}} - 4\xi \frac{N-Z+1}{A} + \frac{\Delta}{A^{3/4}} - V_p \right\} \quad (30)$$

болно. Энд

$$C = \exp \frac{1}{\Theta} \left\{ \gamma \frac{2Z-1}{A^{1/3}} + \frac{\Delta}{A^{3/4}} - V_p \right\} \quad (31)$$

$$K = \frac{4\xi}{\Theta} \quad (32)$$

гэсэн тэмдэглэгээ хийвэл

$$\sigma(n, p) = C\pi(R+\lambda)^2 e^{-K \frac{N-Z+1}{A}} \quad (33)$$

гэж (n, p) урвалын огтлолын систематик анализ хийхэд хялбар
томъёо гарав. Хэрэв $(N-Z) \gg 1$, $R \gg \lambda$ гэвэл (2) томъёог ашиглаад
В.Н.Левковскийн [5,6] томъёо гарна:

$$\sigma(n, p) = C\pi_o^2 (A^{1/3} + 1)^2 e^{-K \frac{N-Z}{A}} \quad (34)$$

(33) томъёонд $(N-Z) \gg 1$ гэвэл систематик анализ хийхэд бидний
[36,37] хэрэглэж ирсэн хагас туршлагын томъёо болно:

$$\sigma(n, p) = C\pi(R+\lambda)^2 e^{-K \frac{N-Z}{A}} \quad (35)$$

Харин $R \gg \lambda$ гээд (33)-аас S.Ait-Tahar-ын томъёо [18] гарна:

$$\sigma(n, p) = C\pi_o^2 (A^{1/3} + 1)^2 e^{-K \frac{N-Z+1}{A}} \quad (36)$$

4. C, K ПАРАМЕТРУУД

(n, p) урвалын огтлолын туршлагын утгуудад (33)-(36) томъёонуудыг ашиглан систематик анализ хийхэд C, K -ийг чөлөөт параметрууд гэж хөөж олдог. Одоо эдгээрийг тодорхой авч үзье.

Үүссэн Y -цөмийн өдөөлтийн $\max$ энергиэр Y -цөмийн температурыг тодорхойлж болдог [38]:

$$\Theta = \sqrt{\frac{U_p^{\max}}{a}} \quad (37)$$

Энд: a - Y -цөмийн түвшиний нягтын параметр. Ферми -хийн загварыг ашиглавал [43]

$$a = \frac{A}{10} (MeV^{-1}). \quad (38)$$

(10) ёсоор $U_p^{\max} = \varepsilon_p^{\max}$ учир (9)-өөс

$$U_p^{\max} = E_n + Q_{np} \text{ буюу}$$

$$\Theta = \sqrt{\frac{10(E_n + Q_{np})}{A}}. \quad (39)$$

Тэгвэл (32) ба (39) -өөс K -ийг тодорхойлж болно:

$$K = \varphi \sqrt{\frac{A}{E_n + Q_{np}}}. \quad (40)$$

Энд:

$$\varphi = \frac{4\xi}{\sqrt{10}} = const. \quad (41)$$

Манай тохиолдолд ихэнхдээ $Z \gg 1$ учир (26)-аас

$$V_p \approx \frac{Z}{A^{1/3}}. \quad (42)$$

болж, (31)-д $\Delta = 0$ гэвэл

$$C = \exp \frac{Z}{\Theta A^{1/3}} (2\gamma - 1). \quad (43)$$

(39) ба (43)-аас

$$C = \exp \left(\omega \frac{ZA^{1/6}}{\sqrt{E_n + Q_{np}}} \right). \quad (44)$$

Энд:

$$\omega = \frac{2\gamma - 1}{\sqrt{10}} = \text{const}. \quad (45)$$

Тэгвэл (40) ба (44)-өөс C ба K параметруудийн хооронд дараах холбоо тогтоогдоно:

$$\ln C = \frac{Z}{A^{1/3}} \left(\frac{2\gamma - 1}{4\xi} \right) K \quad (46)$$

ДҮГНЭЛТ

1. Хурдан нейтроны үйлчлэлээр цэнэгтэй бөөм гарах урвалын огтлолын ерөнхий томъёог цөмийн урвалын компаунд механизмд үндэслэсэн статистик онолыг ашиглан тогтмол температурын нарийвчлалд гаргав.
2. Энэ ерөнхий томъёоноос Т.Эриксон, Р.Сюззоскреа нарын томъёонууд тухайн тохиолдол болон гарч байгааг харуулав.
3. (n, p) урвалын огтлолд систематик анализ хийхэд өргөн ашиглагддаг хагас туршлагын хялбар илэрхийллүүдийг дээр дурьдсан ерөнхий томъёоноос гаргав.
4. (n, p) урвалын огтлолын систематик анализын томъёонууд дахь C, K -чөлөөт параметруудийг тодорхойлж, тэдгээрийн хоорондох холбоог гаргав.

Abstract

In the framework of the statistical model approach to nuclear reactions, using the evaporation model and constant nuclear temperature approximation is deduced a formula for the neutron induced charged particle emission reaction cross sections. In the case of fast neutrons a simple formula of the (n, p) cross sections can be, in particular, obtained for systematical analysis.

АШИГЛАСАН НОМ ХЭВЛЭЛ

1. В.Н.Левковский. ЖЭТФ, т.31, вып.2 (8), (1956), с.360
2. В.Н.Левковский. ЖЭТФ, т.33, вып.6 (12), (1957), с.1520
3. D.G.Gardner. Nucl. Phys. v.29, N3, (1962), p.373
4. D.G.Gardner, A.D.Poularikas. Nucl. Phys. v.35, N2, (1962), p.303
5. В.Н.Левковский. ЖЭТФ, т.45, вып.2 (8), (1963), с.305
6. В.Н.Левковский. Ядерная Физика, т.18, вып.4, (1973), с.705
7. В.М.Бычков, А.Б.Пашенко, В.И.Пляскин Proceedings of the 8th International Symposium on the Interaction of Fast Neutron with Nuclei - Nuclear Reaction Mechanisms - 1978, Gaussig.Eds. R.Reif, S.Sassonov Dresden, (1979), p.147
8. O.Horibe. Proceedings of the International Conference on Nuclear Data for Science and Technology. Ed.S.Igarasi, (1988), Mito, p.493
9. Y.Ikeda et al. In book [8], p.257
10. I.Kumabe, K.Fukuda. Report NEANDC (J), 65/U, (1978), p.45
11. R.A.Forrest. AERE Report, R12149, Harwell Laboratory (1986)
12. П.М.Гопыч и др. Ядерная Физика, т.47, вып.2, (1988), с.602
13. П.М.Гопыч и др. Ядерная Физика, т.57, вып.3, (1994), с.387
14. R.Doczi et al. Proceedings of the International Conference on Nuclear Data for Science and Technology. Part.1, 1997, Triest.Eds. G.Reif, A.Ventura and C.Grandi., (1997), Bologna, p.943
15. В.М.Бычков и др. Сечения пороговых реакций, вызываемых нейтронами. Справочник. Энергоиздат. Москва. (1982)
16. S.A.Badikov and A.B.Pashchenko, INDC (CCP)-325, IAEA, Vienna,(1991)
17. V.M.Bychkov et al. INDC (CCP)-146/LJ, IAEA, Vienna (1980)
18. S.Ait-Tahar. Journal of Physics G: Nuclear Physics. v.13, N7, (1987) L121
19. S.Ait-Tahar. Zeitschrift fur Physik, v.348, N4, (1994), p.289
20. Wen-deh Lu, R.W.Fink. Phys.Rev.C. v.4, N4, (1971), p.1173
21. Ю.Н.Трофимов. Материалы 4-й Всесоюзной конференции по Нейтронной Физике, 1977, Киев. часть 2. Москва (1977), с.140
22. Ю.Н.Трофимов. Вопросы атомной науки и техники. Серия: Ядерные Константы. вып.2 (33), (1979), с.47
23. N.B.Gove, R.Nakasima. Nuovo Cimento, v.22, N1, (1961), p.158
24. P.Cuzzocrea, E.Perillo, S.Natarrigo Nuovo Cimento, v.4A, N2, (1971) p.251
25. H.L.Pai. Canadian Journal of Physics. v.54, N14, (1976), p.1421
26. H.L.Pai, D.G.Andrews Canadian Journal of Physics. v.56, N7, (1978) p.944
27. K.Gul. INDC (PAK)-009, IAEA, Vienna,(1995),
28. Kh.T.Osman and F.Habbani, INDC (SUD)-002, IAEA, Vienna, (1997)

29. D.Kielan, A.Marcinkowski, U.Garuska Nuclear Physics, v.559A, N3, (1993), p.333
30. A.I.Dityuk et al. In book [14], p.979
31. A.Yu.Konobeyev et al. Nucl.Instr.Meth. v.108B, (1996), p.233
32. G.Eder, G.Winkler, P.Hille Zeitschrift fur Physik, Band 253, Heft.4, (1972), p.335
33. G.Khuukhenkhuu et al. JINR Communication, E3-93-205, Dubna, (1993)
34. G.Khuukhenkhuu et al. JINR Communication, E3-93-466, Dubna, (1993)
35. G.Khuukhenkhuu et al. Proceedings of the 2-nd International Seminar on Neutron- Nucleus Interactions ISINN-2. JINR, E3-94-419, Dubna, (1994), p.201
36. G.Khuukhenkhuu et al. Proceedings of the 5-th International Seminar on interaction of Neutrons with Nuclei. ISINN-5. JINR, E3-97-213, Dubna, (1997), p.379
37. G.Khuukhenkhuu et al. Proceedings of the International Conference on Nuclear Data for Science and Technology. 1997, Trieste. Eds. G.Reffo, A.Ventura and C.Grandi., Bologna, (1997), p.934
38. J.M.Blatt and V.F.Weisskopf. Theoretical Nuclear Physics, John Wiley and Sons, New York, (1952),
39. G.Khuukhenkhuu et al. JINR Communication, E3-94-316, Dubna, (1994)
40. T.Ericson. Advances in Physics. v.9, N36, (1960), p.425
41. D.G.Gardner, S.Rosenblum. Nuclear Physics. v.96A, N1, (1967), p.121
42. C.F.von.Weizsacker. Zeitschrift fur Physik v.96, (1935), p.431
43. A.Bohr, B.R.Mottelson. Nuclear Structure. vol.1. W.A.Benjamin, Inc. (1969), New York, Amsterdam