

**30 кэВ ЭНЕРГИТЭЙ НЕЙТРОНООР ЯВАГДАХ  
(n, γ) УРВАЛЫН ДУНДАЖ ОГТЛОЛЫН  
СИСТЕМАТИК АНАЛИЗ**

Г.Хүүхэнхүү, А.Дулмаа

(Цөмийн судалгааны төв)

**1. ОРШИЛ**

Цөмийн урвал явагдах магадлал буюу эрчим тодорхойлдог гол хэмжигдэхүүн болох урвалын огтлол судалгаа нь онол, практикийн чухал ач холбогдолтой. Тухайлбал, цөмийн дотоод бүтэц, урвал явагдах механизм зэрэг цөмийн физикийн тулгуур асуудлыг судлах, астрофизикийн зарим шийдэгдээгүй асуудлыг тайлбарлах, цөмийн эрчим хүчний төхөөрөмжийн хийцийг тооцоолох зэрэгт нейтрон үйлчлэлээр явагдах урвалын огтлолын тухай өргөн мэдээлэл шаардагддаг. Нейтроны үйлчлэлээр явагдах урвалын огтлолын энергийн гурван үндсэн мужид ихэвчлэн хэмжиж судалса байна [1]:

1. Их урсгалтай реактор дээр удаан нейтроноор ( $E_n = 0.025$  эВ эсвэл энергийн резонансын муж  $E_n \approx 1-10^3$  эВ) явагдах урвалын судалгаа;

2. Ван де Граафын хурдасгуур, нейтроны шүүлтүүр  $Sb(Be)$  - үүсгүүрийн тусламжтайгаар гарган авсан бэсрэг энергитэй ( $E_n \approx 30$  кэВ) нейтроноор явагдах урвалын судалгаа;

3. Ван де Граафын хурдасгуур буюу Кокрофт-Уолтон хурдасгуур дээр гарган авсан хурдан нейтроны ( $E_n \approx 1-14$  МэВ) үйлчлэлээр явагдах урвалын судалгаа.

Цөмийн урвалын огтлолын талаар туршлагын материал хуримтлагдахын хирээр тэдгээрийг нэгтгэн анализ хийх, оноль тооцооны дүнтэй жиших зүй ёсны шаардлага гардаг. 30 кэВ орчим энергитэй нейтроноор явагдах (n, γ) урвалын дундаж огтлолын туршлагын үр дүнгүүдийг цуглуулан нэгтгэж, цөмийн урвалын статистик онолын томъёотой жиших замаар систематик анализ хийхийг энэ ажлын зорилго болгов. Ийм урвалын энергийн мужийг сонгон авсны шалтгааныг дараах хэд зүйлээр тайлбарлаж болно:

1. 30 кэВ-ийн мужид (n, γ) урвалын огтлолыг нилээд олон цөмийн хувьд туршлагаар хэмжсэн учир систематик анализ хийх боломжтой;

2. Энергийн энэ мужид (n, γ) урвалын огтлолыг онолоор тооцоолоход харьцангуй хялбар;

3. Цөмийн астрофизикийн зарим асуудлыг шийдэхэд 30 кэВ энергитэй нейтроноор явагдах урвалын огтлолын судалгаа чухал;

4. Хурдан нейтроны реакторын судалгаанд 30 кэВ энергитэй нейтроны огтлолын мэдээлэл хэрэгтэй болдог гэх мэт.

Уг асуудлыг эрдэмтэд нилээд эртнээс судалж ирсэн [2] бөгөөд 1980 оноос Недведюк, Попов нар [3-5], 1988 онд Жао Жишян нар [6] нарийвчилсан анализ хийжээ. Дээрх эрдэмтэдийн дэвшүүлсэн санаануудад тулгуурлан 30 кэВ энергитэй нейтроноор явагдах (n, γ) урвалын огтлолын талаар дэлхий даяар гарч буй туршлагын материалуудыг эмхэтгэн орчин үеийн мэдээллээр баяжуулж, цөмийн урвалын статистик онолын үүднээс анализ хийлээ. Ийм судалгааны үр дүнд (n, γ) урвалын дундаж огтлолд ямар ерөнхий зүй тогтол байгааг тогтоох, улмаар одоогоор хэмжилт хийгдээгүй зарим цөмд огтлолын байж болох утгыг үнэлэх боломж цаашид гарах юм.

## 2. СИСТЕМАТИК АНАЛИЗЫН ОНОЛЫН ҮНДЭС

Цөмийн урвалын статистик онолд тулгуурлан (n, γ) урвалын дундаж огтлолыг дараах томъёогоор илэрхийлж болно [7]:

$$\langle \sigma_{n\gamma} \rangle = 2\pi^2 \cdot \lambda^2 \cdot \frac{g}{D} \cdot \frac{\langle \Gamma_n \rangle \langle \Gamma_\gamma \rangle}{\Gamma} \cdot F \quad (1)$$

Үүнд:  $\lambda$  - нейтроны долгионы уртыг  $2\pi$ -д хуваасан утга

$$g = \frac{2J + 1}{2(2I + 1)} \quad - \text{спиний статистик фактор}$$

J - завсрын цөмийн спин

I - бай цөмийн спин

$D = \Delta E / N$  - түвшнүүдийн хоорондох дундаж зай;

$\Delta E$  - энергийн муж;

N - энэ муж дахь түвшнүүдийн тоо;

$\langle \Gamma_n \rangle$  - нейтронд харгалзах түвшний дундаж өргөн;

$\langle \Gamma_\gamma \rangle$  -  $\gamma$  - квантад харгалзах түвшний дундаж өргөн;

$\langle \Gamma \rangle$  - түвшний нийт дундаж өргөн;

$F$  - нейтроны өргөний флуктуациас болж гардаг дундачлалын фактор.  $0.6 \leq F \leq 1.0$  байдаг учир  $F \approx 1$  гэе. Урвалын огтлолыг цөмийн спинээс хамаарахгүй гэвэл  $g=1$  болно. 30 кэВ-ийн мужид ихэнх тохиолдолд  $\langle \Gamma_n \rangle \gg \langle \Gamma_\gamma \rangle$  учир  $\langle \Gamma_n \rangle \approx \langle \Gamma \rangle$  гэж болно. Тэгвэл

$$\langle \sigma_{n\gamma} \rangle \approx 2\pi^2 \cdot \lambda^2 \cdot \frac{\langle \Gamma_\gamma \rangle}{D} \quad (2)$$

Цөмийг протон нейтрон хоёроос тогтсон Ферми-хий гэвэл түвшний нягтыг дараах томъёогоор илэрхийлж болно [8]:

$$\rho(U) = \frac{1}{D} = \frac{\sqrt{\pi}}{24a^{1/4} \cdot U^{5/4}} \cdot e^{2\sqrt{aU}} \quad (3)$$

Үүнд:  $U$  - цөмийн өдөөлтийн энерги,

$a$  - цөмийн түвшний нягтын параметр

Түвшний  $\gamma$ -квантад харгалзах дундаж өргөнийг

$$\langle \Gamma_\gamma \rangle \sim \left( \frac{U}{a} \right)^2 \quad (4)$$

гэвэл [9] (н.γ) урвалын дундаж огтлолыг (3)- ба (4) томъёог ашиглан

$$\langle \sigma_{n\gamma} \rangle \sim \frac{(aU)^{3/4}}{a^3} \cdot e^{2\sqrt{aU}} \quad (5)$$

гэж бичиж болно. Эффектив дундаж огтлол гэсэн ойлголт оруулж бичвэл

$$\langle \sigma_{n\gamma} \rangle_{\text{eff}} = \frac{\langle \sigma_{n\gamma} \rangle \cdot a^3}{(aU)^{3,4}} \sim e^{2\sqrt{aU}} \quad (6)$$

болно.

### 3. ДУНДАЖ ОГТЛОЛЫН АНАЛИЗ

30 кэВ энергитэй нейтроноор явагдах (n,γ) урвалын дундаж огтлолыг хэмжсэн туршлагын дүнгүүдийг [10-12] номуудаас авч, бай цөм дэх нейтроны тооноос  $\langle \sigma_{n\gamma} \rangle$  хэрхэн хамаарч байгааг тэгш-тэгш цөмүүдийн хувьд 1-р зурагт харуулав. Бай цөм дэх нейтроны тоо "шидэт" буюу N=28, 50, 82, 126 үед урвалын дундаж огтлол огцом буурч байна. Ийм хамаарал урьд нь ажиглагдаж байсан [2] юм. Үүнтэй төстэй хамаарал сондгой-тэгш ба тэгш-сондгой цөмүүдийн хувьд мөн ажиглагдлаа. Энэ нь бай цөм дэх нейтроны бүрхүүл дүүргэгдсэн тохиолдолд гаднаас туссан нейтроныг шингээх магадлал эрс буурч байгаагийн гэрч юм.

(n,γ) урвалын дундаж огтлол нейтроны холбоос энергиэс хэрхэн хамаарч байгааг цагаан тугалга ба диспрозын изотопуудын хувьд 2-р зурагт үзүүлэв. Тэгш-тэгш изотопуудын хувьд Недведюк Попов нар анх ажигласан шиг [3] шугаман хамааралтай байна. Харин тэгш-сондгой изотопуудын хувьд нейтроны холбоос энергиэс нь нейтроны хос үүсгэх энергийг хасвал тэгш-тэгш изотопуудтайгаа нэг шулууны дагуу хамааралтай болж байна. Энэ нь цөм дэх нейтронууд Куперийн хос [13] үүсгэж байдгийн нэг баталгаа юм. "Шидэт" тооноос мэдэгдэхүйц ялгаатай нейтрон бүхий изотопуудад ийм хамаарал түгээмэл ажиглагдаж байна.

Тэгш-тэгш цөмүүдийн хувьд  $\sqrt{aU}$  параметрээс (n,γ) урвалын эффектив дундаж огтлол хэрхэн хамаарч байгааг 3-р зурагт үзүүлэв. Хагас логарифм хуваарь дээр шугаман хамаарал ажиглагдаж байгаа нь  $\langle \sigma_{n\gamma} \rangle$ -ийн систематик анализад (6) томъёог хэрэглэж болохыг харуулж байна. Бид хүмүүсийн хэмжсэн үр дүнгүүдэд чанарын үнэлгээ өгч алийг нь зөв, алийг нь буруу гэж үзэхээ хараахан шийдээгүй байгаа тул дээрх зургуудад одоогоор байгаа огтлолын бүх утгуудыг авав. Иймд зарим элементийн нэг изотопод хэд хэдэн утга харгалзаж байгааг дурдах хэрэгтэй.



#### 4. ДҮГНЭЛТ

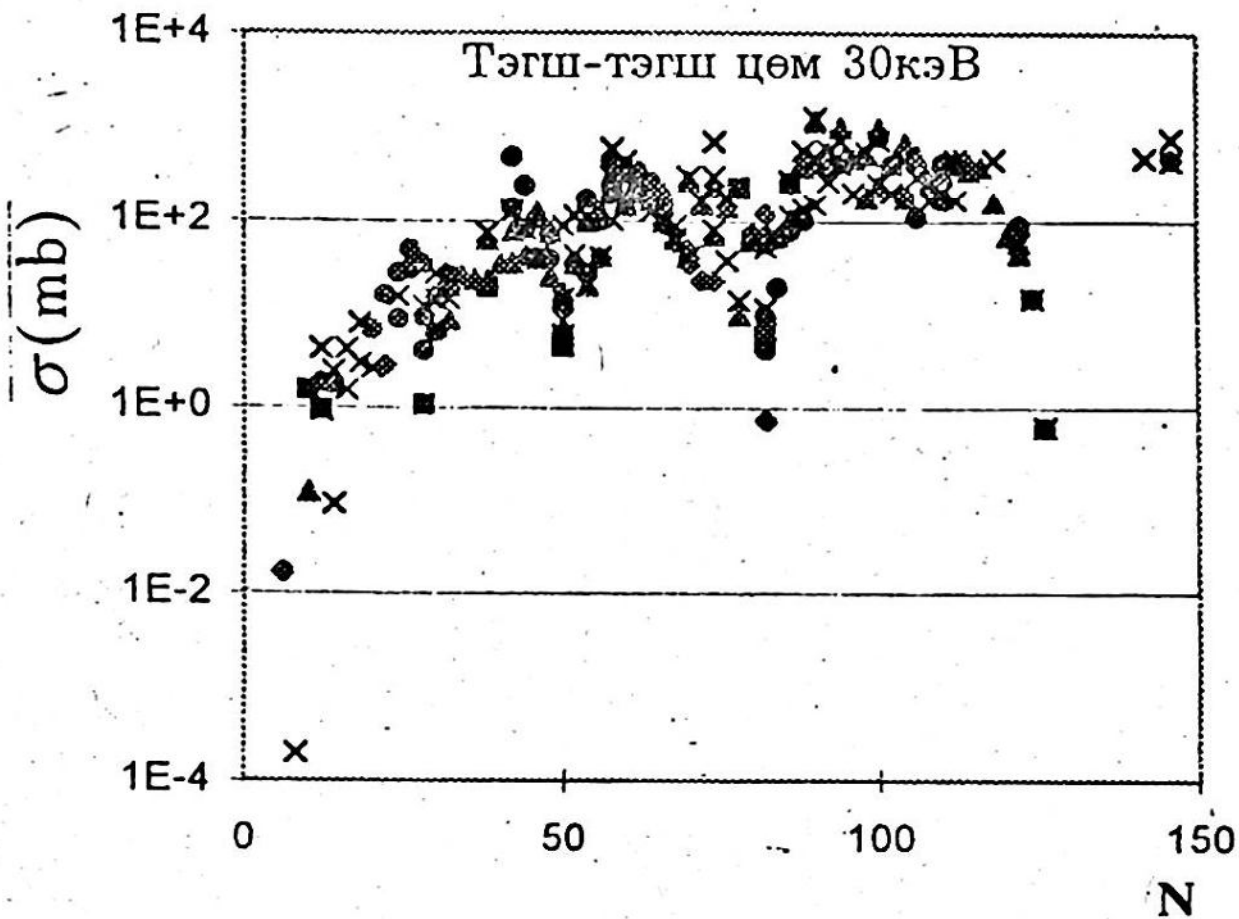
1. 30 кэВ орчим энергитэй нейтроноор явагдах  $(n,\gamma)$  урвалыг огтлолд цөмийн урвалын статистик онолд тулгуурлан систематик анализ хийх аргачиллын нэг хувилбарыг сана болгон дэвшүүлж байна.
2. Уг аргадаа тулгуурлан 20 гаруй судлаачдын хэмжигчид цуглуулсан 200 гаруй изотопын хувьд  $(n,\gamma)$  урвалын дундаж огтлолд анализ хийж, цөмийн бүрхүүлэн загварын дагуу "шидэт" тооны нейтронтой изотоп дээр тэгш-тэгш, тэгш-сондгой, сондгой-тэгш цөмүүдэд нэгэн адил огцом буур байгааг харуулав.
3. Нейтроны хос үүсгэх энергийг тооцсон үед, "шидэт" тооноос нилээд ялгаатай нейтрон бүхий нэг элементийн изотопуудад  $(n,\gamma)$  урвалын дундаж огтлол нь нейтроны холбоос энергиэс хуугамаан хамаарч байна.
4. Цөмийн урвалын статистик онолд тулгуурлан гаргасан томъёогоор 30 кэВ энергитэй нейтроноор явагдах  $(n,\gamma)$  урвалын дундаж огтлолын ерөнхий зүй тогтлыг тайлбарлаж боломжтойг харууллаа.
5. Цаашид  $(n,\gamma)$  урвалын дундаж огтлолын талаар мэдээллүүдэд чанарын үнэлгээ өгөх, урьд нь хэмжигдээгүй зарим чухал изотопуудад огтлолыг нь тооцоолох, урвалыг огтлолд нөлөөлж буй хүчин зүйлүүдийг тооцох зэрэг ажлуудыг хийх болно.

#### SYSTEMATICAL ANALYSIS OF AVERAGE $(n,\gamma)$ CROSS SECTIONS FOR 30 keV NEUTRONS

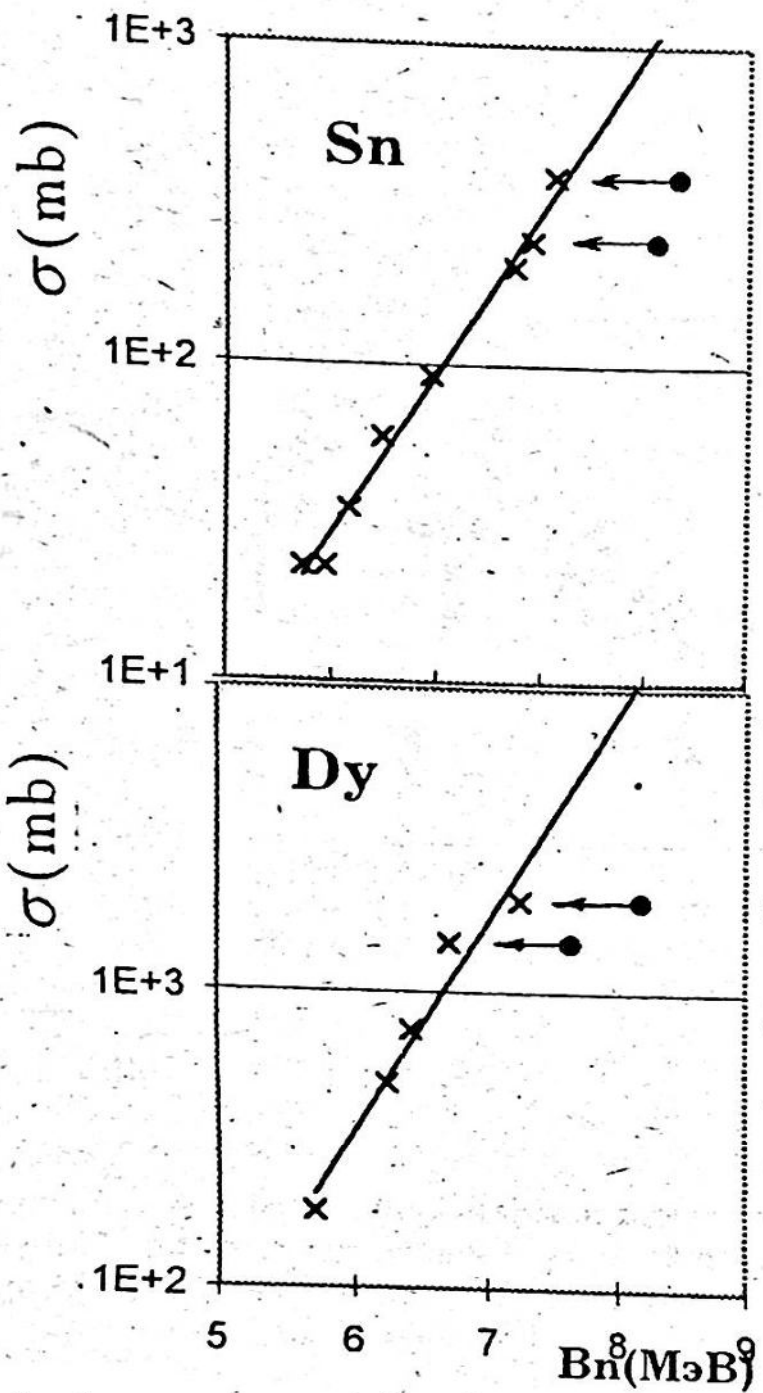
G.Khuukhenkhoo  
A.Dulmaa  
(Nuclear Research Center)

#### Abstract

The dependences of experimental  $(n,\gamma)$  cross sections for 30 keV neutron on a target-nucleus neutron number, neutron binding energy and level density parameters are analyzed using statistical model of nuclear reactions.

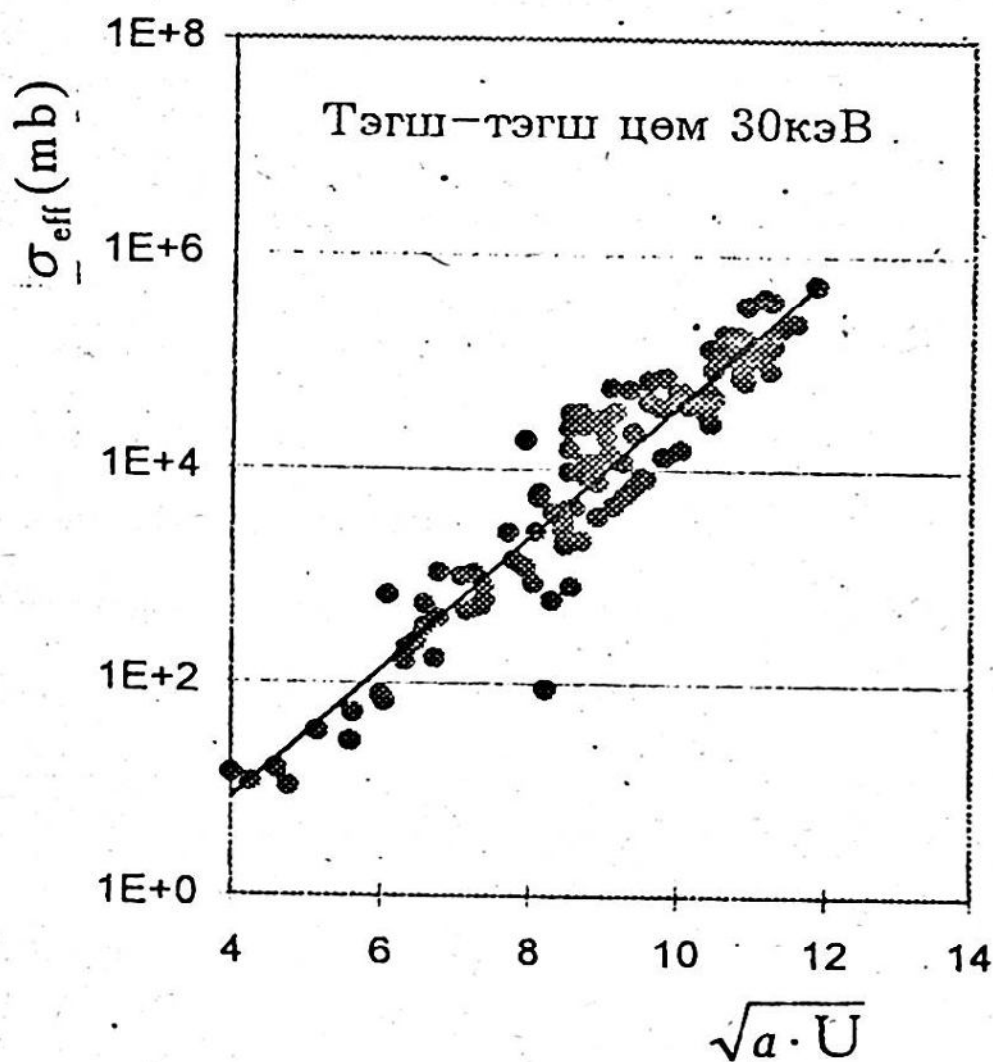


1-р зураг. Тэгш-тэгш цөмийн хувьд  $(n,\gamma)$  урвалын дундаж огтлол бай цөм дэх нейтроны тооноос хамаарсан байдал. Өөр өөр цэгүүдээр янз бүрийн хүмүүсийн хэмжсэн буюу системлэн цуглуулсан утгуудыг ялгаж тэмдэглэв.



2-р зураг. (n,γ) урвалын дундаж огтлол нейтроны холбоо энергид хамаарсан байдал.

- - тэгш-сондгой изотопууд
- × - тэгш-тэгш изотопууд



3-р зураг. (п,γ) урвалын эффектив огтлол цөмийн түвшний нягтын параметр, өдөөлтийн энерги хоёрын үржвэрээс хамаарсан байдал.



АШИГЛАСАН НОМ ХЭВЛЭЛ

1. S.F.Mughabghab et al. Neutron Cross Sections. BNL, New York, Academic Press. 1981, 1984.
2. М.В.Пасечник. Нейтронная Физика. Изд. "Наукова Думка" Киев. 1969
3. К.Недведюк, Ю.П.Попов. Препринт ОИЯИ. РЗ-80-689, Дубна 1980
4. К.Недведюк, Ю.П.Попов. В книге: Нейтронная Физика. Часть 2. ЦНИИ атоминформ. Москва. 1980
5. Ю.П.Попов. ЭЧАЯ, том. 26, вып.6, Дубна, 1995, с.1503
6. Zhao Zhixiang et al. In book: Nuclear Data for Science Technology. Mito. 1988, p.513
7. Физика быстрых нейтронов. Под ред. Дж.Мариона Дж.Фаулера. Пер. с английского. Том. 2, Госатомиздат Москва, 1963
8. Ю.В.Соколов. Плотность уровней атомных ядер. Энергоатомиздат, Москва, 1990.
9. В.П.Вертебный. В книге: IV Школа по нейтронной физике. Дубна, 1982, с.66
10. CINDA (The Computer Index of Neutron Data) 1935-1997, IAEA, Vienna, 1997
11. S.F.Mughabghab. Neutron Cross Sections. Vol.2, BNL-New York, 1973
12. Т.С.Беланова и др. Радиационный захват нейтронов INDC (ССР)-262, IAEA, Vienna, 1997. Энергоатомиздат, Москва, 1986.
13. А.В.Игнатюк. Статистические свойства возбужденных атомных ядер. Энергоатомиздат. Москва, 1983.