

## **(n,p) УРВАЛЫН ОГТЛОЛ БА ЦӨМИЙН УРВАЛЫН МЕХАНИЗМУУД**

*Г.Хүүхэнхүү, Б.Баярбадрах  
МУИС, Цөмийн судалгааны төв*

**Түлхүүр үг:** *(n,p) урвал, урвалын огтлол, систематик анализ, статистик загвар, шууд механизм, хагас шууд механизм, экситон загвар*

**Товч утга:** *Цөмийн урвалын компаунд механизмд үндэслэсэн статистик загварыг ашиглан (n,p) урвалын огтлолыг бодож туршлагын утгуудтай харьцуулав. Мөн шууд ба хагас шууд механизмын нөлөөг тооцож 14 МэВ энергитэй нейтроноор явагдах (n,p) урвалын огтлолын утгуудад систематик анализ хийв.*

### **ОРШИЛ**

Хурдан нейтроноор явагдах (n,p), (n,α) урвалын огтлолын туршлагын утгуудуудад систематик анализ хийх ажлыг бид нэлээд эртнээс эхэлсэн. Сүүлийн жилүүдэд уг ажлыг өргөжүүлэн урвалын огтлолыг онолын хувьд бодох боломжийг судалж, үүнтэй холбоотой хэд хэдэн ажлуудыг хэвлүүлсэн [1-4]. Үүний үр дүнд цөмийн урвалын компаунд, хагас шууд, шууд механизмуудаар явагдах урвалын огтлолын томъёог гаргасан. Энэ ажлаар 14 МэВ энергитэй нейтроноор явагдах (n,p) урвалын огтлолыг дээрх онолын томъёонуудаар бодож туршлагын утгуудтай харьцуулав.

### **ЦӨМИЙН УРВАЛЫН КОМПАУНД МЕХАНИЗМ**

Цөмийн урвалын компаунд механизмд үндэслэсэн статистик загварыг ашиглан гаргасан хурдан нейтроноор явагдах (n,p) урвалын огтлолын томъёог дараах хэлбэртэй бичиж болно [1]:

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

Энд:

$R$ - бай цөмийн радиус,  $\lambda$  - нейтроны долгионы уртыг  $2\pi$ -д хуваасан утга,

$A, N, Z$ - харгалзан бай-цөмийн масс тоо, нейтроны болон протоны тоо,

$C, K$ - параметруудийг дараах хэлбэртэй илэрхийлж болно.

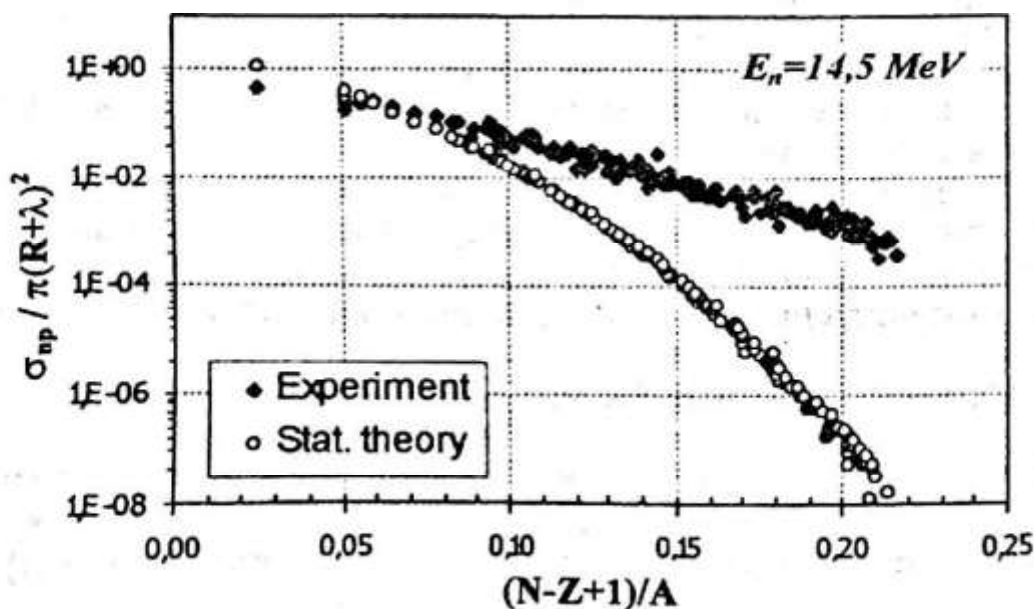
$$C = \exp\left(\omega \frac{ZA^{1/6}}{\sqrt{E_n + Q_{np}}}\right) \quad (2)$$

$$K = \varphi \sqrt{\frac{A}{E_n + Q_{np}}} \quad (3)$$

Энд:  $\omega, \varphi$ - тогтмол коэффициентүүд,  $E_n$ -нейтроны энерги,

$Q_{np}$  - урвалын энерги.

(1) - (3) томъёогоор бодсон урвалын огтлолын утгуудыг цөмийн ассиметр параметр  $(N-Z+1)/A$ -аас хамааруулан,  $E_n = 14.5$  МэВ үе дэх туршлагын утгуудтай хамт зураг 1-д үзүүлэв.



Зураг 1.  $(n, p)$  урвалын огтлолын статистик загвараар бодсон ба туршлагын утгууд

Цөмийн урвалын компаунд механизмд үндэслэсэн статистик загварыг ашиглан бидний гаргасан (1) томъёогоор  $(n, p)$  урвалын огтлолыг бодсон онолын утгууд  $(N-Z+1)/A$  өсөхөд туршлагаас зөрж байгааг 1-р зургаас харж болно. Энэ нь (1) томъёог гаргахад зарим ойролцооллыг хэрэглэсэн, урвалын энергийг Вейцзаккерийн томъёогоор бодсон гэх мэт шалтгаануудаас болсон байж болно. Үүнийг тодруулах зорилгоор урвалын энергийг Вейцзаккерийн томъёогоор бодолгүй туршлагын утгуудыг авч огтлолыг бодоход онол ба туршлагын утгууд зөрсөн хэвээр байв. Иймд цөмийн урвалын шууд болон хагас шууд механизмын нөлөөг тооцох шаардлагатай болов.

### ЦӨМИЙН УРВАЛЫН ХАГАС ШУУД МЕХАНИЗМ

Цөмийн урвалын хагас шууд механизмын нөлөөг тооцож урвалын огтлолыг бодохын тулд экситон загварт үндэслэн гаргасан дараах томъёог ашиглая [3].

$$\sigma(n, p) = 68.3 \frac{\pi^6}{\hbar^2} R^2 \sigma_r(E_n) \frac{2M_p (E_n + Q_{np})^2 (E_n + Q_{np} - 3V_p) + V_p^2 [3(E_n + Q_{np}) - V_p]}{K_0 A (E_n + B_n)^3} \quad (4)$$

Энд:

$R$  - үлдэж буй цөмийн радиус,

$\sigma_r(E_n)$  -нейтроноор явагдах урвалын нийт огтлол,

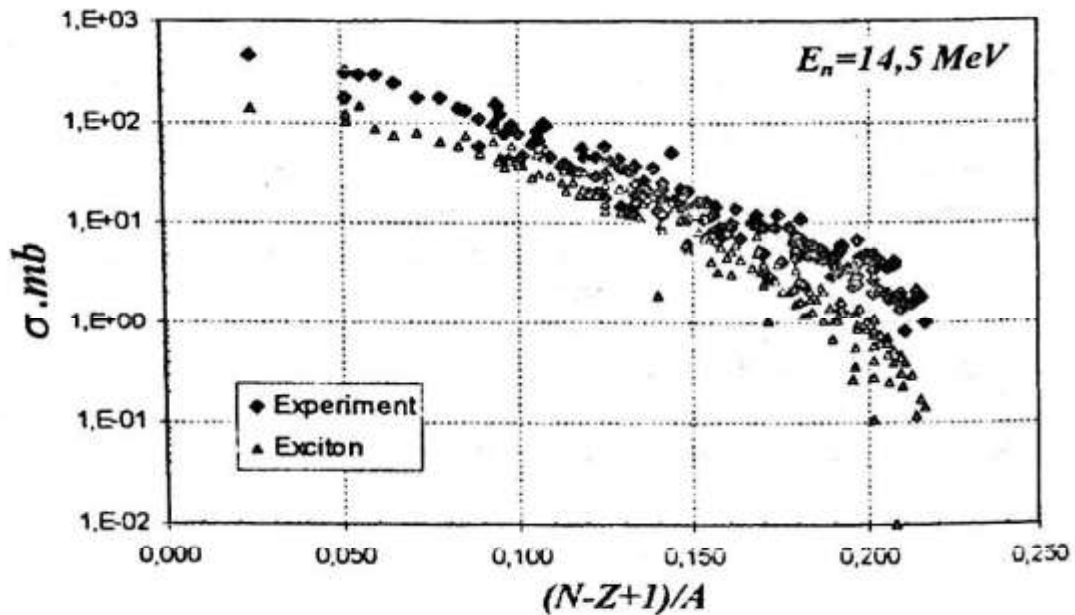
$K_0 \approx 400 \text{ МэВ}^3$

$M_p$  - протоны масс

$Q_{np}$  -  $(n, p)$  урвалын энерги

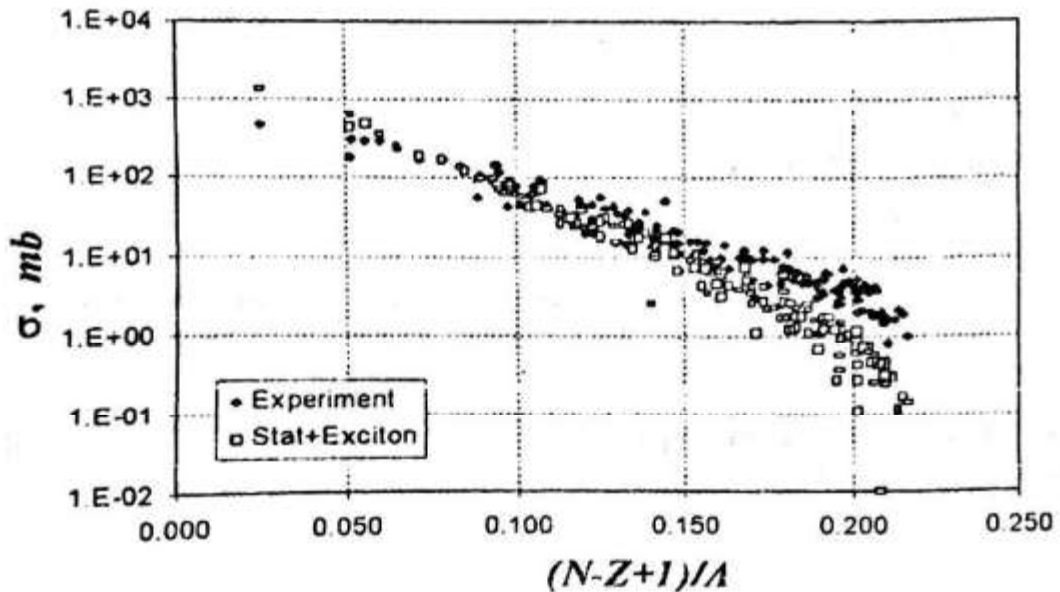
$V_p$  - үлдэж буй цөмийн зүгээс протонд учруулах потенциал энерги.

(4) томъёог ашиглан урвалын огтлолыг бодож туршлагын утгуудтай харьцуулсныг 2-р зурагт үзүүлэв.



Зураг 2.  $(n,p)$  урвалын огтлолын экситон загвараар бодсон ба туршилагын утгууд

Хагас шууд механизмыг тооцсон экситон загвараар бодсон онолын огтлол туршлагын утгуудаас бас зөрж байна. Компаунд болон хагас шууд урвалын нөлөөг хамтад нь тооцож урвалын огтлолыг бодсоноор зүй тогтол нь сайжирсан боловч  $(N-Z+1)/A$  өсөхөд туршлагаас бага зэрэг зөрж байгааг (3)-р зургаас харж болно.



Зураг 3. Урвалын огтлолын статистик ба экситон загвараар бодсон болон туршилагын утгууд

## ЦӨМИЙН УРВАЛЫН ШУУД МЕХАНИЗМ

Шууд урвалын нөлөөг тооцохдоо дараах томъёог ашиглая [4].

$$\sigma(n, p) = M \sqrt{1 + \frac{Q_{np}}{E_n}} |C|^2 \quad (5)$$

$$\text{Энд: } M = \frac{m_p \sqrt{m_n m_p}}{\pi \hbar^4};$$

$m_p, m_n$  - протон, нейтроны масс

$|C|^2$  - протон-нейтроны харилцан үйлчлэлийг тооцсон тогтмол  
 Үүнийг олохын тулд дараах ойролцооллыг хэрэглэе  
 $E_n \gg Q_{np}$  үед

$$\sigma(n, p) = C_0 \pi R^2 \quad (6)$$

гэж болно. Энд:  $C_0$  - тогтмол коэффициент. (5) ба (6)-аас

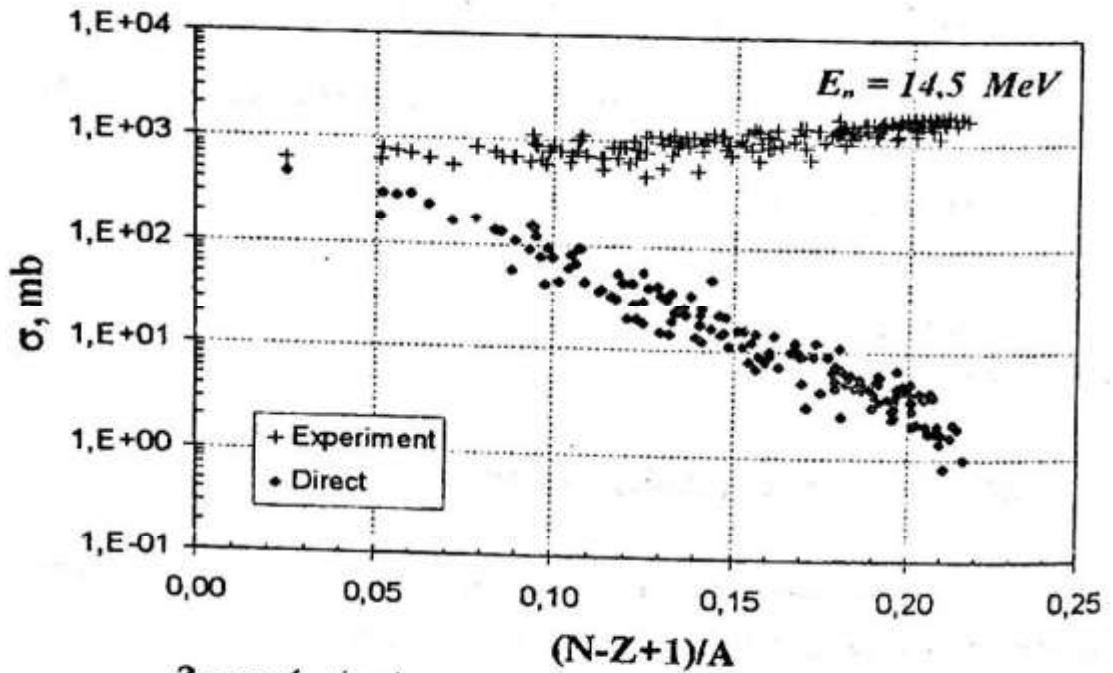
$$|C|^2 \approx C_0 \frac{\pi R^2}{M} \quad (7)$$

болно. (5) ба (7)-оос

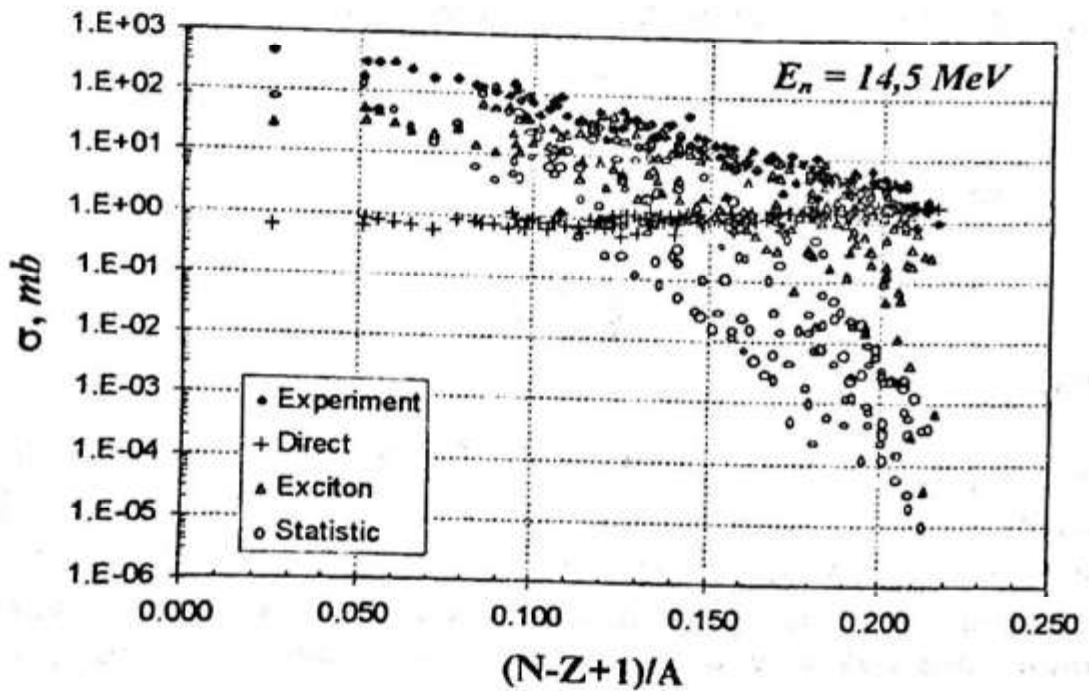
$$\sigma(n, p) = C_0 \pi R^2 \sqrt{1 + \frac{Q_{np}}{E_n}} \quad (8)$$

болно.

Хэрэв  $C_0 = 1$  гэвэл (8) томъёогоор бодсон шууд урвалын огтлол туршлагын утгаас их гарч байгааг Зураг 4-өөс харж болно. Иймд дээрх гурван механизмыг нэгэн зэрэг тооцон  $C_0 \neq 1$  гээд туршлагын огтлолын утгуудаас хөөж олоё. Тэгвэл (n,p) урвалын огтлол дахь дээрх гурван механизмын хандив зураг 5-д үзүүлсэн шиг болно.



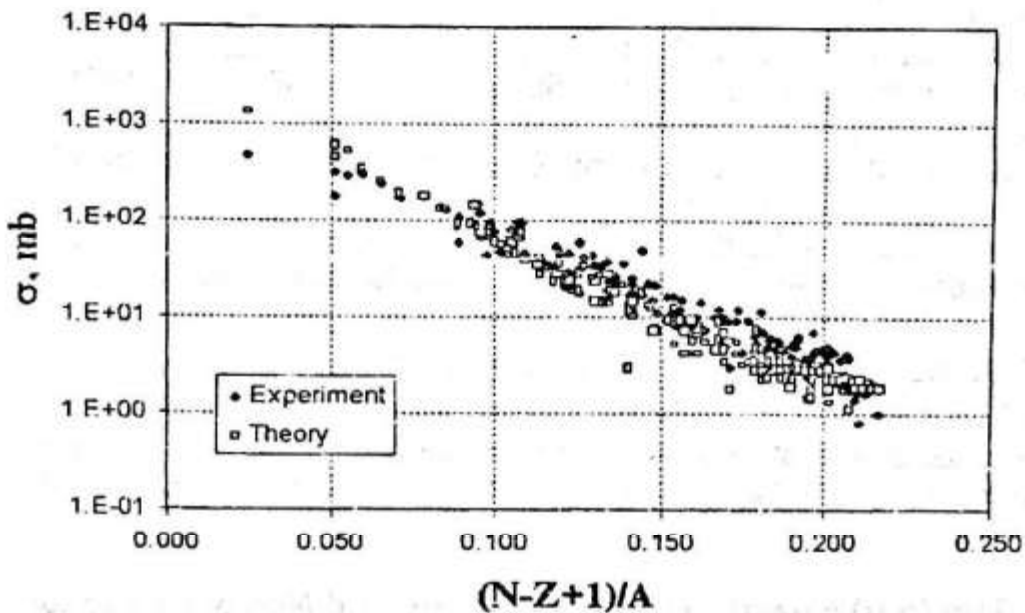
Зураг 4.  $(n,p)$  урвалын огтлолыг шууд механизмаар бодсон онол ба туршилагын утгууд



Зураг 5.  $(n,p)$  урвалын огтлолын компаунд, хагас шууд, шууд механизмаар бодсон ба туршилагын утгууд



Цөмийн урвалын үндсэн гурван механизмыг тооцсон статистик болон экситон загвар, шууд урвал гурвыг ашиглаж гаргасан (1), (4), (8) томъёонуудын нийлбэрээр  $(n,p)$  урвалын огтлолыг бодож  $E_n = 14,5$  МэВ үеийн туршлагын утгатай харьцуулж зураг 6-д харуулав. Онол туршлага хоёрын тохирол эрс сайжирсныг эндээс харж болно.



Зураг 6. Компаунд, хагас шууд, шууд механизмуудыг тооцсон онол ба туршлагын утгууд

#### ДҮГНЭЛТ

1. Статистик загвараас гаргасан томъёогоор бодсон  $(n,p)$  урвалын огтлол  $E_n=14,5$  МэВ үед  $(N-Z+1)/A$  параметрээс хамааран туршлагын утгаас абсолют хэмжээгээрээ зөрж байгааг ажиглав.
2. Компаунд, шууд болон хагас шууд урвалын нөлөөг нэгэн зэрэг тооцсон онолын огтлол  $E_n=14,5$  МэВ үеийн туршлагын утгуудтай сайн тохирч байв.
3.  $(N-Z+1)/A$  бага үед компаунд болон хагас шууд механизм илүү нөлөөтэй, харин уг параметр өсөх бүр шууд урвалын нөлөө ихсэж байгааг тогтоов.

АШИГЛАСАН НОМ

1. *G. Khuukhenkhuu, G. Unenbat, B. Bayarbadrakh*  
Statistical Model Approach to the Fast Neutron Induced (n,p) reaction cross section. Proceedings of the 1-st International School on Contemporary Physics, Ulaanbaatar, Mongolia, 21 Aug-3 Sep, 2000, p.118, Ulaanbaatar
2. *Г.Хүүхэнхүү*  
Хурдан нейтроны үйлчлэлээр цэнэгт боом цөмөөс гарах урвалын огтлол (II. Экситон загвар), МУИС Эрдэм шинжилгээний бичиг №8(159), 21 х, Улаанбаатар, 2001
3. *B. Bayarbadrakh*  
Fast Neutron Induced (n,p) Reaction Cross Sections and Nuclear Reaction Mechanisms.  
Synopsis of a dissertation submitted for master degree in physics. National University of Mongolia, Ulaanbaatar, 2003
4. *G. Khuukhenkhuu*  
Fast neutron induced (n, p) reaction cross section (Direct Reaction Mechanism)  
Proceedings of the 2-nd International School on Contemporary Physics, 9-19 September 2002, Ulaanbaatar, Mongolia, p.84

**The (n,p) Reaction Cross Sections and Nuclear Reaction Mechanisms**

*G. Khuukhenkhuu, B. Bayarbadrakh*

**Abstract**

In this work we observed some discrepancies between the statistical model calculations and the known experimental (n,p) cross sections. Therefore, it was deduced improved formula based on the exciton model. Also, systematical analysis of the (n,p) reaction cross sections at 14.5 MeV using the compound, semi-direct and direct mechanisms of nuclear reactions were carried out.