

ЦӨМИЙН ҮНДСЭН БА ӨНДӨР ӨДӨӨГДСӨН  
ТӨЛӨВИЙН АЛЬФА ЗАДРАЛ  
Г.Хүүхэнхүү, Г.Үнэнбат  
(МУИС, Цөмийн шинжилгээний төв)

1. ОРШИЛ

Цөмийн цацраг идэвхжлийг 1896 онд Францын эрдэмтэн А.Беккерель нээснээс [1] хойш удалгүй, цөмөөс гурван төрлийн цацраг гардгийг тогтоож [2], тэдгээрийг альфа, бета, гамма гэж тус тус нэрлэсэн билээ. 1932 онд нейтрон нээгдсэний дараа альфа бөөм гэдэг нь хоёр протон, хоёр нейтроноос тогтсон гелийн цөм болох нь нотлогдов. Өнгөрсөн хугацаанд альфа задралыг олон эрдэмтэн судалж, түүнийг танин мэдэх үйл явцын хувьд түүхэн хэд хэдэн үе шатыг туулжээ [3-5]. Гэвч одоо болтол альфа задралын онол бүрэн боловсроогүй, шийдвэл зохих асуудлууд байсаар байна.

Цацраг идэвхжил нээгдсэний 100 жилийн ойд зориулсан энэ бяхан тэмдэглэлд цөмийн үндсэн ба өндөр өдөөгдсөн төлөвийн альфа задралын зарим онцлогийг авч үзээд, шинжээчдийн сонирхлыг татсан, одоогоор шийдэгдээгүй байгаа хэдэн асуудалд уншигчийн анхаарлыг хандуулахыг эрмэлзэв.

2. ЦӨМИЙН ҮНДСЭН БА ӨДӨӨГДСӨН ТӨЛВИЙН  
АЛЬФА ЗАДРАЛЫН МАГАДЛАЛ

Цөмийн альфа задрал болох магадлалыг хоёр магадлалын үржвэр хэлбэрээр дараах байдалтай илэрхийлж болно [4].

$$\lambda_{\alpha} = f_{\alpha} \cdot T_{\alpha} \quad (1)$$

Үүний  $\lambda_{\alpha}$  – задралын тогтмол,  $f_{\alpha}$  – цөмд дөрвөн нуклон нэгдэж альфа бөөм бүрэлдэх магадлал,  $T_{\alpha}$  – үүссэн альфа бөөм цөмийн үйлчлэлийн хүрээг нэвтрэн гарах магадлал (нэвтрэх коэффициент).

1936 онд Н.Борын дэвшүүлсэн компаунд цөм үүсэх таамаглал ёсоор [6] нейтроны үйлчлэлээр цөмөөс альфа бөөм гарах урвалын магадлал буюу огтлолыг хоёр магадлалын үржвэр хэлбэртэй бичиж болно:

$$\sigma_{\alpha n} = \sigma_{\alpha}(c) \cdot G_{\alpha} \quad (2)$$

Энд  $\sigma_{\alpha}(c)$  – бай цөм дээр нейтрон тусч компаунд цөм үүсэх огтлол,  $G_{\alpha}$  – компаунд цөмөөс альфа бөөм гарах магадлал. Энэ магадлалыг дараах илэрхийллээр тодорхойлог:

$$G_{\alpha} = \frac{\Gamma_{\alpha}}{\Gamma} \quad (3)$$

Үүний  $\Gamma_{\alpha}$  – цөмийн төвшний альфа задралд харгалзах өргөн,  $\Gamma$  – төвшний нийт өргөн. Гейзенбергийн тодорхой бусын зарчим ёсоор

$$\Gamma_{\alpha} \cdot \tau_{\alpha} \approx \hbar \quad (4)$$

Энд  $\tau_{\alpha}$  – тухайн төвшний альфа задралд харгалзах нас (задрахгүй байх хугацаа). Эндээс задралын тогтмолыг олъо:

$$\lambda_{\alpha} = \frac{1}{\tau_{\alpha}} = \frac{\Gamma_{\alpha}}{\hbar} = f_{\alpha} \cdot T_{\alpha} \quad (5)$$

(1), (2), (3), (5) томъёонуудаас харахад цөмийн үндсэн ба өндөр өдөөгдсөн төлвийн альфа задрал нэгэн ижил  $f_{\alpha} \cdot T_{\alpha}$  үржвэрээр илэрхийлэгдэж байна.

3. НЭВТРЭХ КОЭФФИЦИЕНТ

Нэвтрэх коэффициент  $T_{\alpha}$  – ийг альфа бөөм цөмийн галаргуу дээрээс буцаж ойх, төвөөс зугтах болон Кулоны орны саадудыг нэвтрэх магадлалуудаар тодорхойлж болно. Цөмийн галаргуугаас альфа бөөм гэдэг ойхгүй (абсолют хар цөм) гэж үзвэл  $T_{\alpha}$  – ийг Дж. Расмуссены томъёогоор бодож болно [7,8]. Үндсэн төлөвтөө байгаа цөмийн альфа задралын нэвтрэх коэффициентийг болсон зарим үр дүнг 1–р хүснэгтэд жагсаав. Энд  $T_{1/2}(\alpha)$  – альфа хагас задралын үе.

Дулааны нейтроныг атомын цөм шингээж өндөр өдөөгдсөн төлөвт ороод альфа бөөм цацруулах үзэгдлийн нэвтрэх коэффициентийг тооцоолсон зарим утгуудыг 2–р хүснэгтэд үзүүлэв. Энэ хоёр хүснэгтээс харахад альфа бөөмийн нэвтрэх коэффициент үндсэн төлөвт байснаасаа өндөр өдөөгдсөн төлөвт орсноор аравын гуч гаруй зэрэг дахин өөрчлөгдөж байна. Иймд үндсэн ба өдөөгдсөн төлөвүүдийн альфа задралыг харьцуулан судлахад тэдгээрийн нэвтрэх коэффициентийг зөв тооцох явдал онцгой үүрэгтэй. 1–р хүснэгтэд байгаа Nd-144–ийн  $T_{\alpha}$  их зөрөөтэй байгааг тэмдэглэе. Гэвч энэ зөрөө цаашдын тооцоонд нөлөөлөхгүй. 2–р хүснэгт дэх бидний тооцоолсон  $T_{\alpha}$  Дж. Расмуссены утгуудаас бага зэрэг зөрөөтэй байгаагийн учир нь уг тооцоонд хэрэглэгдэж байгаа зарим хэмжигдэхүүн орчин үед нарийвчлагдаж өөрчлөгдсөнтэй холбоотой.

1–р хүснэгт Цөмийн үндсэн төлвийн альфа задралын нэвтрэх коэффициент

Заларч буй цөм	$E_{\alpha}$ (МэВ)	$T_{1/2}(\alpha)$ (сек)	$T_{\alpha}$	
			[7]	Бидний тооцоо
Nd-144	1.83	$1.58 \cdot 10^{23}$	$2.18 \cdot 10^{-42}$	$4.67 \cdot 10^{-45}$
Sm-146	2.55	$1.58 \cdot 10^{15}$	$1.19 \cdot 10^{-34}$	-
Sm-148	1.96	$2.52 \cdot 10^{22}$	-	$1.62 \cdot 10^{-44}$
Gd-148	3.18	$4.47 \cdot 10^9$	$7.52 \cdot 10^{-30}$	-
Hf-174	2.50	$9.50 \cdot 10^{22}$	$5.44 \cdot 10^{-43}$	-
U-234	4.77	$7.83 \cdot 10^{12}$	$2.34 \cdot 10^{-33}$	-
U-238	4.20	$1.41 \cdot 10^{17}$	$7.67 \cdot 10^{-38}$	-

2-р хүснэгт Өндөр өдөөгдсөн төлвийн альфа задралын нэвтрэх коэффициент

Компаунд цөм	E <sub>α</sub> (МэВ)	L <sub>α</sub>	T <sub>1/2</sub> 10 <sup>-6</sup>	
			[16]	Бидний тооцоо
Zn-68	4.60	3	-	4.85
Mo-96	6.39	2	-	2.29
Ru-97	6.33	0	3.17	2.50
Te-124	7.33	0	2.07	0.40
Nd-144	9.45	3	3.60	1.27
Sm-148	9.84	3	2.48	1.46
Sm-150	9.21	3	0.47	0.17
Gd-156	7.93	1	-	0.22

4. АЛЬФА БӨӨМ БҮРЭЛДЭХ ФАКТОР

Дөрвөн нуклон нэгдэж альфа бөөм бүрэлдэх магадлал буюу факторыг хялбар үнэлэх зорилго тавья. Эхлээд цөмийн үндсэн төлвөөс альфа задрал болох үзэгдлийг авч үзье. Нэгж хугацаанд цөмд альфа бөөм үүсэх магадлалыг, цөмийн потенциал саалын ханыг альфа бөөм дотроос нь ирж мөргөх давтамжаар илэрхийлвэл:

$$f_{\alpha} = \frac{1}{t_{\alpha}} = \frac{1}{\left(\frac{2R}{V_{\alpha}}\right)} = \frac{h}{2mR^2} \quad (6)$$

Энд  $t_{\alpha}$  – потенциал саалын хаваны хооронд альфа бөөм хөдлөх үе,  $2R$  – потенциал саалын диаметр,  $V_{\alpha}$  – потенциал саал доторхи альфа бөөмийн хурд,  $m$  – альфа бөөмийн масс. Эндээс

$$f_{\alpha} \approx 10^{21} \cdot \text{с}^{-1} \quad (7)$$

гарна.

Цөмийн урвалын статистик онол ёсоор [9]:

$$\langle \Gamma_{\alpha} \rangle = D \cdot \frac{I_{\alpha}}{2\pi} \quad (8)$$

Үүний  $\langle \Gamma_{\alpha} \rangle$  – цөмийн түвшний альфа өргөний дундаж утга,  $D$  – цөмийн төвшнүүдийн хоорондох зайны дундаж. (5) ба (8) – аас

$$f_{\alpha} = \frac{D}{2\pi h} \quad (9)$$

болох нь харагдана. Үндсэн төлвийн хувьд  $D \approx 1$  MeV гэвэл [10] мөн

$$f_{\alpha} \approx 10^{21} \cdot \text{с}^{-1}$$

болж (7) –той тохирч байна. Физик утгаараа  $f_{\alpha}$  "цөмийн хугацааны" урвуугаар готорхойлогдож болох нь (6) – аас харагдана.

Өөрөөр хэлбэл (6) ба (7) ёсоор цөм дотор альфа бөөмийн хурд гэрлийн хурдал маш ойрхон байна.

(5), (7) илэрхийллүүд ба 1-р хүснэгтийг ашиглан хагас задралын үеийг үнэлэе.

$$T_{1/2}(\alpha) = \frac{0.693}{\lambda_{\alpha}} = \frac{0.693}{(f_{\alpha} T_{\alpha})} = \frac{0.693}{(10^{21} \cdot \text{с}^{-1} \cdot T_{\alpha})} \quad (10)$$

Уран-238 изотопын хувьд  $T_{\alpha} = 7.67 \cdot 10^{-38}$  гээд

$$T_{1/2}(\alpha) = 10^{16} \text{ с}$$

болно. Бүдүүлэг үнэлгээ гэхэд 1-р хүснэгт дэх утгаас хол зөрөхгүй байна.

Одоо өндөр өдөөгдсөн төлөвт байгаа буюу компаунд цөмийн альфа задралыг авч үзье. (9) томьёоны  $D \approx 10$  эВ [11] гэвэл өндөр өдөөгдсөн төлвийн хувьд

$$f_{\alpha} \approx 10^{15} \cdot \text{с}^{-1} \quad (11)$$

болж, компаунд цөмийн амьдрах хугацааны дундаж утгын урвуугаар илэрхийлэгдэж байна. Цөмийн урвалын статистик онол ёсоор [9]

$$\langle \Gamma_{\alpha} \rangle = 2 \langle \gamma_{\alpha}^2 \rangle \cdot T_{\alpha} \quad (12)$$

Энд  $\gamma_{\alpha}^2$  – цөмийн төвшний хураангуйлсан альфа өргөн. (5) ба (12) илэрхийллүүдээс

$$f_{\alpha} = \frac{2 \langle \gamma_{\alpha}^2 \rangle}{h} \quad (13)$$

болно. Энд  $\langle \gamma_{\alpha}^2 \rangle \approx 1$  эВ [11] гэвэл  $f_{\alpha} \approx 10^{15} \text{с}^{-1}$  гарч (11)–тэй тохирч байна.

5. Nd-144 ЦӨМИЙН АЛЬФА ЗАДРАЛ

Nd-143 цөм дээр удаан нейтрон тусгахад өндөр өдөөгдсөн төлөвт байгаа компаунд цөм Nd-144 үүсдэг. Тэгвэл Nd-143 дээр удаан нейтроноор явагдах (n,α) урвалыг Nd-144 цөм өндөр өдөөгдсөн төлвөөсөө альфа задрал болж байгаа мэт үзэж болно [12]. Нөгөө талаас, Nd-144 цөм үндсэн төлөвт байхдаа альфа идэвхжилтэй тул Nd-144 дээр үндсэн ба өндөр өдөөгдсөн төлвүүдийн альфа задралыг шууд харьцуулах боломж гарч байна.

Эхлээд С.Г.Кадменский, В.И.Фурман нарын боловсруулсан кластер загварыг [13] ашиглая. Уг загвар ёсоор спектроскопийн фактор  $S_{\alpha}$ -ыг ашиглан альфа задралыг дараах байдлаар гурав ангилж боллог:

$$S_{\alpha} = \frac{\Gamma_{\alpha}^{\text{exp}}}{\Gamma_{\alpha}^{\text{cl}}} = \begin{cases} 10^{-4} & \text{хагас зөвшөөрөгдсөн} \\ 10^{-6} & \text{хориотой} \end{cases} \quad (14)$$

Үүний  $\Gamma_{\alpha}^{\text{exp}}$  – турцлагаар готорхойлсон альфа өргөн,  $\Gamma_{\alpha}^{\text{cl}}$  – альфа кластер өргөн. Компаунд цөм Nd-144–ийн хувьд  $\langle \Gamma_{\alpha}(3^+) \rangle = 14 \cdot 10^{-6}$  эВ [12] ба  $\Gamma_{\alpha}^{\text{cl}} = 3.9$  эВ [13] учир

$$S_a^0 = 3.6^{-6} \quad (15)$$

болж, хориотой альфа задрал гэдэг ангилалд орж байна. Үндсэн төлвөөсөө задарч буй Nd-144-ийн хувьд

$$S_a^0 = \frac{\langle \Gamma_a \rangle}{\langle \Gamma_a^1 \rangle} = \frac{\langle \gamma_a^1 \rangle}{\gamma_a^{2cl}} = 3 \cdot 10^{-3} \quad (16)$$

гарч, зөвшөөрөгдсөн альфа задрал болов. Энд бид үндсэн төлвийн альфа задралын хураангуйлсан өргөн [7]

$$\delta_a^2 = \frac{\lambda_a}{T_a} \cdot h \quad (17)$$

гэдэг хэмжигдэхүүнийг ашиглав. (5), (13) ба (17) томьёонуудаас

$$\langle \gamma_a^1 \rangle = \frac{\delta_a^2}{4\pi} \quad (18)$$

болно. [7] өгүүлэлд  $\delta_a^2 = 8.3$  кэВ гэснийг авч (16) томьёонд орлуулав. Вигнерийн хязгаар [14]

$$\langle \gamma_a^{2cl} \rangle = \frac{3h^2}{2\mu_a R^2} \quad (19)$$

-ыг авч (16) томьёоны хуваарьт орлуулав. Энд  $\mu_a$  - альфа бөөмийн эмхэтгэсэн масс, R - цөмийн радиус. Ийнхүү (15) ба (16)-ийн харьцаа

$$\frac{S_a^0}{S_c^0} \approx 10^3 \text{ гарав.} \quad (20)$$

Одоо Р.Бонети, Л.Милазо-Коли нарын "альфа бөөм бүрэлдэх" загварыг [15] ашиглан, Nd-144 цөмийн альфа задралд анализ хийе. Дээрх спектроскопийн фактортой төстэй альфа задралын буюу альфа бөөмийн хүчний функц гэдэг хэмжигдэхүүнийг авч үзвэл, үндсэн төлвийн хувьд

$$S_G = \frac{\delta_a^2}{D_G} \quad (21)$$

өдөөгдсөн төлөвийн хувьд

$$S_c = \frac{\delta_c^2}{D_c} \text{ болно.} \quad (22)$$

Дөрвөн нуклон нийлж альфа бөөм үүсгэдэг учир нэг бөөмөөс тогтсон Ферми-хийгээс 4 дахин зөрүүтэй байх ёстой гэвэл Nd-144 цөмийн үндсэн төлвийн орчим төвшнүүдийн хоорондох дундаж зай

$$D_G = \frac{4}{\rho_F} = \frac{4\pi^2}{6} \left( \frac{A}{8} \right) \text{ МэВ} = 0.4 \text{ МэВ} \quad (23)$$

Үүний  $\rho_F$  - Ферми-хийн төвшний нягт, A - цөмийн масс тоо. Компаунд Nd-144-ийн хувьд [11]-ээс

$$D_c(3^-) = 0.7 \cdot 10^{-4} \text{ МэВ} \quad (24)$$

гэж оллоно. Хураангуйлсан альфа өргөнийг үндсэн төлөвт [7]

$$\delta_a^2 = 8.3 \cdot 10^{-3} \text{ МэВ} \quad (25)$$

компаунд цөмд

$$\delta_c^2 = \frac{2\pi \langle \Gamma_a(3^-) \rangle}{T_a} = 2.4 \cdot 10^{-3} \text{ МэВ} \quad (26)$$

гэж тус тус авбал (21) ба (22)-ын харьцаа

$$\frac{S_G}{S_c} \approx 2 \cdot 10^{-3} \quad (27)$$

болно. Ийнхүү онолын хоёр өөр загвар хоорондоо  $5 \cdot 10^4$  дахин зөрж байна.

Эцэст нь, дээр авч үзсэн зүйлүүдтэй уялдуулан, цөмийн альфа задралын талаар одоогоор шийдэгдээгүй, судлаачдын сонирхолыг татаж байгаа зарим асуудлыг дурдъя:

1. Тухайлан авсан нэг цөмийн хувьд үндсэн ба өндөр өдөөгдсөн төлвийн альфа задралд потенциал саадын хэлбэр (цөмийн хэлбэр) ижил байх уу?
2. Альфа бөөм бүрэлдэх магадлалыг хэрхэн зөв бодож олох вэ?
3. Альфа кластерт харгалзах энергийн төвшин цөмд байх уу? Хэрэв байдаг бол хаана байх вэ?
4. Альфа задрал, цөмийн хувааглал хоёрт ижил төстэй зүйл байна уу? Эсвэл тэс хоёр өөр үзэгдэл үү?

Эдгээр болон, бидний одоогоор анзаарч ажиглаагүй байгаа өөр бусад үзэгдлийг дараачийн судлаачид нээн тайлбарлах буйзаа.

#### ABSTRACT

The alpha decay of ground and high excited states is considered from the view-point of statistical model as two independent processes: perforation of alpha particle on the nucleus and penetration of the alpha particle through centrifugal and Coulomb barriers. The reformation and penetration factors are calculated for the alpha decay of the ground and high excited states. The alpha decay of the ground and high excited states of Nd-144 nucleus was analysed using the cluster model and performed alpha particle model. It was showed that the results obtained by these models are different.



#### АШИГЛАСАН НОМ ХЭВЛЭЛ

1. A.H. Becquerel. Comptes Rendus. 1896
2. M. Curie. Radioactivite. 1935, Paris
3. И. Перлман, Дж. Расмуссен. Альфа—радиоактивность. Перевод с английского. изд. ИЛ, 1959, Москва
4. Дж. Расмуссен Альфа—распад. В кн: "Альфа, бета и гамма—спектроскопия". Под ред. К. Зигбана. Атомиздат, 1969, Москва, Том 2, с.137
5. Дж. К. Ханна. Альфа—радиоактивность. В кн: "Экспериментальная ядерная физика", Под ред. Э. Сегре, изд. ИЛ, 1961, Том 3, с.57
6. N. Bohr. Nature, vol.37 '36, p.344
7. J.O. Rasmussen, Phys. Rev. vol.113, №6, 1959, p.1593
8. G. Khuukhenkhuu, I. Chadraabal. Scientific Journal. Mongolian State University. (This number).
9. J.M. Blatt, V.F. Weisskopf. Theoretical Nuclear Physics. 1952. New York
10. Б.Н. Андреев, С.М. Сироткин. Ядерная физика, том1, №2, 1965, с.252
11. S.F. Mughabghab. Neutron Cross Sections. vol.1, BNL, Upton, New York, 1981. Academic Press.
12. Г. Хүүхэнхүү. Сечения реакции ( $n, \alpha$ ) на ядрах редких земель в области энергии нейтронов 30 кэВ. Диссертация на соискание ученой степени к.ф.м.н. 1980, Дубна
13. С.Г. Кадменский, В.И. Фурман. Альфа распад и родственные ядерные реакции. 1985, Москва
14. A. Arima et al. Advances in Nucl. Phys., vol.5, 1972, p.449
15. R. Bonetti, L. Milazzo-Colli. Phys. Lett. vol. 49B, №1, 1974, p.17
16. R.D. Griffioen, J.O. Rasmussen, R.D. Macfarlane. Chemistry Division Annual Report. University of California. UCRL-9566, 1960.

МУИС, ЭРДЭМ ШИНЖИЛГЭЭНИЙ БИЧИГ №2(125), 1996

#### МОНГОЛ ОРОН ДАХЬ ГАЗРЫН ГАДАРГА ОРЧНЫ ИНВЕРСИ

М.Цоозол

Агаарын температур тропосферт босоо чиглэлд 100 м тутамд дунджаар 0,6°C—аар буурдаг ба тухайн үеийн цаг уурын нөхцөл, орон нутгийн онцлог зэрэг хүчин зүйлсээс хамаарч алдлагдана. Босоо чиглэлд агаарын температур өөрчлөгдөхгүй үеийг изотерм—(ижил температурын)—ийн, ихсэж байгаа үеийг инверси—(температурын босоо чиглэл дэх тонгоруу)—ийн давхарга гэж нэрлэдэг.

Инверси нь агаарын босоо чиглэл дэх хөдөлгөөнийг саатуулагч үе болох учир утаа унгар, тоос шороо агаарт удаан хугацаагаар халдлагагдаж хот суурин газрын агаарыг бохирдуулах, говь хөндийд хүйтний улиралд мөсөн манан (маар) үүсгэх нөхцлийг бүрдүүлнэ. Иймд инверсийн судалгаа нь газрын гадарга орчны агаарын үе давхаргын цаг уурын судалгааны чухал зүйлсийн нэг бөгөөд хот суурингийн байршилт төлөвлөх, агаар мандлыг бохирдолтоос хамгаалах, бэлчээрийн мал аж ахуй голлон эрхэлж байгаа манай орны нөхцөлд малын хашаа саравчийг байрлуулах газрыг сонгох, малын бэлчээрийг зохистой ашиглах, тухайн газар нутгийн уур амьсгалын нөөцийг зөв үнэлэхэд зайлшгүй шаардлагатай асуудал юм.

Орчил урсгалын нөлөөллөөс хамаарч өндрийн инверси үүсдэг бол газрын гадаргын инверси ихэвчлэн дэвсгэр гадаргын онцлогтой холбоотой үүсдэг. Төв Азийн уулархаг мужид оршдог манай орны хувьд уул нуруулын хоорондох хоолой хөндийн өвөрмөц байрлал, хүйтний улирлын эсвэл шклоны суурьшилтай тогтоц нь инверси үүсгэх аятай нөхцлийг бүрдүүлнэ.

Судлаачдын [3,4] гаргасан дүнгээс үзвэл Их нууруудын хотгор ба Туулын сав хөндийд 15-17°C хүртэл эрчимтэй 1500-3000 м зузаантай инверси өвлийн улиралд үүсдэг байна.

Энэхүү өгүүлэлд инверсийн аэро—уур амьсгалын зарим горимтын тухай Алтай, Улаангом, Даланзадгад, Сайншанд, Улаанбаатар, Мөрөн, Арвайхээр, Чойбалсан зэрэг аэрологийн станцуудын 1968-1973, 1976-1977, 1987-1990 оны мэдээг ашиглан гаргасан үзүүлэлтүүдийг өгүүлэв.