

Цөмийн потенциал саадыг (n, α) урвалаас гарах альфа-бөөм нэвтрэх факторын тооцоо

Т.Дэлгэрсайхан, Г.Хүүхэнхүү*, М.Одсүрэн, Ж.Мөнхсайхан

Монгол Улс, Улаанбаатар-210646, Монгол Улсын Их Сургууль, Цөмийн Судалгааны Төв

*Э- шуудан g_khuukhenkhuu@yahoo.com

1. ОРШИЛ

Альфа задралын үед цөмөөс гарч буй альфа-бөөмийн энерги E_α охин цөмийнхөө потенциал энерги V -ээс бага ($E_\alpha < V$) байдаг. Сонгодог физикийн энерги хадгалагдах хууль болон цахилгаан соронзон харилцан үйлчлэлийн онолын үүднээс авч үзэхэд альфа-бөөм хэрхэн яаж охин цөмийнхөө потенциал саадыг даван гарч байгаа нь ойлгомжгүй байв.

Харин 1928 онд Г.Гамов квант онолыг ашиглан энэ үзэгдлийг тайлбарласнаар [1,2] альфа-бөөм цөмийн потенциал саадыг нэвтрэх фактор буюу нэвтрэлтийн коэффициент гэдэг ойлголт буй болжээ. Үүнээс хойш эрдэмтэд цөмийн потенциал саадыг альфа-бөөм нэвтрэх факторыг ердийн альфа задрал болон (n, α) урвалаас гарах альфа бөөмийн хувьд тооцоолж, судалгаандаа хэрэглэж ирсэн байна [3-5].

Гэвч эдгээр судалгааны ажил нэлээд дээр үед хийгдсэн учир орчин үеийн өгөгдлүүдээр шинэчлэн баяжуулж, дахин тооцоолох шаардлага зүй ёсоор гарч байна. Нөгөө талаас, 1966 онд

$$P_\alpha = \exp -2 \int_{R_i}^{R_o} \sqrt{\frac{2m}{\hbar^2} (V_n(r) + V_c(r) + V_l(r) - E_\alpha)} dr \quad (1)$$

Энд: m – альфа бөөмийн эмхэтгэсэн масс; $V_n(r)$ – цөмийн буюу хүчтэй харилцан үйлчлэлийн потенциал; $V_c(r)$ - Кулоны потенциал; $V_l(r)$ – орбиталь моментын буюу төвөөс зугтах потенциал, E_α – альфа-бөөмийн кинетик энерги; R_i - дотоод классик эргэлтийн радиус, R_o - гадаад классик эргэлтийн радиус. (1) томъёон дахь Кулоны ба төвөөс зугтах потенциалууд:

$$V_c r = \frac{2Ze^2}{r} \quad (2)$$

$$V_l r = \frac{\hbar^2}{2mr^2} l(l+1) \quad (3)$$

А.Ф.Дадакинагийн гүйцэтгэсэн [5] ажлаас өөр, байгальд тогтвортой оршдог изотопуудыг нийтэд нь хамарсан системтэй тооцоо судалгаа бараг алга.

Иймээс бид сүүлийн үеийн өгөгдлүүдийг [6-9] ашиглан, удаан нейтроноор явагдах, экзотермик (n, α) урвалаас үүсэн гарах альфа-бөөмийн нэвтрэлтийн коэффициентийг байгаль дээр тогтвортой оршдог хэт хөнгөн биш ихэнх изотопуудын хувьд тооцоолох зорилго тавьсан юм. Энэ тооцооны үр дүнг цаашид удаан нейтроноор явагдах (n, α) урвалын огтлолыг үнэлэхэд ашиглаж болохоос гадна цөмийн потенциал саадыг альфа-бөөм нэвтрэх фактор цөмийнхөө ерөнхий шинж чанараас хэрхэн хамаарч байгаад систематик анализ хийхэд хэрэглэх боломжтой.

2. ОНОЛЫН ҮНДЭС

Квант механикт үндэслэгдсэн Гамовын онолд альфа-бөөм долгионлог чанартай учраас цөмийн потенциал саадыг нэвтрэн гарах боломжтой гэж үздэг. Нэвтрэлтийн коэффициент буюу факторыг дараах томъёогоор илэрхийлдэг [4]:

гэж тодорхойлогдоно.

Энд: Z – охин цөм дэх протоны тоо; e – протоны цахилгаан цэнэг; l – альфа-бөөмийн орбиталь момент.

Цөмийн хүчтэй харилцан үйлчлэлийн оронг голдуу Вүүдс-Саксоны потенциал [10] хэлбэртэй авдаг:

$$V_n r = -\frac{V_0}{1 + \exp\left(\frac{r-R_n}{a}\right)} \quad (4)$$

Энд : V_0 – потенциал нүхний гүн; R_n – охин цөмийн радиустай ойролцоо хэмжигдэхүүн; a – тухайн цөмийн гадаргуугийн диффузийн зузаан.

Гэвч альфа-бөөмийн хувьд цөмийн оронг Игогийн потенциал хэлбэртэй [11] авбал туршлагын үр дүнтэй илүү сайн тохирдог байна. Нөгөө талаас, бид тооцооны үр дүнгээ харьцуулж үзэхийн тулд Дадакинагийн сонгосонтой адилаар Игогийн потенциалыг ашиглах нь зүйтэй гэж үзэв:

$$P_{\alpha} = \exp -2 \int_{R_i}^{R_o} \sqrt{\frac{2m}{\hbar^2} \left(-1100 \exp \frac{1.17A^{1/3}-r}{0.574} + \frac{2Ze^2}{r} - E_{\alpha} \right)} dr \quad (6)$$

(6) томьёоны гадаад классик эргэлтийн радиусыг

$$E_{\alpha} = \frac{2Ze^2}{R_o}$$

нөхцлөөс (1-р зураг) шууд

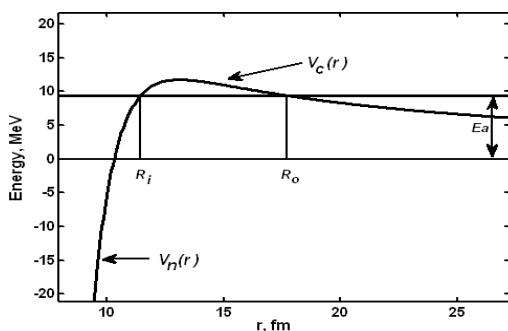
$$R_o = \frac{2Ze^2}{E_{\alpha}} \quad (7)$$

гэж олж болно.

Харин дотоод классик эргэлтийн радиусыг 1-р зургаас гарах

$$E_{\alpha} = -1100 \exp \frac{1.17A^{1/3}-R_i}{0.574} + \frac{2Ze^2}{R_i} \quad (8)$$

тэгшитгэлээс олно.



1-р зураг. ¹⁴⁰Ce-цөмийн потенциал орон

Ш.ТООЦОНЫ АРГА ЗҮЙ

Цөмийн потенциал оронг альфа-бөөм нэвтрэх факторыг тооцох аргыг бүх цөмийн хувьд ижил байлгахаас гадна тооцооны явц ойлгомжтой, эцсийн үр дүнг эмх цэгцтэй болгохын тулд бид эхлээд уг тооцоонд шаардлагатай бүх өгөгдлүүдээ бүрдүүлж, дараа нь (6) томьёог ашиглан нэвтрэлтийн факторыг тооцоолох гэсэн хоёр үе шаттайгаар энэ ажлыг гүйцэтгэв. Эхний шатанд (6) томьёонд шаардлагатай өгөгдлүүдийг эмхэтгэж, гадаад ба дотоод классик эргэлтийн радиусыг (7) ба (8) томьёонуудыг ашиглан тодорхойлж, эдгээр мэдээллийг агуулсан файлууд үүсгэв. Гэхдээ дотоод классик эргэлтийн

$$V_n(r) = -1100 \exp \frac{1.17A^{1/3}-r}{0.574} \text{ МэВ} \quad (5)$$

Энд: A - охин цөмийн масс тоо.

Тооцоог хялбар болгохын тулд альфа-бөөмийн орбиталь момент $l=0$ гэвэл (3) ёсоор төвөөс зугтах потенциал байхгүй болно. Тэгвэл (1) томьёонд (2) ба (5) илэрхийллийг орлуулахад цөмийн потенциал саадыг альфа-бөөм нэвтрэх фактор дараах илэрхийллээр тодорхойлогдоно:

радиусыг (8) томьёоноос шууд олоход бэрхшээлтэй учир нэг хувьсагчийн тасралтгүй функцийг шийдийг дараалан дөхөх аргаар олдог Matlab программын “fzero” команд ашиглав.

Тооцооны хоёр дахь шатанд (6) томьёоны интегралыг хэрхэн бодсон байдлыг ¹⁴³Nd бай-цөмийн жишээн дээр авч үзье. Эхлээд (6) томьёоны интегралыг агуулсан функцийг fNd143.m гэсэн файлыг тухайн цөмийн хувьд бичнэ:

```
Function y = fNd143(x)
Ea=9.45;
A=140;
Ro=17.66;
Vpot=-1100.*exp((1.17*A.^(1/3)-x)/0.574);
y=sqrt(Vpot/Ea+b./x-1);
```

Дараа нь Симпсоны аргын адаптацлагдсан хувилбарыг [12] ашиглан fNd143.m нэртэй файл дахь функцийг интегралыг (R_i, R_o) завсарт бодуулна.

```
Q=quad(@fNd143,Ri,Ro)
```

Ийм байдлаар бүх цөмд харгалзах интегралуудыг тус тус бодсоны дараа (6) томьёогоор нэвтрэлтийн факторыг 135 бай-цөмийн хувьд тооцоолж олсоноо Дадакинагийн үр дүнтэй хамт 1 ба 2-р хавсралтан дахь хүснэгтэнд нэгтгэв.

IV.ҮР ДҮН БА ХЭЛЭЛЦҮҮЛЭГ

Хавсралтанд өгөгдсөн хүснэгтийн E_{α} -ийг олохдоо бай-цөм дээр тусч буй нейтроны энергийг бага гээд тооцоонд оруулаагүй бөгөөд зөвхөн тийрэгдсэн охин цөмийн кинетик

энергийг урвалын энерги Q_{na} –аас хасав. Q_{na} –ийн утгуудыг [6-9] ажлуудаас авав. P_{α} –ийн утгыг өгөхдөө өмнөх коэффициентийг зуутын оронгийн нарийвчлалтай авч, үржих арвын зэргийг хаалтанд бичив.

Бидний олсон P_{α} –ийн утгууд Дадакинагийн үр дүнгээс нэлээд олон цөмийн хувьд ихээхэн зөрж байгаа нь тооцоонд ашигласан Q_{na} –ийн утгууд мэдэгдэхүйц ялгаатай байгаатай (1-р хавсралтыг үз) холбоотой гэж үзэж болохоор байна. Тухайлбал, P_{α} –ийн утгууд 10^3 - 10^9 дахин зөрж буй ^{72}Ge , ^{75}As , ^{78}Se , ^{81}Br , ^{85}Rb , ^{90}Zr , ^{100}Mo , ^{102}Ru , ^{106}Pd , ^{108}Pd , ^{114}Cd , ^{120}Sn , ^{154}Sm , ^{159}Tb , ^{163}Dy , ^{186}W , ^{189}Os зэрэг бай-цөмүүдийн хувьд, [5] ажилд өгөгдсөн Q_{na} –ийн утгуудыг тооцоондоо ашиглавал гарах үр дүнгүүд нь Дадакинагийнхтай ойролцоо болж байв (2-р хавсралтыг үз). Иймээс Q_{na} –ийн орчин үеийн өгөгдлүүдийг ашиглан бидний гаргасан үр дүнгүүд ерөнхийдөө зөв гэж үзэх үндэслэлтэй байна. Харин ^{79}Br , ^{112}Cd , ^{127}I , ^{204}Hg , ^{208}Pb гэсэн таван цөмийн хувьд [5] ажил дахь Q_{na} –ийн утгыг авсан ч уг зөрүү үндсэндээ хэвээрээ ($10^3 - 10^{16}$ дахин) байна.

Иймээс [5] ажил дахь ^{79}Br , ^{112}Cd , ^{127}I , ^{204}Hg , ^{208}Pb бай-цөмүүдийн хувьд олсон нэвтрэлтийн факторын утгуудыг ташаарсан гэж үзэхээс өөр аргагүй болж байна.

Түүнээс гадна Дадакина тооцоондоо альфа бөөмийн орбиталь момент l -ийг оруулж тооцсон бол бид түүний үзүүлэх нөлөөг бага гээд орхисныг тэмдэглэх хэрэгтэй. Үнэхээр l -ийн

нөлөөнөөс болж нэвтрэлтийн факторт гарах өөрчлөлт нэг эрэмбийн дотор байгаа юм.

V. ДҮГНЭЛТ

1. Q_{na} –ийн орчин үеийн өгөгдлүүдийг ашиглан удаан нейтроноор явагдах (n, α) урвалаас үүсэн гарч буй альфа-бөөм цөмийн потенциал саадыг нэвтрэх факторыг тогтвортой 135 изотоп дээр тооцоолон олов.

2. Тооцоогоор гарган авсан нэвтрэлтийн факторын утгуудаа Дадакинагийн өгөгдлүүдтэй харьцуулж, нэлээд цөмийн хувьд [5] ажилд байгаагаас бидний үр дүн ихээхэн зөрүүтэй байгаа нь тооцоонд ашиглагдсан Q_{na} ялгаатай байгаатай холбоотой гэдгийг харуулав.

3. ^{79}Br , ^{112}Cd , ^{127}I , ^{204}Hg , ^{208}Pb бай-цөмүүдийн хувьд [5] ажилд байгаа Q_{na} –ийн утгыг ашигласан ч нэвтрэлтийн факторууд нь Дадакинагийн үр дүнгээс $10^3 - 10^{16}$ дахин зөрж байна. Энэ нь дээрх 5 цөмийн хувьд [5] ажилд гарган авсан P_{α} –ийн утгуудыг ташаарсан гэж үзэхэд хүргэж байна.

4. Цаашид цөмийн потенциалын төвөөс зугтах гишүүнийг оролцуулан нэвтрэлтийн факторын тооцоо хийвэл гарах үр дүн нь улам нарийвчлал сайтай байх болно.

ХАВСРАЛТ

1-р хүснэгт.

Бай-цөмийн өгөгдлүүд ба нэвтрэлтийн факторын утгууд

№	Z	Бай-цөм	Тархалт, %	Q(n,α), МэВ		E _α , МэВ	P _α [Бидний утга]	P _α [5]
				[5]	[6, 7, 8, 9]			
1	22	Ti-47	7.4	2.169	2.184	2.00	1.58(-9)	8.52(-10)
2		Ti-49	5.4	0.223	0.227	0.21	5.8(-58)	7.83(-57)
3	24	Cr-53	9.50	1.791	1.789	1.66	1.67(-13)	1.19(-12)
4	26	Fe-54	5.8	0.835	0.844	0.78	3.96(-29)	5.78(-29)
5		Fe-56	91.8	0.319	0.326	0.30	5.49(-56)	9.87(-55)
6	27	Co-59	100	0.314	0.328	0.31	5.52(-59)	1.79(-58)
7	28	Ni-58	68.3	2.888	2.899	2.70	2.30(-14)	4.69(-13)
8		Ni-60	25.1	1.351	1.355	1.27	6.13(-22)	6.19(-21)
9	29	Cu-63	69.2	1.72	1.715	1.61	1.31(-18)	1.86(-18)
10	30	Zn-66	27.9	2.28	2.261	2.13	7.07(-15)	4.86(-14)
11		Zn-68	18.8	0.32	0.765	0.72	2.00(-37)	4.45(-35)
12	31	Ga-69	60.1	2.67	2.580	2.44	1.54(-13)	2.38(-12)
13	32	Ge-70	20.5	2.97	2.964	2.80	3.24(-12)	2.73(-12)

14		Ge-72	27.4	1.07	1.480	1.40	3.09(-24)	2.38(-29)
15		Ge-73	7.8	3.79	3.912	3.70	1.85(-8)	3.21(-10)
16	33	As-75	100	1.5	1.205	1.14	5.8(-30)	2.79(-24)
17	34	Se-77	7.6	4.5	4.468	4.24	8.56(-8)	3.21(-7)
18		Se-78	23.5	0.53	0.476	0.45	2.4(-60)	1.05(-54)
19	35	Br-79	50.69	1.86	1.867	1.77	2.62(-22)	5.99(-9)
20		Br-81	49.31	0.62	0.485	0.46	1.03(-61)	5.27(-51)
21	36	Kr-82	11.6	0.95	0.974	0.93	1.85(-39)	3.38(-40)
22		Kr-83	11.5	3.428	3.425	3.26	2.65(-12)	9.87(-12)
23	37	Rb-85	72.17	0.900	0.981	0.94	1.54(-40)	2.84(-43)
24	38	Sr-86	9.8	1.108	1.112	1.06	6.67(-39)	1.71(-38)
25		Sr-87	7.0	3.204	3.203	3.06	1.50(-14)	9.46(-16)
26	40	Zr-90	51.5	1.396	1.751	1.67	2.46(-28)	1.94(-34)
27		Zr-91	11.2	5.306	5.670	5.42	2.79(-7)	6.37(-8)
28		Zr-92	17.1	3.396	3.400	3.25	1.06(-14)	1.96(-14)
29		Zr-94	17.4	2.256	2.039	1.95	1.24(-24)	5.09(-22)
30	42	Mo-92	14.8	3.606	3.707	3.55	1.64(-14)	1.60(-15)
31		Mo-94	9.3	5.176	5.126	4.91	1.97(-9)	4.30(-9)
32		Mo-95	15.9	6.696	6.394	6.13	1.58(-6)	7.93(-6)
33		Mo-96	16.7	4.226	3.974	3.81	3.12(-13)	5.35(-12)
34		Mo-97	9.6	5.286	5.372	5.15	1.06(-8)	1.00(-8)
35		Mo-98	24.1	3.406	3.193	3.06	4.42(-17)	1.65(-15)
36		Mo-100	9.6	2.756	2.411	2.32	1.44(-22)	5.07(-19)
37	44	Ru-96	5.5	6.606	6.379	6.12	2.52(-7)	2.14(-6)
38		Ru-99	12.7	7.066	6.820	6.55	2.11(-6)	7.93(-6)
39		Ru-101	17.0	5.802	5.809	5.58	2.02(-8)	3.01(-8)
40		Ru-102	31.6	1.766	2.514	2.42	3.19(-23)	9.82(-31)
41		Ru-104	18.7	1.061	1.062	1.02	2.72(-47)	1.49(-46)
42	46	Pd-104	11.0	4.188	4.200	4.04	2.68(-14)	3.77(-14)
43		Pd-105	22.2	6.506	6.327	6.09	5.3(-8)	1.90(-7)
44		Pd-106	27.3	3.406	2.997	2.88	6.78(-21)	6.87(-18)
45		Pd-108	27.3	2.506	2.061	1.99	1.1(-29)	5.80(-24)
46		Pd-110	11.8	1.018	1.020	0.98	2.37(-51)	2.66(-50)
47	47	Ag-107	51.83	4.526	4.193	4.04	6.8(-15)	4.70(-13)
48		Ag-109	48.17	3.516	3.296	3.18	1.78(-19)	1.36(-17)
49	48	Cd-110	12.5	3.746	3.670	3.54	6.32(-18)	3.25(-17)
50		Cd-111	12.8	5.856	5.914	5.70	1.21(-9)	2.83(-9)
51		Cd-112	24.1	2.796	2.669	2.57	9.95(-25)	1.14(-7)
52		Cd-114	28.7	1.856	1.640	1.58	5.17(-38)	1.25(-33)
53	49	In-115	95.7	2.746	2.735	2.64	6.98(-25)	9.95(-25)
54	50	Sn-116	14.8	3.316	3.175	3.07	3.62(-22)	1.65(-20)
55		Sn-117	7.75	5.176	5.273	5.10	3.14(-12)	5.52(-12)
56		Sn-118	24.3	2.086	2.087	2.02	1.09(-32)	8.85(-32)
57		Sn-119	8.6	4.136	4.302	4.16	8.4(-16)	6.20(-16)
58		Sn-120	32.4	0.766	0.962	0.93	2.38(-58)	4.72(-68)
59	51	Sb-121	57.3	3.352	3.510	3.40	1.67(-20)	3.73(-21)
60		Sb-123	42.	2.122	2.230	2.16	1.33(-31)	1.75(-32)
61	52	Te-125	7.0	6.586	6.567	6.36	2.06(-9)	6.70(-9)
62		Te-126	18.7	3.381	3.399	3.29	1.0(-21)	1.52(-21)
63		Te-128	31.7	2.816	2.552	2.47	1.18(-28)	8.63(-26)

64		Te-130	34.5	1.909	1.803	1.75	1.13(-38)	4.85(-36)
65	53	I-127	100	4.216	4.282	4.15	2.04(-17)	3.62(-14)
66	54	Xe-129	26.4	7.083	7.016	6.80	4.25(-9)	1.65(-8)
67		Xe-131	21.2	6.000	6.214	6.03	5.56(-11)	2.29(-11)
68		Xe-132	26.9	3.398	3.364	3.26	3.58(-23)	1.23(-22)
69		Xe-134	10.4	2.686	2.728	2.65	2.37(-28)	2.08(-28)
70	55	Cs-133	100	4.164	4.451	4.32	1.33(-17)	1.03(-18)
71	56	Ba-135	6.59	6.963	7.063	6.35	2.64(-9)	1.08(-9)
72		Ba-136	7.85	4.536	4.403	4.27	2.55(-18)	1.88(-17)
73		Ba-137	11.2	5.802	6.035	4.27	1.59(-10)	1.06(-12)
74	57	La-139	99.911	4.656	4.769	4.63	4.1(-17)	4.53(-17)
75	58	Ce-140	88.5	5.386	5.294	5.14	1.62(-15)	5.62(-15)
76		Ce-142	11.1	6.036	6.033	5.86	5.45(-13)	4.29(-13)
77	59	Pr-141	100	6.185	6.151	5.98	4.1(-13)	1.59(-12)
78	60	Nd-142	27.2	6.697	6.660	6.47	4.46(-12)	8.24(-12)
79		Nd-143	12.2	9.689	9.724	9.45	4.04(-6)	2.78(-6)
80		Nd-144	23.8	7.405	7.335	7.13	2.24(-10)	2.49(-10)
81		Nd-145	8.3	8.555	8.747	8.51	1.43(-7)	5.09(-8)
82		Nd-146	17.2	6.121	6.327	6.16	6.6(-13)	4.62(-13)
83		62	Sm-147	15.1	10.041	10.128	9.86	4.67(-6)
84	Sm-148		11.3	7.886	7.742	7.53	3.93(-10)	6.08(-10)
85	Sm-149		13.9	9.606	9.435	9.18	5.38(-7)	7.15(-7)
86	Sm-150		7.4	6.746	6.742	6.56	1.63(-12)	1.32(-12)
87	Sm-152		26.6	5.186	5.259	5.12	2.25(-17)	3.48(-17)
88	Sm-154		22.6	3.276	4.137	4.03	1.06(-22)	2.22(-28)
89	63	Eu-151	47.9	7.897	7.857	7.65	3.5(-10)	9.03(-10)
90		Eu-153	52.1	5.296	5.875	5.72	1.53(-15)	2.70(-17)
91	64	Gd-155	14.8	8.136	8.338	8.12	1.83(-9)	1.51(-9)
92		Gd-156	20.6	5.714	5.669	5.53	1.07(-16)	2.74(-14)
93		Gd-157	15.7	7.856	7.277	7.10	8.82(-12)	4.26(-10)
94	65	Tb-159	100	5.036	6.197	6.04	3.51(-15)	1.72(-19)
95	66	Dy-161	19.0	7.156	8.283	8.07	3.74(-10)	1.29(-12)
96		Dy-162	25.5	6.046	6.029	5.88	3.38(-16)	8.96(-16)
97		Dy-163	24.9	5.966	7.210	7.03	1.26(-12)	1.89(-16)
98		Dy-164	28.1	5.146	5.187	5.06	1.84(-19)	1.03(-19)
99	68	Er-166	33.4	7.346	7.102	6.93	1.19(-13)	4.55(-13)
100		Er-167	22.9	8.446	8.324	8.13	1.18(-10)	1.73(-10)
101		Er-168	27.1	6.146	6.269	6.12	3.69(-16)	5.21(-17)
102	70	Yb-171	14.4	9.867	9.331	9.11	2.86(-9)	6.54(-9)
103		Yb-172	21.9	7.332	7.314	7.15	9.55(-14)	2.23(-13)
104		Yb-173	16.2	8.246	8.205	8.02	1.64(-11)	3.87(-11)
105		Yb-174	31.6	6.472	6.422	6.27	2.12(-16)	2.52(-16)
106	71	Lu-175	97.39	7.757	7.857	7.68	1.14(-12)	1.38(-12)
107	72	Hf-176	5.2	8.828	8.625	8.43	3.08(-11)	1.88(-10)
108		Hf-177	18.6	9.938	9.706	9.48	3.97(-9)	1.93(-8)
109		Hf-178	27.1	8.163	7.903	7.72	6.81(-13)	2.47(-12)
110		Hf-179	13.7	8.909	8.672	8.48	4.42(-11)	2.29(-11)
111	73	Ta-181	99.99	7.236	7.537	7.37	3.97(-14)	8.15(-15)
112	74	W-182	26.3	7.556	7.872	7.70	1.25(-13)	7.23(-15)
113		W-183	14.3	8.786	9.069	8.87	7.39(-11)	3.81(-11)

114		W-184	30.7	7.396	7.353	7.19	5.37(-15)	1.54(-14)
115		W-186	28.6	5.056	6.420	6.28	5.27(-18)	2.44(-23)
116	75	Re-185	37.4	7.276	8.257	8.08	5.59(-13)	2.88(-15)
117		Re-187	62.60	7.375	7.267	7.11	1.41(-15)	7.38(-15)
118	76	Os-188	13.3	8.034	7.895	7.73	3.29(-14)	1.58(-13)
119		Os-189	16.1	11.096	9.168	8.97	3.34(-11)	1.39(-7)
120		Os-190	26.4	6.606	6.842	6.70	2.67(-17)	9.42(-18)
121	77	Ir-191	37.3	8.106	7.955	7.79	2.27(-14)	1.39(-13)
122		Ir-193	62.7	6.632	6.640	6.50	2.3(-18)	4.92(-18)
123	78	Pt-198	7.2	5.541	5.420	5.31	7.58(-24)	8.75(-23)
124	79	Au-197	100	7.251	7.020	6.88	7.6(-18)	9.42(-17)
125	80	Hg-198	10.0	7.793	7.489	7.34	9.63(-17)	1.63(-15)
126		Hg-199	16.8	9.029	8.746	8.57	2.39(-13)	2.18(-12)
127		Hg-200	23.1	6.565	6.564	6.43	7.73(-20)	1.79(-19)
128		Hg-201	13.2	8.236	7.890	7.73	1.66(-15)	2.97(-14)
129		Hg-202	29.8	5.620	5.706	5.59	1.9(-23)	7.83(-24)
130		Hg-204	6.9	4.457	4.680	4.60	5.1(-29)	1.53(-25)
131	81	Tl-203	29.5	7.064	7.180	7.04	4.88(-18)	4.41(-18)
132		Tl-205	70.5	5.949	6.170	6.05	9.11(-22)	2.88(-22)
133	82	Pb-207	22.1	7.896	7.886	7.73	3.55(-16)	7.96(-16)
134		Pb-208	52.3	6.031	6.186	6.07	3.54(-22)	2.56(-16)
135	83	Bi-209	100	9.686	9.642	9.46	3.47(-12)	9.67(-12)

2-р хүснэгт

Дадакинагийн ашигласан Q_{α} -ийн утгуудыг авахад гарсан үр дүн

№	Бай-цөм	Q_{α} , МэВ [5]	P_{α} [5]	P_{α} [Бидний утга]
1	Ge-72	1.07	2.38(-29)	1.38(-31)
2	As-75	1.5	2.79(-24)	6.24(-25)
3	Se-78	0.53	1.05(-54)	2.58(-56)
4	Br-79	1.86	5.99(-9)	2.22(-22)
5	Br-81	0.62	5.27(-51)	1.13(-52)
6	Rb-85	0.900	2.84(-43)	3.50(-43)
7	Zr-90	1.396	1.94(-34)	3.62(-34)
8	Mo-100	2.756	5.07(-19)	9.29(-20)
9	Ru-102	1.766	9.82(-31)	7.86(-32)
10	Pd-106	3.406	6.87(-18)	3.27(-18)
11	Pd-108	2.506	5.80(-24)	9.56(-25)
12	Cd-112	2.796	1.14(-7)	1.03(-23)
13	Cd-114	1.856	1.25(-33)	3.67(-34)
14	Sn-120	0.766	4.72(-68)	1.98(-69)
15	I-127	4.216	3.62(-14)	1.05(-17)
16	Sm-154	3.276	2.22(-28)	6.63(-29)
17	Tb-159	5.036	1.72(-19)	9.70(-20)
18	Dy-163	5.966	1.89(-16)	2.11(-16)
19	W-186	5.056	2.44(-23)	7.52(-24)
20	Os-189	11.096	1.39(-7)	7.71(-8)
21	Hg-204	4.457	1.53(-25)	1.79(-30)
22	Pb-208	6.031	2.56(-16)	8.77(-23)

АШИГЛАСАН НОМ, ХЭВЛЭЛ

1. G. Gamow. Zeitschrift fur Physik. A., v.51, N3/4, 1928, s.204
2. Г.А.Гамов. Атомное ядро и радиоактивность. Гос.изд. Москва-Ленинград. 1930
3. I. Perlman, J.O. Rasmussen. In: Handbuch der Physik, v.42, Springer-Verlag, Berlin, 1957, p.151
(И. Перлман, Дж. Расмуссен, Альфа-радиоактивность, перевод с английского, изд.ИЛ, Москва, 1959)
4. J.O. Rasmussen. Physical Review. v.113, N6, 1959, p.1593
5. А.Ф.Дадакина. Бюллетень информационного центра по ядерным данным. Вып.3, 1966, Атомиздат, с.226
6. В.М. Бычков *и др.* Сечения пороговых реакций, вызываемых нейтронами. Энергоиздат. Москва, 1982
7. А.Н. Wapstra, G. Audi. Nuclear Physics. A, v.432,N1, 1985, p.1
8. J.A. Holmes *et al.* Atomic Data and Nuclear Data Tables, v.18, N4, 1976, p.305
9. Report of Japan Atomic Energy Research Institute, JAERI-M, 1989, p.89
10. R.D. Woods, D.S. Saxon. Physical Review, v.95, N2, 1954, p.577
11. G. Igo. Physical Review Letters, v.1, N2, 1958, p.72
12. Adaptive Simpson's Method.
http://en.wikipedia.org/wiki/Adaptive_Simpson_method