

Нуклоны хослох энерги

Н.Ганбаатар, Г.Мягмарсүрэн

Монгол Улсын Их Сургууль, Физик-Электроникийн Сургууль,
Цөмийн судалгааны төв, Цөмийн Физик-Технологийн тэнхим
e-mail: Ganbaatar @ num.edu.mn , myagaa_gen@yahoo.co.jp

Товч утга

Цөмийн бөх батын шалгуур нь түүний холбоос энерги юм. Цөмийн холбоос энерги нь цөмийн задрал, цөмийн урвал зэрэг хувиралт өөрчлөлтөнд нөлөөлдөг. Холбоос энергийн өсөх нэг шалтгаан нь хос нуклоны харилцан үйлчлэл юм. Энэ ажилд нуклоны хослол гэж юу болох, цөмийн холбоос энергид хэрхэн нөлөөлдөг тухай авч үзсэн. Цөмийн массын туршлагын өгөгдлүүдээр 220 гаруй цөмийн протоны болон нейтроны хослолын энергийг тооцоолж, дөхүүлэн хөөх аргаар олсон нуклоны хослох энергийн илэрхийллүүдэд анализ хийж цөмийн аль мужид тохирч байгааг шалгасан.

I. Оршил.

Байгаль дээр тогтвортой ба урт настай ($T_{1/2} > 5 \cdot 10^8$ жил) изотоп 285 байдгаас 58.69% нь тэгш-тэгш изотоп юм. Тэгш цөмийн тогтвортой байгааг дараахь хоёр зүйлээр тайлбарладаг.

Үүний нэгдүгээр шалтгаан нь хослох үзэгдэл. Адил энерги E ба импульсын момент I -тэй боловч цөмийн тэгш хэмийн тэнхлэг дээрх I -ийн проекцын утга, спинээрээ ялгаатай ижил төрлийн хоёр нуклоны таталцах харилцан үйлчлэлийг хослох харилцан үйлчлэл гэдэг. Хослох хүчийг бүх цөмд гурав ангилдаг:

1. Тэгш-тэгш цөмд бүх нуклон нь үндсэн төлөвтөө хослох бөгөөд холбоос энергид нэмэлт гишүүнтэй, холбоос энерги нь хамгийн их
2. Сондгой сондгой цөм үндсэн төлөвтөө хослоогүй тус бүр нэг нэг протон нейтронтой, холбоос энерги нь хамгийн бага
3. Завсрын тохиолдол : сондгой цөм үндсэн төлөвтөө хослоогүй нэг, нэг нуклонтой

Хоёрдугаар шалтгаан нь зэрэгцээ гурван изобарыг массаар нь дараалуулбал ($A, Z \pm 1$), (A, Z) ба ($A, Z \pm 2$) байдаг тул үндсэн төлөвтөө байгаа (A, Z) цөм $\beta^\pm$ -задралаар задрах энергийн боломжгүй, харин $2\beta^\pm$ цацаргах боломжтой [1]. Хос бета бөөмийг цацаргадаг цөм арваадыг туршлагаар олоод байгаа бөгөөд

тэдгээрийн $T_{1/2} > 10^{18}$ жил [2]. Хос $\beta^\pm$ цацаргагчид мөн л тэгш-тэгш цөмүүд юм.

Цөмийн хэт урсамтгай загварт нуклонуудын хослох энерги Δ -ыг оруулж, харилцан үйлчлэлтэй нуклонуудын системээс дараах томъёогоор:

$$E_v = \sqrt{(\epsilon_v - \lambda)^2 + \Delta_v^2},$$

нэг бөөмийн төлвүүдийн өөр энергийн спектртэй, бараг харилцан үйлчлэлгүй квази бөөмүүдийн (бөөм ба нүхнүүдийн суперпозиц) системийг гаргаж болно. Энд: ϵ_v - нэг бөөм загварт v квант тоотой нуклоны энерги; λ -сүүлийн нуклоны энерги (ферми энергитэй бараг тэнцүү); Δ - хослолын энергитэй эрэмбээрээ тэнцүү квази бөөмийн спектр дэх энергийн завсарын параметр.

Вейцеккерийн томъёо $A \leq 20$ цөмөөс бусад цөмийн холбоос энергийг $\approx 1\%$ нарийвчлалтай илэрхийлдэг. Тэгш-тэгш цөмүүдийн холбоос энерги зэрэгцээ цөмүүдийнхээс 1-2 МэВ -ээр (шидэт цөмүүдэд үүнээс ч их) илүү байдаг. Холбоос энергийн ийм хазайлтыг цөмийн дусал шингэн загвар тайлбарладаггүй бөгөөд Вейцеккерийн томъёонд хослолын энергийн нэмэлт тав дугаар гишүүнийг оруулж тооцоолдог байна. Хослолын гишүүнийг тэгш-тэгш цөмд хамгийн их, сондгой цөмд тэг, сондгой-сондгой цөмд минимум байхаар авдаг бөгөөд туршлагын өгөгдлүүдээс хослолын

нэмэлт гишүүн $\delta A^{-3/4}$ ба үүний $\delta=34$ МэВ байдаг [3] бөгөөд О.Бор, Б.Моттelson нар бүх цөмд нэмэлт гишүүнийг масс тооноос

$$\Delta = \frac{12}{\sqrt{A}} \quad (1)$$

хамааралттай гэж олсон [4].

Протон-цацаргагчийн хилийн орчмын цөмүүдийн протон мөн нейтроны хослох энерги β -тогтворжлын хөндийн цөмүүдийнхээс бараг 1.5 дахин их байдгийг [5,6] тогтоогоод нуклоны хослолын энерги $1 - \chi \left(\frac{N-Z}{A} \right)^2$ хэлбэртэй гэж санал болгосон болон массын систематикаас цөмийн холбоос энерги ба массын томъёоны нэмэлт гишүүнийг П.Богел нар:

$$\Delta = \left[a - b \left(\frac{N-Z}{A} \right)^2 \right] A^{-1/2} \quad (2)$$

гэж олсон.

Энд $a=9.5$ МэВ, $b=84$ МэВ. 1985 онд тухайн үеийн цөмүүдийн массын утгыг

Мөн П. Рой, Човдхури нар дараах томъёог санал болгосон [8].

$$\Delta = \frac{\delta}{\sqrt{A}}$$

Үүнд:

$$\delta = \begin{cases} +11,155 \text{ МэВ, тэгш} - \text{тэгш цөм} \\ 0, \text{сондгой} - \text{тэгш цөм} \\ -11,155 \text{ МэВ, сондгой} - \text{сондгой цөм} \end{cases}$$

Эндээс харвал хослолын энерги Δ -ыг нарийн тооцоолж шалгах шаардлагатай байгаа юм.

II. Нэг нуклоныг салгах энерги.

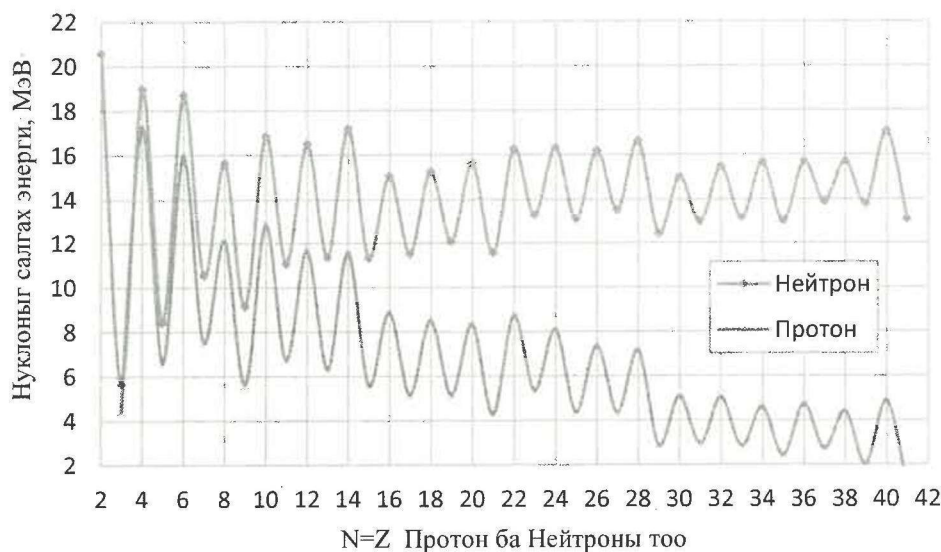
Цөмүүдийн массын утгын Ауди нарын дундчилсан өгөгдлүүдийг [9] ашиглаж бета-тогтвортой цөмийн мужид ойрхон масс тоо $A=3-65$, $Z=N$ цөмөөс нэг протон буюу нейтроныг салгах энергийг тооцоолж олсныг

Хүснэгт 1. $N=Z$ цөмөөс протон ба нейтроныг салгах энерги, МэВ

N=Z	нейтрон	протон	N=Z	нейтрон	протон	N=Z	нейтрон	протон
2	20.852	4.432	16	15.043	5.143	30	15.03	2.935
3	5.664	17.255	17	11.508	8.507	31	12.967	5.058
4	18.998	6.587	18	15.255	5.142	32	15.466	2.839
5	8.437	15.956	19	12.071	8.342	33	13.161	4.608
6	18.721	7.551	20	15.635	4.273	34	15.68	2.409
7	10.553	12.127	21	11.55	8.729	35	12.991*	4.727
8	15.663	5.607	22	16.298	5.355	36	15.711	2.704
9	9.149	12.844	23	13.265	8.105	37	13.887*	4.411
10	16.865	6.739	24	16.332	4.359	38	15.721	1.986
11	11.068	11.692	25	13.088	7.378	39	13.791*	4.889
12	16.531	6.307	26	16.183	4.352	40	17.061*	1.089
13	11.365	11.586	27	13.512	7.166	41	13.071*	3.389
14	17.18	5.594	28	16.641	2.873	*) массын дефектийн систематикаас бодсон		
15	11.319	8.863	29	12.43	5.105			

ашиглаж мөн Богел нар дунджаар $a=7.2$ МэВ, $b=44$ МэВ болохыг олсон байна [7].

хүснэгт 1 болон зураг 1-т үзүүлээ.

Зураг 1. $N=Z$ цөмөөс нуклоныг салгах энерги

III. Ижил төрлийн нуклоны хослох энерги, Вейцеккерийн томьёоны тавдугаар гишүүний анализ

Зэрэгцээ дөрвөн цөмийн массын утгаар протоны хослох энергийг:

$$\Delta_p = \frac{1}{4} [B(N, Z-2) - 3B(N, Z-1) + 3B(N, Z) - 3B(N, Z+1)] = -\frac{1}{4} [S_p(N, Z-1) - 2S_p(N, Z) + S_p(N, Z+1)] \quad (3)$$

Нейтроны хослох энергийг:

$$\Delta_n = \frac{1}{4} [B(N-2, Z) - 3B(N-1, Z) + 3B(N, Z) - 3B(N+1, Z)] = -\frac{1}{4} [S_n(N-1, Z) - 2S_n(N, Z) + S_n(N+1, Z)] \quad (4)$$

томьёонуудаар тооцоолж олдог. Мөн туршлагын өгөгдлүүд хүрэлцээгүй тохиолдолд гурван гишүүнтэй томьёогоор хослох энергийг тооцоолдог байна. Бид тогтвортой цөмүүдийн хувьд протоны хослох энергийг (3) томьёогоор,

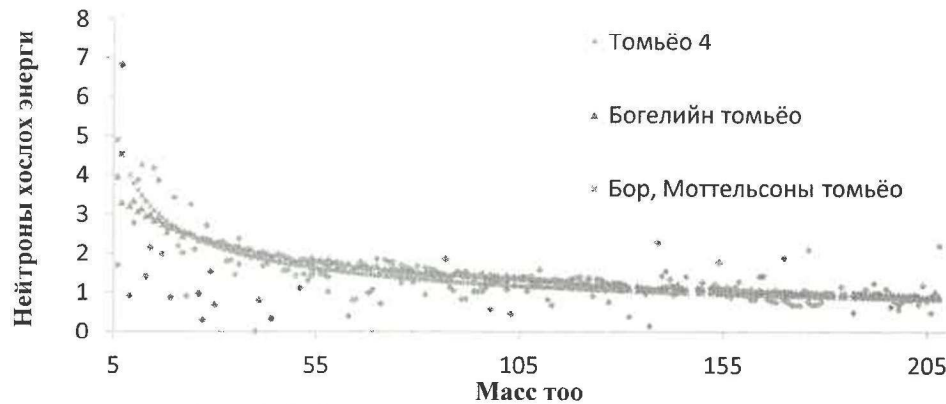
нейтроны хослох энергийг (4) томьёогоор тус тус олсон ба мөн Бор, Моттельсоны томьёо (1) болон Богелийн томьёогоор (2) тус тус тооцоолж, дунджаасаа хазайх хазайлтыг хүснэгт 2-т үзүүлээ.

Хүснэгт 2. Протон ба нейтроны хослох энергийн дунджаас хазайх хазайлт

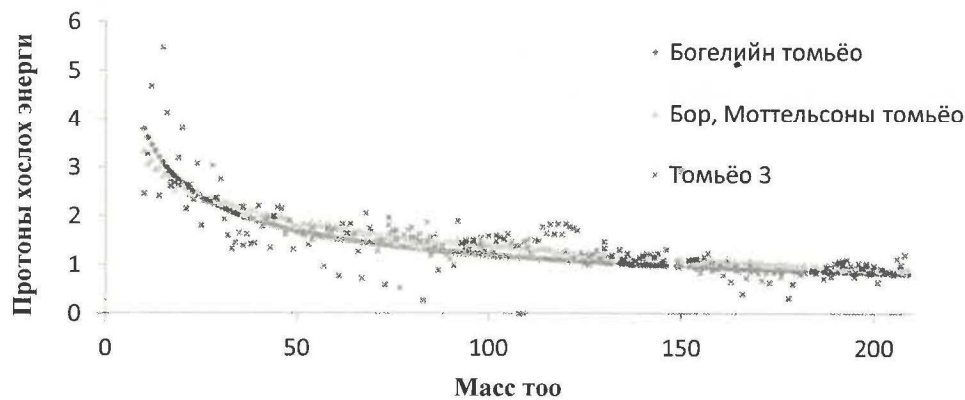
Масс тоо	Хазайлт			
A	Протоны хослох энерги (Томьёо 3)	Нейтроны хослох энерги (Томьёо 4)	Бор, Моттельсон (Томьёо 1)	Богель нар (Томьёо 2)
0-50	0,517726	0,897455	0,22053	0,279749
51-102	0,345512	0,478665	0,099299	0,044172
103-150	0,336492	0,368511	0,026917	0,027939
151-208	0,240633	0,284099	0,098639	0,02881
нийт	0,484434	0,730352	0,169284	0,183427

Мөн протоны хослох энергийг (2), (3), (4) томъёогоор, нейтроны хослох энергийг (1), (3), (4) томъёогоор бодсон ба нуклоны хослох

энергийн масс тооноос хамаарсан хамаарлыг зураг 2, зураг 3-т үзүүлээ.



Зураг 2. Нейтроны хослох энерги масс тооноос хамаарах нь



Зураг 3. Протоны хослох энерги масс тооноос хамаарах нь

Дүгнэлт

1. Нуклоны салгах энергийг тооцоолоход нейтроны тоо өсөхөд $N=Z$ цөмөөс нейтроныг салгах энерги $A>20$ цөмүүдэд бараг тогтмол ($\approx 13-15$ МэВ) аажим өсөлттэй, харин Z ($\approx 10-40$) өсөхөд протоныг салгах энерги 10 МэВ-ээс 3 МэВ хүртэл буурч байна. Энэ нь протон цацаргагчийн хилд ойртож байгаатай холбоотой.
2. Мөн энд тэгш-тэгш цөмөөс нейтрон болон протоныг салгах энерги сондгой-сондгой цөмөөс тэднийг салгах энергээс $A<10$ мужид дундажаар 7 МэВ, $A>10$ мужид хоёр нуклоны салгах энергийн ялгаа (хос ба сондгой) дундажаар 3 МэВ орчим байна.

3. Протон ба нейтроны хослох энергийг 3, 4 томъёогоор бодож олсон утга ба Бор, Моттельсон болон Богелийн томъёогоор бодож олсон утгуудын масс тооноос хамаарах хамаарлаас харахад протоны хослох энерги нь гурван томъёоны хувьд масс тоо нь 100-аас их мужид, нейтроны хослох энергит масс тоо нь 60-аас их цөмүүдэд хоорондоо бараг тохирч байна.
4. Масс тооны их мужид янз бүрийн аргаар олсон хослолын энерги тохирч байгаа нь статистик хазайлт багасч байгаатай холбоотой юм.
5. ^{40}Ar , ^{63}Cu , ^{103}Rh , ^{138}Ba , ^{139}La , ^{154}Sm , ^{170}Eu , ^{208}Pb цөмүүдэд дунджаасаа хазайх хазайлт ихтэй байгаа бөгөөд энэ цөмүүдийн нуклоны хослох энергийг

тооцоолоход шидэт тоотой цөмүүд орж байгаа.

6. Үүний учрыг цөмийн загварын үүднээс тайлбарлах боломжгүй, яагаад ингэж хазайж байгааг тайлбарлах шаардлагатай юм.

Ном зүй.

1. *) Goeppert-Mayer, M., 1935, Phys. Rev. 48, 512
2. A.S. Barabash. Phys. Rev. C81, 035501 (2010)
3. И.М.Капитанов Введение в физику ядра и частиц, Москва, Физматлит, 2010, стр.39
4. Бор О. Мотельсон: Структура атомного ядра.М.,1971.Т.1. с. 145
5. Н.Ганбаатар Диссертация на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук Дубна, ОИЯИ, ЛЯП 1983, стр 83 Мөн W.Germany Spriger Verlag, Z.Phys. A311, p.245-246
6. Алхазов Г.Д., Ганбаатар Н., Громов К.Я. и др, Изв. АН СССР Сер.Физ. 1984. Т.48 с.834-843, Modern Phys. Rev
7. Vogel P., Jonson B., Hansen P.G. Phys. Lett. 1984. Vol. 45. P.1099-1106
8. P. Roy Chowdhury, D.N. Basu. ACTA PHYSICS POLONIA B, vol 37 (2006) p.1833-1846
9. G.Audi, A.H.Wapstra and C.Thibault, The Ame 2003 atomic mass evaluation, Nuclear Physics A729, 2003