Н.В. Левковскийн систематик зүй тогтолын статистик онолын тайлбар

Г.Баянжаргал

Оршил

Нейтроноор явагдах цөмийн урвалын хувьд хөндлөн огтлол нь бай цөмийн шинж чанар, нейтроны энерги зэргээс хамаардаг. Урвалыг явуулж буй нейтроны энергийн янз бүрийн мужуудад нийт цөмүүдийг хамаарсан түгээмэл зүй тогтол ажиглагддаг.

Тухайлбал нейтроны энерги хэдэн арван эВ-байхад (n,p) урвалын хөндлөн огтлол σ_{np}~$1/V$ систематик зүй тогтолтой байдаг. Энэ энергийн мужид тухайн цөмүүдийн резонансын энергийн орчим Брейт Веигнерийн хууль үйлчилнэ.

Анх 1973 онд Н.В Левковский 14МэВ моно энергитэй нейтроноор янз бүрийн цөмүүд дээр явагдах (n,p) урвалын хөндлөн огтлолуудад тодорхой систематик зүй тогтол байгааг тогтоосон [1].

$$\sigma_{np}= C\pi r_0{}^2(A^{1/3}+1)^2\exp(-K\frac{N-Z}{A}) \qquad (1^*)$$

Хожим нь түүний судалгааг цааш үргэлжлүүлсэн судлаачид Н.В.Левковскийн (1) томьёог сайжруулан дараах хувилбаруудыг дэвшүүлсэн [6],[8].

$$\sigma_{np}= C\pi r_0{}^2(A^{1/3}+1)^2\exp(-K\frac{N+1-Z}{A}) \qquad (2^*)$$

$$\sigma_{np}= C\pi(R+\lambda)^2\exp(-K\frac{N-Z}{A}) \qquad (3^*)$$

$$\sigma_{np}= C\pi(R+\lambda)^2\exp(-K\frac{N+1-Z}{A}) \qquad (4^*)$$

$$\sigma_{np}= C\pi r_0{}^2(A^{1/3}+1)^2\exp(-K\frac{N+1-Z}{A+1}) \qquad (5^*)$$

$$\sigma_{np}= C\pi(R+\lambda)^2\exp(-K\frac{N+1-Z}{A+1}) \qquad (6^*)$$

$r_0=1.4\ 10^{-13}$*см* ; A- бай цөмийн масс тоо; N-бай цөмийн нейтроны тоо; λ -урвалыг явуулж байгаа нейтроны Де-Бройлийн долгионы уртыг 2π-д хуваасан утга; C, K- чөлөөтэй хувьсах, тохируулгын коэффициентүүд;

Дээрх (1^*),(2^*),(3^*),(4^*),(5^*),(6^*) томъёонууд нь бүгд хагас туршлагын томъёонууд юм.

Энэхүү ажлын зорилго нь дээрх томъёонуудаар илэрхийлэгдэх зүй тогтолуудын онолын үндэсийг тодруулах, онолоор гаргасан үр дүнгээ систематик анализын үр дүнтэй харьцуулан судлахад оршино.

Систематик зүй тогтолын товч гаргалгаа

Цөмийн урвалын статистик онол ёсоор урвалын огтлолыг компаунд цөм үүсэх магадлал S компаунд цөм задрах магадлал G хоёрын үржвэр хэлбэрээр илэрхийлдэг [2].

$$\sigma_{np}=S*G \qquad (1)$$

$$S=\pi\, r_0^2\,(A^{1/3}+1)^2$$

$$S=\pi(R+\lambda)^2 \qquad (2)$$

(2)-бай цөмд тусч байгаа нейтрон уг цөмөө мөргөх магадлал буюу геометр огтлол юм.

$r_0=1.4\ 10^{-13}$*см;* A-бай цөмийн масс тоо; R-бай цөмийн радиус

λ-урвалыг явуулж байгаа нейтроны Де-Бройлийн долгионы уртыг 2π-д хуваасан утга;

$$G=\Gamma_p/\Gamma \qquad (3)$$

$$\Gamma=\Gamma_p+\Gamma_N+\Gamma_\Gamma$$

Γ_p-компаунд цөмийн протоны задралд харгалзах төлөвийн өргөн;

Γ_N-компаунд цөмийн нейтроны задралд харгалзах төлөвийн өргөн;

$\Gamma\approx\Gamma_N$ өдөөлтийн энерги их үед ингэж үзэж болдог [8].

Бид компаунд цөмийг амьдрах хугацаанд нь гадаад орчинтой энергийн солилцоогүй, дулааны тэнцвэр тогтсон, тогтмол энергитэй, адиабат битүү систем гэж үзсэн бөгөөд түүний ялгаатай төлөвүүд каноник түгэлттэй байна [9].

Уг системийн төлөвийн тоог бичвэл;

$$W(E)=\iint e^{\frac{\beta}{\theta}\sum_{i=1}^{3N}H_i}\frac{1}{(2\pi h)^{3N}}dpdq \qquad (4)$$

θ- термодинамик температур;

H_i-системийн Гамильтониан;

β=const;

Эндээс компаунд цөмийн нийт протон ба нейтронд харгалзах төлөвийн тоог бичье;

$$W_P(E)=\iint e^{\frac{\beta}{\theta}\sum_{i=1}^{3z}H_i}\frac{1}{(2\pi h)^{3Z}}dpdq \qquad (5)$$

$$W_n(E)=\iint e^{\frac{\beta}{\theta}\sum_{i=1}^{3N}H_i}\frac{1}{(2\pi h)^{3N}}dpdq \qquad (6)$$

$$H_i=\frac{P^2{}_i}{2m}+V(q) \qquad (7)$$

Бидний тохиолдолд цөмийн урвалын өдөөлтийн энерги нь цөмийн нийт холбоос энергээс бага ч, нэг нуклонд оногдох холбоос энергээс харьцангуй их юм. Иймээс компаунд цөмийн нуклонуудыг хамтын орон дотроо бие биеэсээ тусгаар хөдөлгөөнтэй төлөвт оршино гэж загварчилж болно.[2]

Өөрөөр хэлбэл (V(q)=const≈$\varepsilon_{cв}$) ийм болно.
$\varepsilon_{cв}$-цөмийн холбоос энерги;

Тэгвэл Гамильтониан $H_i = \frac{P^2_i}{2m} + V(q) = \frac{P^2_i}{2m} + \varepsilon_{cB} = E_i$ ийм хэлбэртэй болж байна. (5),(6)-томъёоны хувьсагчийг энерги ба хугацаагаар сольж болно.

Тэгвэл
$$W_P(E) = \iint e^{\frac{\beta}{\theta}\sum_{i=1}^{3z} E_i} \frac{1}{(2\pi\hbar)^{3Z}} dE dt \tag{8}$$

$$W_n(E) = \iint e^{\frac{\beta}{\theta}\sum_{i=1}^{3N} E_i} \frac{1}{(2\pi\hbar)^{3N}} dE dt \tag{9}$$

(8),(9)-томъёоны хугацаа t-нь чөлөөтэй хувьсагч тул хялбар интегралчилагдана. Хугацааны интегралын хязгаарыг 0-оос компаунд цөмийн амьдрах нас (τ/3)-хүртэл авна. Тэгвэл доорх хэлбэртэй болно.

$$W_P(E) = \left(\frac{\tau}{2\pi\hbar}\right)^{3Z} \int e^{\frac{\beta}{\theta}\sum_{i=1}^{3Z} E_i} dE \tag{10}$$

$$W_N(E) = \left(\frac{\tau}{2\pi\hbar}\right)^{3N} \int e^{\frac{\beta}{\theta}\sum_{i=1}^{3N} E_i} dE \tag{11}$$

Эндээс төлөвийн энергийн нягтыг олж болно [2].

$$\omega_P = \frac{d(W_P(E))}{dE} = \left(\frac{\theta\tau}{2\pi\hbar}\right)^{3Z} e^{\frac{\beta}{\theta}\sum_{i=1}^{3Z} E_i} \tag{12}$$

$$\omega_N = \frac{d(W_N(E))}{dE} = \left(\frac{\theta\tau}{2\pi\hbar}\right)^{3N} e^{\frac{\beta}{\theta}\sum_{i=1}^{3N} E_i} \tag{13}$$

Төлөвийн энергийн нягтын урвуу нь ялгаатай хоёр түвшиний хоорондох дундаж зайг илэрхийлсэн функц байдаг [2]. Үүнийг бичье.

$$D_p = (\omega_P)^{-1} = \left(\frac{2\pi\hbar}{\theta\tau}\right)^{3Z} e^{-\frac{\beta}{\theta}\sum_{i=1}^{3Z} E_i} \tag{14}$$

$$D_N = (\omega_N)^{-1} = \left(\frac{2\pi\hbar}{\theta\tau}\right)^{3N} e^{-\frac{\beta}{\theta}\sum_{i=1}^{3N} E_i} \tag{15}$$

Эндээс компаунд цөмийн нийт протон ба нейтронуудад харгалзах урвалын өргөнүүдийг олж болно.

$$\Gamma_P=\iint D_P \frac{dEdt}{(2\pi\hbar)^{3Z}}=\left(\frac{2\pi\hbar}{\theta\tau}\right)^{3Z}\iint e^{-\frac{\beta}{\theta}\sum_{i=1}^{3Z}E_i}\frac{dEdt}{(2\pi\hbar)^{3Z}}=\frac{1}{(\theta)^{3Z}}\int_{(B_k+\varepsilon_p)/3}^{\frac{E^*-E_{cB}}{3A}} e^{-\frac{\beta}{\theta}\sum_{i=1}^{3Z}E_i}dE_i= \qquad (16)$$

$$=e^{\frac{\beta(E^*-E_{cB})}{\theta}\left(\frac{Z}{A}\right)}\left(1-e^{-\frac{\beta}{3\theta}\left(E_P+B_K-\frac{E^*-E_{cB}}{A}\right)}\right)^{3Z}$$

$$\Gamma_N=\iint D_N \frac{dEdt}{(2\pi\hbar)^{3N}}=\left(\frac{2\pi\hbar}{\theta\tau}\right)^{3N}\iint e^{-\frac{\beta}{\theta}\sum_{i=1}^{3N}E_i}\frac{dEdt}{(2\pi\hbar)^{3N}}=\frac{1}{(\theta)^{3N}}\int_{\varepsilon_n/3}^{\frac{E^*-E_{cB}^*}{3A}} e^{-\sum_{i=1}^{3N}E_i/\theta}dE_i= \qquad (17)$$

$$=e^{\frac{\beta(E^*-E_{cB})}{\theta}\left(\frac{N}{A}\right)}\left(1-e^{-\frac{\beta\left(B_n-\frac{E^*-E_{cB}}{A}\right)}{3\theta}}\right)^{3N}$$

Γ_P ба Γ_N-ын утгуудыг (3)-т орлуулан компаунд цөмийн задрах магадлалыг олно.

$$G=\frac{\Gamma_P}{\Gamma_N}=e^{-\frac{\beta(E_{cB}-E^*)}{\theta}\left(\frac{N-Z}{A}\right)}\frac{\left(1-e^{-\frac{\beta}{\theta}\left(\frac{E_P+B_k}{3}-\frac{E^*-E_{cB}}{3A}\right)}\right)^{3Z}}{\left(1-e^{-\frac{\beta}{3\theta}\left(\frac{E_n}{3}-\frac{E^*-E_{cB}}{3A}\right)}\right)^{3N}}; \qquad (18)$$

$$\frac{\left(1-e^{-\frac{\beta}{\theta}\left(\frac{E_P+B_k}{3}-\frac{E^*-E_{cB}}{3A}\right)}\right)^{3Z}}{\left(1-e^{-\frac{\beta}{3\theta}\left(\frac{E_n}{3}-\frac{E^*-E_{cB}}{3A}\right)}\right)^{3N}}\approx const=\alpha;$$

E_p-цөм дэхь нэг протонд оногдох холбоос энерги.
E_n-цөм дэхь нэг нейтронд оногдох холбоос энерги.
B_K-протонд үйлчилэх цөмийн Кулоны потенциал саад.
A-компаунд цөмийн масс тоо;
N-компаунд цөмийн нейтроны тоо;

$$K=\frac{\beta(E_{cB}-E^*)}{\theta}=\frac{\beta(E_{cB}-T-E_n)}{\theta}=\frac{\beta(E_{cB}-E_n)}{\theta}-\frac{\beta.T}{\theta}=B-aT$$

$$B=\frac{\beta(E_{cB}-E_n)}{\theta}=const; a=\frac{\beta}{\theta}=const$$

$K=B-aT \qquad (19)$

$$G\approx\frac{\Gamma_P}{\Gamma_N}=\alpha.e^{-K\left(\frac{N-Z}{A}\right)} \qquad (20)$$

Онолын судалгааны үр дүн

1. Томъёо (19)-өөс харахад К-коэффициентын утга урвалыг явуулж байгаа нейтроны энергээс шугаман буурсан хамааралтай байна.
2. Томъёо (20)-оос В.Н. Левковскийн томъёоны экспонентын зэрэг дэхь илэрхийлэлд компаунд цөмийн нейтроны тоо болон масс тоог

бичих шаардлагатай нь харагдаж байна . Өөрөөр хэлбэл компаунд цөмийн задрах магадлал нь уг цөмийн масс тоо ба нейтроны тооноос хамаарч байна.

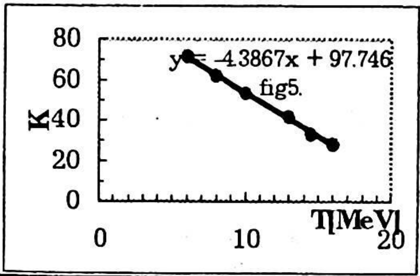
Систематик анализын товч үр дүн ба онолын харьцуулалт

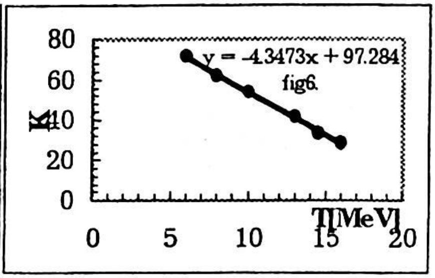
1. (1*),(2*),(3*),(4*),(5*),(6*)-томъёонуудаар илэрхийлэгдэх систематик зүй тогтолууд нейтроны энергийн 6, 8, 10,13,14,16 МэВ мужид ерөнхийдөө үйлчилдэг боловч компаунд цөмийн масс тоо, нейтроны тоог тооцсон (5*),(6*) болон (3),(4) томъёонууд нь (1*), (2*) томъёоноосоо их үнэмшлийн түвшинтэй байна [10]. Энэ нь онолын дээрх үр дүнтэй тохирч байна.

2. 6, 8, 10,13,14,16 МэВ Моно энергитэй хурдан нейтронуудаар янз бүрийн цөмүүд дээр явагдах *(n,p)* урвалын огтлолуудад (1*),(2*),(3*),(4*),(5*),(6*)-томъёонуудаар систематик анализ хийж тогтоосон К-коэффициентуудын утга нь уг урвалыг явуулж байгаанейтроны кинетик энергээс шугаман буурсан хамааралтай байна [10]. Зураг ба хүснэгтэд (5*),(6*) томъёоны К-коэффициент нейтроны энергээс хамаарах хамаарлыг үзүүлэв.

3. Дээрх бүх томъёонуудын хувьд нейтроны энерги харьцангуй бага 6,8МэВ үед 10,13,14,16 МэВ энергитэй байх үеийнхээс үнэмшлийн түвшин нь харьцангуйгаар багасч , зүй тогтолоос гажсан огтлолтой цөмүүдийн тоо нэмэгдэж байв [10]. Үүнийг статистик загварын хүрээнд авч үзье. Урвалын өдөөлтийн энерги харьцангуй их үед компаунд цөмийн нуклонуудыг бие биеэсээ тусгаар хөдөлгөөнтэй төлөвт оршино гэж үзээд системийн Гамильтоны функцыг $H_i = \frac{P^2{}_i}{2m} + V(q) \approx \frac{P^2{}_i}{2m} + \varepsilon_{cB} = E_i$ гэж хялбарчилсан. Тэгвэл өдөөлийн энерги харьцангуй багасахад ингэж үзэж болохгүй. Компаунд цөмийн нуклонуудын потенциал энергийг хэлбэрийг нарийн тооцох хэрэгтэй.

Мөн нейтроны энерги 20МэВ орчим байх үед дээрх зүй тогтолууд бараг үйлчлэхгүй, томъёо тус бүрийн хи-квадратуудын утга нь маш их гарч байлаа [10]. Энэ үзэгдэл нь урвалын өдөөлтийн энерги харьцангуй ихсэхэд хагас шууд ба шууд урвалын механизмын давамгайлан үйлчилдэг шинж чанартай холбоотой.





томъёо	5	6
T[MeV]	K	K
6	71.79	71.53
8	62.22	62.08
10	53.67	53.65
13	41.54	41.65
16	27.95	28.15
14.5	33.2	33.2
20	19.69	19.92

Дүгнэлт

1. К-коэффицент урвалыг явуулж байгаа нейтроны кинетик энергээс шугаман буурсан хамааралтай гэж онолоос гарсан үр дүн нь систематик анализын үр дүнтэй тохирч байна.

2. Компаунд цөмийн задрах магадлал уг цөмийн масс тоо ба нейтроны тооноос хамаарна гэсэн онолын үр дүн систематик анализын үр дүнтэй таарч байна.

3. Урвалыг явуулж байгаа нейтроны энерги багасахад дээрх зүй тогтолын үйлчлэх магадлал харьцангуй буурдаг нь системийн Гамильтоны функцын потенциал энергийн сонголттой холбоотой .

4. Урвалыг явуулж байгаа нейтроны энерги 20МэВ орчим болоход дээрх систематик зүй тогтол үндсэндээ үйлчлэхээ больж байна. Энэ нь цөмийн урвал явагдах механизм өөрчлөгдсөнтэй холбоотой.

Цөмийн урвалын статистик загварыг хэрэглэн гаргасан онолын үр дүн туршилгын утгуудад систематик анализ хийж гаргаж авсан үр дүнтэй тохирч байна . Энэ нь дээрх зүй тогтолууд илрэх нейтроны энергийн мужид завсарын цөмийт дамжиж явагдах урвалын механизм давамгайлан үйлчилнэ гэсэн санаа зөв болохыг илтгэж байна.

Аннотация

В данной статье на основе статистической модели ядерных реакций рассматривается систематическая закономерность В.Н. Левковского и полученные результаты сравниваются с тем, что было получено методом систематического анализа.

Ашигласан ном зохиол

1. В.Н. Левковский. ЖЭТФ, Т.45 (1973.) N4. 705 -709
2. А.С. Давыдов. "Теория атомного ядра "
   ФИЗМАТГИЗ (1958.)
3. Дж. Блатт, В.Вайскопф." Теоретическая ядерная физика"
   Москва(1954.)
4. В.Н. Левковский. ЖЭТФ, Т.45 (1963) Вып 2 (8) с.305-311
5. Дж. Бендат , А. Пирсон.
   " Прикладной анализ случайных данных"
6. Horibe O. et al. , Conf: 50 years with nuclear fission,
   Washington D.C 1982..V2,P923
7. Б.М. Яворский , А.А. Детлаф. "Справочник по физике"
   Москва(1978.)
8. Yao Lishan.
   "Communication of Nuclear data progress №7 (1992.)
   Cnic-00645 Cnic-0009 Indc(cpr)-027/L
   Atomic Energy Press.
9. Я.П. Терлецкий. "Статистическая физика"
   Издательство (Высшая школа)
   Москва (1966.)
10. Г.Баянжаргал .
   "Хурдан нейтроноор явагдах (n,p)урвалын систематик анализ"
   МУИС, Магистрын Дипломын ажил УБ (1998.)