

ӘӨЖ 539.17

**СЕРПІМДІ ШАШЫРАУДЫ ОПТИКАЛЫҚ МОДЕЛЬ АЯСЫНДА СИПАТТАУДЫҢ  
ЕРЕКШЕЛІКТЕРІ**

**Балабай А.Г., Парасат А., Жақсат І.А.**

[070897kz@mail.ru](mailto:070897kz@mail.ru)

Л. Н. Гумилев атындағы ЕҰУ Ядролық физика мамандығының 2 курс магистранттары

Нұр-Сұлтан, Қазақстан

Ғылыми жетекшілері: Амангелді Н., Мәуей Б.

Атом ядроларының бір-бірімен серпімді және серпімсіз шашырау процестерін зерттеу жұмыстарының маңыздылығы жоғалған емес. Себебі шашырау процесінің нәтижесі бойынша ядроның құрылысы мен қасиеттері туралы көп деректерді білуге болады. Ал ол деректердің дұрыс болуы шашырау процесінің әсерлесу потенциалы мен оның тереңдігінің параметрлерін нақтылау жұмыстарына тікелей тәуелді. Ядролардың өзара әсерлесу потенциалдарының параметрлерінің мәнін білу ядролық физика соның ішінде ядролық астрофизика саласы үшін өте маңызды.

Ядролардың өзара әсерлесу қасиеттері шашыраудың кванттық теория әдістерімен зерттеледі. Ең көп таралған әдістердің бірі – феноменологиялық оптикалық модель. Ол серпімді шашыраудың эксперименттік деректерін сипаттау үшін оларды сәйкестендіру арқылы әртүрлі параметрлерді анықтау үшін тиімді пайдалануға болатын әдіс болып табылады. Оптикалық модельге негізделген теориялық есептеулерді түрлі программалар арқылы жүргізуге болады, қазіргі таңда кең қолданыстағысы FRESKO компьютерлік коды [1].

**Серпімді шашыраудың оптикалық модель аясында есептеулер:**

Серпімді шашыраудың оптикалық моделін феноменологиялық түрде қарастырамыз. Осылайша, ұшып келуші снарядтың көптеген денелері бар ядролық жүйесінің күрделі реакциясы орташа потенциал болған кезде ұшып келуші снаряд пен нысана ядросы арасындағы жалпы өзара әрекеттесудің қарапайым түріне түседі.

Атом ядроларының серпімді шашырауының опикалық моделі алғаш рет Фешбах пен Портер, және Вайскоппен ұсынылған болатын [2].

Бұл модельдің мәнісі опикалық потенциал деп аталатын комплексті потенциалды енгізу болып табылады. Опикалық потенциал серпімді арнадағы бөлшектердің салыстырмалы қозғалысын және олардың серпімді емес арналарға шығуына байланысты бұл бөлшектердің ағынын азайтуды сипаттайды.

Феноменологиялық опикалық талдау стратегиясы келесідей: потенциал туралы болжам жасалады және шашырау процесі үшін Шредингер теңдеуі жартылай толқынның ыдырауында шешіледі. Содан кейін физикалық бақылаулар осы шешім негізінде есептеледі және деректермен салыстырылады. Содан кейін ықтимал параметрлер есептелген бақыланатын деректердің деректерге сәйкестік сапасын оңтайландыру үшін өзгертіледі.

Серпімді шашырау процесі үшін түрлі потенциал типтері қолданылады. Көбінесі Вудс – Саксон потенциалын қолданылып талдаулар жүргізіледі. Нақты және жорамал потенциалдар үшін Вудс-Саксон форм-факторы келесідей жазылады:

$$U = V + iW \quad (1)$$

$$V = V_0 \left[ 1 + \exp\left(\frac{r - R_r}{a_r}\right) \right]^{-1} \quad (2)$$

$$W = W_0 \left[ 1 + \exp\left(\frac{r - R_i}{a_i}\right) \right]^{-1} \quad (3)$$

Мұндағы:

$V_0$ ,  $W_0$ ,  $a_r$ ,  $a_i$ ,  $R_r$ ,  $R_i$  – потенциалдың нақты және жорамал бөлігінің сәйкесінге тереңдігі, диффуздылығы, радиусы.

Атом ядросы  $R$  бір-бірімен әсерлесуші ядролардың массалық сандары арқылы өрнектеледі:

$$R = r_0 \left( A_1^{1/3} + A_2^{1/3} \right) \quad (4)$$

Дәл осындай тәуелділік  $R_c$  Кулон радиусы үшін де орындалады. Есептеулер үшін  $r_0 = 1,25$  Ферми бекітілген мәні алынады.

Есептелген және тәжірибелік көлденең қималар арасындағы оңтайлы келісімге қол жеткізетін опикалық потенциалдардың параметрлері таңдалынып, теориялық талдау есептеулері FRESKO коды арқылы шығарылады.

Атом ядроларының серпімді шашырау тәжірибелері жасалынған мәліметтерді мына сайт <http://nrv.jinr.ru/nrv/> арқылы алуға болады.

«Experimental data» батырмасын басу арқылы келесідей деректер қорына ие боламыз:

Experimental data on elastic scattering

Specify target and projectile  $Z_1$   $A_1$  +  $Z_2$   $A_2$   $E_{cm}$  (MeV) < Search

Ordered by P-T combination, energy, time of publication

$^1\text{H} + ^6\text{Li}$	$E_{lab} = 155$ MeV	B. Geoffrion, N.Marty, M.Morlet, B.Tatischeff, A.Wills	Nuclear Physics, <b>A116</b> (1968) 209-233
$^1\text{H} + ^9\text{Li}$	$E_{lab} = 25.9, 29.9, 35, 40.1, 45.4, 49.5$ MeV	K.H. Bray, Mahavir Jain, K.S. Jayaraman, G. Lobianco, G.A. Moss, WTH	Nuclear Physics, <b>A189</b> (1972) 35-64
$^1\text{H} + ^7\text{Li}$	$E_{lab} = 155$ MeV	B. Geoffrion, N.Marty, M.Morlet, B.Tatischeff, A.Wills	Nuclear Physics, <b>A116</b> (1968) 209-233
$^1\text{H} + ^7\text{Li}$	$E_{lab} = 49.74$ MeV	G.S.Mani, D.Jacques, A.D.B.Dix	Nuclear Physics, <b>A165</b> (1971) 145-151
$^1\text{H} + ^9\text{Be}$	$E_{lab} = 49.65$ MeV	G.S.Mani, D.Jacques, A.D.B.Dix	Nuclear Physics, <b>A165</b> (1971) 145-151
$^1\text{H} + ^{11}\text{B}$	$E_{lab} = 155$ MeV	B. Geoffrion, N.Marty, M.Morlet, B.Tatischeff, A.Wills	Nuclear Physics, <b>A116</b> (1968) 209-233
$^1\text{H} + ^{14}\text{N}$	$E_{lab} = 155$ MeV	B. Geoffrion, N.Marty, M.Morlet, B.Tatischeff, A.Wills	Nuclear Physics, <b>A116</b> (1968) 209-233
$^1\text{H} + ^{18}\text{O}$	$E_{lab} = 43$ MeV	E. Khan, Y. Blumenfeld, Nguyen Van Giai, T. Suomijarvi, N. Alamanos, F	Physics Letters, <b>B490</b> (2000) 45-52
$^1\text{H} + ^{20}\text{O}$	$E_{lab} = 43$ MeV	E. Khan, Y. Blumenfeld, Nguyen Van Giai, T. Suomijarvi, N. Alamanos, F	Physics Letters, <b>B490</b> (2000) 45-52
$^2\text{H} + ^6\text{Li}$	$E_{lab} = 171$ MeV	A.Korff, P.Haefner, A.M.van den Berg, N.Biasi, B.Davids, D.De Frenne,	Physical Review, <b>C70</b> (2004) 067601
$^2\text{H} + ^6\text{Li}$	$E_{lab} = 25$ MeV	N. Burtelbayev, S.V. Artemov, B.A. Duseibayev, Zh.K. Kerimkulov, S.B. K	Yadernaya Fizika, <b>73</b> (2010) 776-786
$^2\text{H} + ^{12}\text{C}$	$E_{lab} = 110, 120$ MeV	A.C. Betker, C.A. Gagliardi, D.R. Semon, R.E. Tribble, H.M. Xu, A.F.Z	Physical Review, <b>C48</b> (1993) 2085-2088
$^2\text{H} + ^{12}\text{C}$	$E_{lab} = 28$ MeV	J.-P. Burq, G. Hadinger, J. Kouloumjan, J. Meyer	Nuclear Physics, <b>A149</b> (1970) 488-500
$^2\text{H} + ^{18}\text{O}$	$E_{lab} = 171$ MeV	A.Korff, P.Haefner, A.M.van den Berg, N.Biasi, B.Davids, D.De Frenne,	Physical Review, <b>C70</b> (2004) 067601
$^2\text{H} + ^{28}\text{Si}$	$E_{lab} = 28$ MeV	J.-P. Burq, G. Hadinger, J. Kouloumjan, J. Meyer	Nuclear Physics, <b>A149</b> (1970) 488-500
$^2\text{H} + ^{32}\text{S}$	$E_{lab} = 171$ MeV	A.Korff, P.Haefner, A.M.van den Berg, N.Biasi, B.Davids, D.De Frenne,	Physical Review, <b>C70</b> (2004) 067601
$^2\text{H} + ^{40}\text{Ca}$	$E_{lab} = 28$ MeV	J.-P. Burq, G. Hadinger, J. Kouloumjan, J. Meyer	Nuclear Physics, <b>A149</b> (1970) 488-500
$^2\text{H} + ^{40}\text{Ca}$	$E_{lab} = 171$ MeV	A.Korff, P.Haefner, A.M.van den Berg, N.Biasi, B.Davids, D.De Frenne,	Physical Review, <b>C70</b> (2004) 067601
$^2\text{H} + ^{51}\text{V}$	$E_{lab} = 171$ MeV	A.Korff, P.Haefner, A.M.van den Berg, N.Biasi, B.Davids, D.De Frenne,	Physical Review, <b>C70</b> (2004) 067601
$^2\text{H} + ^{58}\text{Ni}$	$E_{lab} = 120$ MeV	A.C. Betker, C.A. Gagliardi, D.R. Semon, R.E. Tribble, H.M. Xu, A.F.Z	Physical Review, <b>C48</b> (1993) 2085-2088
$^2\text{H} + ^{70}\text{Ge}$	$E_{lab} = 171$ MeV	A.Korff, P.Haefner, A.M.van den Berg, N.Biasi, B.Davids, D.De Frenne,	Physical Review, <b>C70</b> (2004) 067601

1-сурет - Эксперименттік деректер базасы

Эксперименттік деректер базасынан (1-сурет) қажетті мәліметтерді алып талдау жасауымызға болады.

Experimental data on elastic scattering

Specify target and projectile  $Z_1$   $A_1$  +  $Z_2$   $A_2$   $E_{cm}$  (MeV) < Search

**$^4\text{He} + ^{24}\text{Mg}$ ,  $E_{lab} = 42$  MeV**

N. Baron, R.F. Leonard, W.M. Stewart, Physical Review, **C4** (1971) 1159-1173

Comments: Beam quality: no data; Target: Self-supporting target of 1 mg/cm<sup>2</sup> thick; Data obtained: author graph (digitized with GSYS 2.4); National Aeronautics and Space Administration Lewis Research Center 1.5 m cyclotron

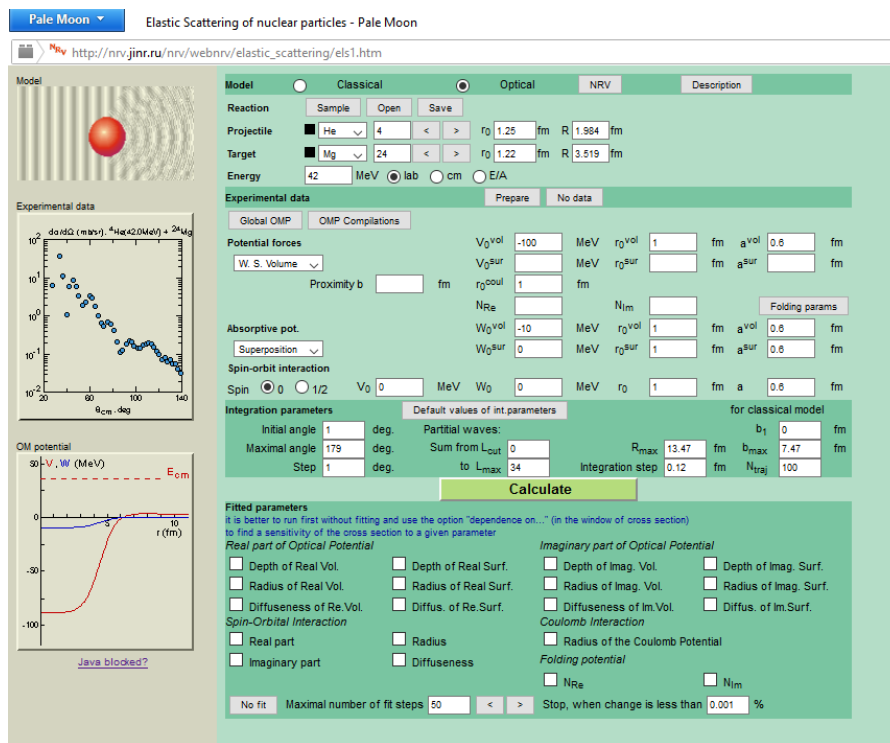
Elastic scattering of  $^4\text{He} + ^{24}\text{Mg}$ ,  $E_{lab} = 42$  MeV

Plot:  $d\sigma/d\Omega$  (mb/sr) vs  $\theta_{cm}$  (deg)

$\theta_{cm}$ (deg)	$d\sigma/d\Omega$ (mb/sr)	error (%)	+6 $\sigma$	-6 $\sigma$
27.97	6.481	12.144	0.787	0.787
33.98	36.75	11.508	4.229	4.229
36.96	11.42	16.121	1.841	1.841
40.13	1.129	11.595	0.1309	0.1309
42.72	6.106	6.645	0.4057	0.4057
45.82	9.087	5.929	0.5387	0.5387
48.46	6.203	11.508	0.7138	0.7138
50.45	3.525	12.182	0.4294	0.4294
54.08	1.988	11.505	0.2287	0.2287
56.69	2.282	10.141	0.2314	0.2314
60.12	3.344	6.648	0.2223	0.2223
62.13	2.994	5.568	0.1667	0.1667
64.9	1.788	10.442	0.1867	0.1867
67.87	1.016	9.46	0.09611	0.09611
70.51	0.6676	8.765	0.05851	0.05851
72.65	0.5559	8.061	0.04481	0.04481
76.25	0.6887	7.359	0.05068	0.05068
78.85	0.6075	6.326	0.03843	0.03843
81.21	0.4329	10.952	0.04741	0.04741
84.29	0.2174	9.462	0.02057	0.02057
86.98	0.1136	9.604	0.01091	0.01091
88.94	0.1264	12.184	0.0154	0.0154

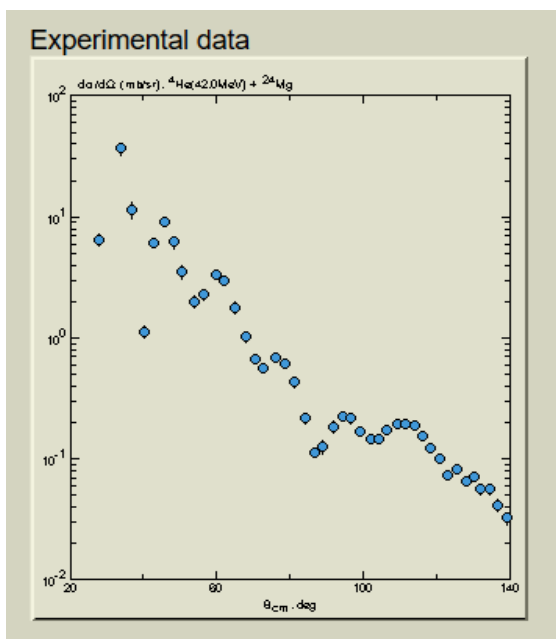
2-сурет -  $^4\text{He} + ^{24}\text{Mg}(E = 42\text{МэВ})$  жүйесінің эксперименттік деректері

«Theoretical analysis of the data» басы арқылы деректердің теориялық анализін аламыз:

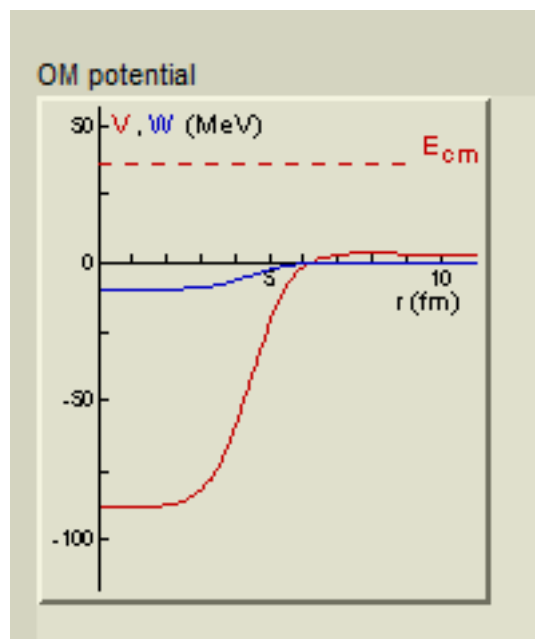


3-сурет -  ${}^4\text{He} + {}^{24}\text{Mg}$  ( $E = 42\text{МэВ}$ ) жүйесінің теориялық анализі

Ал графикалық қисық сызықтарды тұрғызу үшін *Origin* программасымен есептеледі:



а)



б)

4-сурет -  ${}^4\text{He} + {}^{24}\text{Mg}$  ( $E = 42\text{МэВ}$ ) жүйесінің дифференциалдық қимасы (а) мен потенциалдық терендігінің графигі (б).

### Қорытынды

Оптикалық модель түскен бөлшектердің ауытқу қимасын, ауытқыған бөлшектердің бұрыштық таралуын, түскен бөлшектердің сіңіру қимасын есептеуге мүмкіндік береді. Және ОМ алдыңғы жарты сфераның бұрыштарының эксперименттік деректерін жақсы сипаттайды. Дегенмен, бұл модель бөлшекті сіңіргеннен кейінгі процесті сипаттай алмайды.

### **Қолданылған әдебиеттер тізімі**

1. Thompson I.J. Getting started with FRESCO, Comput. Phys. Rep., 1988, 7, 167-2126.
2. Mortonet C. R. et al. // Phys. Rev. C. 1995. V. 52. P. 243.