

ОБЪЕДИНЕННЫЙ  
ИНСТИТУТ  
ЯДЕРНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ  
ДУБНА



7322  
Т-454

841/2-74

А.И.Титов

4/10, 124  
P4 - 7589

ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ  
ЯДЕРНОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ  
В РЕАКЦИЯХ ОКОЛОБАРЬЕРНОГО  
ВОЗБУЖДЕНИЯ НИКЕЛЯ ЛЕГКИМИ ЯДРАМИ

**1973**

**ЛАБОРАТОРИЯ  
ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ ФИЗИКИ**

P4 - 7589

А.И.Титов

ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ  
ЯДЕРНОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ  
В РЕАКЦИЯХ ОКОЛОБАРЬЕРНОГО  
ВОЗБУЖДЕНИЯ НИКЕЛЯ ЛЕГКИМИ ЯДРАМИ

Направлено в Изв. АН СССР

Объединенный институт  
ядерных исследований  
БИБЛИОТЕКА

Титов А.И.

P4 - 7589

Исследование параметров ядерного взаимодействия  
в реакциях околбарьерного возбуждения никеля  
легкими ядрами

Исследовано околбарьерное возбуждение однофононного  $2^+$ -уровня в  $^{58}\text{Ni}$  в реакциях с  $^3\text{He}$ ,  $^6\text{Li}$ ,  $^{16}\text{O}$ . Найдено, что параметры ядерного взаимодействия для реакций с гелием и литием довольно сильно отличаются от параметров взаимодействия кислорода. Это приводит к сглаживанию интерференционного эффекта в реакциях с  $^3\text{He}$  и  $^6\text{Li}$ .

Препринт Объединенного института ядерных исследований.  
Дубна, 1973

Titov A.I.,

P4 - 7589

Study of Nuclear Interaction Parameters  
of Near-the-Barrier Ni Excitation by  
Light Nuclei

Near-the-barrier excitation of the one-phonon  $2^+$  level in  $^{58}\text{Ni}$  in the reactions with  $^3\text{He}$ ,  $^6\text{Li}$ ,  $^{16}\text{O}$  is studied. It is found out that the nuclear interaction parameters for the reactions with He and Li differ rather essentially from the parameters of the oxygen interaction. This fact leads to the smoothing of the interference effect in the reactions with  $^3\text{He}$  and  $^6\text{Li}$ .

Preprint. Joint Institute for Nuclear Research.  
Dubna, 1973

1. В последнее время продолжается интенсивное изучение реакций возбуждения низколежащих ядерных состояний ионами, когда кинетическая энергия сталкивающихся частиц  $E$  приближается к энергии кулоновского барьера  $U_B^{1-5/}$ . В этих случаях к процессу возбуждения ядерных состояний кулоновским полем налетающей частицы примешивается ядерный механизм возбуждения, и это приводит к тому, что в энергетической зависимости сечения при  $E \approx U_B$  и в угловом распределении неупругого рассеяния в области предельного кулоновского угла при  $\theta \approx \theta_C = 2 \arcsin(U_B / (2E - U_B))$  возникают интересные интерференционные явления, характер и величина которых весьма чувствительны к потенциалу ядерного взаимодействия.

В работе /1/ был дан конкретный теоретический анализ и сравнение с экспериментом по околбарьерному возбуждению сферических ядер. Рассмотрение проводилось в рамках метода сильной связи каналов, причем для выяснения деталей физики явления выполнен также методический анализ: изучена роль высших порядков теории возмущений, зависимость от энергии возбуждения уровня и вероятности  $V(E\lambda)$  его электрического перехода, параметров ядерного взаимодействия и т.д. В работе /3/ интерференционный эффект был использован для извлечения параметров ядерного взаимодействия серии ядер мишени с  $A = 40-96$  ионами кислорода. Оказалось, что найденные параметры сравнительно слабо меняются для всей этой серии.

В настоящей работе проведено исследование параметров ядерного взаимодействия в реакциях однофононного возбуждения  $2^+$ -уровня в  $^{58}\text{Ni}$  в реакциях с различными налетающими ионами:  $^3\text{He}$ ,  $^6\text{Li}$ ,  $^{16}\text{O}$ . Рассмотрение ведется в рамках метода сильной связи каналов /1/.

2. Следуя работе /1/, вероятность возбуждения  $2^+$ -уровня в четно-четном ядре определим следующим образом:

$$P = \sum_M |a_{2M}(t = +\infty)|^2, \quad /1/$$

где  $M$  - проекция спина,  $a_{IM}(t)$  - амплитуды вероятности нахождения ядра в момент времени  $t$  в состоянии  $|IM\rangle$ , которые определяются решением системы уравнений

$$i\hbar \frac{\partial a_{\nu}(t)}{\partial t} = \sum_{\nu'} \langle \nu | U_{int}(\xi, \vec{r}) | \nu' \rangle e^{i\omega_{\nu\nu'} t} a_{\nu'}(t)$$

$$|\nu\rangle = |IM\rangle; \quad \omega_{\nu\nu'} = (E_{\nu} - E_{\nu'}) / \hbar \quad /2/$$

с начальным условием:

$$a_{\nu}(t = -\infty) = \delta_{\nu,0} \quad /3/$$

Потенциал взаимодействия  $U_{int}(\xi, \vec{r})$  зависит от координаты внутренних движений ядра  $\xi$  и времени  $t$ , поскольку от времени зависит расстояние между центрами сталкивающихся ядер  $\vec{r}$ . Здесь, как и прежде /1/, мы будем считать, что относительное движение ядер описывается классической траекторией  $\vec{r} = \vec{r}(t)$  в поле среднего ядерного и кулоновского потенциала  $\bar{U}(r)$ .

Потенциал  $U_{int}$  выберем, ограничиваясь первым членом разложения полного потенциала по параметру деформации. Тогда матричные элементы потенциала взаимодействия будут иметь вид:

$$\langle \nu | U_{int} | \nu' \rangle = \sum_{\lambda\mu} (U_{\lambda}^c(r(t)) + U_{\lambda}^N(r(t))) Y_{\lambda\mu}^* \langle \nu | \xi_{\lambda\mu} | \nu' \rangle, \quad /4/$$

где  $\langle \nu | \xi_{\lambda\mu} | \nu' \rangle$  - амплитуда электрического перехода, а мультипольные части кулоновского и ядерного взаимодействий равны:

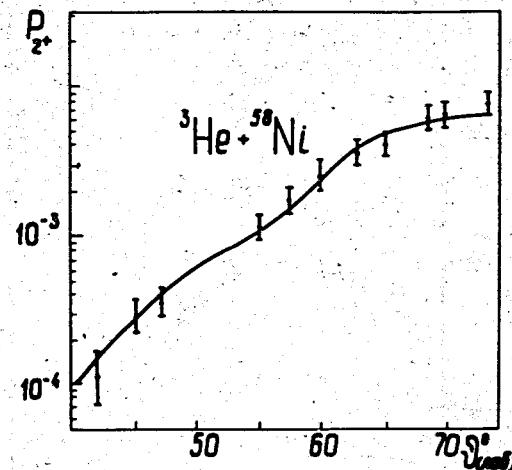


Рис. 1. Сравнение экспериментальных и теоретических данных вероятностей возбуждения  $E_{\text{лаб}} = 11,2$  МэВ.

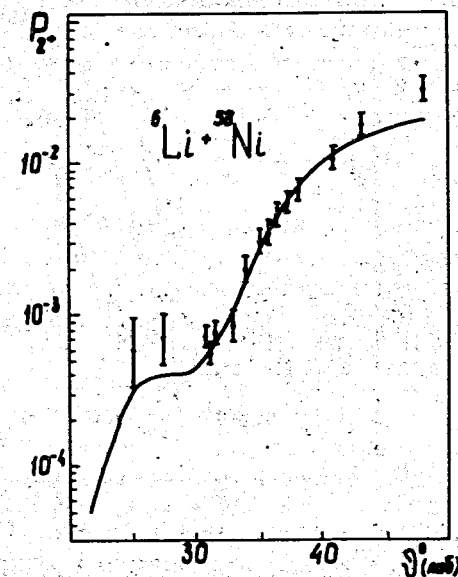


Рис. 2. Сравнение экспериментальных и теоретических данных вероятностей возбуждения  $E_{\text{лаб}} = 22,8$  МэВ.

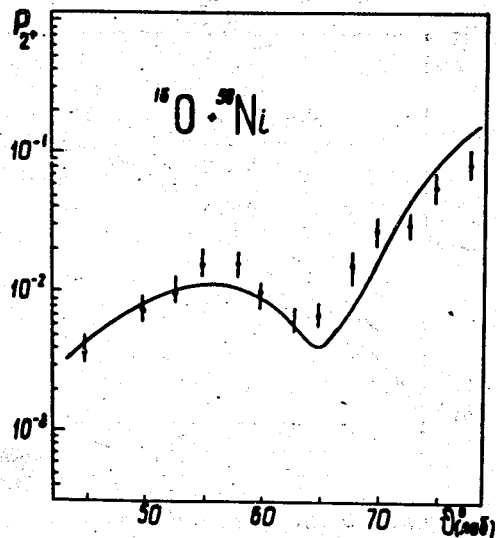


Рис. 3. Сравнение экспериментальных и теоретических данных вероятностей возбуждения  $E_{\text{лаб}} = 44$  МэВ.

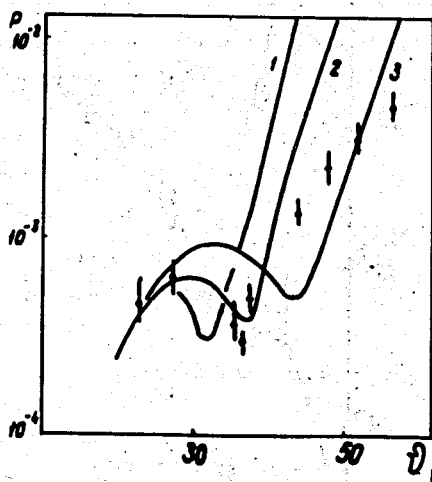


Рис. 4. Расчет вероятности возбуждения для реакции  ${}^6\text{Li} + {}^{58}\text{Ni}$ ,  $E_{\text{лаб}} = 22,8$  МэВ,  $b_v = 1,3$  фм;  $V_0 = 22,65$  МэВ,  $b_w = 0,375$  фм,  $r_{0w} = 1,37$  фм,  $W_0 = 2,35$  МэВ.  
1.  $r_{0w} = 1,2$  фм; 2.  $r_{0v} = 1,1$  фм; 3.  $r_{0v} = 1,0$  фм.

$$U_{\lambda}^c = \frac{4\pi Z_1 e}{(2\lambda + 1) r^{\lambda + 1}} \quad /5/$$

$$U_{\lambda}^N = - \left[ V_0 R \frac{df_v}{dR_v} + i W_0 R \frac{df_w}{dR_w} \right] \frac{4\pi}{3 Z_2 e R_{\lambda}^{\lambda}} \quad /6/$$

$$R = r_{0v} A_2^{1/3}; \quad R_c = 1.25 \cdot A_2^{1/3}$$

$$f_x = \left[ 1 + \exp\left(\frac{r - R_x}{b_x}\right) \right]^{-1}; \quad R_x = r_{0x} (A_1^{1/3} + A_2^{1/3}) \quad /7/$$

Если изменения траектории из-за неупругих потерь энергии невелики, то вероятность возбуждения связана с соответствующими сечениями упругого  $\sigma_{el}$  и неупругого  $\sigma_{in}$  рассеяния соотношением:

$$P = d\sigma_{in} / d\sigma_{el} \quad /8/$$

3. Вероятности возбуждения определены путем численного решения системы связанных уравнений /2/ с начальным условием /3/ и сравнивались с экспериментальными данными по реакциям околобарьерного возбуждения  ${}^{16}\text{O} + {}^{18}\text{Ni}$ ,  ${}^6\text{Li} + {}^{58}\text{Ni}$ ,  ${}^3\text{He} + {}^{58}\text{Ni}$  /4/. Результаты расчетов приведены на рис. 1-3, а найденные параметры потенциалов - в таблице.

Видно, что кривые с параметрами, полученными в результате непосредственной подгонки, в основном правильно описывают эксперимент.

Анализируя полученные параметры, во-первых, отметим, что в реакциях с ионами лития параметры диффузности  $b$  оказались примерно в три раза больше, чем в реакциях с  ${}^{16}\text{O}$ . Причем расчеты с меньшими значениями  $b$  /при одновременном увеличении глубины потен-

Таблица

Рисунок	Тип ионов	$V_0$ МэВ	$r_{0v}$ фм	$b_v$ фм	$W_0$ МэВ	$r_{0w}$ фм	$b_w$ фм
1	$^3\text{He}$	0			0,65	1,70	0,3
2	$^6\text{Li}$	6,0	1,30	1,8	4,0	1,37	1,4
3	$^{16}\text{O}$	22,65	1,35	0,65	2,35	1,37	0,375

циала  $V_0$ , либо его радиуса  $r_{0v}$ , приводят к сильному расхождению с экспериментом в области  $\theta \geq \theta_c$  /  $\theta_c$  - предельный кулоновский угол / /рис. 4/. Можно думать, что этот факт увеличения диффузности коррелирует с известными данными о "рыхлой" структуре ядра и о сильном влиянии канала развала /5/.

Далее, в реакциях с ионами  $^3\text{He}$  почти полностью отсутствует действительная часть потенциала взаимодействия, приводящая к возбуждению никеля. Интерференционный эффект сглажен. Глубина найденных потенциалов для  $^6\text{Li}$  и  $^{16}\text{O}$  относительно мала по сравнению с обычно используемыми в задачах рассеяния легких частиц на ядрах (n, p, d). По-видимому, эти параметры, в основном, характеризуют потенциал  $U_{int}$ , приводящий к переходам, и только хвост среднего отклоняющего потенциала -  $\bar{U}$ . Этот факт интересно проанализировать и в дальнейшем по мере появления новых экспериментальных данных.

Автор выражает искреннюю благодарность В.К. Лукьянову за постоянное внимание к работе, а также В.И. Манько за стимулирующие обсуждения.

## Литература

1. В.К. Лукьянов, А.И. Тимофеев. ЯФ, 18, 306, 1973.
2. Proceedings of the International Conference on Nuclear Physics, Munich, 1973.
3. P.R. Christensen, I. Chernov, E.E. Gross, R. Stokstad, F. Videback. Nucl. Phys., A207, 433, 1973.
4. V.I. Chuev, Yu.A. Gluchov, V.I. Manko, B.G. Novatsky, A.A. Ogloblin, S.B. Sakuta, D.N. Stepanov, Phys. Lett., 42B, 293, 1972.
5. А.И. Тимофеев. Препринт ОИЯИ, Р4-7131, Дубна, 1973.

Рукопись поступила в издательский отдел  
7 декабря 1973 года.