ПРИЛОЖЕНИЕ



Рисунок 1.1 – Схема экспериментальной установки: *1* – циклотрон, *2* – квадрупольные линзы, *3* – отклоняющий магнит, *4* – ионопровод, *5* – защитная стена, *6* – вакуумный клапан, *7*, *7а* – щели, диафрагмы, *8* – камера рассеяния, *9* – мишень, *10* – цилиндр Фарадея. Детекторы заряженных частиц и γ-квантов на рисунке не показаны.

$$W(\theta_{\gamma}, \phi_{\gamma}; \theta_{\alpha}) = \frac{1}{\sqrt{4\pi}} \sum_{k\kappa} \frac{1 + (-1)^{k}}{\sqrt{2k+1}} A_{k\kappa}(\theta_{\alpha}) Y_{k\kappa}^{*}(\theta_{\gamma}, \phi_{\gamma}), \qquad (1.1)$$

где $Y_{k\kappa}^*(\theta_{\gamma}, \phi_{\gamma})$ – сопряженные сферические функции углов θ_{γ} и ϕ_{γ} вылета γ -кванта в сферической системе координат (СК) осью Z, направленной вдоль импульса падающих частиц и плоскостью (X, Z), совпадающей с плоскостью реакции («экспериментальной» системе координат), $A_{k\kappa}(\theta_{\alpha})$ – вещественные параметры, с точностью до множителей совпадающие с компонентами $\rho_{k\kappa}(\theta_{\alpha})$ спин-тензоров матрицы плотности конечного ядра.

$$t_{k\kappa}(\theta_y) = \frac{1}{\sqrt{(2k+1)(2J_B+1)}} \cdot \frac{\rho_{k\kappa}(\theta_y)}{\rho_{00}(\theta_y)}.$$
(1.2)

$$P_{\pm M}(J,\theta_{y}) = \frac{1}{\sqrt{(2J+1)}} \frac{1}{\rho_{00}(\theta_{y})} \sum_{k\kappa} (-1)^{J-M} \langle JM J - M | k 0 \rangle \rho_{k\kappa}(J,\theta_{y}) D_{\kappa 0}^{k}(\pi/2,\pi/2,\pi/2).$$
(1.3)

$$R(\theta') = R_0 \left\{ 1 + \sum_c \beta_c \cdot Y_{c0}(\theta') \right\}, \qquad (2.1)$$

где c – число возможных каналов рассеяния (в частности, число уровней вращательной полосы, к которой принадлежат состояния $A(J_A)$, $B^*(J_B)$ начального и конечного ядер), угол θ' отсчитывается от оси симметрии ядра; $R_0 = r_0 A^{1/3}$, A – массовое число ядра, а параметр r_0 для ядер, не тяжелее кремния, обычно полагают равным 1.25 Фм.



Рисунок 3.1.1 – Угловые зависимости дифференциального сечения упругого (*a*) и неупругого (б) рассеяния дейтронов на ²⁴Mg с образованием конечного ядра в состоянии 2⁺ (1.369 МэВ) при $E_d = 15.3$ МэВ. Точки – эксперимент. На этом и следующих рисунках показаны статистические погрешности, превышающие размеры точек. Расчетные кривые: сплошная и штриховая – результаты расчета по FRESCO с учетом и без учета тензорных сил, штрих-пунктир соответствует расчету по FRESCO с учетом тензорных сил и эффекта реориентации.



Рисунок 3.1.2 — Угловые зависимости некоторых компонент спин-тензоров матрицы плотности ядра ²⁴Mg в состоянии 2⁺ (1.369 МэВ), образованного в неупругом рассеянии дейтронов при $E_d = 15.3$ МэВ. Точки – значения $A_{k\kappa}$, восстановленные из экспериментальных функций угловой корреляции¹. Единицы по оси ординат выбраны так, что величина $A_{00} \equiv d\sigma/d\Omega$ выражается в мбн·ср⁻. Обозначения расчетных кривых те же, что и на рисунке 3.1.1.



Рисунок 3.1.3 – Угловые зависимости заселенностей магнитных подуровней ядра 24 Mg в состоянии 2⁺(1.369 МэВ). Обозначения кривых такие же, как на рисунке 3.1.1.



Рисунок 3.1.4 – Угловые зависимости компонент тензоров ориентации мультипольного момента ядра ²⁴Mg(2⁺). Обозначения расчетных кривых те же, что и на рисунке 3.1.1.



Рисунок 3.2.1 – Угловые зависимости дифференциального сечения упругого (*a*) и неупругого (б) рассеяния протонов на ²⁴Mg с образованием конечного ядра в состоянии 2⁺ (1.369 МэВ) при $E_p = 7.4$ МэВ. Кривые: штрих-пунктир – расчет в МСК, штрих – вклад резонанса с $J(^{25}Al) = 3/2^+$, сплошная – соответствует сумме механизмов МСК и резонанса с $J(^{25}Al) = 3/2^+$.



Рисунок 3.2.2 – Функции угловой корреляции в неупругом рассеянии протонов с $E_p = 7.4$ МэВ ядрами ²⁴Мg под углами $\theta_d = 40, 80$ и 140° (лаб.) в трех плоскостях регистрации γ -квантов $\varphi_{\gamma} = 180, 225$ и 240°. Кривые – результат 9-компонентной параметризации.



Рисунок 3.2.3 – Угловые зависимости компонент спин-тензоров матрицы плотности ядра 24 Mg в состоянии 2⁺ (1.369 МэВ), образованного в неупругом рассеянии протонов при $E_p = 7.4$ МэВ. Нормировка по оси ординат выбрана так, что величина $A_{00} \equiv d\sigma/d\Omega$ выражается в мб·ср⁻¹. Обозначения теоретических кривых те же, что и на рисунке 3.2.1..



Рисунок 3.2.4 – Угловые зависимости заселенностей магнитных подуровней ядра ²⁴Mg в состоянии 2⁺(1.369 МэВ), образованного в неупругом рассеянии протонов при при $E \approx 7.5$ МэВ/нуклон для различных спиновых проекций *М*. Обозначения кривых те же, что и на рисунке 3.2.1.



Рисунок 3.2.5 Угловые зависимости компонент квадрупольного И тензоров гексадекапольного ориентации ^{24}Mg мультипольных моментов ядра В состоянии 2⁺ (1.369 МэВ), образованного в неупругом рассеянии протонов при $E_p = 7.4$ МэВ. Кружки – эксперимент. Обозначения кривых те же, что и на рисунке 3.2.1.



Рисунок 3.2.6 – Угловые зависимости компонент тензорной поляризации $T_{k\kappa}(\theta_p)$ ядра ²⁴Mg(2⁺), образованного в неупругом рассеянии протонов при $E_p = 7.4$ МэВ. Кружки – эксперимент. Обозначения кривых те же, что и на рисунке 3.2.1.



Рисунок 3.2.7 – Сравнение дифференциальных сечений (*a*), заселенностей магнитных подсостояний (б), некоторых экспериментальных компонент тензоров ориентации мультипольных моментов (*в*) и тензорной поляризации (*г*) ядра 24 Mg(2⁺), образованного в неупругом рассеянии протонов (кружки), дейтронов (треугольники) и α -частиц (звездочки) при $E \approx 7.5$ МэВ/нуклон.



Рисунок 3.3.1 – Угловые распределения дифференциального сечения реакции ${}^{27}\text{Al}(p, \alpha){}^{24}\text{Mg}$ при $E_p = 7.4$ МэВ с образованием конечного ядра в основном (*a*) и в первом возбужденном (*б*) состояниях. Обозначения расчетных кривых: штрих – механизм подхвата тритона в МСК, штрих-пунктир – статистический механизм образования СЯ, сплошная – суммарное сечение.



Рисунок 3.3.2 – Функции угловой корреляции в реакции ²⁷Al(p, $\alpha\gamma$)²⁴Mg с образованием конечного ядра в состоянии 2⁺(1.369 МэВ) при $E_p = 7.4$ МэВ под углами $\theta_{\alpha} = 30$ (a), 60 (δ) и 90° (ϵ) (лаб.) в трех плоскостях регистрации γ -квантов $\varphi_{\gamma} = 180$, 225 и 240°. Кружки – эксперимент. Точечные кривые – результат 9-компонентной параметризации по формуле (1), обозначения остальных кривых те же, что на рисунке 3.3.1.



Рисунок 3.3.3 – Угловые зависимости компонент квадрупольного и гексадекапольного тензоров ориентации ядра ²⁴Mg в состоянии 2⁺(1.369 МэВ), образованного в реакции ²⁷Al(p, $\alpha\gamma$)²⁴Mg при E_p = 7.4 МэВ. Обозначения теоретических кривых те же, что и на рисунке 3.3.1.



Рисунок 3.3.4 –. Угловые зависимости заселенностей магнитных подуровней ядра ²⁴Mg в состоянии 2⁺(1.369 МэВ) при различных проекциях спина *M*. Обозначения теоретических кривых те же, что и на рисунке 3.3.1.



Рисунок 3.4.1 – Зависимость некоторых компонентов $A_{k\kappa}$ от энергии E_{α} для углов рассеяния $\theta_{\alpha}(\text{ла6}) = 20, 50, 65$ и 90°. Обозначения расчетных кривых: штрих – расчет МСК, штрихпунктир – статистический механизм образования СЯ, сплошная – суммарное сечение. Экспериментальные точки соединены кривой «на глаз».



Рисунок 3.4.2 – Зависимость всех компонентов $A_{k\kappa}$ от энергии E_{α} для угла рассеяния θ_{α} (лаб) = 25°. Обозначения кривых такие же, как и на рисунке 3.4.1.

$$K_{1} = A_{00} + A_{20} + A_{40} - \sqrt{6}A_{22} + \sqrt{5/2}A_{42} = 0;$$

$$K_{2} = -4A_{00} + 8A_{20} + A_{40} - \sqrt{70}A_{44} = 0;$$

$$K_{3} = 4\sqrt{6}A_{21} + \sqrt{5}A_{41} + \sqrt{35}A_{43} = 0.$$
(3.4.1)



Рисунок 3.4.3 – Зависимость $K_i(E_{\alpha})$ для двух различных углов $\theta_{\alpha}(л.с.)$. Кривые соединяют точки.



Рисунок 3.4.4 – Энергетические зависимости заселенности $P_{\pm M}^{J}(E)$ подсостояний по проекции M = 1 и 2 спина состояния $J = 2^{+}$ для углов $\theta_{\alpha} = 20, 25, 50, 65$ и 90°. Обозначения кривых такие же, как и на рисунке 3.4.1



Рисунок 3.4.5 – Энергетические зависимости некоторых компонентов t kк.для углов $\theta\alpha(лаб) = 20, 25, 50, 65$ и 90°. Обозначения кривых такие же, как и на рисунке 3.4.1.

$$P_{M}(CH + C\Re) = \frac{P_{M}(CH)A_{00}(CH) + P_{M}(C\Re)A_{00}(C\Re)}{A_{00}(CH) + A_{00}(C\Re)},$$
(3.4.2)

где обозначение CH относится к расчетам по коду CHUCK. Аналогичное выражение использовано для *t*_{kк}(CH+CЯ).



Рисунок 3.4.6 – Сравнение экспериментального углового распределения дифференциального сечения неупругого рассеяния с расчетным для энергии $E_{\alpha} = 25$ МэВ. Обозначения кривых такие же, как и на рисунке 1.1

$$R(\theta, \phi) = R_0 \left[1 + \sum_{\mu\nu} \beta_{\mu\nu} \cdot Y_{\mu\nu}(\theta, \phi) \right].$$
(4.1)

$$R\left(\theta, \varphi, \tilde{\theta}_{y}\right) = R_{0}\left\{1 + \sum_{k\kappa} N_{k} \cdot t_{k\kappa}(\tilde{\theta}_{y}) \cdot Y_{k\kappa}(\theta, \varphi)\right\}.$$
(4.2)

В системе центра масс угол θ_y связан с $\tilde{\theta}_y$ соотношением $\tilde{\theta}_y = \theta_y - \pi$.

$$N_k = \frac{\beta_{k0}}{t_{k0}} \left(\theta_y = 0^\circ \right). \tag{4.3}$$

$$t_{k0}\left(\theta_{y}=0^{\circ}\right)=(-1)^{J_{B}}\sqrt{\frac{1}{2k+1}}\langle J_{B}0J_{B}0|k0\rangle,$$
(4.4)

$$t_{20}(\theta_y = 0^\circ) = -\sqrt{\frac{2}{35}} = -0.239;$$
 $t_{40}(\theta_y = 0^\circ) = \sqrt{\frac{2}{35}} = 0.239,$ (4.5)



Рисунок 4.1 – Экспериментальные угловые зависимости $t_{k\kappa}(\theta_{\alpha})$ ядра ¹²С в состоянии 2⁺, образованного в неупругом рассеянии α -частиц с $E_{\alpha} = 30$ МэВ. Сплошные кривые – расчет по МСК.



Рисунок 4.2 – Экспериментальные угловые зависимости $t_{k\kappa}(\theta_{\alpha})$ ядра 12С в состоянии 2+, образованного в неупругом рассеянии 3He (треугольники) и дейтронов (кружки) при Ex = 7.5 МэВ/нуклон.

$$t_{20}\left(\theta_{y}=0^{\circ}\right) = \frac{\sqrt{7}}{5\sqrt{10}} \quad S; \qquad S = \frac{\left\{\theta_{j=2}^{2}-\theta_{j=1}^{2}\right\}}{\left\{\theta_{j=2}^{2}+\theta_{j=1}^{2}\right\}}.$$
(4.6)

$$S = -20(P_{\pm 1} + P_{\pm 2}) + 8. \tag{4.7}$$



Рисунок 4.3 – Угловые зависимости некоторых компонентов $P_{\pm M}(\theta_p)$, $A_{k\kappa}(\theta_p)$ и $t_{k\kappa}(\theta_{\alpha})$ ядра ¹⁰Be(2⁺, 3.37 МэВ), образованного в реакции ⁹Be(d, p_1)¹⁰Be(2⁺) при E_d = 12.5 МэВ (a, δ) и 15.3 МэВ (e). Кружки – эксперимент, кривые – расчеты по МСК для механизма срыва нейтрона: a - c учетом (β_2 (⁹Be) = 0.5, β_2 (¹⁰Be) = 1) (сплошная) и без учета (штрих) деформации ядер, $\delta - c \beta_2$ (¹⁰Be) = 1(сплошная) и β_2 (¹⁰Be) = -1 (штрих), e- для положительного (сплошная) и отрицательного (штрих) значения β_2 (¹⁰Be).

Реакция	Энергия частиц,	$t_{20}(0^{\circ})$	β_2
	МэВ		-
$^{9}\text{Be}(d, p_1)^{10}\text{Be}(2^+) \rightarrow \gamma + {}^{10}\text{Be}$	12.5	0.030	1.0
$^{11}B(\alpha, t_1)^{12}C(2^+) \rightarrow \gamma + {}^{12}C$	25.0	-0.072	-0.5 ± 0.2
$^{12}C(d, d_1)^{12}C(2^+) \rightarrow \gamma + ^{12}C$	15.3	-0.239	-0.5
$^{12}C(^{3}He, ^{3}He_{1})^{12}C(2^{+})^{+}) \rightarrow \gamma + ^{12}C$	22.4	-0.239	-0.35
$^{12}C(\alpha,\alpha_1)^{12}C(2^+)^+) \rightarrow \gamma + ^{12}C$	30.0	-0.239	-0.55±0.5

Таблица 4.1. Тензоры ориентации $t_{20}(0^\circ)$ и параметры β_2 для различных выстроенных ядер, полученных в реакциях на легких ядрах



Рисунок 4.4 – Динамическая деформация R/R_0 (панель *a*) ядра ¹²С (2⁺), образованном в неупругом рассеянии α -частиц при E_{α} = 30 МэВ. Ось *Z* направлена по импульсу ядра отдачи. Указаны углы θ_{α} (с.ц.м.). На панели δ показаны сечения динамической деформации плоскостями *XZ* (тонкие линии), *YZ* (пунктир) и *XY* (толстые линии).



Рисунок 4.5 – То же, что и на рисунке 4.4, для ядра ${}^{12}C(2^+)$, образованного в неупругом рассеянии дейтронов с энергией 15.3 МэВ.



Рисунок 5.1 - Диаграммы, иллюстрирующие механизмы реакции A(t, p)B: *а*- срыв динейтрона; *б*- механизм независимой передачи нейтронов.



Рисунок 5.2 – Дифференциальные сечения реакций: $1 - {}^{7}\text{Li}(t, p) {}^{9}\text{Li}(3/2^{-})$, $2 - {}^{9}\text{Be}(t, p)^{11}\text{Be}$, $3 - {}^{9}\text{Li}(t, p)^{11}\text{Li}$ для $(1p)^{2}a$ и $(2s)^{2} \delta$ конфигураций. Точки – эксперимент, тонкая сплошная кривая – механизм передачи динейтрона, точечная – двухступенчатый механизм передачи нейтронов, сплошная – суммарное сечение.

Таблица 5.1. Среднеквадратичные расстояния динейтрона $\langle L_{nn} \rangle$ в ¹¹Li, ¹¹Ве и каждого нейтрона $\langle L_1 \rangle, \langle L_2 \rangle$ в ¹¹Ве относительно ядра-кора

Ядро	<i>R</i> ^{<i>m</i>} , Фм	Конфигурация ВФ ядер ¹¹ Li и ¹¹ Be	$\left\langle L_{_{nn}} \right\rangle$	$\langle L_1 \rangle$	$\langle L_2 \rangle$
¹¹ Li	3.14	$ (1p_{3/2})^5[f_1](1p_{1/2})^2[2]\rangle$	6.46		
	[64]				
¹¹ Be	2.94	$(1p_{3/2})^6[f_1] 2s$	3.45	3.37	7.99
	[64]				

$$\left\langle L\right\rangle = \sqrt{\int r^2 W(r) dr} \tag{5.1}$$