



Национальный исследовательский ядерный университет
«МИФИ»

Кафедра №40 «Физика элементарных частиц»

Отчет по преддипломной практике

Исследование возбужденных состояний ядра ^{11}B в реакции $^{10}\text{B}(^7\text{Li}, ^6\text{Li})^{11}\text{B}$

Студент
гр. М23-112

Райдун С.К.

Научный руководитель
к.ф.-м.н.

Чернышев Б. А.

Научный консультант
д.ф.-м.н.

Демьянова А.С.

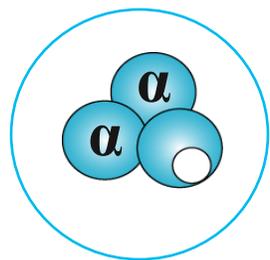


Актуальность работы

Аналог состояния

Хойла:

8.56 МэВ $3/2^-$ ядра ^{11}B



^{11}B

$\alpha + \alpha + t$

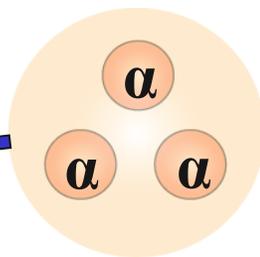
$E^* = 8.56 \text{ MeV}, 3/2^-$

$R_{\text{RMS}} = 2.87 \pm 0.12 \text{ фм}$

A.N. Danilov, A.S.
Demyanova et al.,
Physics of Atomic
Nuclei 78, 777 (2015)

Состояние Хойла 7.65 МэВ

0^+ ядра ^{12}C



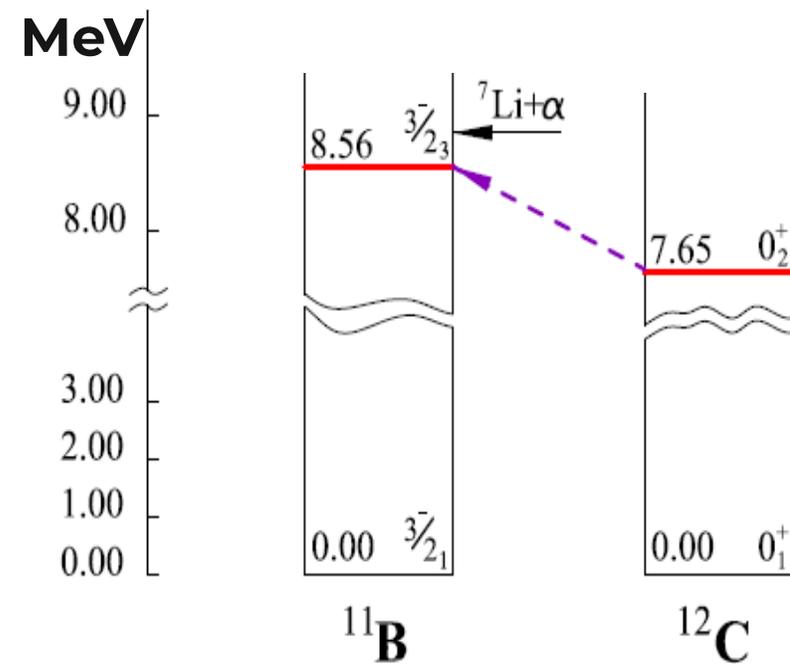
^{12}C

$\alpha + \alpha + \alpha$

$E^* = 7.65 \text{ MeV}, 0^+$

$R_{\text{RMS}} = 2.89 \pm 0.04 \text{ фм}$

A.S. Demyanova,
AIP Conf. Proc. 3020,
020002 (2024)



Цель и задачи работы

Целью работы является исследование состояний ядра ^{11}B .

Задачи работы:

- ❖ Разработка набора программ для обработки одномерных энергетических спектров.
- ❖ Получение угловых распределений для основного состояния и состояния 8.56 МэВ ядра ^{11}B .
- ❖ Теоретический анализ полученных угловых распределений с помощью оптической модели и метода искаженных волн.

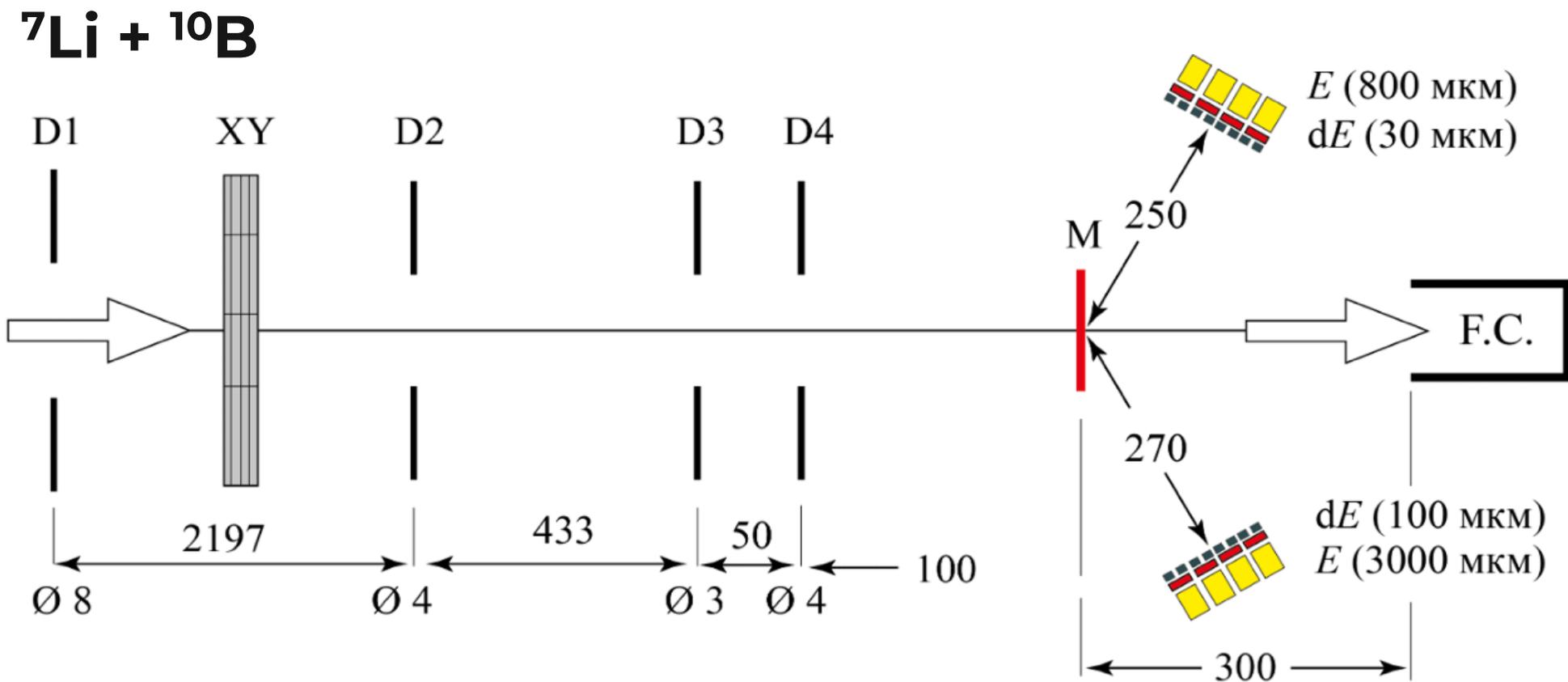
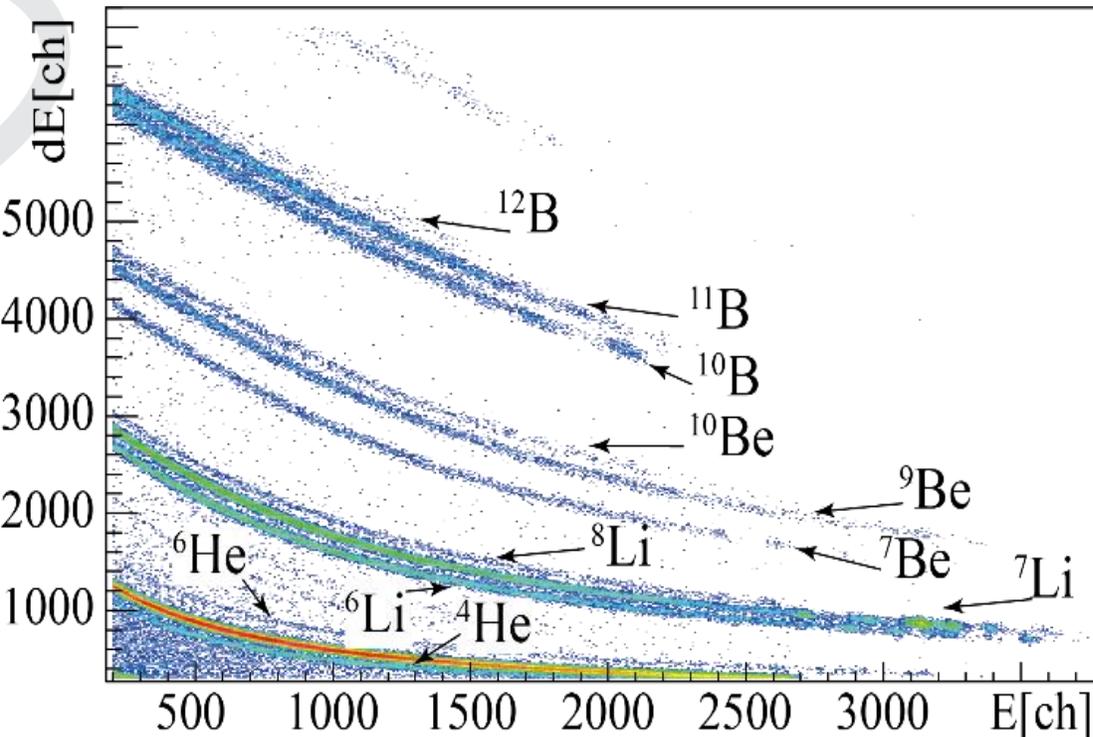
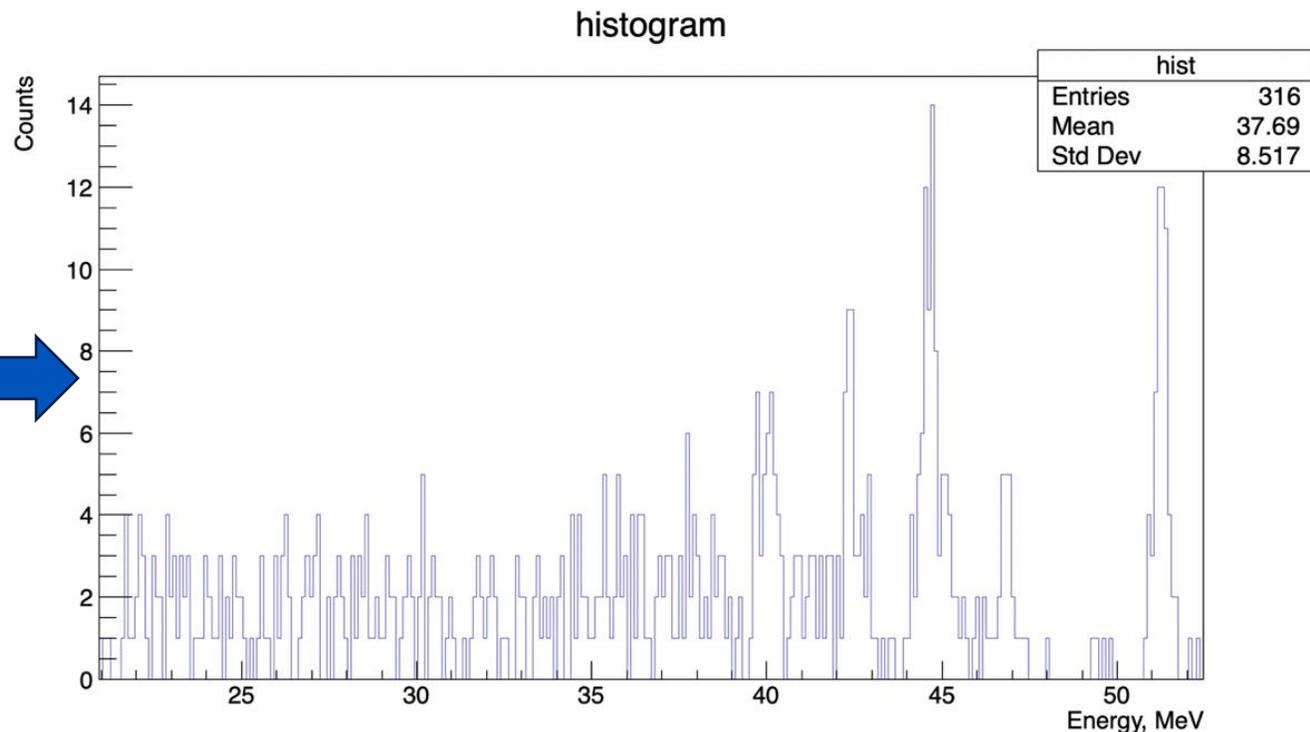


Схема экспериментальной установки по измерению дифференциальных сечений продуктов реакции ${}^7\text{Li} + {}^{10}\text{B}$. Диаметры и расстояния между элементами установки приведены в миллиметрах

Обработка экспериментальных данных



Пример полученного двумерного спектра с помощью $\Delta E - E$ метода из реакции $^7\text{Li} + ^{10}\text{B}$ при $\Theta_{\text{LAB}} = 10,2^\circ$. Ось X - потери энергии вылетевших частиц (в каналах), ось Y - энергия остановки вылетевших частиц (в каналах). Каждая гипербола отвечает за определенный канал реакции.



Пример полученного одномерного спектра при обработке гиперболы ^6Li . Ось X - полные потери энергии вылетевших частиц ($dE + E$) в МэВ, ось Y - число событий.

Задача - уменьшение времени обработки экспериментальных данных. Возможность экспресс анализа данных на эксперименте.

Раньше – ручная обработка одномерных энергетических спектров с помощью программы Origin Pro.

Решение – автоматизация обработки одномерных энергетических спектров.



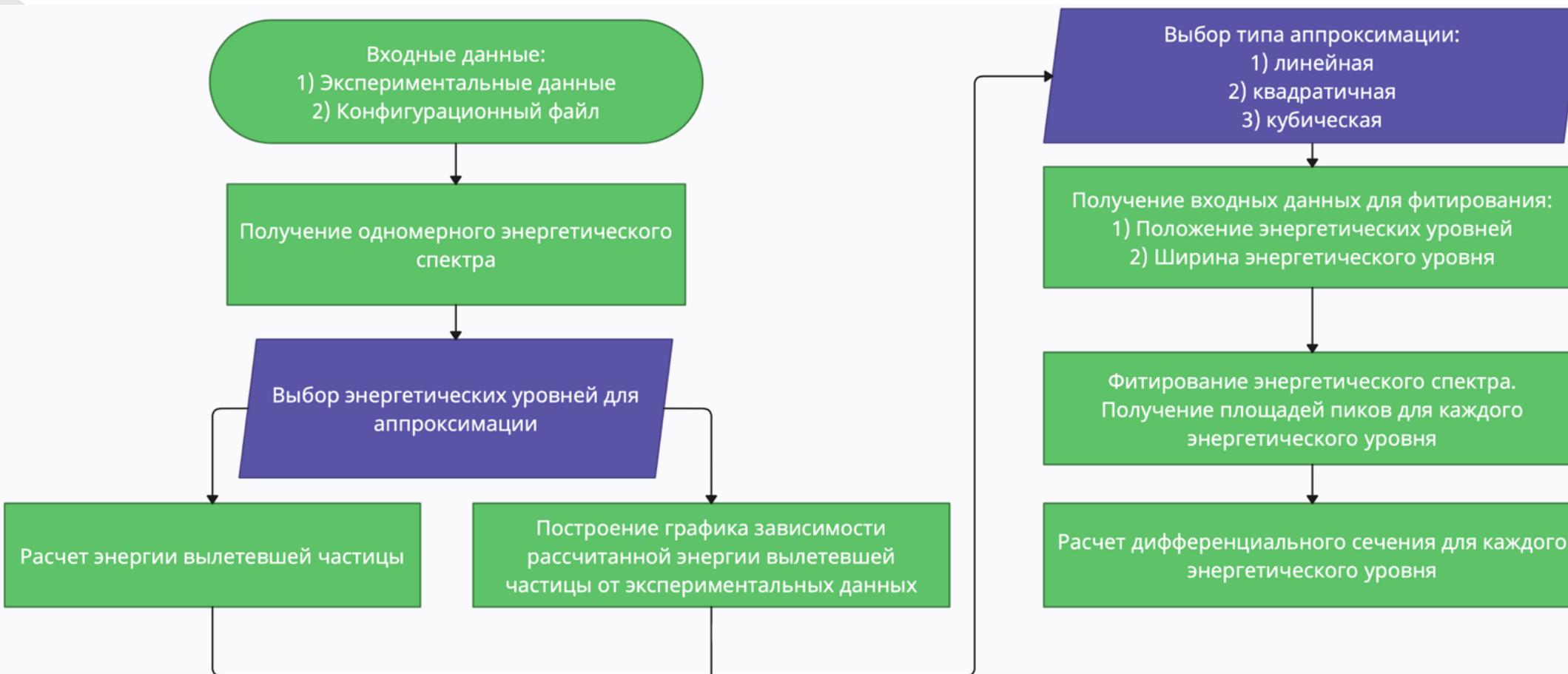
Программа для обработки одномерных энергетических спектров



- Автоматический расчет положений исследуемых энергетических состояний на спектре.
- Автоматическое фитирование энергетических состояний с помощью Гауссовых функций.
- Автоматическое получение величины дифференциального сечения для заданного угла в лабораторной системе координат.

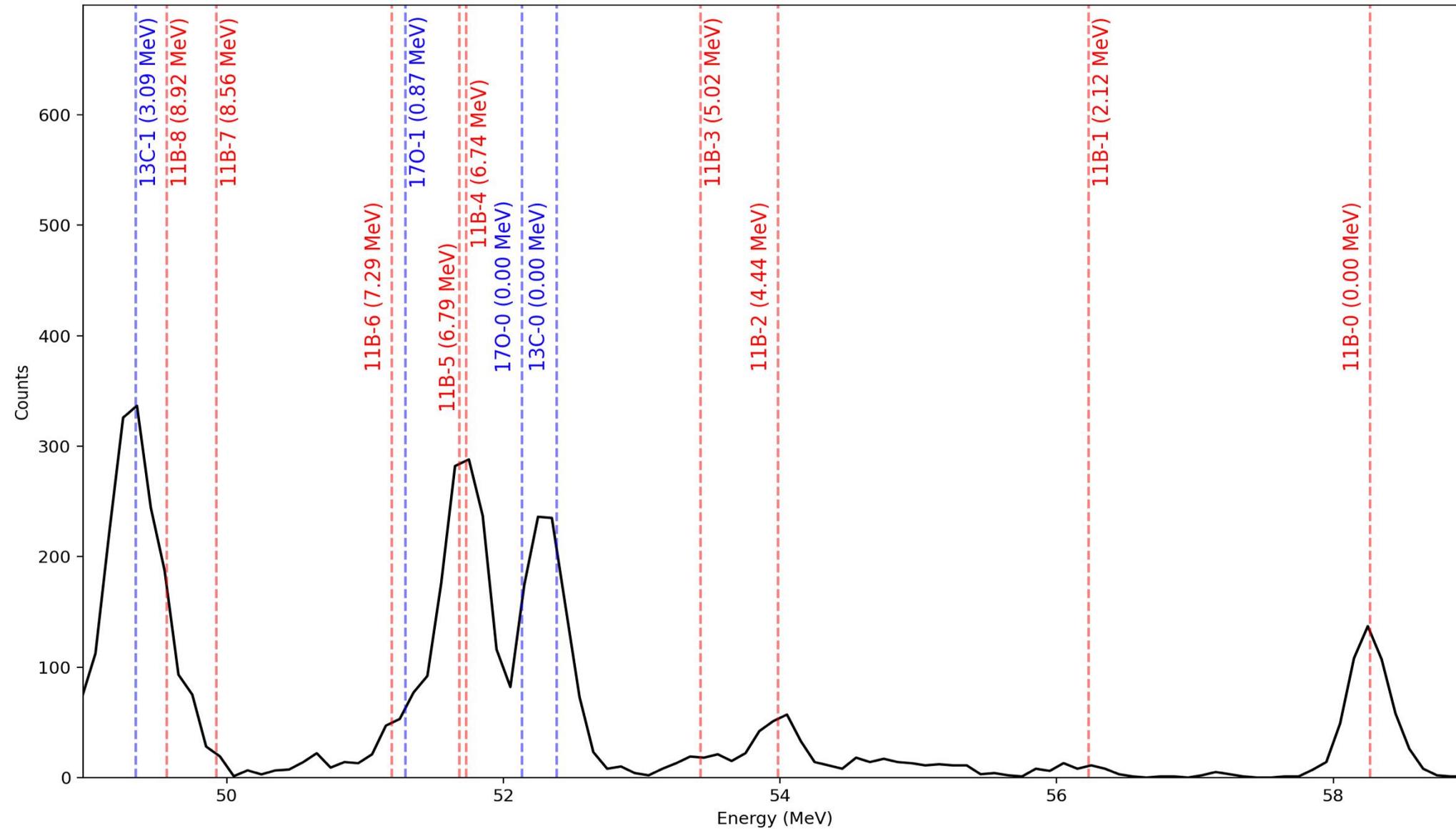


Программа для обработки одномерных энергетических спектров



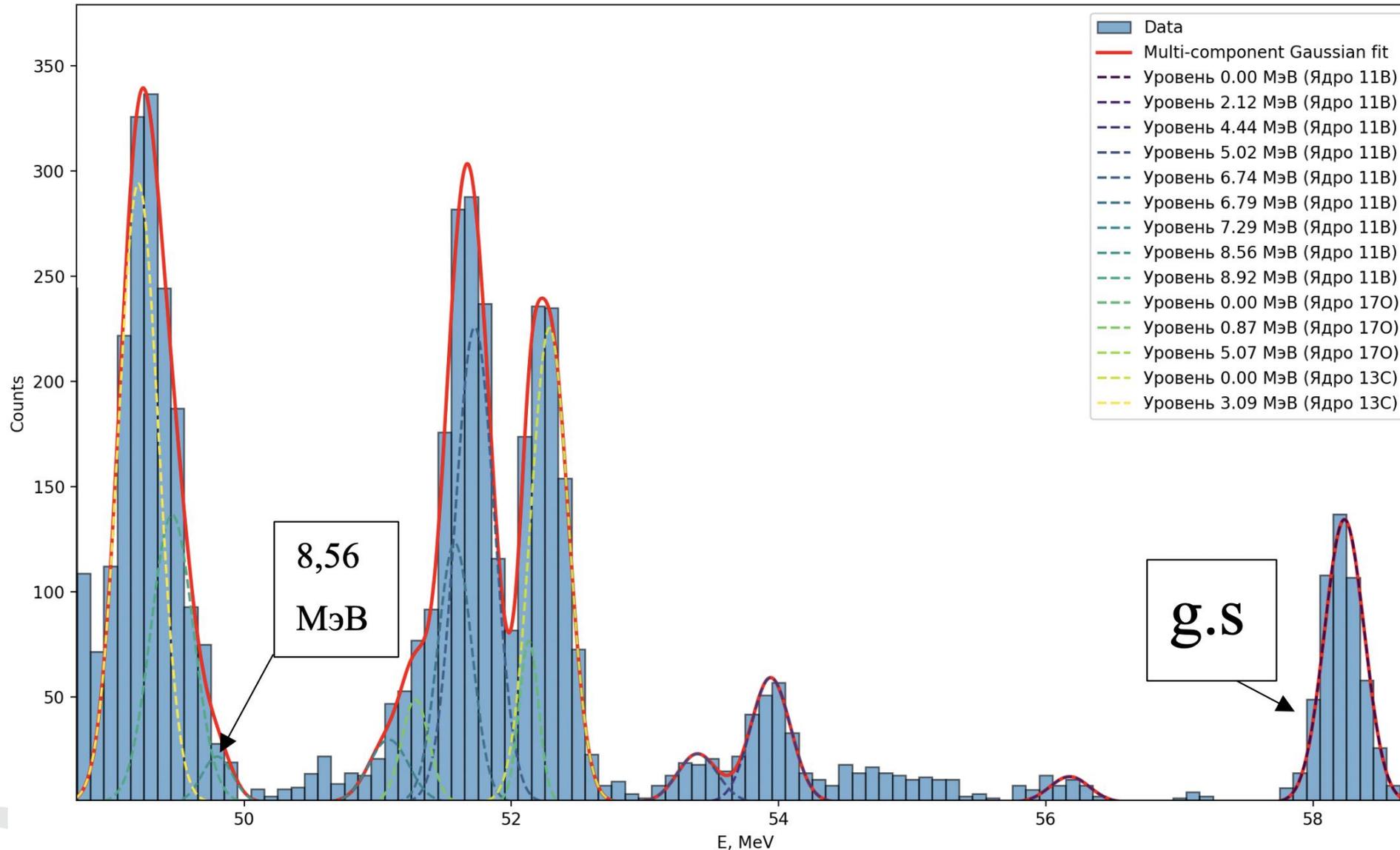
Принципиальная схема расчетной программы. Овалом обозначены данные, являющиеся входными для работы программы, прямоугольниками - этапы работы программы, фиолетовым обозначен ручной ввод данных.

Программа для обработки одномерных энергетических спектров



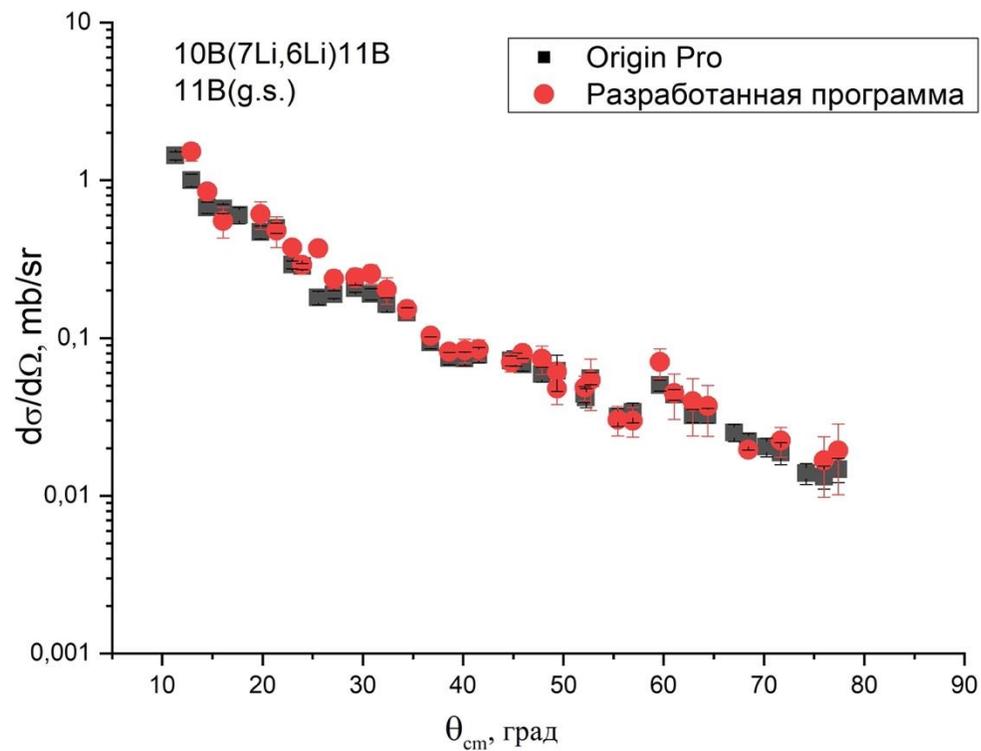
Этап работы программы. Одномерный энергетический спектр с рассчитанными положениями энергетических состояний. Ось X - энергии вылетевших частиц, ось Y - количество событий. Красный - состояния ядра ^{11}B . Синий - состояния ядер примесей

Программа для обработки одномерных энергетических спектров

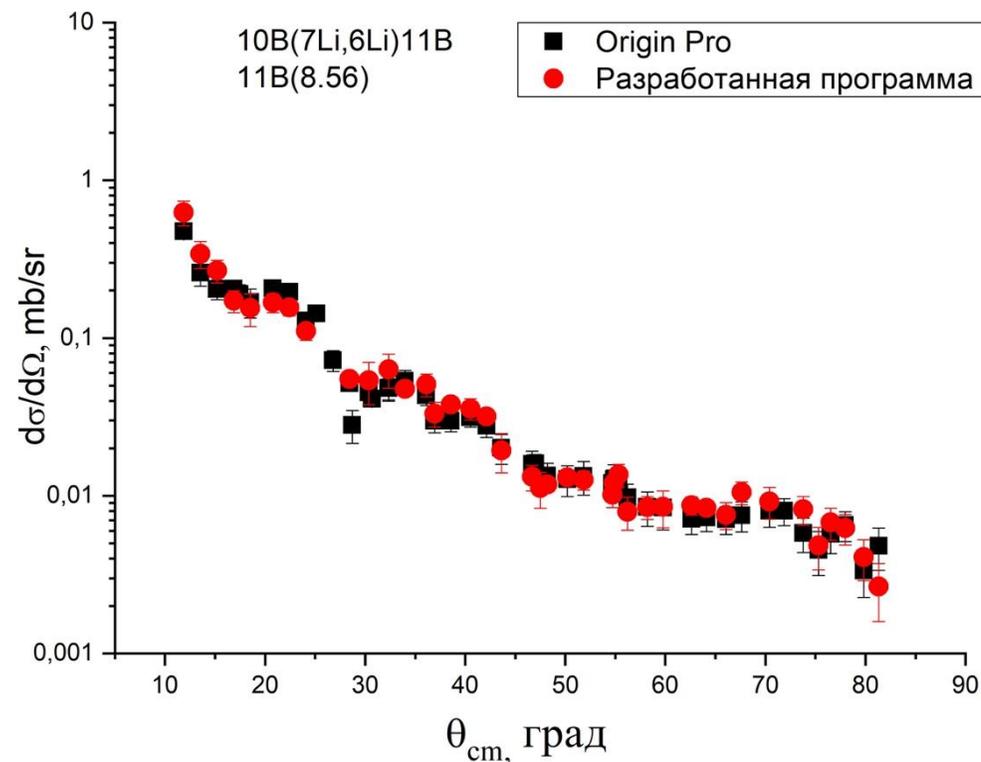


Этап работы программы.
Пример разложения одномерного энергетического спектра по Гауссовым функциям. Ось X - полная энергия вылетевших частиц, ось Y - количество событий.

Программа для обработки одномерных энергетических спектров



Дифференциальное сечение для
основного состояния ядра ^{11}B



Дифференциальное сечение для состояния
8.56 МэВ ядра ^{11}B

Теоретический анализ угловых распределений

$$\frac{d\sigma_{\alpha\beta}}{d\Omega} = \frac{\mu_{\alpha}\mu_{\beta}}{(2\pi\hbar^2)^2} \frac{K_{\beta}}{K_{\alpha}} |T_{\beta\alpha}|^2, \mu_i - \text{приведенная масса канала } i, T_{\beta\alpha} - \text{амплитуда перехода из канала } \beta \text{ в канал } \alpha$$

Метод искаженных волн (DWBA)

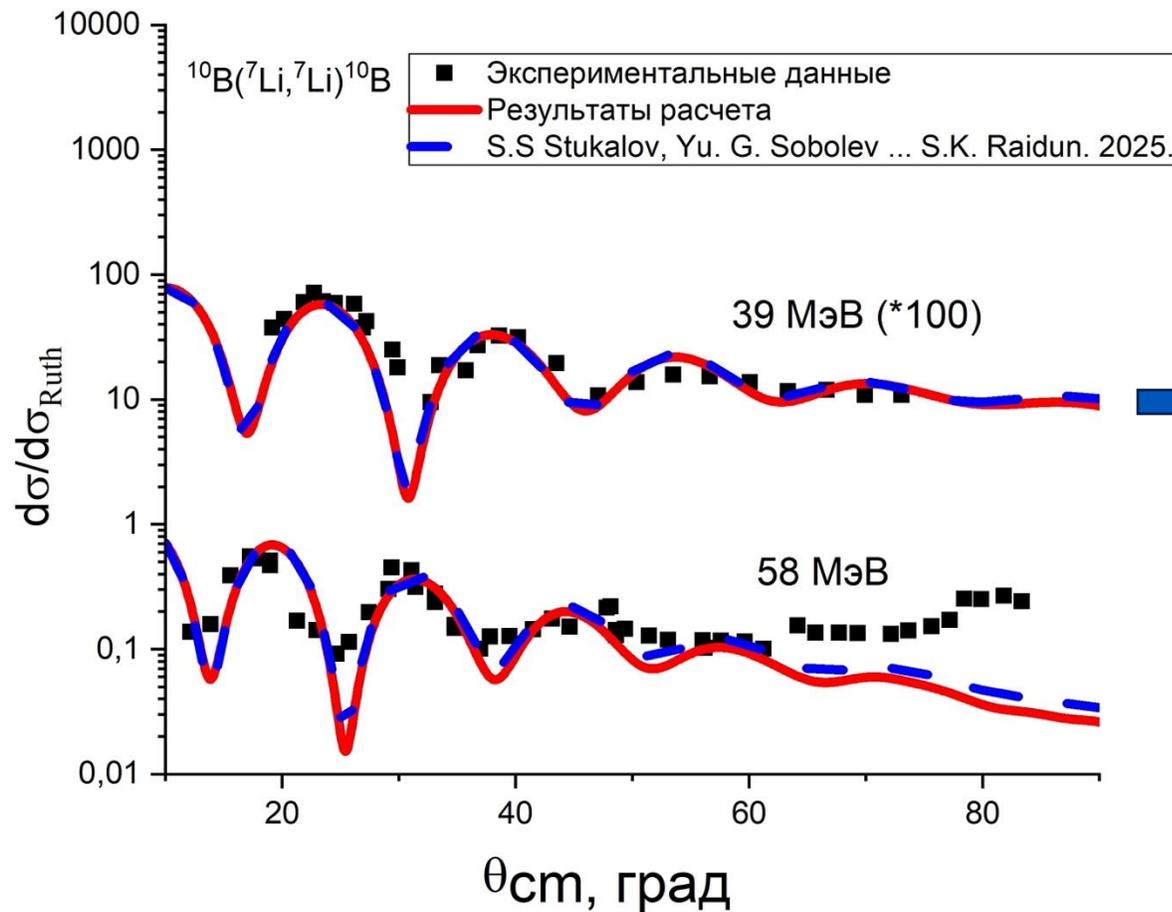
$$T_{\text{DWBA}} = \int u_b^{(-)*}(\mathbf{K}_b, \mathbf{r}_b) \langle \Psi_b \Psi_B | V | \Psi_a \Psi_A \rangle u_a^{(+)}(\mathbf{K}_a, \mathbf{r}_a) dr_a dr_b,$$

где $u_a^{(+)}$ и $u_b^{(-)}$ - волновые функции рассеяния во входном и выходном каналах, Ψ_i - волновые функции соответствующих состояний ядер во входном и выходном каналах реакции, \mathbf{K}_i - относительный импульс в канале

$$\langle \Psi_b \Psi_B | V | \Psi_a \Psi_A \rangle \sim I_{lsj}^{6\text{Li}7\text{Li}}(r) * I_{lsj}^{10\text{B}11\text{B}}(r) - \text{формфактор реакции}$$

Теоретический анализ угловых распределений

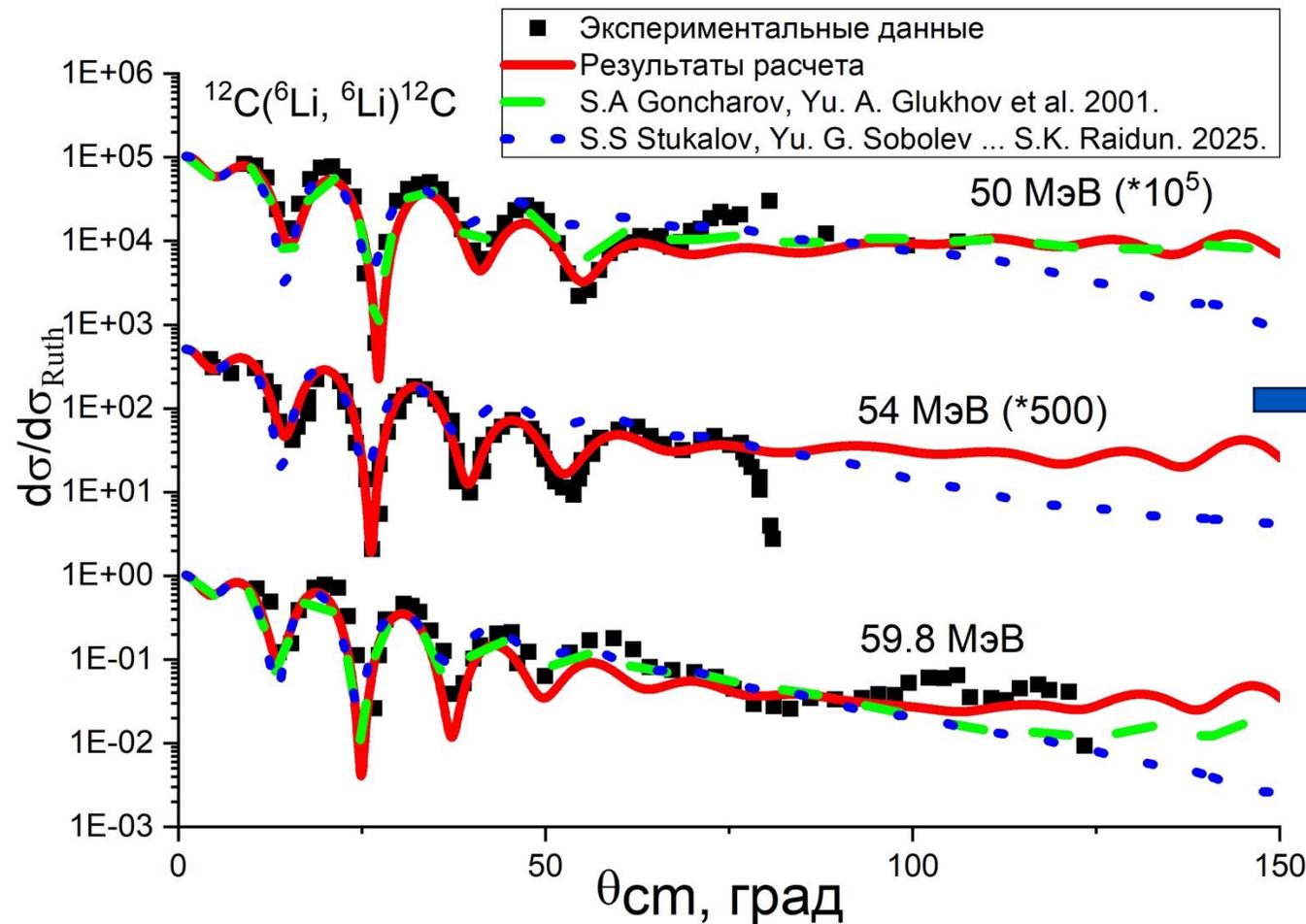
Входной канал: ${}^7\text{Li} + {}^{10}\text{B}$



Определение параметров оптической модели

Теоретический анализ угловых распределений

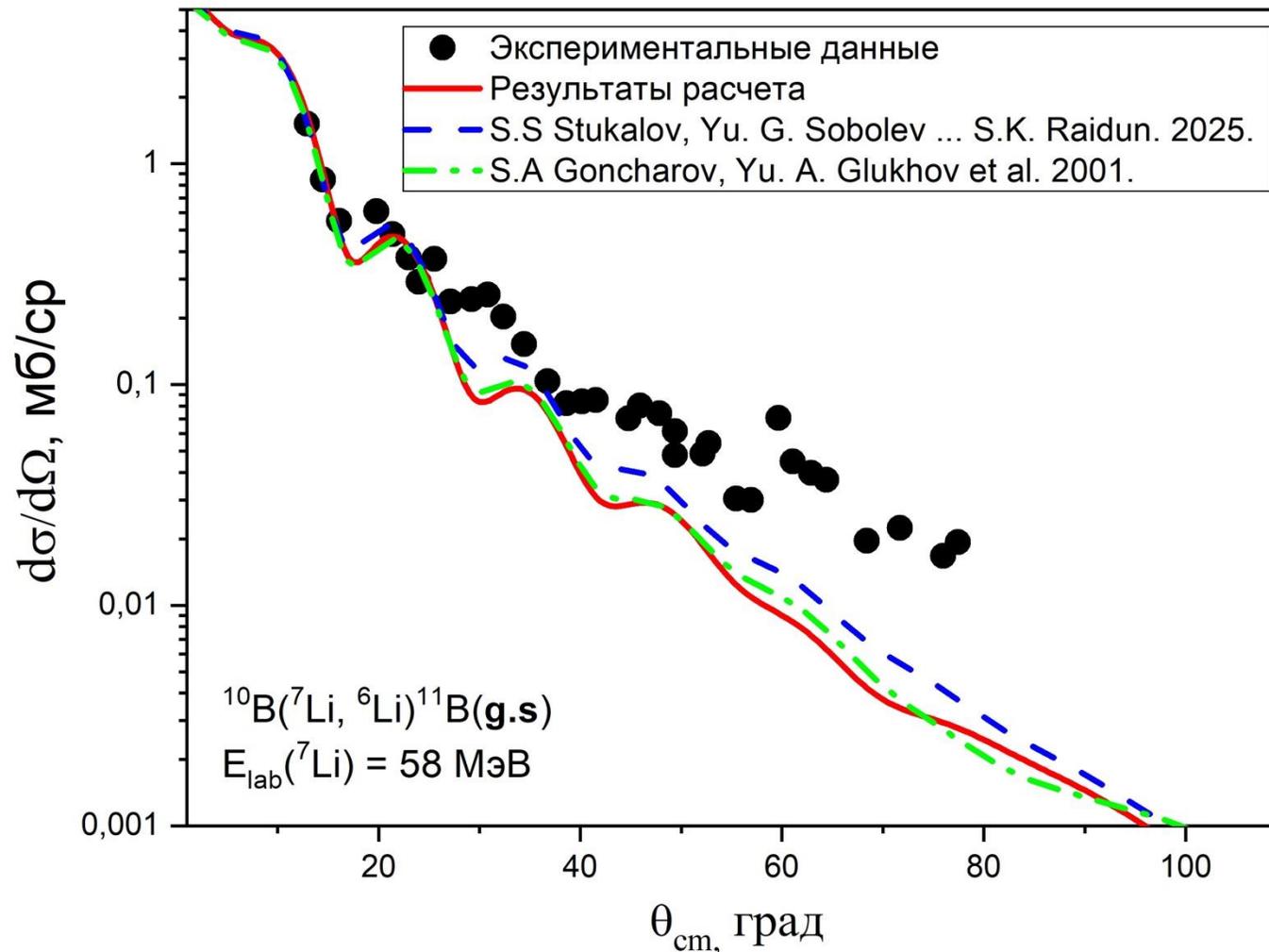
Выходной канал: ${}^6\text{Li} + {}^{11}\text{B}$ (${}^6\text{Li} + {}^{12}\text{C}$)



Определение параметров оптической модели из интегральных характеристик близкой системы (${}^6\text{Li} + {}^{12}\text{C}$)

Теоретический анализ угловых распределений

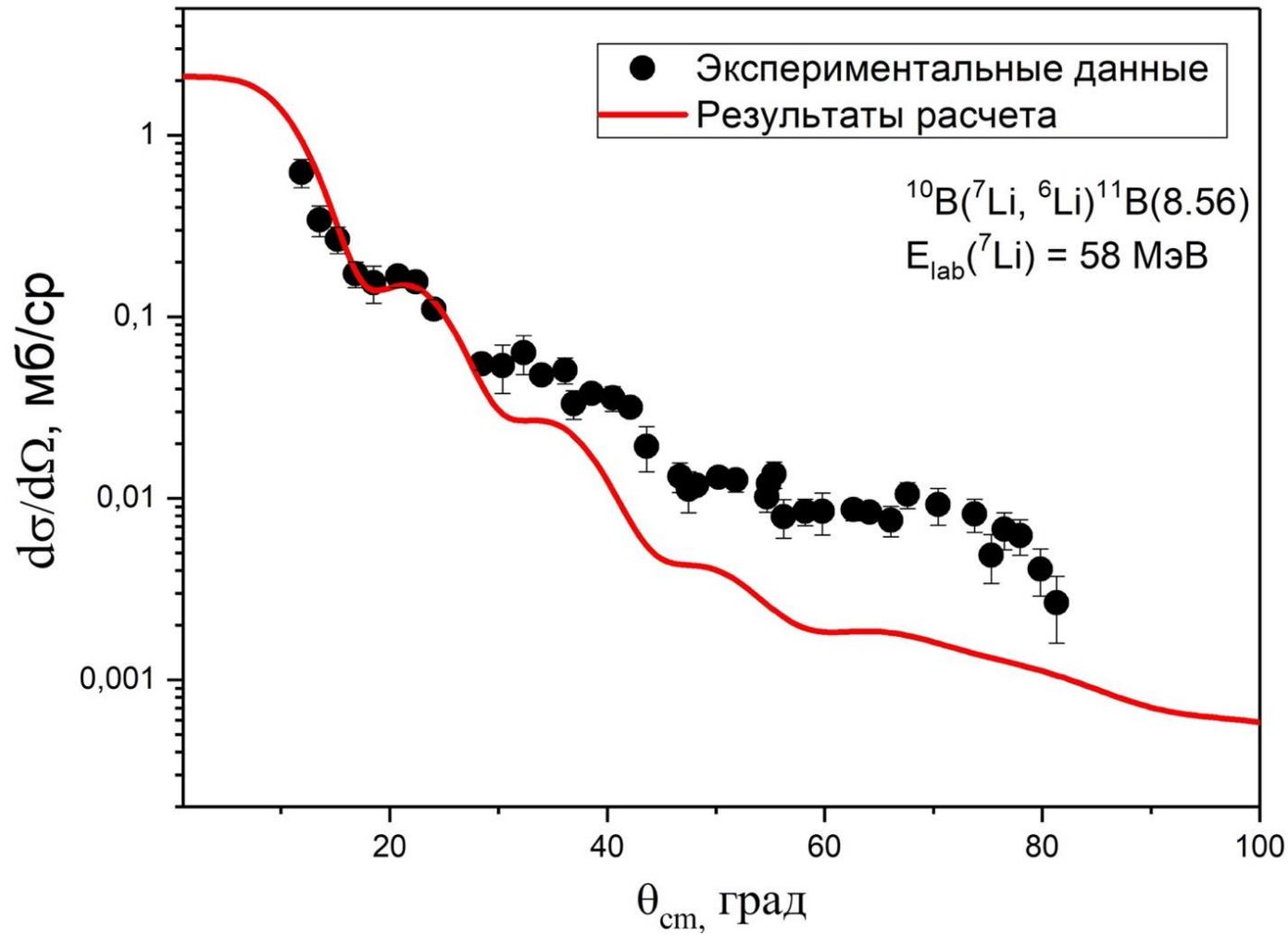
Основное состояние ядра ^{11}B



Различные параметры оптической модели не влияют в пределах погрешности на описание главного максимума распределения

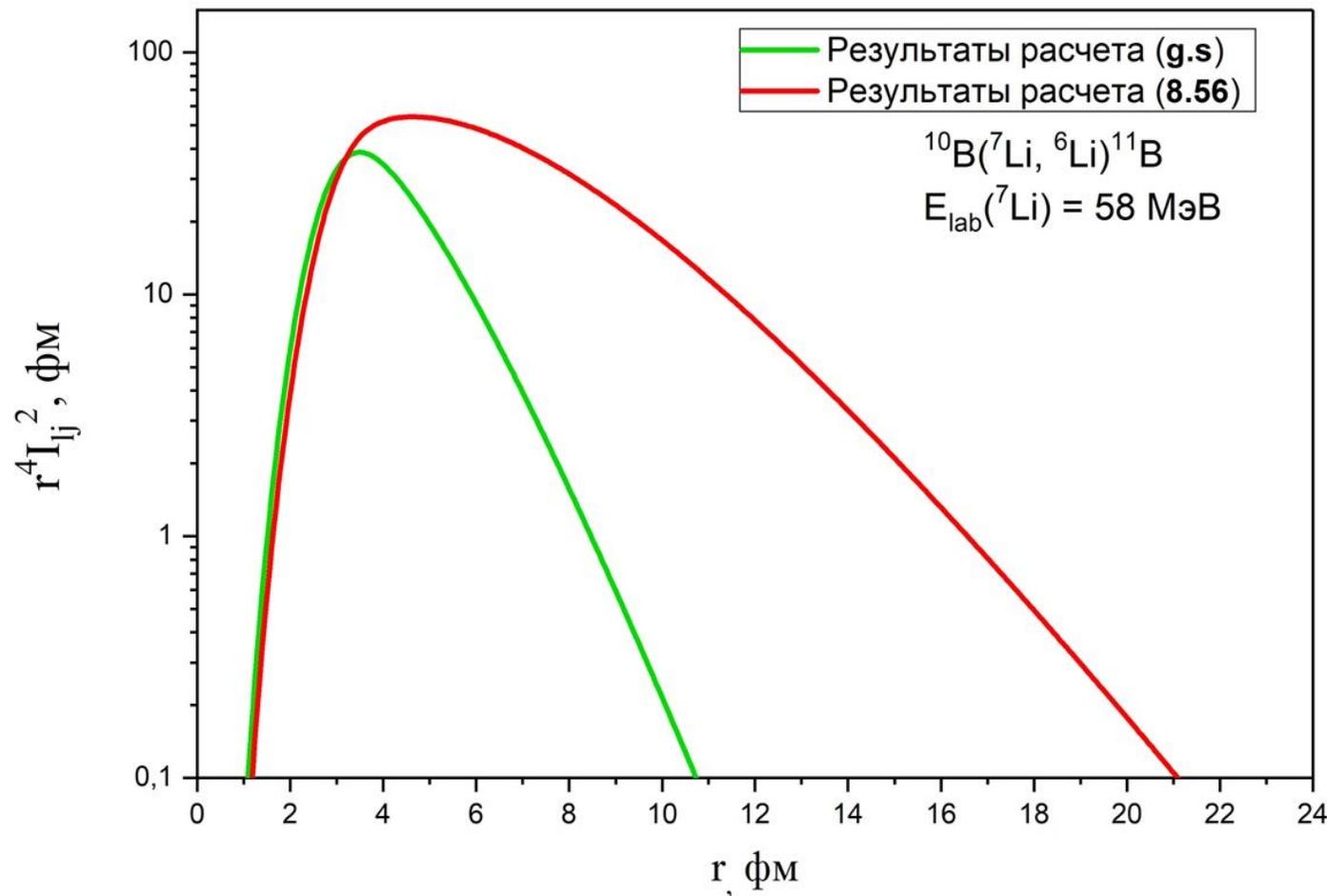
Теоретический анализ угловых распределений

Состояние 8.56 МэВ ядра ^{11}B



Теоретический анализ угловых распределений

Радиальные зависимости формфакторов



Интерпретация результатов

Наблюдается существенное различие в радиальной зависимости для основного состояния и состояния 8.56 МэВ ядра ^{11}B .

В случае перехода $\{^{11}\text{B}(8.56) \rightarrow n + ^{10}\text{B}(\text{g.s.})\}$ и $\{^{11}\text{B}(\text{g.s.}) \rightarrow n + ^{10}\text{B}(\text{g.s.})\}$ вклад в форм-фактор вносит одна и та же волновая функция основного состояния ^{10}B .

Можно предполагать, что именно волновая функция состояния 8.56 МэВ ядра ^{11}B ответственна за это различие.

Таким образом, волновая функция состояния 8.56 МэВ ядра ^{11}B имеет увеличенное пространственное распределение по сравнению с основным состоянием, что указывает на возможную кластерную структуру этого состояния

Приведем основные результаты преддипломной практики:

1. Разработан набор программ для автоматизации обработки одномерных энергетических спектров.
2. Получены угловые распределения для основного состояния и состояния 8.56 МэВ ядра ^{11}B .
3. Проведен теоретический анализ полученных распределений.
4. Показано, что волновая функция состояния 8.56 МэВ имеет большее пространственное распределение по сравнению с волновой функцией основного состояния.

Это может являться дополнительным указанием на кластерную структуру состояния 8.56 МэВ ядра ^{11}B .

Материалы данного исследования будут представлены на конференции Ядро 2025. Устный доклад.

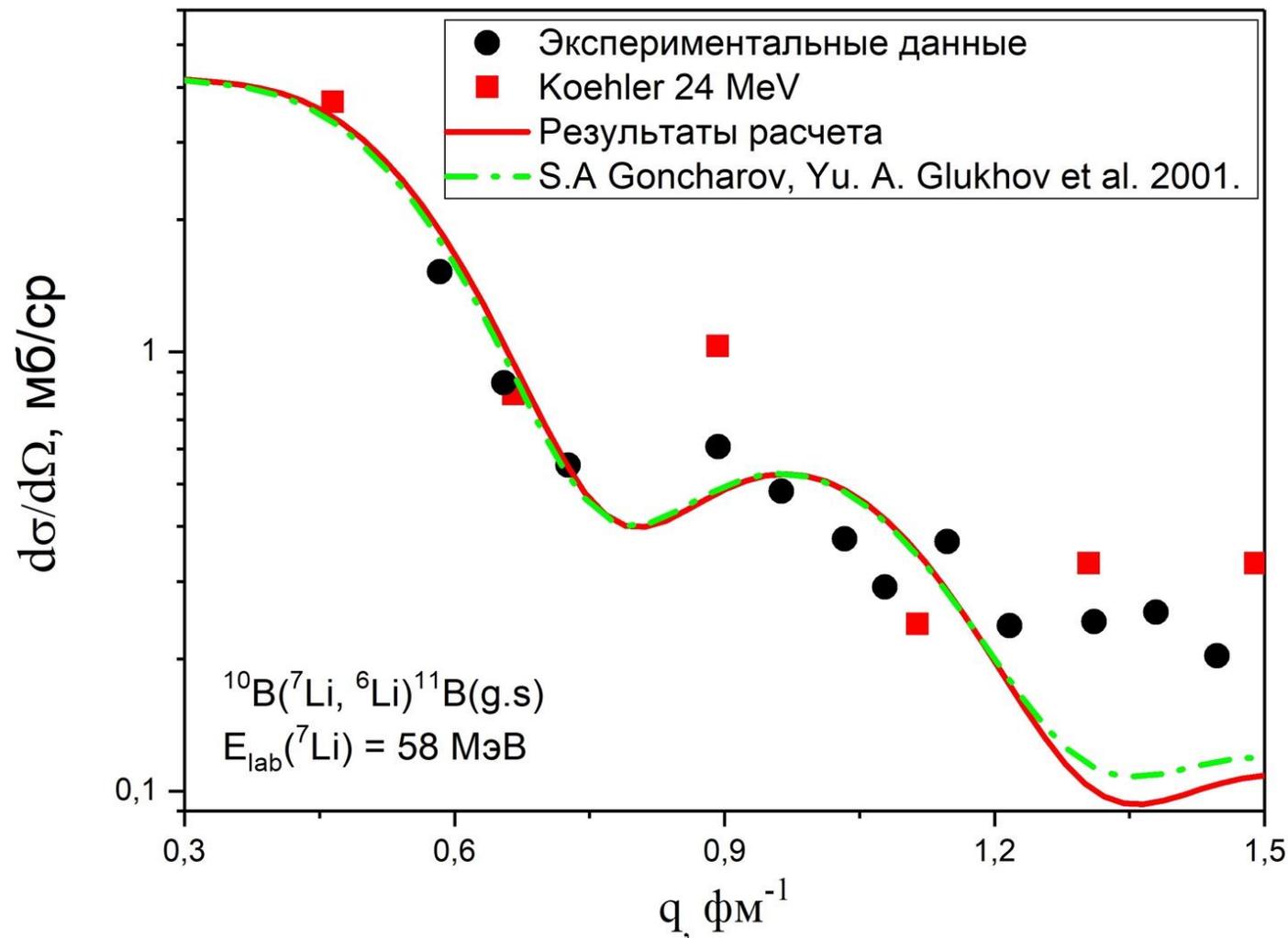


Национальный
исследовательский
ядерный университет

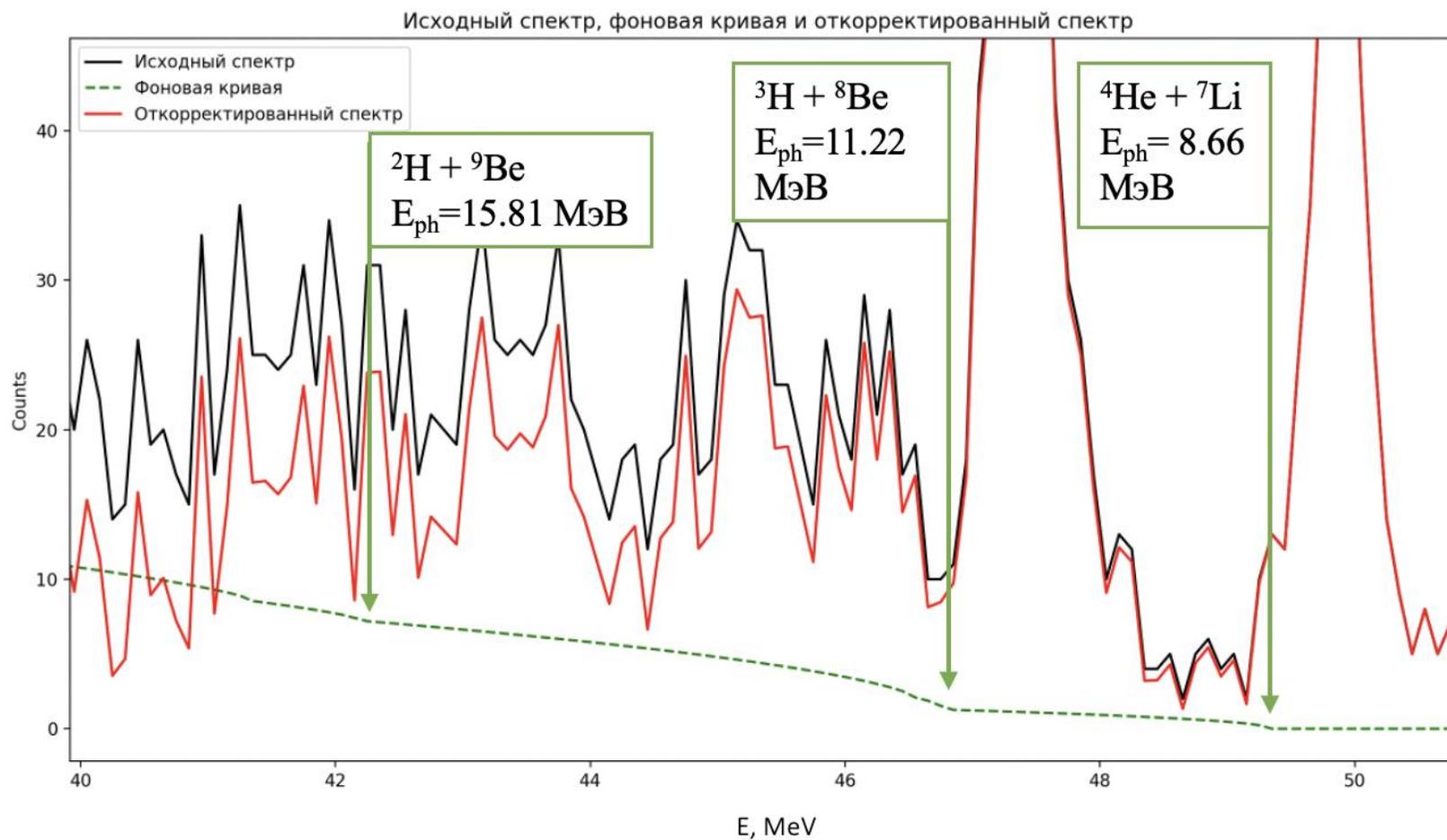
**Спасибо за
внимание!**



Описание главного максимума для основного состояния:



Учет фоновых событий:



Калибровочные кривые:

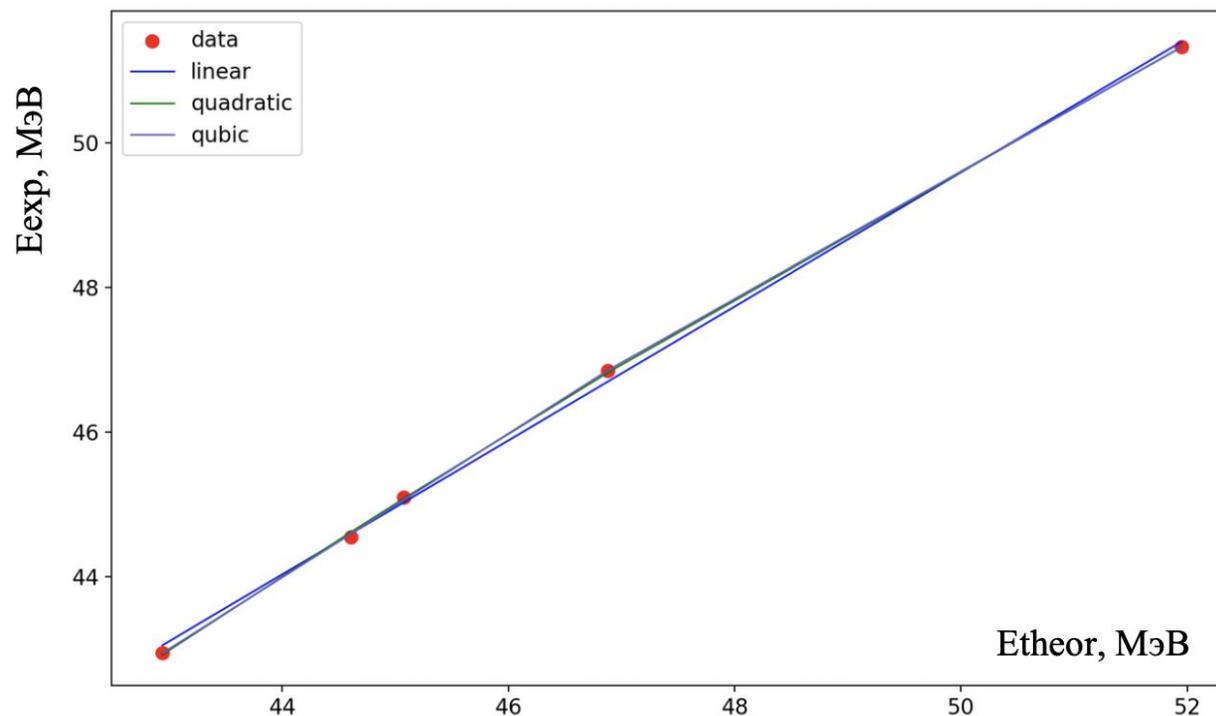
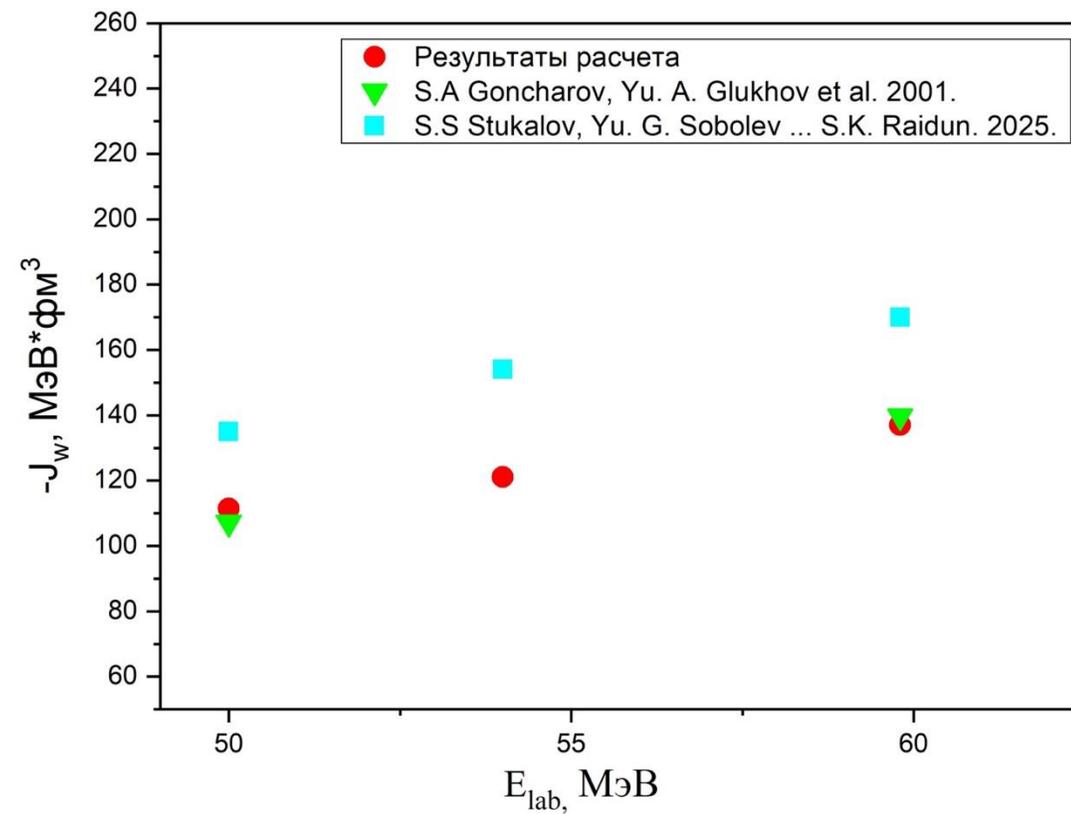
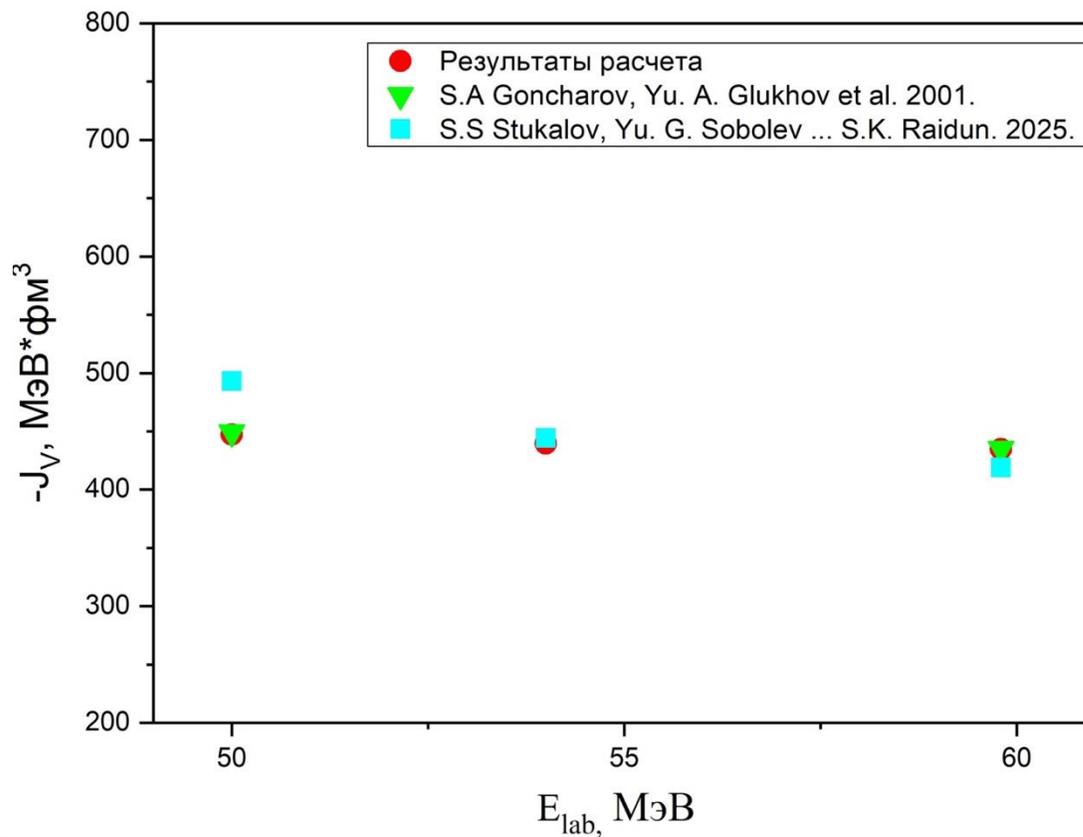


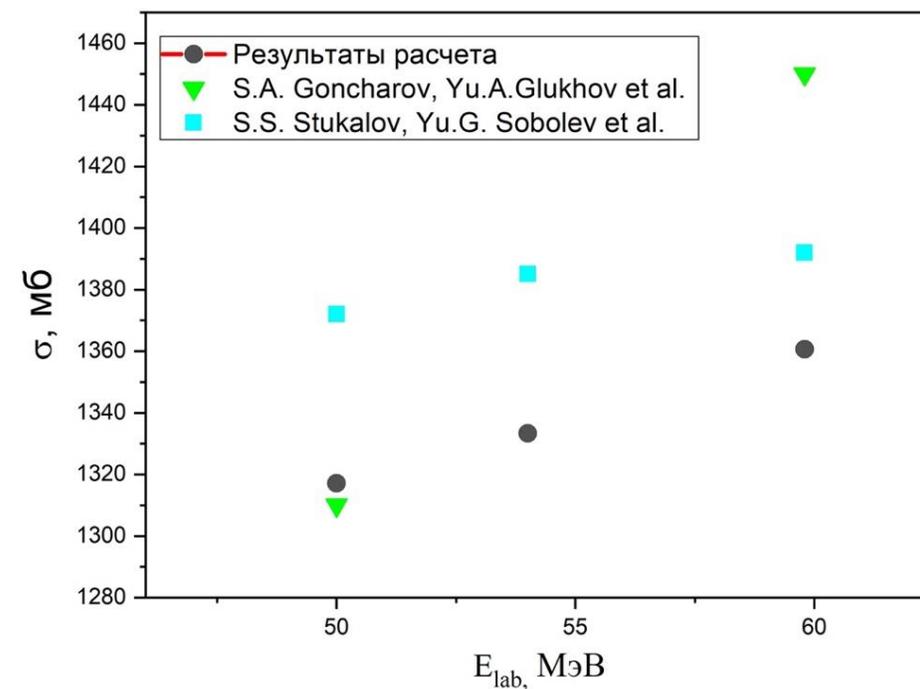
Рисунок 8. Этап работы программы. Пример выбора типа аппроксимации. Ось X - полная энергия вылетевших частиц, рассчитанная теоретически, ось Y - выбранные пользователем значения.

Интегральные характеристики упругого рассеяния ${}^6\text{Li} + {}^{12}\text{C}$

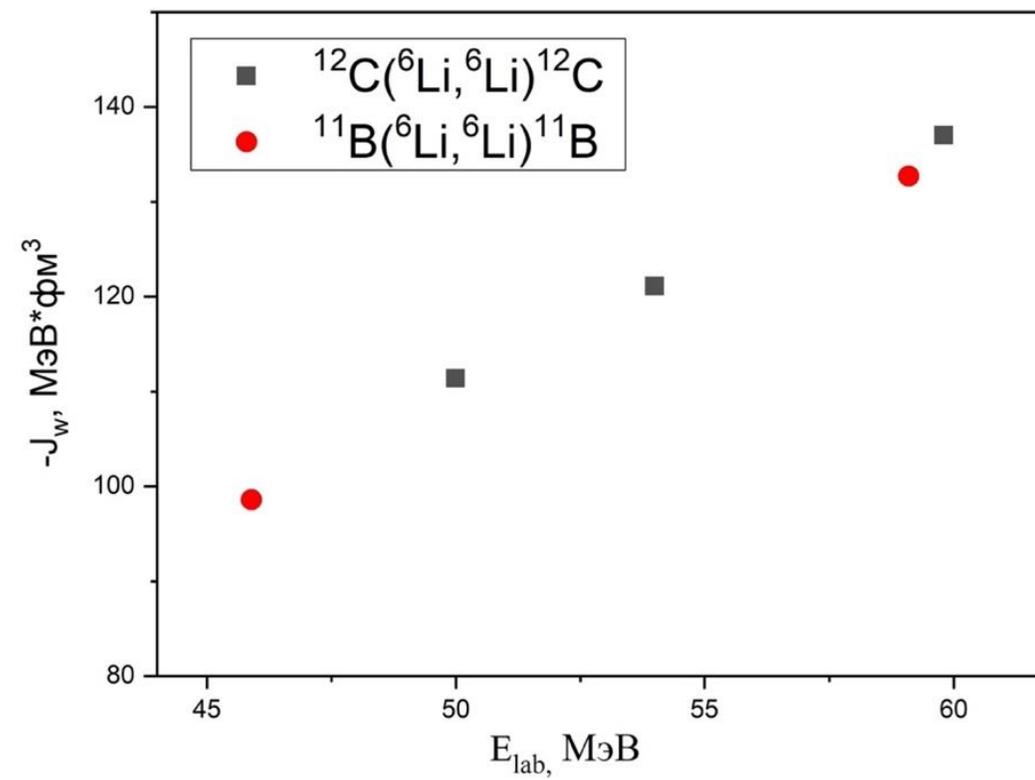
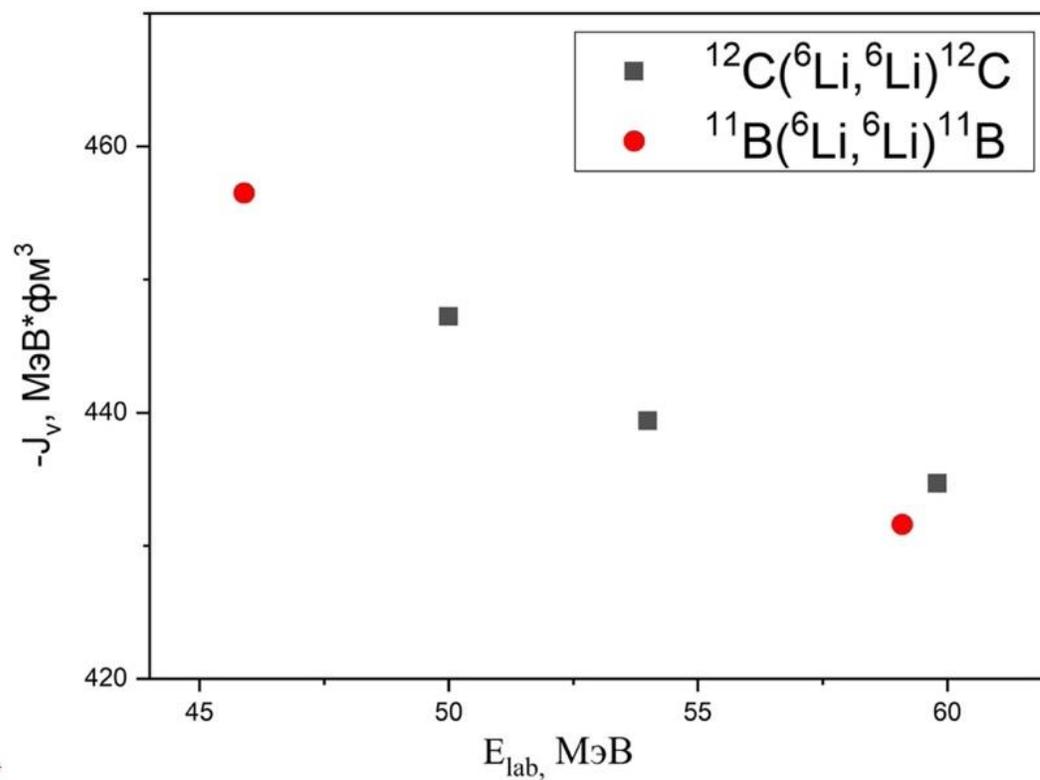


Интегральные характеристики упругого рассеяния ${}^6\text{Li} + {}^{12}\text{C}$

$E_{\text{lab,}}$ MeV	$V_R,$ MeV	$W_S,$ MeV	$W_D,$ MeV	$J_V,$ MeV fm ³	$J_W,$ MeV fm ³	$\sigma_r,$ mb
59.8	277	14	17	435	137	1361
54.0	280	13	15	439	121	1333
50.0	285	12	13.8	447	111	1317

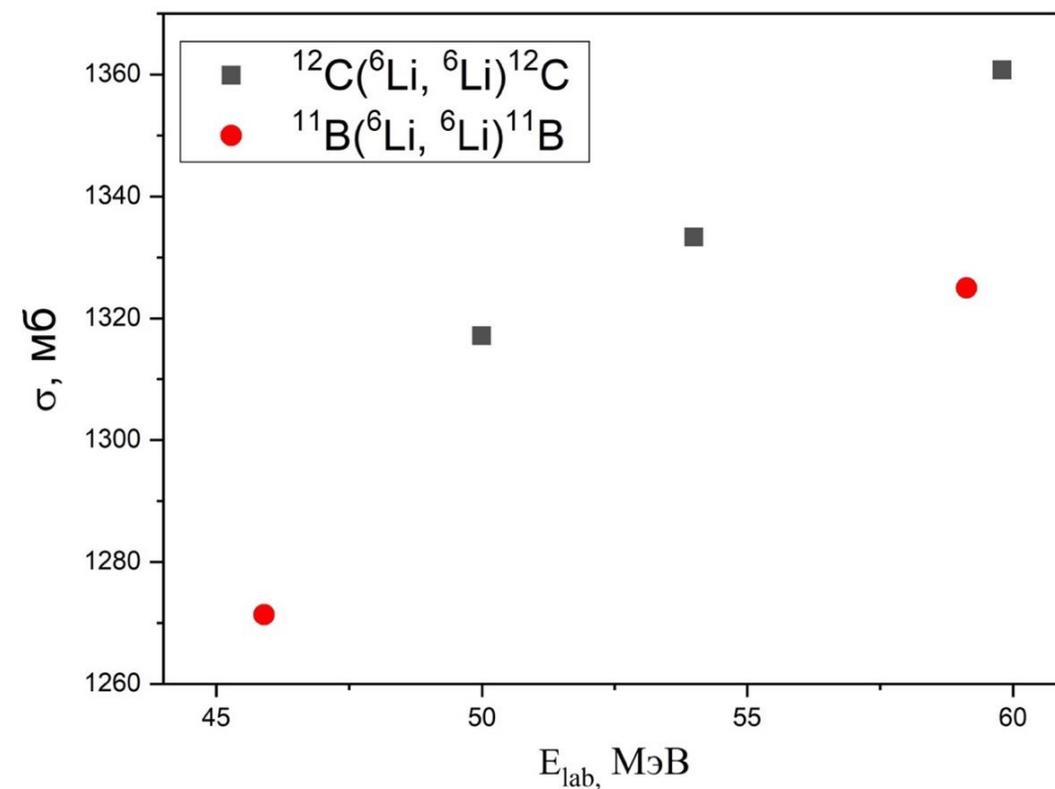


Интегральные характеристики потенциалов:



Интегральные характеристики потенциалов:

	$E_{lab.}$ MeV	V_R MeV	W_S MeV	W_D MeV	$-J_V$ MeV fm ³	$-J_W$ MeV fm ³	σ_r mb
g.s	59.1				432	133	1325
		260	13	15.5			
8.56	45.9	275	10	11.5	456	99	1271



Результаты теоретического анализа

$A+1(I^{\pi}T, E')$, $nA(I^{\pi}T, E')$	(l, j)	$-V$, MeV	R , fm	a , fm	$\langle r^2 \rangle^{1/2}$, fm	NC^2 , fm ⁻¹	NC^2_{theor} , fm ⁻¹	NC^2_{exp} , fm ⁻¹
$^{11}\text{B}(3/2^-$ $1/2, \text{g.s.}),$ $n^{10}\text{B}(3^+0, \text{g.}$ $\text{s.})$	(1, 3/2)	39.40	3.49	0.37	2.91	13.60	13.10 12.40	31.50 19.70 24.40 22.0
$^{11}\text{B}(3/2^-$ $1/2, 8.56.),$ $n^{10}\text{B}(3^+0, \text{g.}$ $\text{s.})$	(1, 3/2)	25.40	3.40	0.30	3.62	0.26	-	-