

Исследования на СЦ-1000 с использованием магнитного спектрометра МАП

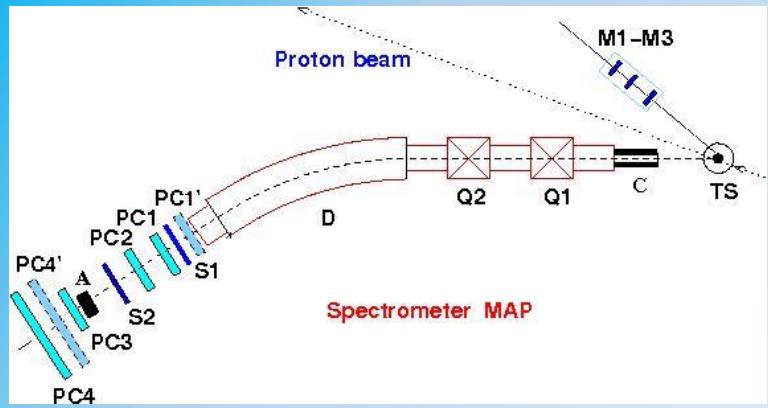
О. Миклухо

тема НИОКР : "Исследование структуры ядерной материи на малых расстояниях в квазиупругих и неупругих протон-ядерных взаимодействиях при энергии 1 ГэВ"

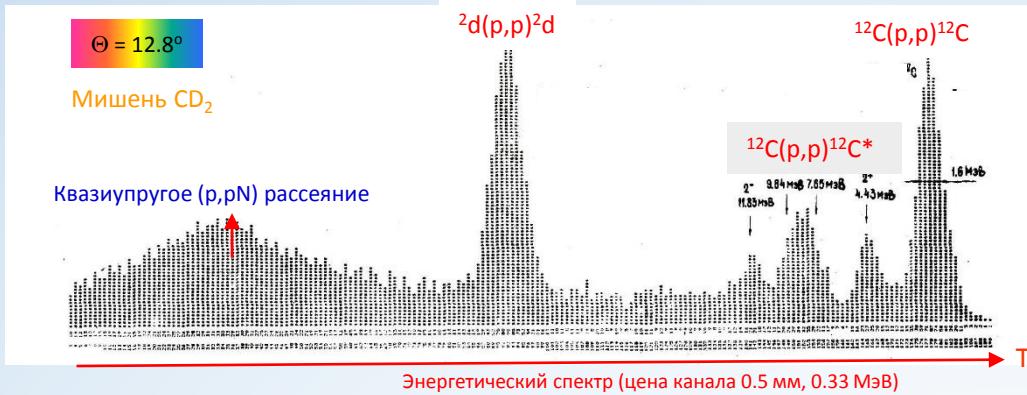
План доклада

1. Исследование структуры в импульсном распределении вторичных протонов и их поляризации в (p, p') - реакции с ядром ^{12}C при энергии 1 ГэВ Слайды 3-6, 12, 15, 16
2. Исследование структуры в импульсном распределении вторичных протонов и их поляризации в (p, p') - реакции с ядром ^9Be при энергии 1 ГэВ Слайды 7-11
3. Использование магнитного спектрометра МАП в экспериментах после 2024 года. Статус обработки в этот период ранее полученных экспериментальных данных при исследовании (p, p') - реакции с ядрами Слайд 13

Experimental setup

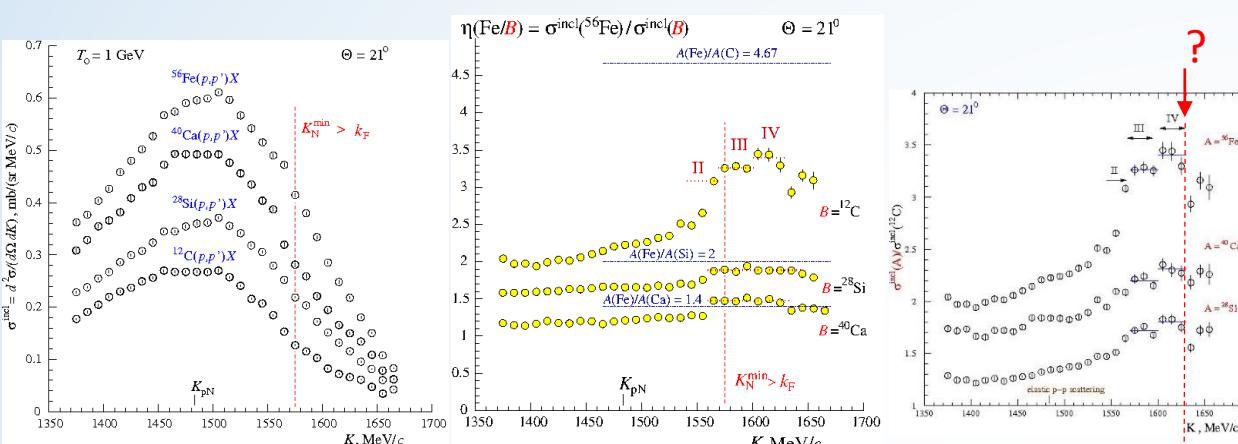
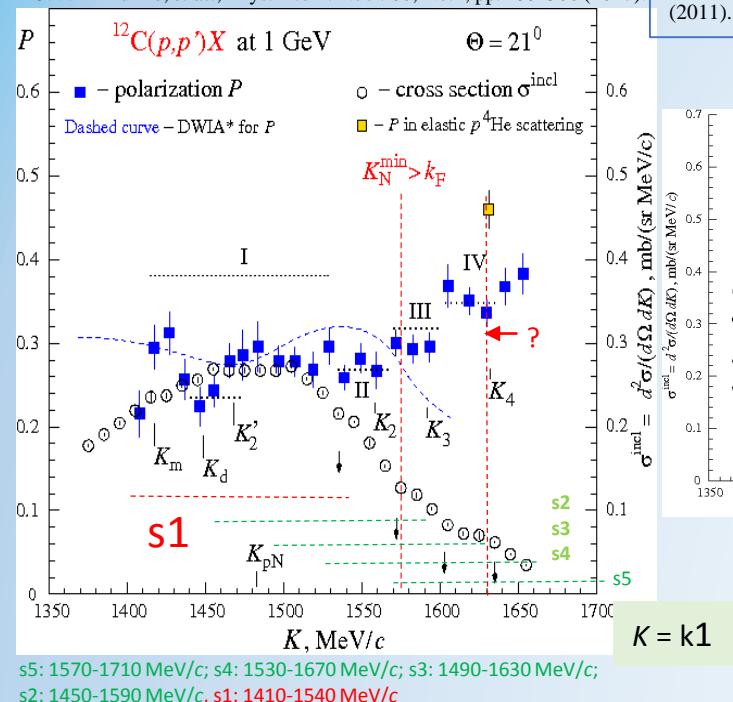


С.Л. Белостоцкий, Ю.В. Доценко, С.С. Волков, А.А. Воробьев, Л.Г. Кудин, Н.П. Куропаткин, О.В. Миклухо, В.Н. Никулин, О.Е. Прокофьев, М.А. Шубаев. Препринт ЛИЯФ № 826, 1983, с.52.



O.V. Miklukho, et al., Phys. Atom. Nucl. **80**, No.2, pp. 299-306 (2017).

O.V. Miklukho, G.M. Amalsky, V.A. Andreev, O.Ya. Fedorov, K. Hatanaka, D. Ilyin, A.A. Izotov, A.Yu. Kisselev, M.P. Levchenko, T. Noro, A.N. Prokofiev, R. Revenko, H. Sakaguchi, A.V. Shvedchikov, A.Tatarenko, S.I. Trush, and A.A. Zhdanov, arXiv:1103.6113v1 [nucl ex] (2011). -> JETP Letters **102**, 11 (2015).



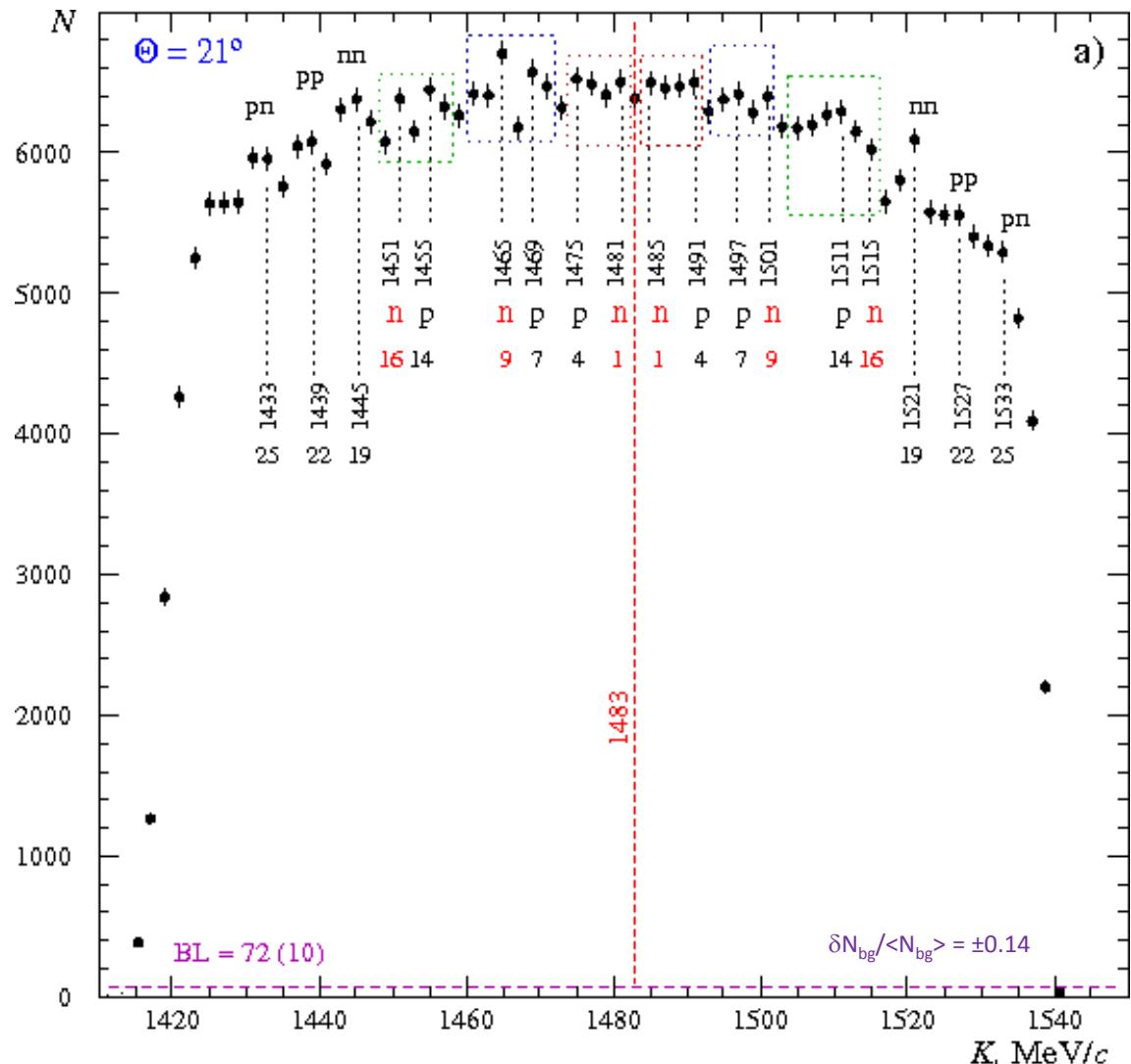
O.V. Miklukho, et al., JETP Letters, 2017, Vol. 106, No. 2, pp. 69–72,
Pis'ma v ZhETF, 2017, vol. 106, iss. 2, pp. 63 – 64

$$q \sim 600 \text{ МэВ/с}$$

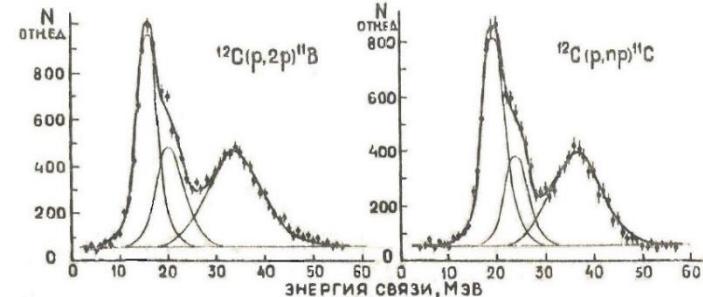
O.V. Miklukho, et al., Phys. Atom. Nucl. **81**, No.3, pp. 320-329 (2018).

Импульсное распределение (с разрешением ± 1 МэВ/с) вторичных протонов в реакции $^{12}\text{C}(p, p')X$
при энергии 1 ГэВ (995÷1005 МэВ) и угле рассеяния 21°

О. Миклухо



Ю.В. Доценко, В.Е. Стародубский «Деформационная структура легких ядер из реакции $(p, 2p), (p, pn)$ », Препринт ЛИЯФ, № 970, Ленинград, июль 1984, 32 с.



Энергии одночастичных состояний (МэВ)									
e_p					e_n				
Ω^{π}	Экс.	S7	SII	SIII	Экс.	S7	SII	SIII	
^{12}C	$1/2^-$	16.1(2)	16.4	16.3	16.6	19.0(2)	19.3	19.5	19.5
	$3/2^-$	20.4(4)	20.3	19.8	20.5	23.3(3)	23.3	23.1	23.5
	$1/2^+$	34.0(8)	35.9	36.9	31.9	36.3(6)	38.8	40.3	34.9
^{11}B	$3/2^-$	11.7(4)	11.8	12.3	13.3	11.5(5)	10.7	11.9	12.2
	$1/2^-$	17.5(4)	17.6	17.7	17.8	17.2(5)	17.4	17.7	17.5
	$1/2^+$	33.2(9)	34.7	35.9	34.7	33.9(8)	33.7	35.6	30.4
^{10}B	$3/2^-$	7.3(3)	7.5	8.3	9.7	9.2(4)	9.7	10.6	11.7
	$1/2^-$	17.5(3)	17.9	17.3	17.3	20.5(5)	20.4	21.1	20.9
	$1/2^+$	31.8(8)	31.4	32.7	28.7	32.2(8)	33.9	35.9	31.4
^9Be	$3/2^-$					2.0(2)	6.1	7.2	8.4
	$1/2^-$	17.1(3)	17.0	16.7	17.6	18.1(5)	18.2	18.6	18.6
	$1/2^+$	27.7(5)	31.1	32.6	29.4	29.2(8)	30.1	32.2	28.5
^{7}Li	$1/2^-$	10.3(3)	10.3	10.0	10.6	8.0(6)	8.0	8.1	8.2
	$1/2^+$	23.2(3)	25.5	27.6	25.5	26.0(6)	23.0	25.7	22.8

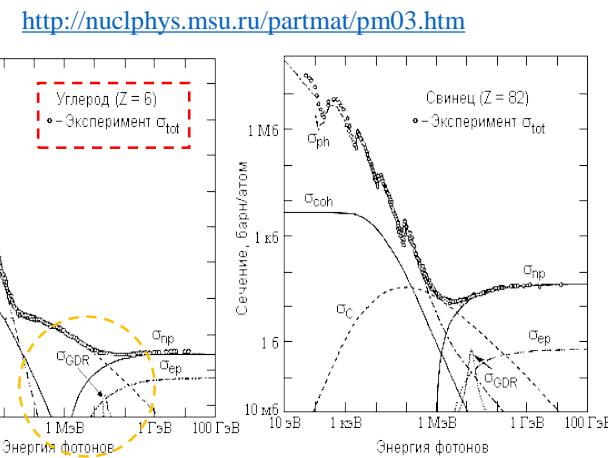
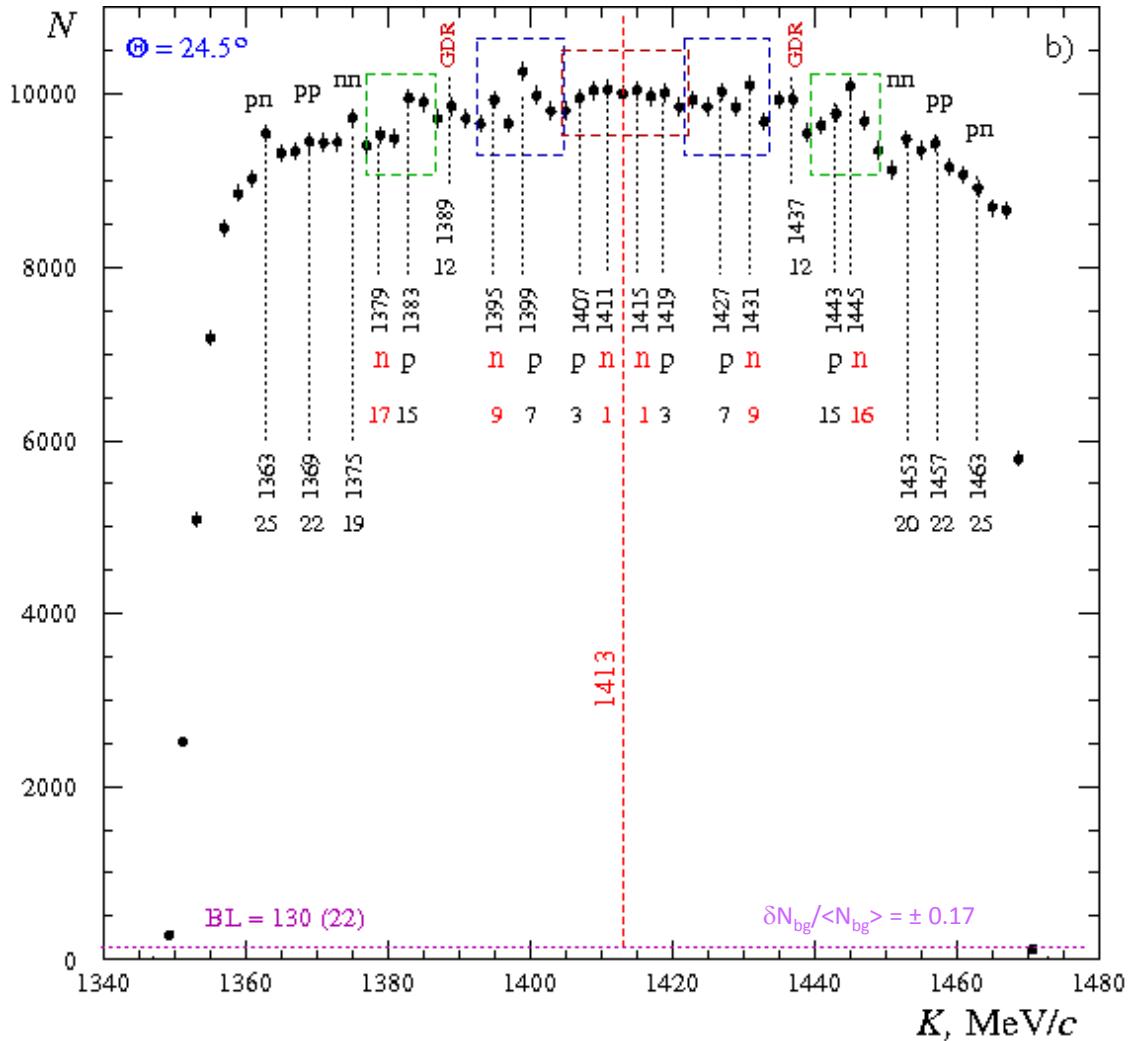
В деформированном ядре углерода (^{12}C) протон и нейtron находятся в трех одночастичных состояниях Ω^{π} с различной энергией связи e_p и e_n , с различной четностью.

Импульс $K = 1483$ МэВ/с примерно соответствует упругому рассеянию протонов пучка с энергией 1000 МэВ на свободных нуклонах. Возможно, что наблюдаемая структура связана с прозрачностью углерода:

L. Lapikas, G. van der Steenhoven, L. Frankfurt, M. Strikman, and M. Zhalov, The transparency of ^{12}C for proton, arXiv:nucl-ex/9905009v2 2 Feb 2000 (Physical Review C).

Пики, расположенные слева и справа от оси симметрии внутри цветных контуров, отвечают упругому периферийному рассеянию (на нуклонах ядра) протонов пучка в диапазоне энергий 995÷1000 МэВ и 1000÷1005 МэВ, соответственно. Эти энергетические диапазоны связаны с угловыми диапазонами рассеяния $-0.4 \div 0$ и $0 \div 0.4$ в пределах геометрического горизонтального углового захвата спектрометра МАП ($\pm 0.4^\circ$).

Импульсное распределение (с разрешением ± 1 МэВ/с) вторичных протонов в реакции $^{12}\text{C}(p, p')X$
при энергии 1 ГэВ (995÷1005 МэВ) и угле рассеяния 24.5°



Сечение взаимодействия фотонов с углеродом ($Z = 6$) и свинцом ($Z = 82$) при энергиях фотона от 10 эВ до 100 ГэВ. σ_{ph} – сечение фотоэффекта, σ_{coh} – сечение релеевского рассеяния, σ_C – сечение комптоновского рассеяния, σ_{np} – сечение рождения пары в поле ядра, σ_{ep} – сечение образования пар в поле атомных электронов, σ_{GDR} – сечение ядерного фотопоглощения.

При исследовании под углом рассеяния 24.5° наблюдаются два дополнительных пика {при $K=1389 \text{ МэВ}/c$ ($T_1=737.9 \text{ МэВ}$) и $K=1437 \text{ МэВ}/c$ ($T_2=777.9 \text{ МэВ}$)} симметрично расположенных относительно оси $K_C=1413 \text{ МэВ}/c$ ($T_C\approx757.9 \text{ МэВ}$ для протона) и обозначенных на рисунке как **GDR**. Абсолютные разности $|T_1 - T_C| = 20 \text{ МэВ}$ и $|T_2 - T_C| = 20 \text{ МэВ}$ совпадают и соответствуют энергии γ – квантов в реакции $^{12}\text{C}(p, p'\gamma)X$, поглощенных ядром углерода. Эти пики возможно соответствуют коррелированному движению протонов относительно нейтронов в ядре углерода (**Гигантский Дипольный Резонанс**).

Ось симметрии структуры находится при $K = K_C = 1483 \text{ МэВ}/c$ и $K = K_C = 1413 \text{ МэВ}/c$ на слайдах 4 и 5. Эти импульсы примерно соответствуют упругому взаимодействию протонов пучка с энергией 1000 МэВ со свободными нуклонами (p, n) при углах рассеяния 21° и 24.5° , соответственно! Эти нуклоны, возможно, существуют в ядре, благодаря эффекту ядерной прозрачности: L. Lapikas, G. van der Steenhoven, L. Frankfurt, M. Strikman, and M. Zhalov “The transparency of ^{12}C for proton”, arXiv:nucl-ex/9905009v2 2 Feb 2000 (Physical Review C).

Слева и справа от оси K_C симметрично расположены три области, охватывающие два пика контурами красного, синего и зеленого цвета. Один узкий пик, имеющий симметричную форму, сопоставляется с рассеянием на нейтроне (n). Другой, более широкий пик, имеющий ассиметричную форму, отвечает рассеянию (в том числе и кулоновскому) протона пучка на заряженной частице – протоне (p). Пики, расположенные слева и справа от оси симметрии, отвечают упругому периферийному рассеянию (на нуклонах ядра) протонов пучка в диапазоне энергий $995 \div 1000 \text{ МэВ}$ и $1000 \div 1005 \text{ МэВ}$, соответственно. Эти энергетические диапазоны связаны с угловыми диапазонами рассеяния $-0.4 \div 0$ и $0 \div 0.4$ в пределах геометрического горизонтального углового захвата спектрометра МАП ($\pm 0.4^\circ$). По относительному расположению ‘ n ’- и ‘ p ’- пиков в трех цветных контурах при энергии пучка $995 \div 1000 \text{ МэВ}$ (слайд 4) можно предположить, что, если красный контур соответствует рассеянию на S-нуклонах с орбитальным моментом $l=0$ (пространственная четность состояния положительная), то синий и зеленый контура соответствуют рассеянию на нуклонах с ненулевым нечетным орбитальным моментом $l=1$ (пространственная четность состояния отрицательная). Исследование ядра ^{12}C в корреляционных ($p, 2p$) - и (p, pn) – экспериментах показало (слайд 4, Ю.В. Доценко, В.Е. Стародубский “Деформационная структура легких ядер из реакции ($p, 2p$), (p, pn)”, Препринт ЛИЯФ, № 970, Ленинград, июль 1984, 32 с.), что в деформированном ядре углерода нуклоны находятся в трех одночастичных состояниях, одно с положительной четностью и два с отрицательной.

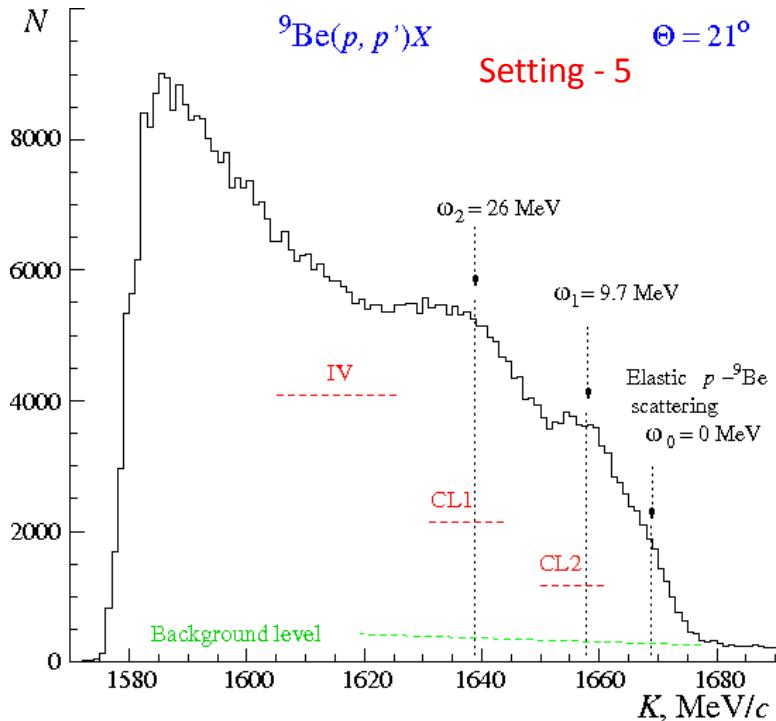
На слайде 5 отчётливо наблюдаются два дополнительных пика при $K = 1389 \text{ МэВ}/c$ ($T_1 = 737.9 \text{ МэВ}$) и $K = 1437 \text{ МэВ}/c$ ($T_2 = 777.9 \text{ МэВ}$), симметрично расположенных относительно оси $K_C = 1413 \text{ МэВ}/c$ ($T_C \approx 757.9 \text{ МэВ}$ для протона) и обозначенных как **GDR**. Появление этих пиков, возможно, связано с реакцией ($p, p'\gamma$), при которой рассеянный протон взаимодействует с ядром, излучая γ - квант. Абсолютные разницы $|T_1 - T_C| = 20 \text{ МэВ}$ и $|T_2 - T_C| = 20 \text{ МэВ}$ совпадают и соответствуют энергии γ – квантов, поглощенных ядром. Эти пики возможно соответствуют коррелированному движению протонов относительно нейтронов в ядре углерода (Гигантский Дипольный Резонанс) [<http://nuclphys.msu.ru/partmat/pm03.htm>].

Отметим, что наблюдаемая структура в нашем инклузивном (p, p') – эксперименте не определяется фоном (см. слайды 4 и 5), средняя величина которого (BL) мала и структура которого слабо проявляется ($\pm \delta BL$).

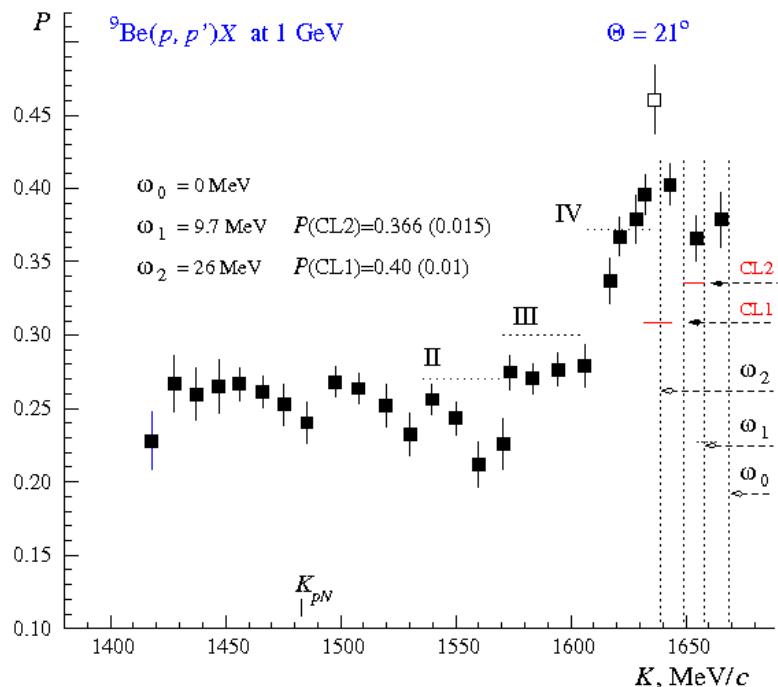
Представляет интерес исследовать выше описанным методом деформированные ядра ^9Be и ^{28}Si с целью уточнения четности одночастичных состояний (для ядра ^9Be см. таблицу на слайде 4).

В 2024 году данные по исследованию ядер ${}^9\text{Be}$ и ${}^{90}\text{Zr}$ в реакции (p, p') при энергии 1 ГэВ и угле рассеяния 21° [1] введены в библиотеку Exfor.

Импульсное распределение



Поляризация



$\omega = T_{\text{el}} - T(K)$, T_{el} – кинетическая энергия вторичного протона в упругом рассеянии протона пучка на ядре ${}^9\text{Be}$.

$\Delta\omega_{21} = \omega_2 - \omega_1 = T_1 - T_2 = 16.3$ МэВ – энергия возбуждения кластера ${}^8\text{Be}$.

[1] O.V. Miklukho et al., "Study of Inelastic $A(p, p')X$ Reaction with ${}^9\text{Be}$ and ${}^{90}\text{Zr}$ Nuclei at 1 GeV", Phys. Atom. Nucl. Vol. 83, No. 3, 431-441 (2020).

[2] O.V. Miklukho et al., "Quasi-elastic scattering of proton with 1 GeV energy on eight-nucleon cluster inside nucleus", arXiv:210204109v1 [nucl-ex] 8 Feb 2021.

[3] V. Chavchanidze, "On the theory of the beryllium nucleus", Russian scientific journal: Uspekhi Fizicheskikh Nauk (UFN) 43, 106 - 119 (1951) [in Russian].

An Update on the Hypothetical X17 Particle

A.J. Krasznahorky¹, A. Krasznahorkay¹, M. Csatlos¹, J. Timar¹,
 M. Begala^{1,2}, A. Krako^{1,2}, I. Rajta¹, I. Vajda¹, N.J. Sas^{1,2}

¹Institute for Nuclear Research (HUN-REN ATOMKI),
 P.O. Box 51, H-4001 Debrecen, Hungary

²University of Debrecen, Doctoral School of Physics, 4032 Debrecen,
 Egyetem t'er 1, Hungary

September 26, 2024

Abstract

Recently, when examining the differential internal pair creation coefficients of ${}^8\text{Be}$, ${}^4\text{He}$ and ${}^{12}\text{C}$ nuclei, we observed peak-like anomalies in the angular correlation of the $e+e-$ pairs. This was interpreted as the creation and immediate decay of an intermediate bosonic particle with a mass of $m_X c^2 \approx 17 \text{ MeV}$, receiving the name **X17** in subsequent publications. Our results initiated a significant number of new experiments all over the world to detect the X17 particle and determine its properties. In this paper we will give an overview of the experiments the results of which are already published, and the ones closest to being published. We will also introduce our latest results obtained for the X17 particle by investigating the $e+e-$ pair correlations in the decay of the Giant Dipole Resonance (GDR) of ${}^8\text{Be}$.

[https://ru.wikipedia.org/wiki/Изотопы_бериллия \(2024\)](https://ru.wikipedia.org/wiki/Изотопы_бериллия_(2024))

Период полураспада ядра ${}^8\text{Be}$: $(81.9 \pm (3.7)) \cdot 10^{-18} \text{ с}$, спин и четность: 0^+ .

Период полураспада ядра ${}^{8m}\text{Be}$: , спин и четность: 2^+ .
 Энергия возбуждения: $16.626 \pm 0.003 \text{ МэВ}$

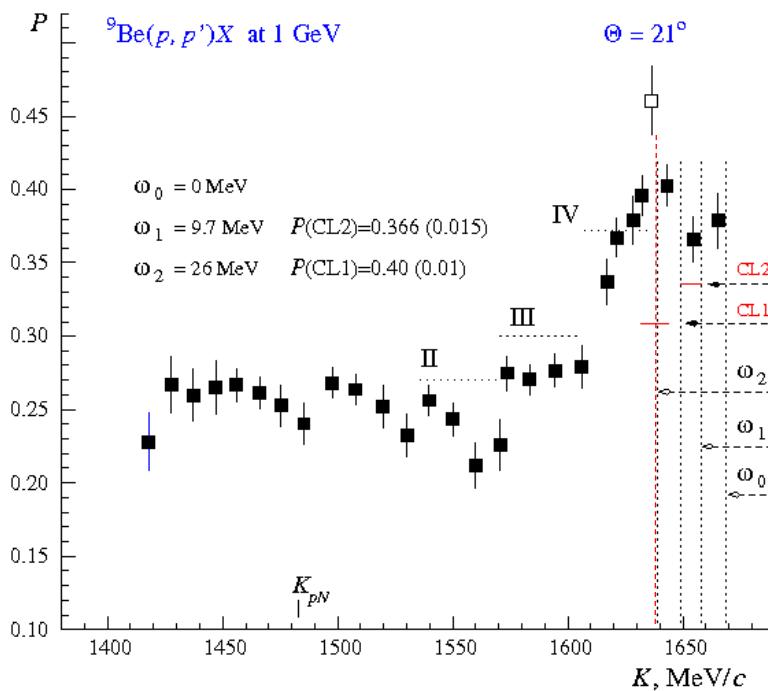
Стабильное ядро ${}^9\text{Be}$: спин и четность: $3/2^-$.

Период полураспада ядра ${}^{9m}\text{Be}$: $(1.25 \pm (10)) \cdot 10^{-18} \text{ с}$, спин и четность: $3/2^-$.
 Энергия возбуждения: $14.3903 \pm 0.0017 \text{ МэВ}$

⁹Be

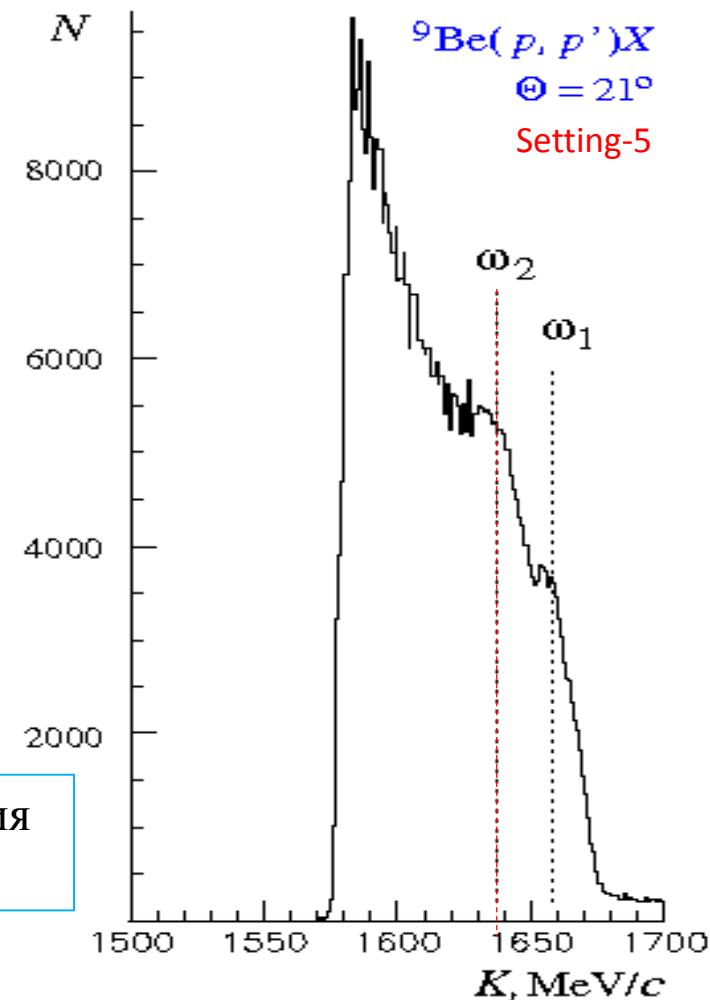
Импульсное распределение

ПОЛЯРИЗАЦИЯ

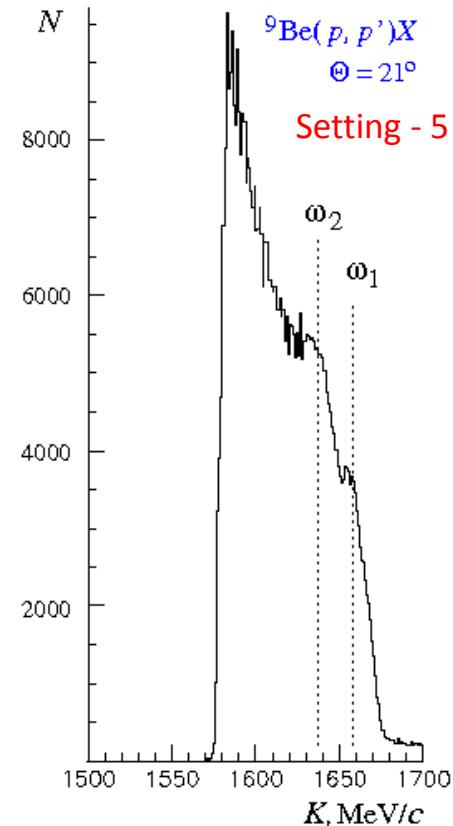
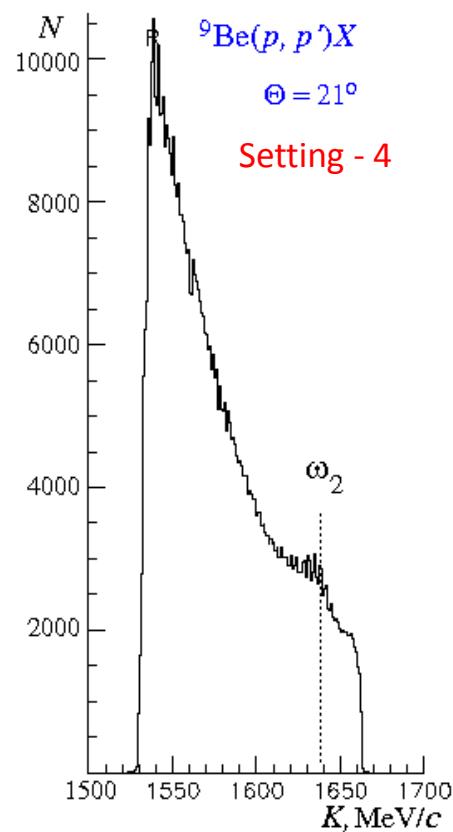


$\Delta\omega_{21} = \omega_2 - \omega_1 = T_1 - T_2 \approx 17.0 \text{ МэВ}$ - энергия возбуждения кластера ⁸Be.

Preliminarily !



Импульсное распределение вторичных протонов в (p, p') – реакции
с ядром ${}^9\text{Be}$ при энергии 1 ГэВ

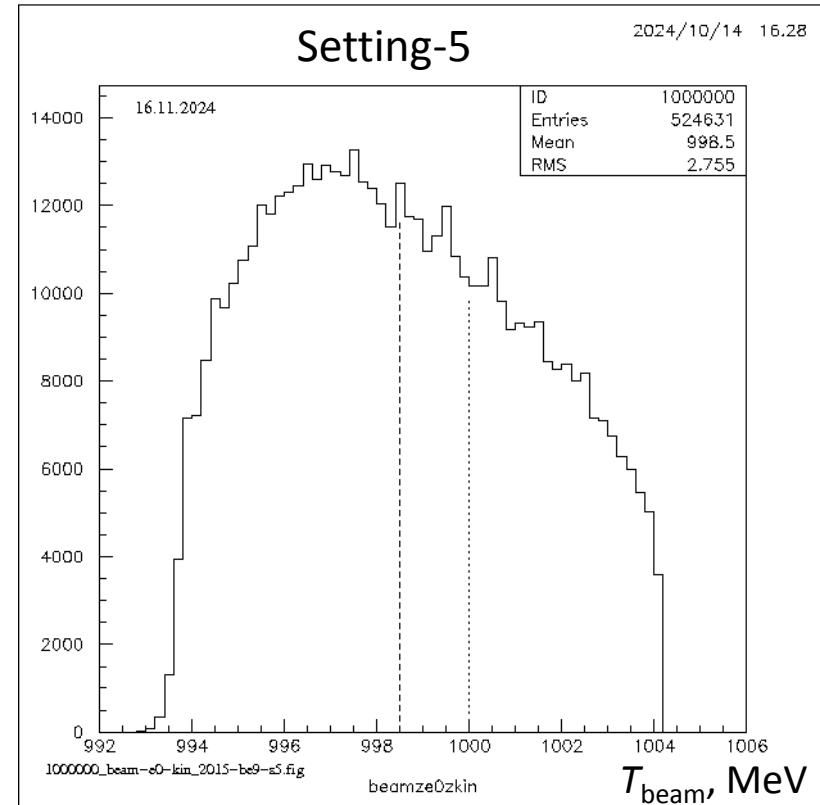
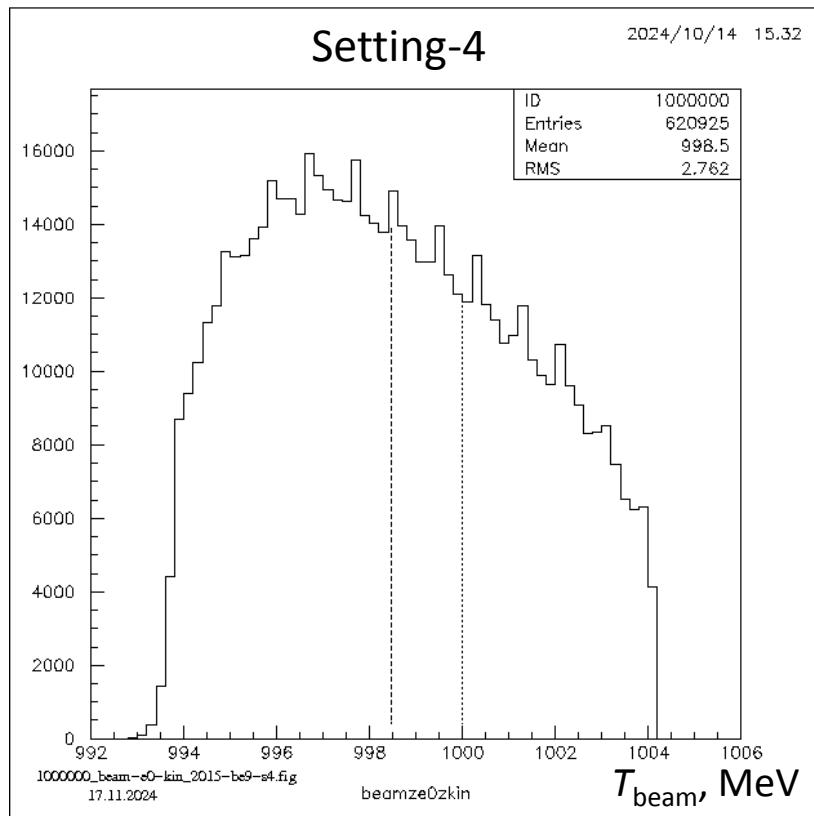


$\Delta\omega_{21} = \omega_2 - \omega_1 = T_1 - T_2 \approx 17.0$ МэВ - энергия
возбуждения кластера ${}^8\text{Be}$.

Preliminarily !

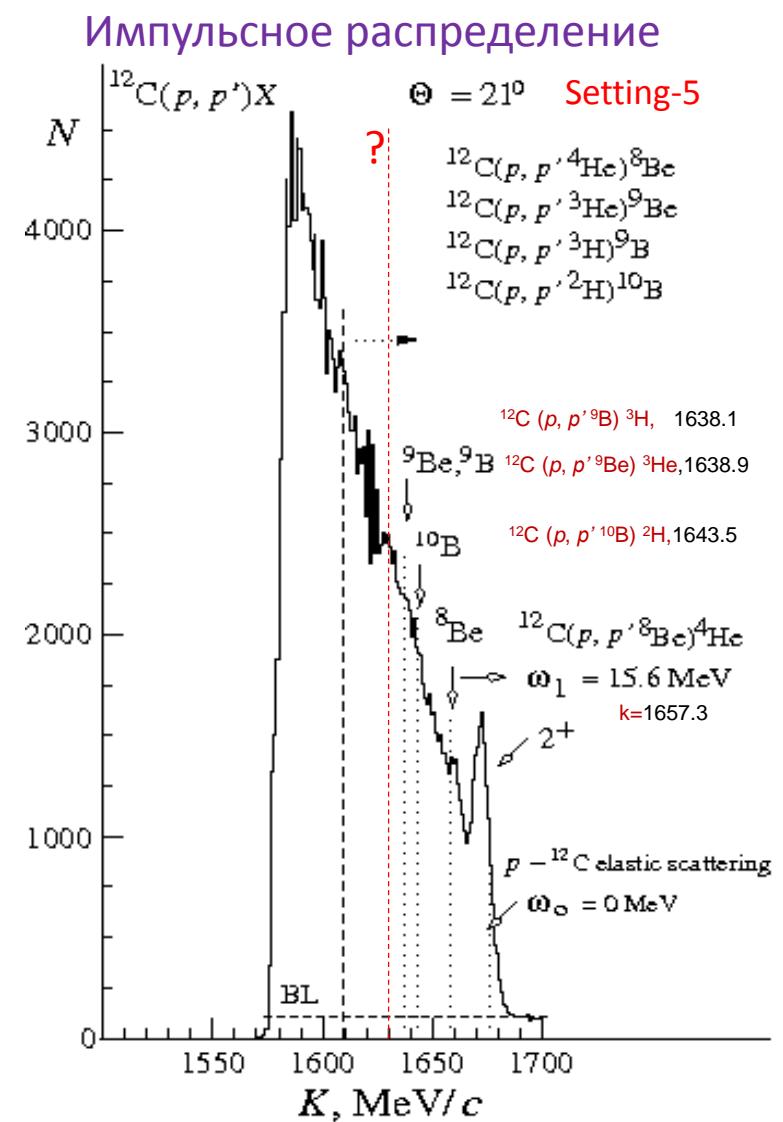
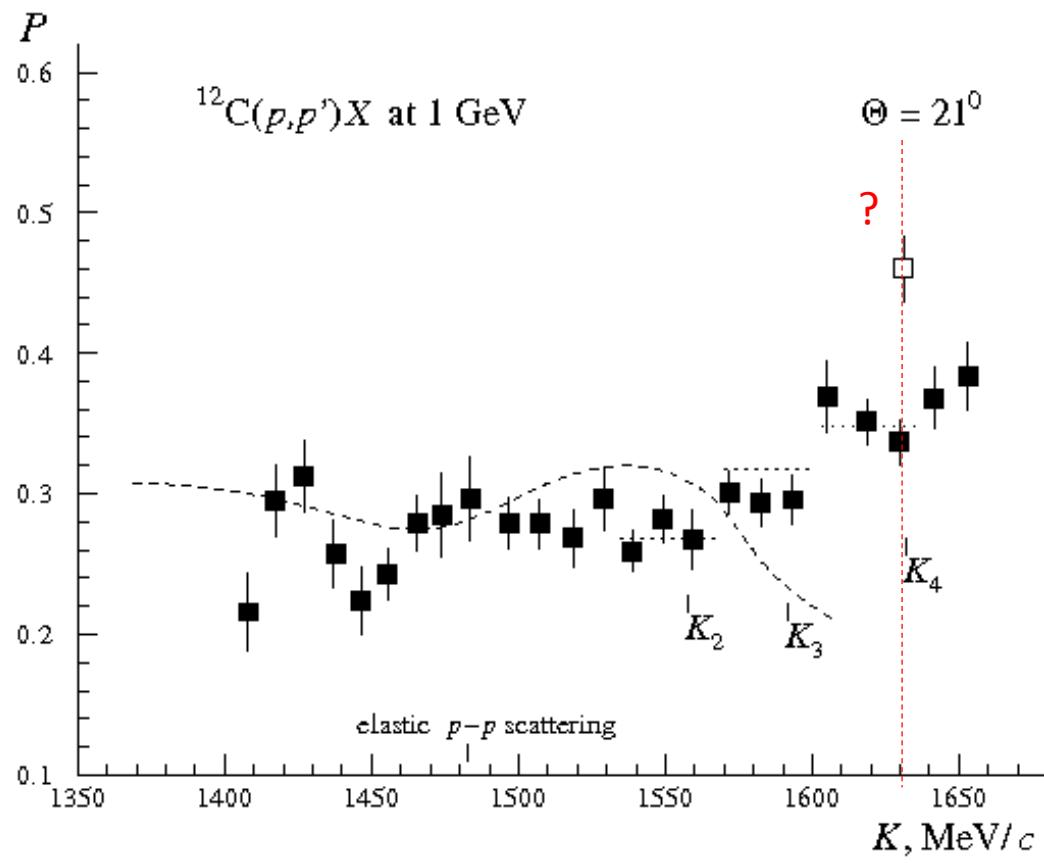
Распределение по кинетической энергии протонов пучка
при их выводе из ускорителя

${}^9\text{Be}(\text{p}, \text{p}')\text{X}$ at $\Theta = 21^\circ$



^{12}C

ПОЛЯРИЗАЦИЯ



$2^+ {}^{12}\text{C}(p, p'){}^{12}\text{C}^*, k=1670.2 \text{ MeV/c}; \text{ES: } k=1675.1 \text{ MeV/c}$

$1^+ {}^{12}\text{C}(p, p'){}^{12}\text{C}^*, k=1658.2 \text{ MeV/c}$

Планы

В 2024 году в ОФВЭ сформулирована научная программа исследований на синхроциклотроне СЦ-1000 с использованием спектрометра МАП.

Программа предполагает создание в перспективе второго плеча спектрометра МАП (вблизи мишени спектрометра) для регистрации на совпадения протонов, электронов и γ – квантов.

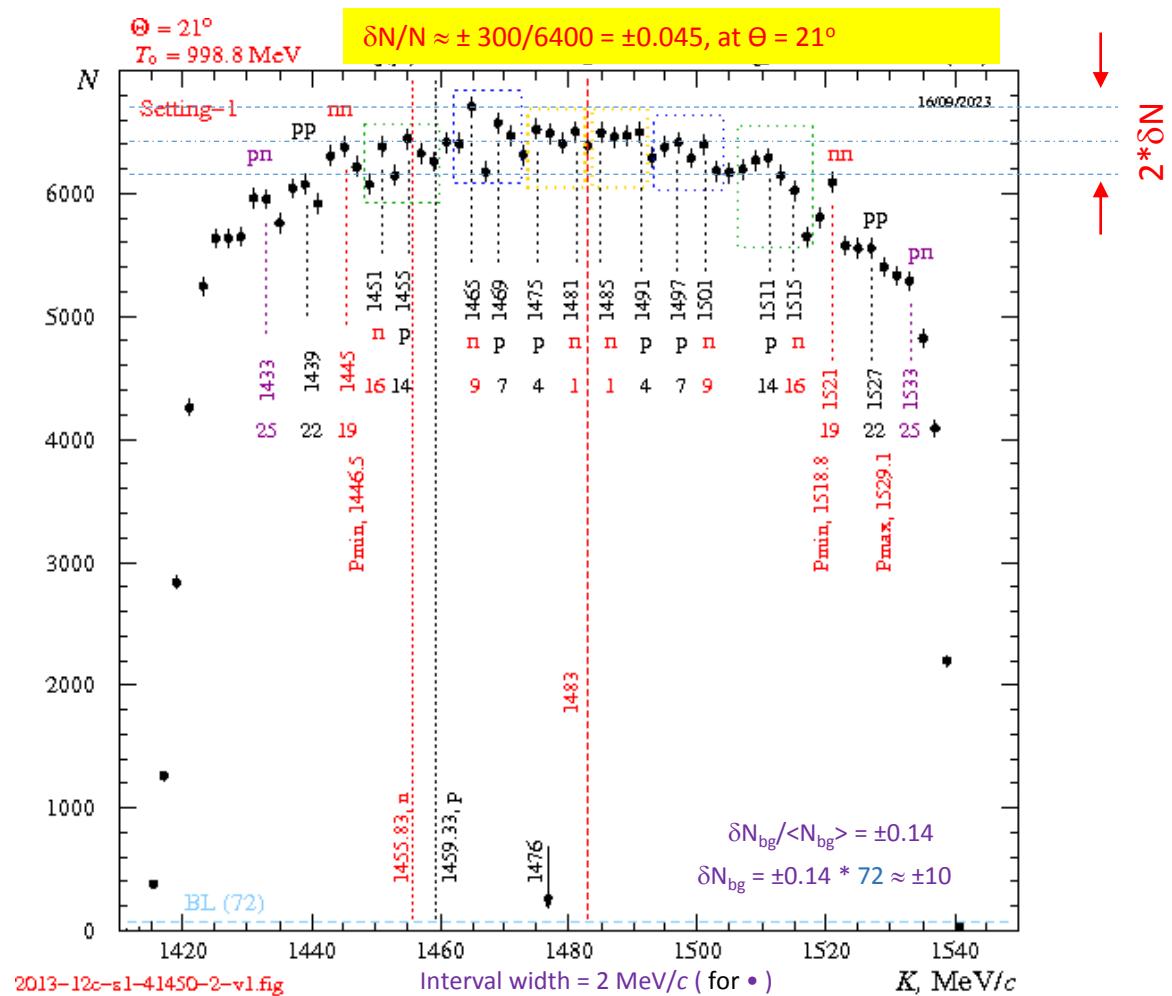
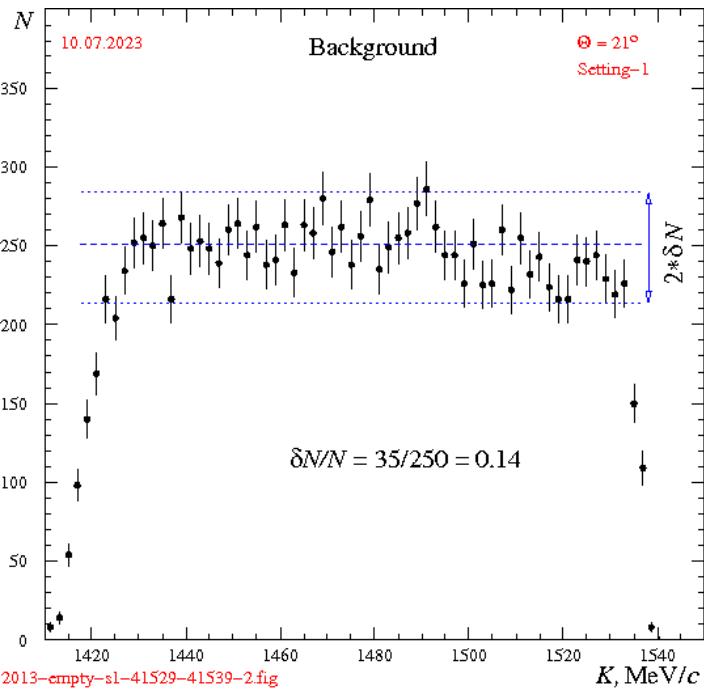
В 2025 году будет завершена проверка работоспособности всех элементов магнитного спектрометра, включая электронику считывания информации с пропорциональных камер CROS-3 и электронику в стандарте САМАС.

Планируется использовать спектрометр МАП в качестве формирователя пучка протонов (поляризованных, $P \sim 30\%$) с малой угловой расходимостью в экспериментах с активной мишенью ИКАР для исследования реакции $(p, p' \gamma)$ с лёгкими ядрами ^2H , ^4He , ^{12}C , ^{36}Ar (ИКАР представляет собой ионизационную камеру высокого давления для измерения энергии отдачи ядер).

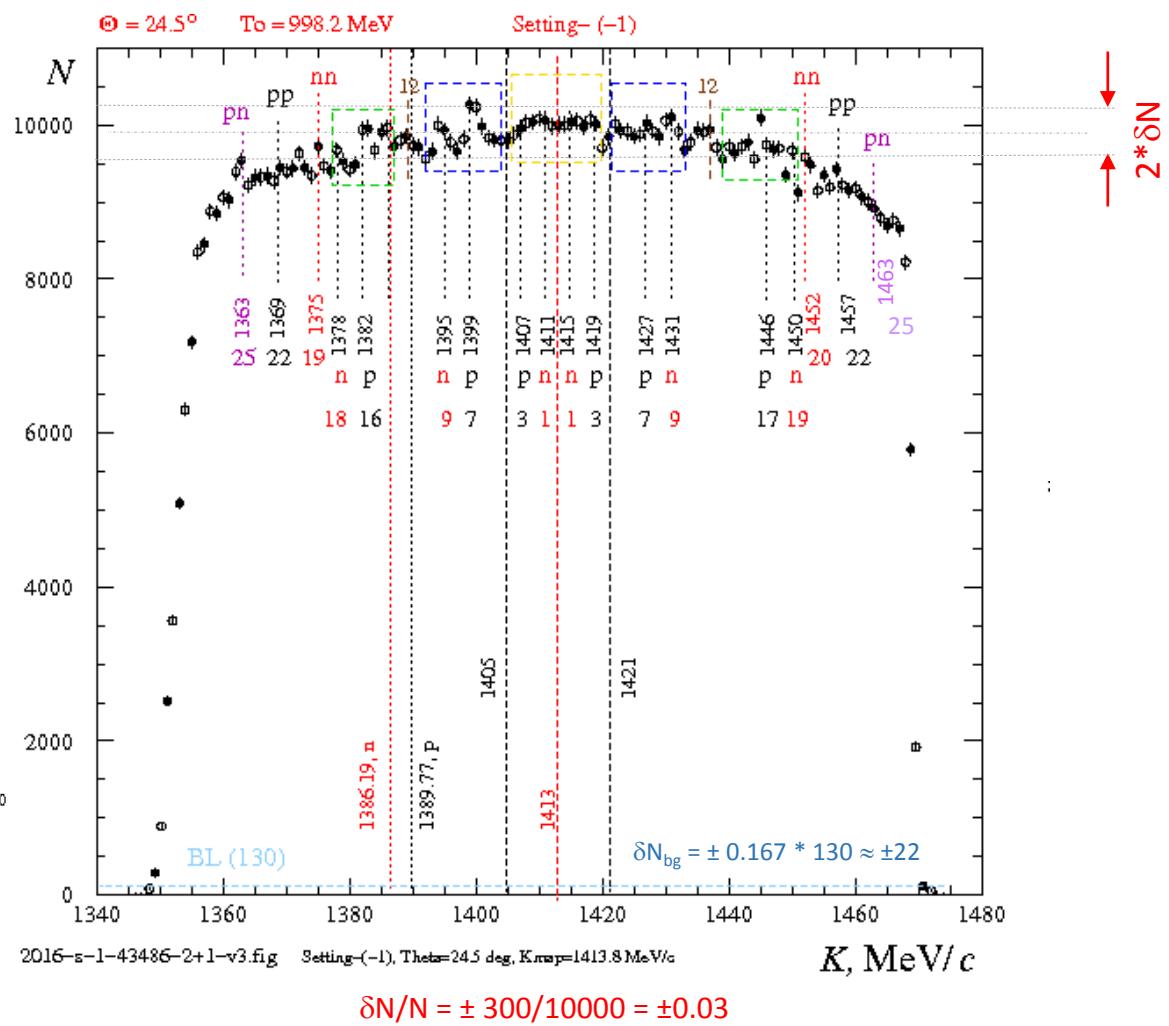
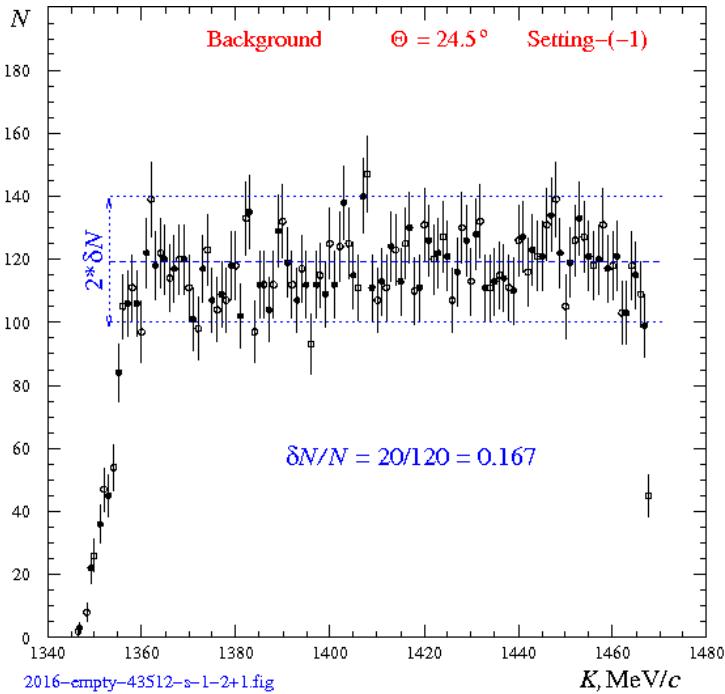
В 2025 – 2027 годах планируется определить абсолютные дифференциальные сечения реакции (p, p') с ядрами ^{28}Si и ^{56}Fe при угле рассеяния 24.5° в широкой области импульсов вторичных протонов с разрешением $\Delta K = 10 \text{ МэВ/с}$. С разрешение $\Delta K = 2 \text{ МэВ/с}$ планируется построить импульсные спектры вторичных протонов от реакции (p, p') с ядрами ^9Be и ^{28}Si в области квазиупругого pN – пика при угле рассеяния 21° .

Приложение

Background investigation at $\Theta = 21^\circ$, Setting-1



Background investigation at $\Theta = 24.5^\circ$, Setting-(-1)



СПАСИБО за ВНИМАНИЕ !

С наступающим Новым Годом!