

# Исследование реакции неупругого рассеяния $A(p, p')X$ на ядрах при энергии 1 ГэВ

*О. Миклухо*

тема НИОКР : Исследование структуры ядерной материи на малых расстояниях в квазиупругих и неупругих протон-ядерных взаимодействиях при энергии 1 ГэВ с помощью прецизионного высокоэнергетического плеча двухплечевого магнитного спектрометра на синхроциклотроне ФГБУ «ПИЯФ»

## Участники работы 2013 - 2018

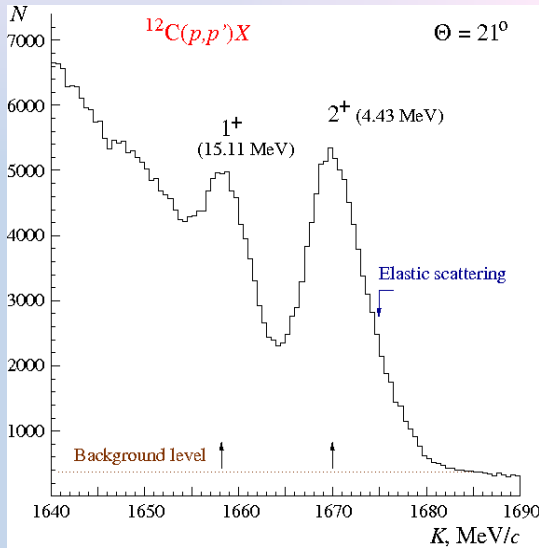
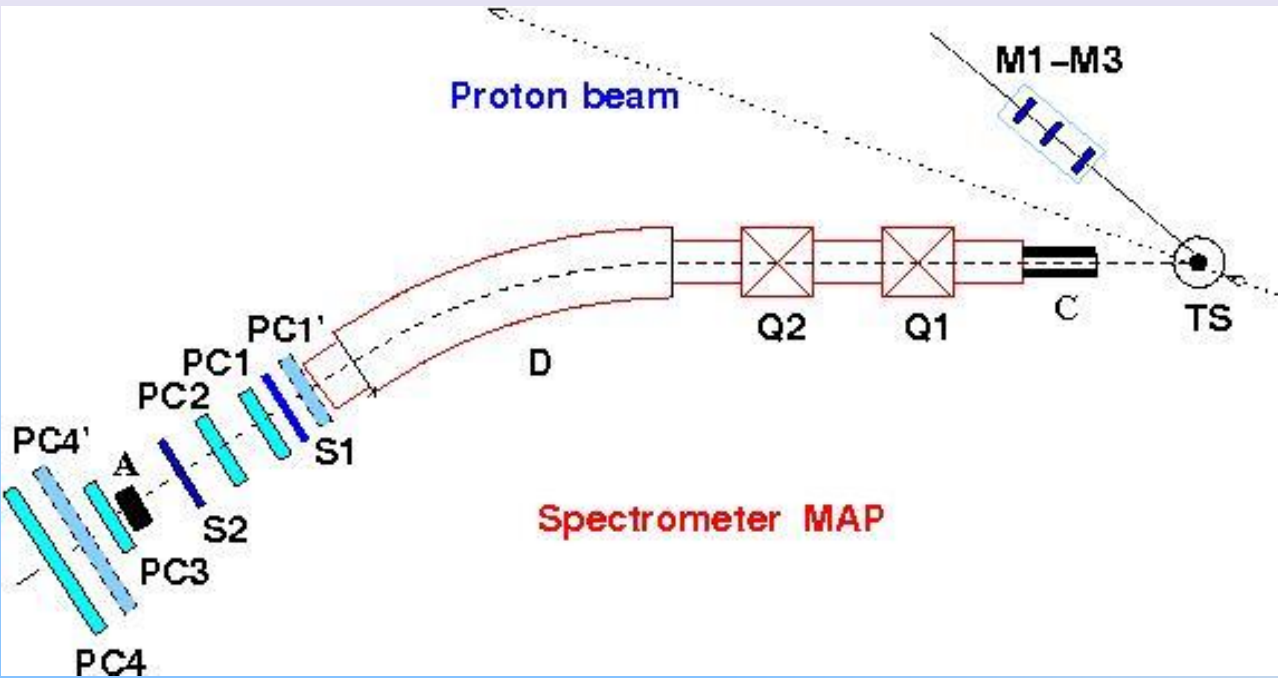
Г. Амальский, В. Андреев, С. Барсов, Г. Гаврилов,  
А. Жданов, А. Изотов, Д. Ильин, А. Киселев,  
Н. Козленко, П. Кравченко, М. Левченко, Д. Майсузенко,  
О. Миклухо, В.А. Мурзин, В.И. Мурзин, Д. Новинский,  
А.Н. Прокофьев, С. Труш, А. Шведчиков

# План доклада

- \* Методика  $A(p, p')$  эксперимента
- \* Основные результаты исследований
- \* Результаты исследований в 2018 году
- \* План на 2019 год

# Experimental setup 2013 -2018

O.V. Miklukho et al., Phys.Atom.Nucl. **80** (No. 2), 299 (2017); **81** (No. 3), (2018)



Target	Dimensions [mm] thickness x width x height	Isotope concentration [%]	Density g/cm <sup>3</sup>
CH <sub>2</sub>	4.0 x 10 x 70		1.0
C	4.0 x 10 x 70	98.9	1.60
CH <sub>2</sub> foil	0.1 x 4 x 10		1.0
<sup>12</sup> C	4.0 x 7 x 10	98.9	1.60
<sup>40</sup> Ca	4.0 x 7 x 10	97.0	1.55
<sup>28</sup> Si	4.0 x 7.5 x 9.5	99.9	2.33
<sup>56</sup> Fe	3.0 x 5.2 x 10.1	91.7	7.86
<sup>9</sup> Be	4.0 x 7 x 10	100.	1.85
<sup>91</sup> Zr	2.7 x 5.6 x 9.7	i=0: 51.46, i=1: 11.23, i=2: 17.11, i=4: 14.4, i=6: 2.8	6.49

Main parameters of the magnetic spectrometer MAP	
Maximum particle momentum K, [GeV/c]	1.7
Horizontal angle acceptance Δθ <sub>H</sub> , [deg]	0.8
Vertical angle acceptance Δθ <sub>V</sub> , [deg]	1.9
Solid angle acceptance Ω, [sr]	4x10 <sup>-4</sup>
Dispersion in the focal plan Df, [mm/%]	22.0
Momentum acceptance ΔK/K, [%]	8.0
Momentum resolution (FWHM) for the Be target, [MeV/c]	~ 6.7
Momentum resolution (FWHM) for the C target, [MeV/c]	~ 5.8
Momentum resolution (FWHM) for the Si target, [MeV/c]	~ 6.5
Momentum resolution (FWHM) for the Ca target, [MeV/c]	~ 5.5
Momentum resolution (FWHM) for the Fe target, [MeV/c]	~ 10.5
Momentum resolution (FWHM) for the Zr target, [MeV/c]	~ 8.6

$$P = \epsilon / A$$

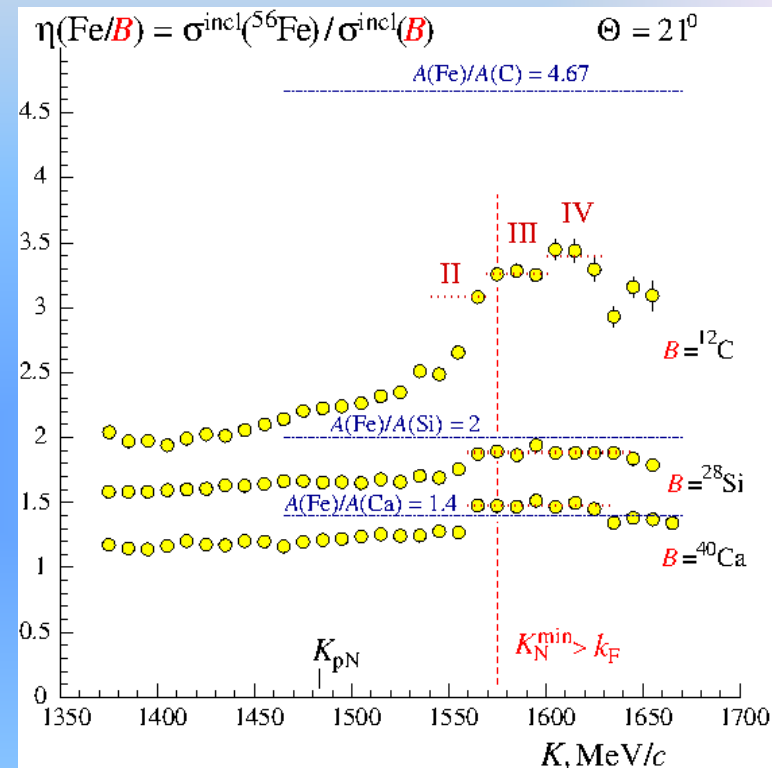
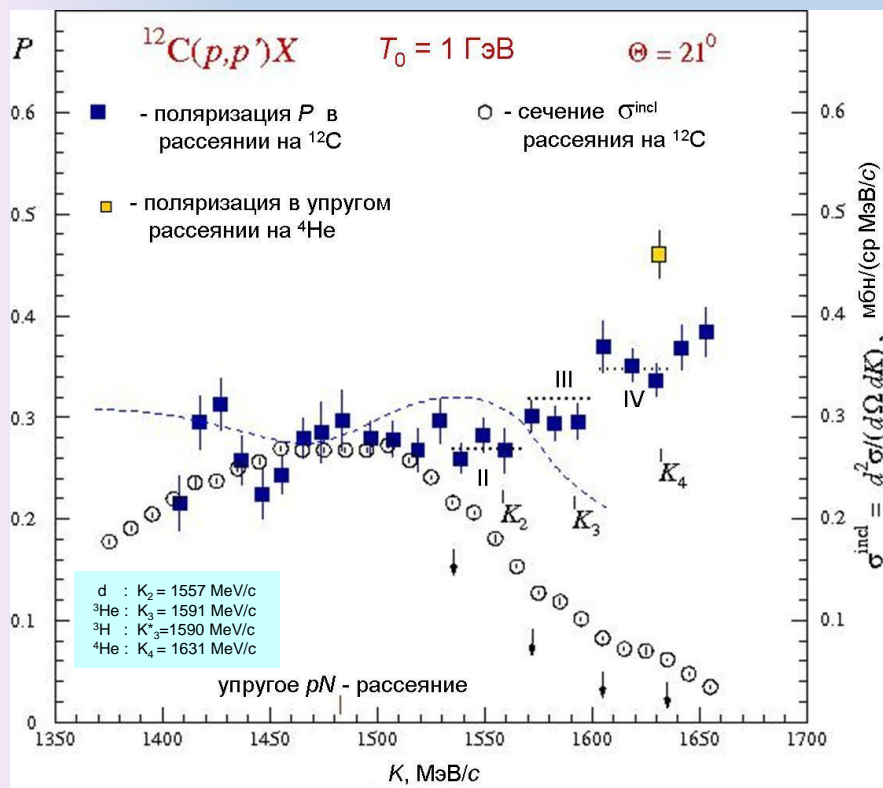
Main parameters of the MAP polarimeter	
Carbon block thickness, [mm]	155
Polar angular range, [deg]	3 - 16
Average analyzing power	> 0.2
Efficiency, [%]	~ 4

## ( $p, p'$ )-эксперименты при угле рассеяния $\Theta = 21^\circ$ ( $Q \sim 600$ МэВ/с)

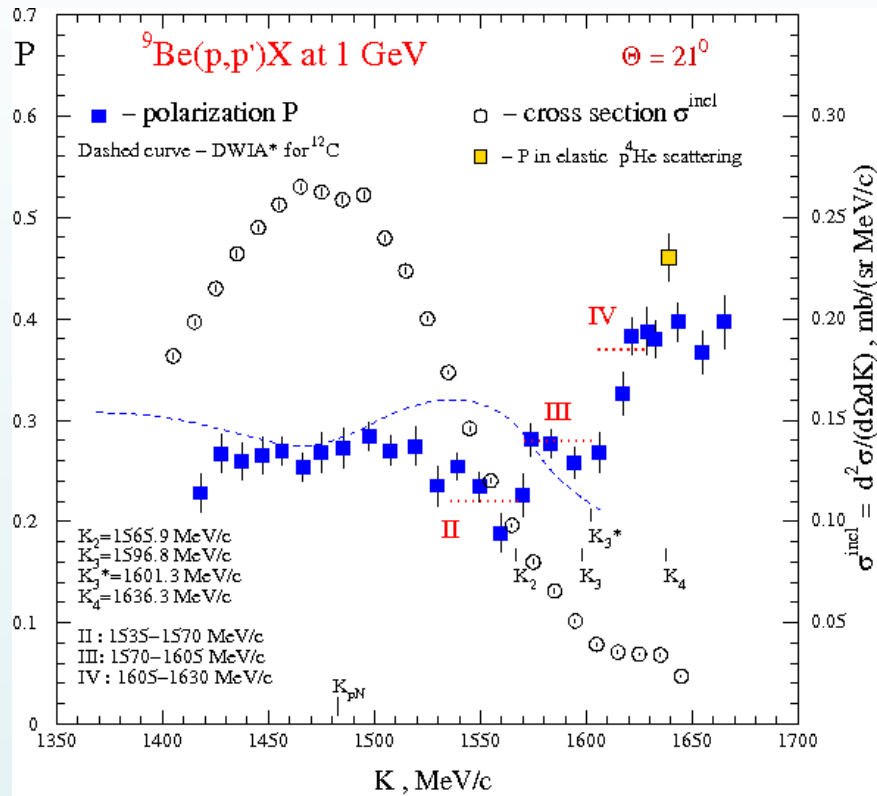
O.V. Miklukho et al., JETP Letters **102**, 11 (2015); **106**, 69 (2017)

O.V. Miklukho et al., Phys.Atom.Nucl. **80**, 299 (2017); **81**, 320 (2018)

Завершены ( $p, p'$ )-эксперименты с ядрами  ${}^9\text{Be}$ ,  ${}^{12}\text{C}$ ,  ${}^{28}\text{Si}$ ,  ${}^{40}\text{Ca}$ ,  ${}^{56}\text{Fe}$ ,  ${}^{90}\text{Zr}$ .



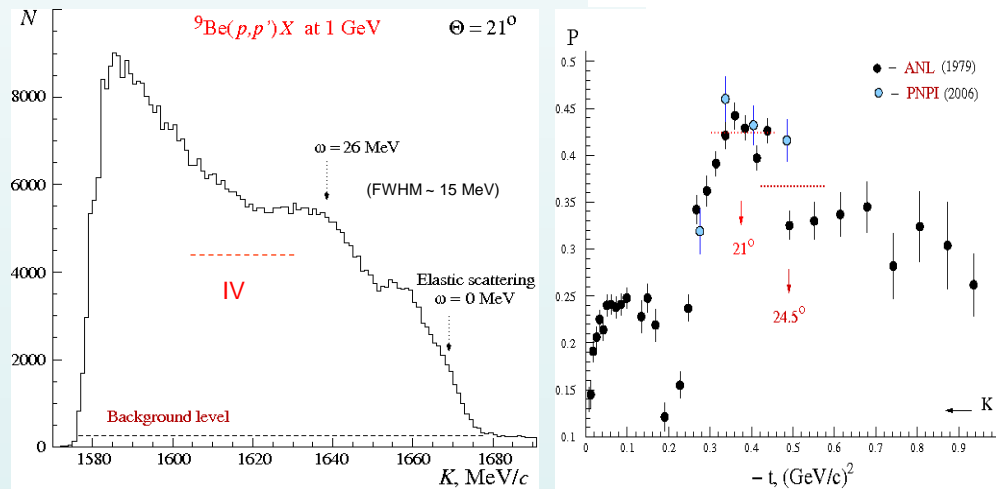
Наблюдена структура в поляризации и сечении рассеяния (импульсные интервалы **II**, **III** и **IV**), возможно связанная с упругим рассеянием на ядерных частицах с массой существенно большей, чем масса нуклона. Этими частицами могут быть двух-, трех- и четырех нуклонные кластеры либо корреляции  ${}^2\text{H}$  (**II**),  ${}^3\text{He}$ ,  ${}^3\text{H}$  (**III**),  ${}^4\text{He}$  (**IV**). Наблюдена также структура в отношениях сечений рассеяния на ядрах.



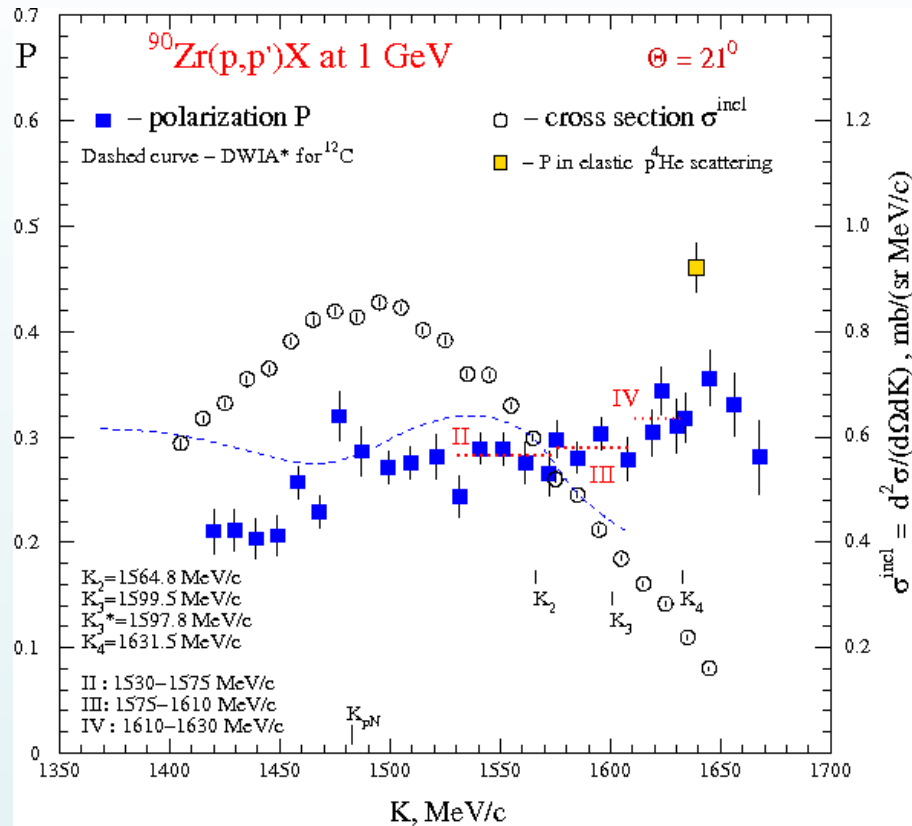
В реакции с ядром  ${}^9\text{Be}$ , в сравнении с другими ранее исследованными ядрами ( ${}^{12}\text{C}$ ,  ${}^{28}\text{Si}$ ,  ${}^{40}\text{Ca}$ ,  ${}^{56}\text{Fe}$ ), наблюдается более яркий "ступенчатый" рост поляризации с импульсов вторичного протона  $K$ .

В области больших импульсов, захватывающей частично область рассеяния на четырехнуклонных корреляциях (интервал **IV**), наблюдается широкий резонанс в сечении.

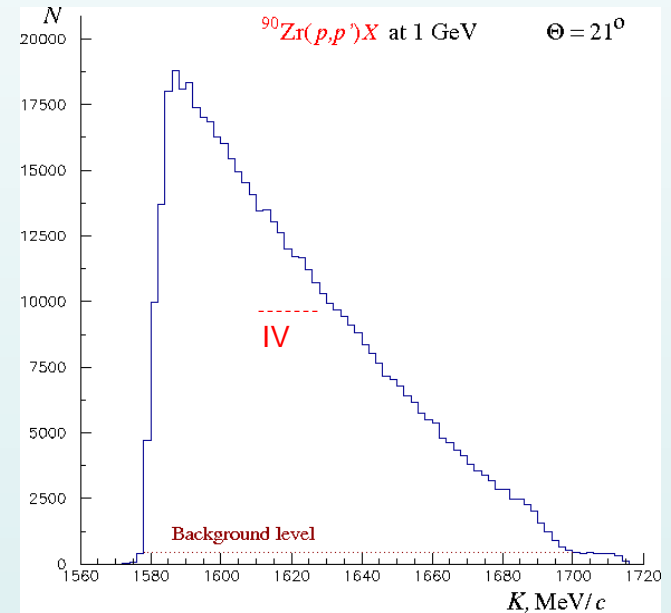
Polarization in elastic  $p$  ${}^4\text{He}$  scattering



Поляризация в интервале **IV** ( $P_{\text{IV}}$ ) в рассеянии на легком ядре  ${}^9\text{Be}$  достигает значения  $\sim 38.5 \pm 1.0\%$ , что несколько больше поляризации  $P_{\text{IV}}$  для ядра  ${}^{12}\text{C}$  ( $\sim 35.0 \pm 1.0\%$ ), которое имеет большую ядерную плотность, чем ядро  ${}^9\text{Be}$ .



Поляризация в рассеянии на тяжелом ядре  $^{90}\text{Zr}$  также растет с импульсом вторичных протонов. Различить переход к рассеянию на трехнуклонных корреляциях (интервал **III**) по поляризации практически невозможно на имеющемся уровне статистики. Зато, начало интервалов **II** и **III** достаточно отчетливо наблюдается по наплыву в сечении рассеяния.



Интервал **IV** наблюдается в поляризационных данных. Поляризация в интервалах **III**, **IV** заметно меньше, чем в случае рассеяния на ядре  $^{12}\text{C}$ . Для интервала **IV**  $P_{\text{IV}} \sim 32.0 \pm 1.5 \%$ , что меньше, чем для ядра углерода. Последнее может быть связано с более сильной модификацией нуклонных кластеров в ядре  $^{90}\text{Zr}$ , имеющему большую ядерную плотность.

В эксперименте 2018 года дополнительно измерена поляризация в рассеянии на ядрах  $^9\text{Be}$  и  $^{90}\text{Zr}$ .

## План исследований на 2019 год

- Завершить анализ данных экспериментов с ядрами  $^9\text{Be}$ ,  $^{90}\text{Zr}$  для угла рассеяния  $\Theta = 21^\circ$ .  
Подготовить статью по результатам исследования.
- Провести теоретические расчеты поляризации и сечений (с помощью ThreeDee code) в неупругой  $(p, p')$ -реакции с ядрами  $^{12}\text{C}$  и  $^{40}\text{Ca}$  для угла рассеяния  $\Theta = 24.5^\circ$ .
- Восстановить работоспособность спектрометра МАТТ.  
Выполнить измерения поляризации и сечений в  $(p, p')$ -реакции с ядрами  $^{12}\text{C}$  и  $^{40}\text{Ca}$  под углом рассеяния  $\Theta = 24.5^\circ$ .