

Исследование неупругой реакции $A(p, p')X$
с ядрами ^{40}Ca и ^{12}C
под углами рассеяния 21° и 24.5°
при энергии 1 ГэВ
(отношения дифференциальных сечений)

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

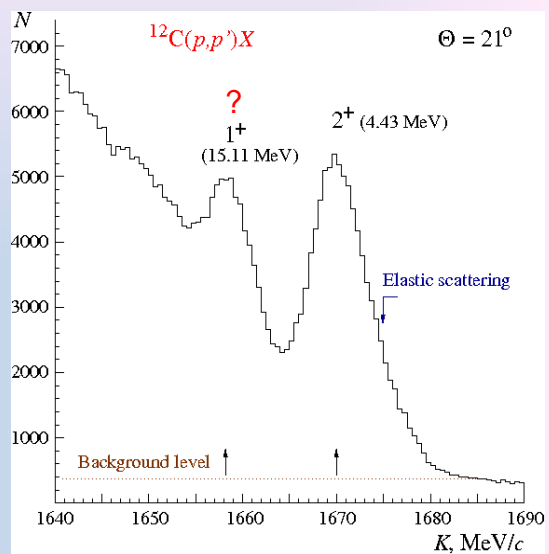
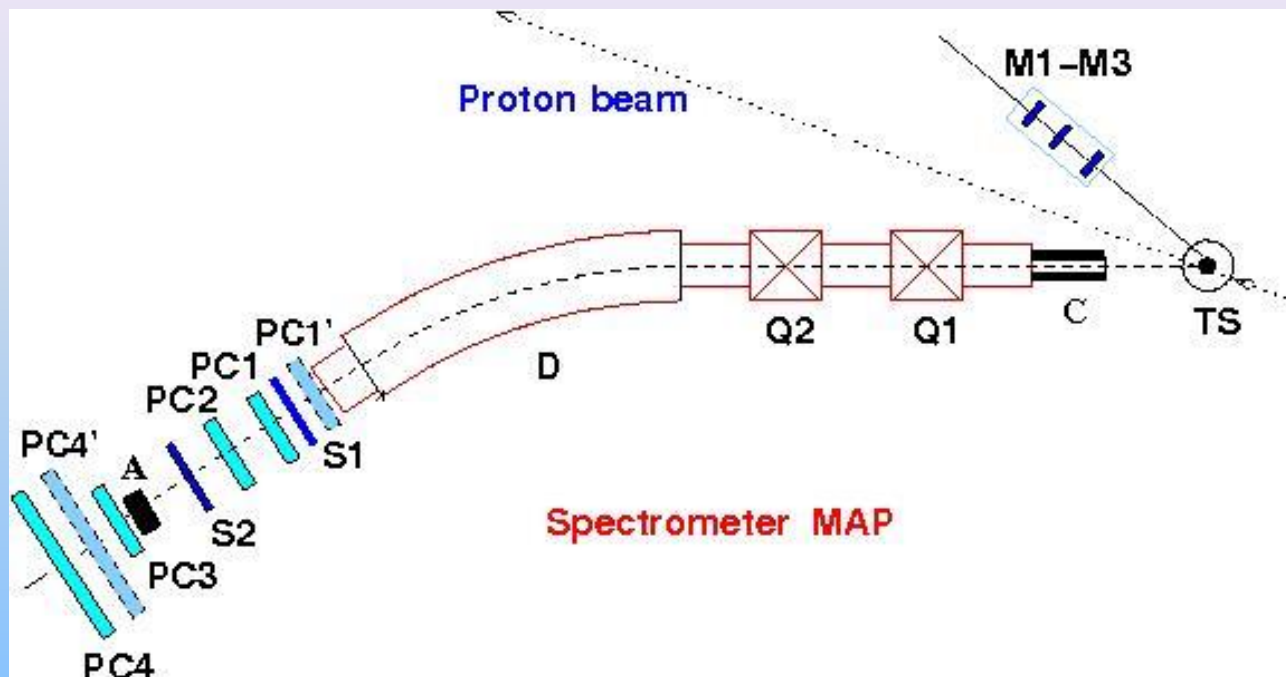
Г. Амальский, В. Андреев, Г. Гаврилов, А. Жданов,
А. Изотов, А. Киселев, Н. Козленко, П. Кравченко,
Д. Майсузенко, О. Миклухо, В.А. Мурзин, В.И. Мурзин,
Д. Новинский, Г. Федотов, А. Шведчиков

План доклада

- * Методика $A(p, p')X$ эксперимента при энергии 1 ГэВ
- * Основные результаты исследования реакции $A(p, p')X$ с ядрами ^{12}C и ^{40}Ca при угле рассеяния 21°
- * Отношение сечений реакции $A(p, p')X$ с ядрами ^{40}Ca и ^{12}C при углах рассеяния 24.5° и 21°
- * Импульсные спектры вторичных протонов в неупругой реакции $^9\text{Be}(p, p')X$ под углом рассеяния 21° и 24.5° .

Experimental setup 2013 - 2020

O.V. Miklukho et al., Phys.Atom.Nucl. **80** (No. 2), 299 (2017); **81** (No. 3), 320 (2018)



Теоретическое предсказание 1+ - R. D. Viollier, ANNALS OF PHYSICS 93, 335 (1975).

Target	Dimensions [mm] thickness x width x height	Isotope concentration [%]	Density g/cm ³
CH ₂	4.0 x 10 x 70		1.0
C	4.0 x 10 x 70	98.9	1.60
CH ₂ foil	0.1 x 4 x 10		1.0
¹² C	4.0 x 7 x 10	98.9	1.60
⁴⁰ Ca	4.0 x 7 x 10	97.0	1.55
²⁸ Si	4.0 x 7.5 x 9.5	99.9	2.33
⁵⁶ Fe	3.0 x 5.2 x 10.1	91.7	7.86
⁹ Be	4.0 x 7 x 10	100.	1.85
⁹¹ 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

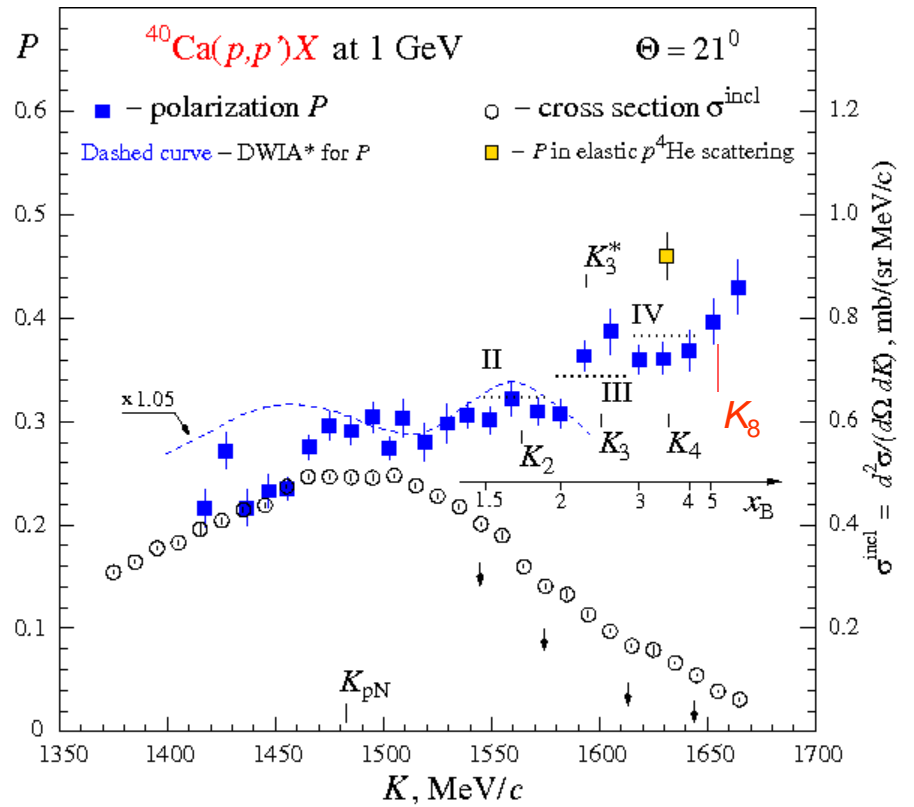
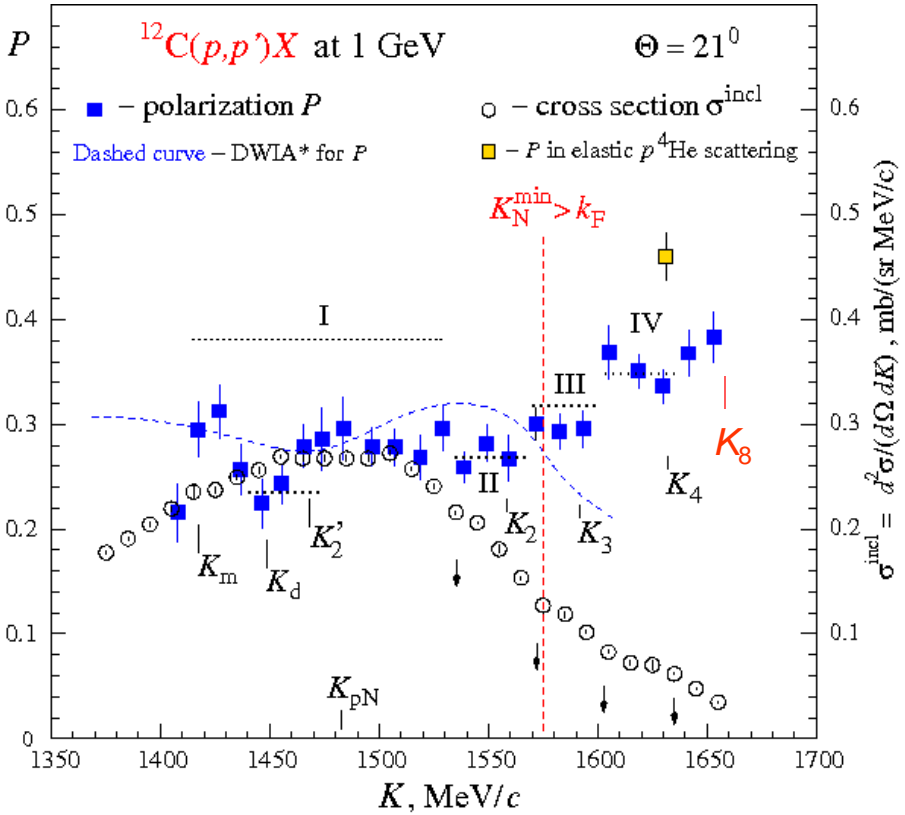
Main parameters of the magnetic spectrometer MAP	
Maximum particle momentum K, [GeV/c]	1.7
Horizontal angle acceptance Δθ _H , [deg]	0.8
Vertical angle acceptance Δθ _V , [deg]	1.9
Solid angle acceptance Ω, [sr]	4x10 ⁻⁴
Dispersion in the focal plan Df, [mm/%]	22.0
Momentum acceptance ΔK/K, [%]	8.0
Momentum 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

$$P = \varepsilon / A$$

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

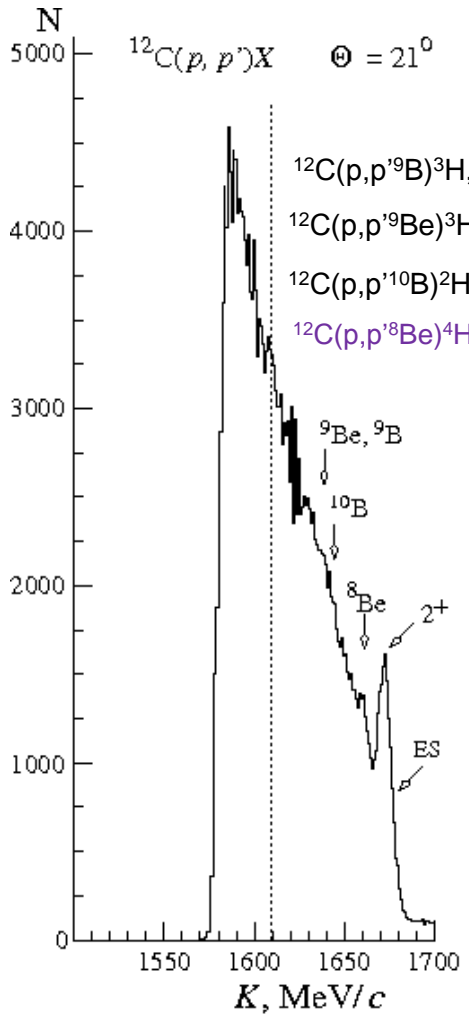
Результаты исследования ядер ^{12}C и ^{40}Ca , (p, p')-эксперименты при угле рассеяния $\Theta = 21^\circ$ ($Q \sim 600 \text{ МэВ/с}$)

O.V. Miklukho et al., JETP Letters 102, 11 (2015); O.V. Miklukho et al., Phys.Atom.Nucl. 80, 299 (2017);

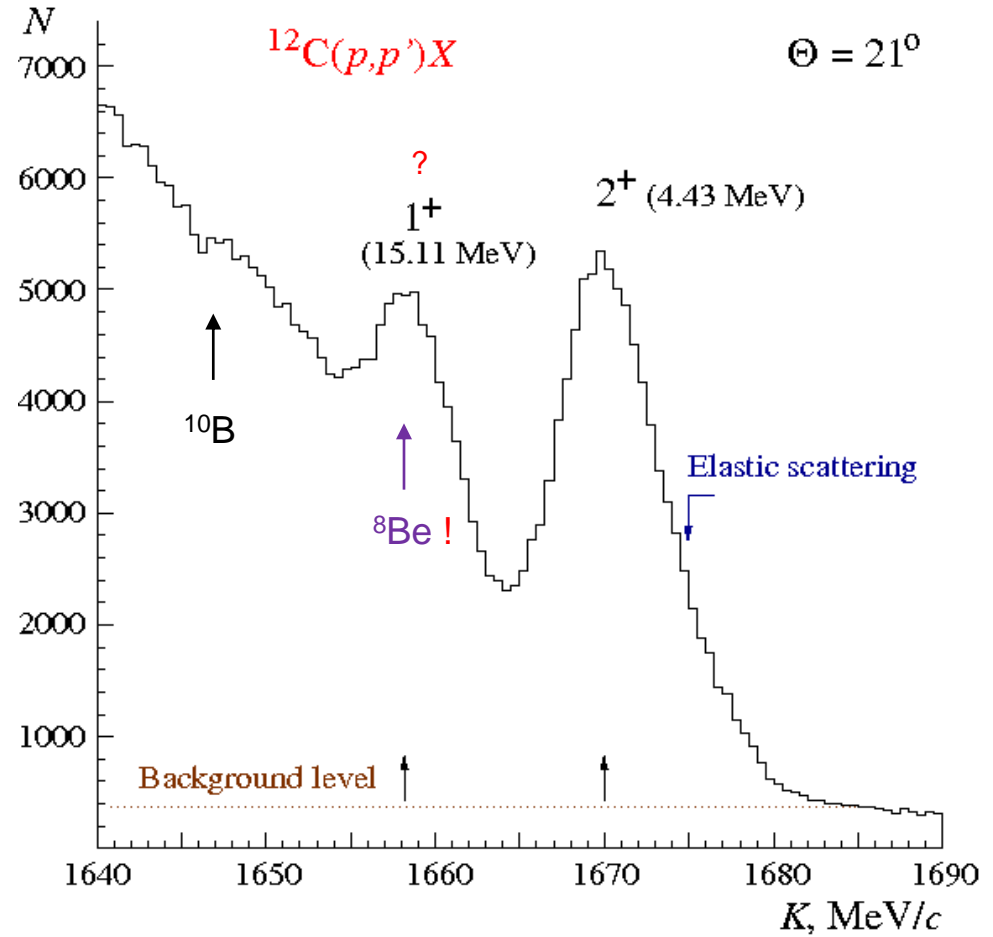


Наблюдена структура в поляризации и сечении рассеяния (импульсные интервалы II, III и IV), возможно связанная с упругим рассеянием на ядерных частицах с массой существенно большей, чем масса нуклона. Эти частицы имеют массы, близкие к массам двух-, трех- и четырехнуклонных легких ядер ^2H (II), ^3He , ^3H (III), ^4He (IV). Возможно, что за областью IV при больших значениях K следует область VIII, соответствующая упругому рассеянию на восьминуклонной корреляции, подобной ядру ^8Be , нуклоны которого находятся в состоянии 1S и 2S.

Пик возбуждения ядра ^{12}C ($1+$), предсказываемый теорией [R. D. Viollier, ANNALS OF PHYSICS 93, 335 (1975)] под углом рассеяния 21° , скорее всего соответствует квазиупругому рассеянию на восьминуклонной корреляции, подобной ядру ^8Be , нуклоны которого находятся в состоянии 1S и 2S .



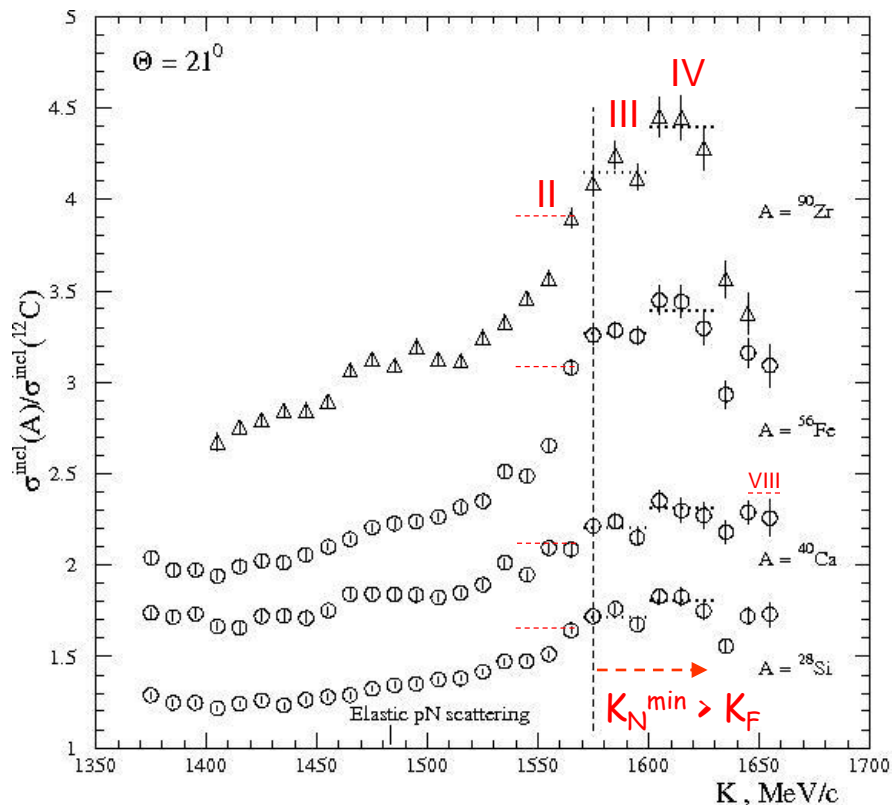
$2^+ \ ^{12}\text{C}(p,p')^{12}\text{C}^*$, $K=1671.7 \text{ MeV}/c$



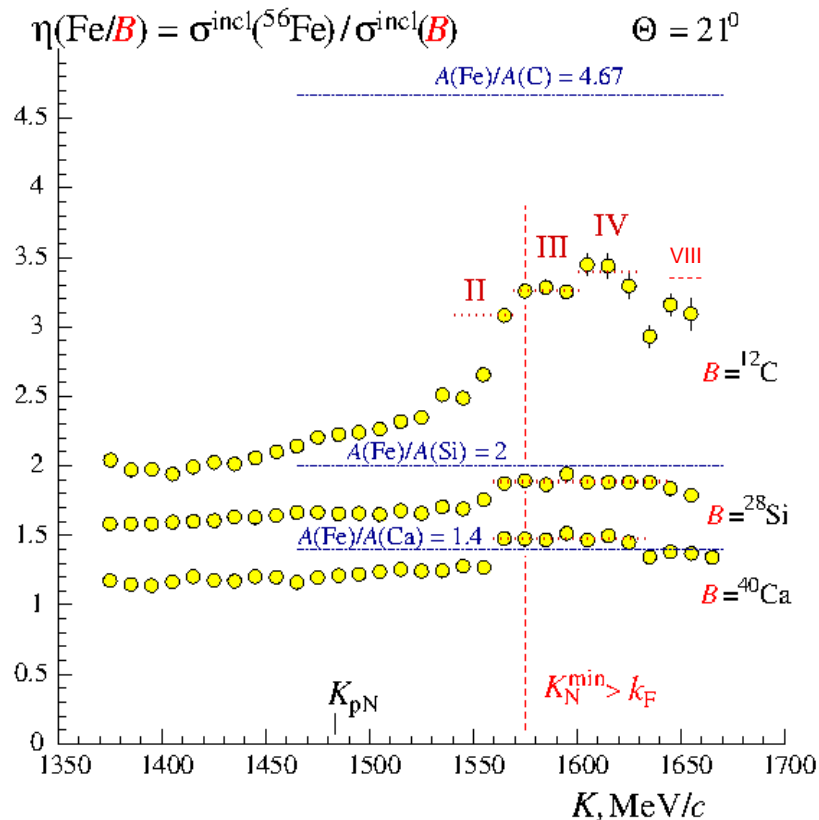
ES $^{12}\text{C}(p,p')^{12}\text{C}$, $K=1676.7 \text{ MeV}/c$

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

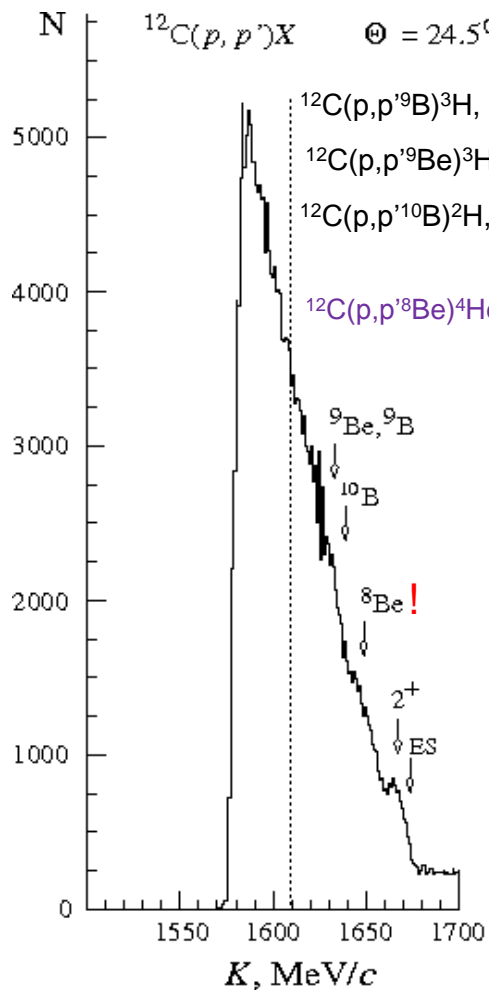
O.V. Miklukho et al., Phys.Atom.Nucl. **83**, 431 (2020);



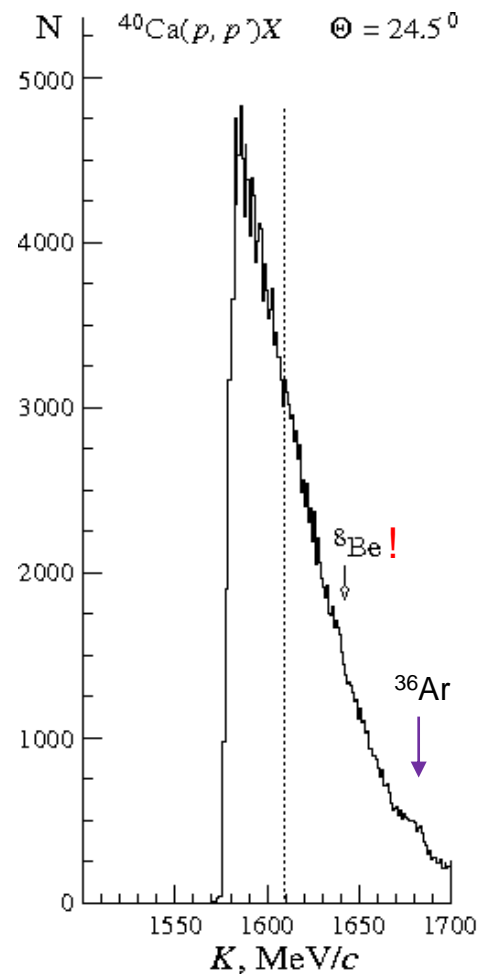
O.V. Miklukho et al., JETP Letters **106**,69 (2017);



Наблюдена также структура и в отношениях сечений рассеяния на ядрах. Возможно область **VIII** отвечает рассеянию на восьминуклонной корреляции, подобной ядру ^8Be , нуклоны которого находятся в состоянии 1S и 2S.



$2^+ \quad ^{12}\text{C}(p, p')^{12}\text{C}^*, K=1665 \text{ MeV/c}$
 ES $^{12}\text{C}(p, p')^{12}\text{C}, K=1670 \text{ MeV/c}$

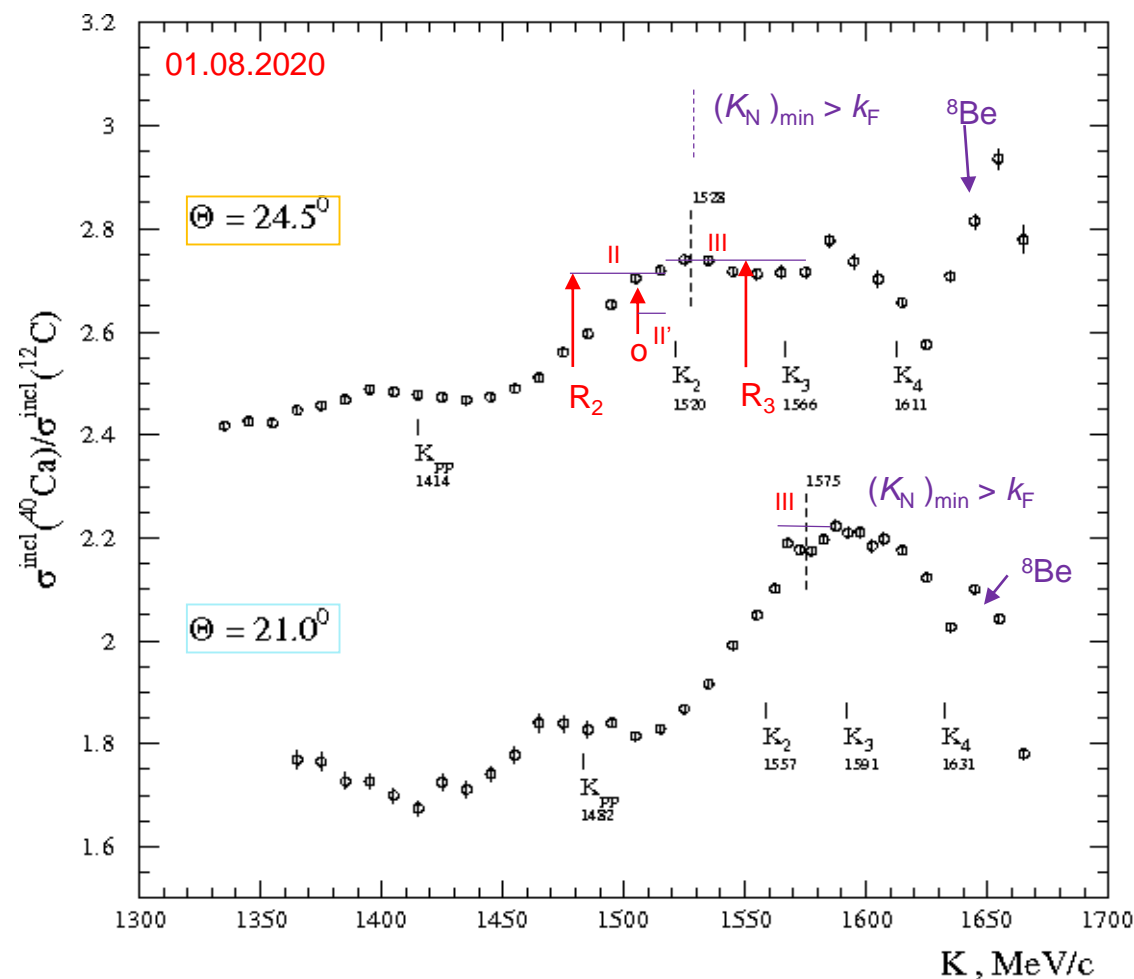


ES $^{40}\text{Ca}(p, p')^{40}\text{Ca}, K=1688 \text{ MeV/c}$

Также наблюдается рассеяние на восьминуклонной корреляции ^8Be

$^{40}\text{Ca}(p, p'^8\text{Be})^{32}\text{S}, K=1642 \text{ MeV/c}$

$^{40}\text{Ca}(p, p'^{36}\text{Ar})^4\text{He}, K=1679 \text{ MeV/c}$



Обозначилось начало (о) импульсной области, где вклад от рассеяния на отдельном нуклоне отсутствует и включающей интервал II', где идет рассеяние на двухнуклонной корреляции.

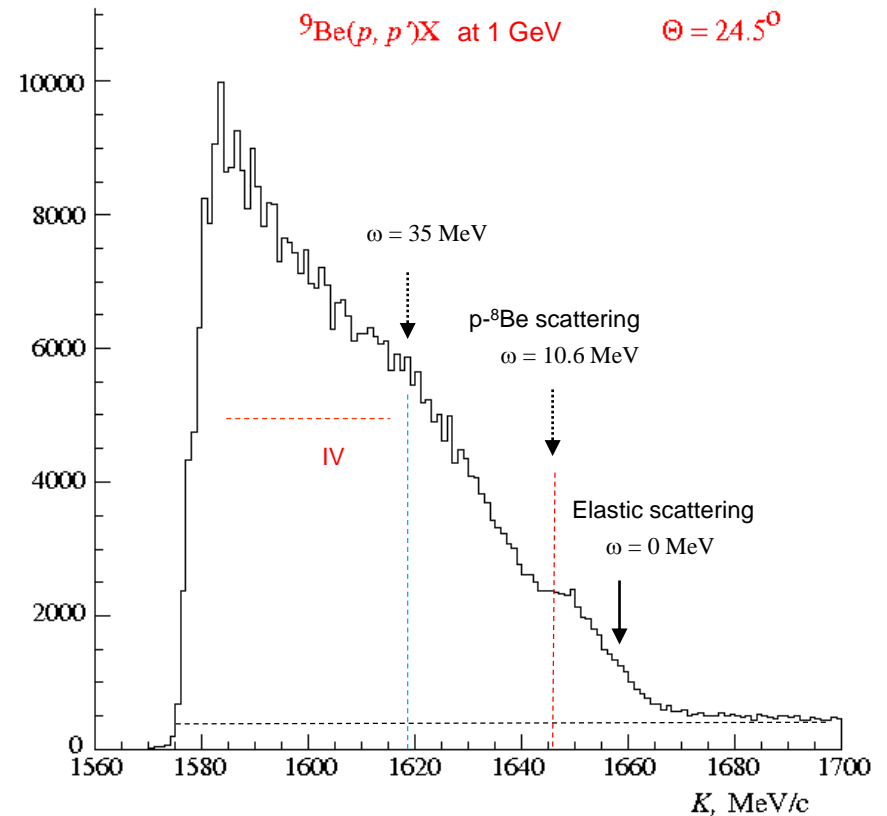
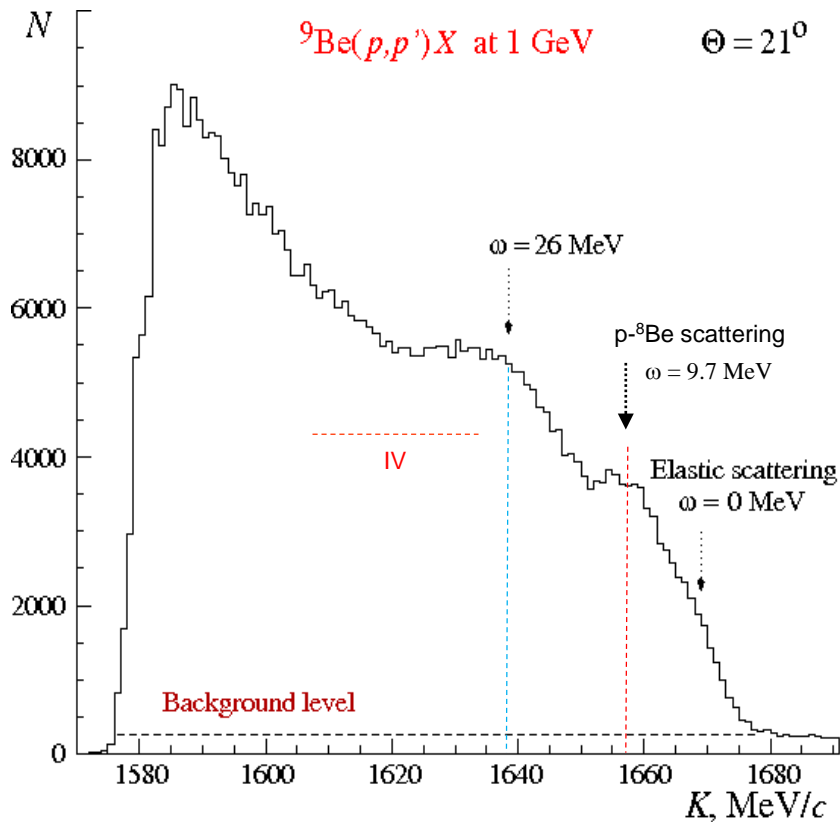
Под углом 24.5° при $K \sim 1525 \text{ MeV/c}$ отчетливо наблюдается переход к рассеянию на трехнуклонной корреляции (интервал III)

Начало интервала II $\sim 1475 \text{ MeV/c}$

Отношение сечений рассеяния под углом 21°

Начало интервала II - 1535 MeV/c

Результаты этой работы могут быть использованы для получения информации об относительной вероятности возникновения двухнуклонных, трехнуклонных и четырехнуклонных корреляций в ядрах ^{40}Ca и ^{12}C (в рамках модели короткодействующих нуклонных корреляций).

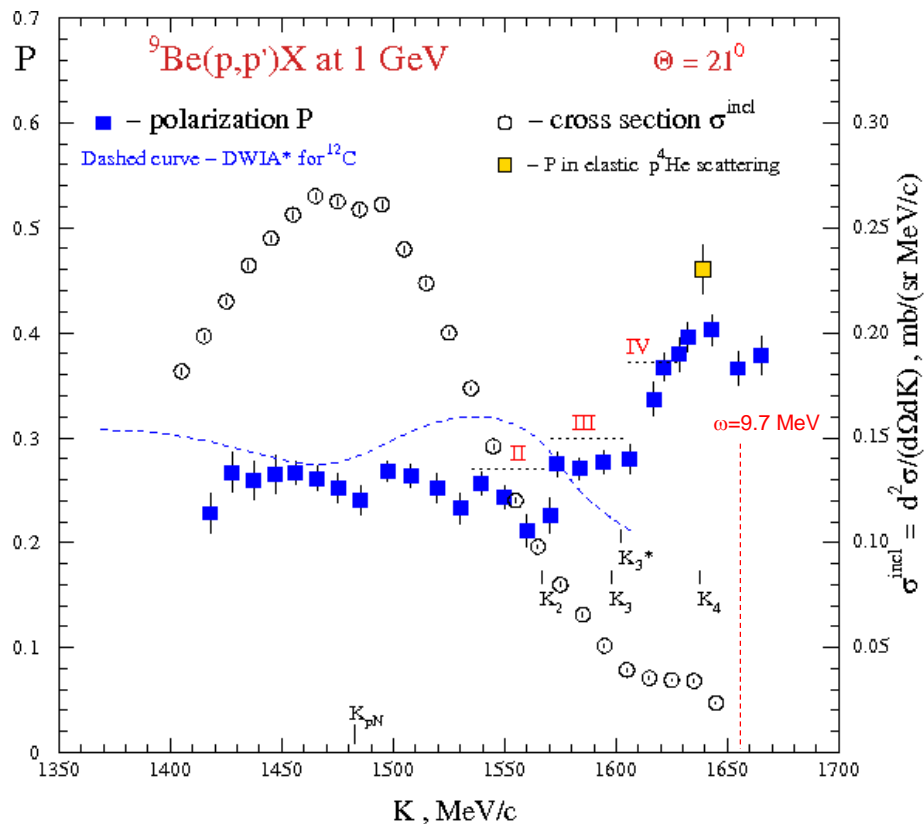


В интервале IV происходит рассеяние [${}^9\text{Be}(p, p'{}^4\text{He}){}^5\text{He}$] на четырехнуклонной корреляции, подобной ядру ${}^4\text{He}$. В конце интервала IV наблюдается наплыв в спектре, обусловленный в основном вкладом от рассеяния [${}^9\text{Be}(p, p'{}^6\text{He}){}^3\text{He}$, ${}^9\text{Be}(p, p'{}^6\text{Li}){}^3\text{H}$, ${}^9\text{Be}(p, p'{}^7\text{Li}){}^2\text{H}$] на остаточных ядрах ${}^6\text{He}$, ${}^6\text{Li}$, ${}^7\text{Li}$ в реакциях с малонуклонными корреляциях ${}^9\text{Be}(p, p'{}^3\text{He}){}^6\text{He}$, ${}^9\text{Be}(p, p'{}^3\text{H}){}^6\text{Li}$, ${}^9\text{Be}(p, p'{}^2\text{H}){}^7\text{Li}$.

При $\omega \sim 10$ MeV наблюдается квазиупругое рассеяние на восьминуклонной корреляции, подобной ядру ${}^8\text{Be}$.

Результаты исследования инклюзивной реакции ${}^9\text{Be}(p, p')X$ при угле рассеяния 21° .

O.V. Miklukho et al., Phys.Atom.Nucl. **83**, No 3, 431 (2020);



Измерена поляризация в рассеянии на восьминуклонной корреляции, подобной ядру ${}^8\text{Be}$!

План исследований на 2021 год

Исследование отношения дифференциальных сечений реакции (p, p') с ядрами ^{56}Fe и ^{12}C под углом рассеяния $\Theta = 24.5^\circ$.