

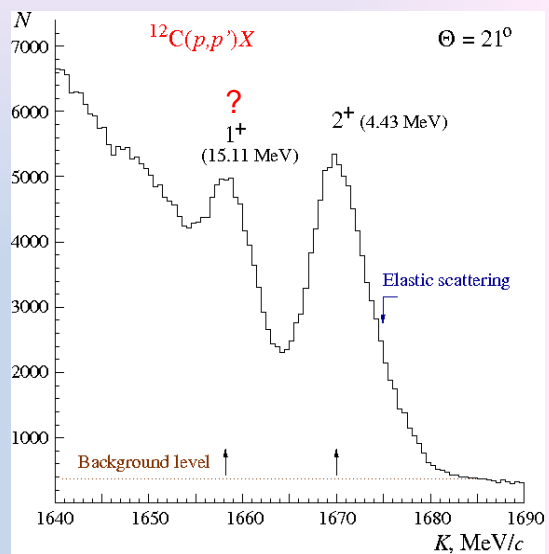
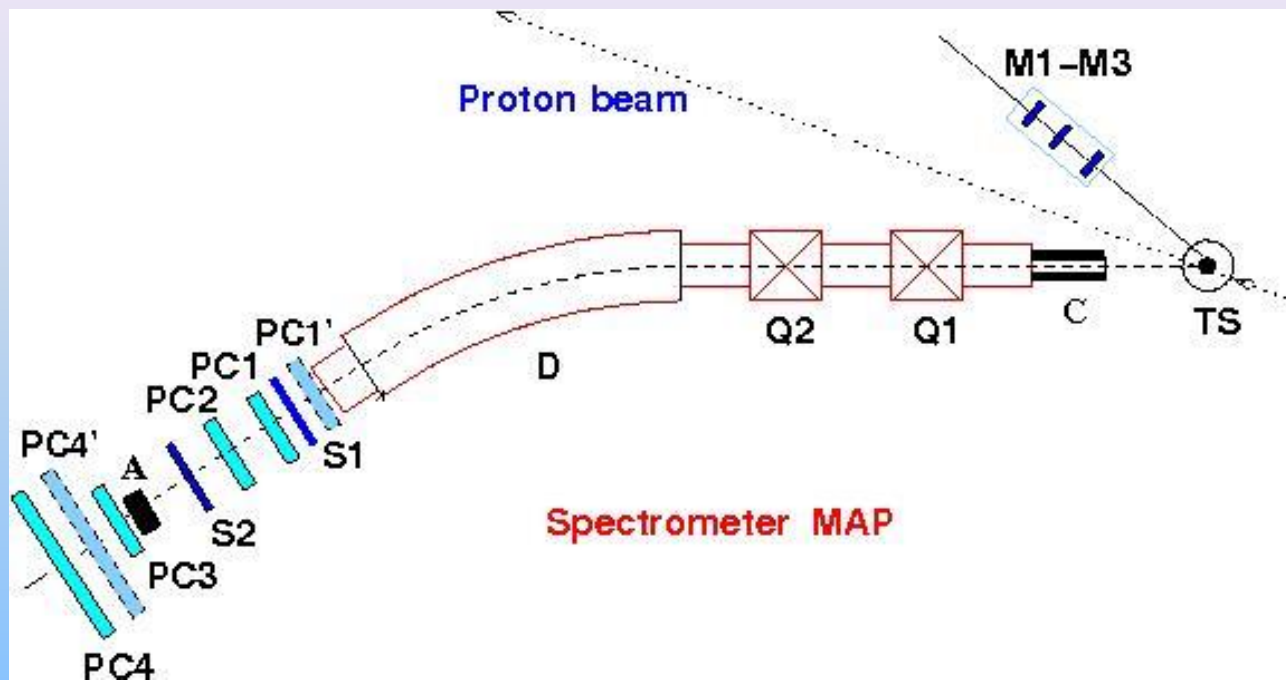
Наблюдение структуры в поляризации рассеянных
протонов в инклюзивной реакции (p, p') с ядрами
 ${}^9\text{Be}$ и ${}^{12}\text{C}$
при энергии 1 ГэВ

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»

Experimental setup 2013 - 2020

O.V. Miklukho et al., Phys.Atom.Nucl. **80** (No. 2), 299 (2017); **81** (No. 3), 320 (2018); **83** (No.3), 431 (2020)



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

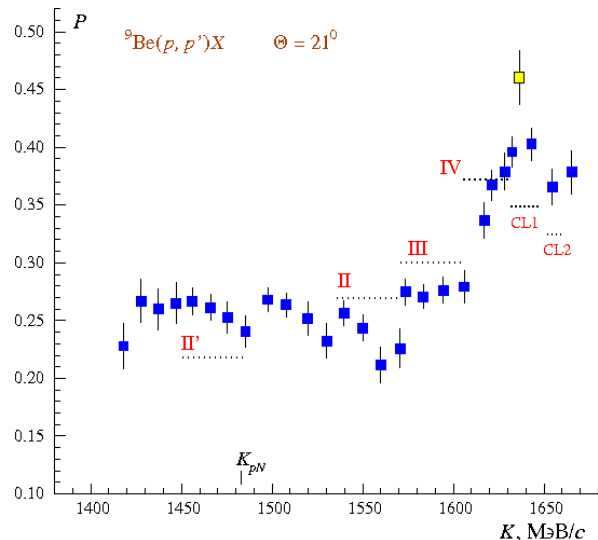
$$P = \varepsilon / A$$

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

НАБЛЮДЕНИЕ СТРУКТУРЫ В ПОЛЯРИЗАЦИИ РАССЕЯННЫХ ПРОТОНОВ В ИНКЛЮЗИВНОЙ РЕАКЦИИ (p, p') С ЯДРОМ ${}^9\text{Be}$ ПРИ ЭНЕРГИИ 1 ГэВ

На протонном пучке синхроциклотрона ПИАФ НИЦ КИ измерена поляризация (P) в инклюзивной реакции как функция импульса рассеянного протона (K). Измерения проводились с помощью прецизионного магнитного спектрометра, оснащенного поляриметром на пропорциональных камерах.

Описание структуры в поляризации, наблюдаемой при угле рассеяния $\Theta = 21^\circ$ (Рис.): импульсные интервалы II, III и IV, обозначенные отрезками пунктирной линии, отвечают преимущественно квазиупругому рассеянию ${}^9\text{Be}(p, p')\text{NC}X$ на плотных двухнуклонных, трехнуклонных и четырехнуклонных корреляциях (NC) в ядре, подобных легким ядрам ${}^2\text{H}$, ${}^3\text{He}$ (${}^3\text{H}$) и ${}^4\text{He}$. В интервале II' существенный вклад дает квазиупругое рассеяние на двухнуклонной корреляции с последующим распадом ее на два нуклона с равными и противоположно направленными импульсами, превышающими импульс Ферми ($K_F \sim 250$ МэВ/с). Импульсный интервал CL1 отвечает квазиупругому рассеянию ${}^9\text{Be}(p, p')X$ на остаточных ядрах (X) ${}^7\text{Li}$, ${}^6\text{He}$ (${}^6\text{Li}$), ${}^5\text{He}$ в указанных выше реакциях. В этом интервале наблюдается широкий пик в импульсном распределении рассеянных протонов. В интервале CL2 наблюдается более узкий пик в импульсном распределении, соответствующий квазиупругому рассеянию ${}^9\text{Be}(p, p'){}^8\text{Be}n$ на восьминуклонном кластере ${}^8\text{Be}$. Обнаружение этого пика подтверждает модель ядра ${}^9\text{Be}$, в рамках которой ядро состоит из твердого кора, подобного ядру ${}^8\text{Be}$, и слабо связанного с ним нейтрона. Впервые измерена поляризация в упругом рассеянии протонов на этом коре.



На рисунке: синие квадраты — это результат измерения поляризации вторичных протонов в реакции (p, p') с ядром ${}^9\text{Be}$. Желтый квадрат отвечает измеренной поляризации в упругом рассеянии протонов на ядре ${}^4\text{He}$. K_{pN} — импульс, соответствующий максимуму квазиупругого пика в рассеянии протонов пучка на ядерных нуклонах.

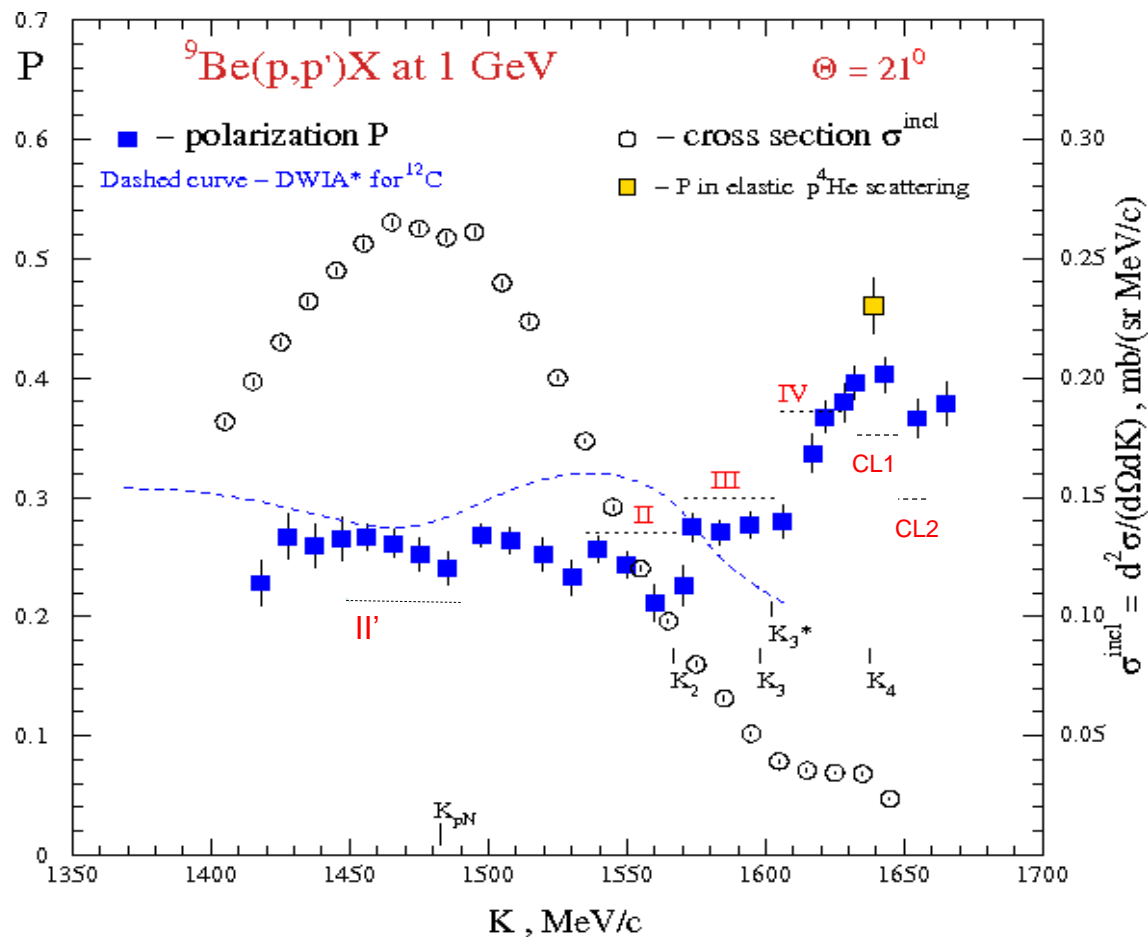
O.V. Miklukho, A.Yu. Kisselev, G.M. Amalsky, V.A. Andreev, S.G. Barsov, G.E. Gavrillov, D.S. Ilyin, A.A. Izotov, N.G. Kozlenko, P.V. Kravchenko, D.A. Maysuzenko, V.I. Murzin, D.V. Novinskiy, A.V. Shvedchikov, and A.A. Zhdanov.

“Study of Inelastic $A(p, p')X$ Reaction with ${}^9\text{Be}$ and ${}^{90}\text{Zr}$ Nuclei at 1 GeV”. Physics of Atomic Nuclei, 2020, Vol. 83, No. 3, pp. 431-441

Отделение Физики Высоких Энергий ФГБУ “ПИАФ”

Результаты исследования реакции (p, p') с ядром ${}^9\text{Be}$

O.V. Miklukho et al., Physics of Atomic Nuclei, 2020, Vol. 83, No. 3, pp. 431-441



${}^9\text{Be}$

Рассеяние на корреляции (NC) :

Интервалы : II, III и IV

$${}^9\text{Be} (p, p' \text{ NC}) X, \quad \theta = 21^\circ$$

$$\text{II} \quad {}^9\text{Be} (p, p' \text{ } {}^2\text{H}) {}^7\text{Li}, \quad k=1565 \text{ MeV/c}$$

$$\text{III} \quad {}^9\text{Be} (p, p' \text{ } {}^3\text{H}) {}^6\text{Li}, \quad k=1600 \text{ MeV/c}$$

$$\text{III} \quad {}^9\text{Be} (p, p' \text{ } {}^3\text{He}) {}^6\text{He}, \quad k=1596 \text{ MeV/c}$$

$$\text{IV} \quad {}^9\text{Be} (p, p' \text{ } {}^4\text{He}) {}^5\text{He}, \quad k=1635 \text{ MeV/c}$$

Рассеяние на остаточном ядре (X) :

$${}^9\text{Be} (p, p' X) \text{ NC}, \quad \theta = 21^\circ$$

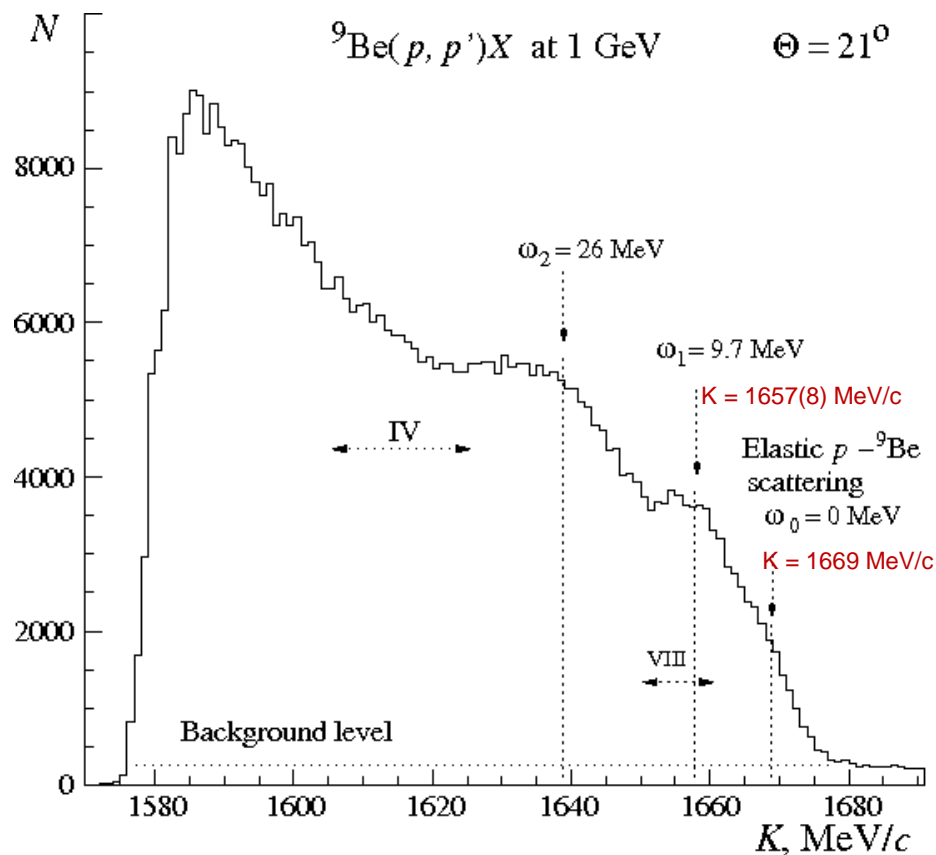
$${}^9\text{Be} (p, p' \text{ } {}^7\text{Li}) {}^2\text{H}, \quad k=1643 \text{ MeV/c}$$

$${}^9\text{Be} (p, p' \text{ } {}^6\text{Li}) {}^3\text{H}, \quad k=1637 \text{ MeV/c}$$

$${}^9\text{Be} (p, p' \text{ } {}^6\text{He}) {}^3\text{He}, \quad k=1632 \text{ MeV/c}$$

$${}^9\text{Be} (p, p' \text{ } {}^5\text{He}) {}^4\text{He}, \quad k=1646 \text{ MeV/c}$$

Импульсное распределение вторичных протонов в реакции (p, p') с ядром ${}^9\text{Be}$ при энергии 1 ГэВ и угле рассеяния 21°



В интервале IV происходит рассеяние ${}^9\text{Be}(p, p'){}^4\text{He}$ на четырехнуклонной корреляции, подобной ядру ${}^4\text{He}$.

В конце интервала IV наблюдается наплыв в спектре, обусловленный в основном вкладом от рассеяния ${}^9\text{Be}(p, p'){}^6\text{He}$, ${}^9\text{Be}(p, p'){}^6\text{Li}$, ${}^9\text{Be}(p, p'){}^7\text{Li}$ на остаточных ядрах ${}^6\text{He}$, ${}^6\text{Li}$, ${}^7\text{Li}$ в реакциях с малонуклонными корреляциями ${}^9\text{Be}(p, p'){}^3\text{He}$, ${}^9\text{Be}(p, p'){}^3\text{H}$, ${}^9\text{Be}(p, p'){}^2\text{H}$.

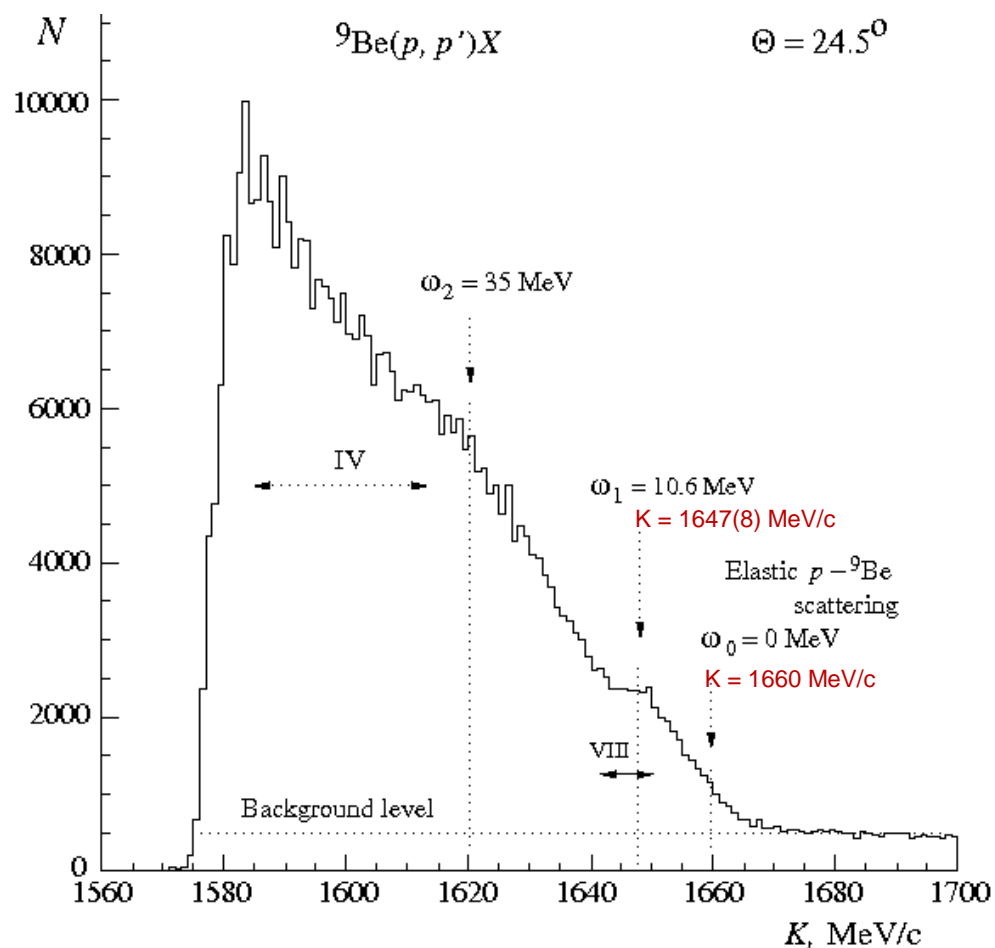
В интервале VIII наблюдается более узкий пик в импульсном распределении, соответствующий квазиупругому рассеянию ${}^9\text{Be}(p, p')n$ на восьминуклонном кластере ${}^8\text{Be}$. Обнаружение этого пика подтверждает модель ядра ${}^9\text{Be}$, в рамках которой ядро состоит из твердого кора, подобного ядру ${}^8\text{Be}$, и слабосвязанного с ним нейтрона [*].

[*] - В. Чавчанидзе, "К теории ядра бериллия", Успехи Физических Наук (УФН), Том. 43, Вып. 1, стр. 106-119 (1951)

ω – абсолютная величина разницы энергии зарегистрированного вторичного протона и энергии последнего, вычисленной для упругого рассеяния протона на ядре ${}^9\text{Be}$.

Импульсное распределение вторичных протонов в реакции (p, p') с ядром ${}^9\text{Be}$ при энергии 1 ГэВ и угле рассеяния 24.5°

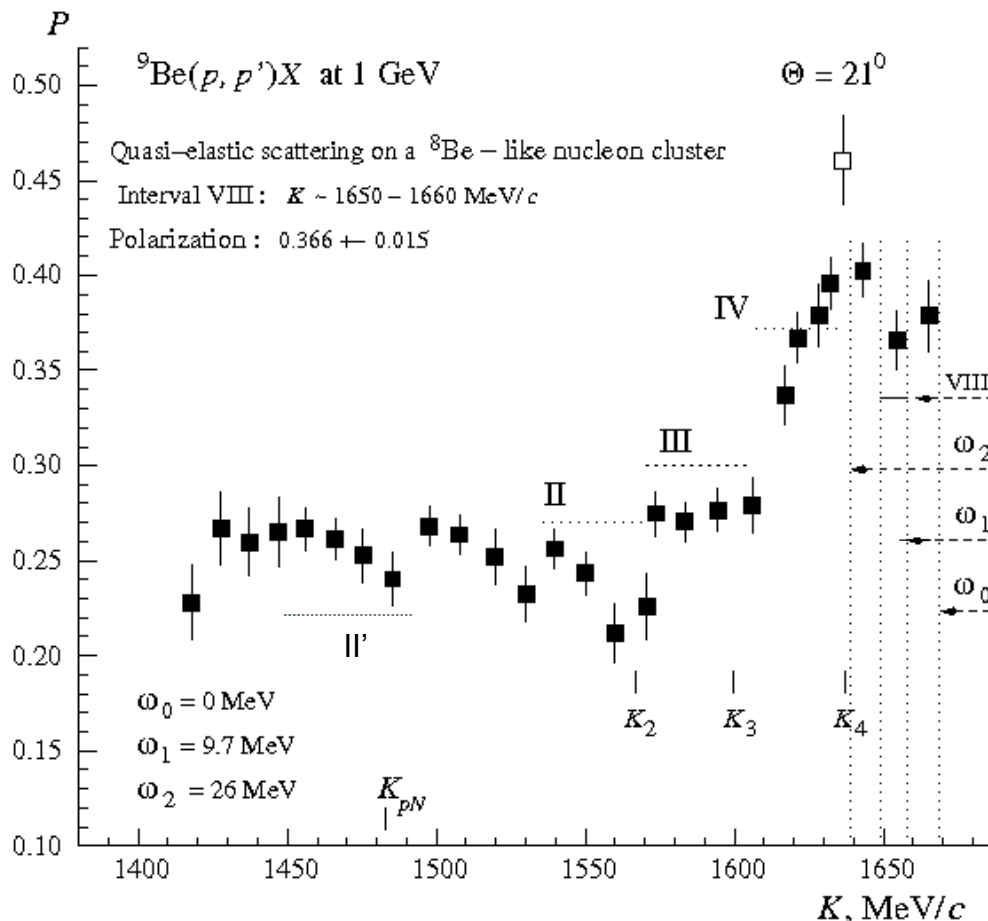
O.V. Miklukho et al., arXiv:2102.04109v1 [nucl-ex] 8 Feb 2021



ω – абсолютная величина разницы энергии зарегистрированного вторичного протона и энергии последнего, вычисленной для упругого рассеяния протона на ядре ${}^9\text{Be}$.

Результаты исследования поляризации вторичных протонов в реакции (p, p') с ядром ${}^9\text{Be}$ при энергии 1 ГэВ и угле рассеяния 21°

O.V. Miklukho et al., arXiv:2102.04109v1 [nucl-ex] 8 Feb 2021

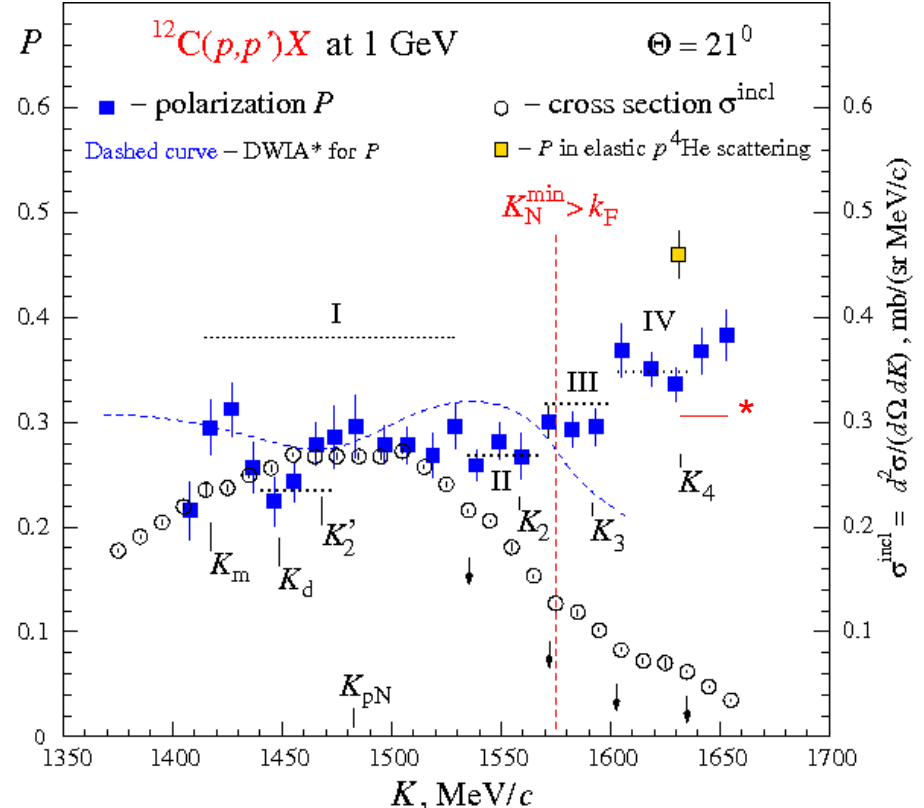


Впервые измерена (VIII) поляризация вторичных протонов в упругом рассеянии на твердом ядре (${}^8\text{Be}$) ядра ${}^9\text{Be}$.

ω – абсолютная величина разницы энергии зарегистрированного вторичного протона и энергии последнего, вычисленной для упругого рассеяния протона на ядре ${}^9\text{Be}$.

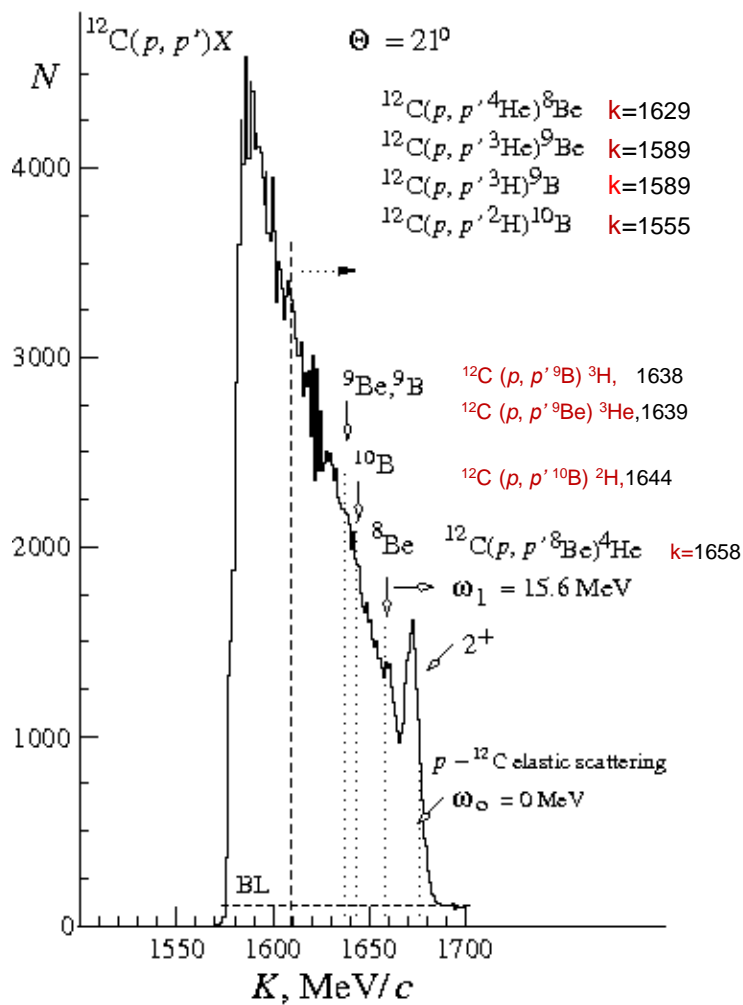
Результаты исследования ядра ^{12}C , (p, p')-эксперименты при угле рассеяния $\Theta = 21^\circ$ ($Q \sim 600 \text{ МэВ}/c$)

O.V. Miklukho et al., Phys.Atom.Nucl. **80**, 299 (2017); J. Phys.: Conf. Ser. **938**, 012013 (2017)

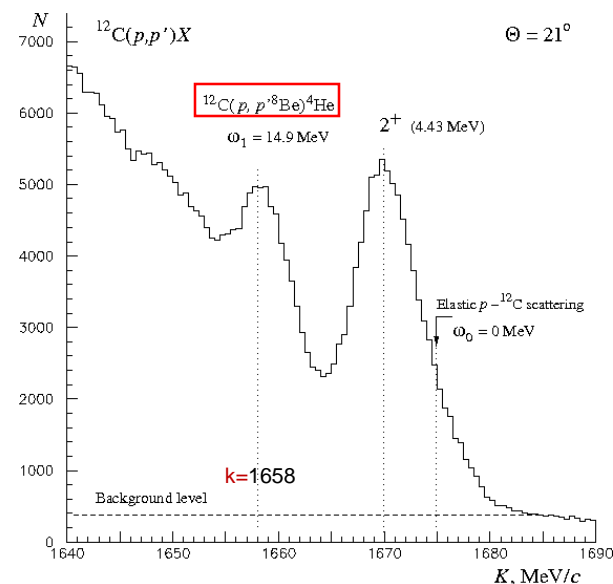


Наблюдена структура в поляризации и сечении рассеяния (импульсные интервалы II, III и IV), возможно связанная с упругим рассеянием на ядерных частицах с массой существенно большей, чем масса нуклона. Эти частицы имеют массы, близкие к массам двух-, трех- и четырехнуклонных легких ядер ^2H (II), ^3He , ^3H (III), ^4He (IV). **Наблюдается рост поляризации в области импульсов рассеянных протонов *, превышающих импульс, соответствующий концу интервала IV.**

Импульсные спектры вторичных протонов в инклюзивной реакции (p, p') с ядром ^{12}C , измеренные при угле рассеяния 21° .

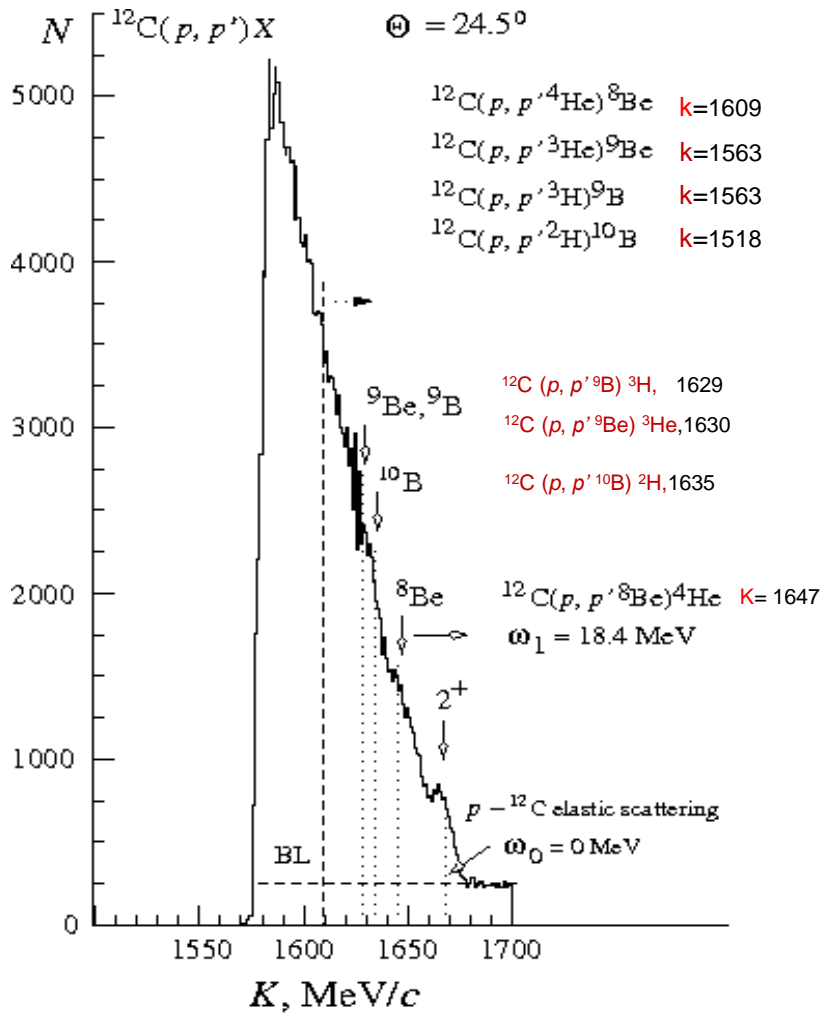


O.V. Miklukho et al., arXiv:2102.04109v1 [nucl-ex] 8 Feb 2021

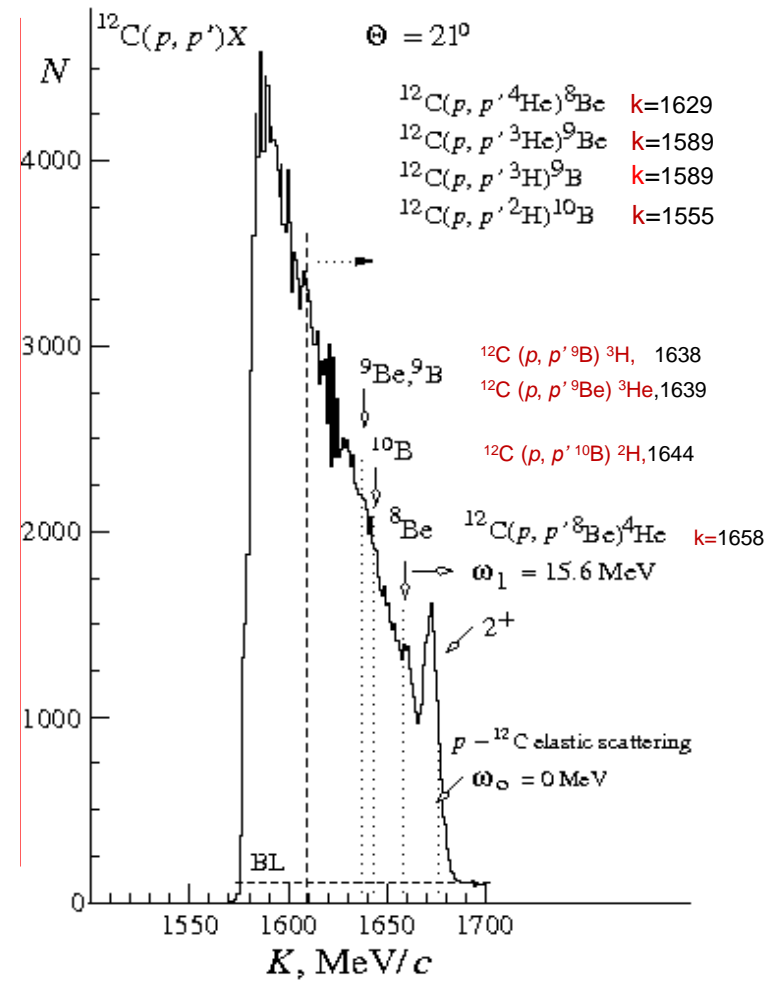


Пик ($k=1658 \text{ МэВ/с}$) смещается при переходе к рассеянию под углом 24.5° в согласии с кинематическими расчетами ($k=1647 \text{ МэВ/с}$).

O.V. Miklukho et al., arXiv:2102.04109v1 [nucl-ex] 8 Feb 2021



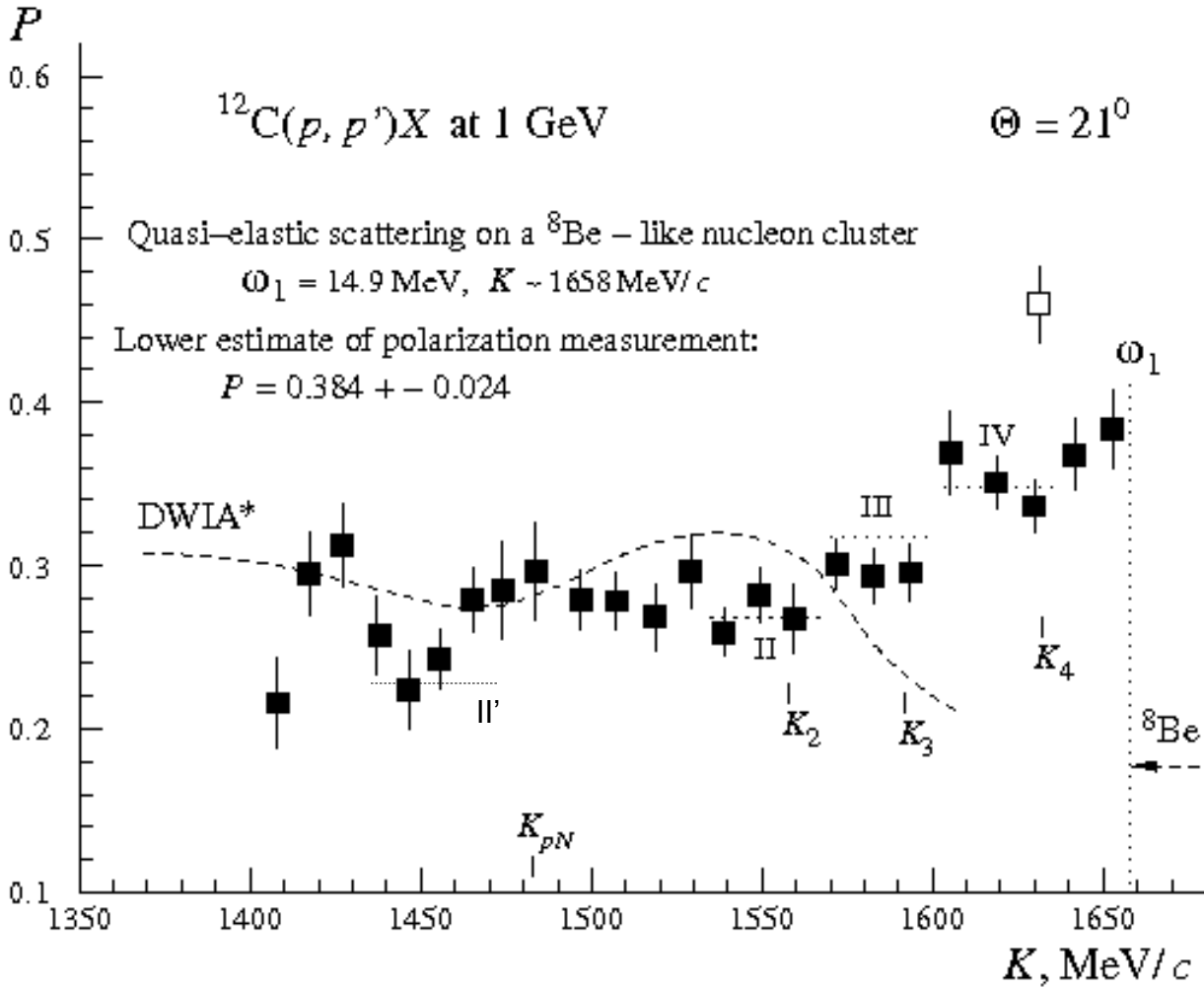
$2^+ \ ^{12}\text{C}(p, p')^{12}\text{C}^*, k=1663 \text{ MeV}/c; \text{ ES: } k=1668 \text{ MeV}/c$



$2^+ \ ^{12}\text{C}(p, p')^{12}\text{C}^*, k=1670 \text{ MeV}/c; \text{ ES: } k=1675 \text{ MeV}/c$

Структура в поляризации рассеянных протонов в инклюзивной реакции (p, p') с ядром ^{12}C при энергии 1 ГэВ

O.V. Miklukho et al., arXiv:2102.04109v1 [nucl-ex] 8 Feb 2021



СПАСИБО за ВНИМАНИЕ !