

Исследование реакции $p + A \rightarrow p' + X$ на ядрах

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 двухплечевого магнитного спектрометра на синхроциклотроне ФГБУ «ПИЯФ»

Участники экспериментов 2013 - 2015 годов

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

План доклада

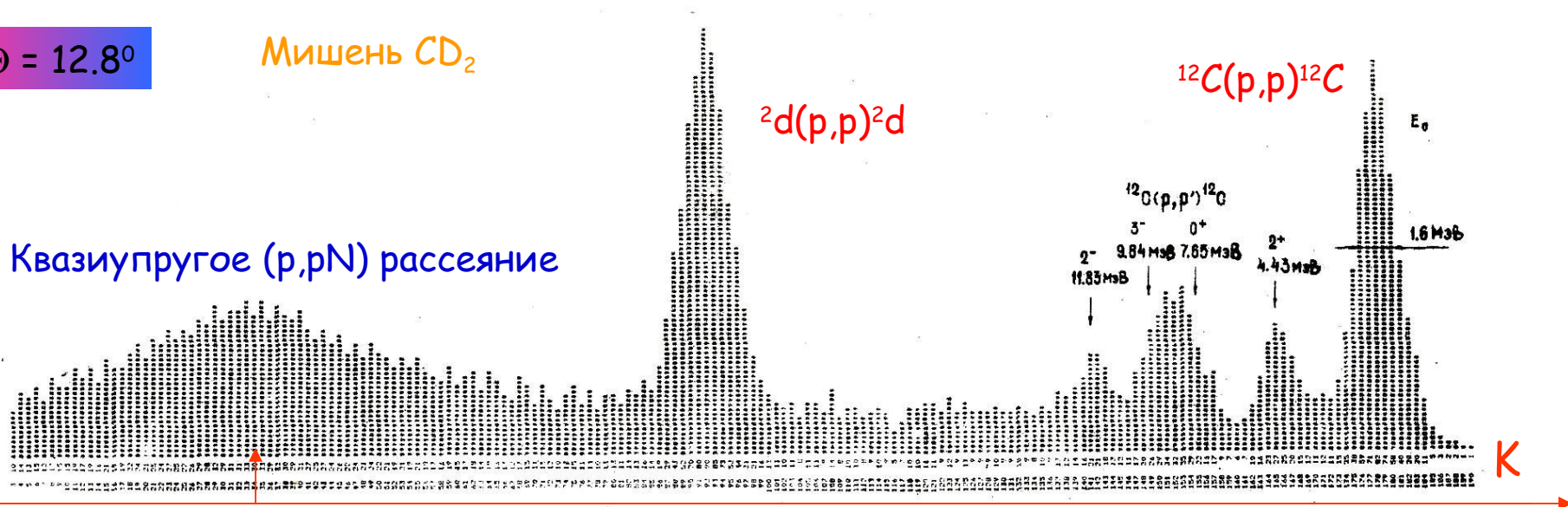
- Цели исследований
- Методика эксперимента
- Результаты исследований
- Экспериментальные планы

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

$\Theta = 12.8^\circ$

Мишень CD_2

Квазиупругое (p,pN) рассеяние



2^+ (4.43 MeV), 0^+ (7.85 MeV), 3^- (9.84 MeV), 2^- (11.83 MeV)

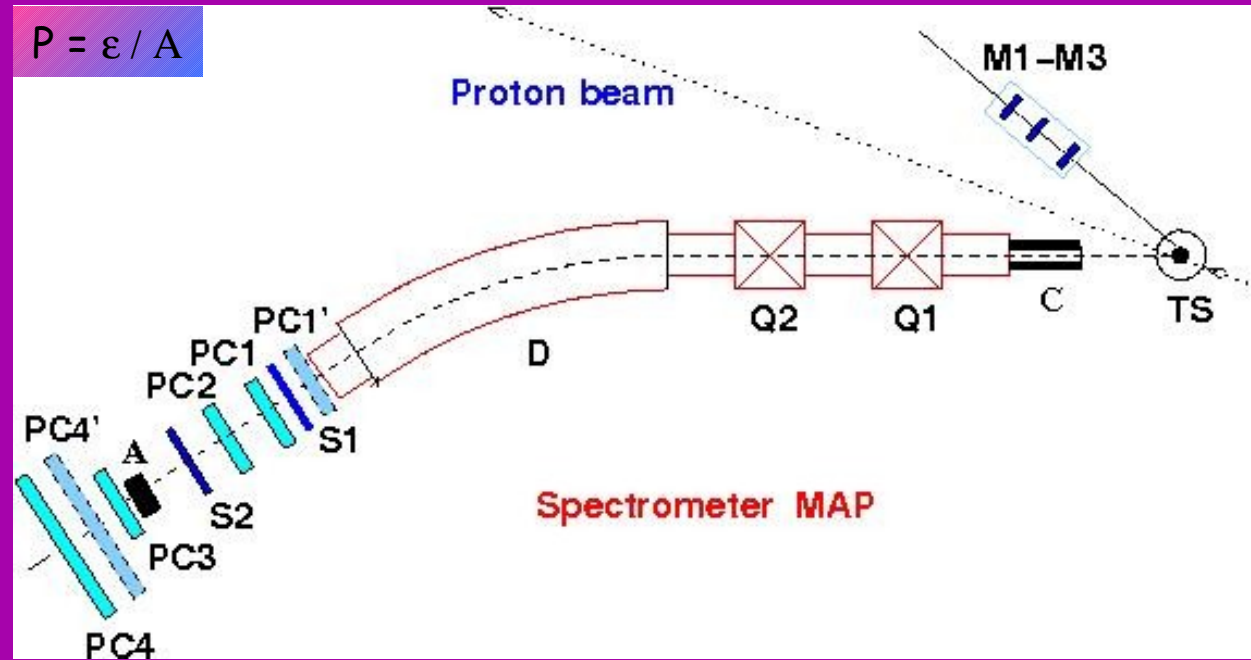
Цель работы : Измерение поляризации и дифференциальных сечений в реакции $p + A \rightarrow p' + X$ при энергии 1 ГэВ на ядрах в широкой области импульсов вторичных протонов K , включая область, в которой существенно подавлен вклад от рассеяния на отдельных ядерных нуклонах. Измерения осуществляются в узких интервалах импульсов $\Delta K \sim 10$ МэВ/с с шагом по $K \sim 10$ МэВ/с.

Кинематика : Угол рассеяния $\Theta = 21^\circ$. В области $K > K_{\max}$, где K_{\max} (~ 1480 МэВ/с) соответствует максимуму квазиупругого пика в pN - рассеянии, переданный ядру импульс Q практически не меняется (600 МэВ/с) и несколько больше удвоенного импульса Ферми ($K_F \sim 250$ МэВ/с). В области $K > \sim 1580$ МэВ/с минимальное значение импульса ядерного нуклона превышает величину K_F и вклад от рассеяния на ядерных нуклонах подавлен.

Experimental setup

2013

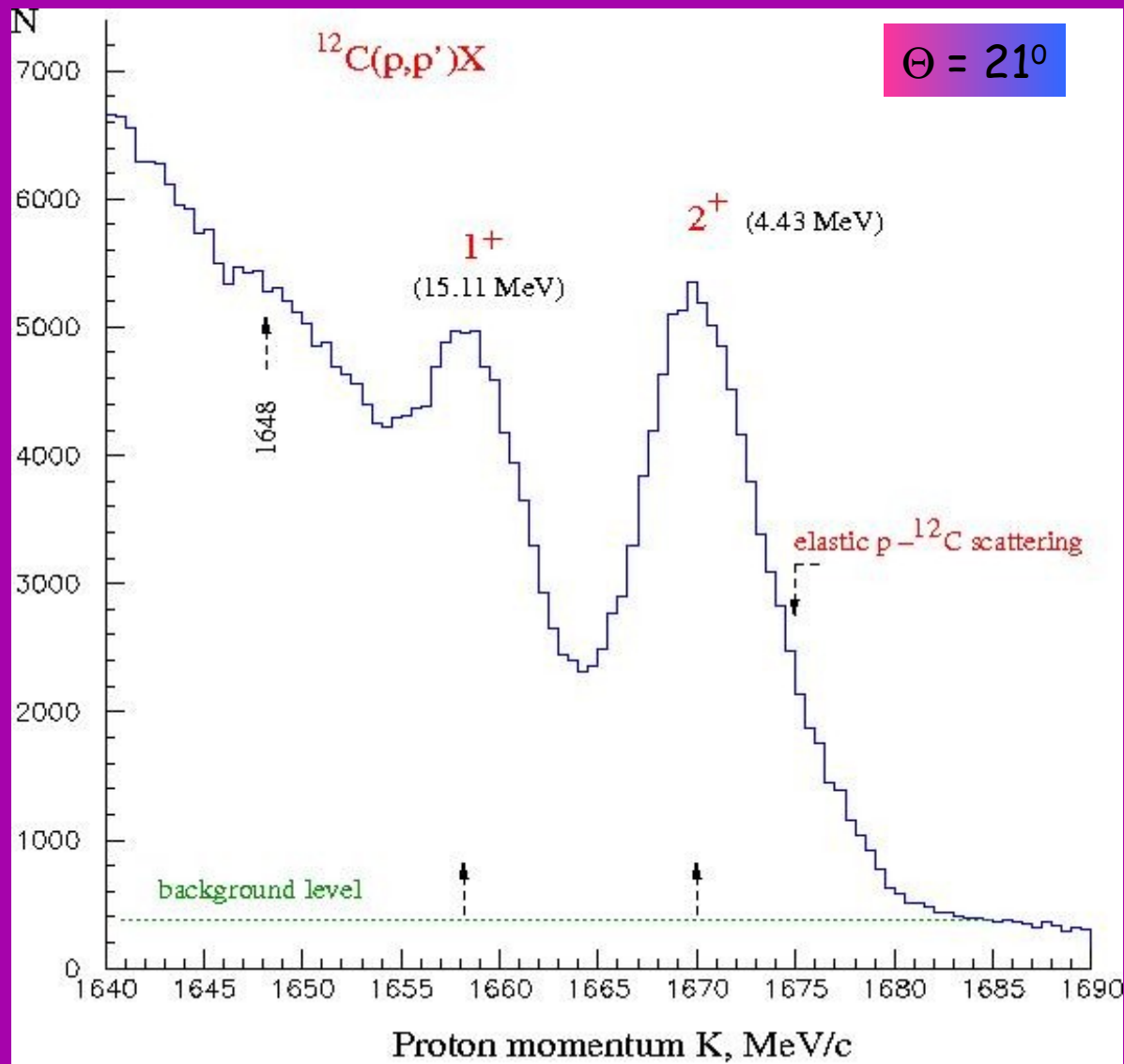
Main parameters of the MAP polarimeter	
Carbon block thickness, [mm]	155
Polar angular range, [deg]	3 – 16
Average analyzing power	> 0.2
Efficiency, [%]	~ 4



Target	Dimensions [mm]	Isotope concentration
	thickness x width x height	[%]
CH ₂	4.0 x 10 x 70	98.9
C	4.0 x 10 x 70	
CH ₂ foil	0.1 x 4 x 10	
¹² C	4.0 x 7 x 10	98.9
⁴⁰ Ca	4.0 x 7 x 10	97.0

Main parameters of the magnetic spectrometer MAP	
Maximum particle momentum K, [GeV/c]	1.7
Horizontal angle acceptance $\Delta\theta_H$, [deg]	0.8
Vertical angle acceptance $\Delta\theta_V$, [deg]	1.9
Solid angle acceptance Ω , [sr]	4.0×10^{-4}
Dispersion in the focal plan Df, [mm/%]	22.0
Momentum acceptance $\Delta K/K$, [%]	8.0
Momentum resolution (FWHM), [MeV/c]	~ 5.5

CH₂, C → $\Theta = 13.5^\circ, 16^\circ, 18.5^\circ, 21^\circ, 23^\circ$



$1^+ \rightarrow$ R.D. Viollier, Annals of Physics 93, 335-368 (1975).

Этапы исследований :

Эксперимент 2013 - Декабрь : Измерены поляризация и сечение в рассеянии на ^{12}C , ^{40}Ca .

2014 Декабрь - получены данные по поляризации для ядер ^{40}Ca , ^{12}C .

Эксперимент 2015 - Февраль : Исследованы ядра ^{28}Si , ^{56}Fe .

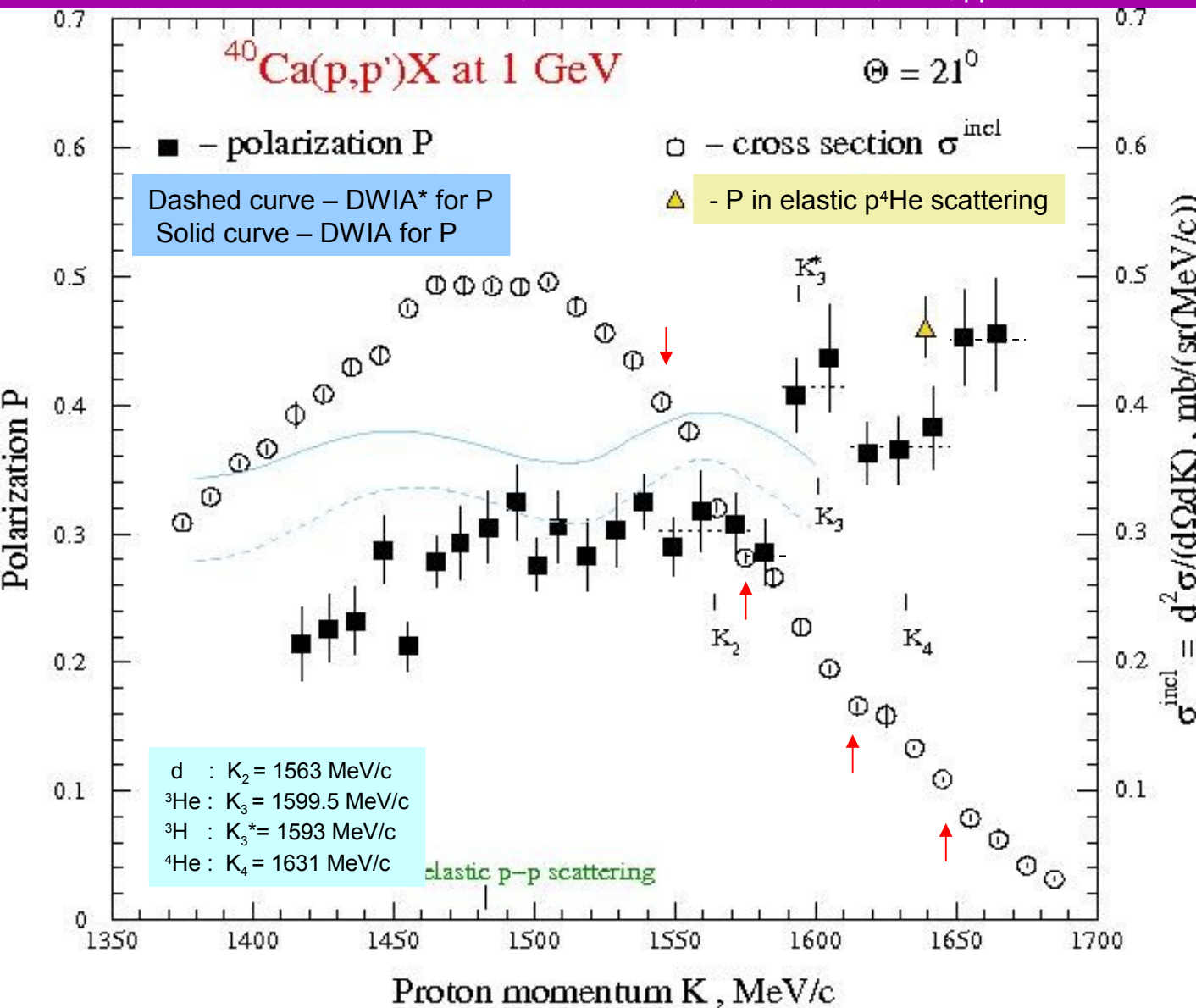
Публикация 2015 - Август :

O.V. Miklukho et al., "Observation of a polarization structure in inelastic $^{40}\text{Ca}(p, p')X$ reaction at 1 GeV", JETP Letters, 2015, Vol. 102, No. 1, pp. 11-13.

2015 - Сентябрь : получены данные по сечениям реакции для ядер ^{40}Ca , ^{12}C .

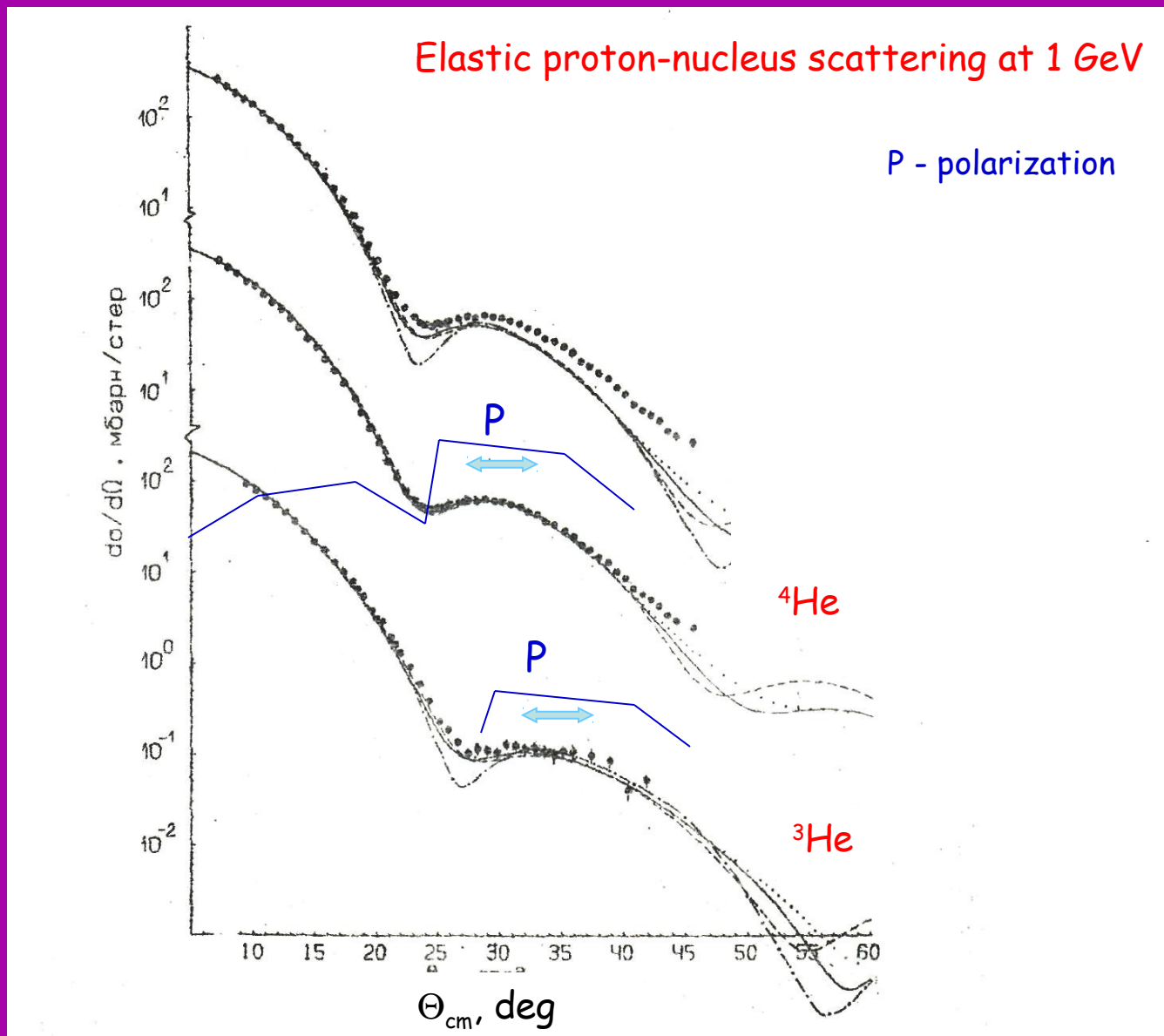
2015 - Ноябрь : получены предварительные данные по поляризации для ядер ^{28}Si , ^{56}Fe и ^{40}Ca (добавочная статистика - 2015 -Февраль).

Эксперимент 2015 - Декабрь : Исследованы ядра ^9Be , ^{90}Zr .

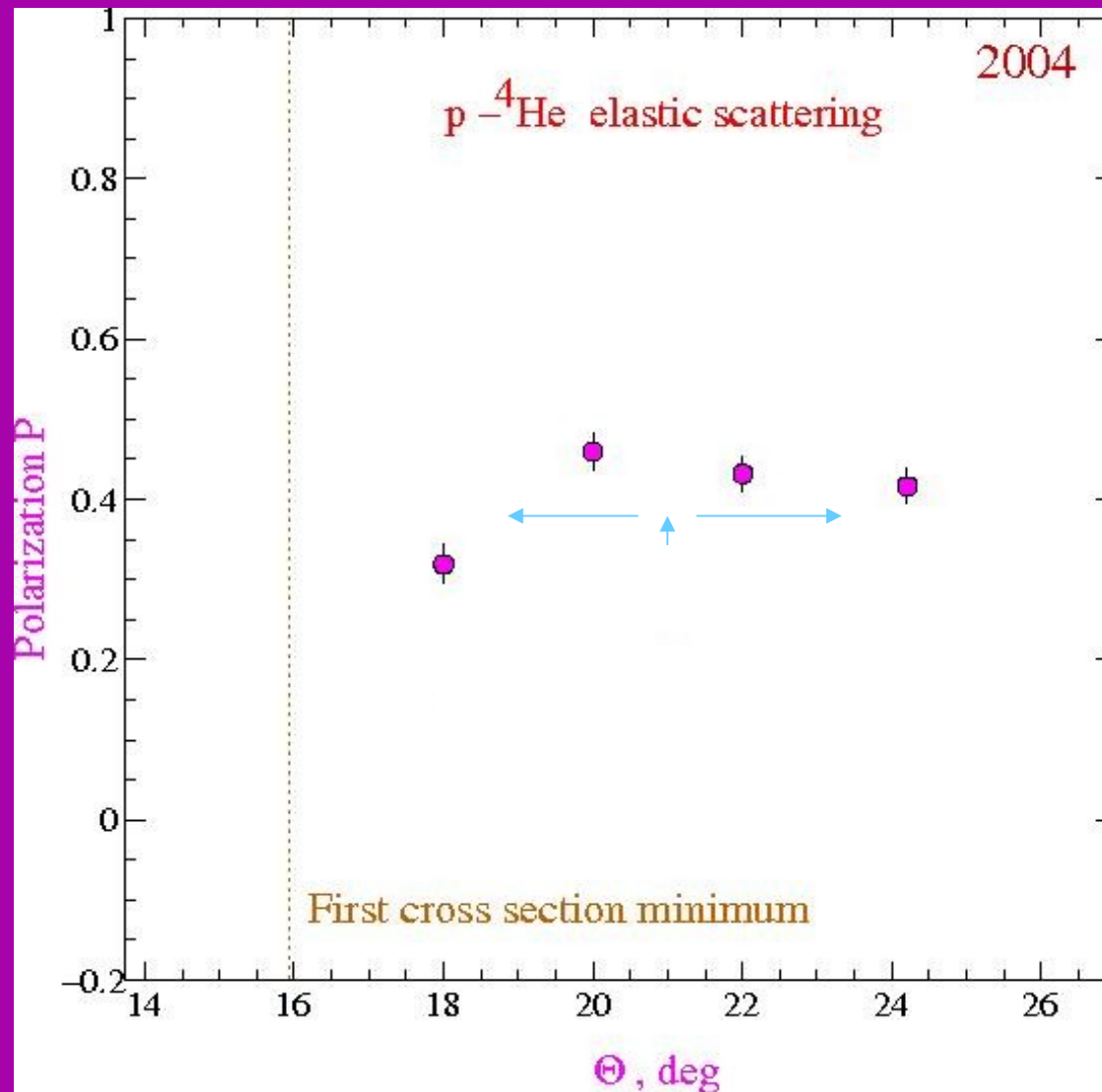


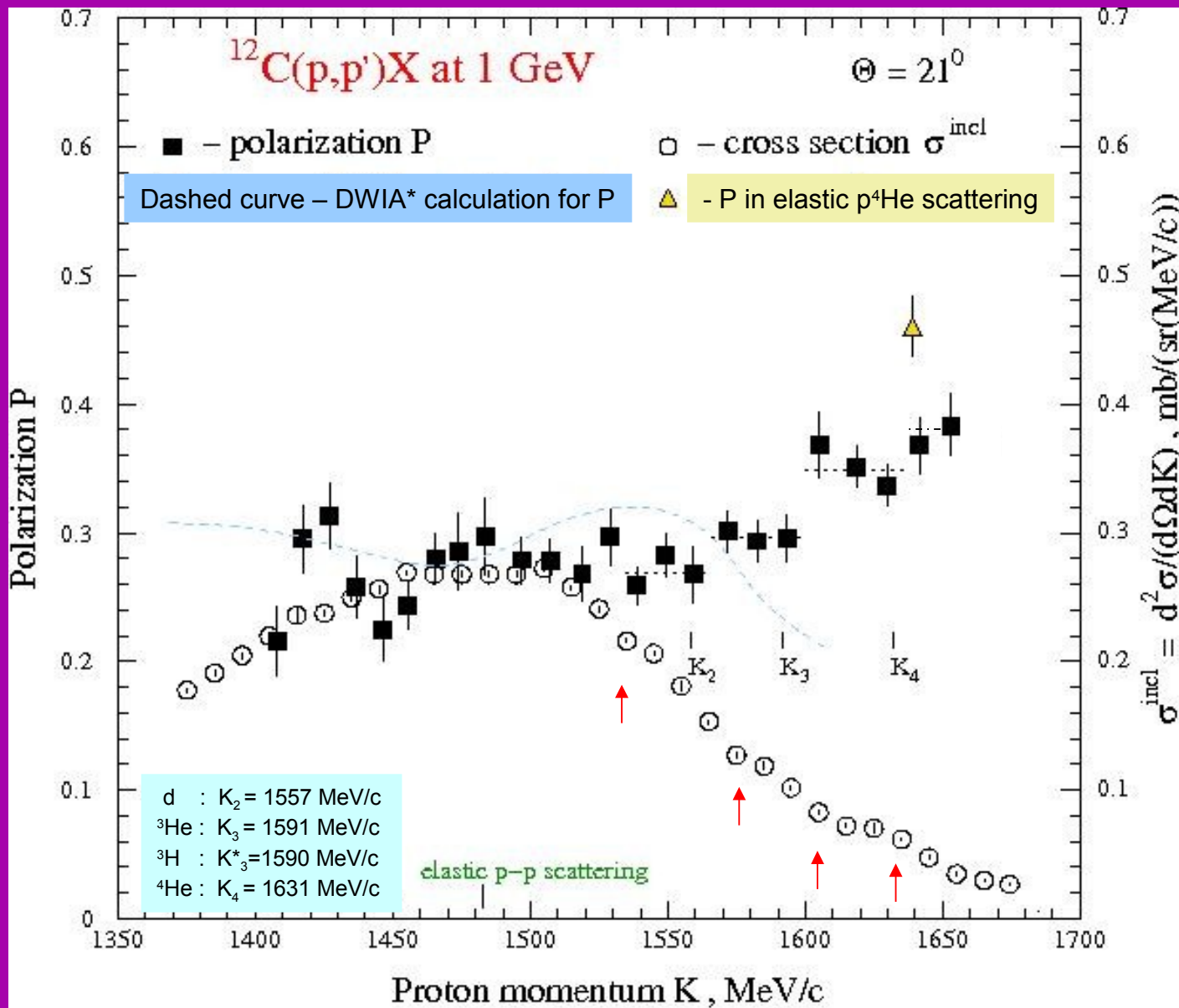
Вычисление K :

1. Остаточное ядро в основном состоянии.
2. Корреляция покоится.
3. Масса корреляции - масса свободного простейшего ядра (d, ³He(³H), ⁴He).



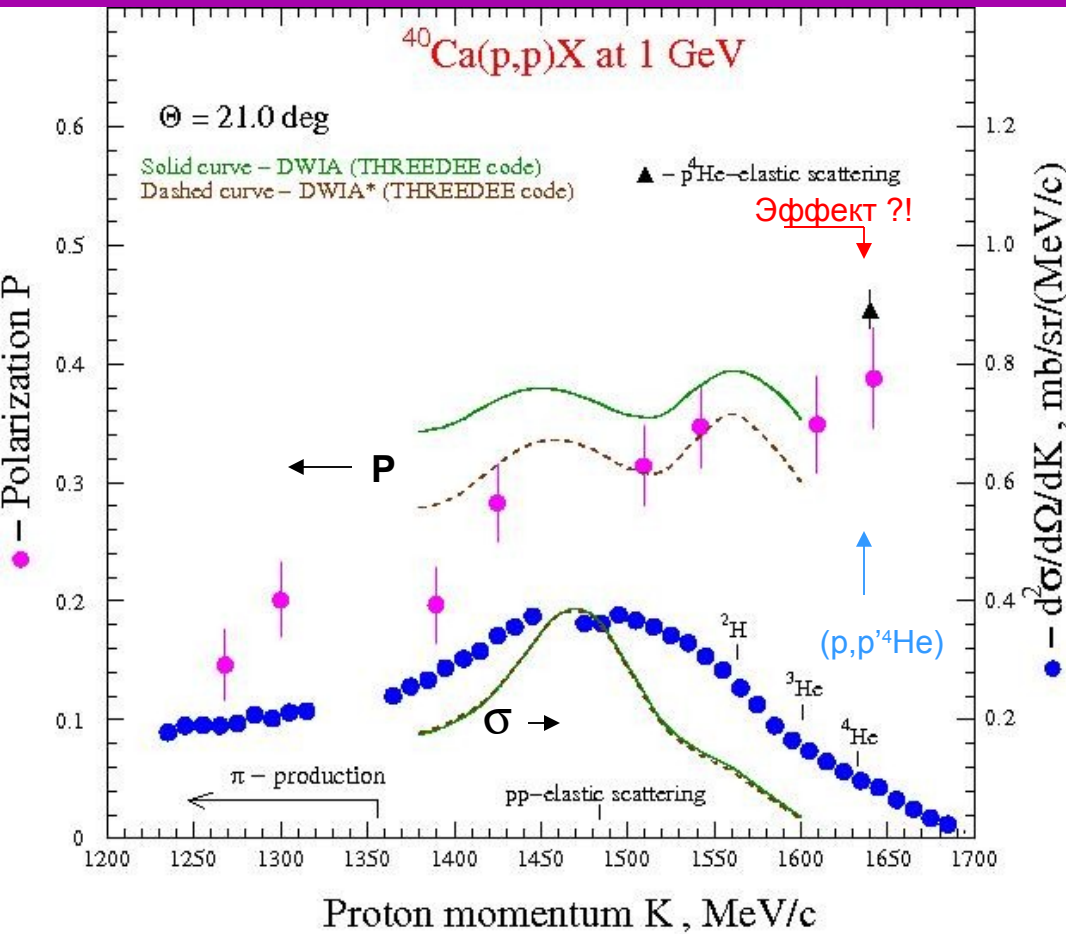
O.V. Miklukho et al., Phys.Atom.Nucl. 63, 474 (2006)



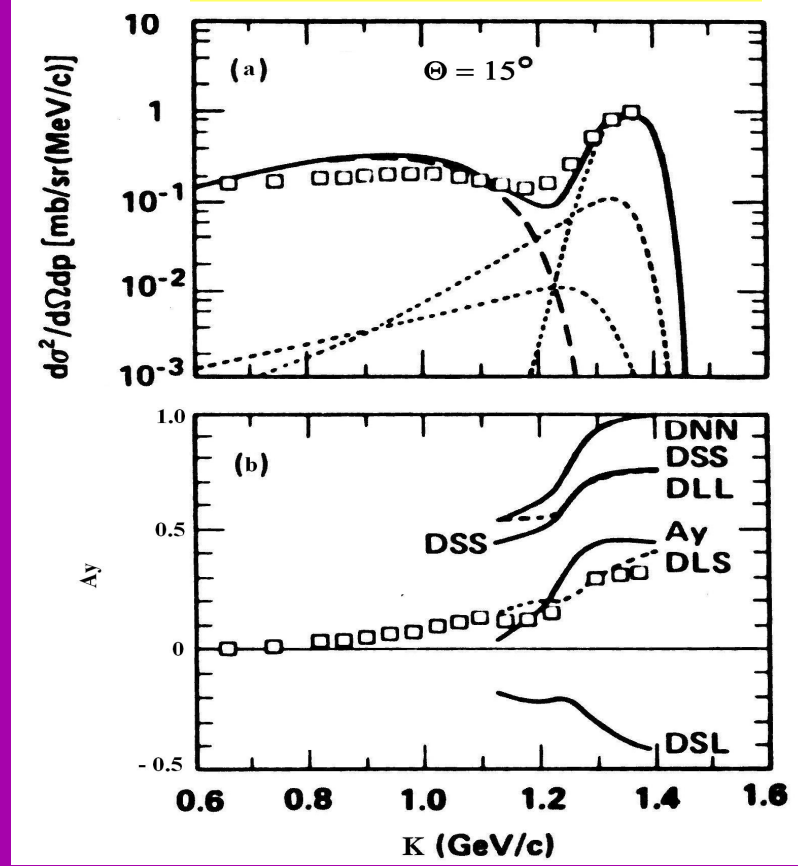


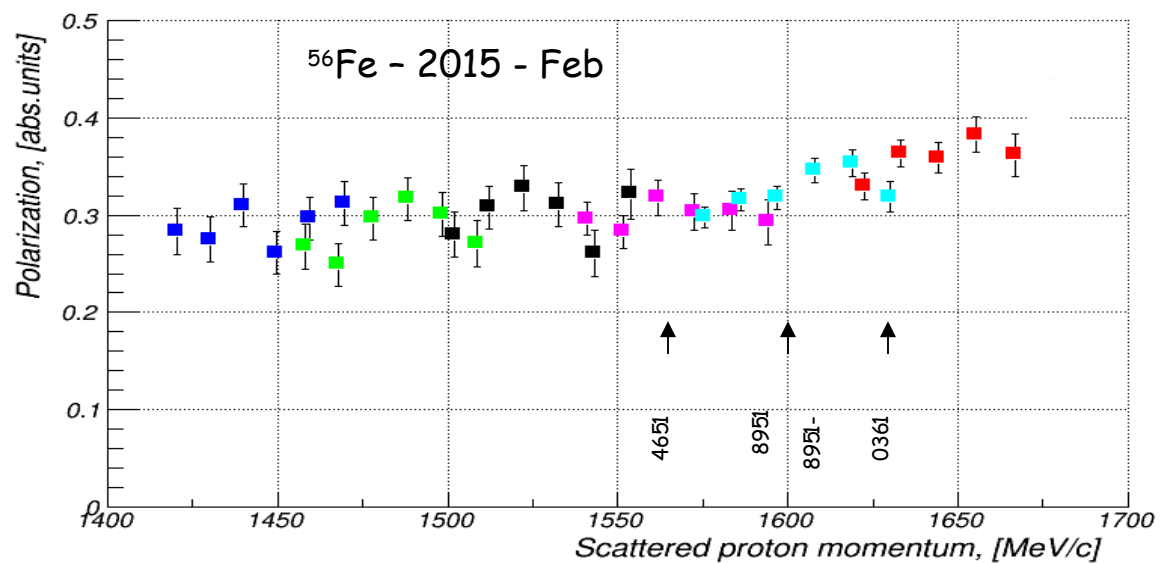
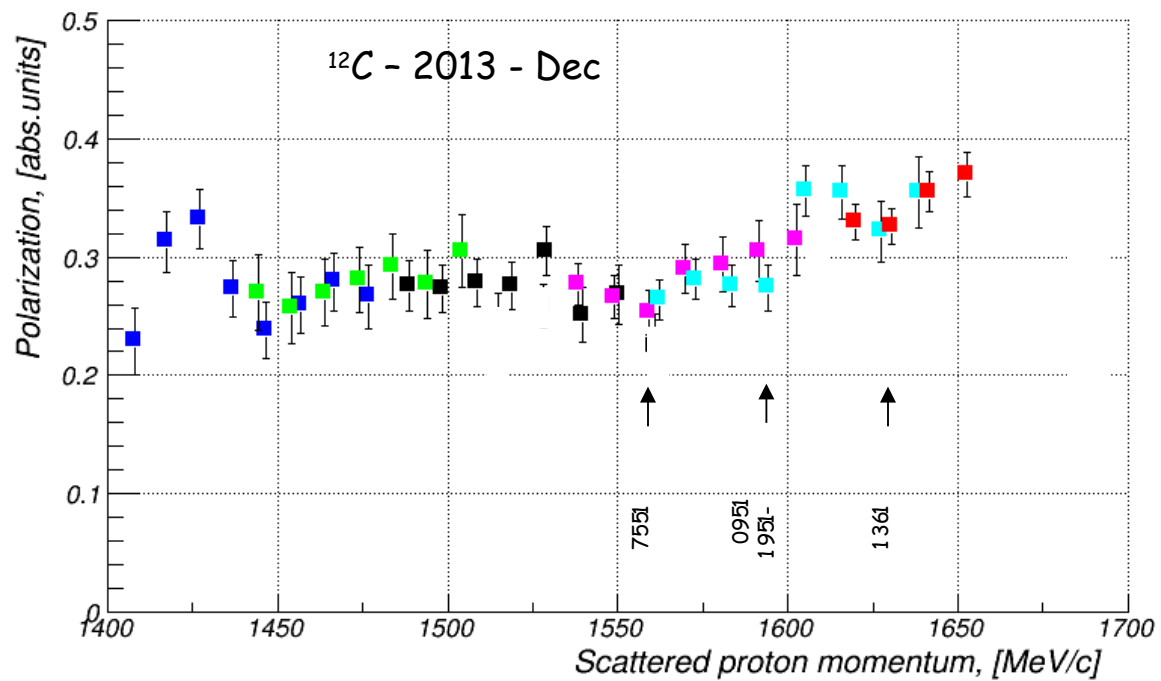
O.V. Miklukho et al., arXiv: 1103.6113v1 [nucl-ex] 31 Mar 2011

R.D.Smith and J.Wallace, PRC (1985) 1654



$p+C \rightarrow p+X$, 800 MeV, LAMPF





Наблюдения :

- * Поляризация в реакции $p + A \rightarrow p' + X$ с ядрами ступенчато растет в области импульсов вторичных протонов $\sim 1540 < K < \sim 1670$ МэВ/с, где при $K > \sim 1580$ МэВ/с рассеяние на ядерном нуклоне подавлено.

Возможно, что такое поведение поляризации связано с рассеянием на нуклонных корреляциях, образующихся из двух, трех и четырех нуклонов. При этом ширина ступеньки в поляризации ΔK обусловлена движением корреляции в ядре. Движение корреляций расширяет угловой горизонтальный захват спектрометра ($\Delta\Theta \sim 0.8^\circ$) и позволяет увидеть угловое распределение поляризации в упругом рассеянии на них в ядерной среде.

- * Наблюдаются замедления в спаде сечений от импульса. Точки замедления совпадают с границами изменения поляризации (ступенек), соответствующими рассеянию на различных нуклонных корреляциях.
- * Поляризация в рассеянии на четырехнуклонных корреляциях меньше, чем в рассеянии на свободном ${}^4\text{He}$. Относительный сброс поляризации при этом близок к относительному сбросу поляризации в протон - нуклонном рассеянии, предсказанном в рамках DWIA и DWIA* (с учетом влияние ядерной среды).

Заключение :

Результаты экспериментов указывают на рассеяние в ядре на частицах с массой большей, чем масса нуклона.

Какова природа этих частиц?

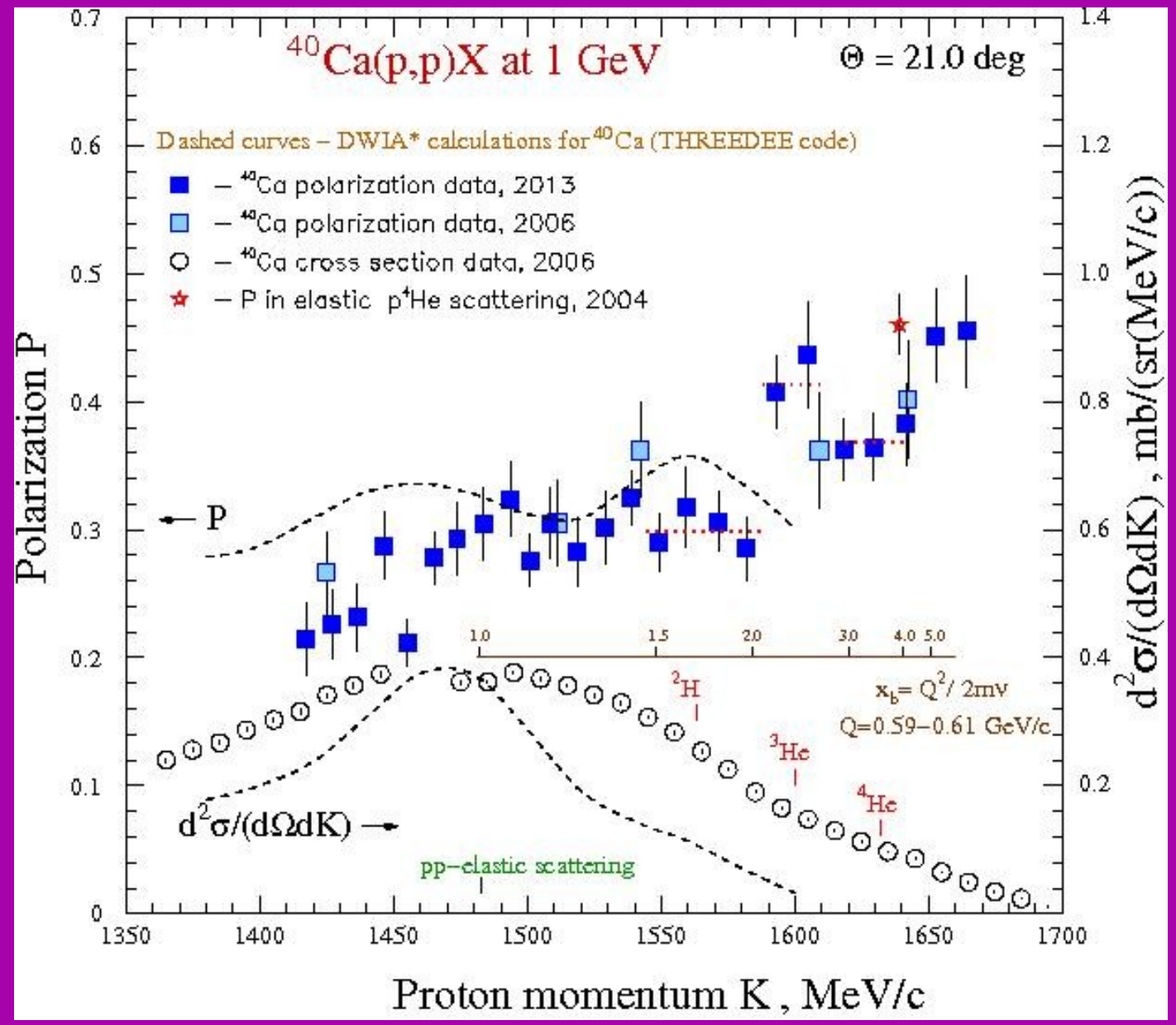
Возможно это короткодействующие нуклонные корреляции, которые обнаружены в SLAC и JLAB на лептонных пучках. Эти частицы обусловлены флуктуациями ядерной плотности.

Экспериментальные планы :

Измерения на ядрах ${}^9\text{Be}$, ${}^{12}\text{C}$, ${}^{40}\text{Ca}$ под углом рассеяния $\Theta = 26^\circ$.

Кинематика : Переданный импульс $Q \sim 750 \text{ МэВ/с}$
($Q > \sim 3 K_F$).

Back Slides



Observations :

Some momentum intervals can be selected where polarization and cross section have specific behavior:

Ca data : interval (MeV/c) **II -> 1545 - 1575; III -> 1575 - 1610; IV -> 1610 - 1645; V -> K > 1645.**

C data : interval (MeV/c) **II -> 1535 - 1565; III -> 1565 - 1600; IV -> 1600 - 1635; V -> K > 1635.**

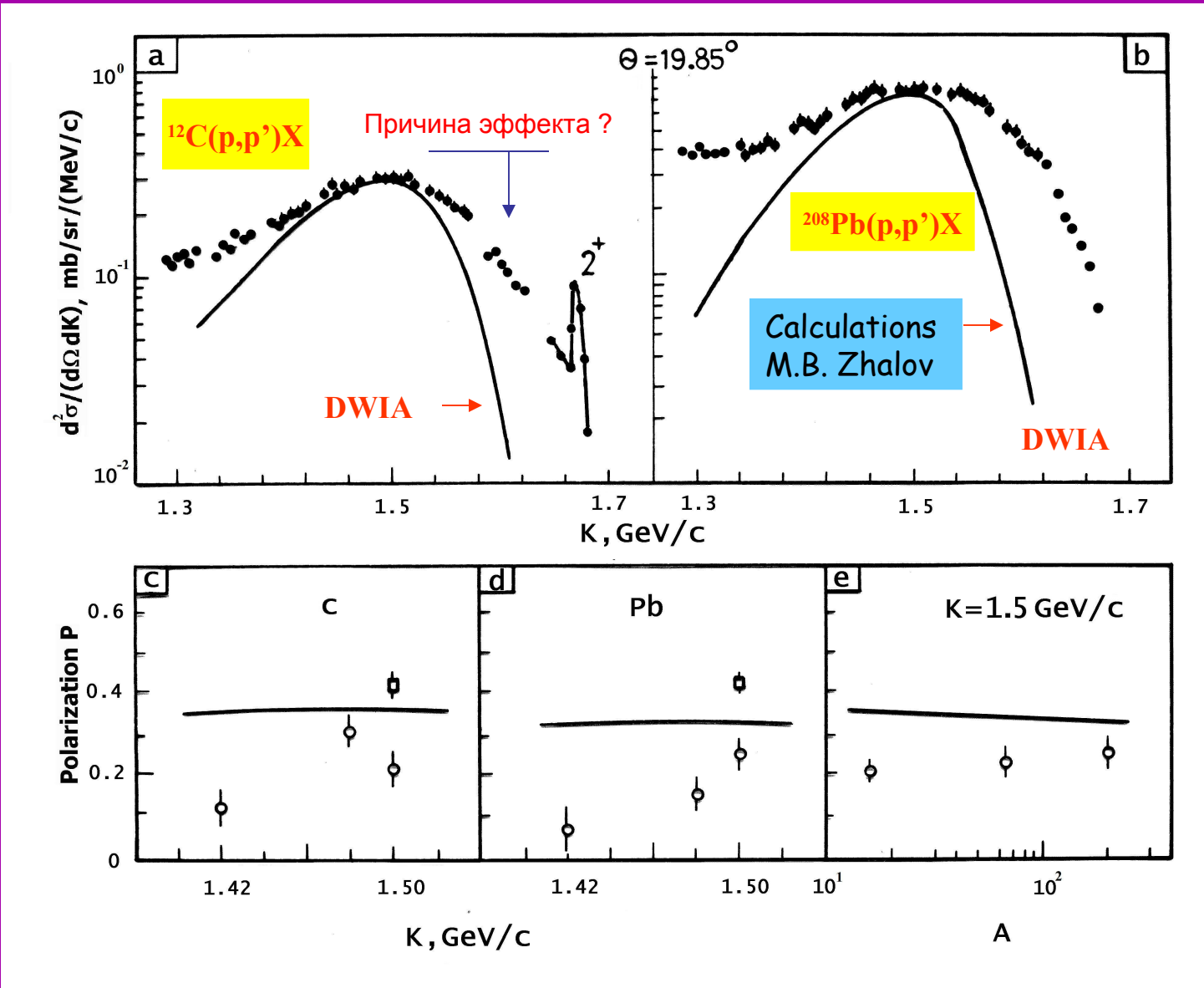
- Polarization in all intervals (excluding the III for Ca data) is practically constant. An averaged value of the polarization is different in these intervals.

- In the intervals we observe slowing the scattering cross section followed by a rapid drop of the latter. The minimum rate of decrease is reached in the beginning of an interval.

- The width of a momentum interval is defined by a motion of the correlation in nucleus. Due to this the effective angular acceptance in the ranges II, III, IV is increased up to $\sim \pm 1.2^\circ, \pm 1.7^\circ, \pm 2.3^\circ$.

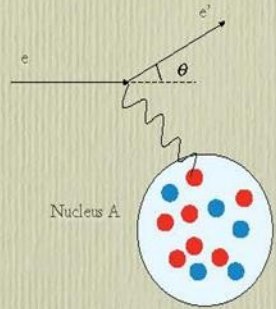
Maximal value of the correlation momentum (energy) in these ranges is ~ 36 MeV/c (0.34 MeV), 50 MeV/c (0.45 MeV), 68 MeV/c (0.62 MeV), respectively.

- Averaged values of the experimental polarization **in the momentum range IV** for Ca and C is close to each other $P_{Ca} = 0.3680 \pm 0.0154$ ($\chi^2 \sim 0.3$ (2)), $P_C = 0.3482 \pm 0.0104$ ($\chi^2 \sim 1.3$ (2)). Averaged value of P_{Ca} and P_C is $P_{IV} = 0.3544 \pm 0.0086$ ($\chi^2 \sim 1.14$ (1)). Polarization P_{IV} differs from that in free elastic p-⁴He scattering due to a modification of the interaction in nuclear medium. The relative difference dP/P is about 0.2. This value close to that obtained in the framework of DWIA and DWIA* for the pN - scattering (0.17).

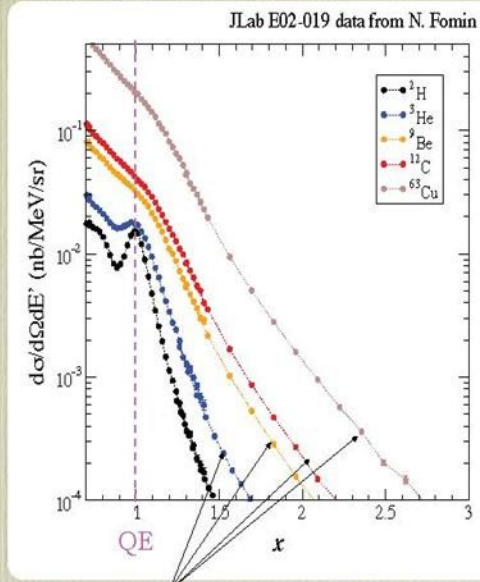


Inclusive scattering at large x

At $x \approx 1$

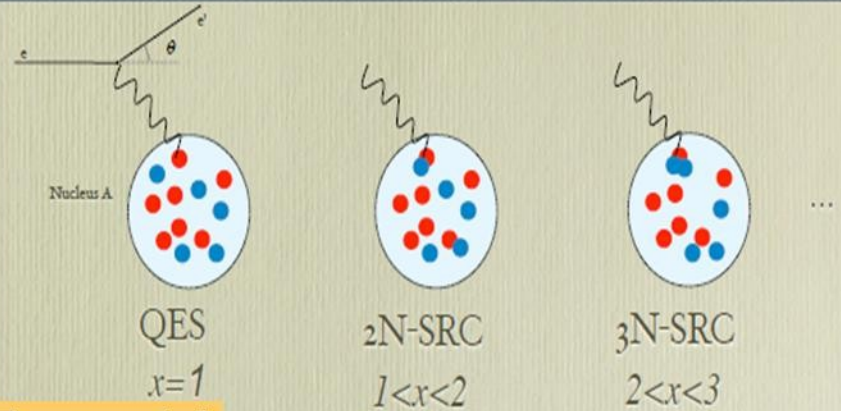


Quasi-Elastic Scattering



High momentum tails should yield constant ratio if seeing SRC

Short Range Correlations



For $x \geq 1.3$

$$\sigma_A(x, Q^2) = \sum_j \frac{A}{j} a_{jN}(A) \sigma_j(x, Q^2)$$

$$= \frac{A}{2} a_{2N}(A) \sigma_2(x, Q^2) + \frac{A}{3} a_{3N}(A) \sigma_3(x, Q^2) + \dots$$

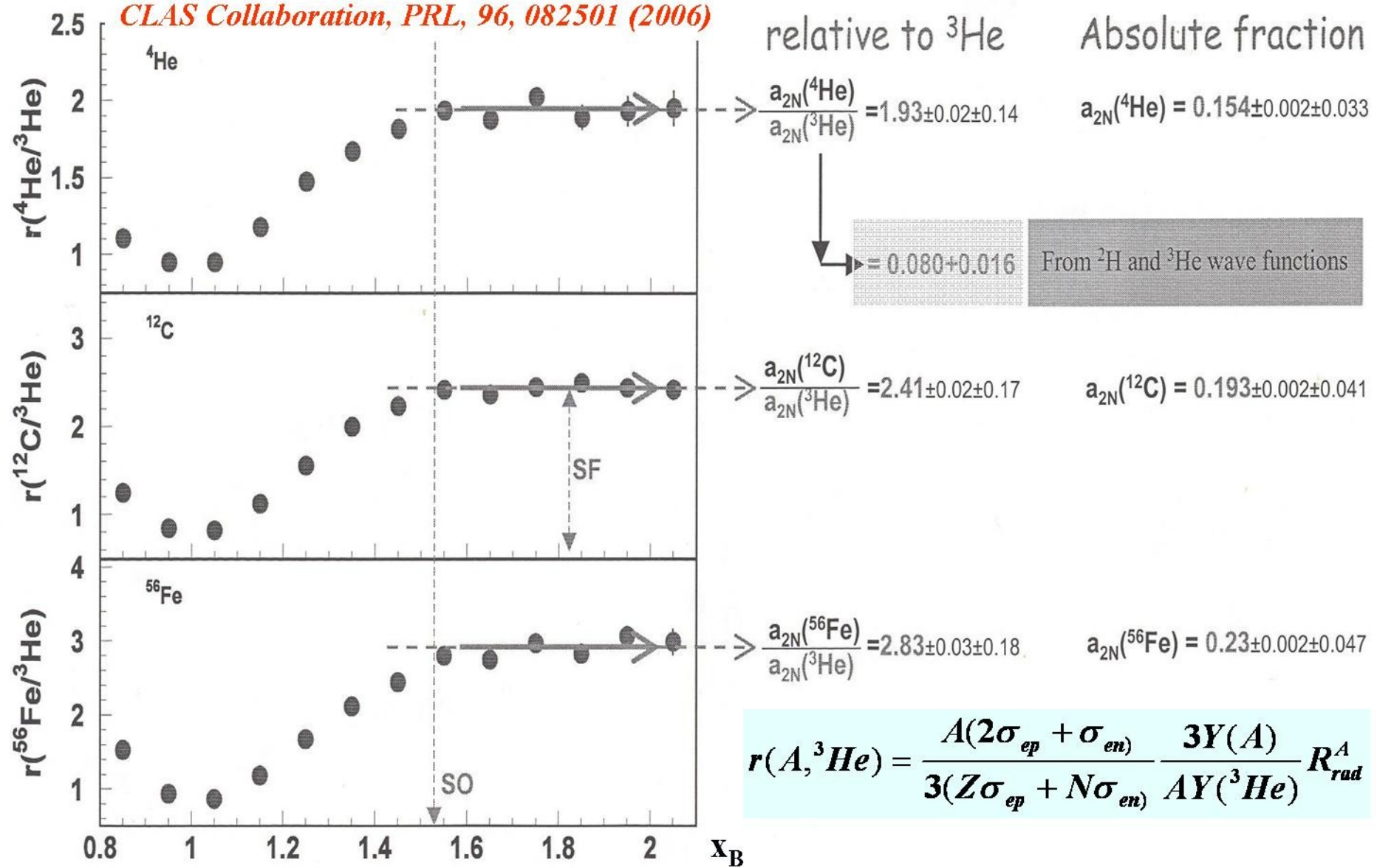
$\sigma_j(x, Q^2)$ - cross section of electron scattering off a j - nucleon correlation

$a_{jN}(A)$ - probability of finding a nucleon in a j - nucleon correlation

Tomas Jefferson National Accelerator Facility

Scattered electron were detected in the CLAS spectrometer
 $A(e,e')$ at ~ 4.6 GeV, $Q^2 \geq 1.4$ GeV², $x_B = Q^2 / 2m_N v \geq 1.3$

CLAS Collaboration, PRL, 96, 082501 (2006)



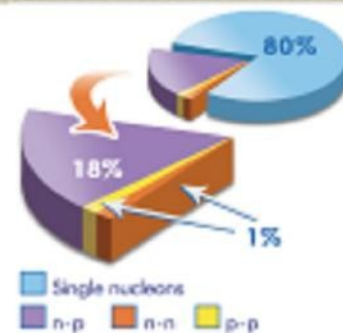
$$r(A, ^3\text{He}) = \frac{A(2\sigma_{ep} + \sigma_{en})}{3(Z\sigma_{ep} + N\sigma_{en})} \frac{3Y(A)}{AY(^3\text{He})} R_{rad}^A$$

Summary

SRCs are an important component to nuclear structure:

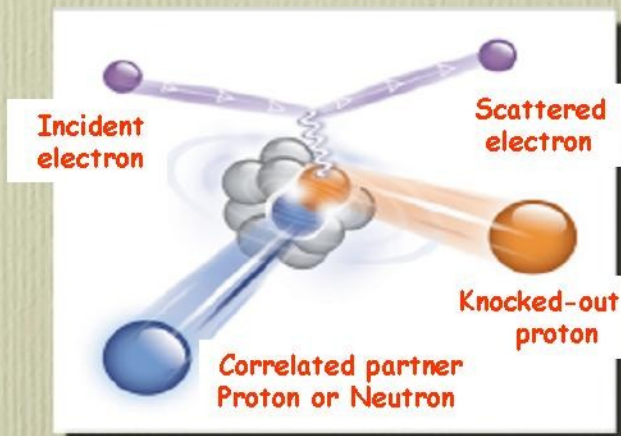
~20% of nucleons in SRC

Very few (~1%) p-p, n-n pairs

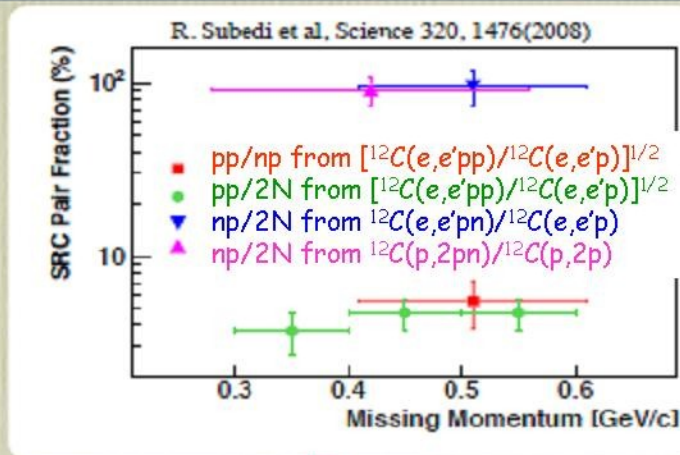


Isospin Symmetry of SRCs ?

Two-nucleon knock-out experiment

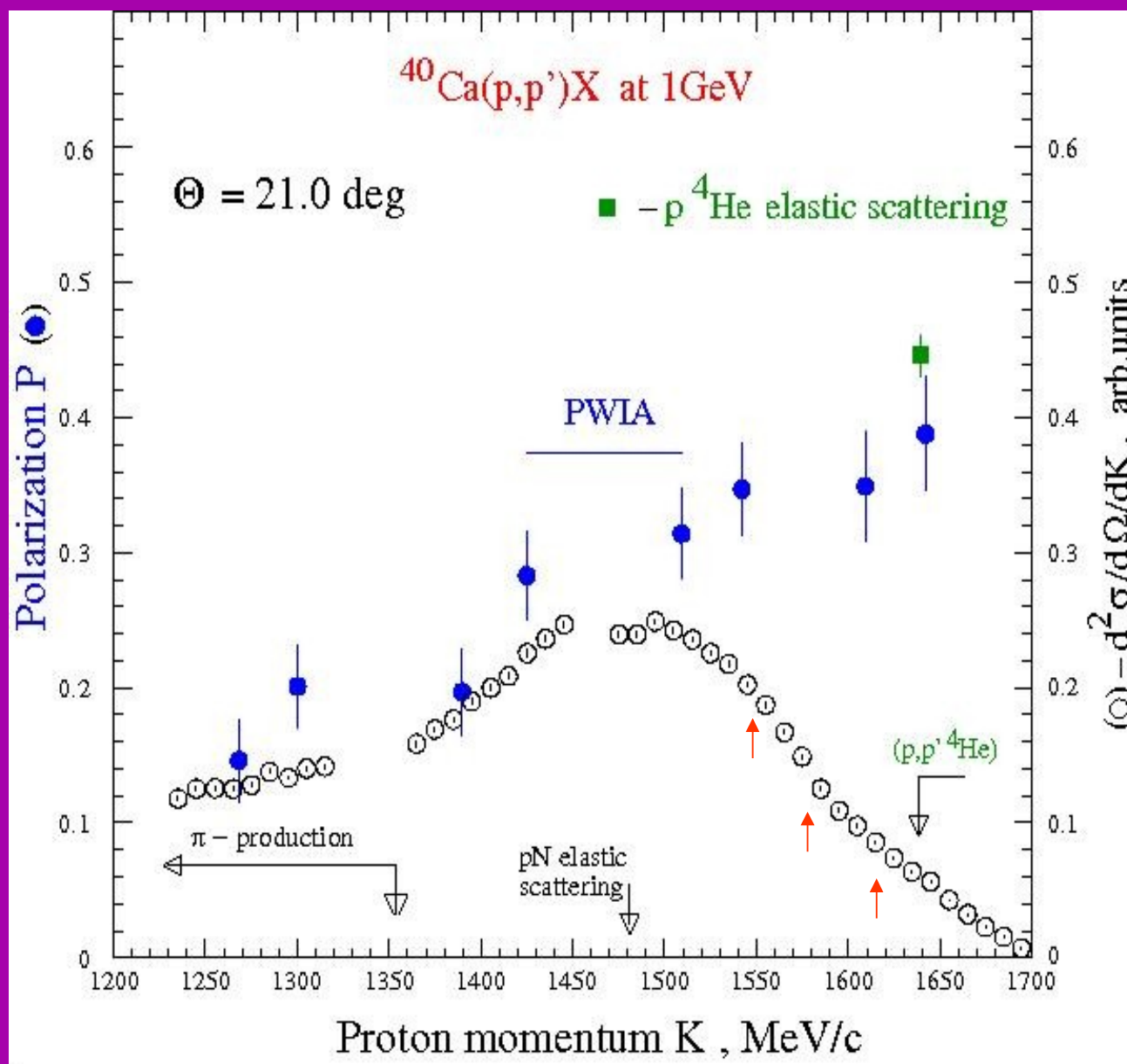


Simple SRC model assumes isospin independence



Data show large asymmetry between np, pp pairs:
Qualitative agreement with calculations; effect of tensor force
Huge violation of often assumed isospin symmetry

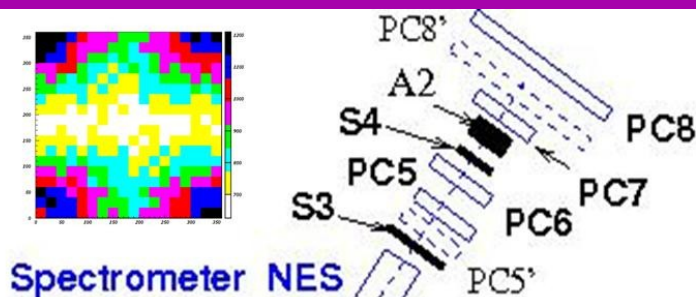
Tomas Jefferson National Accelerator Facility



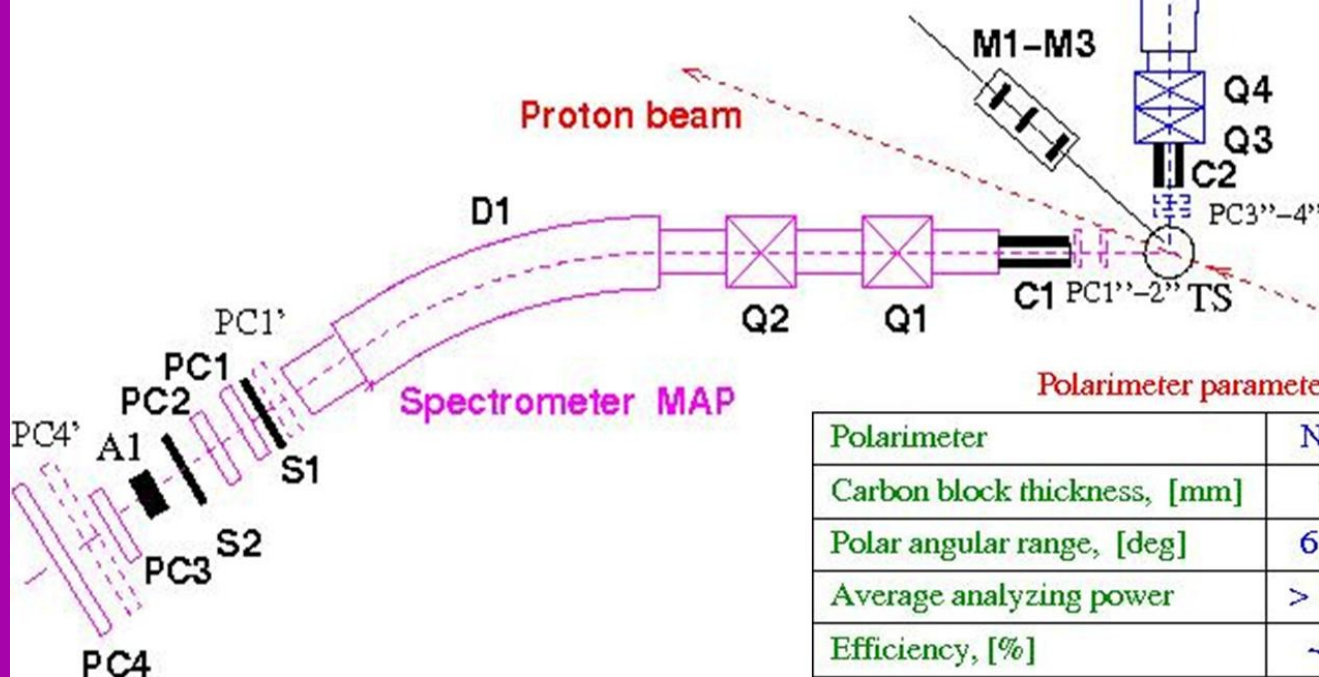
O.V. Miklukho et al., Phys.Atom.Nucl. 76 (2013)

Parameters of the magnetic spectrometers

Spectrometer	NES	MAP
Maximum particle momentum K , [GeV/c]	1.0	1.7
Axial trajectory radius ρ , [m]	3.27	5.5
Deflection angle β , [deg]	37.2	24.0
Dispersion in the focal plan D_f , [mm/%]	24	22
Solid angle acceptance Ω , [sr]	3.1×10^{-3}	4.0×10^{-4}
Momentum acceptance $\Delta K/K$, [%]	8.0	8.0
Energy resolution (FWHM), [MeV]	~ 2.0	~ 1.5



Spectrometer NES



Spectrometer MAP

Polarimeter parameters

Polarimeter	NES	MAP
Carbon block thickness, [mm]	79	199
Polar angular range, [deg]	6 - 18	3 - 16
Average analyzing power	> 0.46	> 0.23
Efficiency, [%]	~ 2	~ 5

