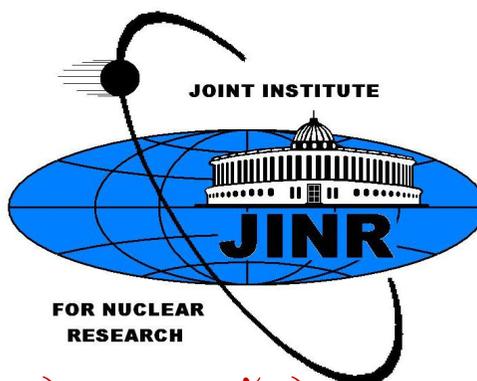


**Исследование дифференциального сечения
реакции dp – упругого рассеяния при энергиях
1 – 2 ГэВ**

А.А. Терехин

Руководитель: д.ф.-м.н. **В.П.Ладыгин**

Объединенный институт ядерных исследований, Дубна, Россия

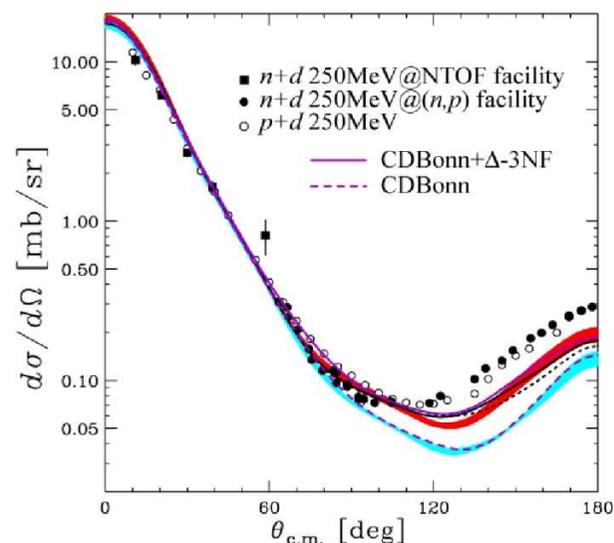
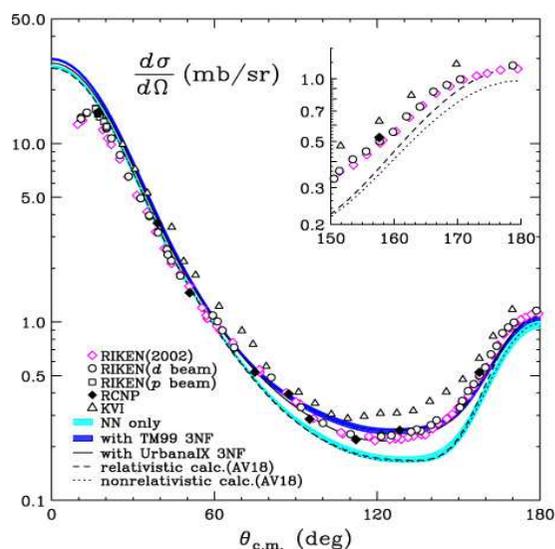


предзащита кандидатской диссертации 16.01.2020

Актуальность темы исследования

I. Описание NN – взаимодействий.

- Феноменологические потенциалы (CD-Bonn, Nijmegen, AV18, Paris), основанные на обмене мезонами, воспроизводят данные при энергиях до 350 МэВ. Однако даже при $E > 100$ МэВ при описании дифференциального сечения Nd – рассеяния были выявлены расхождения результатов трехнуклонных расчетов при использовании только парных NN - сил с экспериментальными данными. Включение в расчет релятивистских эффектов и стандартных $3N$ сил (Таксон-Мельнбургская, Урбанская-IX, Фуджита-Мияцавы) приводит к частичному восстановлению согласия с экспериментом.



Дифференциальное сечение упругого Nd – рассеяния при энергии 135 (слева) и 250 (справа) МэВ/н.

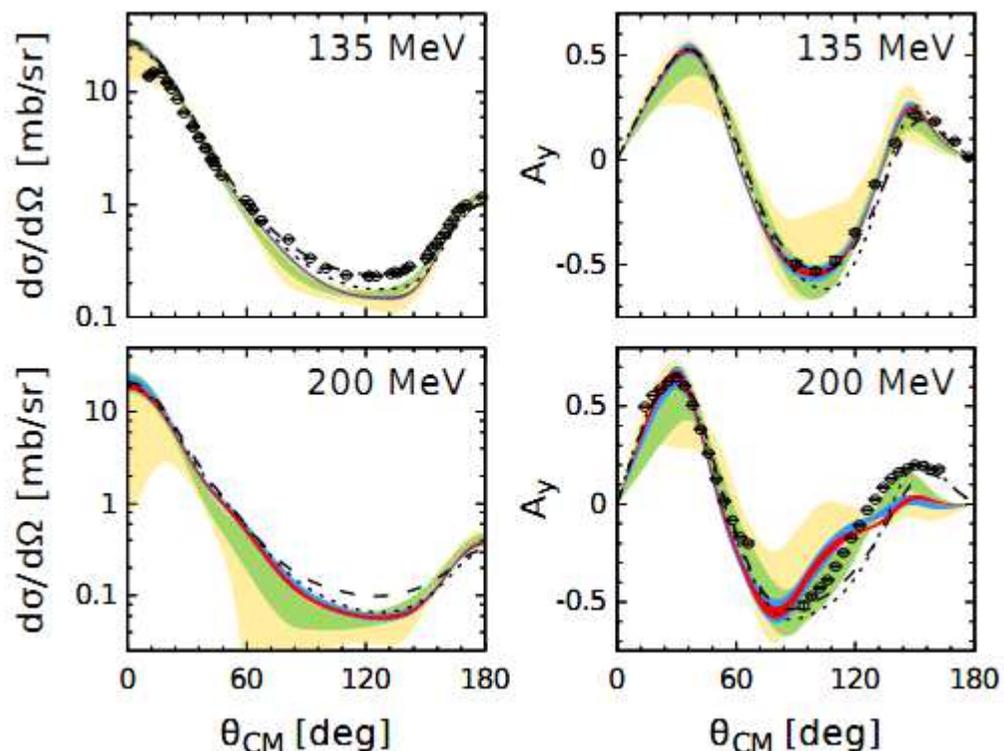
Актуальность темы исследования

I. Описание NN – взаимодействий.

- В настоящее время в теоретических исследованиях ядерных сил при низких энергиях развивается подход эффективной киральной теории, основанной на КХД [1]. NN – потенциал, построенный в рамках этой модели в целом правильно описывает фазовые сдвиги NN – рассеяния вплоть до 300 МэВ [2]. Однако данная теория не дает точного описания эмпирических NN – амплитуд.

[1] R. Machleidt, EPJ Web of Conferences 66, 01011 (2014).

[2] S. Binder et al., Phys.Rev. C93 (2016) no.4, 044002



Теоретические предсказания для дифференциального сечения и анализирующей способности A_y упругого Nd – рассеяния. Полосы, увеличивающейся ширины, показывают, неопределенность при N4LO (красный), N3LO(синий), N2LO(зеленый) и NLO (желтый) расчетах. Точечные (пунктирные) линии - результаты вычислений, основанных на CDБонн NN-потенциале (CDБонн потенциале в сочетании с Таксон-Мельбурнской 3NF силы). Открытые символы - экспериментальные данные [3].

[3] N. Kalantar-Nayestanaki et al., Rept. Prog. Phys. 75, 016301 (2012).

Актуальность темы исследования

II. Релятивистские эффекты и ненуклонные степени свободы.

С увеличением энергии начинают вступать в силу релятивистские эффекты, которые могут оказывать значительное влияние на различные наблюдаемые. Поэтому учет релятивистских эффектов необходим для описания свойств сильного взаимодействия и структуры легких ядер. Также при больших переданных импульсах начинают играть роль ненуклонные степени свободы, которые проявляются как Δ , NN^* , N^*N^* , bq и др.

Для случая высоких энергий и больших поперечных импульсах установлены правила кваркового счёта, определяющие характер энергетической зависимости дифференциального сечения произвольной бинарной реакции рассеяния на большие углы [1,2]. Анализ экспериментальных данных по сечению реакций с участием дейтронов показал, что область, соответствующая ПКС, начинается при энергиях $E_d \sim 500$ МэВ.

$$\frac{d\sigma}{dt}(ab \rightarrow cd) = \frac{f(t/s)}{s^{n-2}}$$

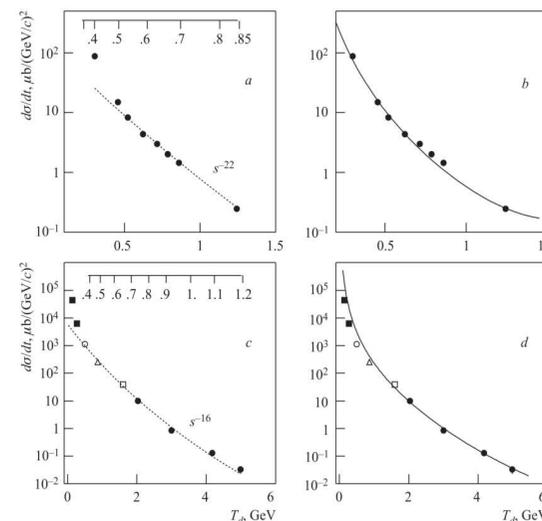
$$n = N_a + N_b + N_c + N_d$$

$$dd \rightarrow {}^3\text{He}n$$

$$s^{-22}$$

$$dp \rightarrow dp$$

$$s^{-16}$$



Yu. N. Uzikov JETP Lett, 81 (2005) 303-306

[1] V.A. Matveev et al. Lett. Nuovo Cimento 7 (1973) 712

[2] S. Brodsky, G. Farrar, Phys.Rev.Lett. 31 (1973) 1153

Актуальность темы исследования

Дейтрон является наиболее простой ядерной системой, которая может быть исследована экспериментально с высокой точностью. Изучение структуры дейтрона может дать информацию о роли релятивистских эффектов, вкладов Δ -изобар и кварковых степеней свободы в ядрах. К настоящему времени накоплен значительный экспериментальный материал о дейтроне, полученный с помощью лептонных и адронных пробников. В тоже время, структура дейтрона до сих пор остается до конца не изученной.

Одним из самых простых типов взаимодействия с участием дейтрона является dp - упругое рассеяние. Эта реакция на протяжении многих лет является предметом теоретических и экспериментальных исследований. К настоящему времени накоплен значительный экспериментальный материал, разработаны различные теоретические механизмы описания данного типа взаимодействия.

Цель диссертации

Получение новых данных по дифференциальному сечению и векторной анализирующей способности A_y dp-упругого рассеяния в диапазоне энергий 500 – 1000 МэВ/н.

Задачи

- Подготовка и проведение измерений
- Разработка процедуры выделения полезных событий на основе процедуры $CH_2 - C$ – вычитания, используя амплитудную и временную информацию.
- Получение угловых зависимостей по дифференциальному сечению и векторной анализирующей способности A_y .
- Проведение сравнительного анализа полученных результатов с мировыми данными и с предсказаниями теории.

Автор защищает:

- Результаты по измерению угловых зависимостей для дифференциального сечения $d\sigma$ - упругого рассеяния при шести значениях энергий: 500, 650, 700, 750, 900 и 1000 МэВ/нуклон, полученные на Станции внутренних мишеней Нуклотрона.
- Результаты по измерению угловых зависимостей для дифференциального сечения и векторной анализирующей способности A_y при энергии 1000 МэВ/нуклон, полученные в экспериментах на выведенных пучках Синхрофазатрона.
- Результаты сравнения полученных угловых зависимостей с мировыми данными при близких значениях энергий, а так же с теоретическими вычислениями, выполненными в рамках релятивистской теории многократного рассеяния.
- Результаты сравнения энергетических зависимостей дифференциального сечения при фиксированных углах рассеяния в с.ц.м. с предсказаниями правил кваркового счета.

Научная новизна:

- Впервые на станции внутренних мишеней Нуклотрона получены угловые зависимости по дифференциальному сечению $d\sigma$ - упругого рассеяния для энергий 500, 750 и 900 МэВ/н.

Научно - практическая значимость

- Полученные результаты по угловым зависимостям дифференциального сечения и векторной анализирующей способности A_y существенно пополняют экспериментальную базу данных. Сравнение с предсказаниями теории дает новую информацию для описания трехнуклонных систем в изучаемом диапазоне энергий.

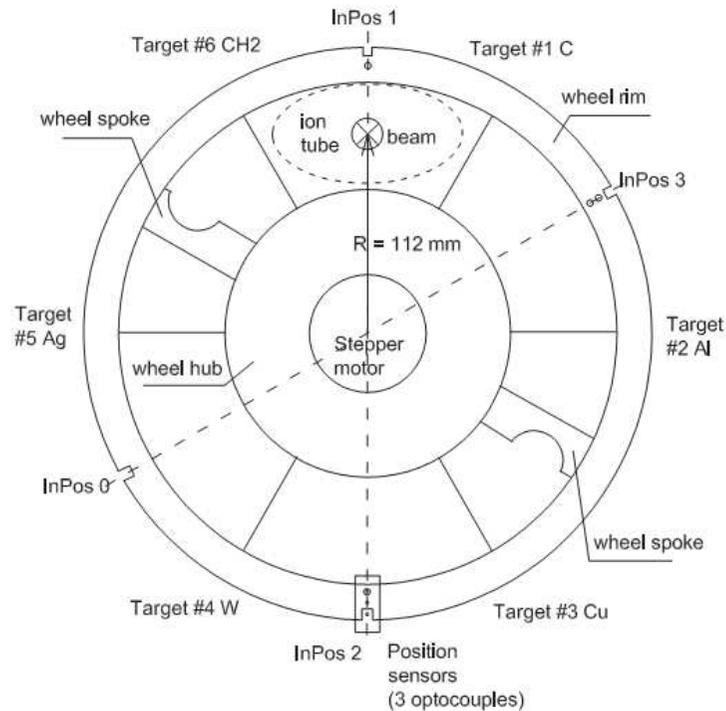
Объем и структура работы

Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения, и двух приложений. Полный объем работы составляет 129 страниц, включая список литературы из 226 наименований.

Во введении обосновывается актуальность исследований, проводимых в рамках данной диссертационной работы, приводится обзор научной литературы по изучаемой проблеме, формулируется цель, ставятся задачи работы, сформулированы научная новизна и практическая значимость представляемой работы, также приведено содержание работы по главам.

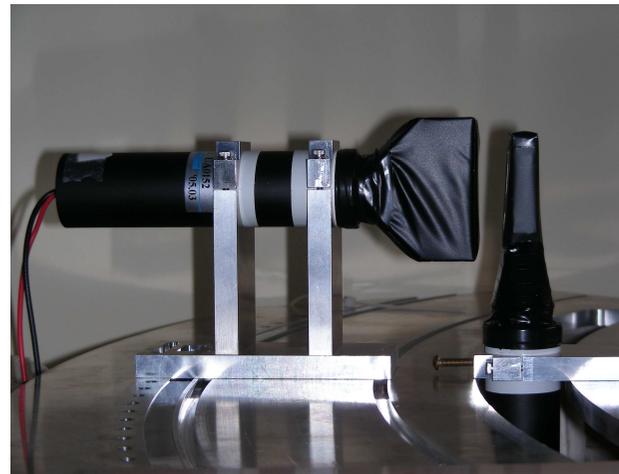
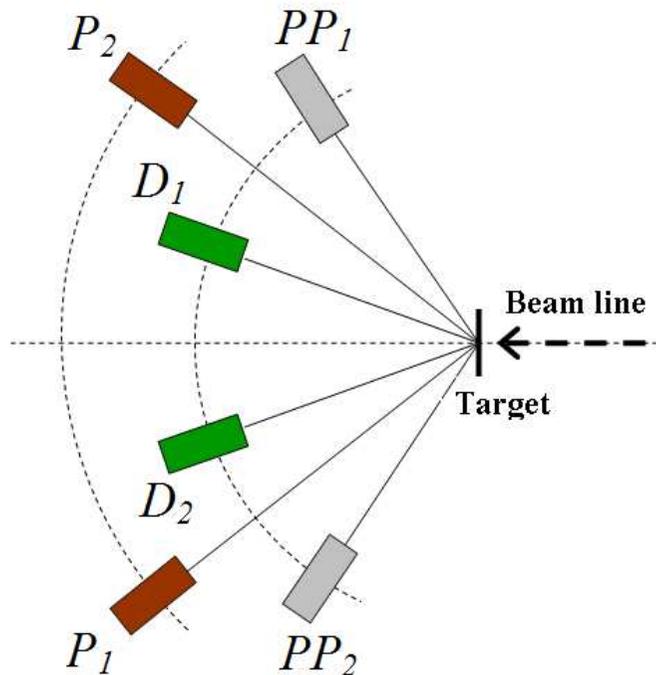
Во первой главе описывается постановка эксперимента на станции внутренних мишеней Нуклотрона. Глава состоит из пяти подразделов, в которых описывается экспериментальная установка, используемые детекторы, системы сбора данных, а также процедура набора статистики.

Станция внутренних мишеней Нуклотрна представляет собой систему смены мишеней, помещенную в сферическую камеру взаимодействия, из которой откачан воздух. Траектория движения мишени подбирается в соответствии с циклом магнитного поля таким образом, чтобы достичь максимального взаимодействия с пучком.



Продукты взаимодействия пучка с мишенью детектировались сцинтилляционными детекторами, расположенными в плоскости ионопровода. Упруго рассеянные дейтроны и протоны регистрировались двумя парами детекторов, размещенных зеркальным образом относительно оси ионопровода, образуя, тем самым, два плеча, регистрирующих рассеяние влево и вправо для одного и того же угла в с.ц.м. Помимо этих детекторов использовались два счетчика для регистрации протонов реакции pp - квази-упругого рассеяния (PP - детекторы).

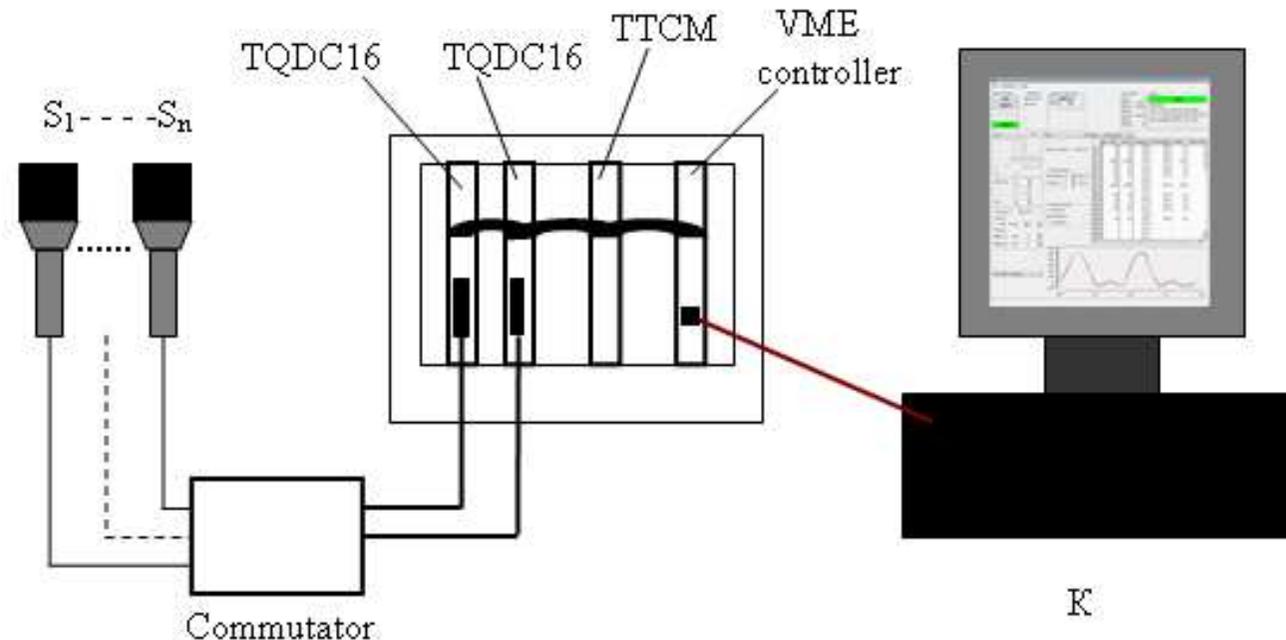
Схема расположения детекторов



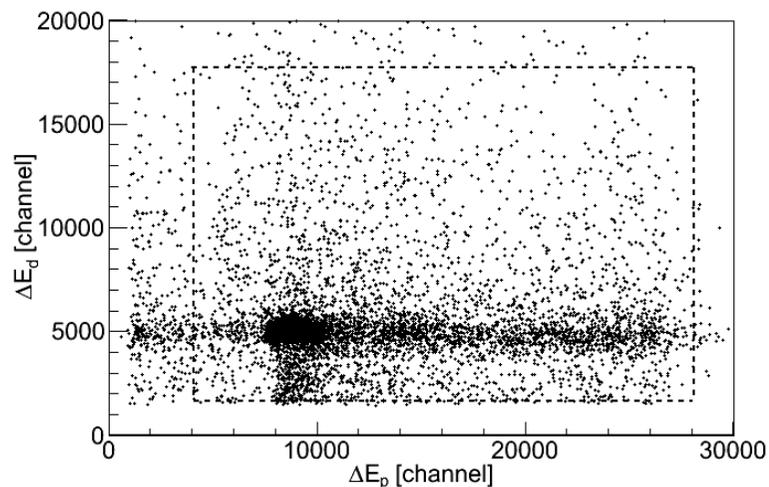
$P = 20 \times 60 \times 20 \text{ mm}^3$
 $D = 10 \times 40 \times 24 \text{ mm}^3$
 $PP = 50 \times 50 \times 10 \text{ mm}^3$

VME Data Acquisition System

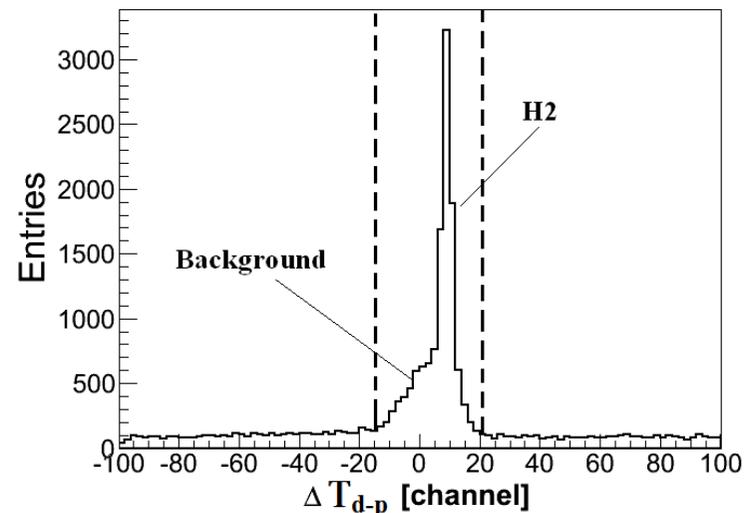
Для сбора и записи данных использовалась магистрально-модульная система стандарта VME (VersaModule Eurocard). Эта система позволяет осуществлять контроль запуска записи данных, а также просмотр загрузок каналов в режиме онлайн. В состав VME-системы входят 16-ти каналные модули TQDC-16, триггерный модуль TTСM-V2.0, и контроллер FVME-V1.0



Во второй главе описывается процедура выделения полезных событий, основанная на анализе амплитудных и временных спектров со сцинтилляционных детекторов и процедуры CH_2 - C вычитания. Данные об энергетических потерях записываются в виде амплитуд сигналов с дейтронного и протонного счетчиков. По корреляции этих сигналов можно выделить область упругого взаимодействия дейтрона с протоном.



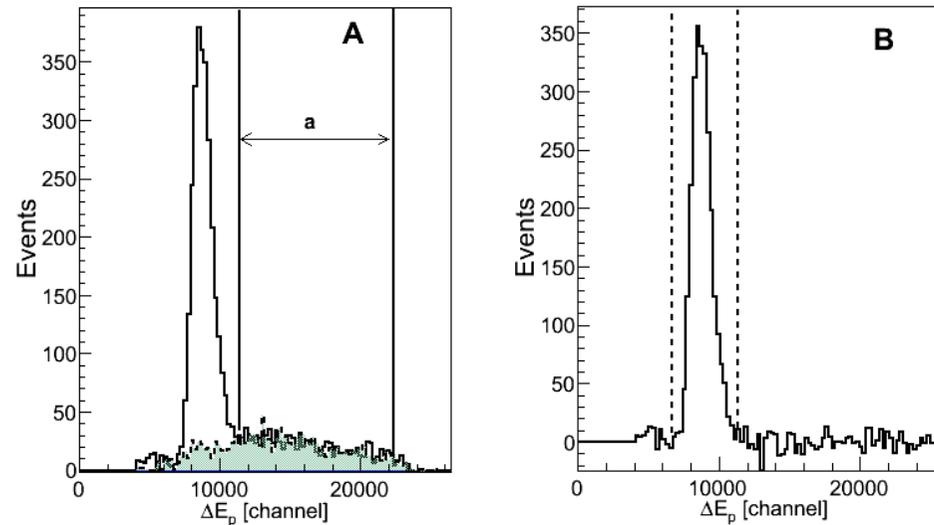
Корреляция энергетических потерь дейтронов и протонов при энергии 500 МэВ/н



Разница времени ΔT_{dp} между появлением сигналов с D - и P - детекторов при энергии 500 МэВ/н полученная с применением критерия на корреляцию амплитуд для CH_2 мишени.

В процедуре $CH_2 - C$ вычитания коэффициент нормировки определялся как отношение интегралов амплитудных распределений, набранных на полиэтилене и углероде в области, где количество полезных событий пренебрежительно мало. Данная процедура была выполнена для каждого значения угла рассеяния

Процедура $CH_2 - C$ - вычитания для $\theta_{c.m.} = 75^\circ$ при энергии 500 МэВ/н.



Третья глава посвящена получению угловых зависимостей дифференциального сечения дейтрон-протонного упругого рассеяния. Глава состоит из пяти разделов. В первом оцениваются вклады различных экспериментальных погрешностей на точность выставления детекторов. Во втором разделе дается общее выражение для вычисления дифференциального сечения и описывается моделирование входящих в это выражение значений эффективного телесного угла и якобиана перехода от лаб. системы к с.ц.м. В последующих разделах вычисляется дифференциальное сечение для энергий 500, 650, 700, 750, 900 и 1000 МэВ/нуклон.

Выражение для дифференциального сечения

$$\left(\frac{d\sigma}{d\Omega} \right)_{c.m.} = \frac{N_{dp}}{d\Omega_{lab}^D} \frac{k_{pp}}{N_{CH_2}} C_{norm} J_D$$

N_{dp} - количество dp -упругих событий (после проведения процедуры вычитания углеродного фона),

$d\Omega_{lab}^D$ - эффективный телесный угол дейтронного детектора в лабораторной системе при условии кинематического совпадения его с протонным счетчиком,

N_{CH_2} - количество восстановленных событий для PP -счетчиков, с условием их совпадения друг с другом, при рассеянии на полиэтиленовой мишени,

C_{norm} - коэффициент нормировки,

k_{pp} - коэффициент содержания углеродного фона в полном CH_2 - спектре для PP -детекторов.

J_D - якобиан перехода от лабораторной системы к с.ц.м.

Вычисление дифференциального сечения

- Получение данных при энергиях 650 и 700 МэВ/н.
- Вычисление нормировочного коэффициента C_{norm} путем нормировки полученных зависимостей на известные экспериментальные данные по дифференциальному сечению.
- Вычисление нормировочных коэффициентов C_{norm}^i для других энергий путем поправки коэффициента C_{norm} на величину отношения R сечений pp-упругого рассеяния для соответствующих энергий в области телесного угла PP-детектора.

$$R = \frac{\int \left(\frac{d\sigma}{d\Omega_{c.m.}} \right)_{norm} d \cos \theta_{c.m.}}{\int \left(\frac{d\sigma}{d\Omega_{c.m.}} \right)_i d \cos \theta_{c.m.}} \quad C_{norm}^i = \frac{C_{norm}}{R}$$

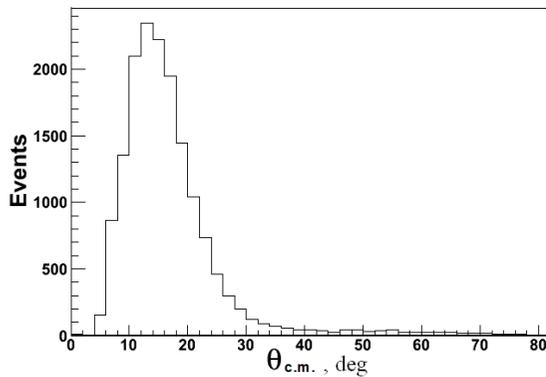
- Вычисление с помощью генератора событий Pluto величин $d\Omega_{lab}^p, J_D$
- Вычисление коэффициента k_{pp} как отношения полного количество квазиупругих pp-событий, полученных на CH_2 -мишени, без вычитания углеродного фона, к количеству событий после вычитания.

$$k_{pp} = \frac{N_{pp}^{tot} |_{CH_2}}{N_{pp}^{tot} |_{CH_2-C}}$$

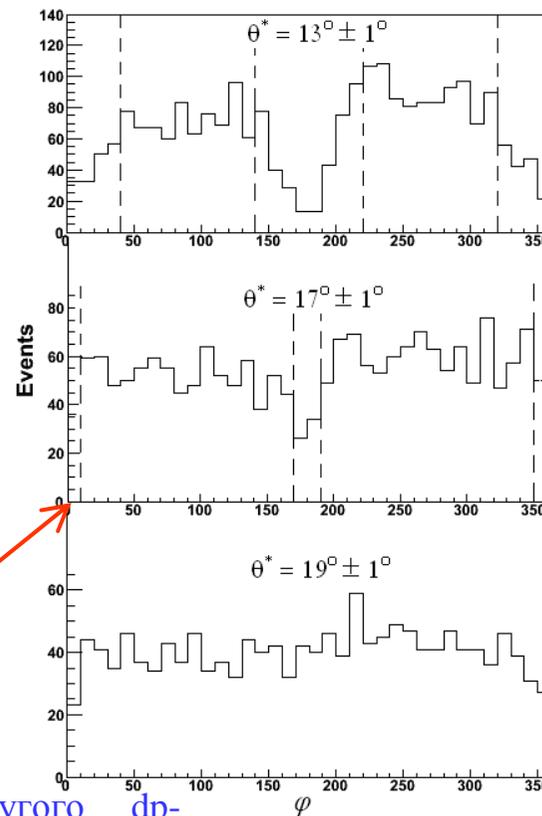
$$\Delta \left(\frac{d\sigma}{d\Omega} \right)_{c.m.}^{stat} = \left(\frac{d\sigma}{d\Omega} \right)_{c.m.} \sqrt{\left(\frac{\Delta N_{dp}^{stat}}{N_{dp}} \right)^2 + \left(\frac{\Delta N_{CH_2}}{N_{CH_2}} \right)^2},$$

$$\Delta \left(\frac{d\sigma}{d\Omega} \right)_{c.m.}^{sys} = \left(\frac{d\sigma}{d\Omega} \right)_{c.m.} \sqrt{\left(\frac{\Delta N_{dp}^{sys}}{N_{dp}} \right)^2 + \left(\frac{\Delta J_D}{J_D} \right)^2 + \left(\frac{\Delta d\Omega_D}{d\Omega_D} \right)^2 + \left(\frac{\Delta C_{norm}^{700(650)}}{C_{norm}^{700(650)}} \right)^2}.$$

Четвертая глава содержит анализ данных, полученных на пучках Синхрофазотрона с использованием 100-см водородной камеры. Дается описание процедуры получения дифференциального сечения и векторной анализирующей способности. Для получения результатов использовались распределения событий по углу рассеяния $\theta_{c.m.}$ и по азимутальному углу φ .



Зависимость числа событий упругого dp -рассеяния от угла рассеяния $\theta_{c.m.}$ в с.ц.м.



Зависимость числа событий упругого dp -рассеяния от азимутального угла φ для различных углов рассеяния $\theta_{c.m.}$. Пунктирными линиями обозначены границы областей, исключенных из анализа данных.

Анализирующая способность

$$A_y = \frac{2}{3} \frac{p_1}{p_y}$$

p_1 – величина асимметрии

p_y – векторная поляризация

Дифференциальное сечение

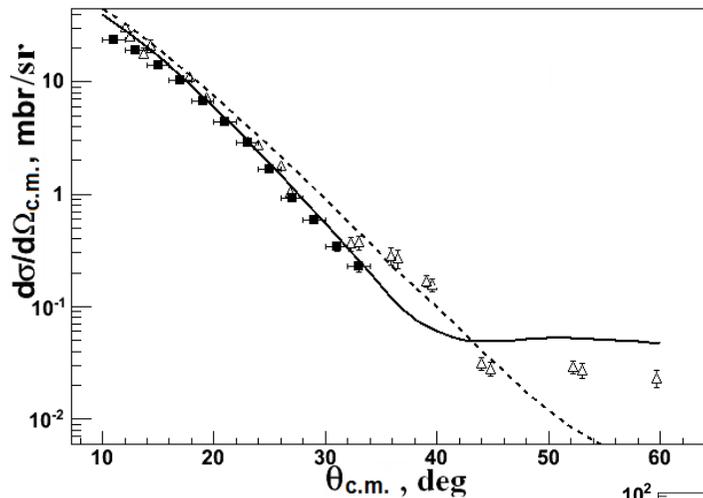
$$\frac{d\sigma}{d\Omega}(\theta_{c.m.}) = \frac{1}{2\pi\mathcal{L}} \frac{N(\cos\theta_{c.m.})}{\Delta\cos\theta_{c.m.}},$$

N – количество событий

\mathcal{L} – интегральная светимость

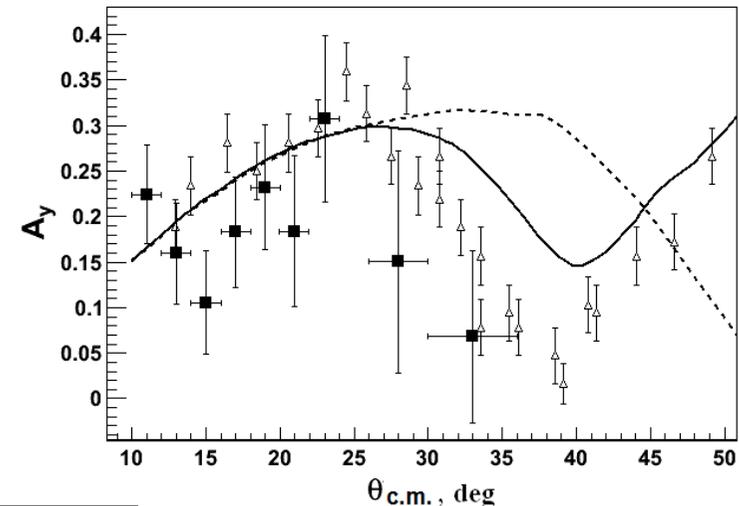
В пятой главе полученные результаты сравниваются с мировыми данными, а также с предсказаниями теории многократного рассеяния. Также проводится сравнение полученных энергетических зависимостей при фиксированных значениях угла рассеяния в с.ц.м. с существующими экспериментальными данными и предсказаниями правил кваркового счета.

Угловая зависимость дифференциального сечения и векторной анализирующей способности A_y при 1000 МэВ/н

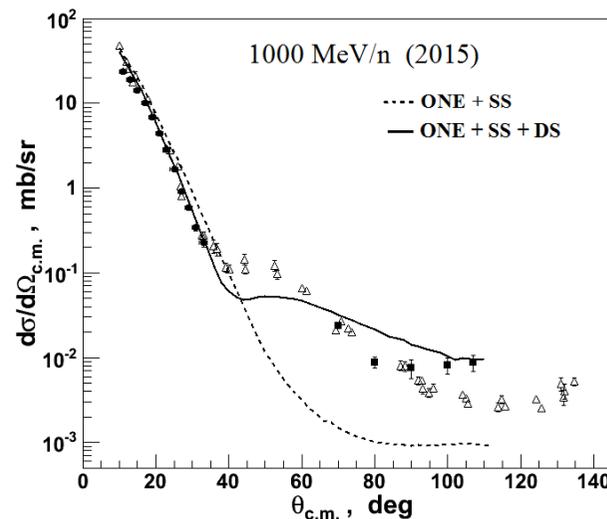


Triangles – data at 1000 MeV/n
(Bennett G. W. et al. Phys. Rev. Lett.
1976. V.19 P. 387-390)

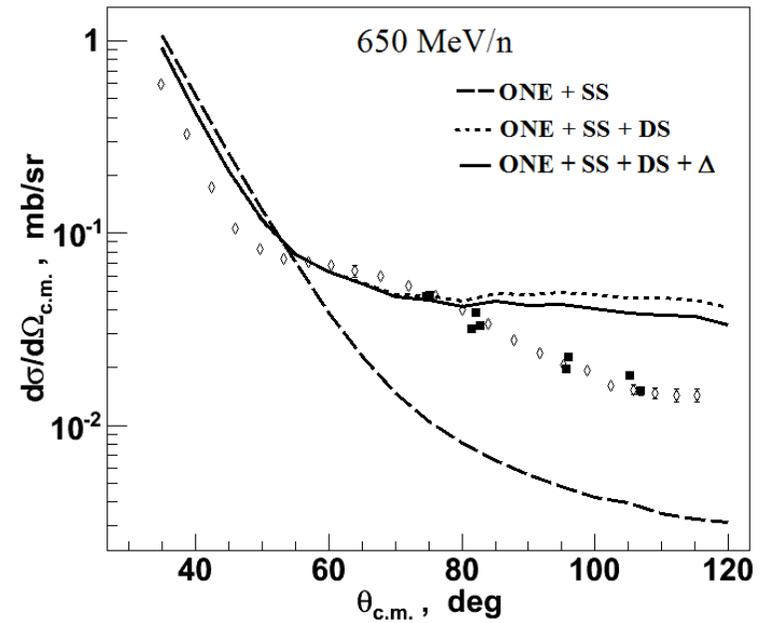
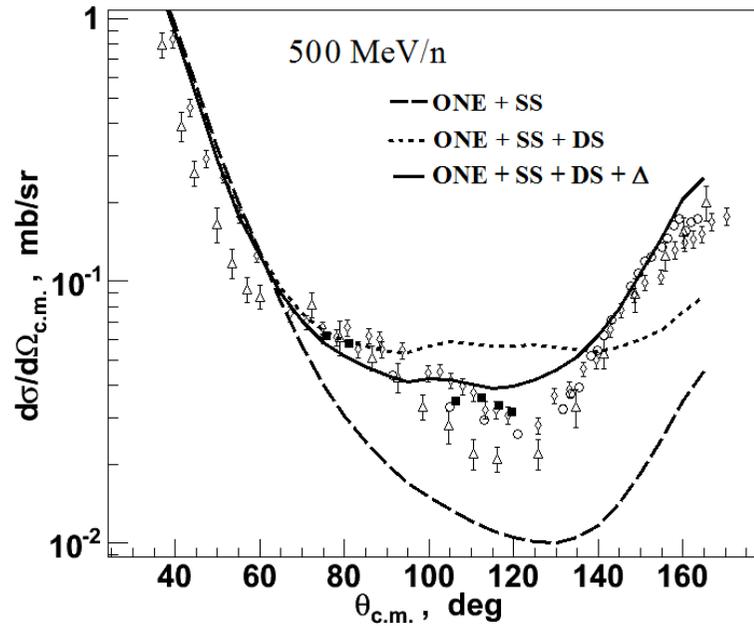
Triangles – data at 1000 MeV/n
(Bennett G. W. et al. Phys. Rev. Lett.
1976. V.19 P. 387-390)



Triangles – data at 1000 MeV/n (Haji-Saied M. et al. Phys. Rev. C 1987. V.36.
P.2010.)



Угловые зависимости дифференциального сечения при 500 - 900 МэВ/н



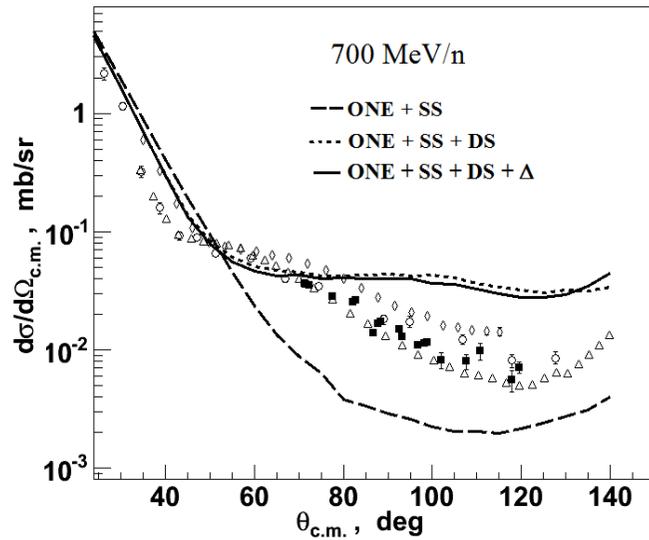
Open squares – data at 470 MeV/n (Alder J.C. Phys. Rev. C 1972. V6. P.2010.)

Diamonds – data at 590 MeV/n (Vincent J.S. Phys. Rev. Lett. 1970. V24.5. P.236)

Crosses – data from 425 MeV/n (Booth N. E., Phys Rev D 1971 V4. P.1261)
The lines are the calculations from Ladygina N.B. et al. Eur.Phys.J. A52, 2016 no.7, P.199

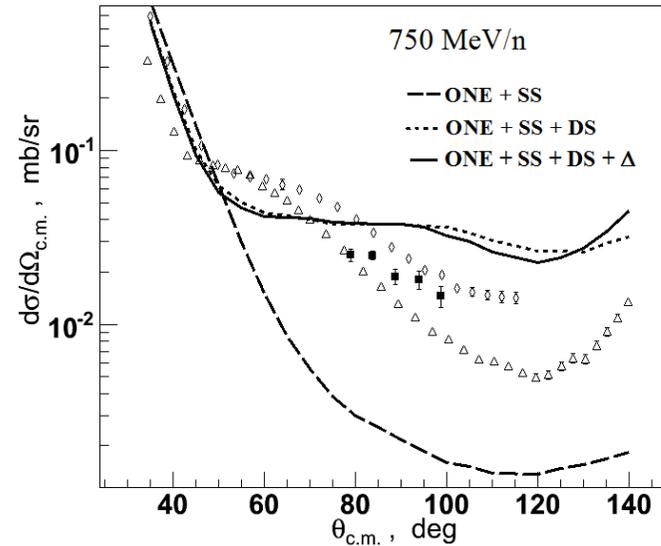
Diamonds – data at 641 MeV/n (Culmez E. Phys.Rev.C, V43, №5, 1991.)

Угловые зависимости дифференциального сечения при 500 - 900 МэВ/н

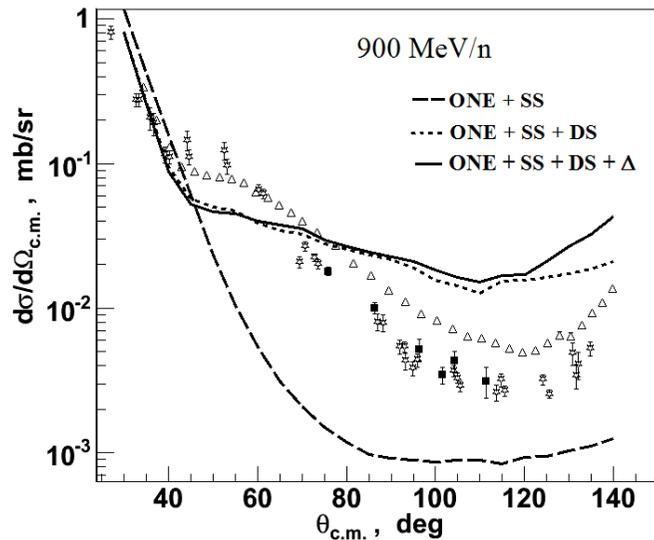


Diamonds - data at 641.3 MeV/n (Culmez E. Phys.Rev.C, V43, №5, 1991)

Triangles – data at 800 MeV/n (Winkelmann E. Phys.Rev.C, V21, №6, 1980)



Diamonds– data at 641 MeV/n (Culmez E. Phys.Rev.C, V43, №5, 1991.)
Triangles – data at 800 MeV/n (Winkelmann E. Phys.Rev.C, V21, №6, 1980)



Open triangles – data at 800 MeV/n (Winkelmann E. Phys.Rev.C, V21, №6, 1980)
Stars – data at 1000 MeV/n (Bennett G. W. et al. Phys. Rev. Lett. 1976. V.19 P. 387-390)

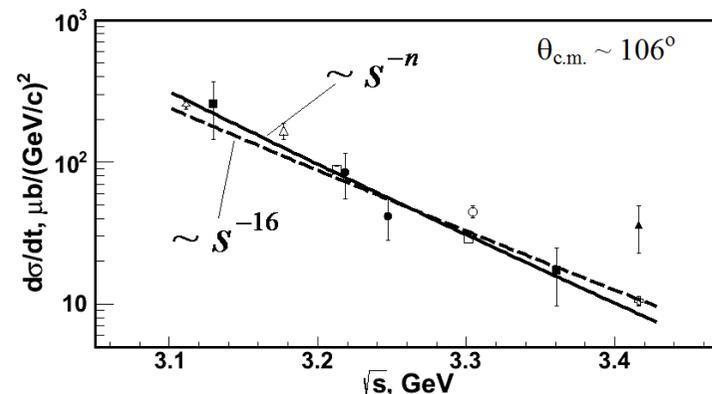
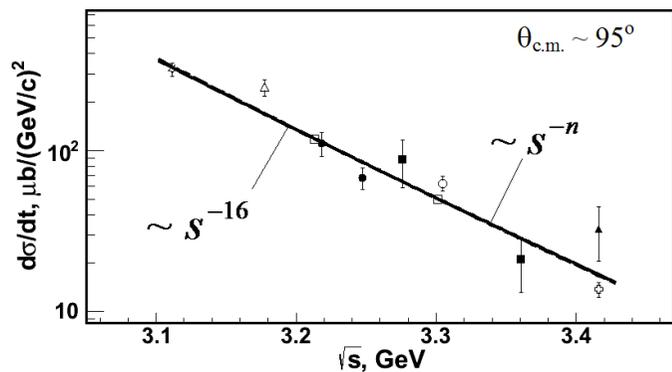
- Из сравнения с экспериментальными данными видно, что расчеты с включением только вкладов ONE + SS воспроизводят результаты эксперимента только при относительно небольших углах рассеяния.

- Включение вклада DS позволяет приблизиться к описанию поведения сечения.

- Вклад от Δ -изобары становится заметным при $\theta_{c.m.} > 80^\circ$ для энергий 500 и 650 МэВ/н и при $\theta_{c.m.} > 120^\circ$ для энергий свыше 650 МэВ/н. Включение Δ -изобары позволяет уменьшить расхождение с поведением экспериментальных данных.

- Наилучшее согласие теории с экспериментом наблюдается при 500 МэВ/н. Расхождение между экспериментальными данными и предсказаниями теории увеличиваются с ростом энергии.

Энергетические зависимости дифференциального сечения dp -упругого рассеяния для шести фиксированных углов рассеяния в с.ц.м. ($\theta_{c.m.} \sim 75^\circ, 82^\circ, 95^\circ, 100^\circ, 106^\circ, 111^\circ$) в диапазоне кинетической энергии в лаб. системе 0.47 - 1 ГэВ/нуклон, соответствующего диапазону полной энергии $\sqrt{s} = 3.1 - 3.42$ ГэВ. Результаты, полученные на Нуклотроне находятся в хорошем согласии с экспериментальными данными, полученными ранее. Наилучшее согласие экспериментов с предсказаниями ПКС достигается при $\theta_{c.m.} \sim 95^\circ$. Наличие расхождений при других углах указывает на необходимость проведения новых более точных измерений.



В заключении приведены основные результаты работы, которые заключаются в следующем:

1. Получены данные для дифференциального сечения и векторной анализирующей способности A_y реакции dp -упругого рассеяния при энергиях 500 - 1000 МэВ/н. Результаты в пределах полученных ошибок находятся в согласии с мировыми данными при таких же или близких значениях энергий.
2. Полученные угловые зависимости сравнивались с теоретическими вычислениями, выполненными в рамках модели многократного рассеяния. Включение в расчеты вклада двукратного рассеяния позволяет достичь лучшего согласия с данными. Наилучшее согласие теории с экспериментом наблюдается при 500 МэВ/н. Вклад от Δ -изобары становится заметным при $\theta_{c.m.} > 80^\circ$ для энергий 500 и 650 МэВ/н и при $\theta_{c.m.} > 120^\circ$ для энергий свыше 650 МэВ/н. Расхождение между экспериментальными данными и предсказаниями теории увеличиваются с ростом энергии.
3. Получены энергетические зависимости дифференциального сечения dp - упругого рассеяния для шести фиксированных углов рассеяния в с.ц.м. для диапазона энергий $\sqrt{s} = 3.1 - 3.42$ ГэВ. Результаты находятся в разумном согласии с поведением мировых данных, а так же с предсказаниями правил кваркового счета. Однако имеются расхождения между результатами экспериментов и предсказаниями ПКС, что свидетельствует о необходимости новых систематических измерений.

Апробация работы.

Основные результаты работы докладывались на: XIV международном семинаре по физике спина при высоких энергиях DSPIN (Дубна, 2011), научной сессии-конференции секции ЯФ ОФН РАН "Физика фундаментальных взаимодействий" (Москва, ИТЭФ, 2011), международных конференциях NS2013, 2015 (Словакия), RNP2012, 2014 (Словакия), международных Балдинских семинарах по физике высоких энергий (ОИЯИ, 2012, 2014, 2016, 2018), международной сессии-конференции СЯФ ОФН РАН (2016), постерной сессии ПКК (ОИЯИ, 2011, 2015, 2016), конференции молодых ученых и специалистов ОМУС (ОИЯИ, 2010, 2011, 2013).

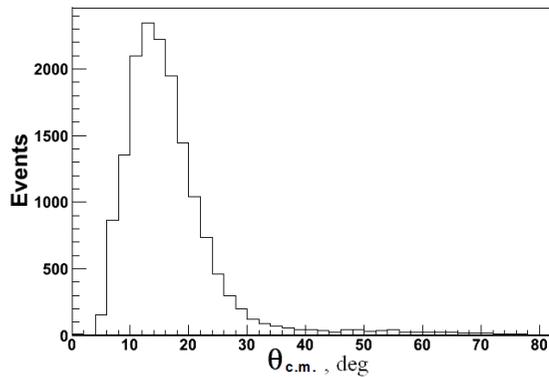
Публикации

- [1] Terekhin A. A et al. // Eur. Phys. J A 2019. V.55. P.129.
- [2] Glagolev V. V. et al. // Eur. Phys. J A 2012. V.48. P.182.
- [3] Terekhin A. A. et al. // Phys.Atom.Nucl. 2017. 80 no.6. 1061-1072.
- [4] Terekhin A. A et al. // Phys. Part. Nucl. Lett. V.12.(5) 2015. P.695.
- [5] Терехин А. А. и др. // Научные ведомости БелГУ, серия физико-математическая, 2010. вып.21 С.114-121.
- [6] Терехин А. А. и др. // Научные ведомости БелГУ, серия «Математика. Физика». 2012. №11(130). Вып.27 С.207-213.
- [7] Терехин А. А. и др. // Известия ТулГУ, серия: Естественные науки. 2011 С.151-160.
- [8] Terekhin A. A et al. // Proceedings of the International Workshop - Relativistic Nuclear Physics: from Hundreds of MeV to TeV. 2014. P.113-118.
- [9] Piyadin S. M. et al. // Phys.Part.Nucl.Lett. 9 (2012) 589-592.
- [10] Терехин А. А. и др. // Научные ведомости БелГУ, серия физико-математическая, 2009. вып.1. С.124-131.
- [11] Terekhin A. A et al. // EPJ Web Conf. 204 (2019) 10010.
- [12] Терехин А.А. и др. // XV конференция молодых ученых и специалистов, Дубна, ОИЯИ, (Февраль,14-19, 2011). С.172-175.
- [13] Terekhin A. A et al. // "XIV Workshop on High Energy Spin Physics " Dubna, Russia, September 20-24. 2011. P.357-360.
- [14] Terekhin A. A et al. // The proceedings of the international Workshop "Hadron Structure and QCD". 2012. P.296.
- [14] Terekhin A. A et al. // Proceedings of the International Workshop - Relativistic Nuclear Physics: from Hundreds of MeV to TeV. 2014. P.113-118.

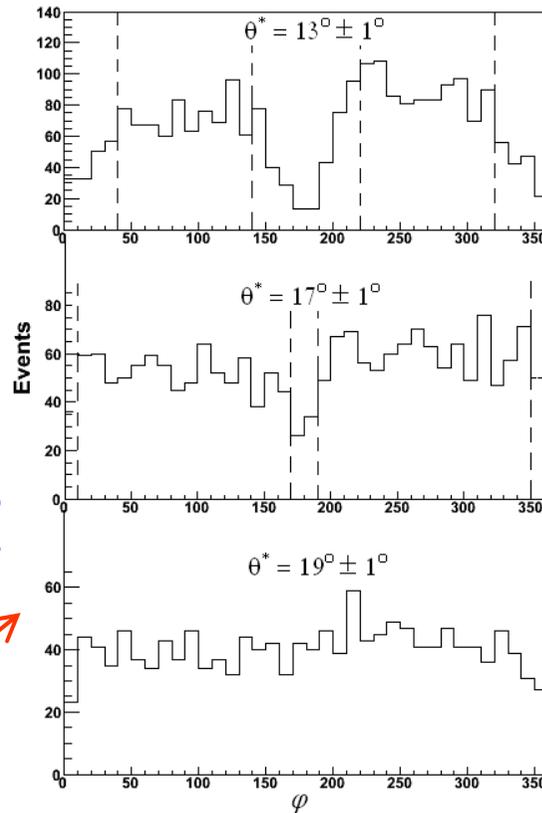
- [15] Ladygin V. P. et. al. // Few Body Syst. 2014. V.55.no.8-10. P.709-712.
- [16] Terekhin A. A et al. // Proceedings of the XXII International Baldin Seminar on High Energy Physics Problems, PoS(Baldin ISHEPP XXII)099. (2015).
- [17] Terekhin A. A et al. // Proceedings of The 9th joint International HADRON STRUCTURE `15 Conference, Int. J. Mod. Phys. Conf. Ser. 2015. V.39. 1560096
- [18] Terekhin A.A et al. // Proceedings of the HADRON STRUCTURE `13 Conference, Nuclear Physics B (Proceedings Supplements) 2013. V.245C. P.185-187.
- [19] Terekhin A. A et al. // Proceedings of the XXIII International Baldin Seminar on High Energy Physics Problems, EPJ Web.Conf. 2017. 138. 03012.
- [20] Janek M. et. al. // Few Body Syst. 2017. 58 no.2. 40.
- [21] Терехин А. А. и др. // XIV конференция молодых ученых и специалистов, Дубна, ОИЯИ, (Февраль,1-6, 2010). С.159-162.
- [22] Terekhin A. A et al. // Proceedings of the XX International Baldin Seminar on High Energy Physics Problems, PoS Baldin-ISHEPP-XXI 2012. 005. P.6.
- [23] Terekhin A. A et al. // Proceedings of the International Workshop - Relativistic Nuclear Physics: from Hundreds of MeV to TeV. 2012. P.106.

Спасибо за внимание!

Распределение событий по углу рассеяния $\theta_{c.m.}$ разбивалось на интервалы (бины), равной величины. Количество событий в каждом интервале нормировалось на ширину последнего. Для каждого $\theta_{c.m.}$ - бина строилось распределение по азимутальному углу ϕ . Потери событий возникают при малых углах рассеяния $\theta_{c.m.}$ симметрично относительно углов $\phi = 0^\circ$ и $\phi = 180^\circ$. С увеличением угла $\theta_{c.m.}$ отклонение от изотропности становится все меньшим. Области, где потери существенны, исключались из дальнейшего анализа.



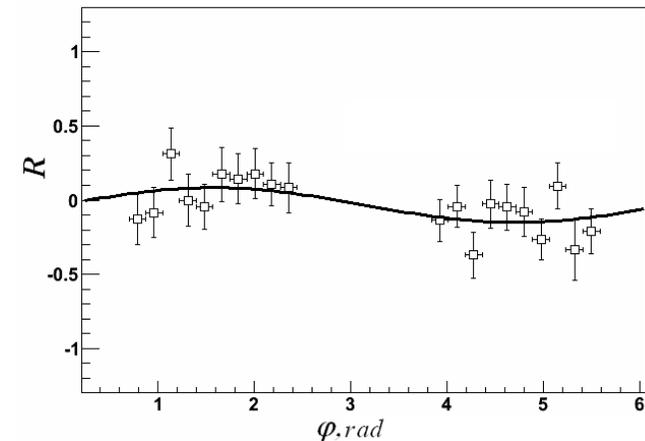
Зависимость числа событий упругого dp -рассеяния от угла рассеяния $\theta_{c.m.}$ в с.ц.м.



Зависимость числа событий упругого dp -рассеяния от азимутального угла ϕ для различных углов рассеяния $\theta_{c.m.}$. Пунктирными линиями обозначены границы областей, исключенных из анализа данных.

Для каждого $\theta_{c.m.}$ - интервала вычислялась величина асимметрии:

$$R = \frac{N_{\uparrow} - N_{\downarrow}}{N_{\uparrow} + N_{\downarrow}}$$



Пример распределения величины R как функции от угла ϕ для $12^\circ < \theta_{c.m.} < 14^\circ$. Линия - результат аппроксимирования функцией $p_0 + p_1 \sin \phi$

Анализирующая способность вычислялась как

$$A_y = \frac{2}{3} \frac{p_1}{p_y}$$

$p_y = 0.488 \pm 0.061$ - векторная поляризация пучка определялась, используя события для реакции развала дейтрона [1] путем измерения асимметрии для квази-упругого рассеяния, используя известные значения анализирующей способности для упругих np - и pp -рассеяний [2,3].

Дифференциальное сечение для упругого dp -рассеяния

$$\frac{d\sigma}{d\Omega}(\theta_{c.m.}) = \frac{1}{2\pi\mathcal{L}} \frac{N(\cos\theta_{c.m.})}{\Delta\cos\theta_{c.m.}},$$

$N(\cos\theta_{c.m.})$ - количество событий в интервале $\Delta\cos\theta_{c.m.}$, \mathcal{L} - интегральная светимость эксперимента, определяемая как величина, обратная значению микробарн-эквивалента C_0 , который, в свою очередь, вычислялся, используя полное сечение для dp -взаимодействий и составляет $C_0 = 0.3342 \pm 0.0007$ мкб/событие [4].

Полная систематическая ошибка для дифференциального сечения включает погрешность интегральной светимости \mathcal{L} и погрешность оценки потери событий.

Систематическая ошибка для векторной анализирующей способности A_y связана с точностью векторной поляризации p_y и не превышает 13% [1].

[1] Glagolev V. V. et al. Z. Phys. A 1996. V.356. P.183.

[2] Marshak M. et al. Phys. Rev. C 1978. V.18. P.331.

[3] Korolev G. A. et al. Phys. Lett. B 1985. V.165. P.4.

[4] Glagolev V. V. et al. Cent. Eur. J. Phys. 2008. V.6(4). P.781.

Дифференциальное сечение при 500 МэВ/нуклон

| $\theta_{c.m.}$ град | $d\sigma/d\Omega_{c.m.}$ мкбн/ср | $\Delta (d\sigma/d\Omega_{c.m.})_{stat}$ мкбн/ср | $\Delta (d\sigma/d\Omega_{c.m.})_{syst}$ мкбн/ср |
|-------------------------|-------------------------------------|---|---|
| 75.9 | 61.54 | 1.28 | 23.4 |
| 81.3 | 57.70 | 0.83 | 21.1 |
| 106.5 | 34.56 | 0.94 | 15.1 |
| 112.5 | 35.62 | 0.65 | 15.4 |
| 116.7 | 33.45 | 0.58 | 15.1 |
| 119.7 | 34.19 | 0.94 | 12.8 |

Дифференциальное сечение при 650 МэВ/нуклон

| $\theta_{c.m.}$ град | $d\sigma/d\Omega_{c.m.}$ мкбн/ср | $\Delta (d\sigma/d\Omega_{c.m.})_{stat}$ мкбн/ср | $\Delta (d\sigma/d\Omega_{c.m.})_{syst}$ мкбн/ср |
|-------------------------|-------------------------------------|---|---|
| 74.7 | 46.74 | 1.05 | 7.08 |
| 75.3 | 46.99 | 0.99 | 8.49 |
| 81.6 | 31.63 | 0.79 | 7.00 |
| 82.2 | 38.44 | 1.05 | 6.08 |
| 82.8 | 32.71 | 0.81 | 4.99 |
| 95.7 | 19.66 | 0.94 | 3.14 |
| 96.0 | 22.64 | 1.05 | 3.27 |
| 105.3 | 18.17 | 0.83 | 5.22 |
| 106.8 | 15.09 | 0.77 | 2.05 |

Дифференциальное сечение при 700 МэВ/нуклон

| $\theta_{c.m.}$ град | $d\sigma/d\Omega_{c.m.}$ мкбн/ср | $\Delta (d\sigma/d\Omega_{c.m.})_{stat}$ мкбн/ср | $\Delta (d\sigma/d\Omega_{c.m.})_{syst}$ мкбн/ср |
|-------------------------|-------------------------------------|---|---|
| 71.2 | 36.33 | 1.20 | 5.07 |
| 71.6 | 35.91 | 1.28 | 5.14 |
| 72.3 | 35.01 | 1.79 | 7.05 |
| 77.5 | 28.36 | 1.12 | 4.93 |
| 82.1 | 25.12 | 1.16 | 4.12 |
| 82.8 | 26.38 | 1.85 | 6.29 |
| 86.7 | 13.78 | 0.91 | 2.11 |
| 87.7 | 16.61 | 1.13 | 2.70 |
| 88.4 | 17.29 | 1.16 | 4.21 |
| 92.6 | 15.06 | 0.79 | 2.61 |
| 93.3 | 12.98 | 0.76 | 2.08 |
| 96.8 | 10.98 | 0.61 | 1.72 |
| 98.2 | 11.43 | 0.67 | 1.92 |
| 98.9 | 11.62 | 0.64 | 2.03 |
| 102.0 | 8.15 | 1.26 | 2.13 |
| 107.6 | 7.98 | 1.21 | 2.33 |
| 110.8 | 9.77 | 1.58 | 2.86 |
| 117.8 | 5.56 | 1.16 | 1.56 |
| 119.5 | 7.12 | 0.83 | 1.47 |

Дифференциальное сечение при 750 МэВ/нуклон

| $\theta_{c.m.}$ град | $d\sigma/d\Omega_{c.m.}$ мкбн/ср | $\Delta (d\sigma/d\Omega_{c.m.})_{stat}$ мкбн/ср | $\Delta (d\sigma/d\Omega_{c.m.})_{syst}$ мкбн/ср |
|-------------------------|-------------------------------------|---|---|
| 78.9 | 25.19 | 2.07 | 8.23 |
| 83.7 | 24.93 | 1.41 | 8.14 |
| 88.8 | 18.82 | 1.88 | 6.05 |
| 93.9 | 18.03 | 2.10 | 5.55 |
| 98.7 | 14.51 | 2.08 | 4.88 |

Дифференциальное сечение при 900 МэВ/нуклон

| $\theta_{c.m.}$ град | $d\sigma/d\Omega_{c.m.}$ мкбн/ср | $\Delta (d\sigma/d\Omega_{c.m.})_{stat}$ мкбн/ср | $\Delta (d\sigma/d\Omega_{c.m.})_{syst}$ мкбн/ср |
|-------------------------|-------------------------------------|---|---|
| 75.9 | 17.97 | 1.17 | 5.41 |
| 86.3 | 10.00 | 0.93 | 3.28 |
| 96.4 | 5.21 | 0.93 | 1.70 |
| 101.6 | 3.45 | 0.48 | 1.11 |
| 104.2 | 4.33 | 0.70 | 1.74 |
| 111.4 | 3.14 | 0.74 | 1.23 |

Дифференциальное сечение

| $\theta_{c.m.}$ гр | $d\sigma/d\Omega_{c.m.}$ мб/ср | $\Delta(d\sigma/d\Omega_{c.m.})_{stat}$ мб/ср | $\Delta(d\sigma/d\Omega_{c.m.})_{syst}$ мб/ср |
|-----------------------|-----------------------------------|--|--|
| 11.0 | 23.445 | 0.630 | 0.305 |
| 13.0 | 19.058 | 0.478 | 0.209 |
| 15.0 | 14.149 | 0.324 | 0.146 |
| 17.0 | 10.202 | 0.244 | 0.103 |
| 19.0 | 6.821 | 0.179 | 0.042 |
| 21.0 | 4.446 | 0.135 | 0.009 |
| 23.0 | 2.874 | 0.106 | 0.006 |
| 25.0 | 1.678 | 0.078 | 0.004 |
| 27.0 | 0.991 | 0.056 | 0.002 |
| 29.0 | 0.617 | 0.044 | 0.001 |
| 31.0 | 0.360 | 0.032 | 0.0007 |
| 33.0 | 0.238 | 0.025 | 0.0005 |

Векторная анализирующая способность

| $\theta_{c.m.s.}$ гр | A_y | $(\Delta(A_y))_{stat}$ |
|-------------------------|-------|------------------------|
| 11.0 | 0.224 | 0.054 |
| 13.0 | 0.160 | 0.055 |
| 15.0 | 0.105 | 0.056 |
| 17.0 | 0.183 | 0.061 |
| 19.0 | 0.232 | 0.069 |
| 21.0 | 0.183 | 0.082 |
| 23.0 | 0.307 | 0.091 |
| 25.0 | 0.466 | 0.119 |
| 28.0 | 0.150 | 0.122 |
| 33.0 | 0.068 | 0.095 |