

# **Проект «СКАН-3»**

*(продление)*

ТЕМА 02-1-1087-2009/2023

**Создание прецизионного магнитного спектрометра СКАН-3 и проведение исследований ненуклонных степеней свободы в ядрах, нуклонных корреляций и ядерной фрагментации на внутренней мишени Нуклотрона.**

## General aims of the project

---

This project is aimed at studies of highly excited nuclear matter created in nuclei by a high-energy deuteron beam. The matter will be studied through observation the products of decay – pairs of energetic particles with a wide opening angle, close to  $180^\circ$ .

A new precision hybrid magnetic spectrometer SCAN-3 is to be built for detecting charged ( $\pi^\pm$ ,  $K^\pm$ ,  $p$ ) and neutral ( $n$ ) particles produced at the Nuclotron internal target in  $dA$  collisions. The spectrometry of such pairs will enable to studies of

- low-energy  $\eta A$  interaction and a search for  $\eta$ -bound states ( $\eta$ -mesic nuclei);
- the  $\Delta$ -isobar produced and stopped inside the nuclear matter.

Beyond that detection of the pairs will enable to studies of

- $np$  and  $pp$  correlations;
- single and pair cumulative processes;
- heavy nuclei fragmentation to low-energy fragments.

## Physics motivation

The discovery of  $\eta$ -mesic bound systems would give unique possibility for better investigation of the elementary meson-nucleon interaction in nuclear medium for low energy region. Moreover, it would provide information

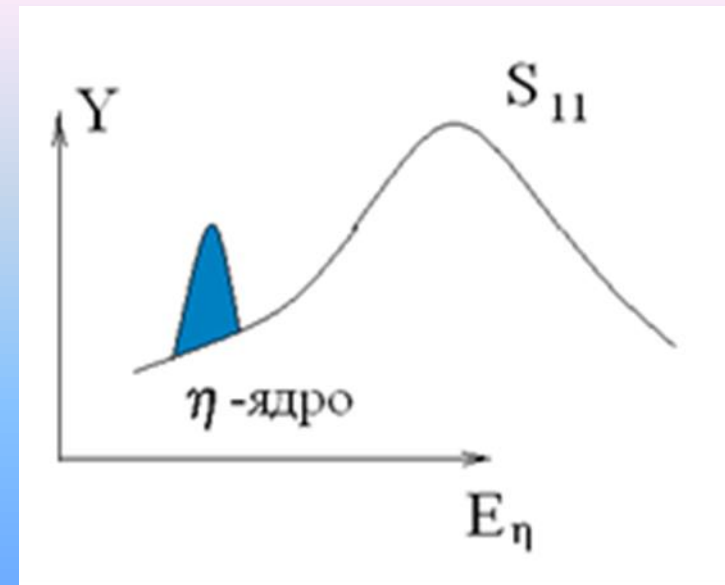
- Onset of  $\eta$  -meson binding in the He isotopes [N. Barnea, E. Friedman, A. Gal; arXiv:1706.06455v1 [nucl-th] 18 Jun 2017],
- as well as about the  $\eta$  and  $\eta'$  meson structure [ S. D. Bass, A. W. Thomas, *Acta Phys. Polon. B* 45, 627–638 (2014).].
- The  $\eta$  bound states in nuclei are sensitive to the singlet component in  $\eta$  and can be used as a probe of flavor-singlet dynamics [ S.D. Bass and A.W. Thomas, *Phys. Lett. B* 634, 368 (2006); *Acta Phys. Pol. B* 45, 627 (2014).]. Hence,  $\eta$ -mesic nuclei can improve our understanding on the  $\eta$ - $\eta'$  mixing.
- About  $\eta$  meson properties in nuclear medium [ T. Inoue, E. Oset, *Nucl. Phys. A* 710, 354–370 (2002).]

The JINR collaboration performed the search for back-to-back  $\pi$  p pairs related to the  $\eta$ -mesic bound states in  $d + {}^{12}\text{C} \rightarrow \pi + p + X$  process [S. V. Afanasiev et al., Nucl. Phys. B (Proc. Suppl.) 219-220, 255–258 (2011)]. An observation of the  $\pi p$  back-to-back correlation as well as the resonance like structure below  $\eta$  production threshold could be associated with the two-body  $N^*$  resonance decay related with formation of an  $\eta$ -mesic nucleus.

*The criterion of a bound  $\eta$ -meson is the condition for the  $\pi N$  pair's total energy, which should be below the threshold:  $E_\pi + E_N < 1486 \text{ MeV}$*

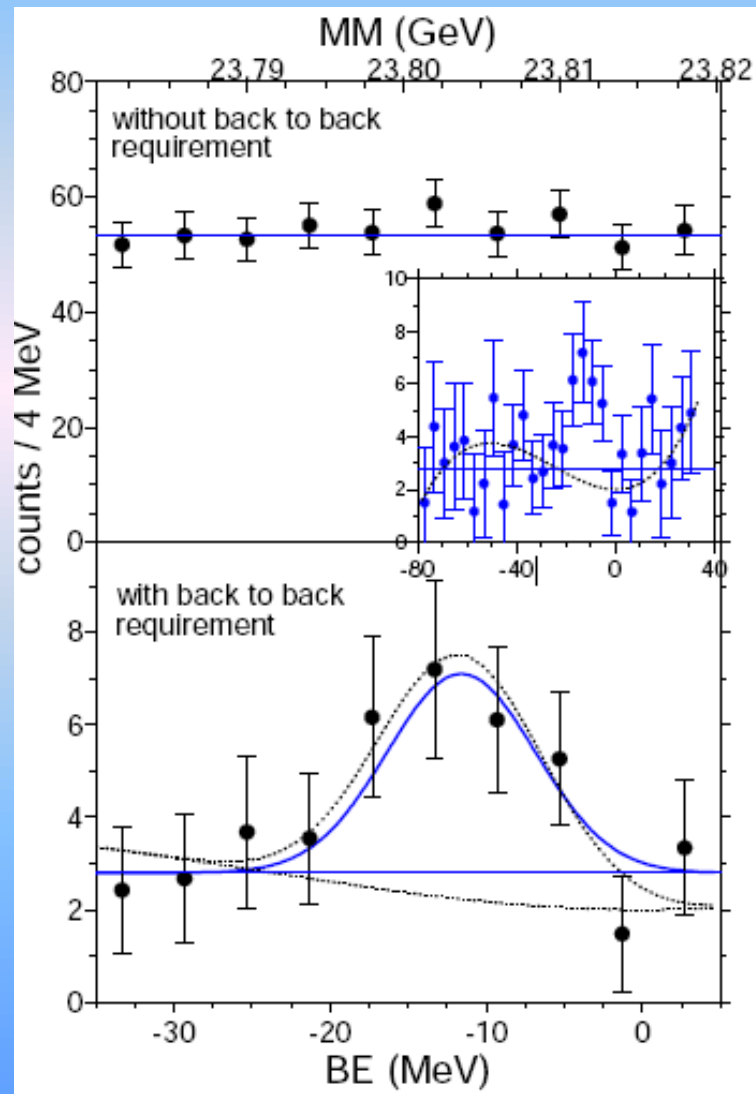


*Next criterion of a bound  $\eta$ -meson is the width of the peak in the distribution of  $\pi N$  pairs which is not related to the width of the resonance  $S_{11}$  (1535).*



# Search for the $\eta$ -mesic nuclei in a recoil-free transfer reaction COSY-GEM Collaboration

The other one is a bit more recent measurement from COSY on the  $p\ ^{27}\text{Al} \rightarrow\ ^3\text{He} X$  reaction in a recoil free kinematic setup, where one observes in coincidence with  $^3\text{He}$ , the decay of a possible bound  $\eta\text{-}^{25}\text{Mg}$  state, again, through the  $S_{11}$  resonance.



$\eta\text{-}^{25}\text{Mg}$



A. Budzanowski et al., Phys. Rev. C 79 (2009)

K. Tsushima

Nuclear Physics A670 (2000) 198c-201 c ,  
 “Study of  $\omega$ ,  $\eta$ ,  $\eta'$  and D-mesic nuclei”

K. Tsushima , D.H. Lu , A.W. Thomas, K. Saito Physics  
 Letters B 443 1998 26–32,

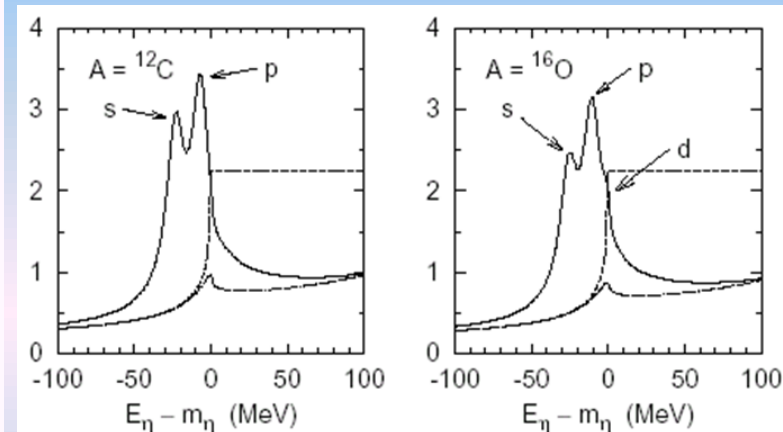
“Are  $\eta$ - and  $\omega$ -nuclear states bound.”

Table 1

$\eta$ ,  $\omega$  and  $\eta'$  bound state energies (in MeV),  $E_j = \text{Re}(E_j^* - m_j)$  ( $j = \eta, \omega, \eta'$ ), where all widths for the  $\eta'$  are set to zero. The eigenenergies are given by,  $E_j^* = E_j + m_j - i\Gamma_j/2$ .

		$\gamma_\eta = 0.5$		$\gamma_\omega = 0.2$		$\gamma_{\eta'} = 0$
		$E_\eta$	$\Gamma_\eta$	$E_\omega$	$\Gamma_\omega$	$E_{\eta'}$
$^6\text{He}$	1s	-10.7	14.5	-55.6	24.7	* (not calculated)
$^{10}\text{B}$	1s	-24.5	22.8	-80.8	28.8	*
$^{24}\text{Mg}$	1s	-38.8	28.5	-99.7	31.1	*
	1p	-17.8	23.1	-78.5	29.4	*
	2s	—	—	-42.8	24.8	*
$^{16}\text{O}$	1s	-32.6	26.7	-93.4	30.6	-41.3
	1p	-7.72	18.3	-64.7	27.8	-22.8
$^{40}\text{Ca}$	1s	-46.0	31.7	-111	33.1	-51.8
	1p	-26.8	26.8	-90.8	31.0	-38.5
	2s	-4.61	17.7	-65.5	28.9	-21.9
$^{90}\text{Zr}$	1s	-52.9	33.2	-117	33.4	-56.0
	1p	-40.0	30.5	-105	32.3	-47.7
	2s	-21.7	26.1	-86.4	30.7	-35.4
$^{208}\text{Pb}$	1s	-56.3	33.2	-118	33.1	-57.5
	1p	-48.3	31.8	-111	32.5	-52.6
	2s	-35.9	29.6	-100	31.7	-44.9

A. I. L'VOV nucl-th/9809054  
 PRODUCTION AND DECAY OF ETA  
 -MESIC NUCLEI



Resulting energy shift of  $\eta$ +N pair in the nuclear medium,

$$\Delta E(\eta+N) = (24 \div 30)_\eta + (8)_N = 30-40 \text{ MeV}$$

## Expected characteristics of pairs from decay of $\eta$ -nuclei and requirements to precisions of their measurements

The task of the experiment is the allocation and measurement of the narrow peaks in the energy distribution of pairs, which are products of  $\eta$ -nucleus decay.

Apparently, future experiments should assume that the peak width will be about **10 MeV**, and therefore they should provide accurate measurements of particle energies will be not worse than  $\sim 3.5$  MeV, so that the accuracy of the total energy of the pair will be at least 5-7 MeV. The effects of an broadening of observable peak, caused by energy dispersion in cause intra nuclear nucleons motion. This dispersion a increases observable width of peak by  $\sim 20$  MeV. This moment is reduce the accuracy to the level of 10 MeV.

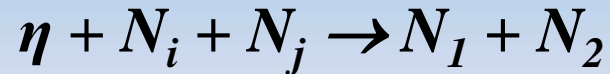
If we consider the process  $\eta + N_i \rightarrow \pi + N$  with initial particles at rest, the kinetic energy, momentum and velocity of the secondary particles can be estimated:

$$\begin{aligned}T_{\pi} &= E_{\pi} - m_{\pi} = (W^2 + m_{\pi}^2 - m_N^2)/(2W) - m_{\pi} = \underline{\underline{313 \text{ MeV}}}, \\T_N &= E_N - m_N = (W^2 + m_N^2 - m_{\pi}^2)/(2W) - m_N = \underline{\underline{94 \text{ MeV}}}, \\p_{\pi} &= p_N = [E_{\pi}^2 - m_{\pi}^2]^{1/2} = [E_N^2 - m_N^2]^{1/2} = \underline{\underline{431 \text{ MeV}/c}}, \\ \beta_{\pi} &= p_{\pi}/E_{\pi} = 0.95, \\ \beta_N &= p_N/E_N = 0.42.\end{aligned}$$

Here  $W = m_{\eta} + m_N = 1486$  MeV, also were used masses  $m_{\pi} = 140$  MeV,  $m_N = 939$  MeV,  $m_{\eta} = 547$  MeV.

---

Besides the  $\pi N$  mode,  $\eta$ -nuclei can decay with emission of NN pairs due to the reaction



The rate of this decay channel is expected to be compatible with the rate of the channel  $\pi^- p$ .

Isotopic contents of the emerging NN system is

$$\approx 5\% pp, \approx 5\% nn, \approx 90\% pn$$

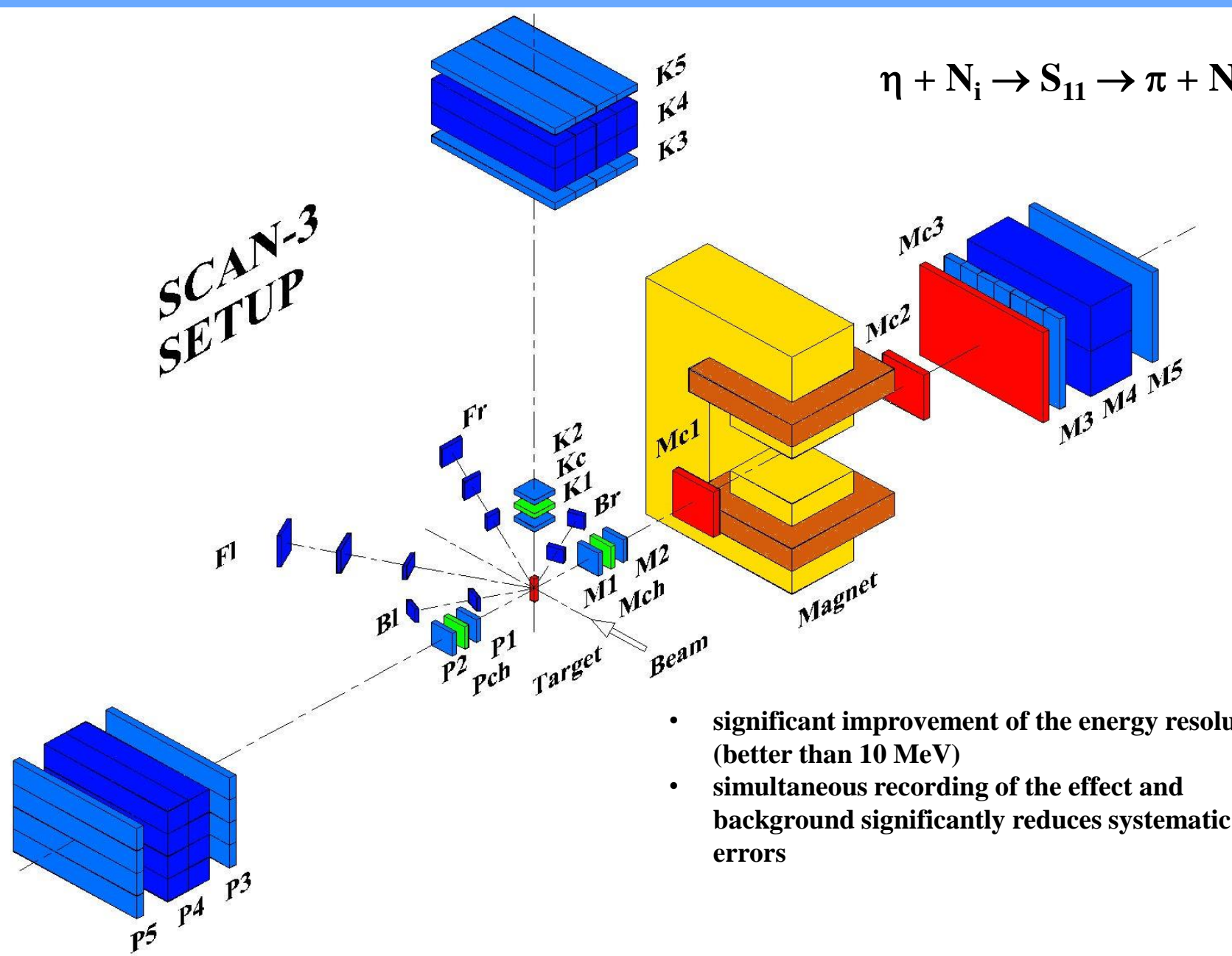
Such  $pn$  pairs having the kinetic energies

$$T_p \approx T_n \approx 270 \text{ MeV}$$



# Experimental setup

SCAN-3  
SETUP



$$\eta + N_i \rightarrow S_{11} \rightarrow \pi + N.$$

- significant improvement of the energy resolution (better than 10 MeV)
- simultaneous recording of the effect and background significantly reduces systematic errors

СОГЛАСОВАНО

Зам директора ЛФВЭ  
по научной работе

Трубников Г.В.

30 ОКТ 2013

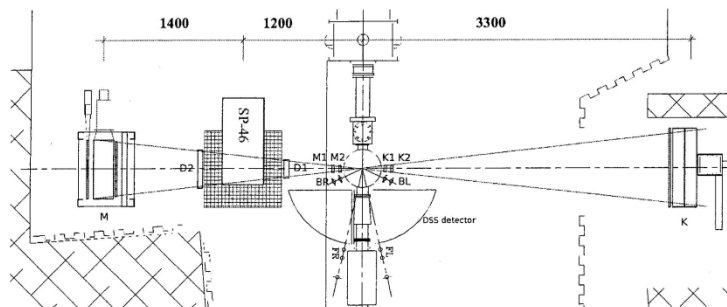
УТВЕРЖДАЮ

Главный инженер  
ЛФВЭ

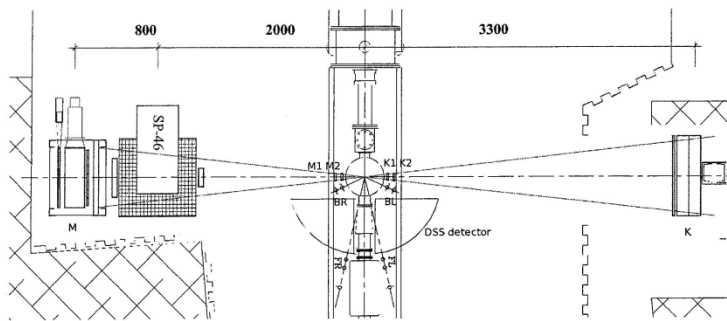
Агапов Н.Н.

ПЛАН  
размещения спектрометра СКАН  
в районе внутренней мишени Нуклотрона

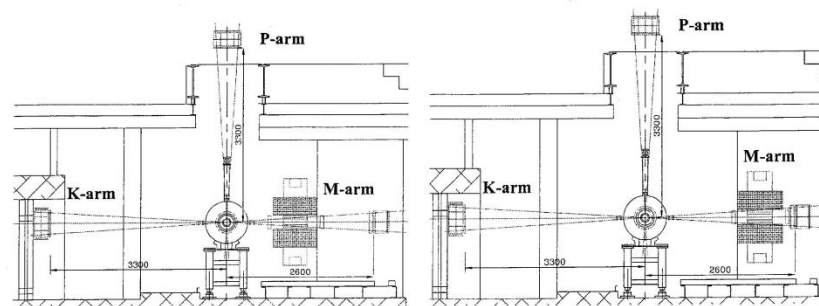
Рабочее расположение спектрометра СКАН (вид сверху):



Расположение спектрометра СКАН для обслуживания ускорителя (вид сверху):



SP-46 – передвижной магнит общим размером 780 мм по оси X и 1045 мм по оси Y;  
 FR, FL, BR, BL – сцинтилляционные мониторные счетчики;  
 K1, M1, K2, M2 – триггерные сцинтилляционные детекторы K и M плеч;  
 D1 – дрейфовая камера размером 50мм по X, 200 мм по Y (перемещаемая);  
 D2 – дрейфовая камера размером 50мм по X, 400 мм по Y (перемещаемая);  
 M – блок с сцинтилляционными детект. и пропорциональной камерой, размеры - 570 мм по X, 760 мм по Y;  
 K – блок с сцинтилляционными детекторами размером 400мм по X, 1070 мм по Y.



Рабочее расположение спектрометра СКАН  
(фронтальный вид по пучку нуклотрона):

Расположение спектрометра СКАН для  
обслуживания ускорителя (фронтальный  
вид):

**M-arm** – магнитный спектрометр с сцинтилляционными детекторами и дрейфовыми камерами, оснащенный перемещаемым электромагнитом для обеспечения свободного прохода к прямолинейному участку нуклотрона.

**K-arm** – блок с сцинтилляционными детекторами размером 300x1000x400мм по XYZ, размещается в радиальном тоннеле.

**P-arm** – блок с сцинтилляционными детекторами размером 400x1000x300мм по XYZ, размещается в зале 1-го корпуса над нуклотроном.

СОГЛАСОВАНО

Гл. инженер установки Нуклотрон.....<sup>78.10.13</sup> Ходжибагиян Г.Г.

Зам. директора по научной работе..... Коваленко А.Д.

Начальник отделения №2..... Строковский Е.А.

Начальник НЭО ИиКН..... Бутенко А.В.

Ведущий инженер по ОТ..... Соломасов Б.Т.

Ст. инженер ОРБ..... Никитин А.Д.

Начальник ИЗО..... Семин Н.В.

Начальник НТОП..... Волков В.И.

Начальник сектора НЭО ИиКН..... Смирнов А.В.

Руководитель проекта «DSS»..... Малахов А.И.

Руководитель установки «Дельта-2»..... Ливанов А.В.

Руководитель установки «Внутренняя Нишень Нуклотрона»..... Афанасьев С.В.

Х.А.Алиев

# Сечения образования $\eta$ -ядер в $dA$ столкновениях и оценка выходов.

из данных SATURN (F. Balestra et al., Phys. Rev. C69 (2004) 064003) о рождении  $\eta$ -мезонов в  $pp$ -столкновениях при энергиях  $T_p = 2.15$  ГэВ, 2.50 ГэВ и 2.85 ГэВ.

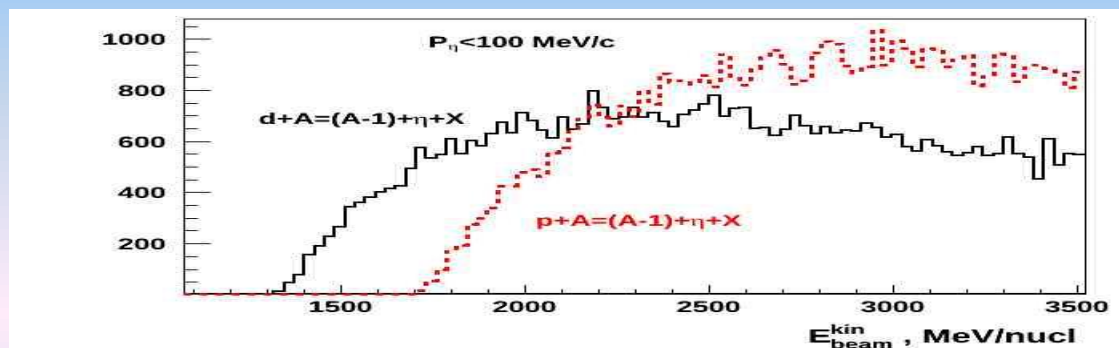
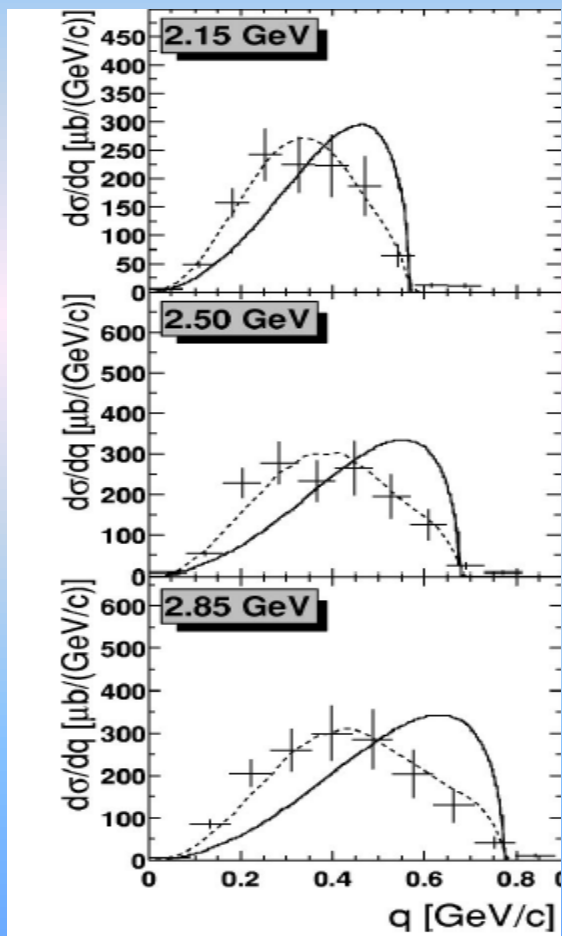


Рис. 13 Относительное число  $\eta$ -мезонов, рожденное в  $dN$  и  $pN$  реакциях в зависимости от энергии первичного пучка. Импульс относительно ядра мишени ограничен величиной  $P_\eta < 100$  МэВ/с.

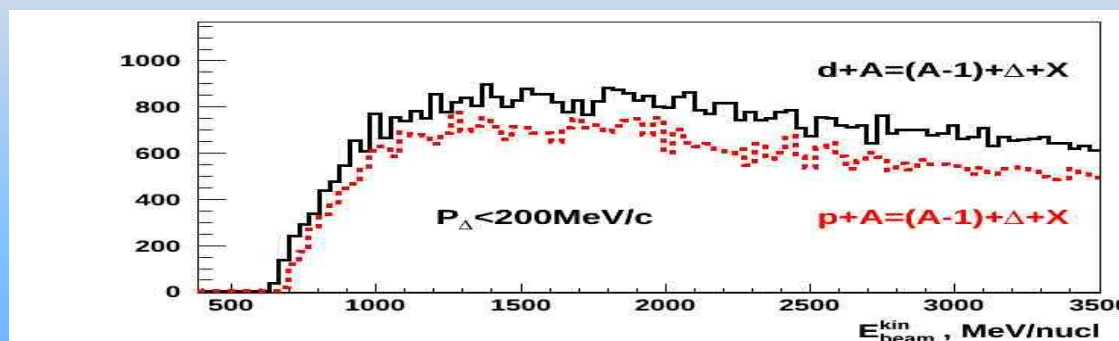
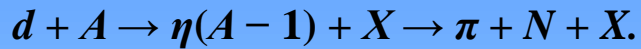
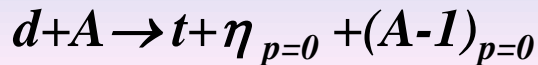


Рис. 14 Относительное число  $\Delta$ -резонансов, рожденное в  $dN$  и  $pN$  реакциях в зависимости от энергии первичного пучка. Импульс относительно ядра мишени ограничен величиной  $P_\Delta < 200$  МэВ/с.



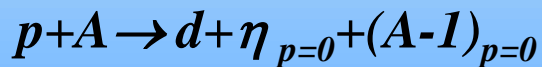
- 1)  $\eta$ -meson production
- 2) To produce stable nucleus-rest from target
- 3) Effective capture of the meson
- 4) To measure the products of decay

**Recoil-free transfer reactions are most acceptable to the successful formation of the  $\eta$ -nuclei.**

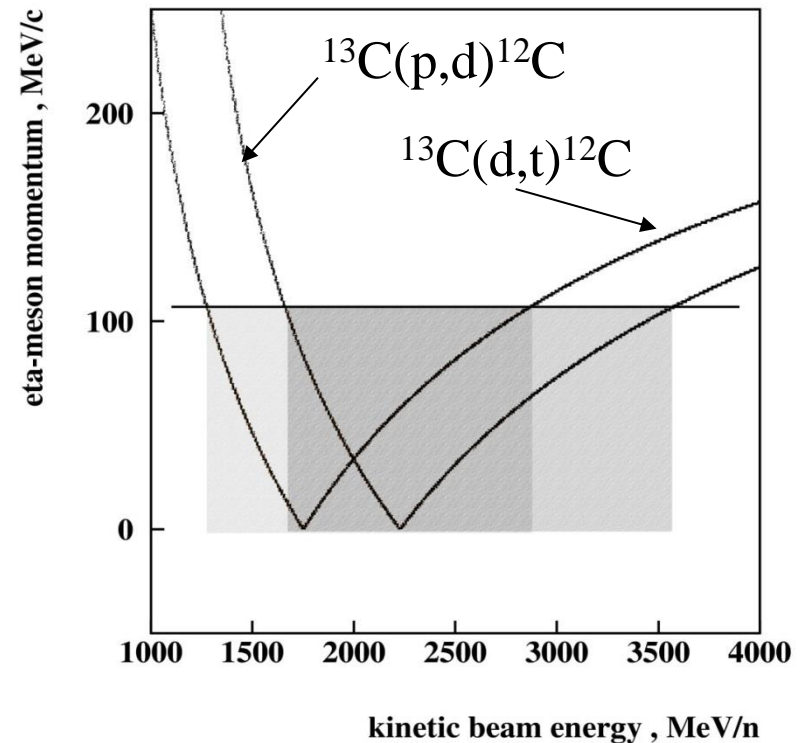


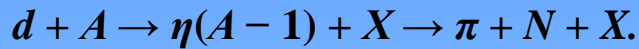
$$P_p = P_d \quad E_d = 2.22 \text{ MeV}$$

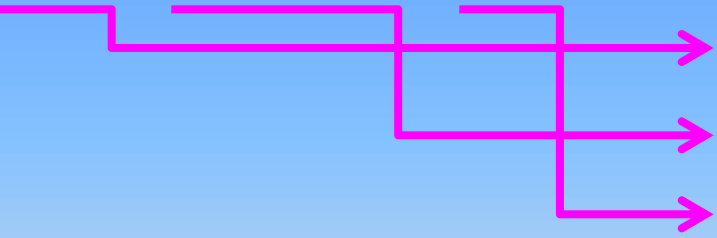
$$\begin{aligned} {}^{13}\text{C} + d &= {}^{12}\text{C} + t + \eta + Q \\ Q &= 1.3 \text{ MeV} \end{aligned}$$

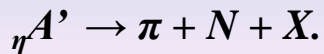
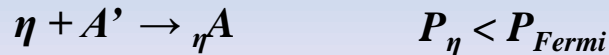
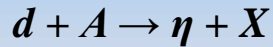


$$P_d = P_t \quad E_t = 6.25 \text{ MeV}$$





- 
- 1)  $\eta$ -meson production
  - 2) To produce stable nucleus-rest from target
  - 3) Effective capture of the meson
  - 4) To measure the products of decay



Estimates of the effect  
yield of  $\eta$ -nuclei

$$Y(\pi^-p) \sim 40 \text{ hour}^{-1}, \quad Y(\pi^+n) \sim 12 \text{ hour}^{-1},$$

$$Y(pn) \sim 12 \text{ hour}^{-1}, \quad Y(pp) \sim 2 \text{ hour}^{-1}.$$

**The minimum acceleration time requested for  $\eta$ -nuclei research is about 200 hours.**

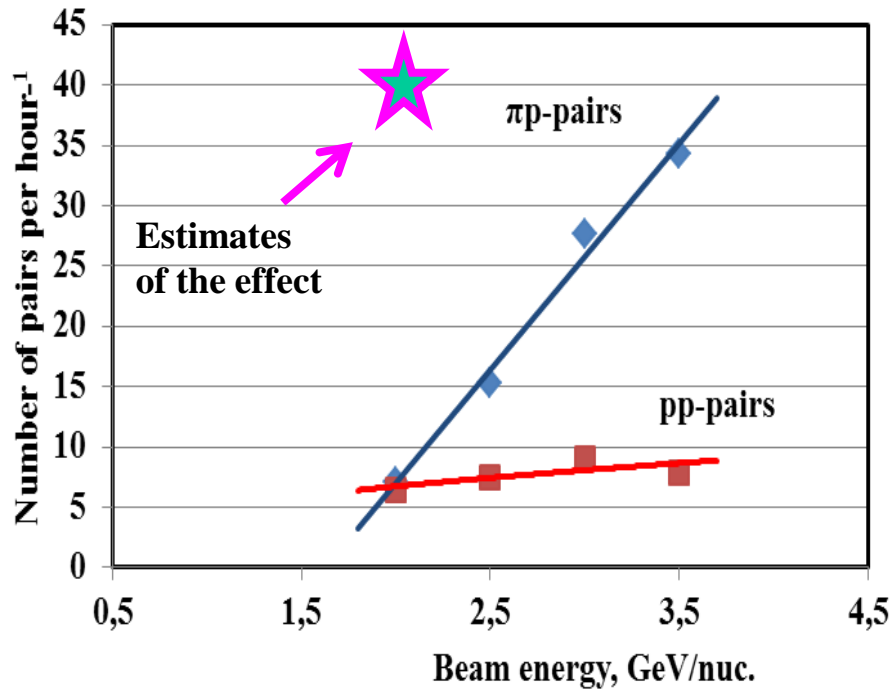


Рис. 44 Число пар с энергией  $1535 \pm 30$  МэВ, возникающих в результате случайных совпадений в зависимости от энергии налетающего пучка. Область формирования  $\eta$ -ядра.

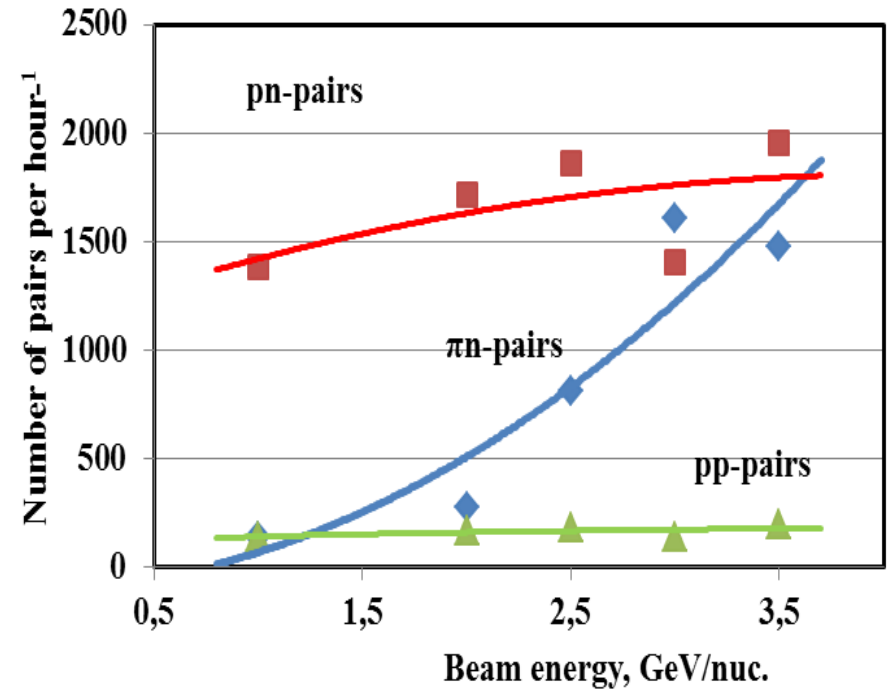


Рис. 43 Число пар с энергией  $1232 \pm 30$  МэВ, возникающих в результате случайных совпадений в зависимости от энергии налетающего пучка. Область формирования  $\Delta$ -ядра.

The number of pairs with the energy of  $1535 \pm 30$  МэВ registered from random coincidences depending on the energy of irradiating beam. The region of  $\eta$ -nuclei formation.

# GEANT simulation

A study of the accuracy of the rotation angle of pions in a magnetic field ( $B=7$  kGs) depending on the thickness of the detectors, the number of the coordinate cameras and gas environment.

Data analysis showed:

*the passage of **pions** with kinetic energy 313 MeV.*

- the best angular resolution is achieved in a vacuum,
- counters minimum thickness meters and 4 cameras
- in air and 3 cameras resolution deteriorates irrelevant to

*for **protons** with kinetic energy of 270 MeV*

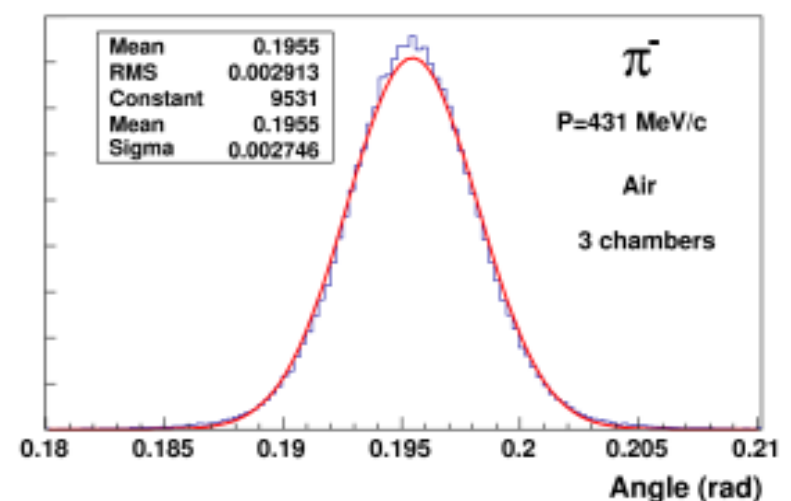
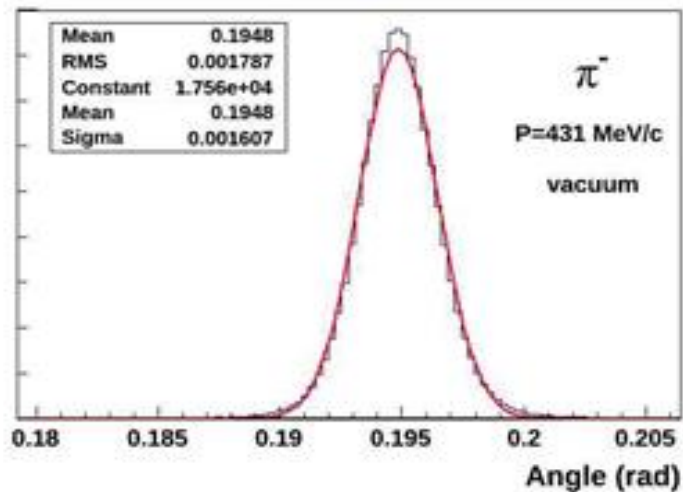
- in the first case, the accuracy of determination of the angle is
- In the second case, the accuracy of determination of the angle is

0.82 % (2.6 MeV)

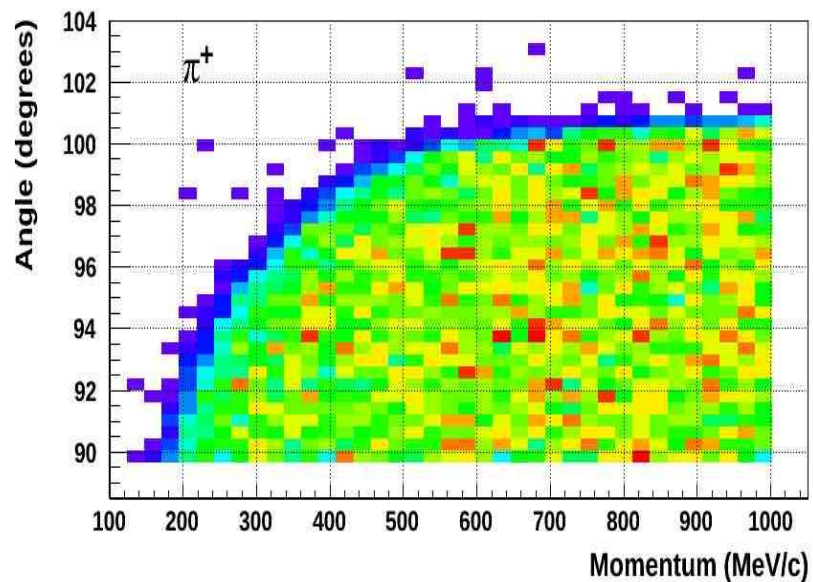
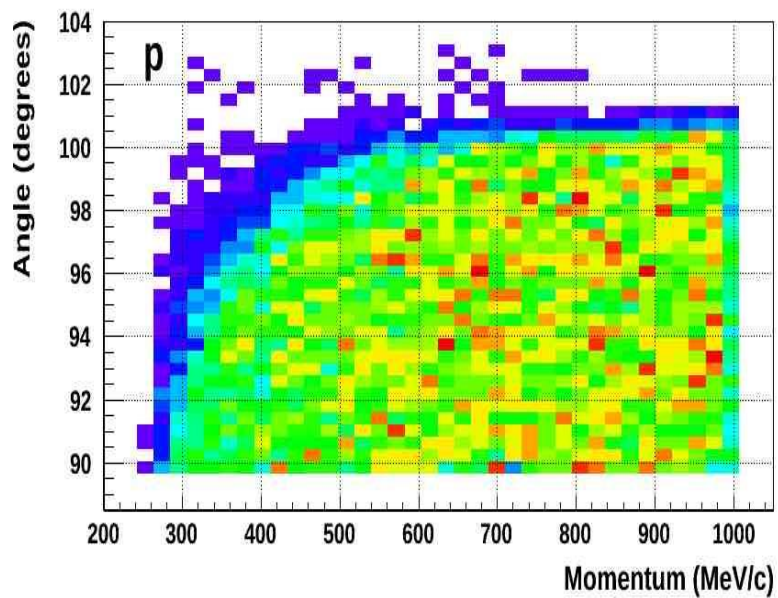
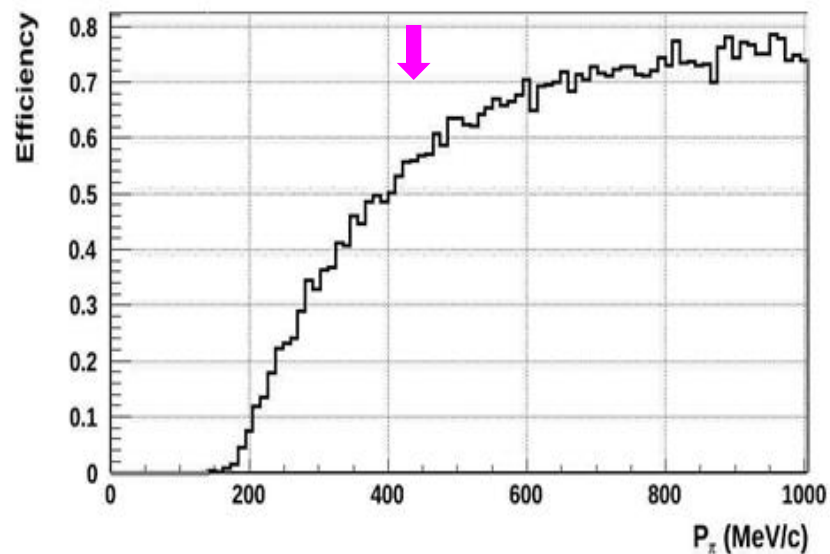
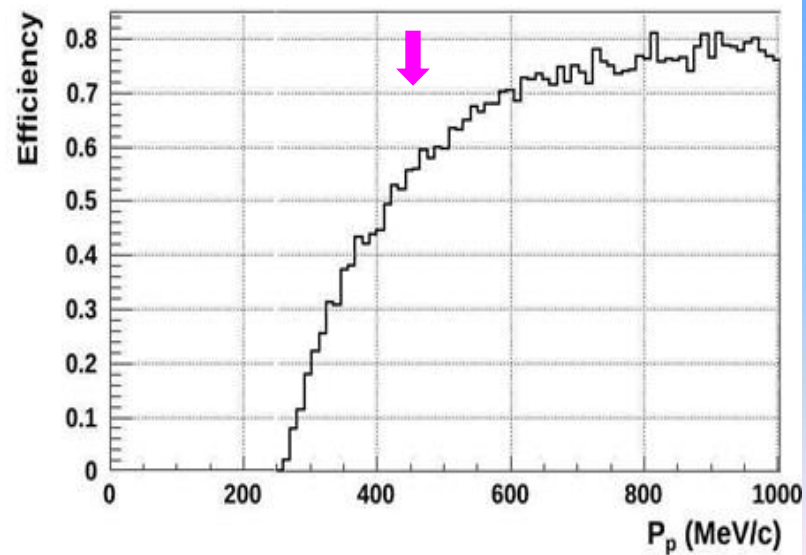
1.28 % (4 MeV)

1.17% (3.2 MeV)

2.4% (6.5 MeV)



# Acceptance

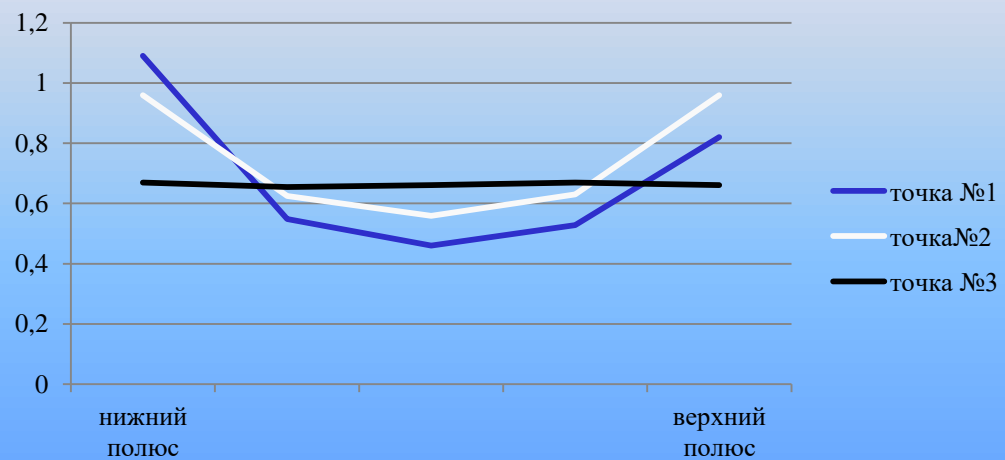




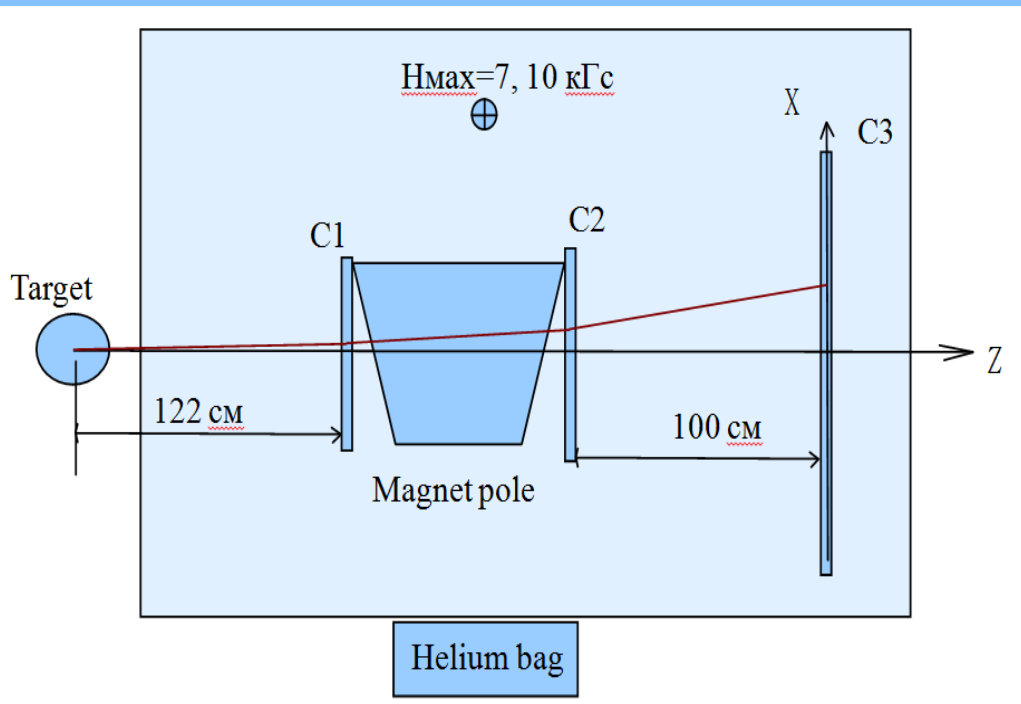
---

# Research Preparation Report

# Dipole Magnet



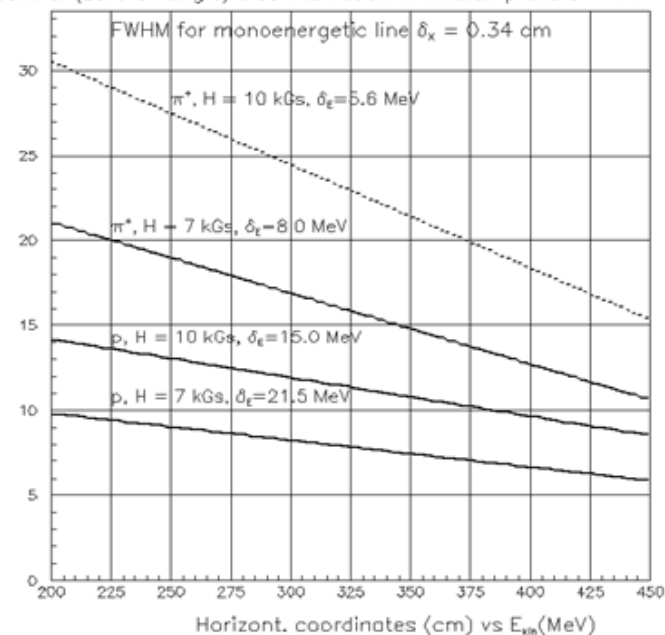
## *Distortion of $\pi^+$ and $p$ of energy range of 200 – 425 MeV in the magnetic field of SP-46 magnet.*



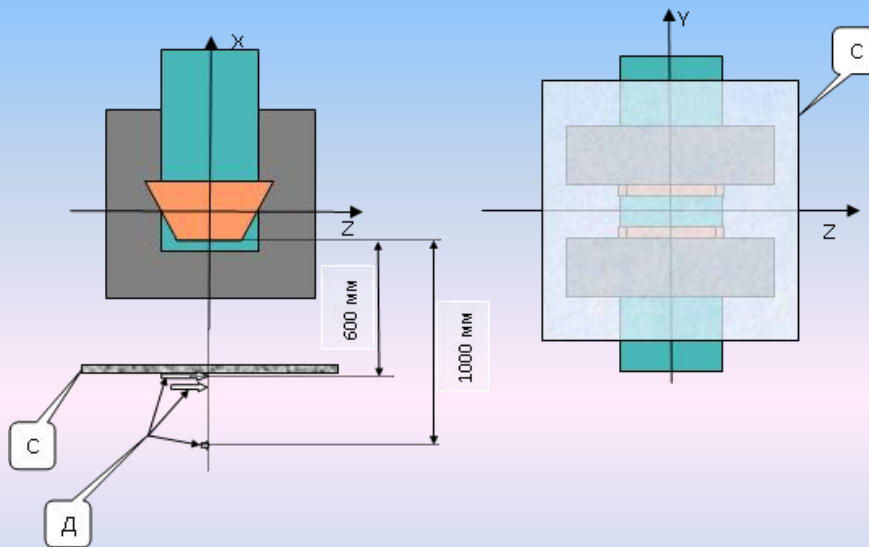
Distortion of track in magnetic field as a function of particle type, kinetic energy and two values of the magnetic field  $H_{max}=7$  and  $10$  kG.

Energy resolution (FWHM) for protons are 21,5 and 15 MeV, for pions – 8 and 5,6 MeV at the magnetic field 7 and 10 kGs accordingly.

Central (zero  $\theta$ -angle) track deviation in median plane SP-46

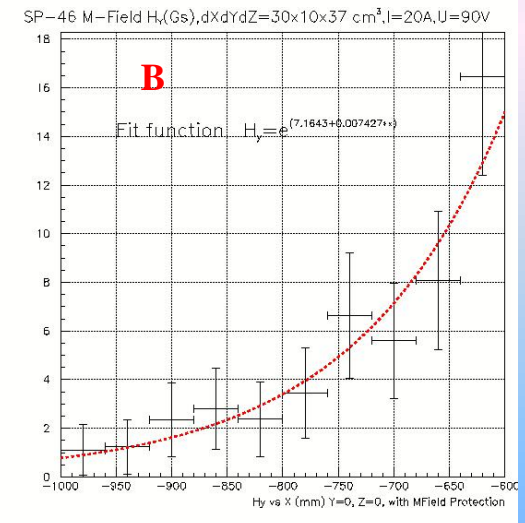
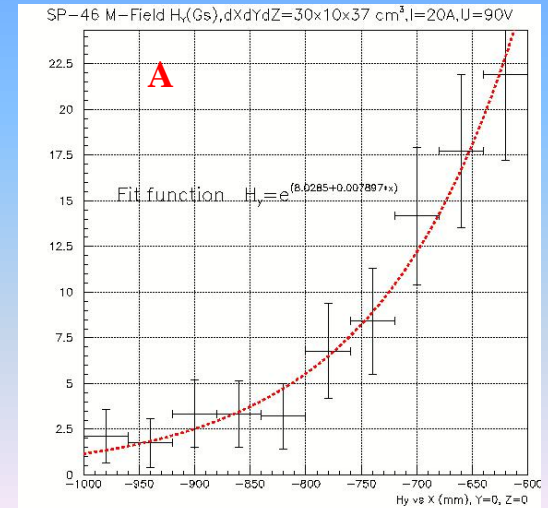


## The measurement of the scattered magnetic fields

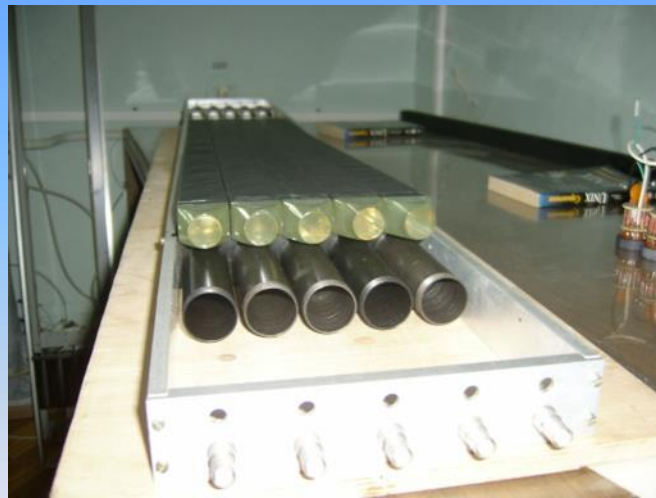
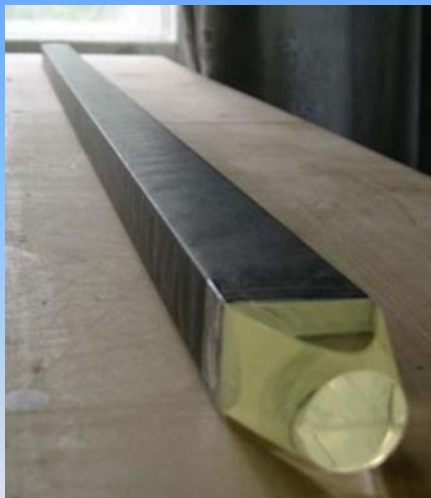


The scheme of induction measurements of the scattered field for magnet SP-46.

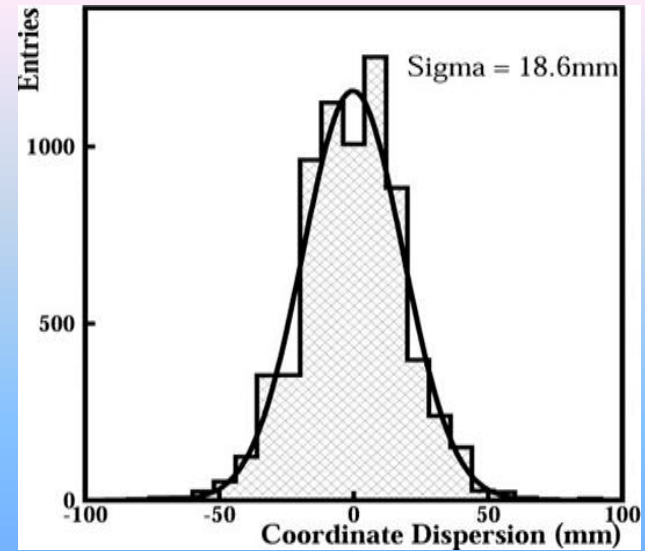
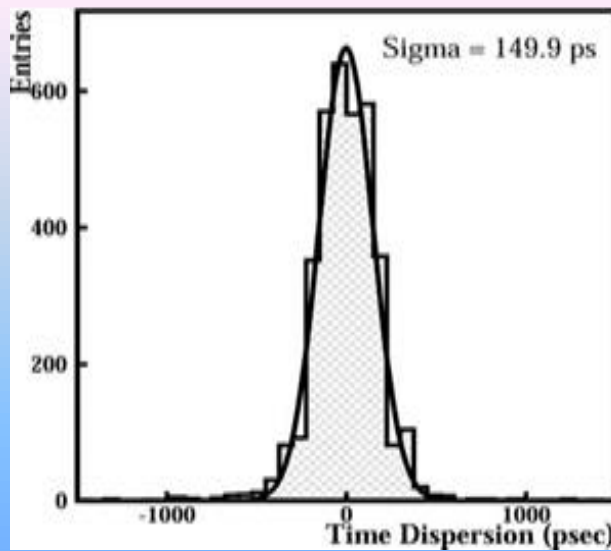
- D - the Hall probe position measurement,
- C - steel sheet 1000x1000x1mm.



The dependence of the longitudinal component of the induction field of the magnet SP-46, the distance from the shear plane pole. A)-no shield; B- used magnetic shield

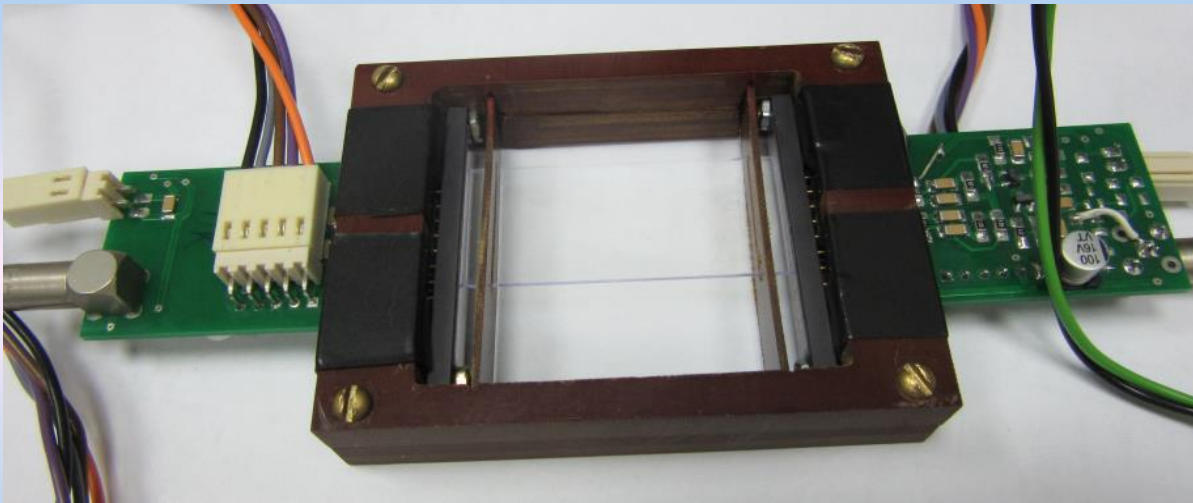


*Time of flight hodoscope M-arm, before assembly*

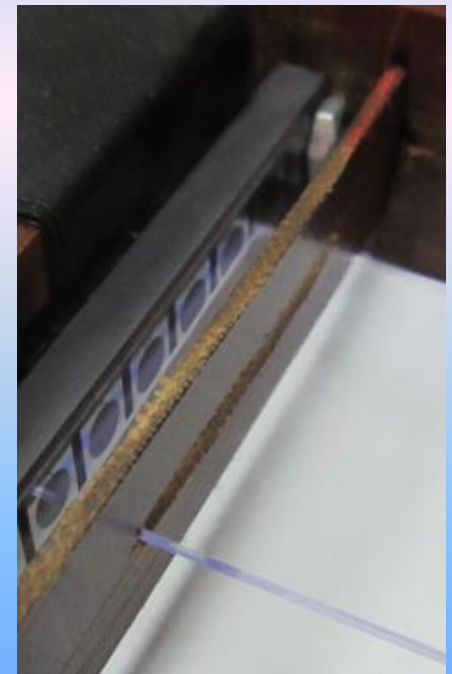


*Timing and coordinate distribution for elements of the third detector, M-arm.*

The forward TOF detector has been prepared. The detector is based of SiPM matrix and fast plastic scintillator. The technology was created for thin scintillation plates production. This technology allow to obtain uniformity in thickness at the level of 1% for scintillators with thickness from 0.1 mm to 1.5 mm. A fast preamplifier for the SiPM matrix was developed and manufactured



SiPM matrix



## Изготовлены две 64-элементные координатные камеры на основе дрейфовых трубок.



A gas control panel was created for automated gas supply and control of coordinate Straw detectors, which are part of the magnetic spectrometer of the SCAN-3 installation. A photo of the gas control panel located in Bld. No. 1

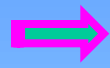


---

The two-coordinate proportional was been reconstructed. The chamber has size of 600x200mm.



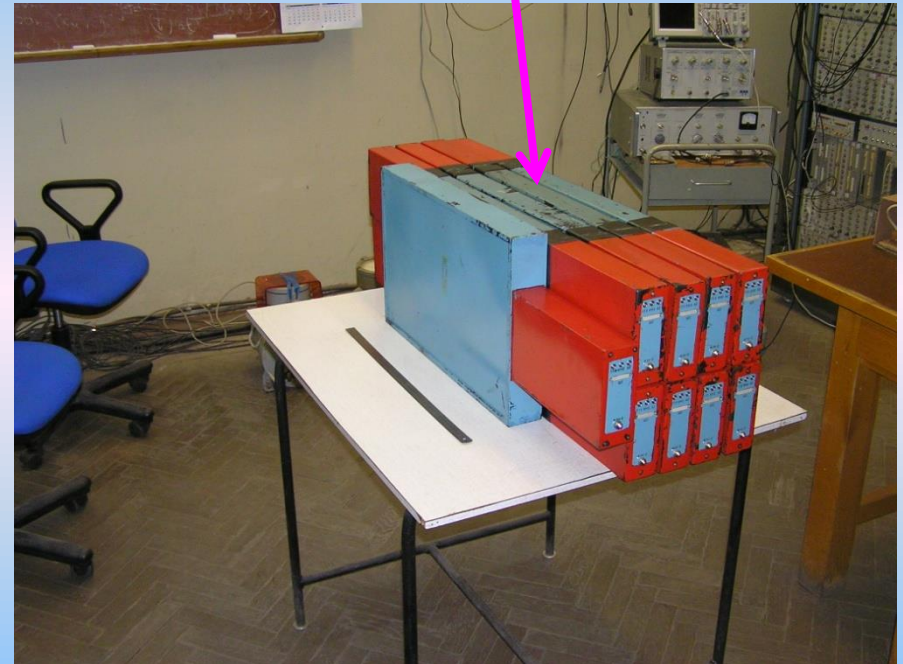
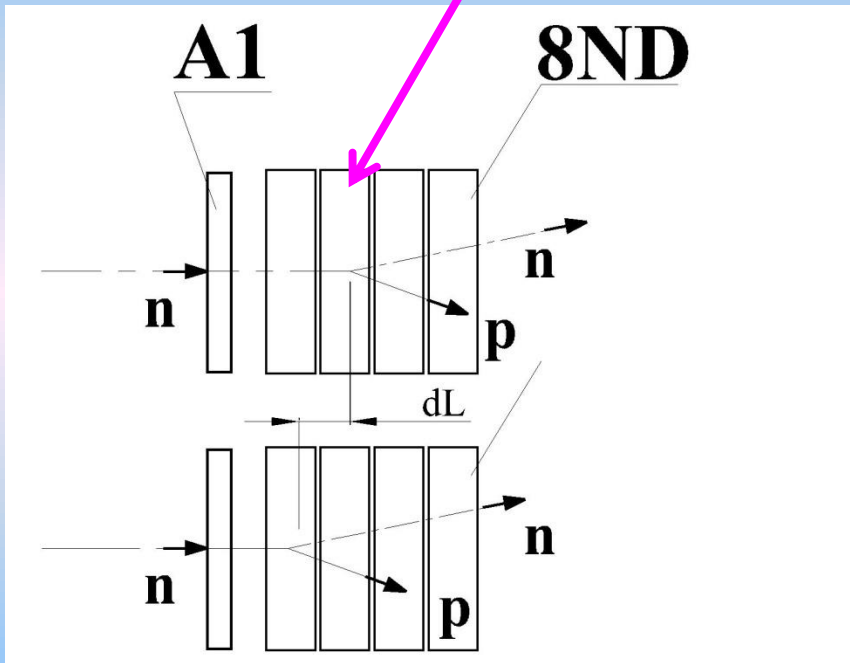




# Neutron detectors

Scintillator 500x130x50mm

Multi layers neutron counter  
For first run test.



Summary from beam test:

TOF resolution vary from 0.27ns to 0.4ns with mean value is **0.31ns**

The design of the multilayer neutron detector has been modified, the counters are being assembled.



Рис.1 Прототип нейтронного счетчика



# DAQ

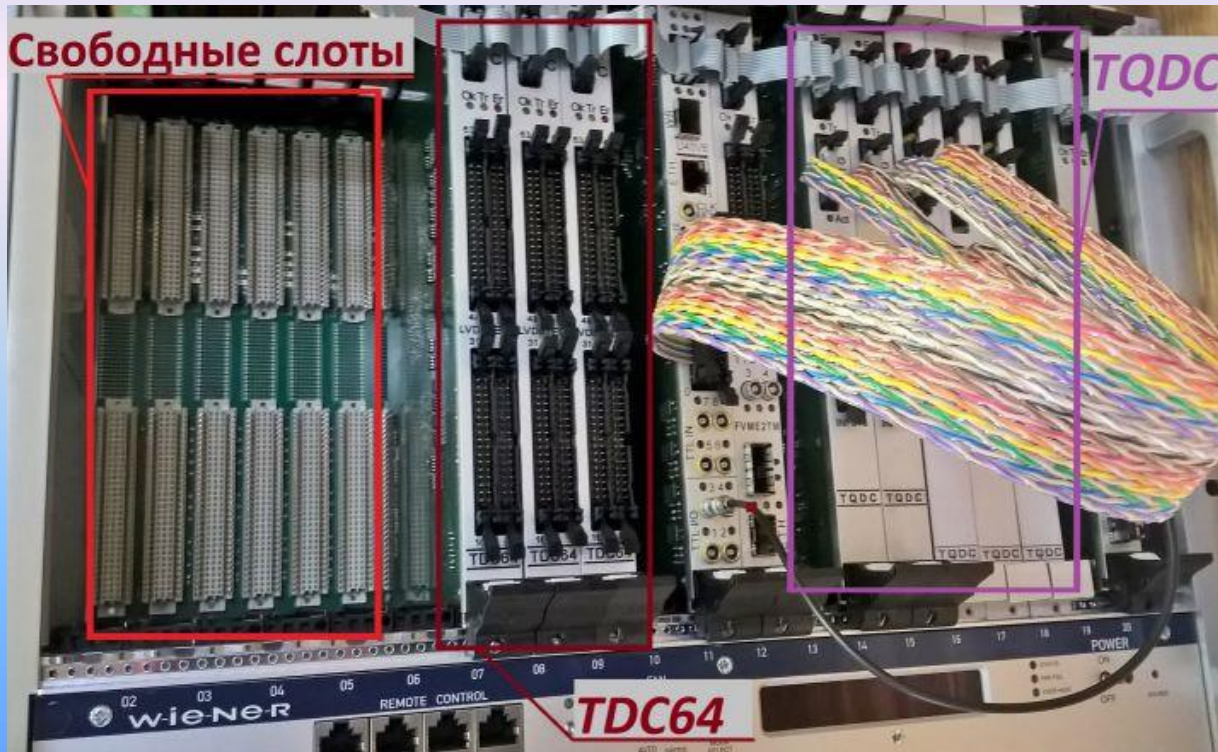
The data acquisition system is built on the VME platform and includes a set of modules serving experimental setup. Basis of DAQ is VME modules, which are produced in VBLHEP JINR. DAQ consist of:

FVME – VME crate controller;

FVME2TM – trigger module;

TQDC-16 - 16-channel converter of time and charge, the total number – 64 channels;

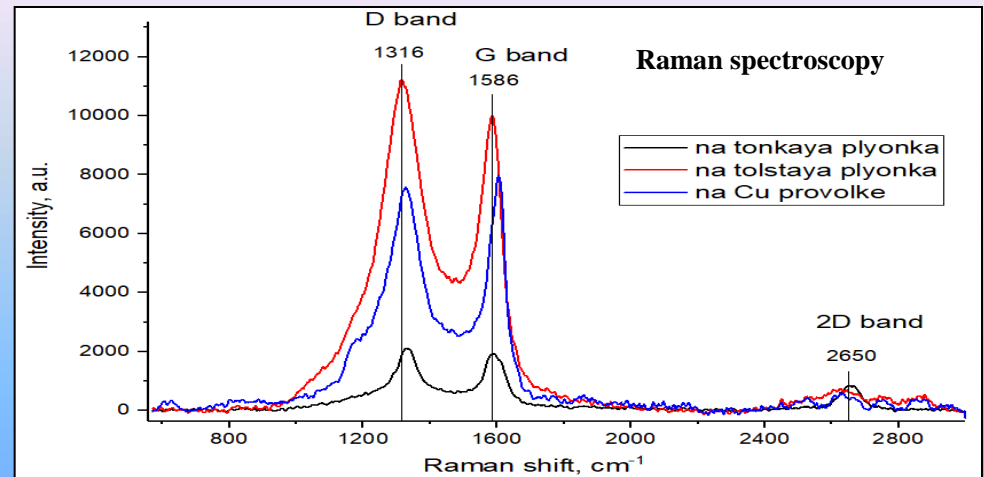
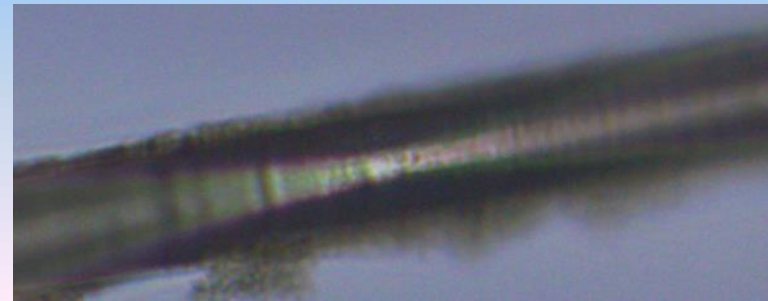
TDC64V - 64-channel TDC with a resolution of 100ps, total - 128 channels;



# $^{13}\text{C}$ target preparation

Carbon synthesized by pulsed-arc plasma

The results of carbon deposition on the substrate during plasma destruction of butane.



# Отчет по проекту «СКАН-3»

- 1) Создан многослойный нейтронный детектора Проведено испытание прототипа на пучках стриппинговых нейтронов.
- 2) Изготовлены компоненты нейтронных детекторов, проводится отладка нейтронных счетчиков.
- 3) Проведена реконструкция двухкоординатной пропорциональной камеры размером 600x200мм. Камера подготовлена к испытанию на пучке нуклотрона .
- 4) Проведено испытание работы магнита с новым источником. Определен рабочий ток
- 5) Подготовлены три площадки для размещения 3х плеч установки СКАН
- 6) Изготавливается микростриповый вершинный детектор.
- 7) Изготовлен полный комплект для всех элементов нейтронных детекторов.
- 8) Изготовлены и установлены в спектрометр две дрейфовые камеры на основе дрейфовых трубок.
- 9) Разработан и изготовлен газовый пульт для дрейфовых камер.
- 10) Произведен монтаж и подключение к электронике сбора данных дрейфовых камер.
- 11) Отлаживается технология напыления углерода на тонкую подложку.
- 12) Результаты работы отражены в 28 публикациях и выступлениях

**Подготовлены все детектирующие системы для проведения исследований. Требуется пучковое время на ядрах дейтери для отладки спектрометра и набора данных.**

## Ресурсное обеспечение:

<b>Collaboration</b>	<b>FTE</b>
<b>Institute of Physics, Slovak Academy of Sciences, Bratislava, Slovak republic</b>	<b>3(?)</b>
<b>Horia Hulubei National Institute of R&amp;D for Physics and Nuclear engineering, Bucharest , Romania</b>	<b>4(?)</b>
<b>Insitute for Space Science, Bucharest-Magurele, Romania</b>	<b>1(?)</b>
<b>Joint Institute for Nuclear Research, Dubna, Russia</b>	<b>11</b>
<b>Faculty of Science, University of P.J. Šafárik, Košice, Slovak republic</b>	<b>2(?)</b>
<b>Lebedev Physical Institute, Moscow, Russia</b>	<b>4</b>
<b>Tomsk Polytechnic University, Tomsk, Russia</b>	<b>2</b>
	<b>Total: 17</b>

№	ФИО	Должность	Ставка по штату	Категория	ФТЕ	Занятость по проекту
1	С.В. Афанасьев*	нач.сек	1	нс	0.6	Физ.прогр, обработка и анализ данных
2	А.А. Балдин*	нач.сек	1	нс	0.6	Физ.прогр, обработка и анализ данных
3	В. Бекиров	лаборант	1	рабоч.	0.6	Механика, набор данных
4	В.Вартик	инженер	1	спец.	0.9	Изготовление изотопных мишеней
5	Д.К. Дряблов	нс	1	нс	0.8	Моделирование, анализ данных
6	Б.В. Дубинчик	инженер	1	спец.	0.6	Механика, документация
7	Р.Ю. Колесников	инженер	1	спец.	0.6	Мишенная станция
9	А.С. Кузнецов	инженер	1	спец.	0.6	Детекторы, методика
10	А.И. Малахов	нач.отд.	1	нс	0.1	Общее руководство
11	Д.Г.Сакулин	инженер	1	спец.	0.6	Обработка данных
12	Е.В.Сухов	мнс	1	нс	0.6	Детекторы, методика
13	В.В.Устинов	мнс	1	нс	0.6	Детекторы, методика
14	С.С.Шиманский*	снс	1	нс	0.6	Физ.прогр, обработка и анализ данных

\*- Ответственные за направление физпрограммы

Итого:

14 шт.ед

7.8 ФТЕ

# Финансирование проекта на 2023 – 2027

138k\$

суммарно на 5 лет

~28k\$/год

Наименования затрат, ресурсов, источников финансирования		Стоимость (тыс. долл.)  потребност и в ресурсах	Стоимость, распределение по годам					
			1 год	2 год	3 год	4 год	5 год	
	Международное сотрудничество (МНТС)	20	4	4	4	4	4	
	Материалы	103	23	20	20	20	20	
	Оборудование и услуги сторонних организаций (пуско-наладочные работы)							
	Пуско-наладочные работы							
	Услуги научно-исследовательских организаций	15	15					
	Приобретение программного обеспечения							
	Проектирование/строительство							
	Сервисные расходы (планируются в случае прямой принадлежности к проекту)							
Необходимые ресурсы	Нормо-час	Ресурсы						
		– сумма FTE,						
		– ускорителя/установки,	1200					
		– реактора, .....						
Источники финансирования	Бюджет-ные средства	Бюджет ОИЯИ (статьи бюджета)	138	42	24	24	24	24
	Внебюджет (доп. смета)	Вклады соисполнителей Средства по договорам с заказчиками Другие источники финансирования						

Руководитель проекта

Экономист Лаборатории

*В.В. Вильямс* / *А.А. Астахов С.В.*  
*А.* *Козлова Д.И.*



## Summary

---

- ❑ Have been observed  $\pi p$  back-to-back correlation coming from a target, which may be associated with decay of  $S_{11}$  resonance.
- ❑ The resonance is shifted to small masses and shift has value around 20 MeV. The width of the resonance is around 60 MeV.
- ❑ Was estimated the value of the total cross-section ( $\approx 10\mu\text{b}$ ).

As a result of project implementation we plan:

- ❑ to create a precision magnetic spectrometer for the measurement of correlated pairs with an energy resolution up to 4-5 MeV;
- ❑ to investigate the behavior of  $S_{11}$  resonances in the nuclear medium:
  - to determine the cross-section of  $\eta$ -nuclei formation  $\sigma(\eta A)$ ;
  - determine the bound energy of eta-mesons in nucleus;
  - to measure the relationship of outputs ( $\pi^- p$ ) and ( $pN$ ) events;

---

**СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ!**

**Thank you for attention!**

1. Сухов Е.В., «Многослойный нейтронный счетчик на основе пластического сцинтиллятора», XXIV научно-практическая конференция студентов, аспирантов и молодых специалистов Государственного университета «Дубна».
2. Сухов Е.В., доклад «Стартовый счетчик для проекта СКАН-3» на XXV научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых специалистов, г. Дубна, 16-26 апреля 2018.
3. Сухов Е.В., «Многослойный нейтронный счетчик на основе пластического сцинтиллятора», Международный молодежный научный форум «ЛОМОНОСОВ-2018», секция «Физика», изд-во «Москва, Физический факультет МГУ», 2018 – страницы 140-142.
4. Д.К.Дряблов, З.А.Игамкулов, Т.Т. Рахмонов, и др.«Погрешность в определении эффективной массы пары частиц от распада S11-резонанса в установке SCAN-2» Uzbek Journal of Physics, Изд:АН Республики Узбекистан , т.5 , №19,2018, с.249-257.
5. С.В.Афанасьев, Д.К.Дряблов, Б.В.Дубинчик, и др. «Creation of a precision magnetic spectrometer SCAN-3»,
6. S.V.Afanasiev, “The influence of collective effects on the eta-mesic nucleus”. XXIV International Baldin Seminar on High Energy Physics Problems "Relativistic Nuclear Physics and Quantum Chromodynamics", September 2018.
7. K.Michalickova “ $\eta$ -nuclei in the SCAN experiment”. XXIV International Baldin Seminar on High Energy Physics Problems "Relativistic Nuclear Physics and Quantum Chromodynamics", September 2018.
8. D.K. Dryablov , “Search for eta-mesic nuclei the SRC/BM@N experiment at the nuclotron.” XXIV International Baldin Seminar on High Energy Physics Problems "Relativistic Nuclear Physics and Quantum Chromodynamics» September 2018.

9. С.В.Афанасьев ,и др. «Исследование нейтронного детектора на выведенном пучке Нуклотрона», Письма в ЭЧАЯ, т.16, №4 (223) , 2019. стр. 310-316
10. S.V.Afanasiev, et. all, "Test of the Neutron Detector in the Nuclotron Extraction Beamline", Physics of Particles and Nuclei Letters, v.16, №4 (223) , 2019. p. 327–332
11. Sakulin.D.G. et. all. "Investigation of the electromagnetic calorimeter response function by cosmic muons", XXIV International Baldin Seminar on High Energy Physics Problems "Relativistic Nuclear Physics and Quantum Chromodynamics" (Baldin ISHEPP XXIV), EPJ Web Conf. Volume 204, 2019
12. S.V.Afanasiev, et. all, "«Search for eta-mesic nuclei in the SRC/BM@N experiment at the Nuclotron» , XXIV International Baldin Seminar on High Energy Physics Problems "Relativistic Nuclear Physics and Quantum Chromodynamics" (Baldin ISHEPP XXIV), EPJ Web of Conferences, ISSN:2100-014X, v.204, p.09002
13. K. Michaličkov´a et.all, "Eta-nuclei in the SCAN experiment", Relativistic Nuclear Physics and Quantum Chromodynamics" (Baldin ISHEPP XXIV), EPJ Web of Conferences, ISSN:2100-014X, v.204, p.09001
14. K. Michaličkov´a et.all, "SEARCH FOR ETA-NUCLEI IN THE d+C REACTION IN THE RANGE OF THE BEAM ENERGY 0.6 - 2.3 GeV/nucleon." International Workshop "Relativistic Nuclear Physics: from Hundreds of MeV to TeV" -- RNP-2019 .Stara Lesna, Slovakia
15. K. Michaličkov´a et.all, "Determination of the reaction for eta-nuclei creation", Conference of Slovak physicists: Zilina, Slovakia, 2-5. September 2019

16. Ustinov V.V., доклад «Investigation of the radiation hardness of plastic scintillators in IBR-2 reactor» // HGAL Workshop 2019-3, CERN, Женева, Швейцария, 11 ноября 2019.
17. Ustinov V.V., доклад «The Radiation Hardness of the Plastic Scintillators and Reflectors» // HGAL Workshop 2019-1, CERN, Женева, Швейцария, 11 марта 2019.
18. Устинов В.В., доклад «Стенд для исследования пластических сцинтилляторов на радиационную стойкость» // XXVI Международная конференция студентов, аспирантов и молодых специалистов по фундаментальным наукам "Ломоносов-2019", МГУ, Москва, Россия, 11 апреля 2019.
19. Устинов В.В., доклад «Радиационная стойкость пластических сцинтилляторов и отражающих покрытий» // VIII Межинститутская молодежная конференция «Физика элементарных частиц и космология 2019», МФТИ, Москва, Россия, 12 апреля 2019.
20. Устинов В.В., секционный доклад «Исследование влияния радиационного поля на светосбор пластических сцинтилляторов» // XXVI Научно-практическая конференция студентов, аспирантов и молодых специалистов, Государственный университет «Дубна», Россия, подсекция «Физико-технические системы», 15 апреля 2019.
21. Устинов В.В., пленарный доклад «Исследование влияния радиационного поля на светосбор пластических сцинтилляторов» // XXVI Научно-практическая конференция студентов, аспирантов и молодых специалистов, Государственный университет «Дубна», Россия, 25 апреля 2019.

22. Устинов В.В., пленарный доклад «Исследование влияния радиационного поля на светосбор пластических сцинтилляторов» // XXVI Научно-практическая конференция студентов, аспирантов и молодых специалистов, Государственный университет «Дубна», Россия, 25 апреля 2019.
23. Сухов Е.В., доклад «Исследование световыхода пластических сцинтилляторов в зависимости от светоотражателя» // XXVI Международная конференция студентов, аспирантов и молодых специалистов по фундаментальным наукам "Ломоносов-2019", МГУ, Москва, Россия, 2019.
24. Сухов Е.В., доклад «Исследование светосбора пластических сцинтилляторов в зависимости от производителя, формы и размера» // VIII Межинститутская молодежная конференция "Физика элементарных частиц и космология 2019", МФТИ, Москва, Россия 2019.
25. Сухов Е.В., секционный доклад «Исследование световыхода пластических сцинтилляторов в зависимости от их производителя, формы и размера, оболочки» // XXVI Научно-практическая конференция студентов, аспирантов и молодых специалистов, Государственный университет «Дубна», Россия, подсекция «Физико-технические системы», 15 апреля 2019.
26. Устинов В.В., Афанасьев С.В., Сухов Е.В., доклад «Investigation of the radiation hardness of plastic scintillators» на Всероссийской научно-практической конференции «ПРИРОДА. ОБЩЕСТВО. ЧЕЛОВЕК», Государственный университет «Дубна», Россия, 2019.

27. V. Ustinov, S. Afanasiev, V. Baskov, V. Bekirov, D. Dryablov, B. Dubinchik, A. L'vov , A. Malakhov, K. Michalickova, V. Polyansky, D. Sakulin, E. Sukhov “Multilayer neutron detector based on a plastic scintillator”, AIP Conference Proceedings, ISSN:0094-243X, eISSN:1551-7616, Изд:American Institute of Physics, Vol: 2377, 030018 (2021)
28. Устинов В. В., Афанасьев С. В., Басков В. А., Бекиров В. И., Дряблов Д. К., Дубинчик Б. В., Кречетов Ю. Ф., Кутинова О. В., Львов А. И., Малахов А. И., Михаличкова К., Полянский В. В., Сакулин Д. Г., Сухов Е. В.  
«Разработка детекторов нейтронов для спектрометра СКАН-3 в ОИЯИ»  
Труды Московского физико-технического института, ISSN:ISSN 2072-6759, том 13, №8, стр 122-132.

Измерения эффекта и измерения фона проводятся  
одновременно!

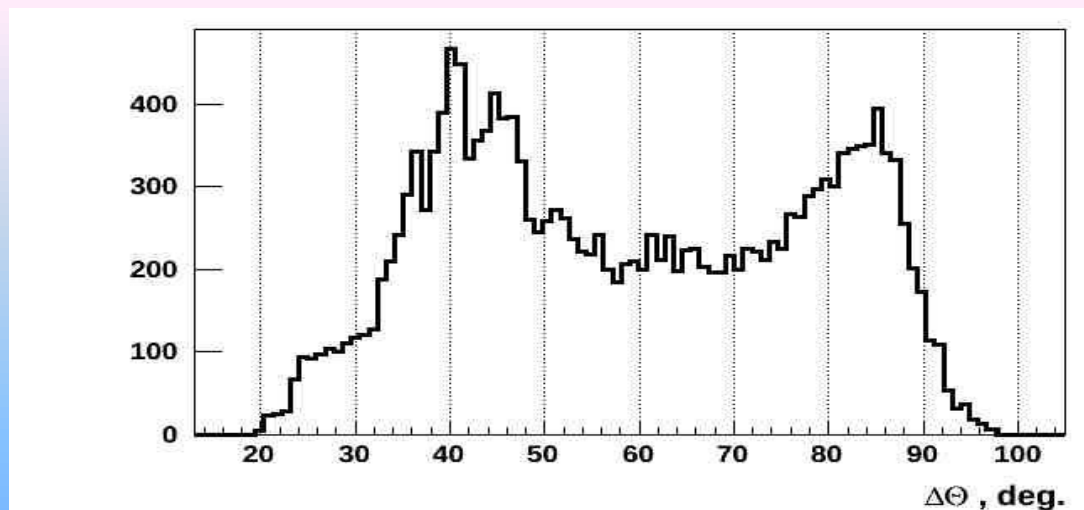
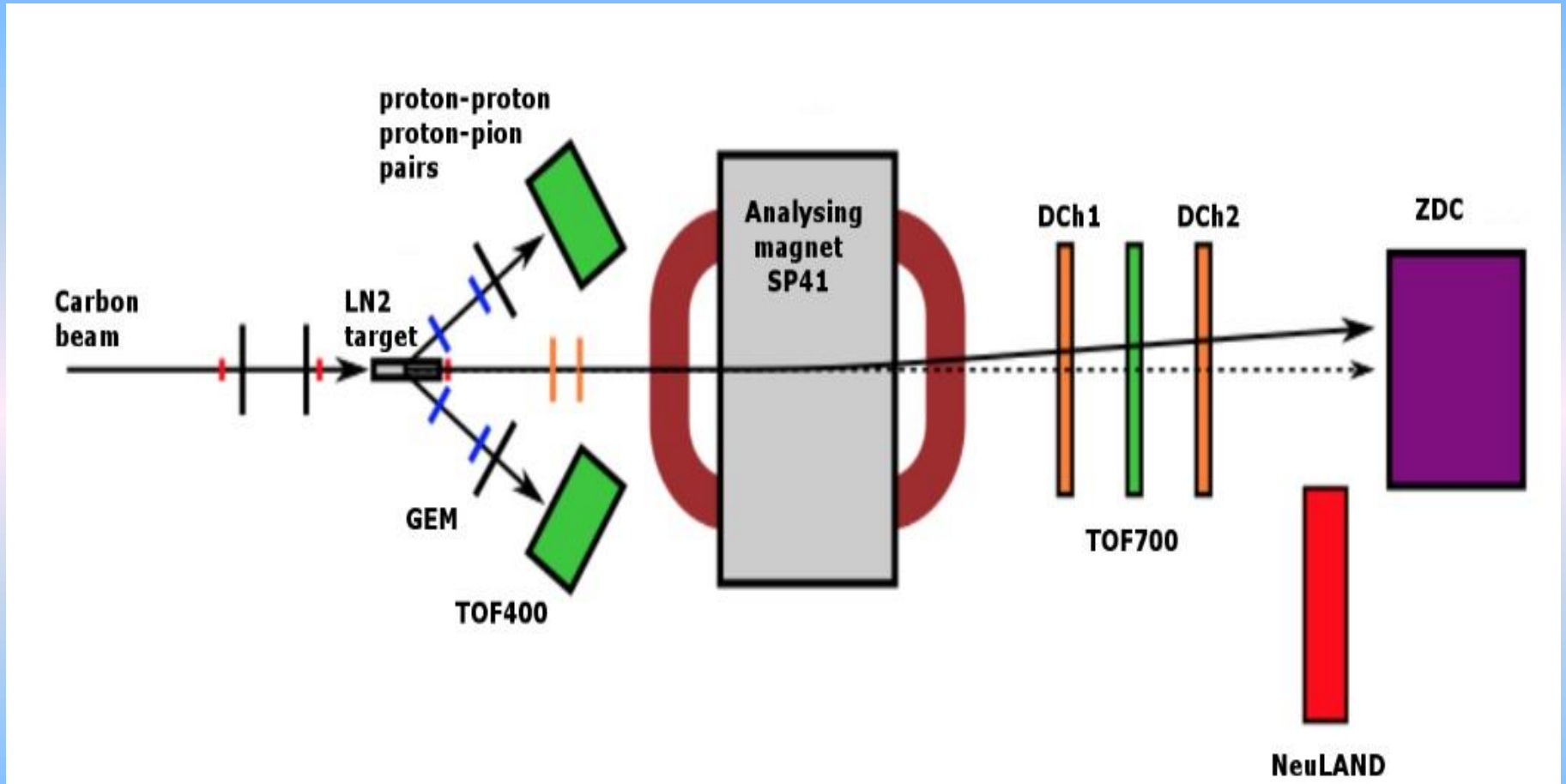
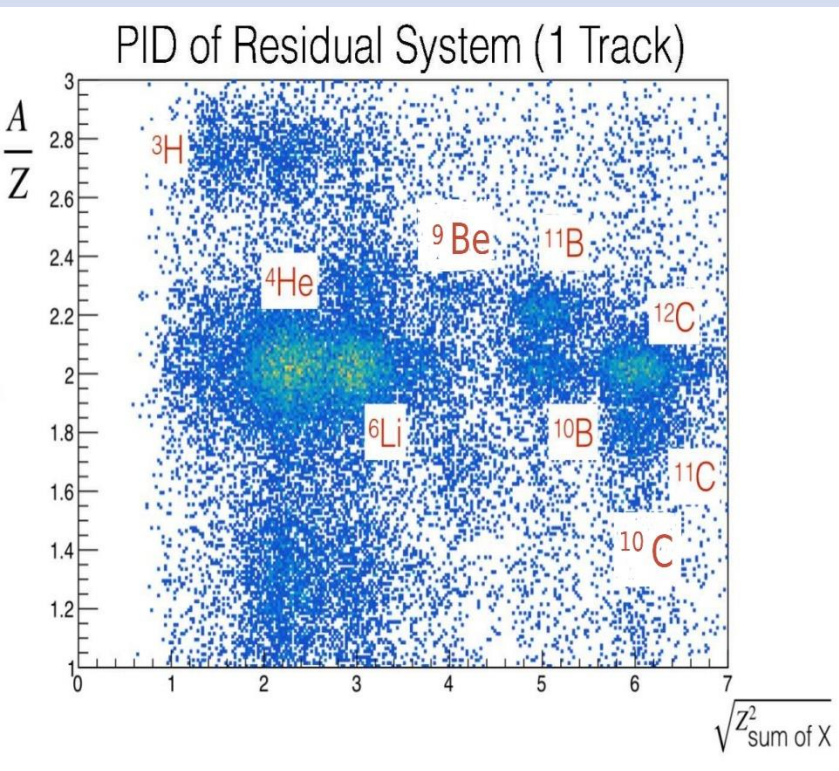
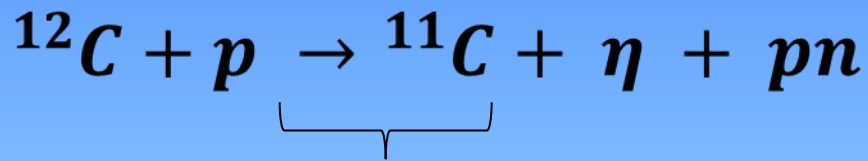


Рис. 45 Угол разлета продуктов распада  $S_{11}$  – резонанса. Для реакции  $p+N \rightarrow S_{11}+X$ . Энергия налетающего протона  $E_{kin}=2\text{ГэВ}$ .



# SRC-BM@N SETUP





Run №55: start of experiment  
BM@N SRC

Preliminary information about the coll

**Beam Time  $\approx$  10 days**

**Beam Statistics  $\approx$  20M triggers**

**Statistics of the events  $\sim$  10**