



BECQUEREL  
PROJECT

Проект  
БЕККЕРЕЛЬ

Beryllium (Boron)

Clustering

Quest in

Relativistic Multifragmentation

<http://becquerel.jinr.ru>

# Особенности диссоциации и редкие каналы релятивистских ядер $^{14}\text{N}$ в ядерной эмульсии.

Докладчик: Щедрина Т.В.

# Содержание

- **§ I. Измерение основных характеристик продуктов реакций диссоциации ядер  $^{14}\text{N}$**
- 1.1 Облучение эмульсии в пучке  $^{14}\text{N}$ , первичный поиск и отбор событий, определение среднего пробега
- 1.2 Определение зарядов частиц в эмульсии, облученной  $^{14}\text{N}$
- 1.3 Зарядовая топология каналов фрагментации ядра  $^{14}\text{N}$
- 1.4 Методика и контроль угловых измерений в эмульсиях, облученных ядрами  $^{14}\text{N}$
- **§ II. Особенности фрагментации  $^{14}\text{N} \rightarrow 3\alpha + \text{X}$**
- 2.1 Угловые распределения одно- и двухзарядных фрагментов из реакции  $^{14}\text{N} \rightarrow 3\text{He} + \text{H}$
- 2.2 Идентификация одно- и двухзарядных фрагментов  $^{14}\text{N} \rightarrow 3\text{He} + \text{H}$  методом многократного кулоновского рассеяния.
- 2.3 Диссоциация с образованием фрагментов ядер мишени
- 2.4 Импульсные и корреляционные характеристики  $\alpha$ -частиц из реакции  $^{14}\text{N} \rightarrow 3\alpha + \text{X}$ . Сравнение полученных результатов с ядрами  $^{12}\text{C} \rightarrow 3\alpha$ ,  $^{16}\text{O} \rightarrow 4\alpha$
- **§ III. Полностью идентифицированные и редкие моды диссоциации ядра  $^{14}\text{N}$**
- 3.1  $^{14}\text{N} \rightarrow ^{10}\text{B} + ^4\text{He}$
- 3.2  $^{14}\text{N} \rightarrow 3^4\text{He} + ^2\text{H}$
- 3.3  $^{14}\text{N} \rightarrow ^6\text{He} + ^4\text{He} + ^3\text{He} + ^1\text{H}$
- 3.4  $^{14}\text{N} \rightarrow ^4\text{He} + 2^3\text{He} + ^2\text{H}$
- 3.5  $^{14}\text{N} \rightarrow \text{C} + \text{H}$
- 3.6 Наблюдение процессов неупругой перезарядки
- **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**



*The first International Conference on Current Problems in Nuclear Physics and Atomic Energy (NPAE-Kyiv2006) was held in Kyiv (Ukraine) from May 29 to June 03, 2006. The Conference proceedings of the first conference have been published in two parts and also available in the web [http://www.kinr.kiev.ua/NPAE\\_Kyiv2006/](http://www.kinr.kiev.ua/NPAE_Kyiv2006/).*

**The purpose of these Conferences is to bring together scientists to share their knowledge in the current problems in nuclear physics and atomic energy. The NPAE-Kyiv2008 conference will cover the following topics:**

- **Collective processes in atomic nuclei**
- **Nuclear reactions at low and high energies**
- **Nuclear structure and decay data**
- **Rare nuclear processes, nuclear astrophysics**
- **Neutron and reactor physics**
- **Nuclear data and data evaluation**
- **Problems of atomic energy**
- **Applied nuclear physics in medicine and industry**
- **Experimental facilities and detection techniques**

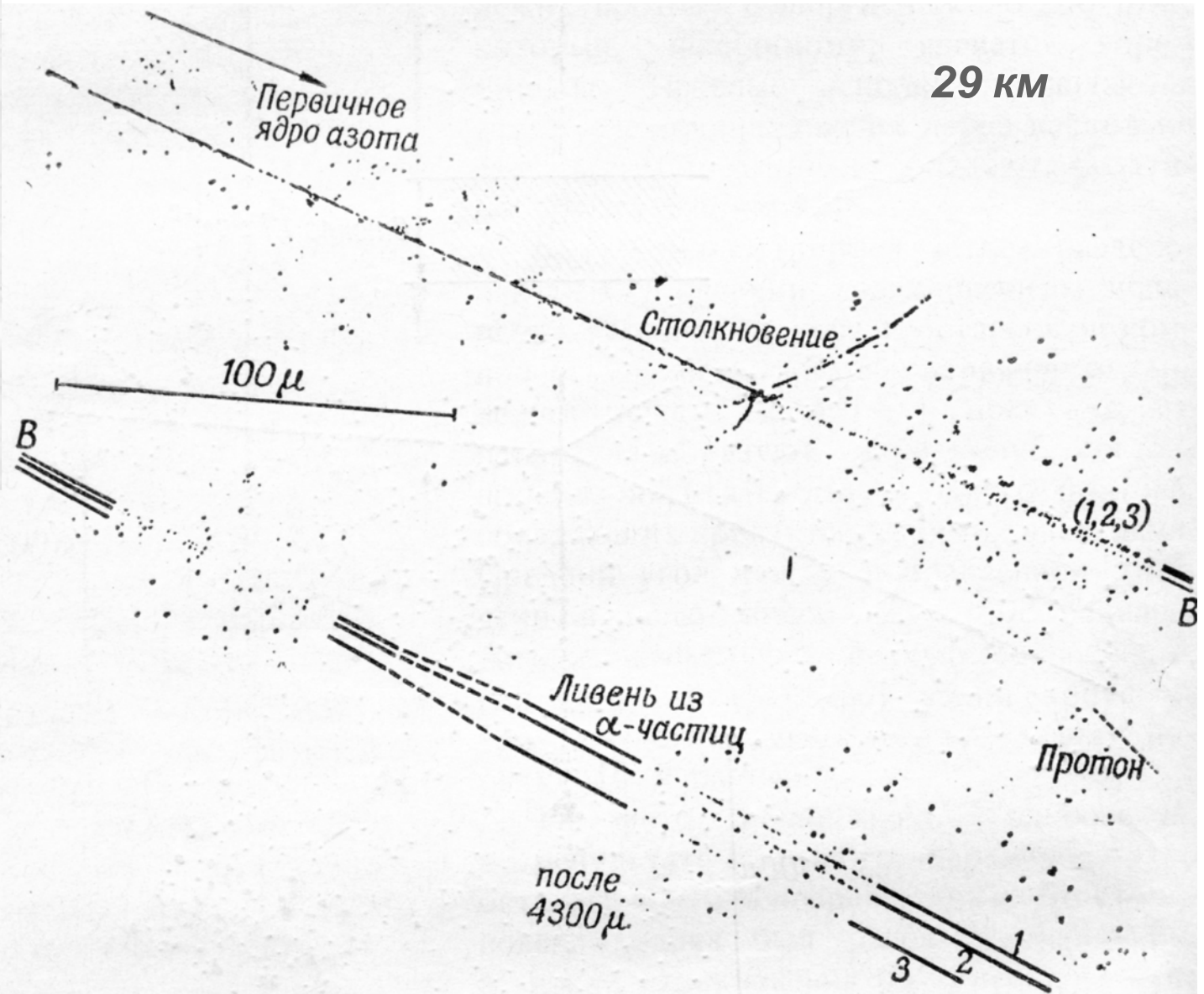
PROGRESS  
in  
COSMIC RAY PHYSICS

Edited by  
J. G. WILSON

Contributors

U. Camerini	L. Michel	G. Puppi
W. O. Lock	B. Peters	N. Dallaporta
D. N. Perkins	H. V. Neher	E. P. George
C. C. Butler	H. Elliot	

AMSTERDAM, 1952



Фиг. 7. Ядро азота столкнулось с ядром эмульсии. Повидимому, произошло скользящее столкновение, при котором заряд первичного ядра уменьшается на единицу. Остаток, представляющий собой возбужденное ядро углерода, распадается затем на 3 α-частицы, которые в лабораторной системе испускаются в узком конусе в направлении движения первичной частицы

*First Workshop on*

# State of the Art in Nuclear Cluster Physics

**13 - 16 May, 2008**      **Strasbourg**

**T** Alpha Condensates and Analogy with Condensed Matter Approaches  
**O** Alpha Clustering and Nuclear Molecules  
**P** Clusters in Nuclear Astrophysics  
**i** Cluster Radioactivity  
**i** Clusters in Superheavy Nuclei  
**C** Clustering in Nuclei far from Stability  
**S** Two- and three-body Reactions

## International Advisory Committee

Daniel Baye (Université Libre Bruxelles)  
Angela Bonaccorso (INFN Pisa)  
Bernard Borderie (IPN Orsay)  
Pierre Descouvemont (Université Libre Bruxelles)  
Hans Feldmeier (GSI Darmstadt)  
Martin Freer (University of Birmingham)  
Mamoru Fujiwara (RCNP Osaka)  
Walter Greiner (Frankfurt Institute for Advanced Studies)  
Konstantin Gridnev (University of St Petersburg)  
Hisashi Horiuchi (RCNP Osaka)  
Wolfram von Oertzen (HMI Berlin)  
Nigel Orr (LPC Caen)  
Philippe Quentin (CENBG Bordeaux)  
Gerd Roepke (University of Rostock)

## Local Organizing Committee

Christian Beck (IPHC/DRS Strasbourg)  
Marianne Dufour (IPHC/DRS Strasbourg)  
Peter Schuck (IPN Orsay)

<http://sotancp2008.in2p3.fr>



## Fragmentation of ${}^4\text{He}$ , ${}^{12}\text{C}$ , ${}^{14}\text{N}$ , and ${}^{16}\text{O}$ nuclei in nuclear emulsion at 2.1 GeV/nucleon

H. H. Heckman, D. E. Greiner, P. J. Lindstrom, and H. Shwe

*Lawrence Berkeley Laboratory and Space Sciences Laboratory, University of California, Berkeley, California 94720*

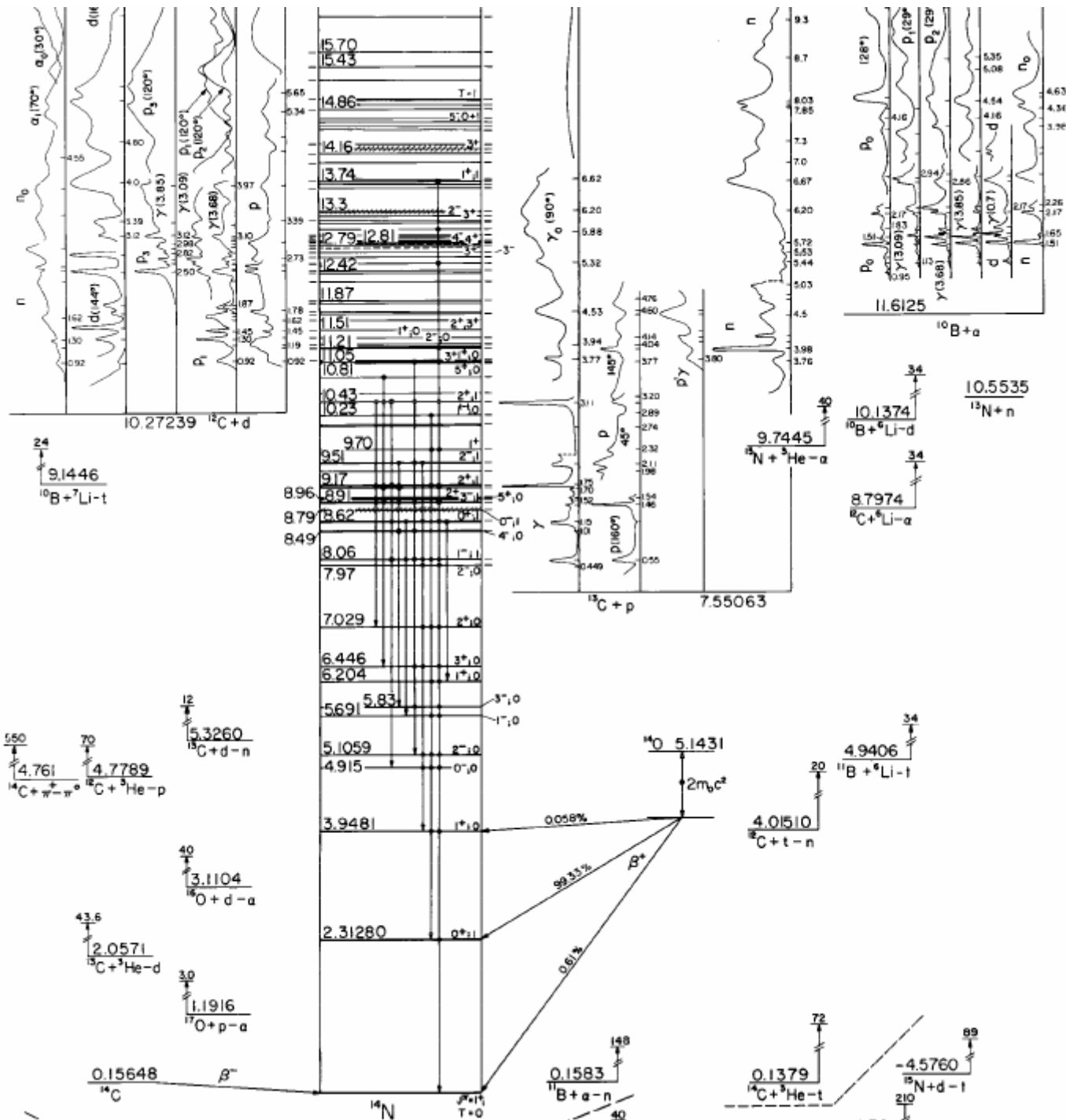
(Received 29 August 1977)

A comparative study of the fragmentation of  ${}^4\text{He}$ ,  ${}^{12}\text{C}$ ,  ${}^{14}\text{N}$ , and  ${}^{16}\text{O}$  nuclei,  $E = 2.1$  GeV/nucleon, has been made by using nuclear emulsion detectors. The interaction mean-free paths (cm) for these nuclei in emulsion are  $21.8 \pm 0.7$ ,  $13.8 \pm 0.5$ ,  $13.1 \pm 0.5$ , and  $13.0 \pm 0.5$ , respectively. These data are discussed in terms of optical models and geometrical theories. Fragmentation reactions initiated by  ${}^{12}\text{C}$ ,  ${}^{14}\text{N}$ , and  ${}^{16}\text{O}$  projectiles that exhibit no target excitation, i.e., that possess no low energy particle emission, are selected for special study of projectile fragmentation. The projected angular distributions of  $Z = 1$  and 2 secondaries from these interactions are reported, as are the prong-number and charge-multiplicity distributions. The angular distributions are independent of the projectile and exhibit features of limiting fragmentation.

${}^{12}\text{C} \rightarrow$  В.В.Белага и др., Когерентная диссоциация  ${}^{12}\text{C} \rightarrow 3\alpha$  при 4.5 А ГэВ/с на ядрах эмульсии, обогащенной свинцом ЯФ 58, №11, с. 2014-2020 (1995).

${}^{16}\text{O} \rightarrow$  Ф.А.Аветян и др., Когерентная диссоциация  ${}^{16}\text{O} \rightarrow 4\alpha$  в фотоэмульсии при импульсе 4.5 ГэВ/с на нуклон ЯФ 59, №1, с. 110-116 (1996).

# Energy levels of $^{14}\text{N}$



## Мультичастичные моды $^{14}\text{N}$ и энергетические пороги реакции

$^{14}\text{N} \rightarrow 3^4\text{He} + d$	<b>18 МэВ</b>
$^{14}\text{N} \rightarrow ^6\text{He} + ^4\text{He} + ^3\text{He} + p$	<b>39 МэВ</b>
$^{14}\text{N} \rightarrow ^4\text{He} + 2^3\text{He} + d$	<b>59 МэВ</b>
$^{14}\text{N} \rightarrow ^{10}\text{B} + ^4\text{He}$	<b>12 МэВ</b>
$^{14}\text{N} \rightarrow ^{13}\text{C} + p$	<b>8 МэВ</b>
$^{14}\text{N} \rightarrow ^{12}\text{C} + d$	<b>10 МэВ</b>
$^{14}\text{N} \rightarrow ^{11}\text{C} + t$	<b>23 МэВ</b>
<b><i>Процессы неупругой перезарядки:</i></b>	
$^{14}\text{N} \rightarrow 3^4\text{He} + 2p$	<b>19 МэВ</b>
$^{14}\text{N} \rightarrow 3^4\text{He}$	<b>21 МэВ</b>
$^{14}\text{N} \rightarrow 2\text{He} + 2\text{H}$	



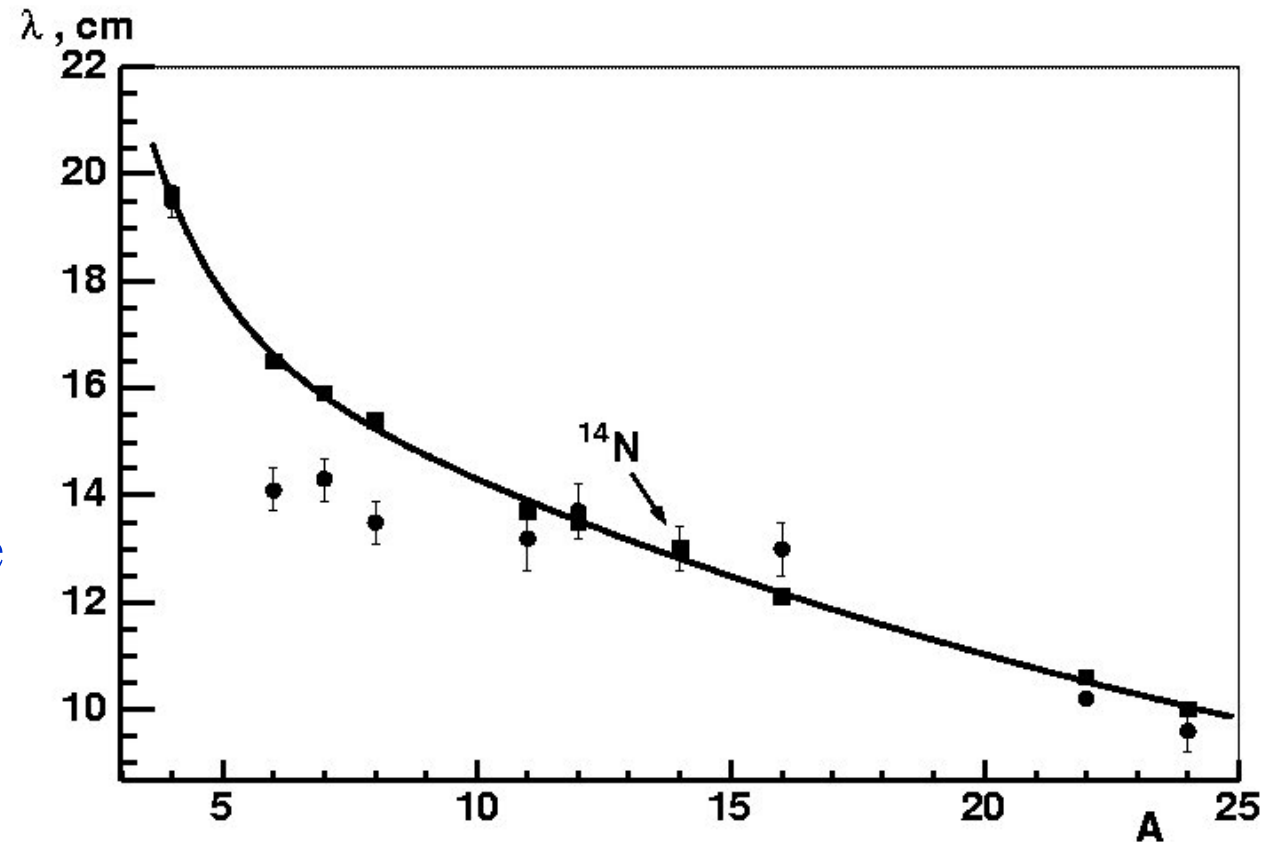
## Облучение эмульсии в пучке $^{14}\text{N}$ на НУКЛОТРОНЕ ОИЯИ, 2003 г.

$$P_0 = 2.86 \text{ А ГэВ/с,}$$
$$E = 2.1 \text{ А ГэВ}$$

Суммарная длина  
при просмотре  
по следу *123.71* м

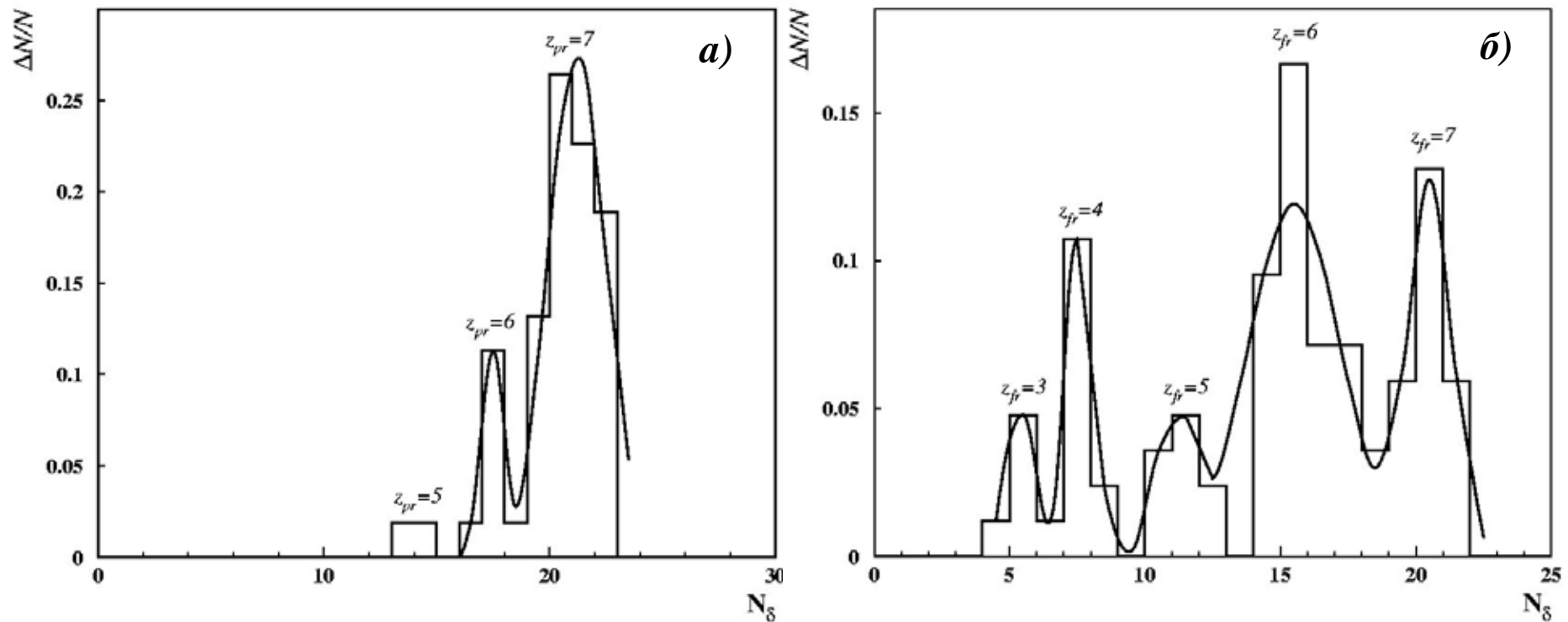
$N_\Sigma = 951$  неупругое  
взаимодействие

$$\lambda = 13.0 \pm 0.4 \text{ см}$$



Средняя величина свободного пробега  $\lambda$  для неупругих взаимодействий в ядерной фотоэмульсии в зависимости от массы налетающего ядра  $A$ .

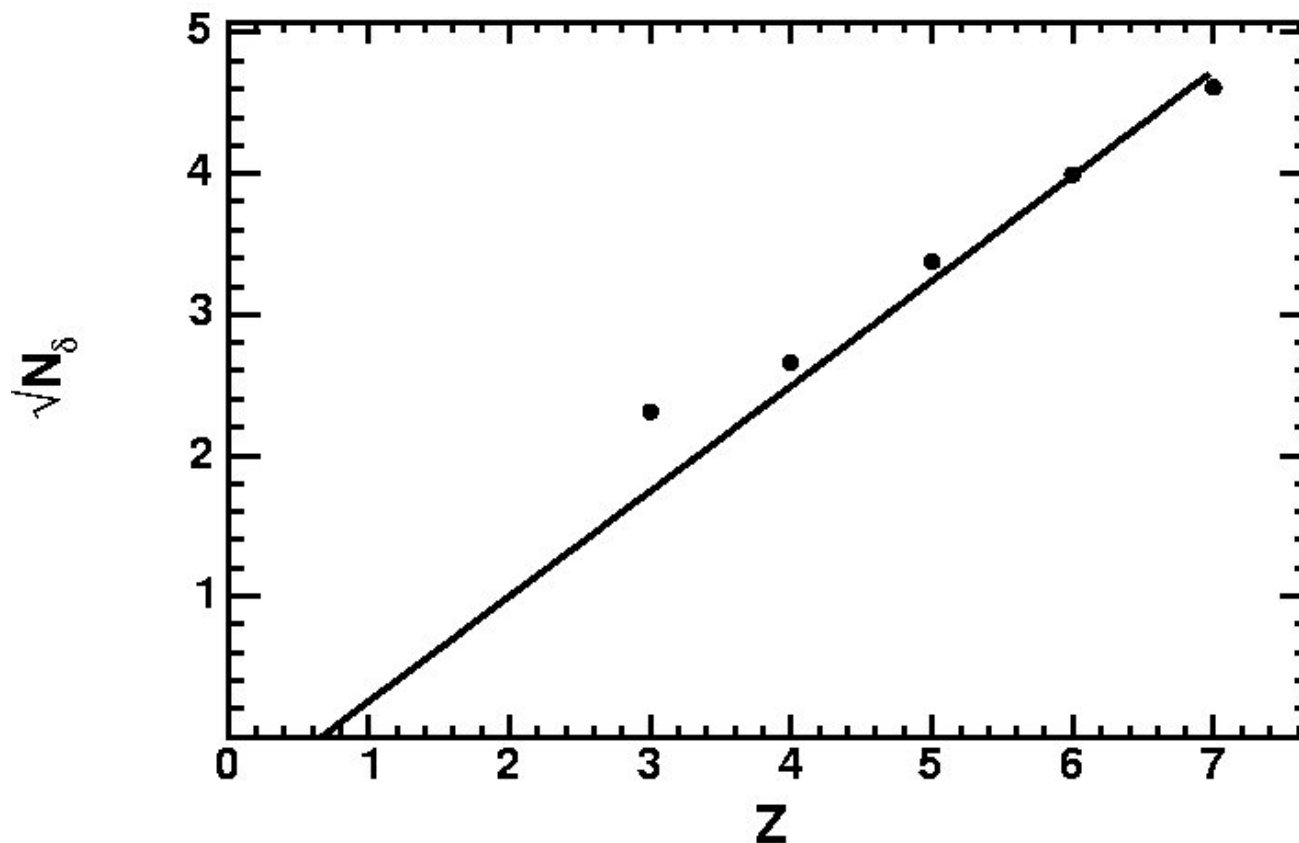
## Определение зарядов частиц в эмульсии, облученной $^{14}\text{N}$



Распределение по числу  $\delta$ -электронов а) - для следов пучковых частиц, давших изучаемые взаимодействия (53 следа);

б) - следов фрагментов-спектаторов ядра  $^{14}\text{N}$  с зарядами  $Z_{fr} > 2$  (83 следа). Сплошная линия соответствует аппроксимации суммой функций Гаусса.

## Определение зарядов частиц в эмульсии, облученной $^{14}\text{N}$



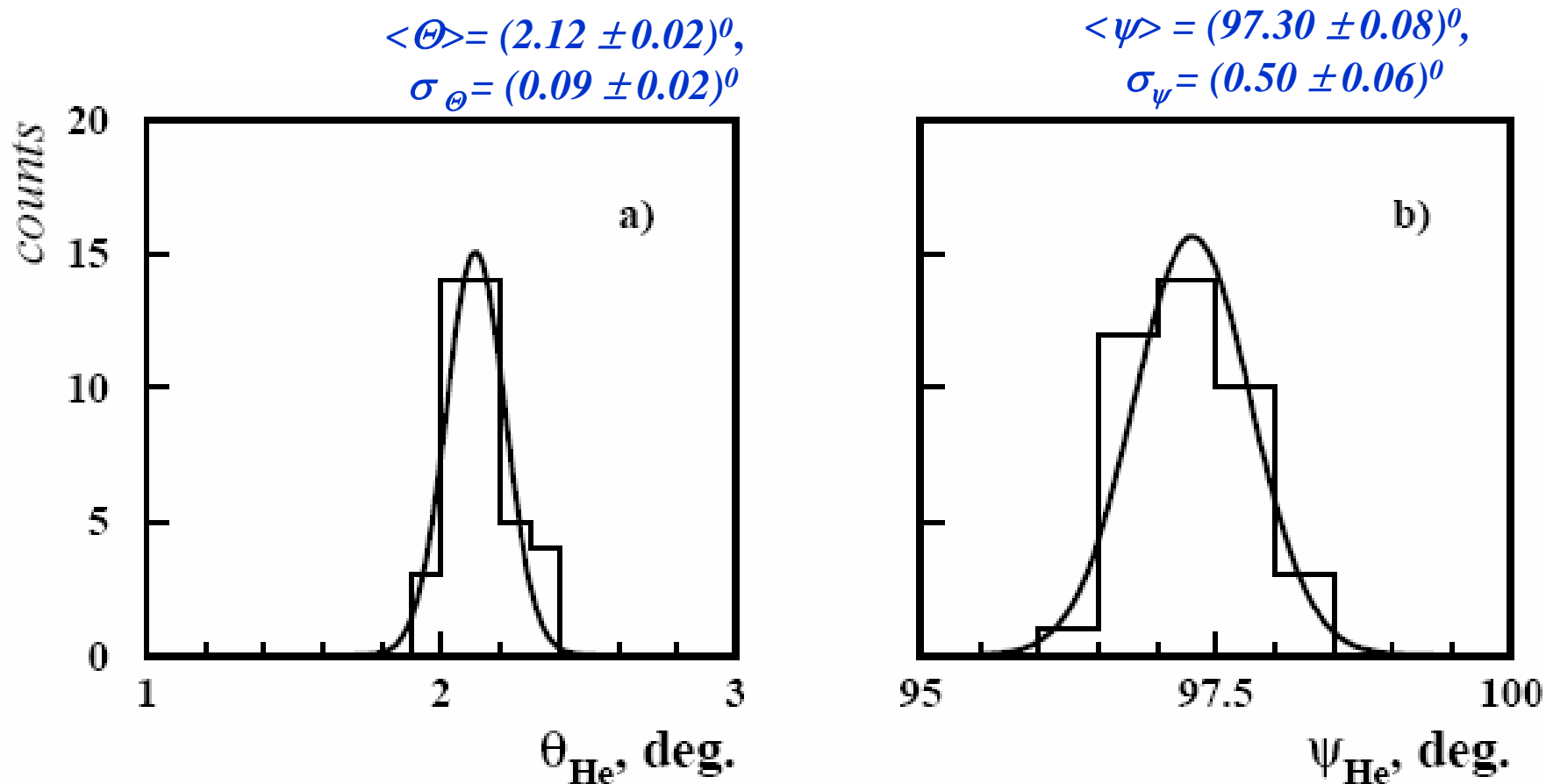
Зависимость квадратного корня среднего числа  $\delta$ -электронов  $\langle N_\delta \rangle$  на 100 мкм длины следа от величины предполагаемого заряда фрагмента-спектатора  $Z_{\text{fr}}$ .

## Зарядовая топология каналов фрагментации ядра $^{14}\text{N}$

$Z_{fr}$	6	5	5	4	3	3	-	-	
$N_{z1}$	1	-	2	1	4	2	3	1	5
$N_{z2}$	-	1	-	1	-	1	2	3	1
$N_{ws}$	16 26%	5 8%	5 8%	2 3%	1 2%	-	6 10%	21 35%	5 8%
$N_{tf}$	24 24%	4 4%	3 3%	5 5%	2 2%	3 3%	21 21%	35 35%	3 3%
$N_{in}$	40 25%	9 5%	8 5%	7 4%	3 2%	3 2%	27 17%	56 35%	8 5%

Распределение периферических взаимодействий ядер  $^{14}\text{N}$  с импульсом  $2.86 \text{ A ГэВ/с}$  ( $N_{in}$ ) по зарядовым модам с  $\Sigma_{Z_{fr}} = 7$  (161 событие), в том числе 61 «белая» звезда ( $N_{ws}$ ), и 100 событий с фрагментами мишени ( $N_{tf}$ ) и без заряженных мезонов ( $n_s = 0$ ).  $N_{z1}$ ,  $N_{z2}$ , – число одно- и двухзарядных частиц соответственно. В процентах указаны доли от событий данного типа.

## Контроль угловых измерений в эмульсиях, облученных ядрами $^{14}\text{N}$



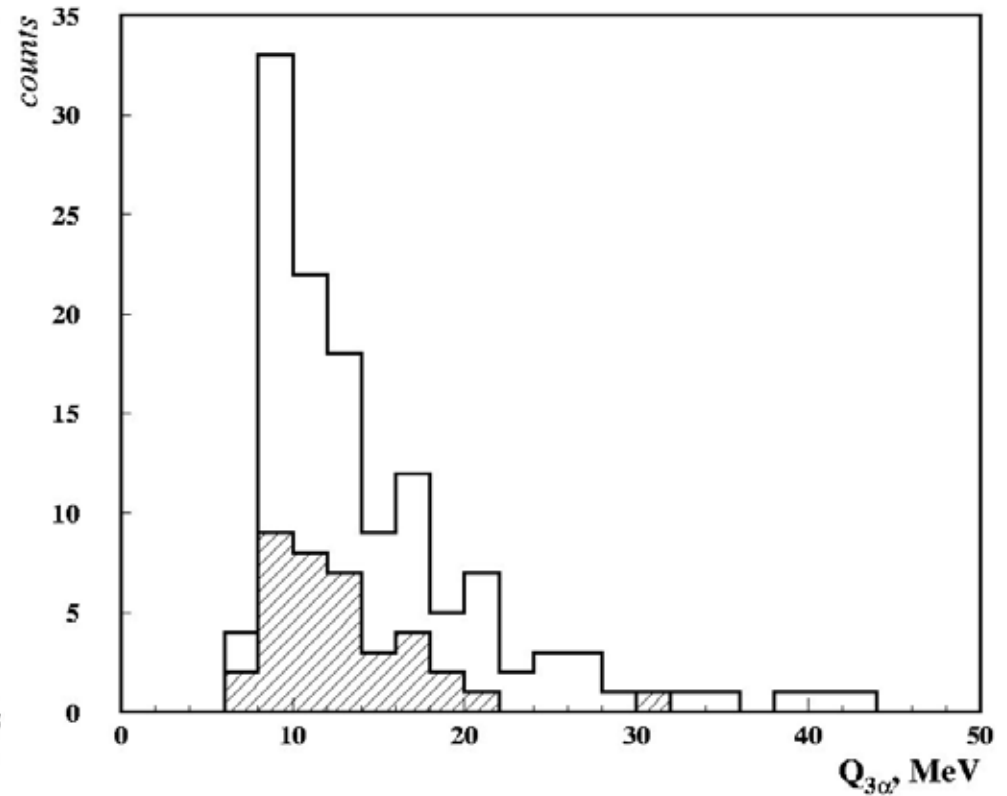
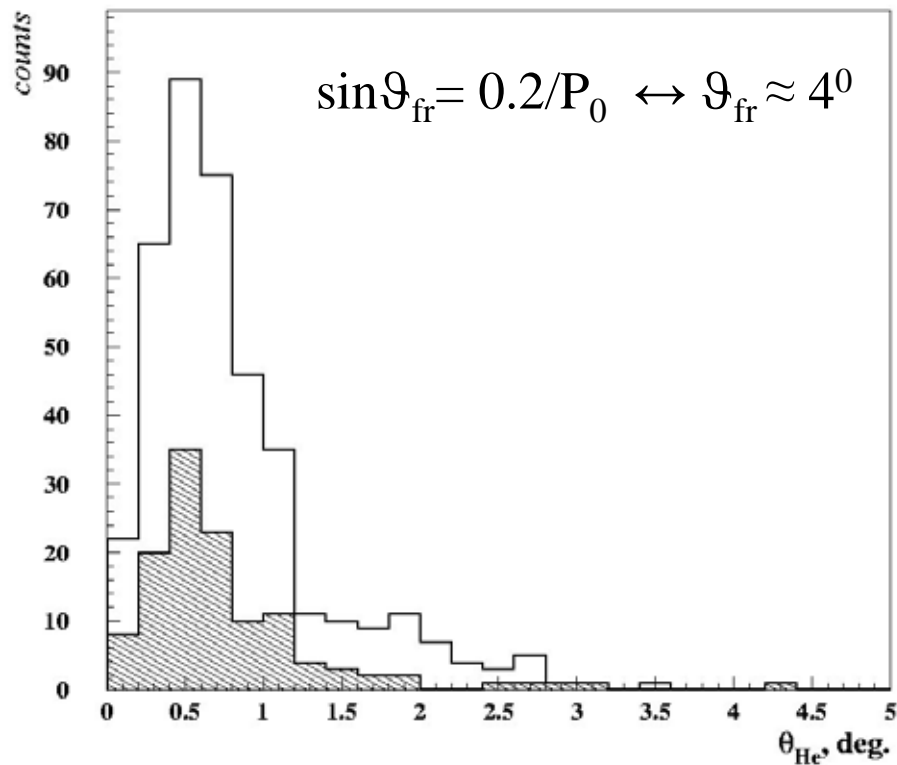
Распределение по полярному углу  $\vartheta$  -a) и азимутальному углу  $\psi$  -b) для двухзарядного фрагмента из  $^{14}\text{N} \rightarrow 3\text{He} + \text{H}$ , при 40-кратном измерении углов  $\Theta$  и  $\psi$ . Сплошная линия в обоих случаях соответствует аппроксимации функцией Гаусса.

# Особенности фрагментации $^{14}\text{N} \rightarrow 3\alpha + \text{X}$

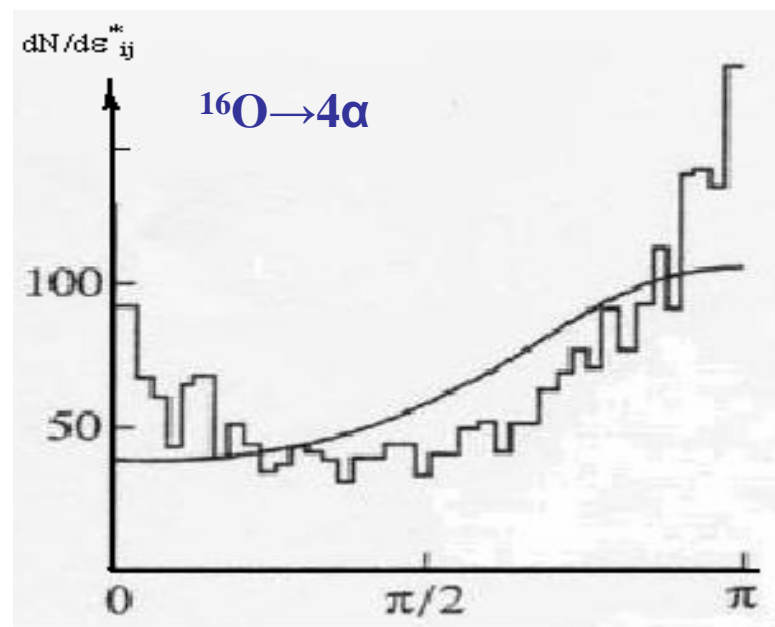
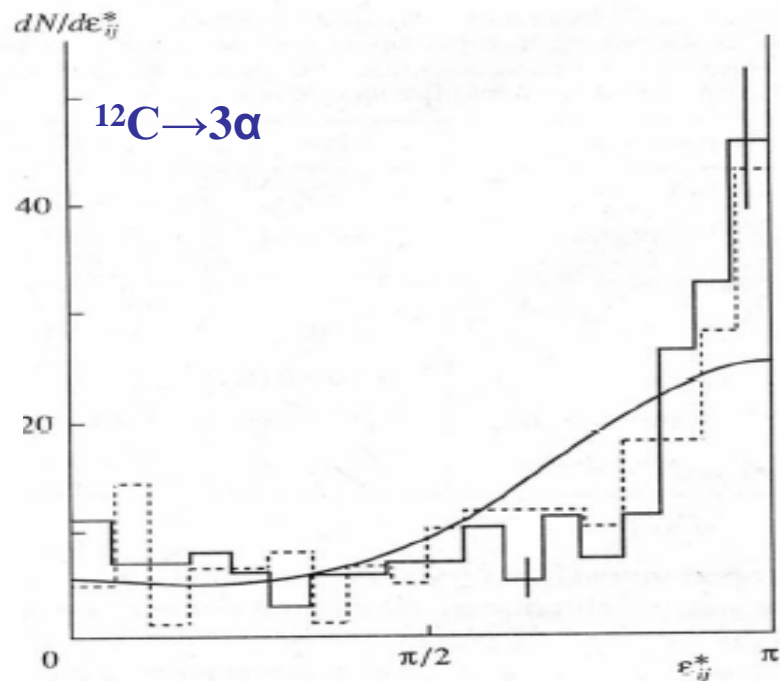
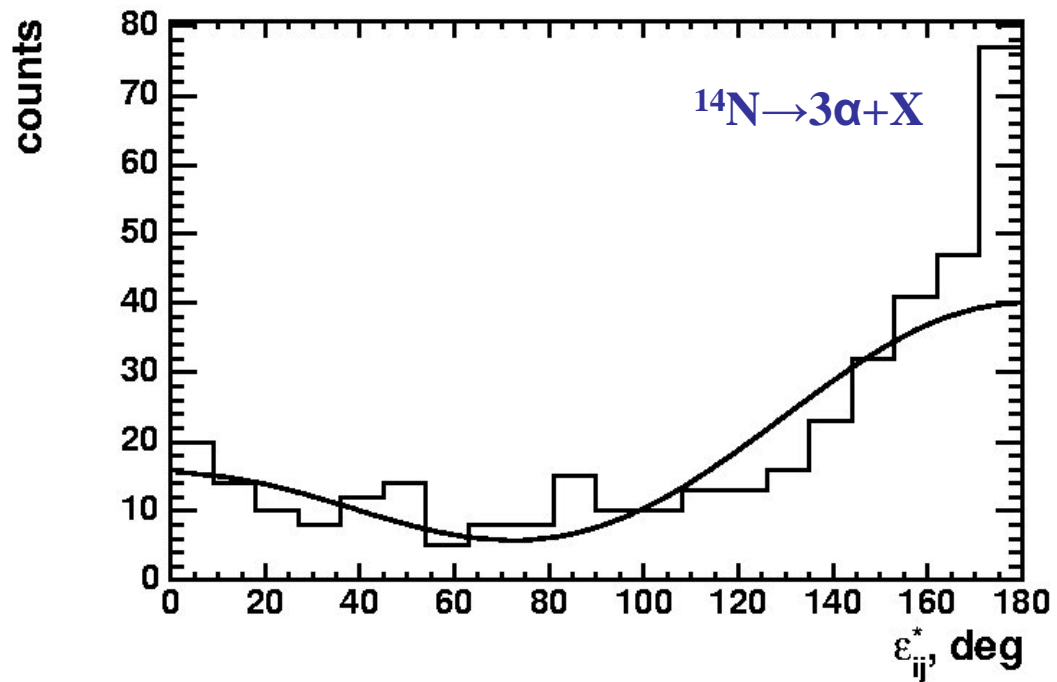
$$\lambda(^{14}\text{N} \rightarrow 3\alpha + \text{X}) = (2.2 \pm 0.3) \text{ м}$$

$$\left[ \begin{array}{l} \lambda(^{12}\text{C} \rightarrow 3\alpha) = (10.3 \pm 1.9) \text{ м} \\ \lambda(^{16}\text{O} \rightarrow 4\alpha) = (31.3 \pm 12.6) \text{ м} \end{array} \right]$$

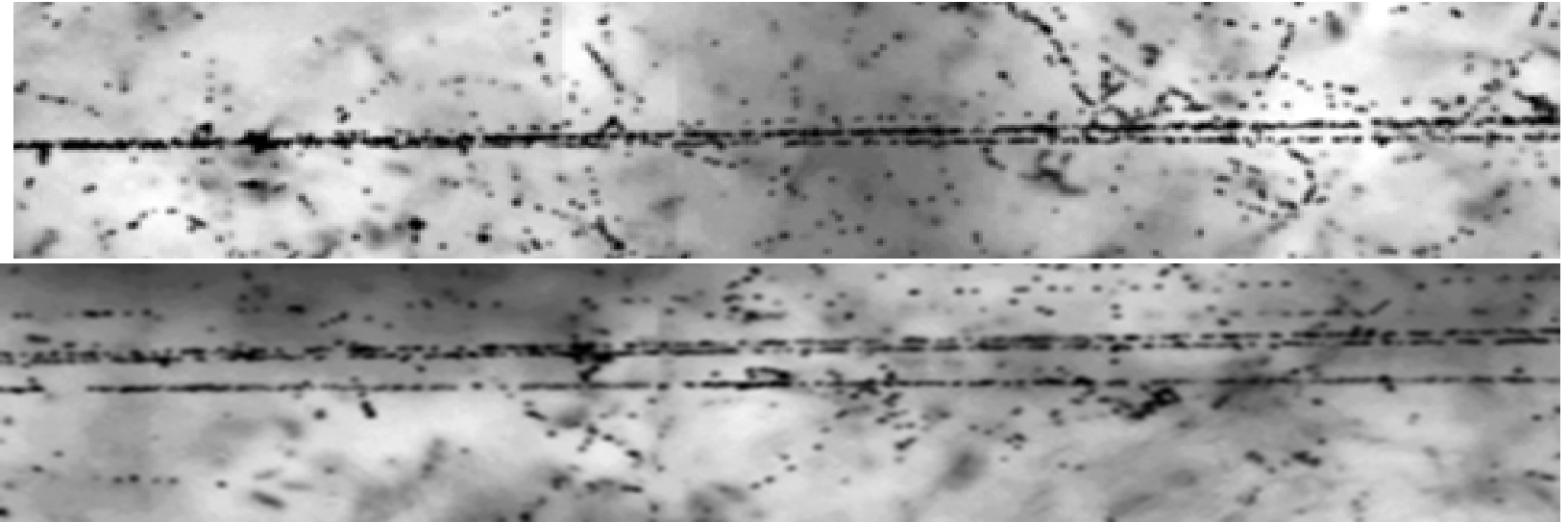
$$80\% \\ Q_{3\alpha} = 10 \div 14 \text{ МэВ}$$



# Азимутальные корреляции $^{12}\text{C}$ , $^{14}\text{N}$ , $^{16}\text{O}$

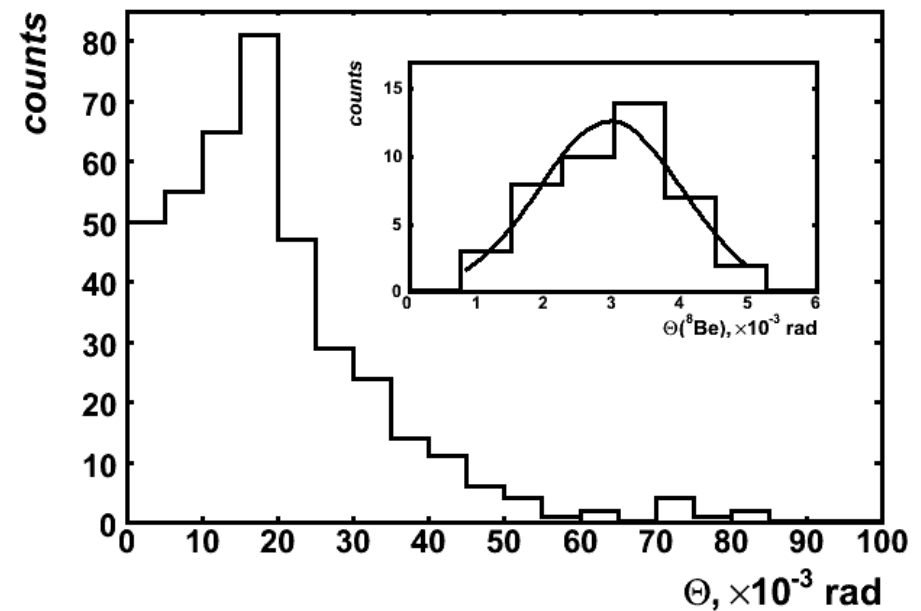
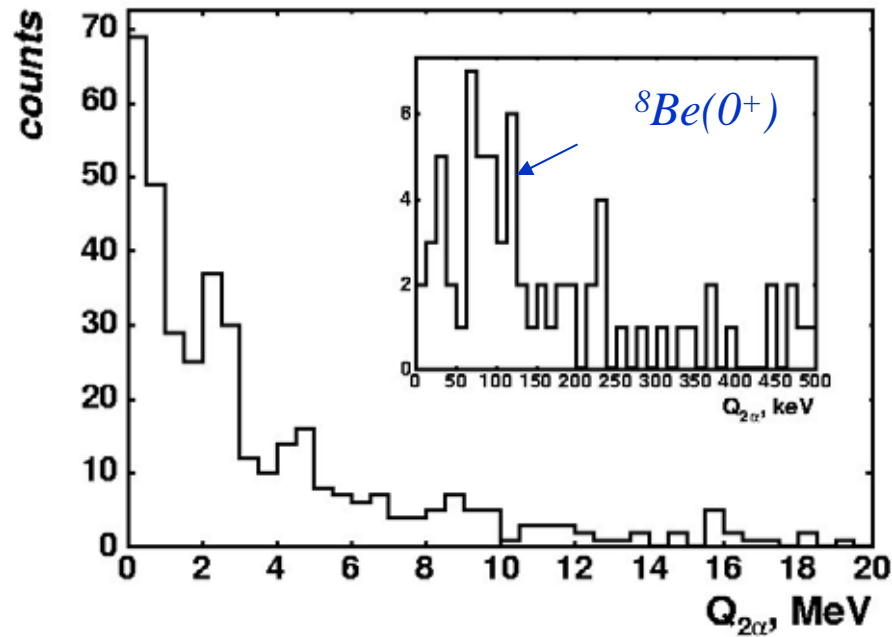


# Роль ${}^8\text{Be}$ в ${}^{14}\text{N} \rightarrow 3\alpha + X$



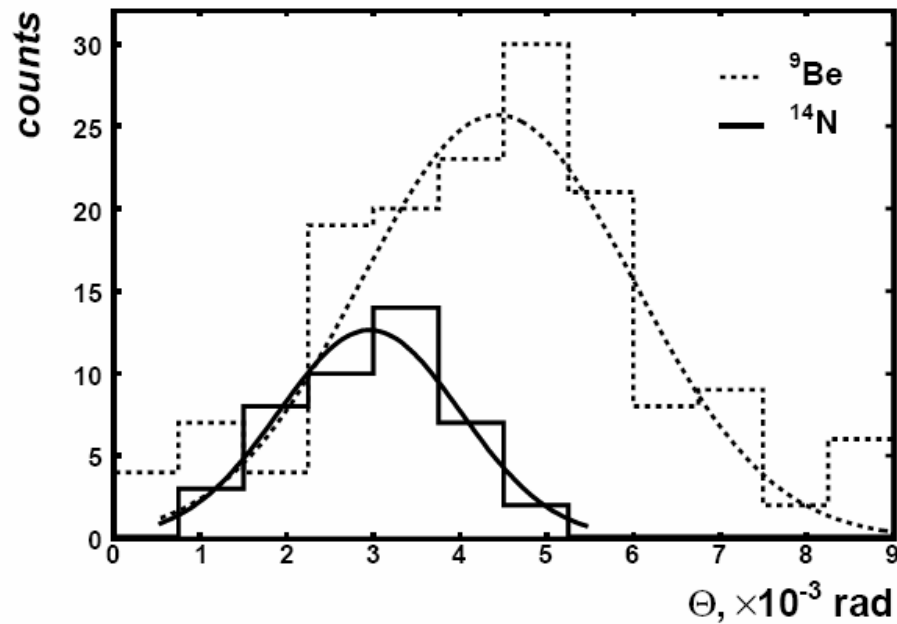
25%  ${}^{14}\text{N} \rightarrow {}^8\text{Be} + \text{He} + X$

$\langle \Theta({}^8\text{Be}) \rangle = (2.96 \pm 0.18) \text{ mrad}$



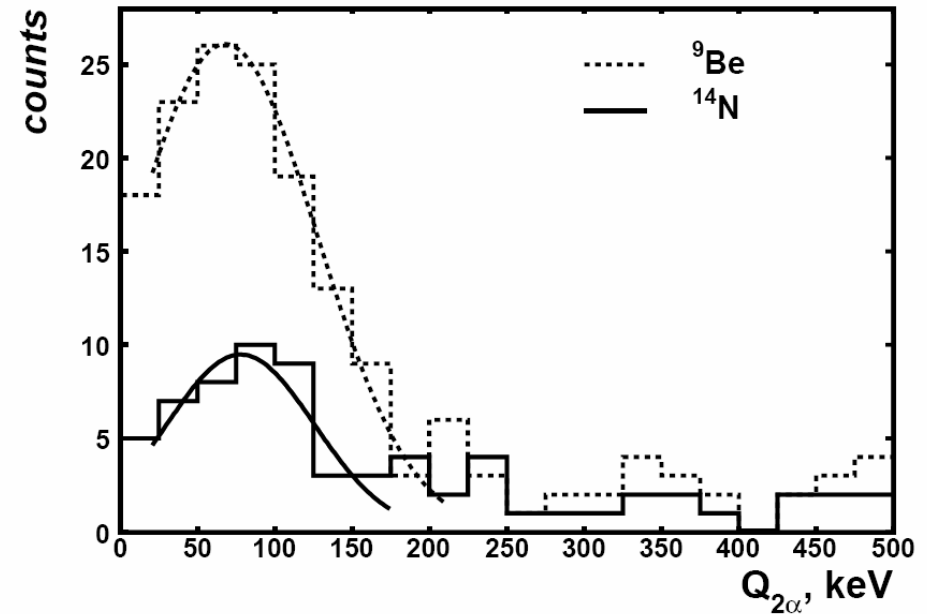


Фрагментация  $^{14}\text{N} \rightarrow ^8\text{Be} + \text{He} + \text{X} \rightarrow 3\text{He} + \text{X}$ ,  $p_0(^{14}\text{N}) = 2.86$  А ГэВ/с  
 $^9\text{Be} \rightarrow ^8\text{Be} + \text{X} \rightarrow 2\text{He}$ ,  $p_0(^9\text{Be}) = 1.95$  А ГэВ/с  
с образованием нестабильного ядра  $^8\text{Be}$  в основном состоянии  $0^+$



$$\langle \Theta(^{14}\text{N} \rightarrow ^8\text{Be} + \text{X}) \rangle = (2.96 \pm 0.18) \text{ mrad};$$

$$\langle \Theta(^9\text{Be} \rightarrow ^8\text{Be} + \text{X}) \rangle = (4.43 \pm 0.14) \text{ mrad};$$

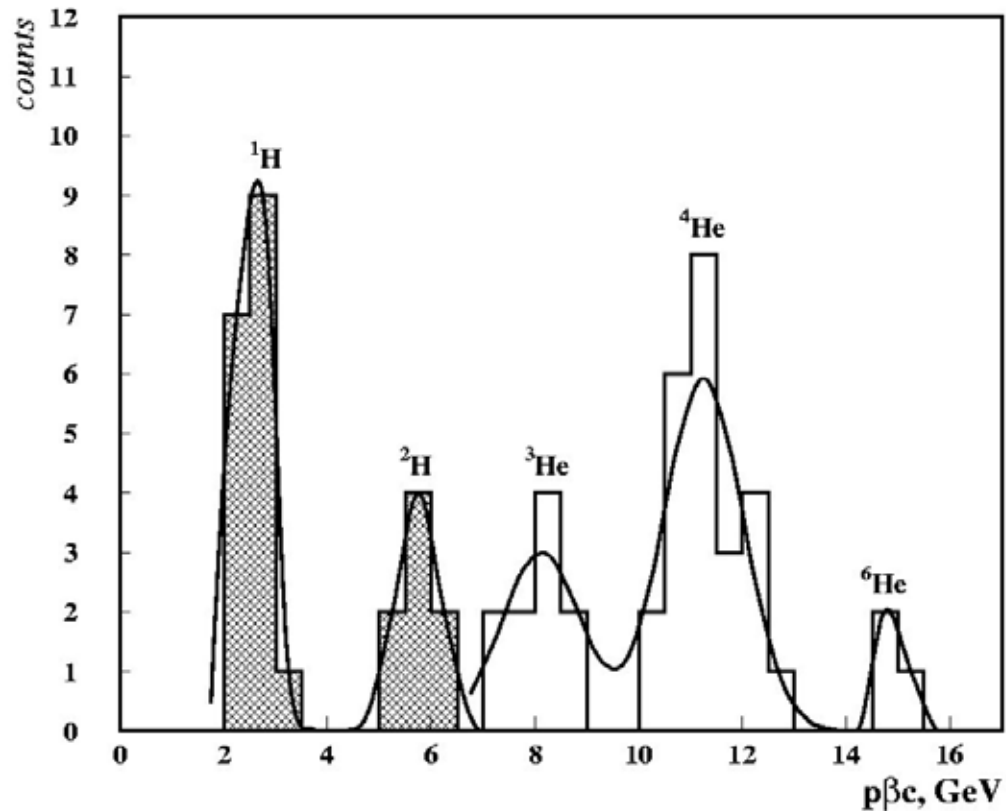
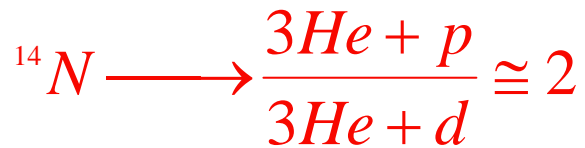
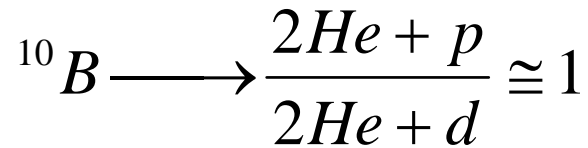
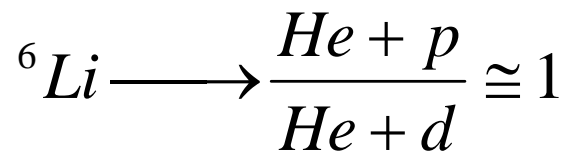


$$\langle Q_{2\alpha}(^{14}\text{N} \rightarrow ^8\text{Be} + \text{X}) \rangle = (67.8 \pm 14.1) \text{ КэВ};$$

$$\langle Q_{2\alpha}(^9\text{Be} \rightarrow ^8\text{Be} + \text{X}) \rangle = (77.8 \pm 13.9) \text{ КэВ}.$$

# Идентификация одно- и двухзарядных фрагментов $^{14}\text{N}_{\text{ws}} \rightarrow 3\text{He} + \text{H}$ методом многократного кулоновского рассеяния.

$${}^3\text{He} : {}^4\text{He} : {}^6\text{He} = 3 : 8 : 1$$



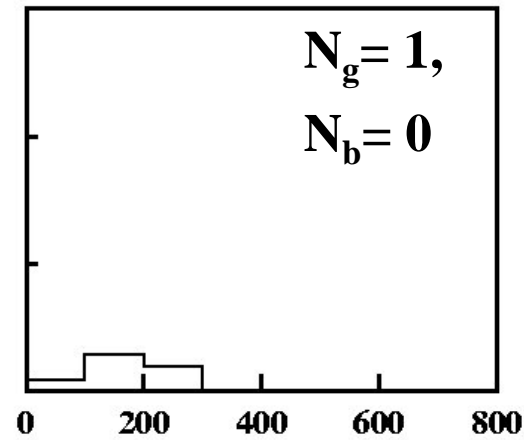
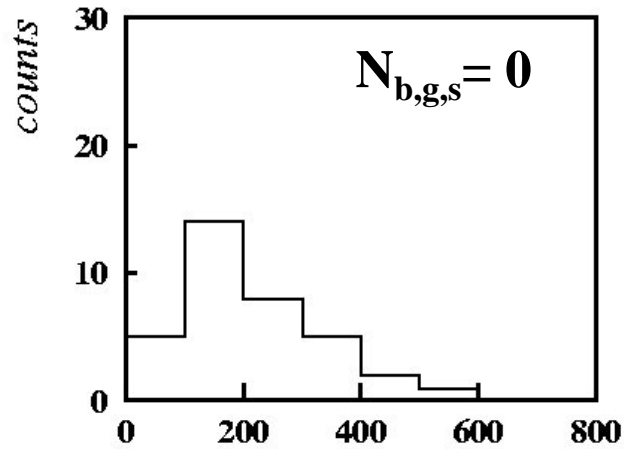
${}^6\text{Li} \rightarrow$  ЯФ 62, №8, с. 1461-1471, (1999).

${}^{10}\text{B} \rightarrow$  ЯФ 66, №9, с. 1694-1698, (2003).

*Распределение статистики из 103 событий  $^{14}\text{N} \rightarrow 3\alpha + \text{H} + \text{X}$  в интервале  $Q_{3\alpha} < 20 \text{ МэВ}$  для различных множественностей сопровождающих частиц ( $n_s \neq 0$ )*

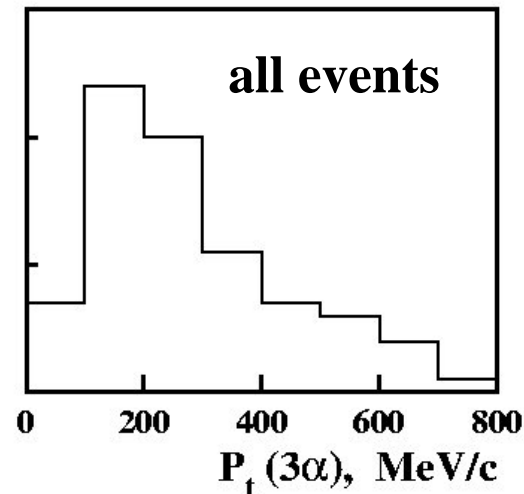
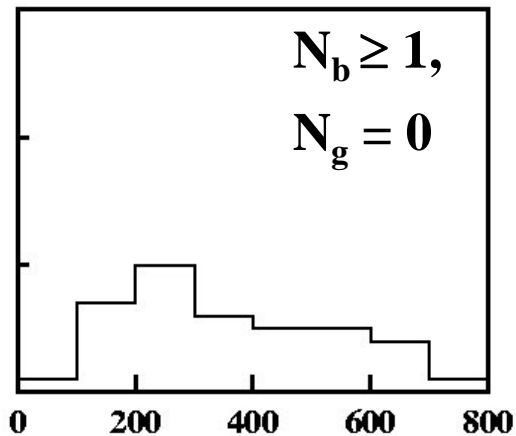
$Q_{3\alpha}$ , MeV	$n_g=0,$ $n_b=0$	$n_g=1,$ $n_b=0$	$n_g=0,$ $n_b=1$	$n_g=0,$ $n_b=2$	$n_g=0,$ $n_b=3$	$n_g=0,$ $n_b=4$	$n_g=0,$ $n_b=5$	$n_g=0,$ $n_b=6$	$n_g>0,$ $n_b>0$	$n_g>1,$ $n_b=0$	$n_g=1,$ $n_b=3$
$Q_{3\alpha} \leq 20$	<b>41</b> -	<b>6</b> -	<b>23</b> (6)	<b>16</b> (7)	<b>3</b> (3)	<b>2</b> (1)	<b>1</b> (1)	<b>1</b> (1)	<b>8</b> (2)	<b>7</b> (1)	<b>1</b> -
$\Sigma P_{\nu}$ MeV	<b>216</b> $\pm 21$	<b>167</b> $\pm 28$	<b>360</b> $\pm 29$								

# Распределение событий фрагментации $^{14}\text{N} \rightarrow 3\text{He} + \text{X}$ по суммарному поперечному импульсу системы из $3\alpha$ -частиц $P_t(3\alpha)$



$$\langle p_t(3\alpha) \rangle_{\text{ws}} = 216 \pm 21$$

$$\langle p_t(3\alpha) \rangle_{g=1} = 167 \pm 28$$

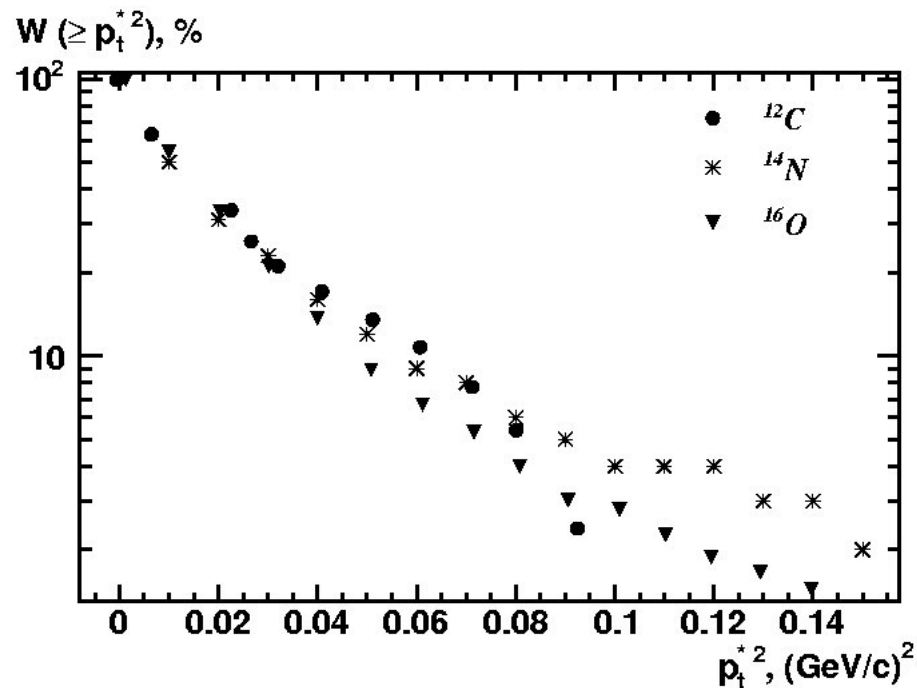
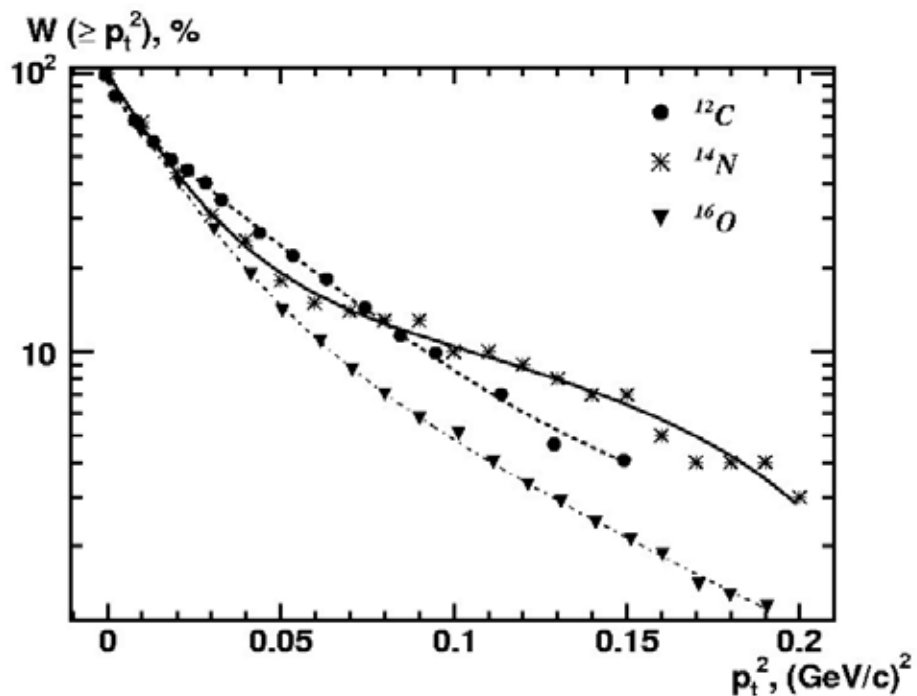


$$\langle p_t(3\alpha) \rangle_{b \geq 1} = 360 \pm 29$$

# Импульсные и корреляционные характеристики $\alpha$ -частиц

из реакций:  $^{14}\text{N} \rightarrow 3\alpha + \text{X}$ ,  $^{12}\text{C} \rightarrow 3\alpha$ ,  $^{16}\text{O} \rightarrow 4\alpha$

$$p_0(^{14}\text{N}) = 2.9 \text{ А ГэВ/с}, \quad p_0(^{12}\text{C}, ^{16}\text{O}) = 4.5 \text{ А ГэВ/с}$$



Распределения  $\alpha$ -частиц из реакций  $^{14}\text{N} \rightarrow 3\alpha + \text{X}$ ,  $^{12}\text{C} \rightarrow 3\alpha$ ,  $^{16}\text{O} \rightarrow 4\alpha$  по  $P_t^2$  в лабораторной системе  $n\alpha$ -частиц и по  $P_t^{*2}$  системе покоя  $n\alpha$ -частиц ( $n=3,4$ ). Кривая линия для каждого из  $P_t^2$ -распределений – сумма двух релеевских распределений.

**Сравнительные характеристики релятивистских  $\alpha$ -частиц  
из реакций  $^{14}\text{N}_{\text{ws}} \rightarrow 3\alpha + \text{X}$ ,  $^{12}\text{C}_{\text{ws}} \rightarrow 3\alpha$ ,  $^{16}\text{O}_{\text{ws}} \rightarrow 4\alpha$ .**

<i>Характеристика</i>	$^{16}\text{O} \rightarrow 4\alpha$	$^{14}\text{N} \rightarrow 3\alpha + \text{X}$	$^{12}\text{C} \rightarrow 3\alpha$
$\lambda$ , м	$31.3 \pm 12.6$	$2.2 \pm 0.3$	$10.3 \pm 1.9$
$P_0$ , А ГэВ/с	4.50	2.86	4.50
Число $\alpha$ -частиц	$641 * 4 = 2564$	$41 * 3 = 123$	$44 * 3 = 132$
$\langle p_t^2 \rangle^{1/2}$ , МэВ/с	$167 \pm 4$	$152 \pm 14$	$192 \pm 10$
$\langle p_t^{*2} \rangle^{1/2}$ , МэВ/с	$145 \pm 3$	$122 \pm 11$	$141 \pm 7$

Все представленные в таблице события являются “белыми” звездами

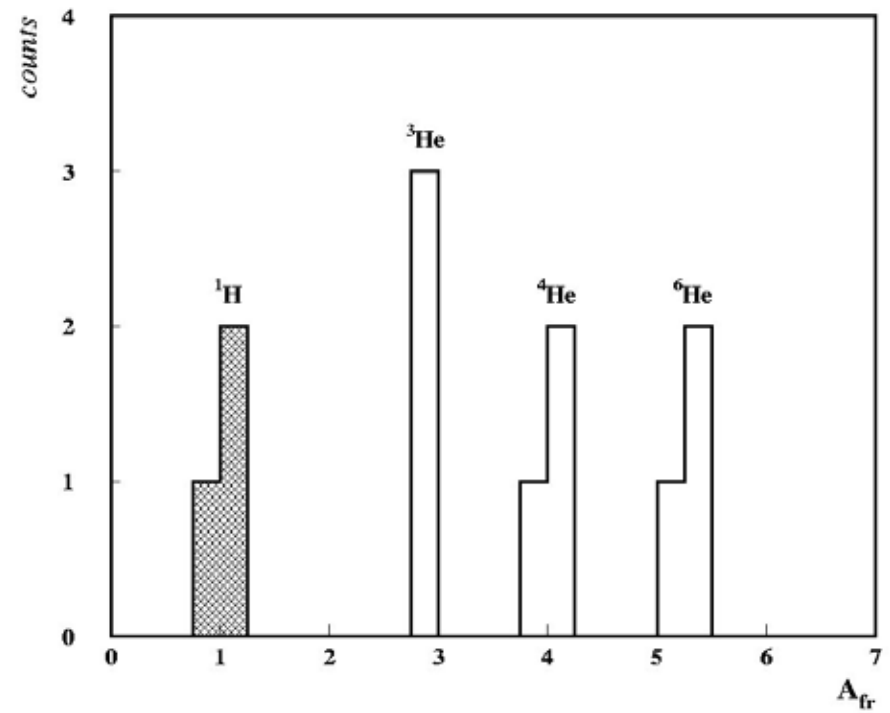
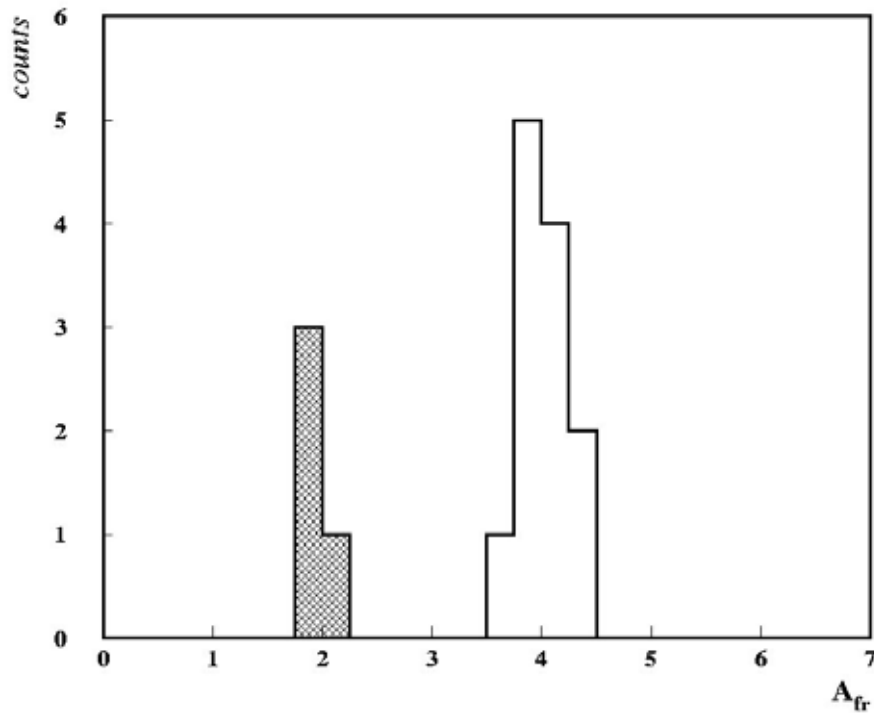
**Полностью идентифицированные и  
редкие моды диссоциации ядра  $^{14}\text{N}$**

$^{14}\text{N} \rightarrow 3^4\text{He} + \text{d}$  (4 события)

$^{14}\text{N} \rightarrow ^6\text{He} + ^4\text{He} + ^3\text{He} + \text{p}$  (3 события)

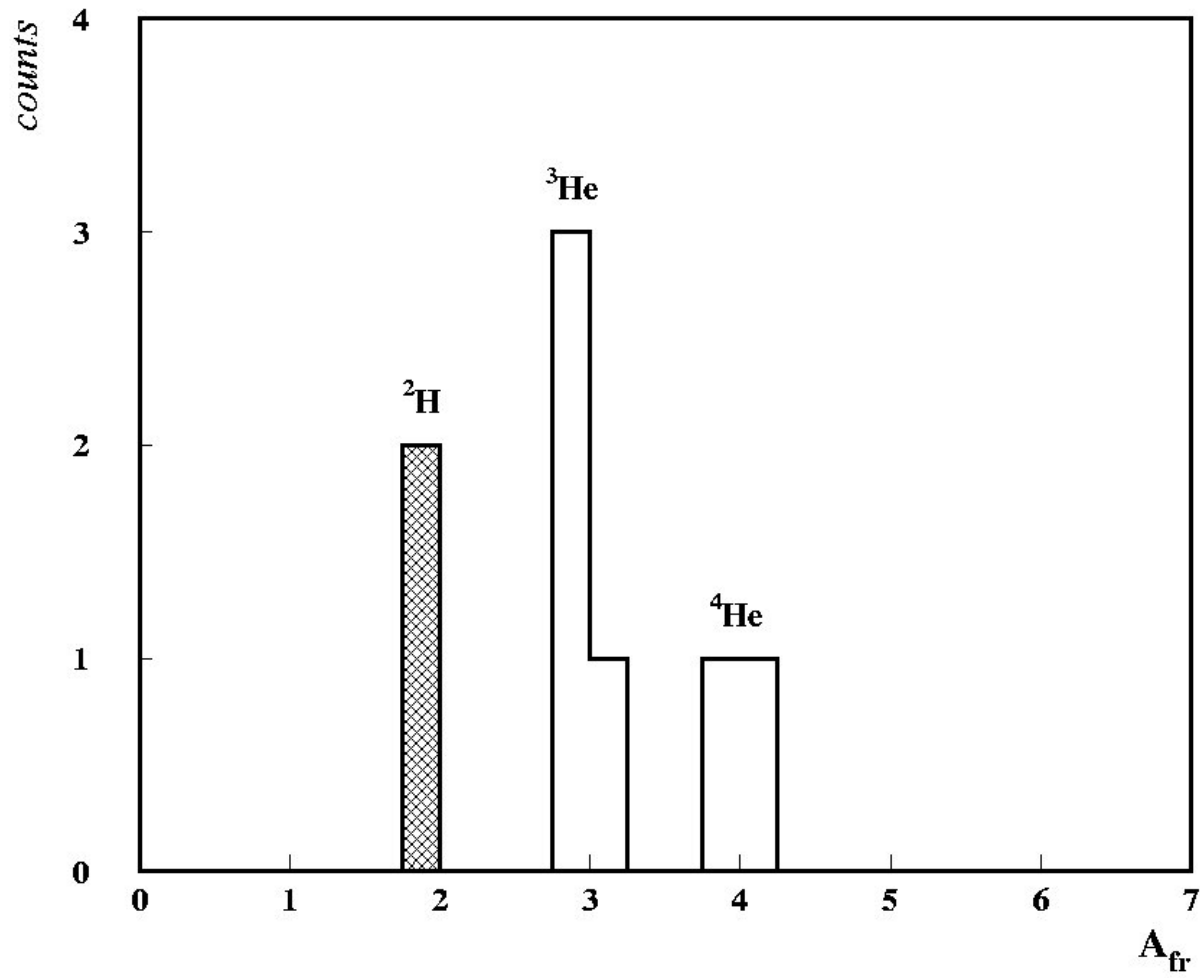
$\langle p_t (^3\text{He} + ^2\text{H}) \rangle = (182 \pm 90)$  МэВ/с

$\langle p_t (^6\text{He} + ^4\text{He} + ^3\text{He} + ^1\text{H}) \rangle = (431 \pm 43)$  МэВ/с

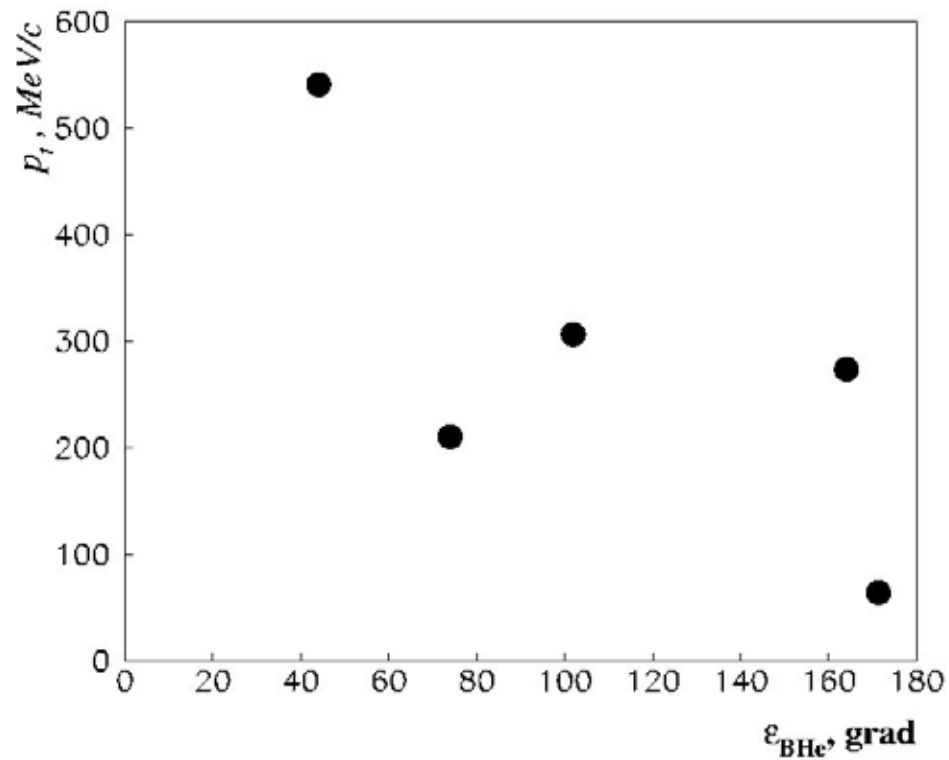
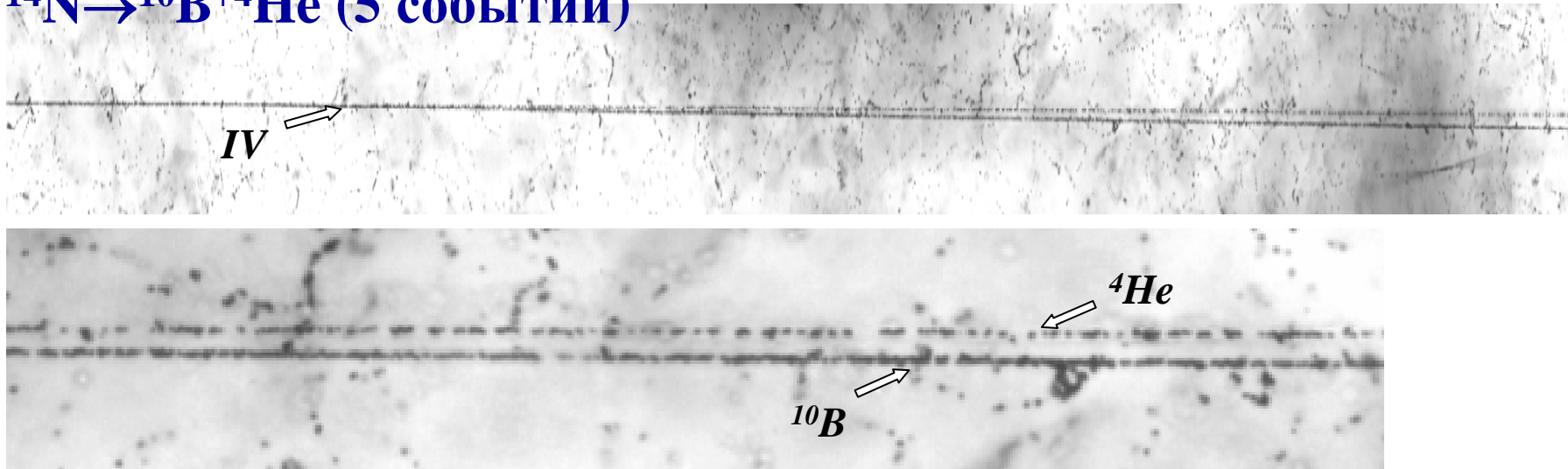




$^{14}\text{N} \rightarrow ^4\text{He} + 2^3\text{He} + \text{d}$  (2 события)

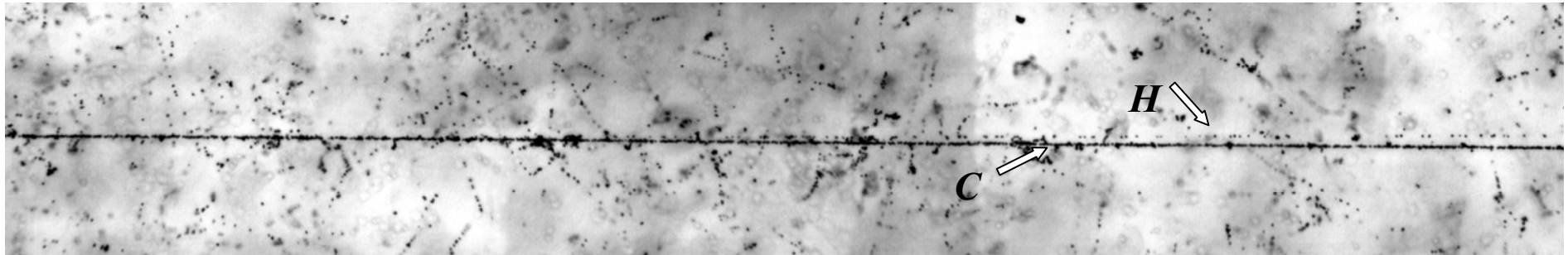


# $^{14}\text{N} \rightarrow ^{10}\text{B} + ^4\text{He}$ (5 событий)

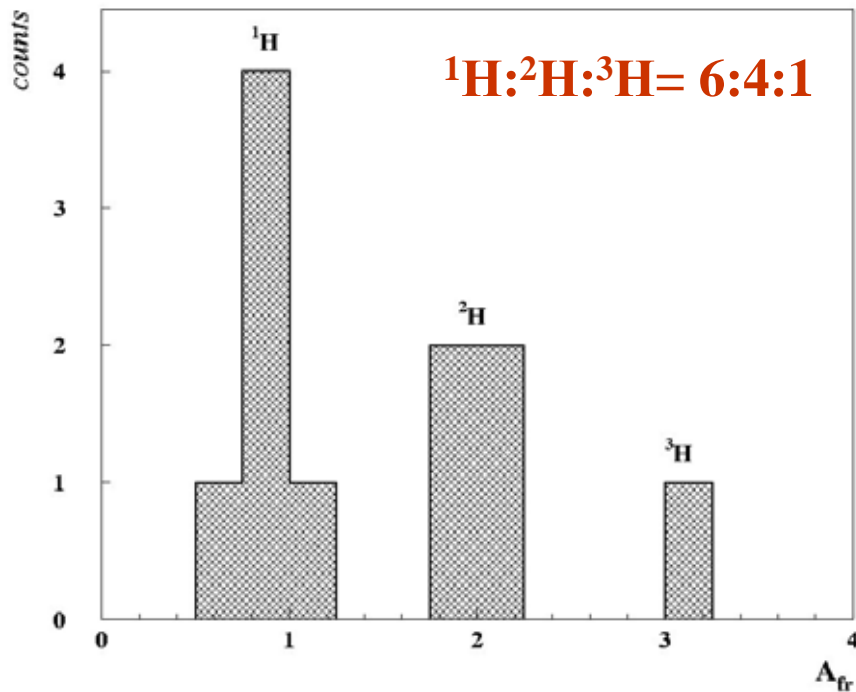


Зависимость суммарного переданного импульса системе  $^{14}\text{N} \rightarrow ^{10}\text{B} + ^4\text{He}$  от азимутального угла  $\epsilon_{ij}$  между фрагментами  $^{10}\text{B}$  и  $^4\text{He}$  в л.с.

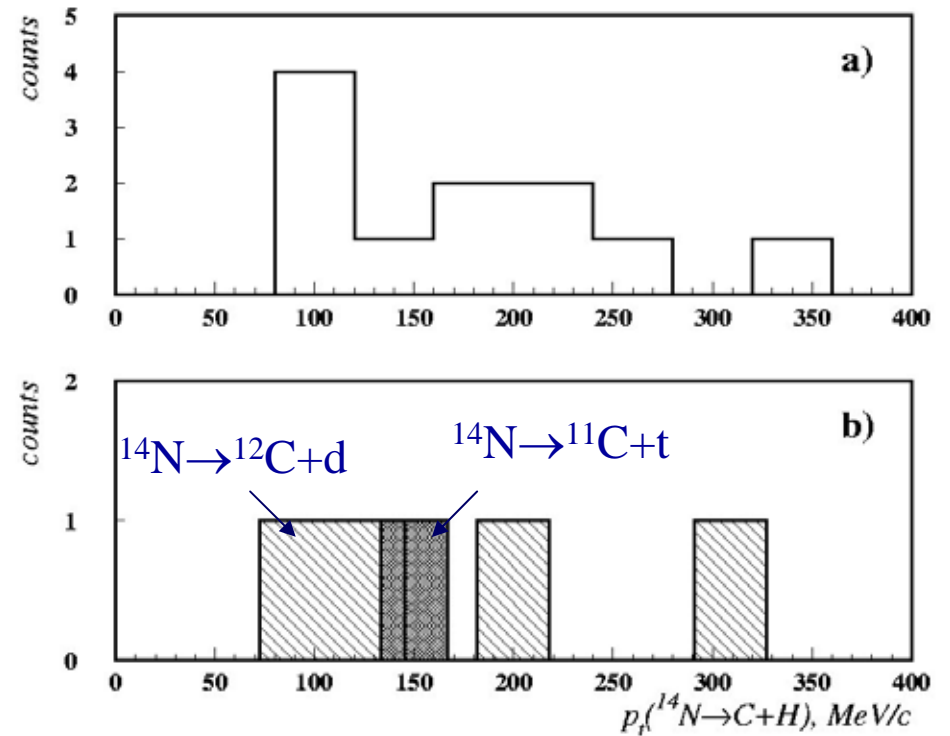
# $^{14}\text{N} \rightarrow \text{C} + \text{H}$ (11 событий)



## Идентификация однозарядных фрагментов



## Распределение по суммарному переданному импульсу системы в л.с.



## Процессы неупругой перезарядки:



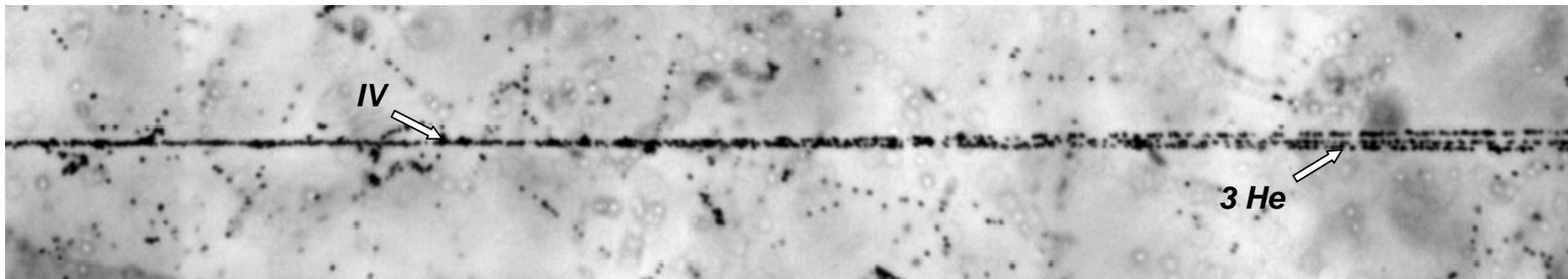
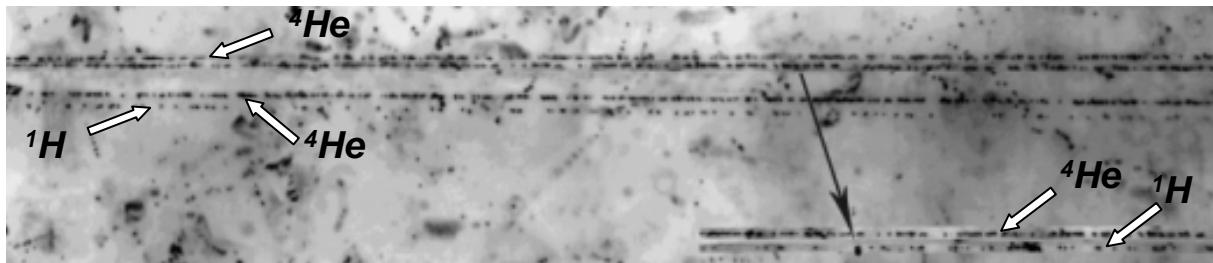
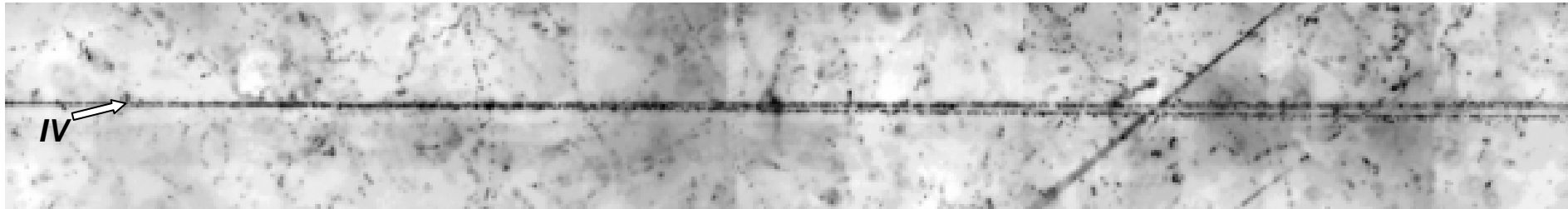
	$\Sigma Z_{fr} = 6$	$\Sigma Z_{fr} = 6$	$\Sigma Z_{fr} = 8$	
$N_{z1}$	2	-	2	} $W \approx 3\%$
$N_{z2}$	2	3	3	
$N_{ws}$	3	5	9	
$N_{tf}$	2	7	1	
$N_{in}$	5	12	10	

$$\lambda(^{14}\text{N}_{ws} \rightarrow 3^4\text{He} + 2p) = (41 \pm 24) \text{ м}$$

$$\lambda(^{14}\text{N}_{ws} \rightarrow 3\text{He}) = (25 \pm 11) \text{ м}$$

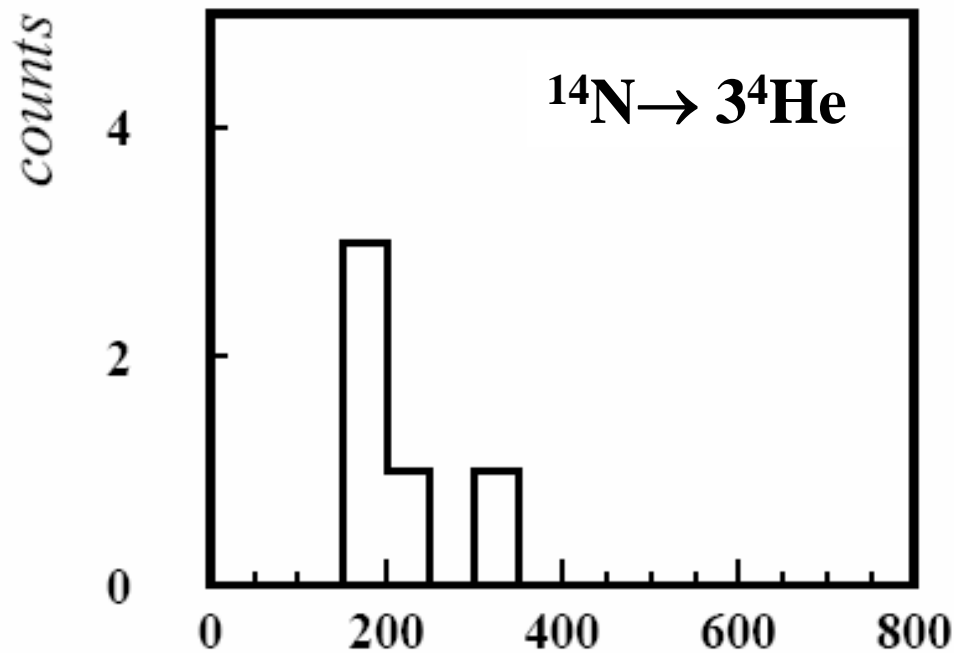
$$\lambda(^{14}\text{N}_{ws} \rightarrow 2\text{He} + 2\text{H}) = (14 \pm 5) \text{ м}$$

## Процессы неупругой перезарядки:

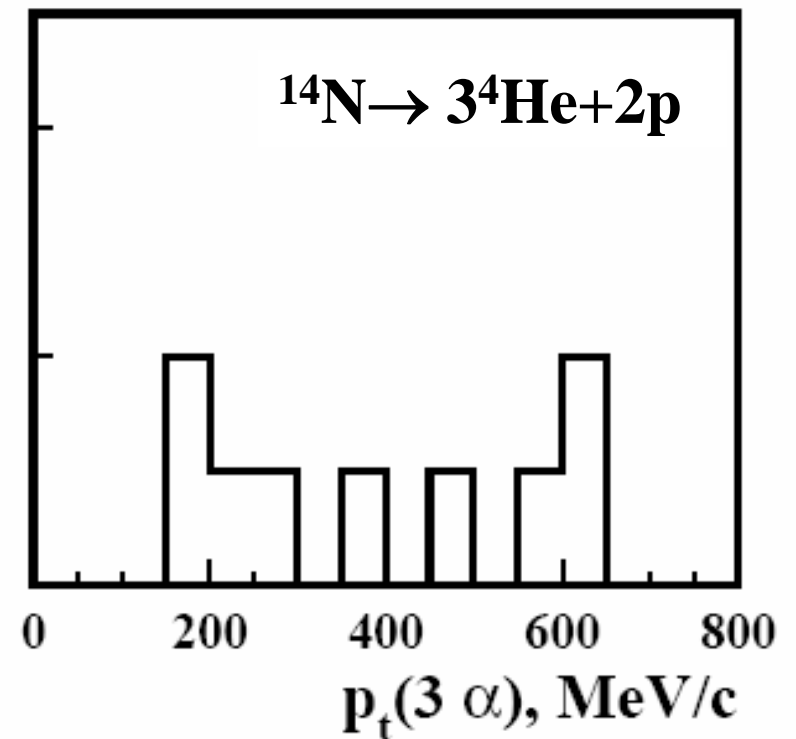


Распределение по суммарному поперечному импульсу системы из 3 $\alpha$ -частиц для  $^{14}\text{N} \rightarrow 3\text{He}$  и  $^{14}\text{N} \rightarrow 3\text{He} + 2\text{H}$

$\langle \Sigma p_t(3\text{He}) \rangle = 215.0 \text{ МэВ}/c$



$\langle \Sigma p_t(3\text{He}) \rangle = 391.7 \text{ МэВ}/c$



**!!!  $^{14}\text{N} \rightarrow ^8\text{Be} + ^4\text{He} + 2p \approx 20\%$**

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

**Впервые изучена детальная картина релятивистской диссоциации ядер  $^{14}\text{N}$  в ядерной фотографической эмульсии, облучение которой было выполнено на нуклотроне ОИЯИ. Уникальные возможности эмульсионного метода позволили систематически изучить зарядовую топологию, угловые распределения и изотопический состав релятивистских фрагментов ядер  $^{14}\text{N}$  в корреляции, как в событиях с образованием фрагментов ядер мишени и мезонов, так и их отсутствием в наиболее периферических взаимодействиях (в «белых» звездах). Основные выводы выполненного исследования состоят в следующем:**

**1.** Установлено, что множественный канал диссоциации  $^{14}\text{N} \rightarrow 3\text{He} + \text{H}$  лидирует в распределении по зарядовой топологии. Он дает вклад примерно 50 процентов, как для «белых» звезд, так и для событий с образованием фрагментов мишени и мезонов. Таким образом, ядро  $^{14}\text{N}$  является весьма эффективным источником для изучения свойств 3 $\alpha$ -частичных систем.

**2.** Статистика в этом канале диссоциации была доведена до 132 событий, что позволило оценить по угловым измерениям энергетический масштаб образующихся в периферической фрагментации  $3\alpha$ -частичных систем. Установлено, что 80% взаимодействий соответствуют кластерным возбуждениям ядра  $^{12}\text{C}$  с энергиями до 14 МэВ, а вклад событий  $^{14}\text{N} \rightarrow ^8\text{Be} + \alpha + X \rightarrow 3\alpha + X$  с распадом ядра  $^8\text{Be}$  из основного состояния составляет приблизительно 25 %. Образование ядер  $^8\text{Be}$  ведет к сильной асимметрии в распределении по азимутальному углу между фрагментами He.

**3.** Идентификация методом многократного кулоновского рассеяния релятивистских ядер N в канале  $^{14}\text{N} \rightarrow 3\text{He} + \text{N}$  указывает на заметное снижение доли дейтронов по отношению к протонам по сравнению с ранее изученными случаями релятивистской фрагментации  $^6\text{Li}$  и  $^{10}\text{B}$ , что соответствует порогам отделения дейтронов и протонов.

**4.** Впервые изучены спектры по суммарному поперечному импульсу  $\alpha$ -фрагментов в событиях  $^{14}\text{N} \rightarrow 3\text{He} + X$ . Среднее значение величины суммарного переданного системе из  $3\alpha$ -частиц поперечного импульса для “белых” звезд существенно меньше, чем для полупериферических взаимодействий, сопровождающихся образованием одного или нескольких фрагментов ядра-мишени.



**5.** Впервые для ядра  $^{14}\text{N}$  были идентифицированы процессы релятивистской диссоциации  $^{11}\text{C}+^3\text{H}$ ,  $^6\text{He}+^4\text{He}+^3\text{He}+p$ ,  $^4\text{He}+2^3\text{He}+d$ , для которых характерны глубокая перегруппировка  $\alpha$ -частичной структуры этого ядра и преодоление высоких энергетических порогов. Кроме того, впервые обнаружены процессы неупругой перезарядки  $^{14}\text{N}\rightarrow 3\text{He}+2\text{H}$ ,  $^{14}\text{N}\rightarrow 3\text{He}$ ,  $^{14}\text{N}\rightarrow 2\text{He}+2\text{H}$ .

**6.** Для канала фрагментации  $^{14}\text{N}\rightarrow 3\text{He}+\text{H}$  выполнено сравнение с ранее изученными ядрами  $^{12}\text{C}\rightarrow 3\text{He}$ ,  $^{16}\text{O}\rightarrow 4\text{He}$ . Среднее значение величины поперечного импульса  $\alpha$ -частиц в системе покоя  $n\alpha$ -частиц ( $n=3,4$ ) близко для ядер  $^{12}\text{C}$ ,  $^{16}\text{O}$  и  $^{14}\text{N}$ . Из анализа угловых корреляций следует, что ядра  $^{12}\text{C}$ ,  $^{14}\text{N}$ ,  $^{16}\text{O}$  с большой вероятностью фрагментируют через образование промежуточного состояния  $^8\text{Be}\rightarrow 2\alpha$ .

**Полученные результаты указывают на перспективность исследования многочастичных систем легчайших ядер, возникающих при диссоциации, методом релятивистской фрагментации.**