

**Предварительные результаты исследования
фрагментации ядер $^9,^{10}\text{C}$ и ^{12}N на ядрах
фотоэмульсии**

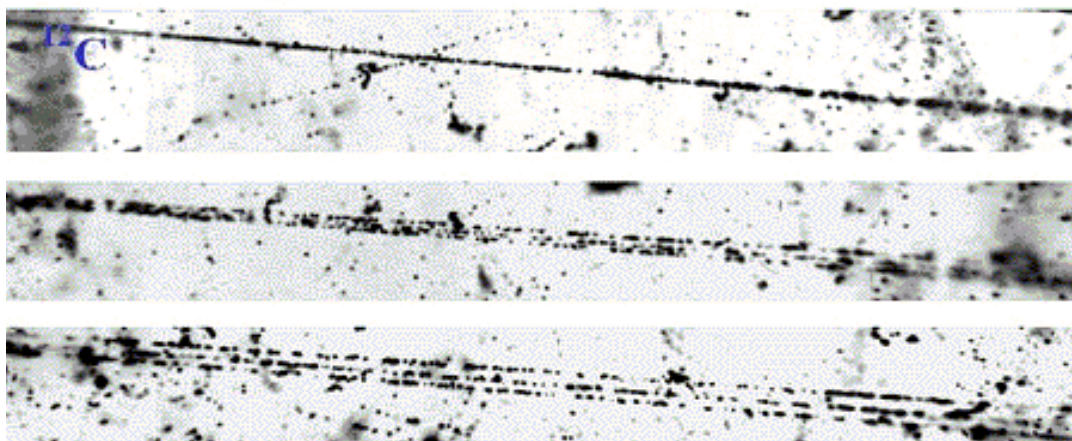
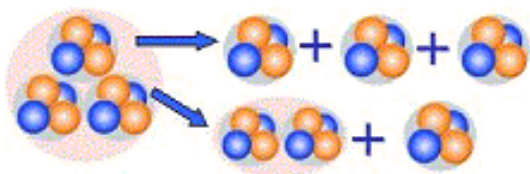
**Д.А. Артеменков, Д.О. Кривенков, К.З. Маматкулов,
Р.Р. Каттабеков, П.И. Зарубин
Сотрудничество БЕККЕРЕЛЬ**

ELEMENTARY PARTICLES AND FIELDS
Experiment

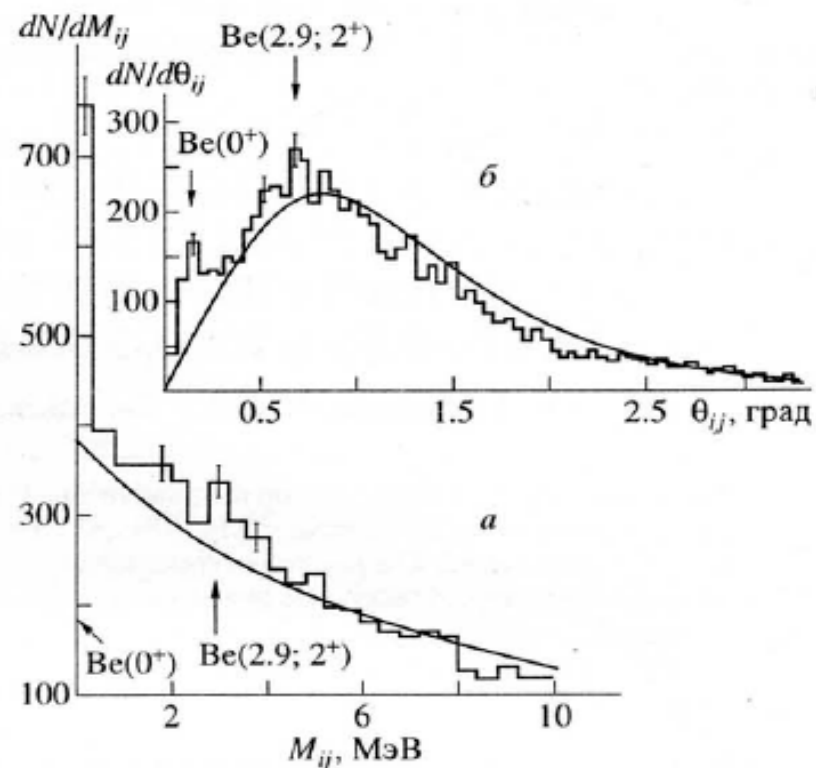
Coherent Dissociation $^{12}\text{C} \rightarrow 3\alpha$ in Lead-Enriched Emulsion
at 4.5 GeV/c per Nucleon

V. V. Belaga, A. A. Benjaza¹⁾, V. V. Rusakova, J. A. Salamov²⁾, and G. M. Chernov

$^{12}\text{C} \rightarrow 3\alpha$, 3.65 A GeV



(PAVICOM image)



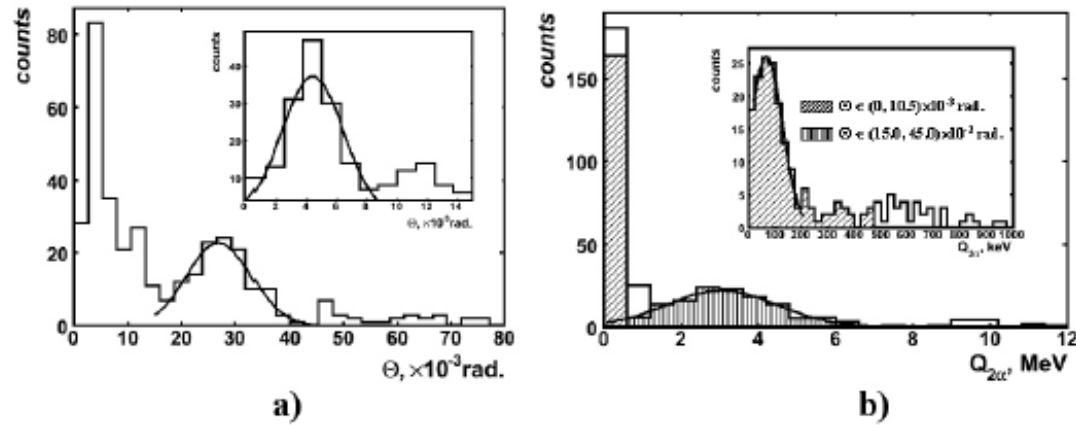
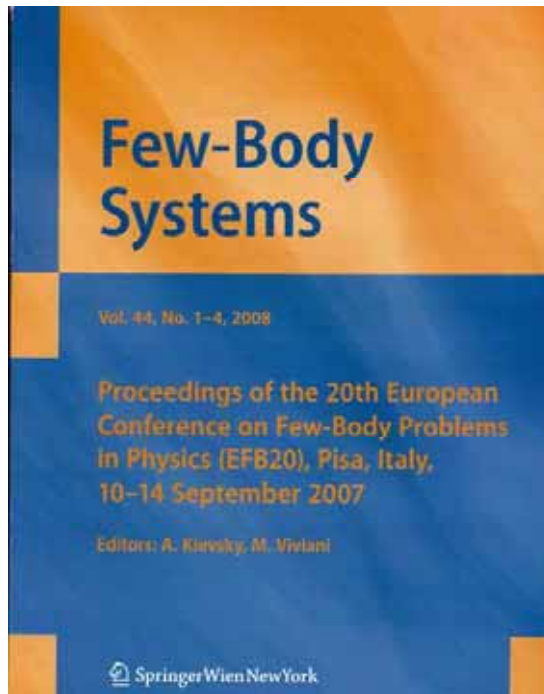
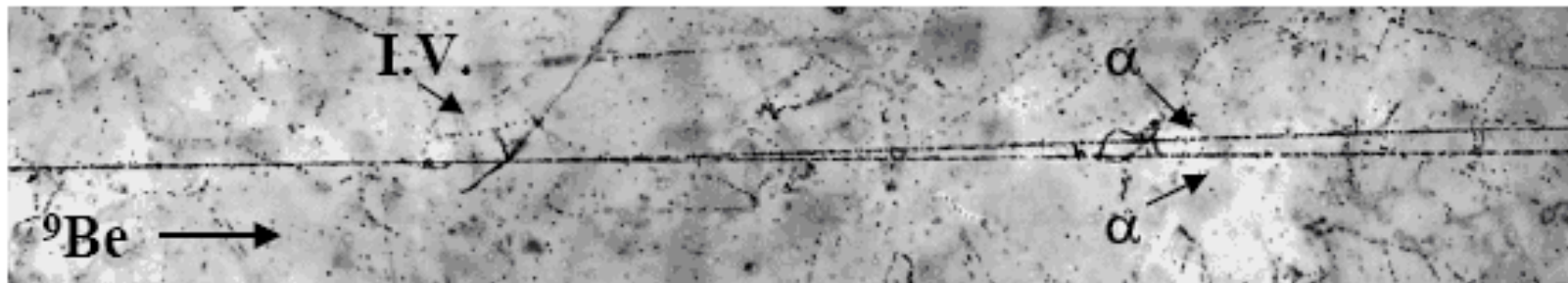


Figure 1. The opening θ angle distribution of α particles in the ${}^9\text{Be} \rightarrow 2\alpha$ fragmentation reaction at 1.2 A GeV energy. On the intersection: the θ range from 0 to 15×10^{-3} rad.– a). The invariant energy $Q_{2\alpha}$ distribution of α particle pairs in the ${}^9\text{Be} \rightarrow 2\alpha$ fragmentation reaction at 1.2 A GeV energy. On the intersection: the $Q_{2\alpha}$ range from 0 to 1 MeV –b).



Событие фрагментации ${}^9\text{Be} \rightarrow 2\alpha$, сопровождающиеся расщеплением ядра эмульсии из группы CNO. Отчетливо видны α -пара, образующаяся при фрагментации первичного ядра ${}^9\text{Be}$ с энергией 1.2 А ГэВ, и четыре трека фрагментов ядра эмульсии (три коротких b-трека, один g-трек).



NATO Science for Peace and Security Series - B:
Physics and Biophysics

Progress in High Energy Physics and Nuclear Safety

Edited by
Viktor Begun
László L. Jenkovszky
Aleksander Polański

 Springer



This publication
is supported by

The NATO Science for Peace
and Security Programme

First Results on the Interactions of Relativistic ^9C Nuclei in Nuclear Track Emulsion

D.O. Krivenkov, D.A. Artemenkov, V. Bradnova, M. Haiduc, S.P. Kharlamov,
V.N. Kondratieva, A.I. Malakhov, A.A. Moiseenko, G.I. Orlova, N.G. Peresadko,
N.G. Polukhina, P.A. Rukoyatkin, V.V. Rusakova, V.R. Sarkisyan, R. Stanoeva,
T.V. Shchedrina, S. Vokál, P.I. Zarubin, and I.G. Zarubina

Abstract First results of the exposure of nuclear track emulsions in a secondary beam enriched by ^9C nuclei at energy of 1.2 A GeV are described. The presented statistics corresponds to the most peripheral ^9C interactions. For the first time a dissociation $^9\text{C} \rightarrow 3^3\text{He}$ not accompanied by target fragments and mesons is identified.

Keywords: relativistic nuclei, nuclear track emulsion, carbon nuclei, peripheral interaction, meson, BECQUEREL Collaboration

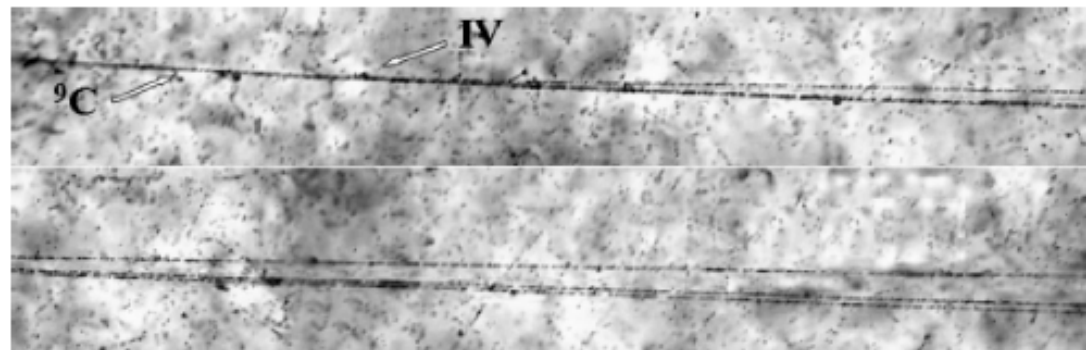
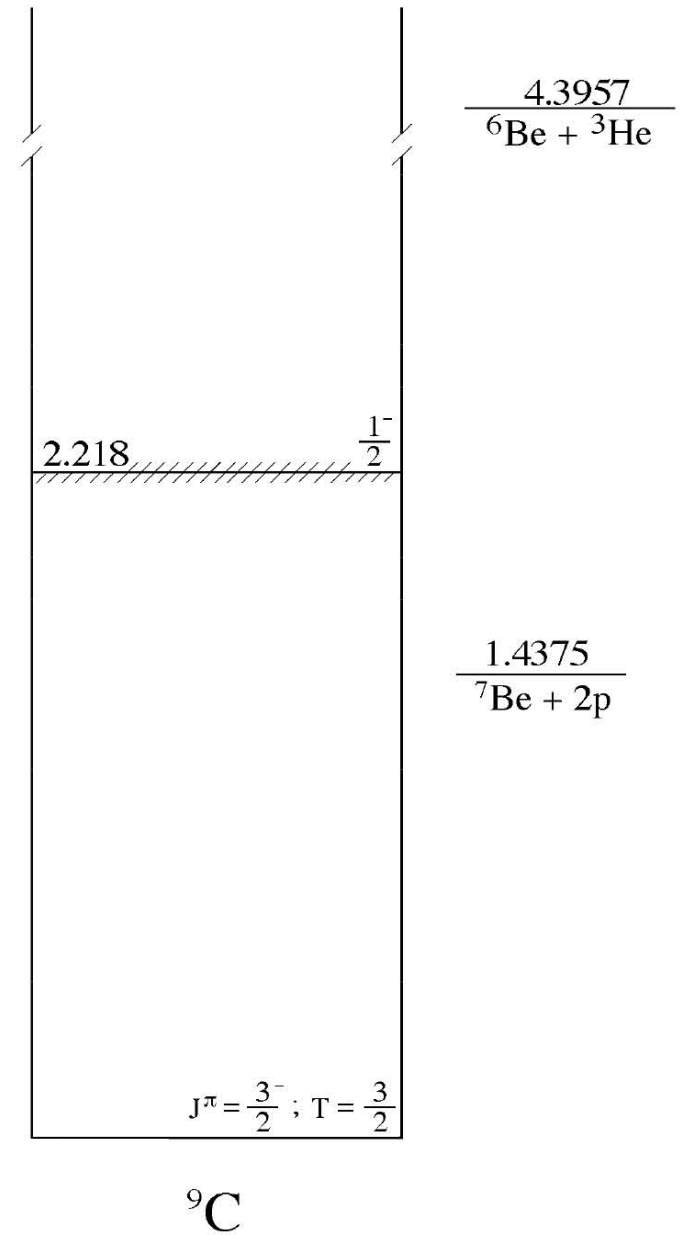
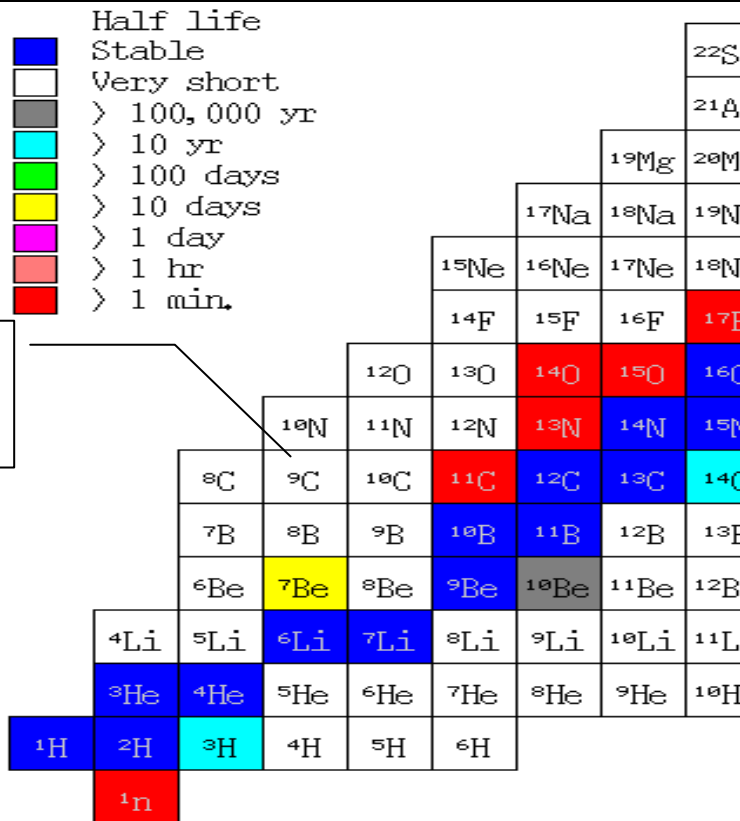


Fig. 6 Microphotography of “white” star $^9\text{C} \rightarrow 3^3\text{He}$ at 1.2 A GeV. The upper photo shows the dissociation vertex (indicated as IV) and fragments in a narrow cone. Three tracks of relativistic He fragments can clearly be seen in the bottom photo.

$\sum Z_{\text{fr}} = 6$	N_{fr}	N_{ws}	$N_{\text{fr}} + N_{\text{ws}}$
${}^8\text{B} + \text{p}$	51	15	66
${}^7\text{Be} + \text{p} + \text{p}$	47	16	63
$3 {}^3\text{He}$	9	16	25
He + 4 H	80	28	108
2 He + 2 H	54	22	76
6 H	6	16	25
...



Облучение эмульсий релятивистскими ядрами ${}^7\text{Be}$, ${}^{10}\text{C}$, ${}^{12}\text{N}$ с энергией 1,2 А ГэВ выполнено на нуклотроне ОИЯИ в октябре 2006 г. Проявка выполнена в ЛФВЭ ОИЯИ (группа В. Брадновой). Поиск событий и измерения выполнялись в ЛФВЭ, ФИАН.

Пластинки (просмотренные)	03, 05, 06, 08, 09, 10, 11, 12
Число событий (общее)	3258
Число событий («белые звезды»)	355 ${}^{10}\text{C}$ – 135 ${}^{12}\text{N}$ – 66
Общая протяженность просмотра	49271,8 см

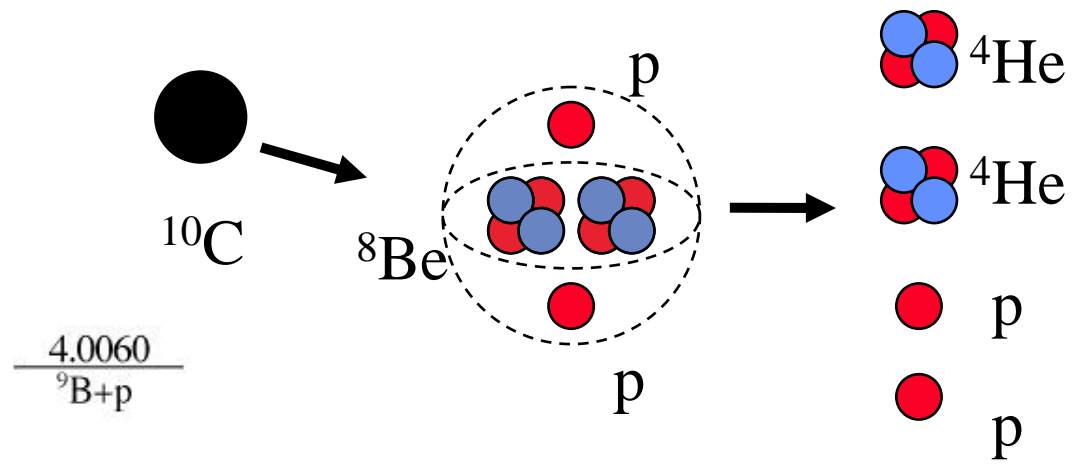
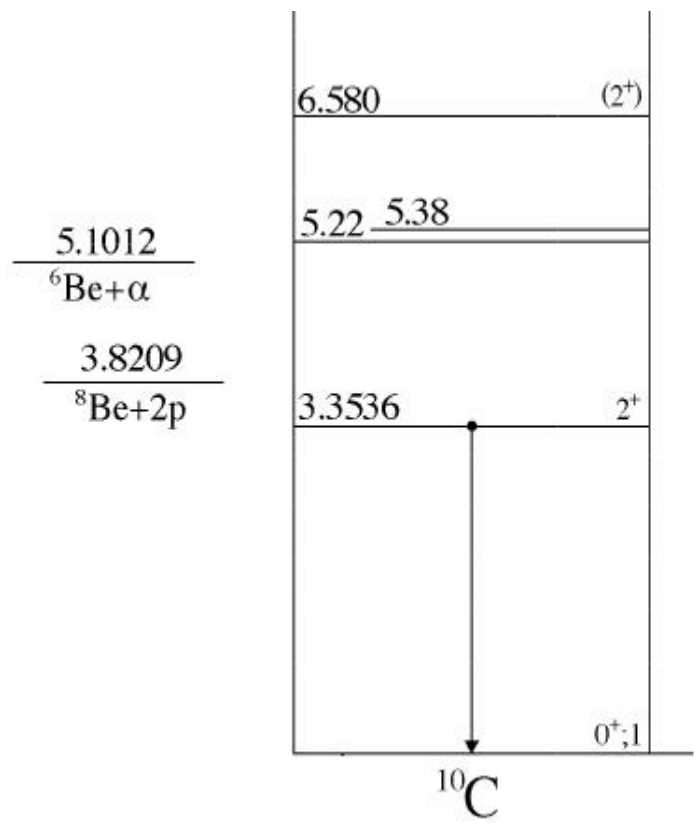


Наблюдаемые каналы фрагментации ядер ^{10}C («белые звезды»)

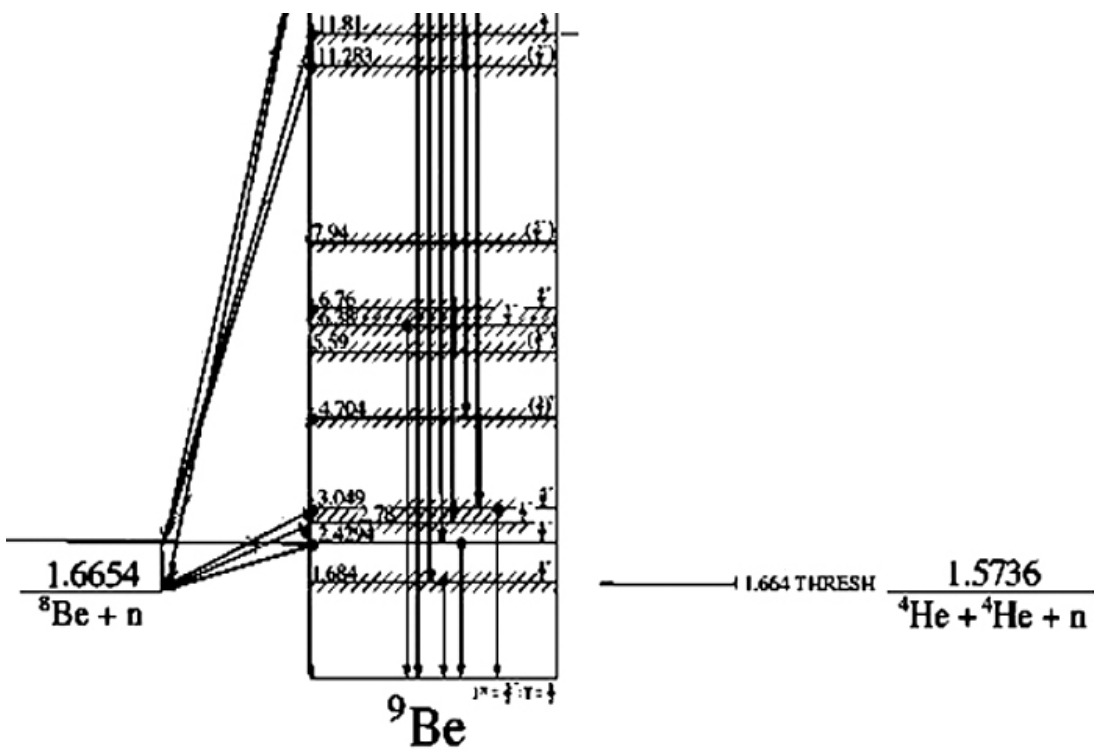
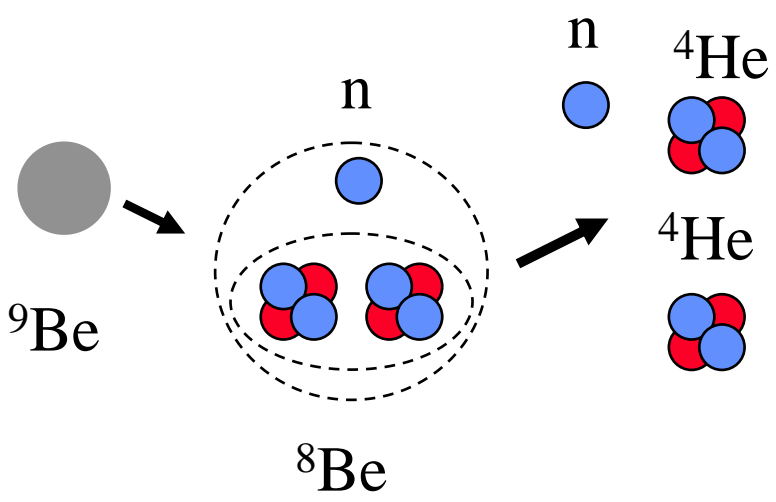
Z_{pr}	ΣZ_{fr}	$Z_{\text{fr}} > 3$				$Z=2$	$Z=1$	$\Sigma N_{\text{ws}}=135$
6	6 (Li+He+H)				1	1	1	1
6	6 (Be+He)			1		1		4
6	6 (Li+3H)				1		3	1
6	6 (B+H)		1				1	1
6	6 (2He+2H)					2	2	111 (178)
6	6 (He+4H)					1	4	14
6	6 (6H)						6	3

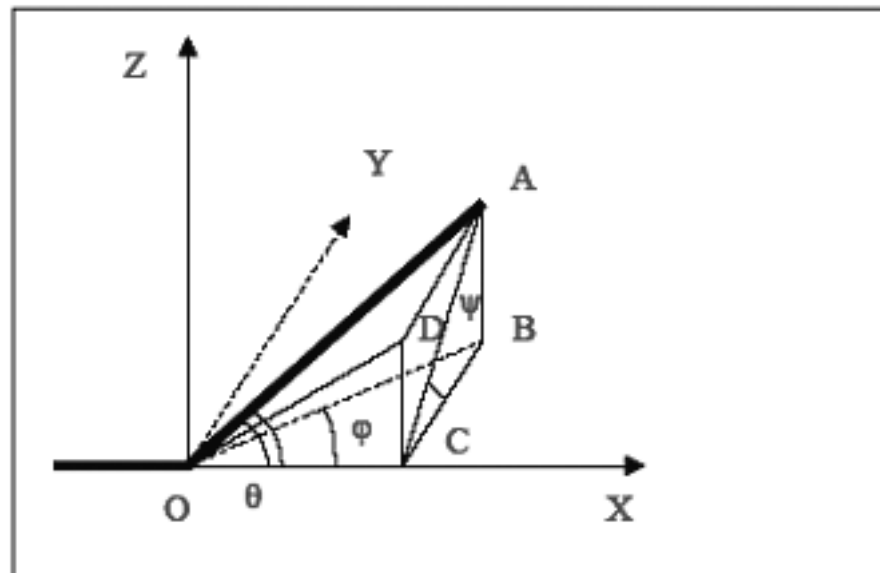
Наблюдаемые каналы фрагментации ядер ^{12}N («белые звезды»)

Z_{pr}	$\sum Z_{\text{fr}}$	$Z_{\text{fr}} > 3$				$Z=2$	$Z=1$	$\sum N_{\text{ws}}=66$
7	7 (Be+3H)			1			3	10
7	7 (B+2H)		1				2	6
7	7 (C+H)							2
7	7 (Be+He+H)			1		1	1	2
7	7 (Li+He+2H)				1	1	2	4
7	7 (Li+2He)				1	2		2
7	7 (3He+H)					3	1	4
7	6 (3He)					3		10
7	7 (2He+3H)					2	3	17
7	7 (He+5H)					1	5	7
7	7 (7H)						7	2

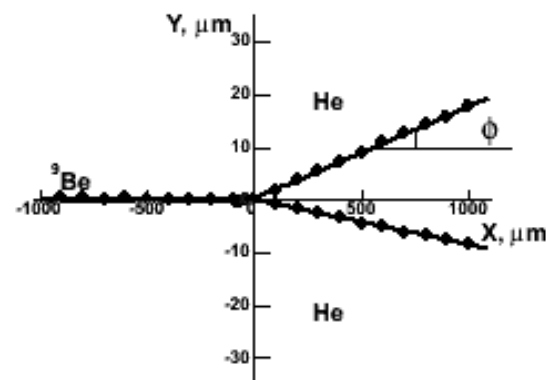
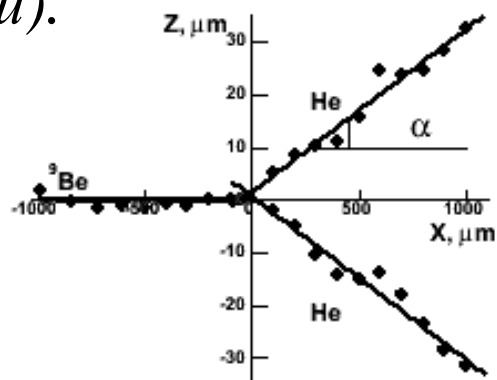


$$\frac{4.0060}{^9\text{B} + p}$$

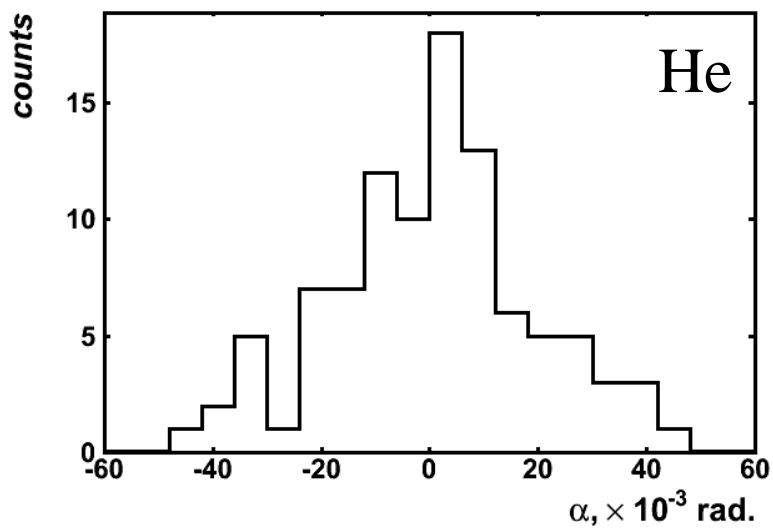




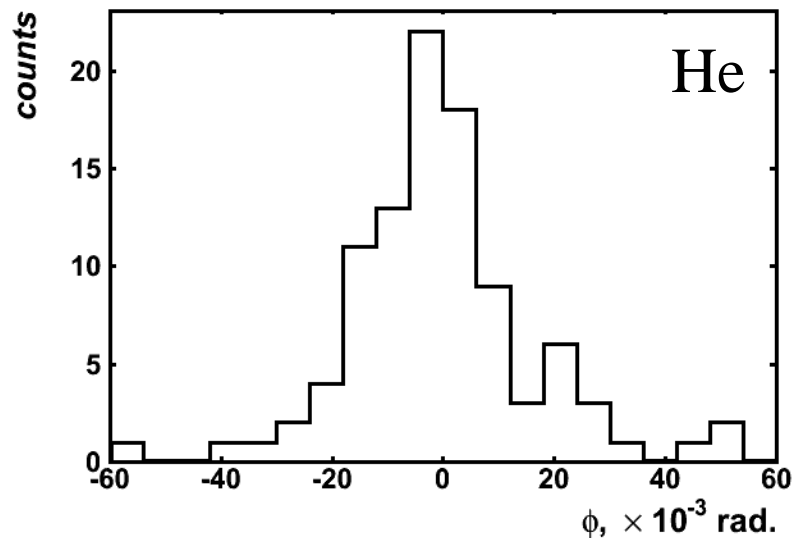
Определение углов вторичных частиц. OX – направление первичной частицы, $\angle AOC$ – полярный угол θ , $\angle ACB$ – азимутальный угол ψ , $\angle BOC$ – угол в плоскости эмульсии (плоский угол) ϕ , $\angle DOC$ – глубинный угол α (Все углы приведены в системе координат связанной с первичной частицей).



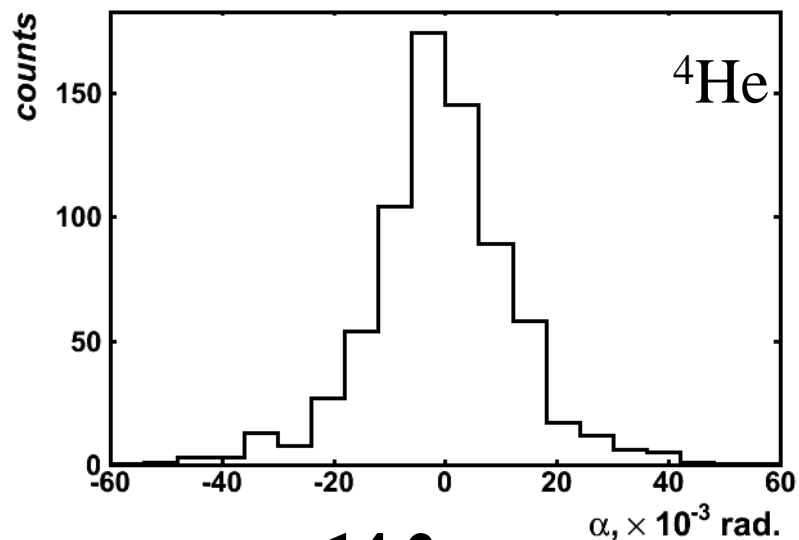
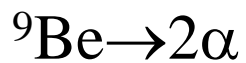
Распределение фрагментов He по глубинным и «плоским» углам



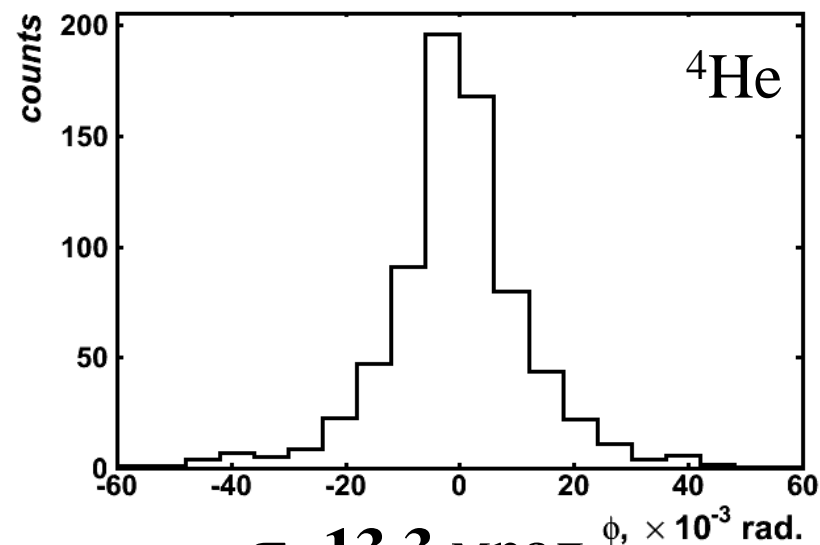
$\sigma=24,2$ мрад



$\sigma=19,9$ мрад

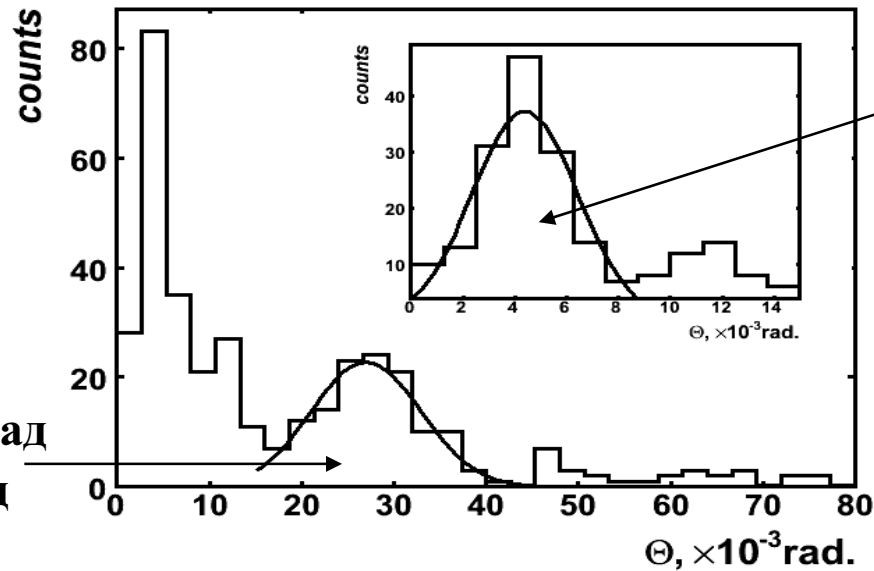
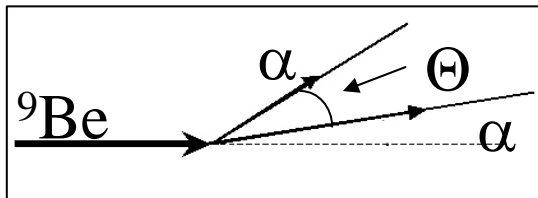
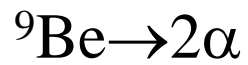
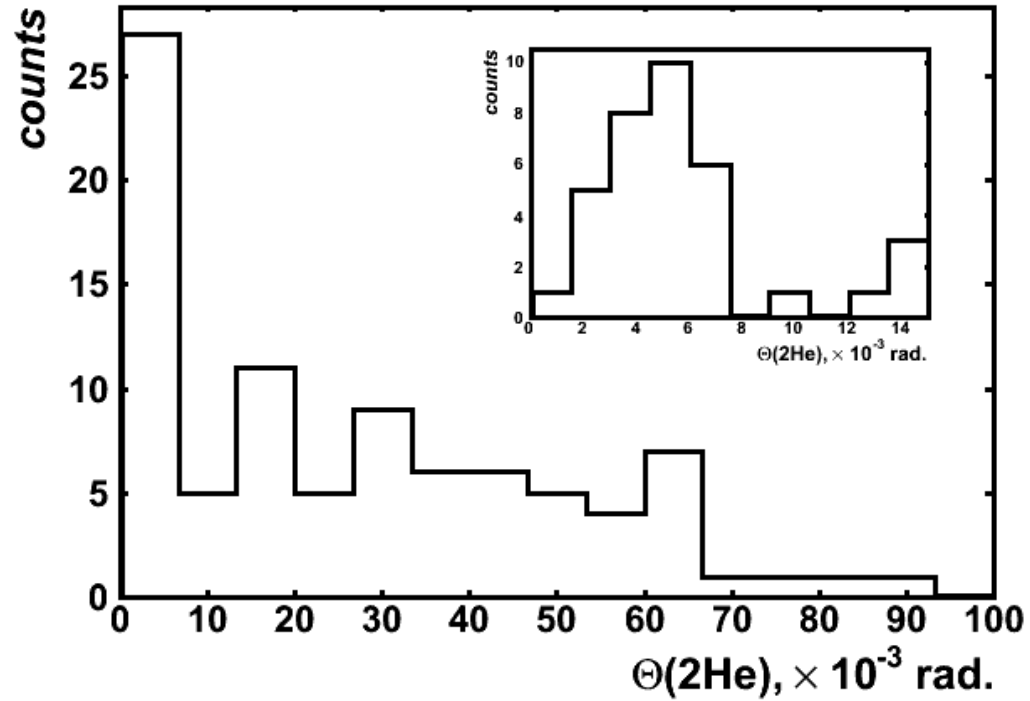
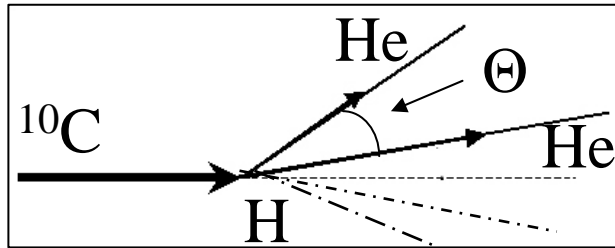


$\sigma=14,2$ мрад



$\sigma=13,3$ мрад

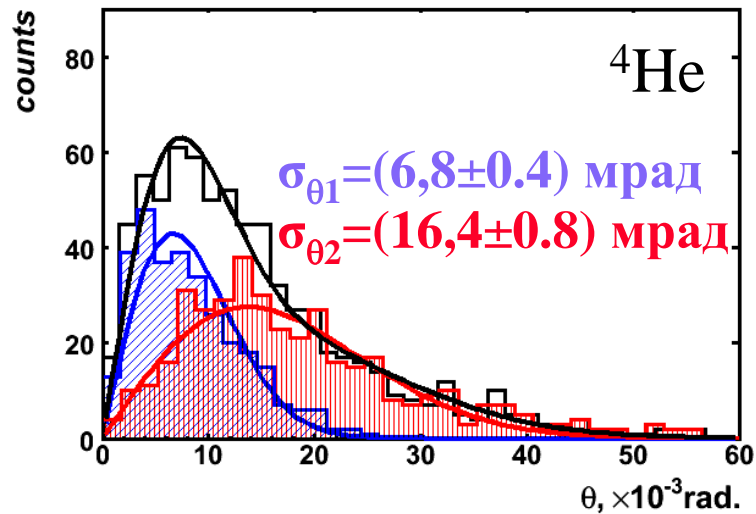
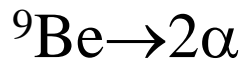
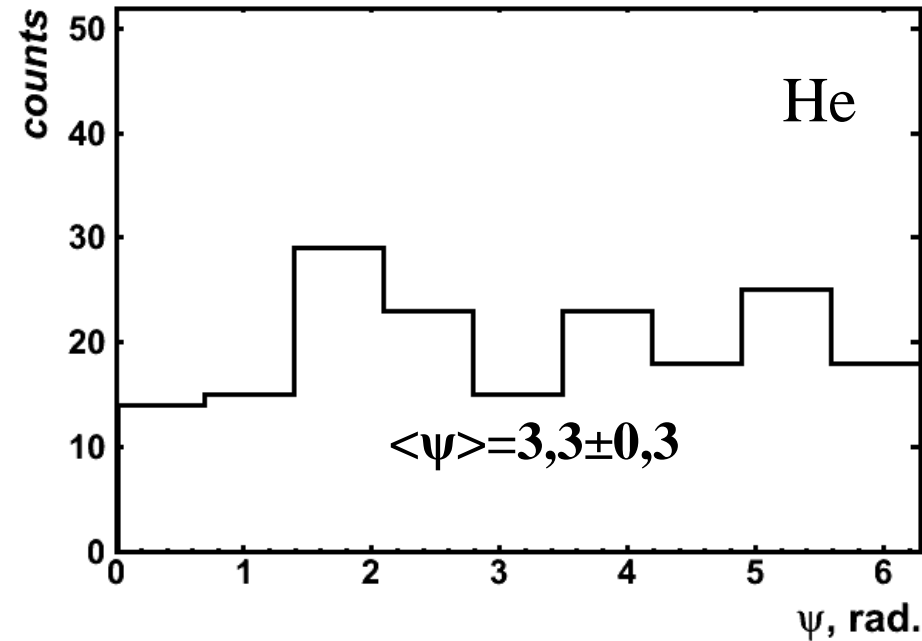
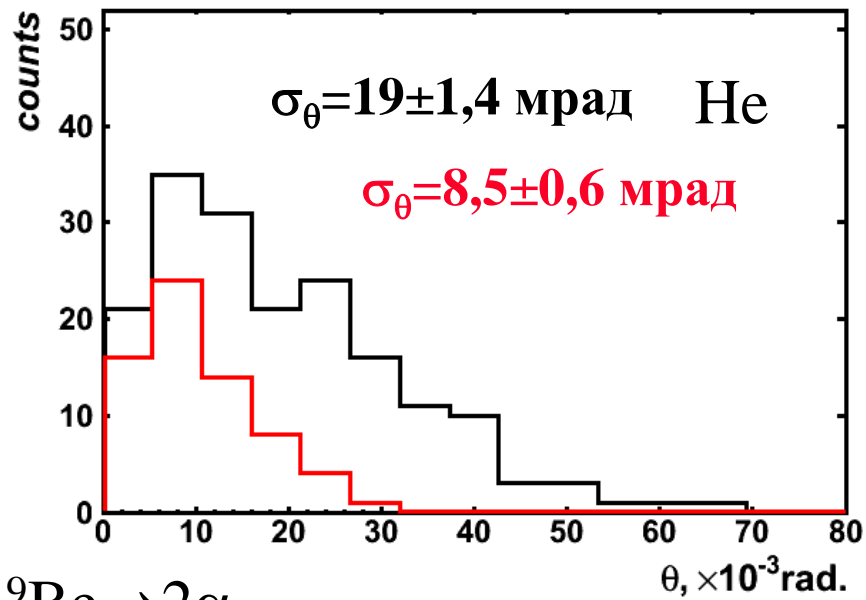
Распределение фрагментов He по «парным» углам



$\langle \Theta \rangle = 27.0 \pm 0.6$ мрад
 $\sigma_{\Theta} = 5.9 \pm 0.6$ мрад

$\langle \Theta \rangle = 4.4 \pm 0.2$ мрад
 $\sigma_{\Theta} = 2.1 \pm 0.2$ мрад

Распределение фрагментов He по полярным и азимутальным углам

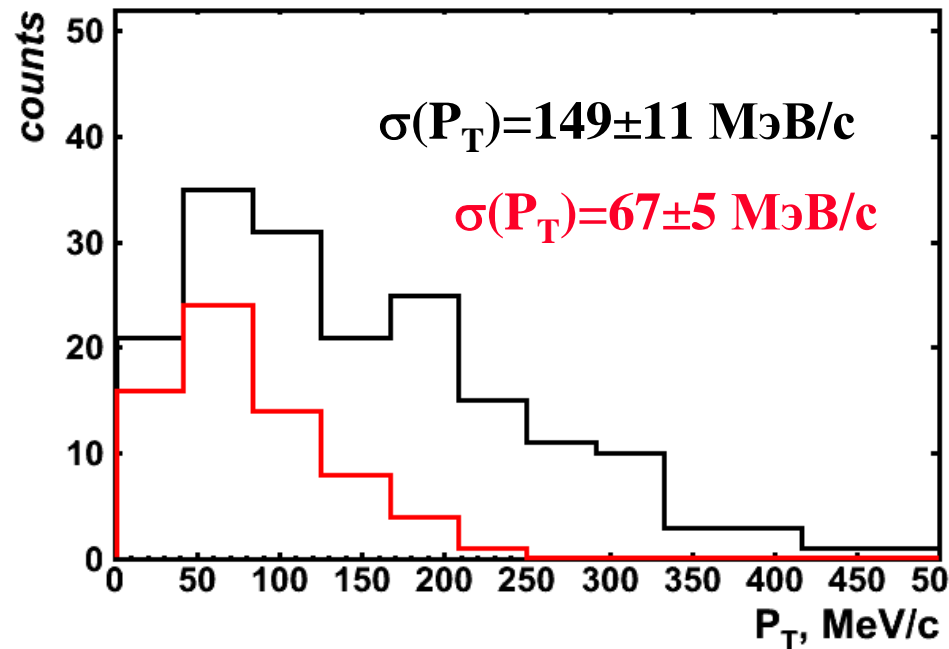


$$f(\theta) = \frac{\theta}{\sigma^2} \exp\left(\frac{-\theta^2}{2\sigma^2}\right)$$

$$\sigma^2 = \frac{\sum_{i=1}^N \theta_i^2}{2N}$$

Распределение α -частиц, по величине поперечного импульса P_T в лабораторной системе

$^{10}\text{C} \rightarrow 2\alpha + 2p$ при условии, что $\text{He} = ^4\text{He}$, $\text{H} = ^1\text{H}$



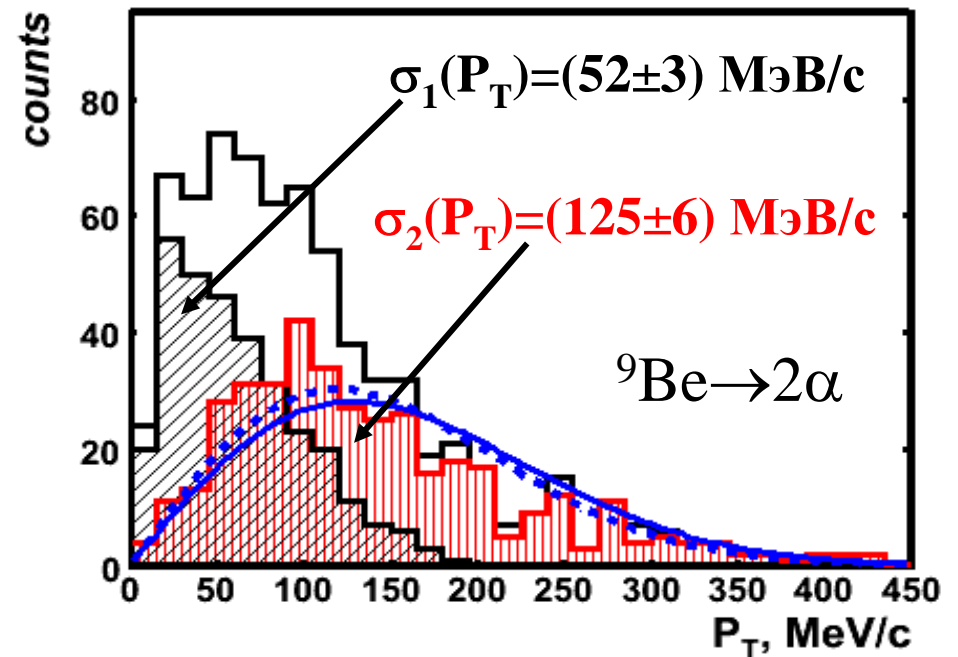
*A.S. Goldhaber, «Statistical models of fragmentation processes», Physics Letters **53B** (1974)

Ф.Г. Лепехин, Б.Б. Симонов, «Выход фрагментов ^8Be при фрагментации ^{10}B с энергией 1 ГэВ на нуклон в эмульсии», ЯФ **68 (2005)

$$P_T = p_0 \cdot A \cdot \sin(\theta)$$

$$* \sigma_F^2 = \sigma_0^2 \frac{A_F (A_0 - A_F)}{A_0 - 1}$$

**для ядра ^9Be $\sigma_0 = 81.4 \text{ МэВ/с}$



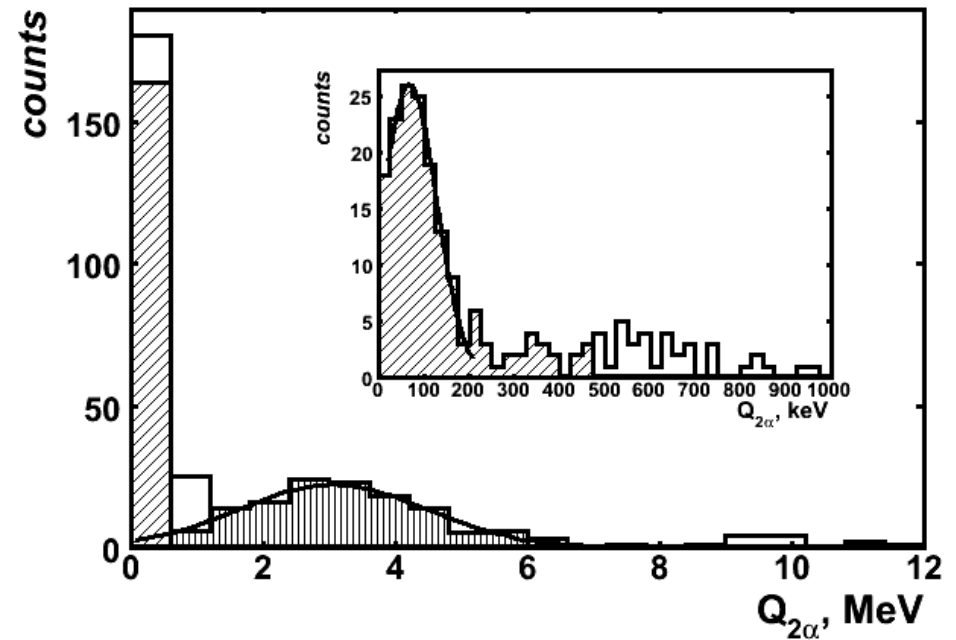
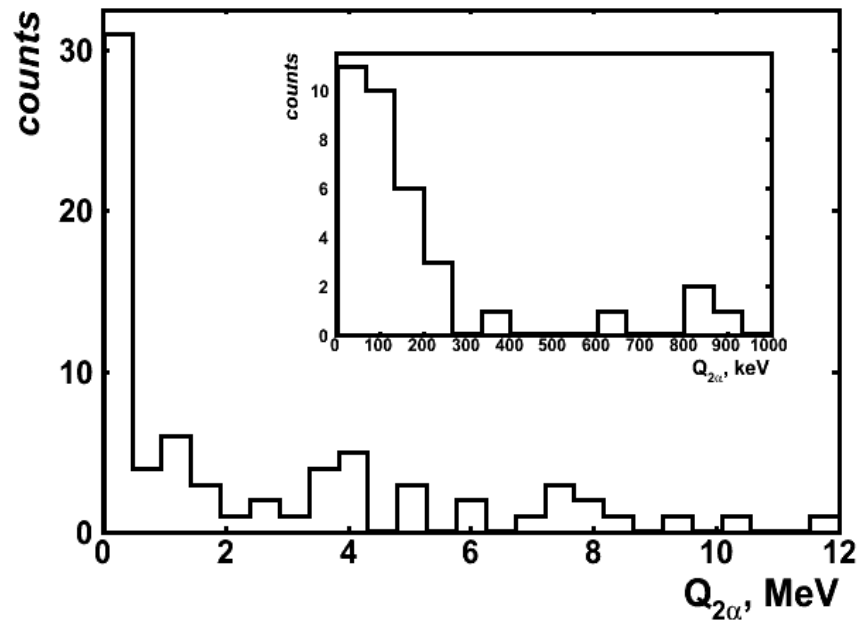
Распределение событий фрагментации по величине энергии $Q_{2\alpha}$ пары α -частиц

$$M_{2\alpha} = \left[2 \left(m_{\alpha}^2 + E_{\alpha 1} E_{\alpha 2} - p_{\alpha 1} p_{\alpha 2} \cos(\Theta_{12}) \right) \right]^{\frac{1}{2}}$$

$$Q_{2\alpha} = M_{2\alpha} - 2 \cdot m_{\alpha}$$

$^{10}\text{C} \rightarrow 2\alpha + 2p$ при условии, что $\text{He} = {}^4\text{He}$, $\text{H} = {}^1\text{H}$

${}^9\text{Be} \rightarrow 2\alpha$



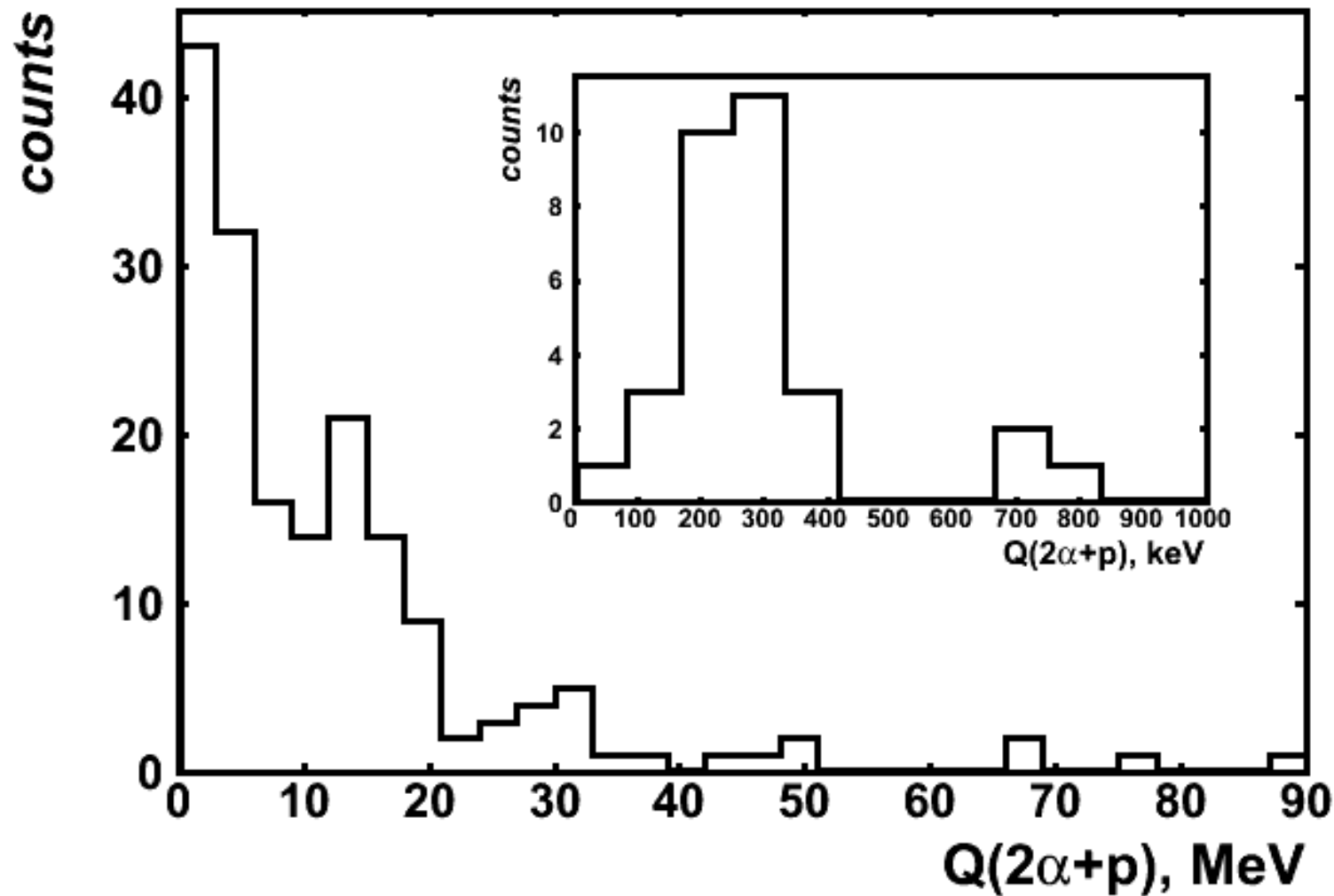
**Распределение событий фрагментации по величине энергии $Q_{2\alpha+p}$
 α -частиц и протонов**

$^{10}\text{C} \rightarrow 2\alpha + 2p$ при условии, что $\text{He} = ^4\text{He}$, $\text{H} = ^1\text{H}$

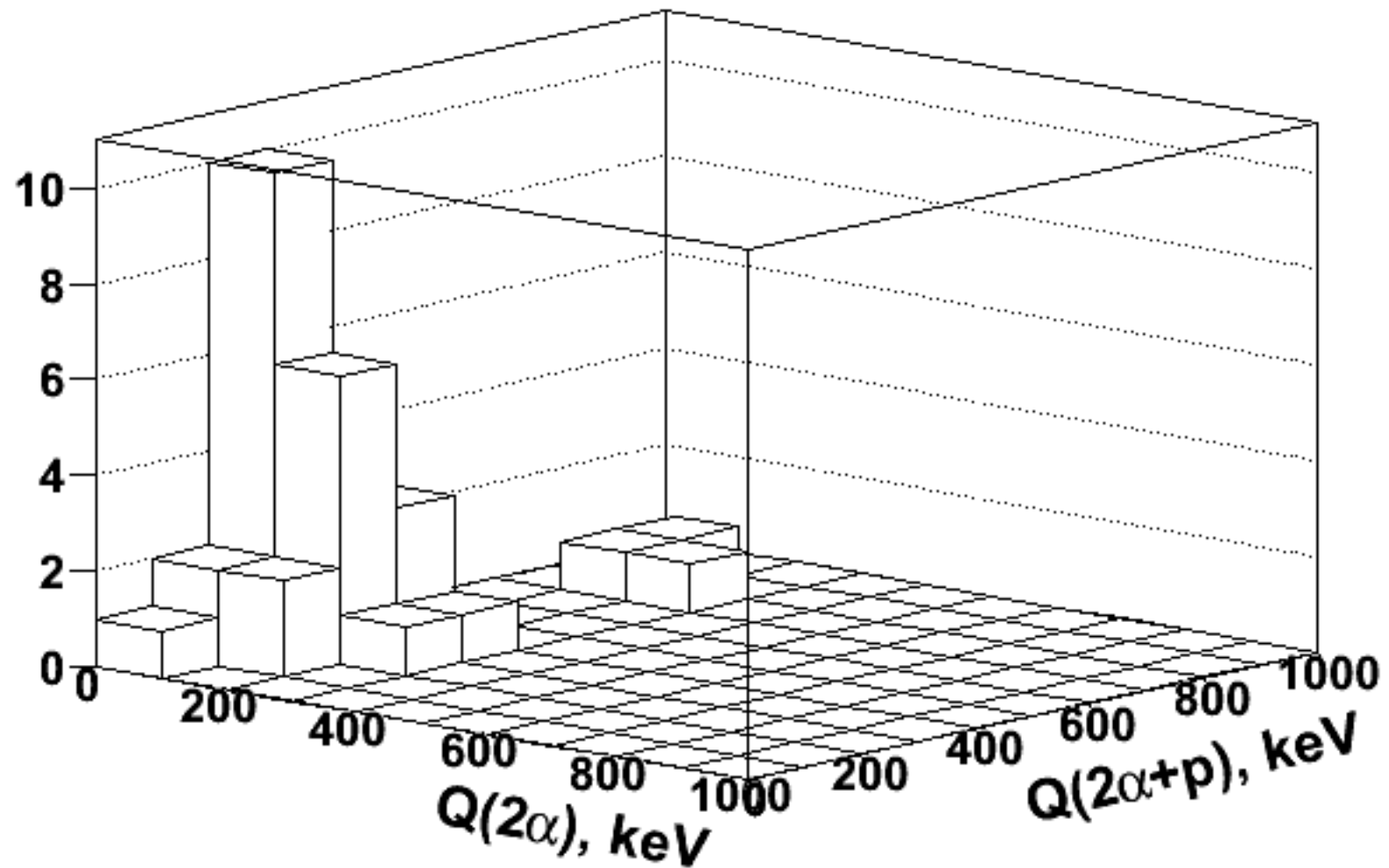
$$M_{2\alpha+p}^2 = -\left[\sum P_i\right]^2$$

$$M(^9\text{B}) - 2 \cdot M(^4\text{He}) - M(^1\text{H}) = 280 \text{ кэВ}$$

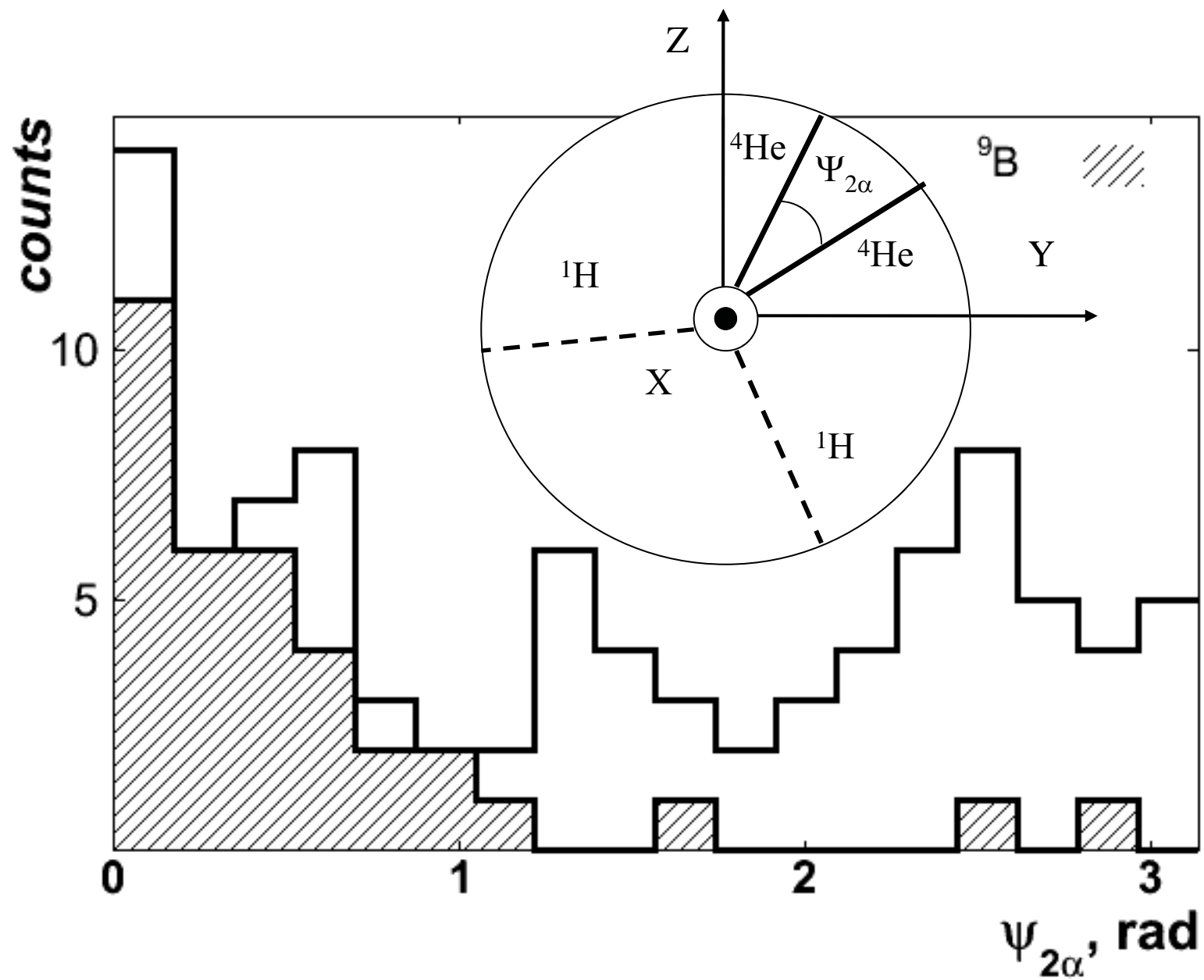
$$Q_{2\alpha+p} = M_{2\alpha+p} - 2 \cdot m_\alpha - m_p$$



**Распределение событий фрагментации по величинам $Q_{2\alpha}$ и $Q_{2\alpha+p}$
 α -частиц и протонов**



Распределение событий фрагментации по величине энергии
парного азимутального угла α -частиц

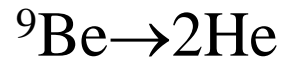


Восстановленные события $^{10}\text{C} \rightarrow 2\text{He} + 2\text{H}$

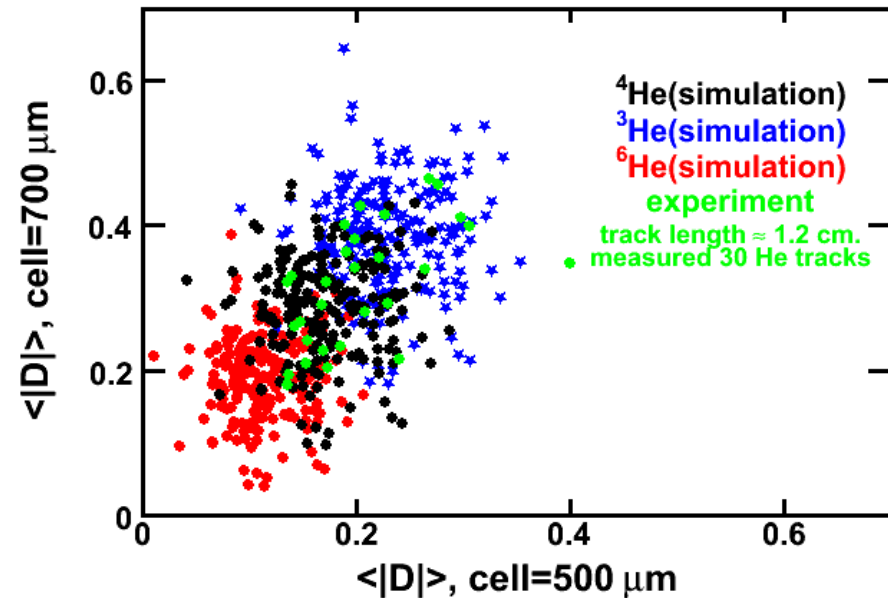
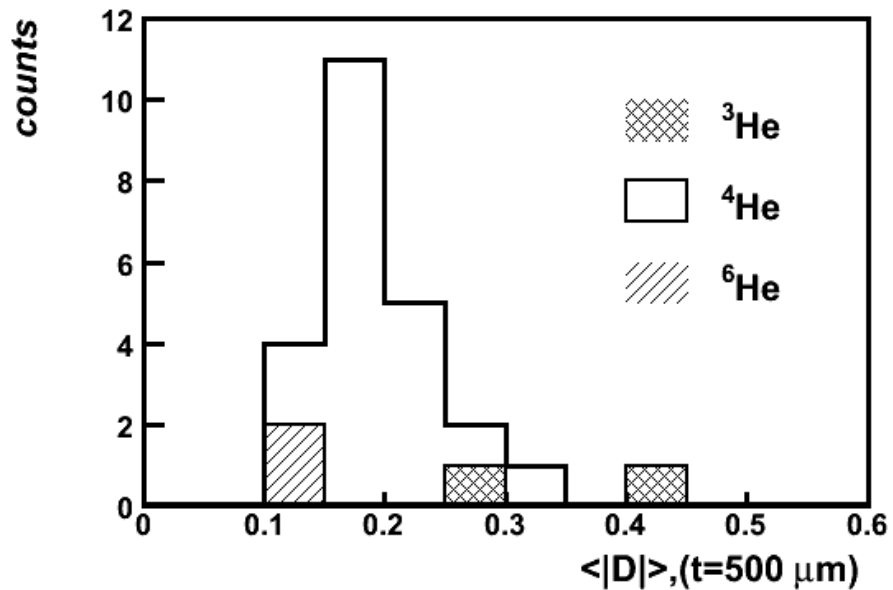
Номер пластинки	3	6	10
Номер события	175	18	40
Тип события	$^{10}\text{C} \rightarrow 2\alpha + 2\text{p}$	$^{10}\text{C} \rightarrow 2\alpha + 2\text{p}$	$^{10}\text{C} \rightarrow 2\alpha + 2\text{p}$
Углы вылета фрагментов	$\theta(\alpha_1) = 6$ мрад $\Psi(\alpha_1) = 5,2$ рад $\theta(\alpha_2) = 11$ мрад $\Psi(\alpha_2) = 4,9$ рад $\theta(\text{p}_1) = 14$ мрад $\Psi(\text{p}_1) = 5,0$ рад $\theta(\text{p}_2) = 14$ мрад $\Psi(\text{p}_2) = 3,4$ рад	$\theta(\alpha_1) = 2$ мрад $\Psi(\alpha_1) = 5,7$ рад $\theta(\alpha_2) = 3$ мрад $\Psi(\alpha_2) = 4,0$ рад $\theta(\text{p}_1) = 9$ мрад $\Psi(\text{p}_1) = 0,4$ рад $\theta(\text{p}_2) = 75$ мрад $\Psi(\text{p}_2) = 3,2$ рад	$\theta(\alpha_1) = 7$ мрад $\Psi(\alpha_1) = 6,1$ рад $\theta(\alpha_2) = 4$ мрад $\Psi(\alpha_2) = 0,2$ рад $\theta(\text{p}_1) = 5$ мрад $\Psi(\text{p}_1) = 2,2$ рад $\theta(\text{p}_2) = 54$ мрад $\Psi(\text{p}_2) = 3,5$ рад
Поперечный импульс P_T	$P_T(\alpha) = 43$ МэВ/с $P_T(\alpha) = 85$ МэВ/с $P_T(\text{p}) = 27$ МэВ/с $P_T(\text{p}) = 28$ МэВ/с	$P_T(\alpha) = 16$ МэВ/с $P_T(\alpha) = 25$ МэВ/с $P_T(\text{p}) = 18$ МэВ/с $P_T(\text{p}) = 148$ МэВ/с	$P_T(\alpha) = 52$ МэВ/с $P_T(\alpha) = 28$ МэВ/с $P_T(\text{p}) = 10$ МэВ/с $P_T(\text{p}) = 107$ МэВ/с
Парный угол	$\Theta_{2\alpha} = 5,8$ мрад	$\Theta_{2\alpha} = 4,0$ мрад	$\Theta_{2\alpha} = 3,5$ мрад
$Q_{2\alpha} = M_{2\alpha} - 2 \cdot m_\alpha$	$Q_{2\alpha} = 146$ КэВ	$Q_{2\alpha} = 68$ КэВ	$Q_{2\alpha} = 54$ КэВ

Задачи

- ❖ осуществить анализ для «небелых» событий $^{10}\text{C} \rightarrow 2\text{He} + 2\text{H}$
- ❖ на имеющемся наборе найденных событий $^{10}\text{C} \rightarrow 2\text{He} + 2\text{H}$ осуществить, там где это возможно, разделение изотопов H и He по многократному рассеянию.



$$\langle |D| \rangle = \frac{ZKt^{\frac{3}{2}}}{573 \cdot p\beta c}$$



- ❖ обобщить данные по фрагментации изотопов углерода ^9C , ^9Be , ^{10}C , ^{12}C на ядрах фотографической эмульсии.

Заключение

- ❖ В докладе представлено состояние и предварительные результаты исследований фрагментации ядер ${}^9,{}^{10}\text{C}$, ${}^{12}\text{N}$ с энергией 1,2 А ГэВ, полученных на нуклотроне ОИЯИ.
- ❖ Приведено распределение событий ${}^9,{}^{10}\text{C}$, ${}^{12}\text{N}$ по наблюдаемым канал фрагментации.
- ❖ Представлены угловые спектры гелиевых фрагментов для канала ${}^{10}\text{C} \rightarrow 2\text{He} + 2\text{H}$.
- ❖ Проиллюстрирована возможность сравнения результатов исследования ${}^{10}\text{C} \rightarrow 2\alpha + 2\text{p}$ с результатами исследований ${}^9\text{Be} \rightarrow 2\alpha$, ${}^{12}\text{C} \rightarrow 3\alpha$
- ❖ Приведены задачи дальнейшего исследования.

Распределение событий фрагментации по величине энергии $Q_{2\alpha+2p}$
 α -частиц и протонов

$^{10}\text{C} \rightarrow 2\alpha + 2p$ при условии, что $\text{He} = ^4\text{He}$, $\text{H} = ^1\text{H}$

