



BECQUEREL
PROJECT

Проект
БЕККЕРЕЛЬ

Beryllium (Boron)

Clustering

Quest in

Relativistic Multifragmentation

<http://becquerel.lhe.jinr.ru>

Проявление кластерных степеней свободы в периферических взаимодействиях релятивистских ядер

П. И. Зарубин

Лаборатория высоких энергий имени В. И. Векслера и А. М. Балдина
Объединенный институт ядерных исследований

<http://becquerel.jinr.ru/>

Представлены результаты и перспективы исследования кластеризации при фрагментации легких стабильных и радиоактивных ядер с энергией свыше 1А ГэВ в ядерных эмульсиях. Благодаря рекордному пространственному разрешению и наиболее полному наблюдению релятивистских фрагментов такой подход позволяет сделать уникальные и доказательные наблюдения кластерных многочастичных распадов возбужденных состояний легких ядер.

Уникальные возможности эмульсионной методики рассматриваются в применении к процессам периферической и когерентной мультифрагментации. Представлены вероятности многочастичных каналов фрагментации некоторых изотопов бериллия, бора, неона, кремния. Отмечается важность этих результатов для задач физики нескольких тел и проблем нуклеосинтеза.

PROGRESS
in
COSMIC RAY PHYSICS

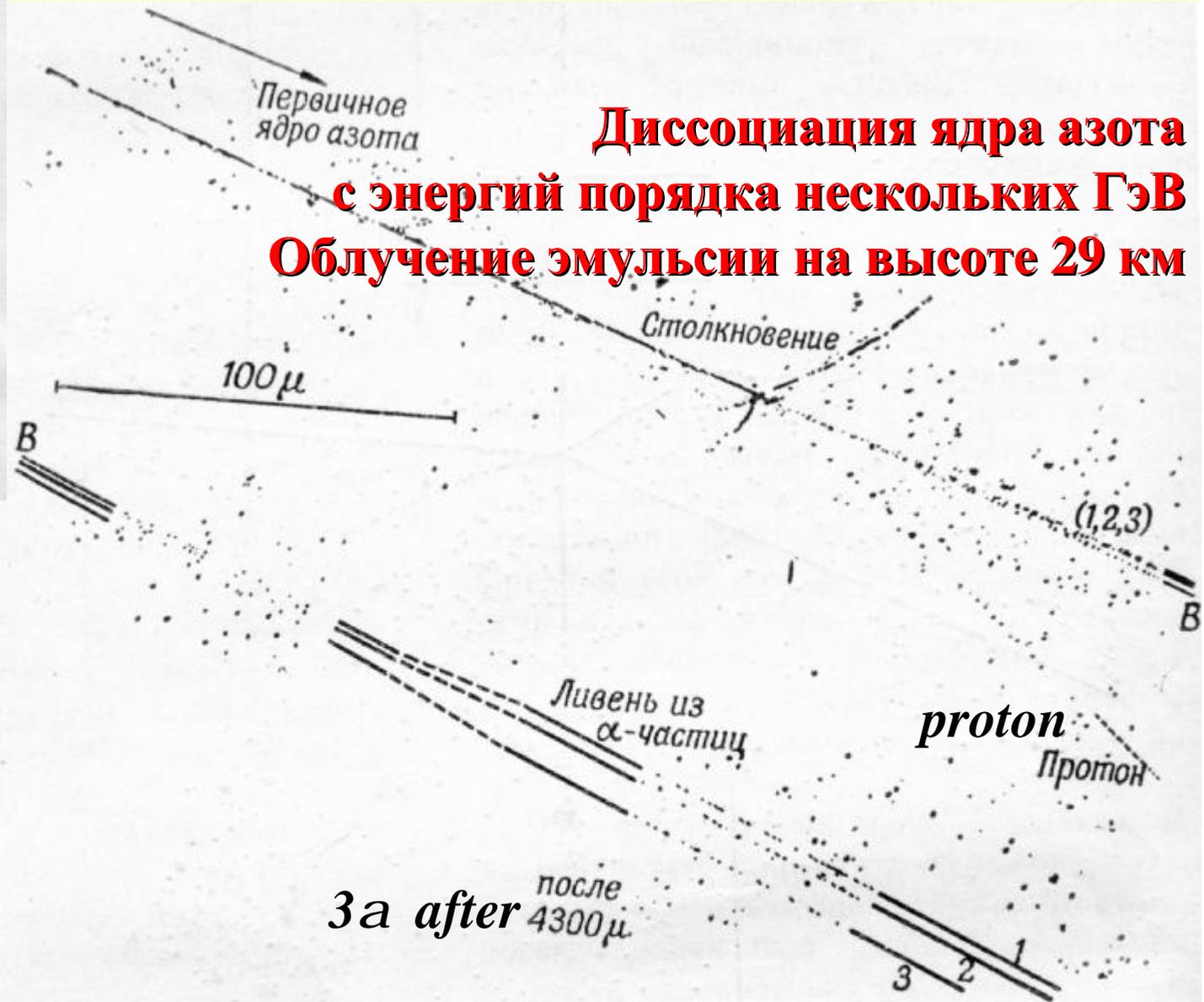
Edited by
J. G. WILSON

Contributors

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

AMSTERDAM, 1962

**Диссоциация ядра азота
с энергией порядка нескольких ГэВ
Облучение эмульсии на высоте 29 км**



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

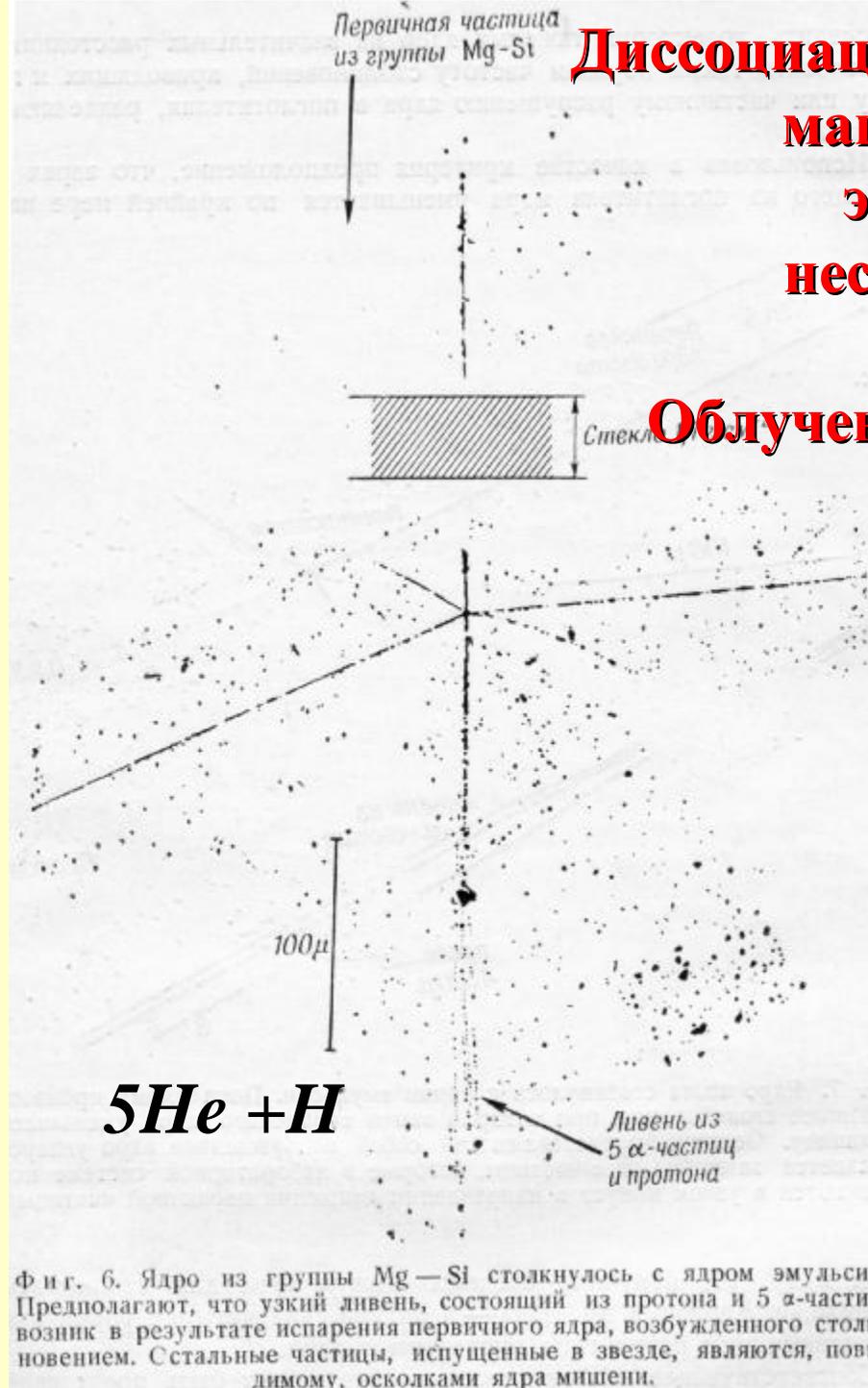
PROGRESS
in
COSMIC RAY PHYSICS

Edited by
J. G. WILSON

Contributors:

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

AMSTERDAM, 1962

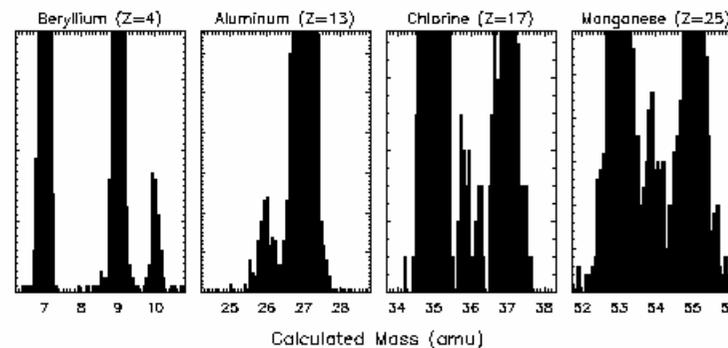
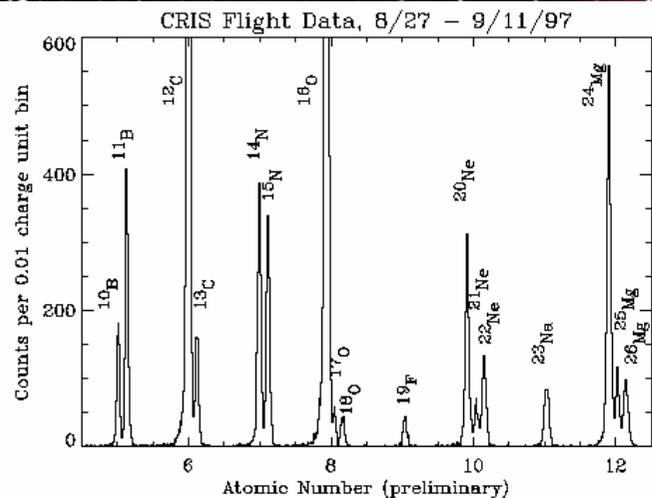


Диссоциация ядра группы магний-кремний с энергий порядка нескольких ГэВ на нуклон. Облучение эмульсии на высоте 29 км.

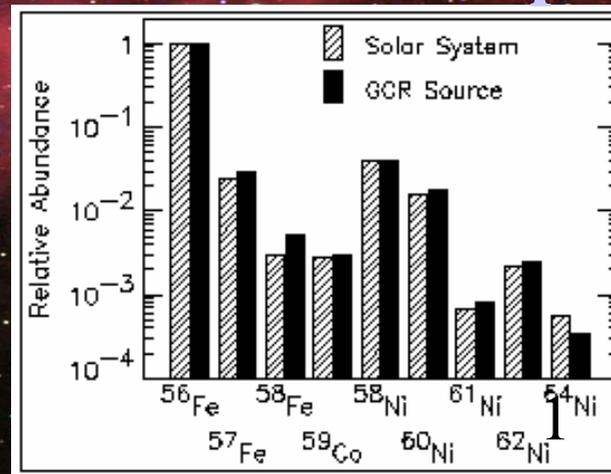
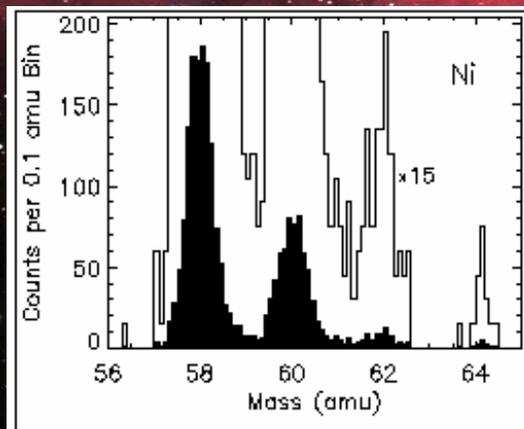
Advanced Composition Explorer

Cosmic Ray Isotope Spectrometer

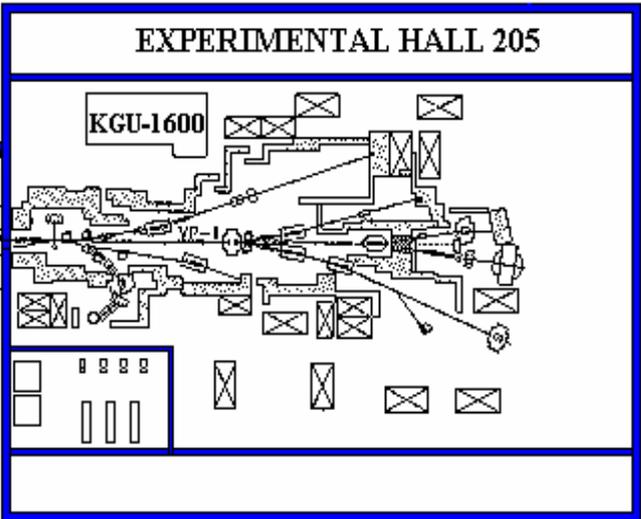
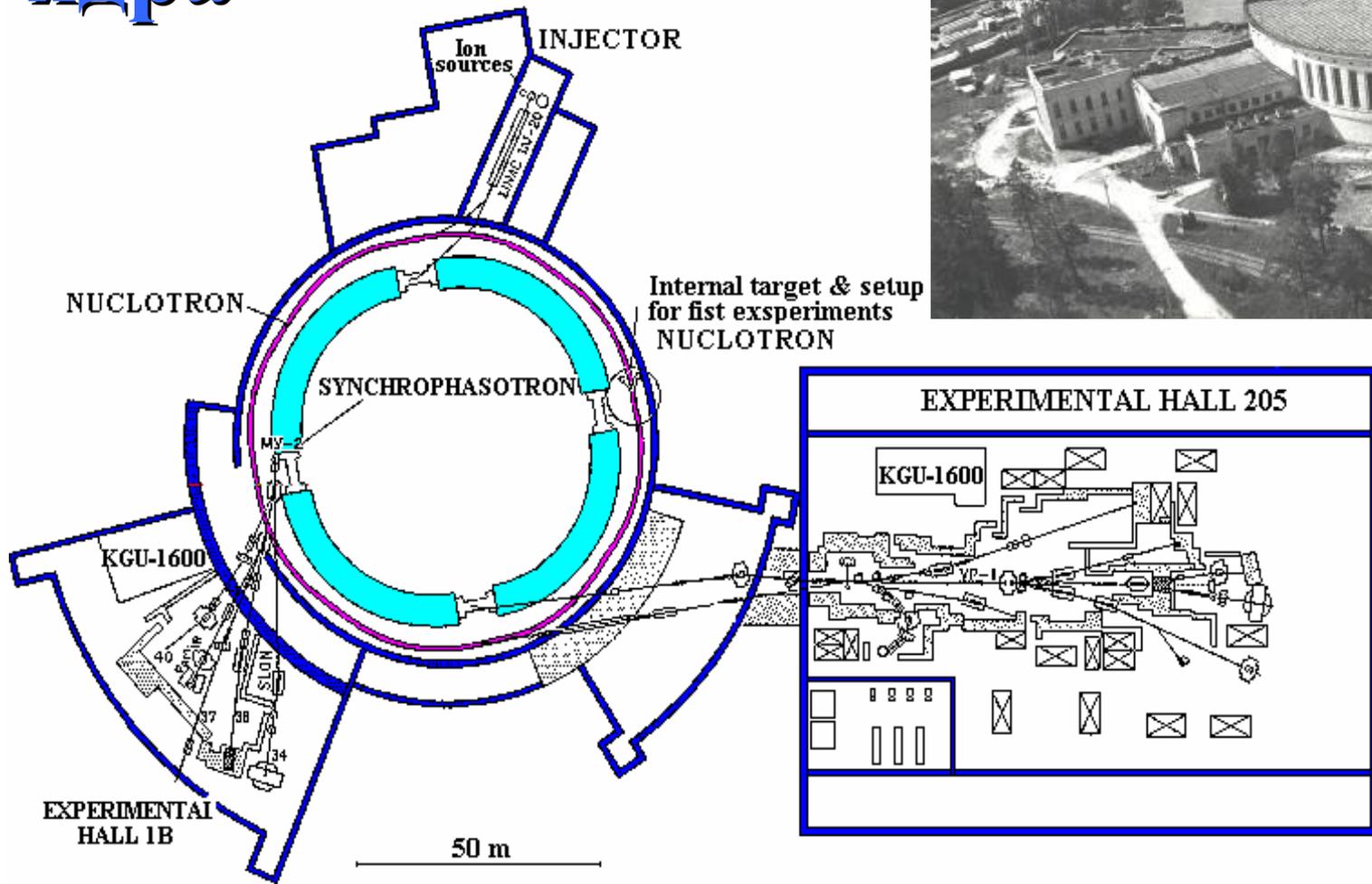
Radioactive Clock isotopes



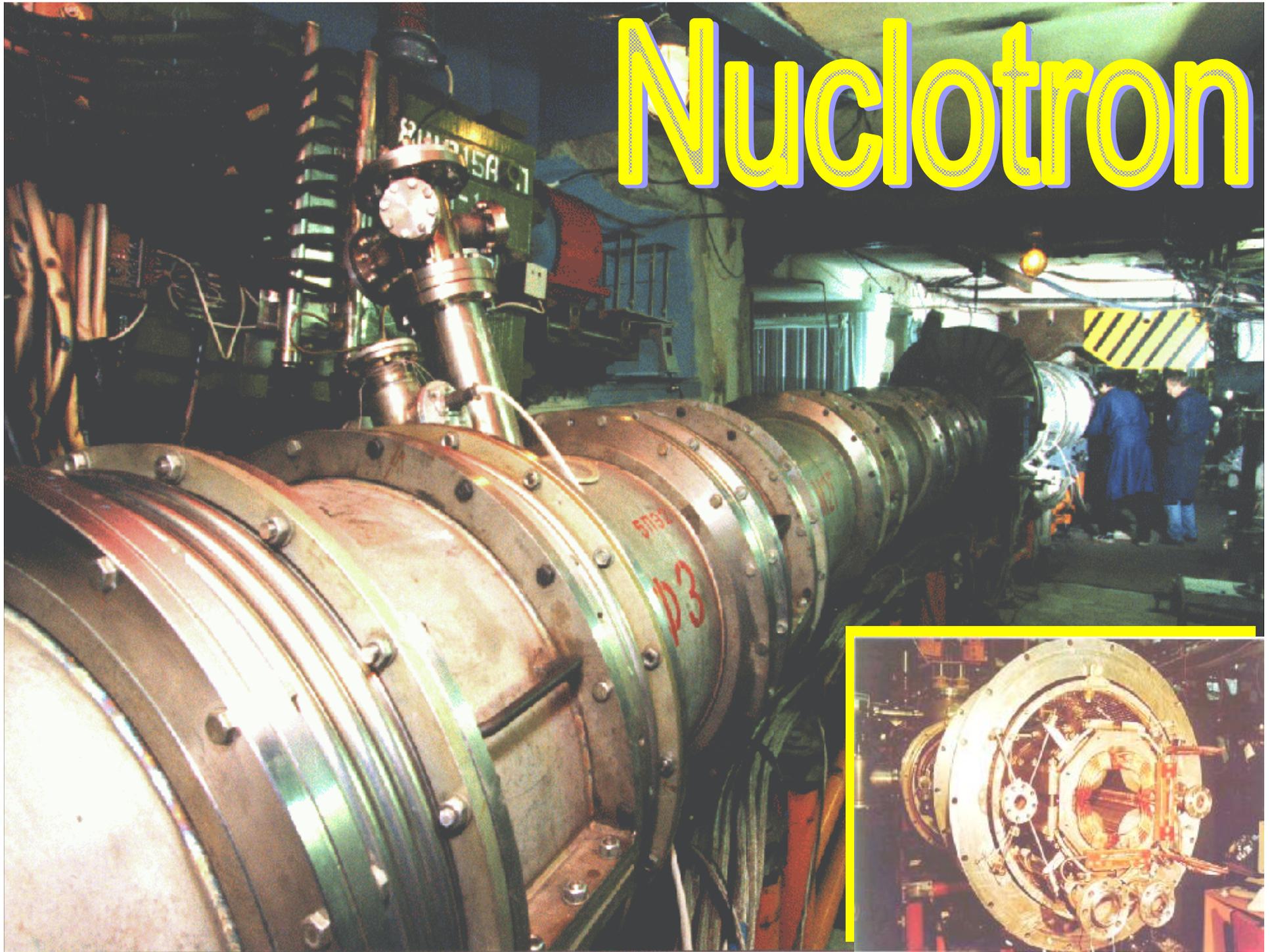
Abundances of Iron, Cobalt, and Nickel Isotopes



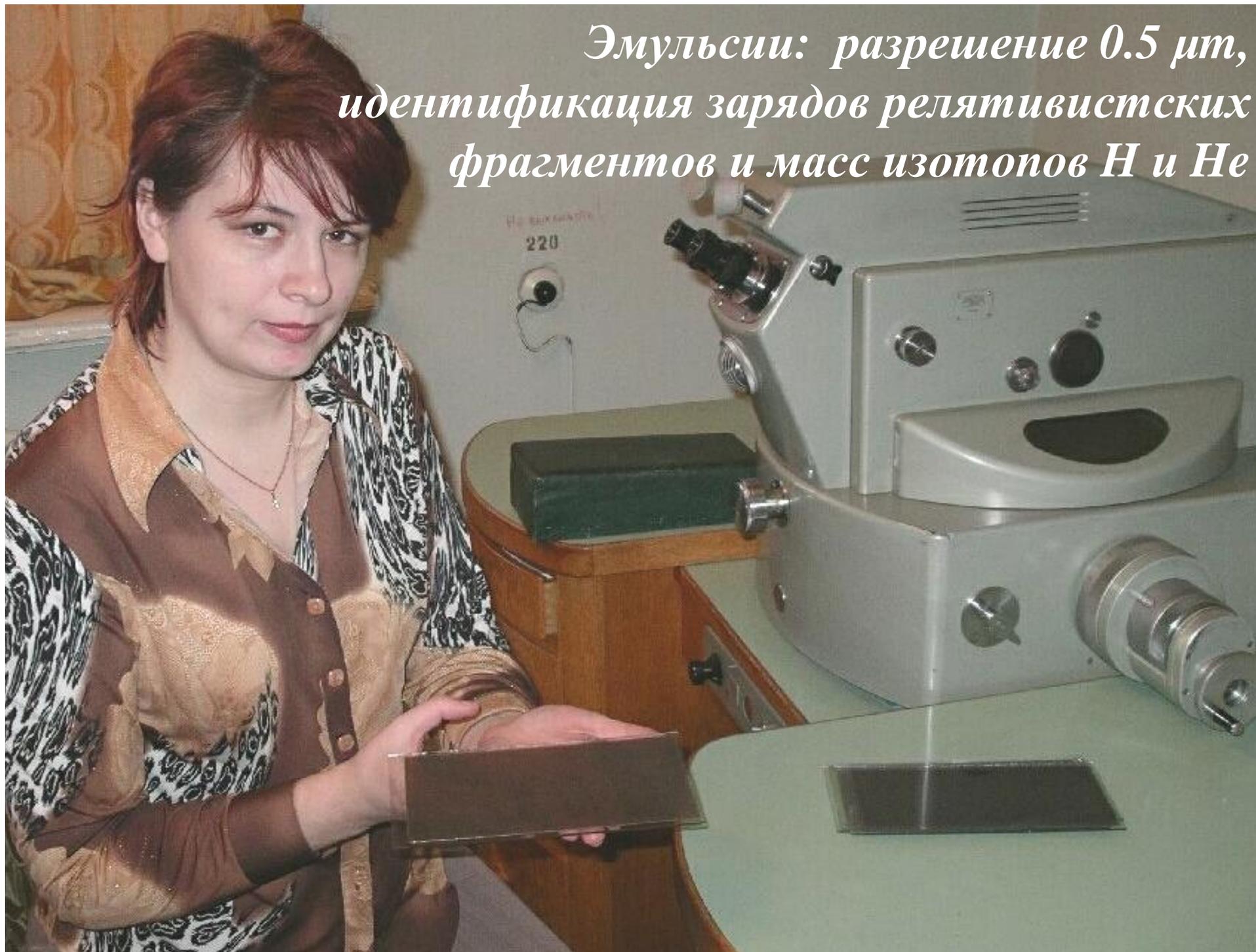
Дубна: Релятивистские ядра

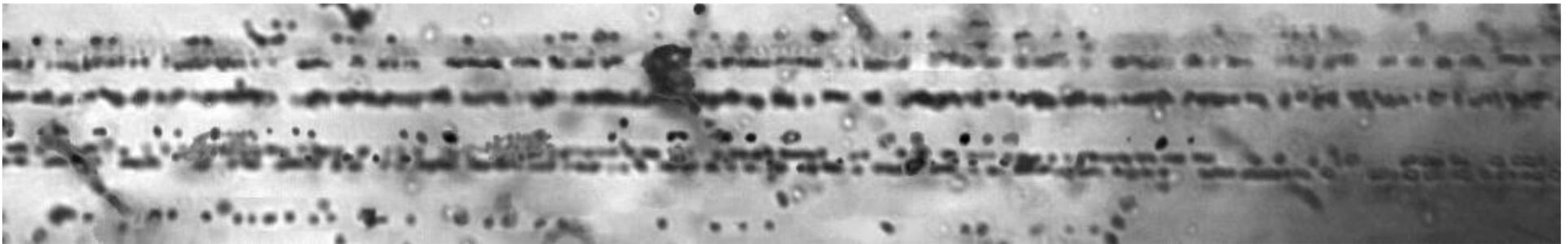
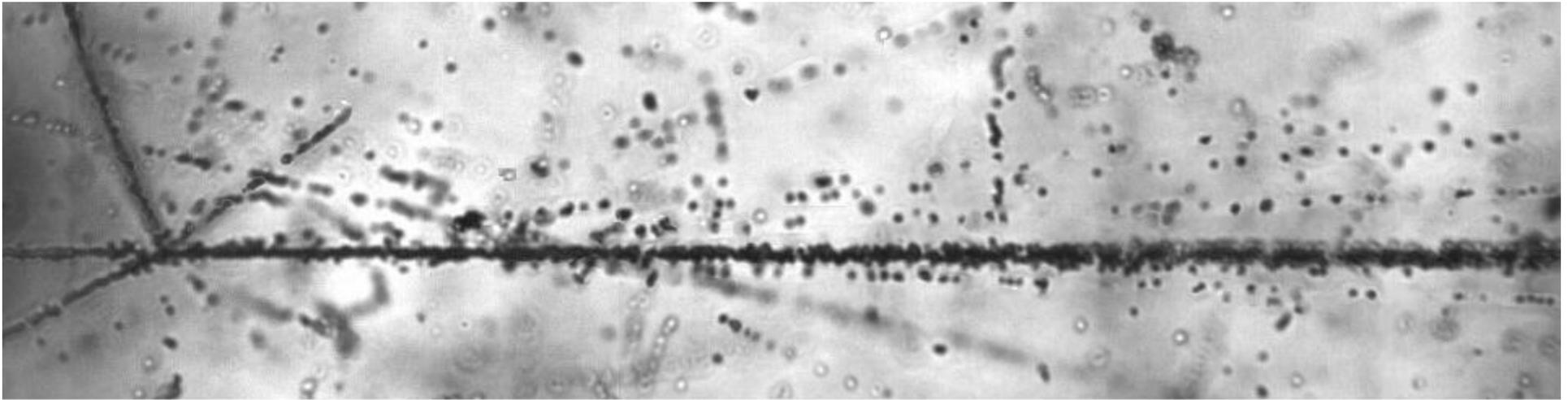


Nuclotron



*Эмульсии: разрешение 0.5 μm ,
идентификация зарядов релятивистских
фрагментов и масс изотопов H и He*

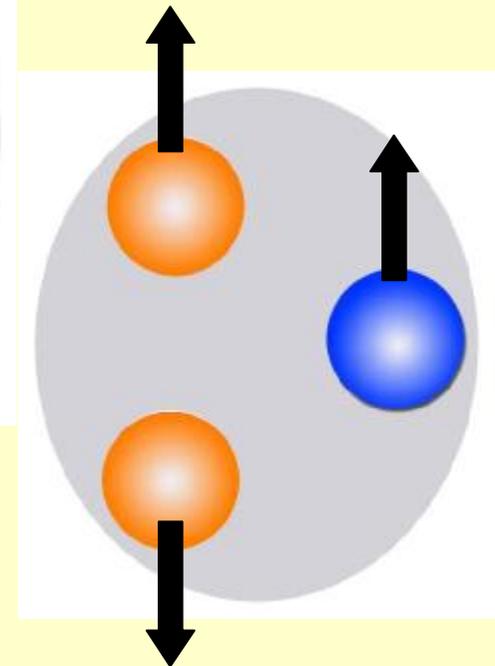
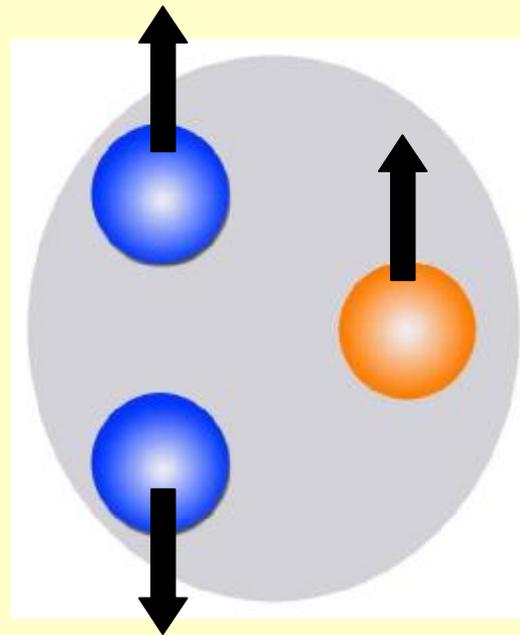
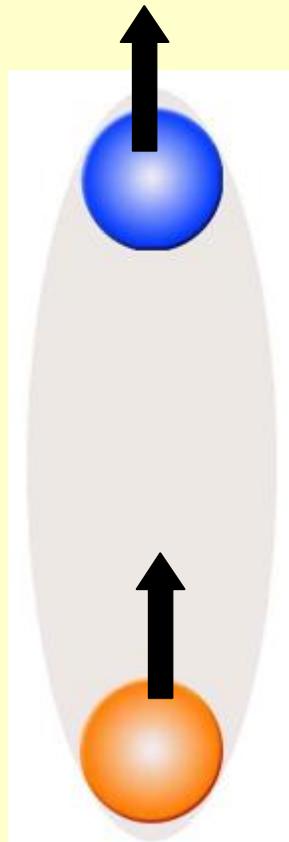
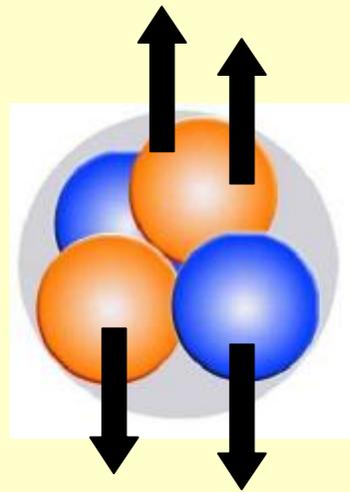




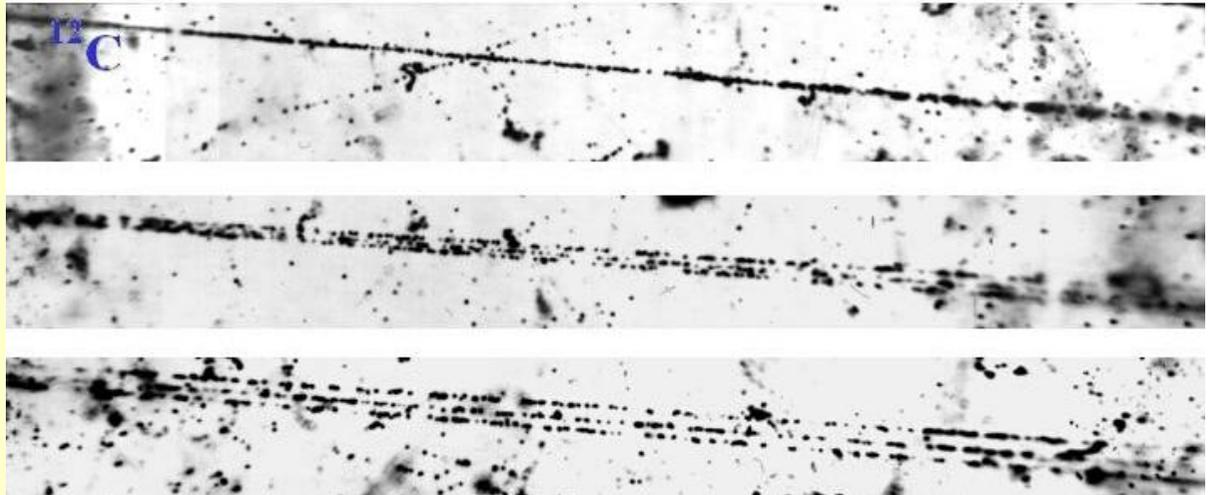
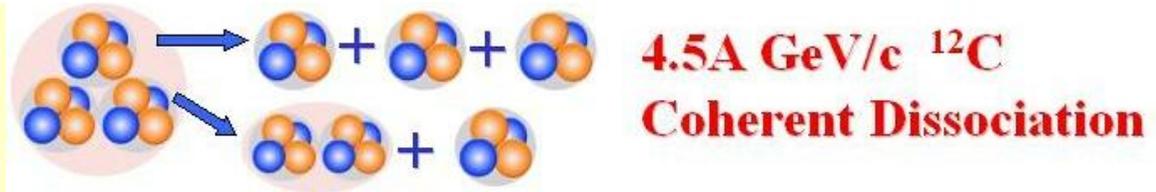
Фрагментация ядра ^{28}Si с энергией 3.65A ГэВ в эмульсии БР-2. На верхней фотографии: вершина взаимодействия и струя фрагментов в узком конусе с 4 сопровождающими однозарядными частицами и 3 фрагментами ядра мишени. При продвижении в направлении струи на ≈ 1 мм (нижняя фотография) можно различить 3 фрагмента $Z=1$ и 5 фрагментов $Z=2$. Яркий след на нижней фотографии (третий сверху) идентифицирован по глубине резкости как пара фрагментов $Z=2$ (распад ^8Be). 3-мерный образ события реконструирован как плоская проекция (ПАВИКОМ в ФИАН)

Кластерные «кирпичики»:

более чем один нуклон связан, нет возбужденных состояний над порогом распада на частицы—
ядра ${}^2\text{H}$, ${}^3\text{H}$, ${}^4\text{He}$ и ${}^3\text{He}$.

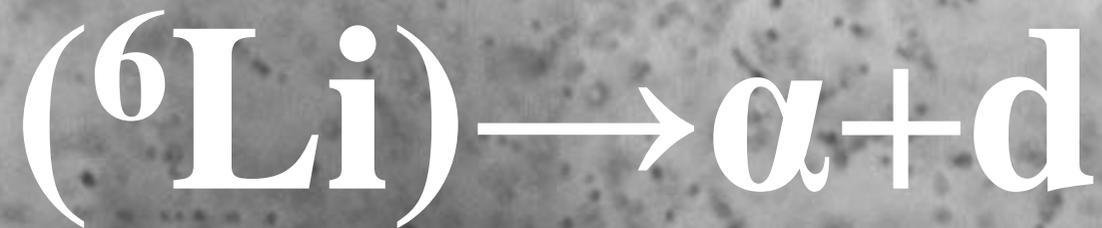
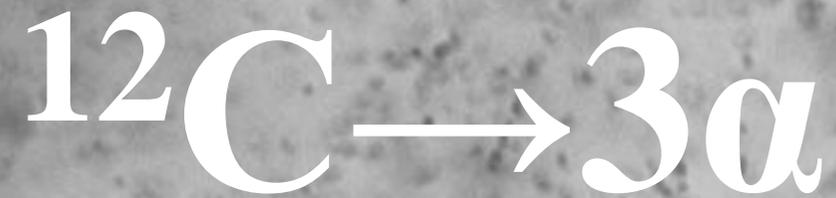


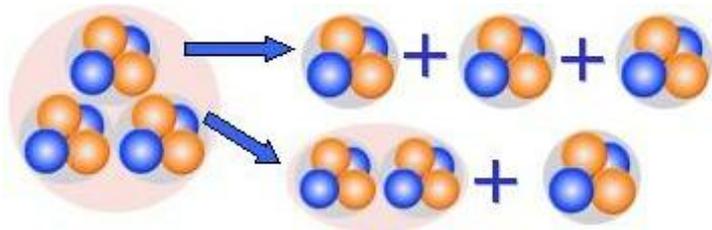
Преимущества релятивистской фрагментации



- 1. Выход на режим предельной фрагментации;*
- 2. кратчайшее время реакции;*
- 3. коллимация фрагментов в узком конусе ;*
- 4. минимальность ионизационных потерь;*
- 5. Отсутствие порога при детектировании*

Сравнение фрагментации ядра-мишени и ядра снаряда





4.5A GeV/c ^{12}C Coherent Dissociation

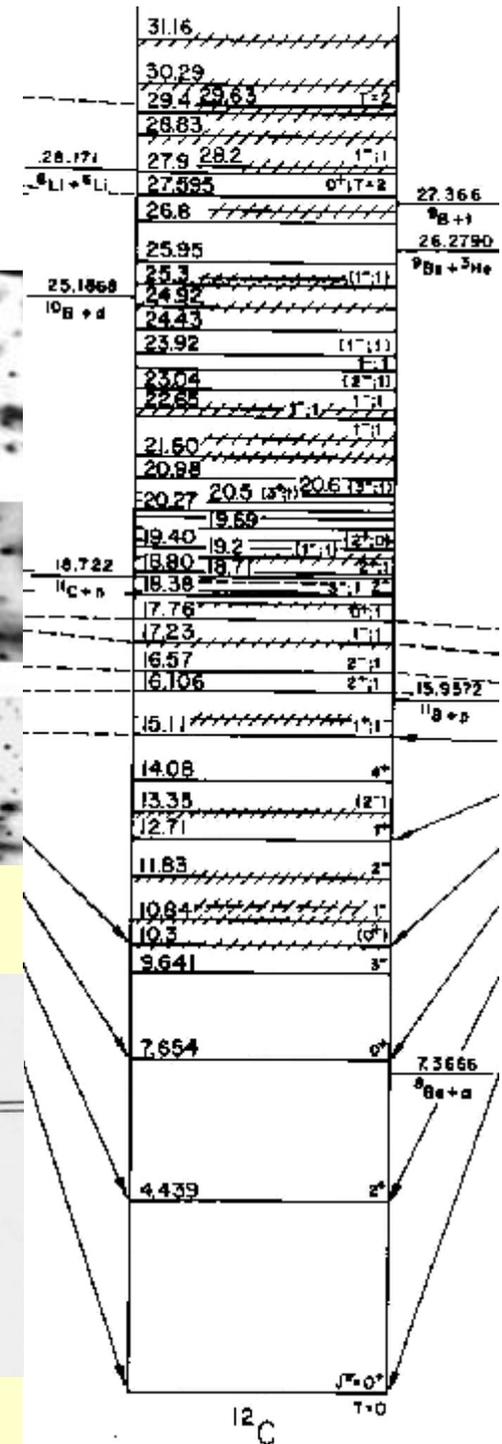


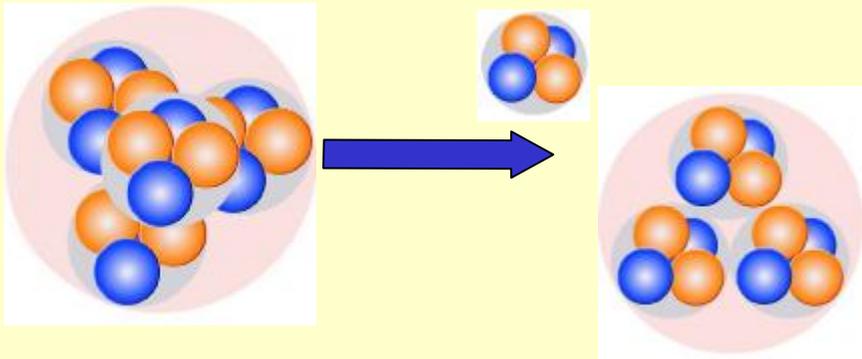
*Physics of Atomic Nuclei, Vol. 58, No. 11, 1995, pp. 1905 - 1910. Translated from Yadernaya Fizika, Vol. 58, No. 11, 1995, pp. 2014 - 2020.
Original Russian Text Copyright © 1995 by Belaga, Benjaza, Rusakova, Salamov, Chernov.*

ELEMENTARY PARTICLES AND FIELDS Experiment

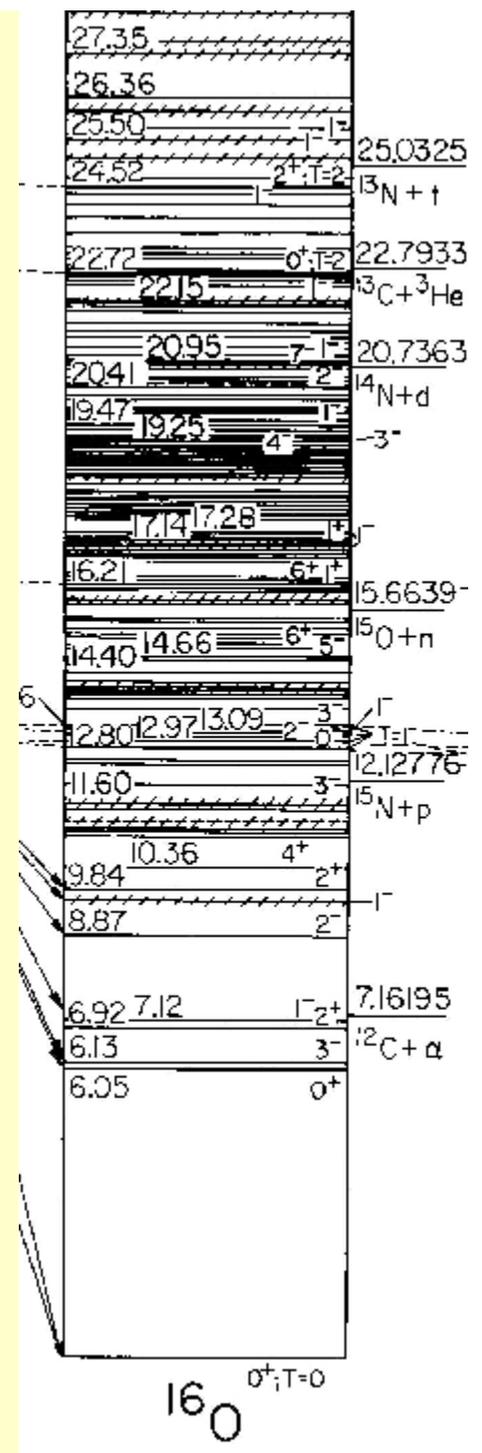
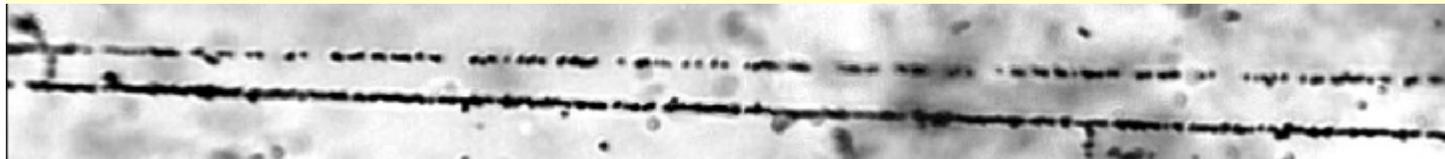
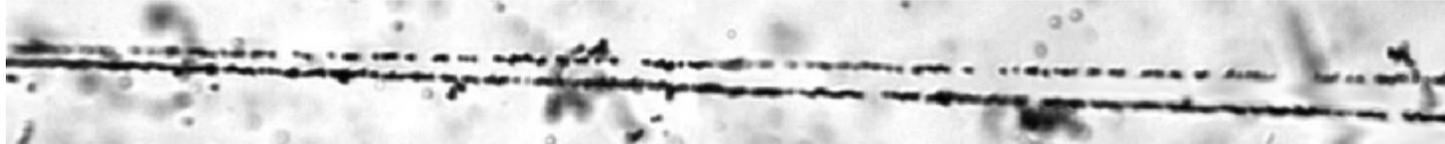
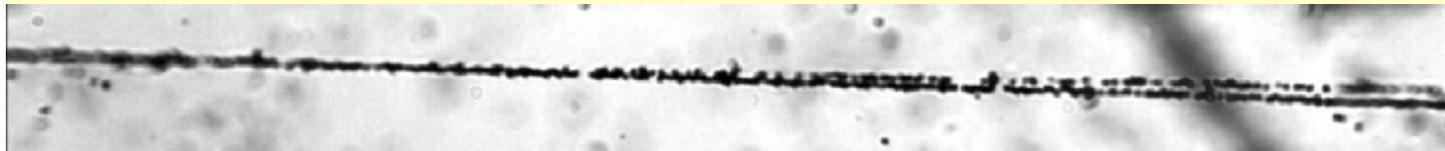
Coherent Dissociation $^{12}\text{C} \rightarrow 3\alpha$ in Lead-Enriched Emulsion at 4.5 GeV/c per Nucleon

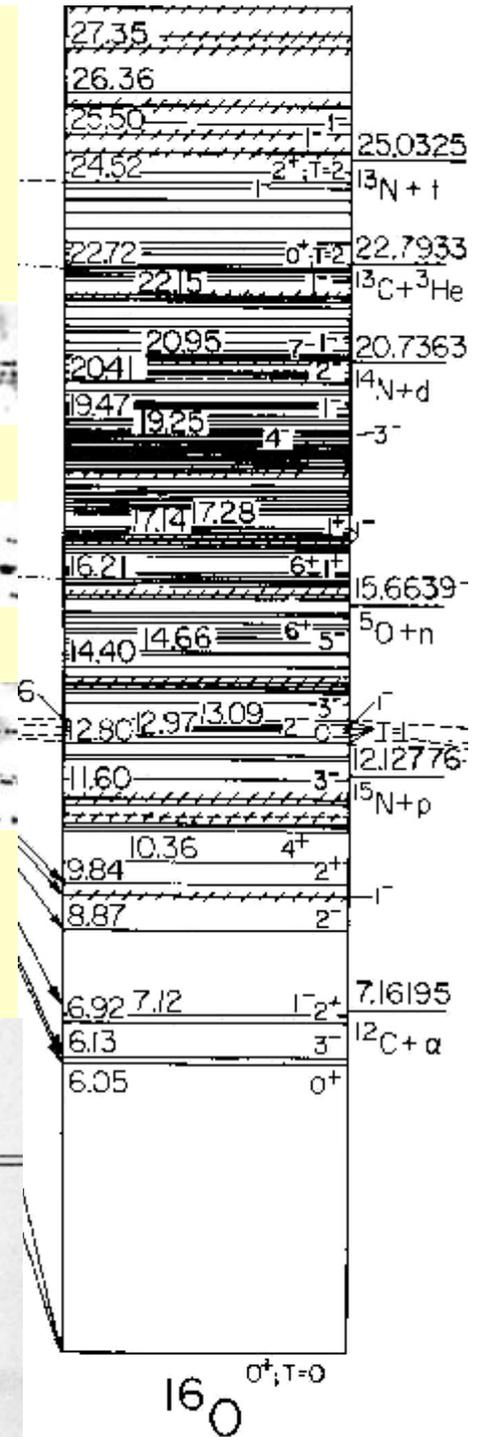
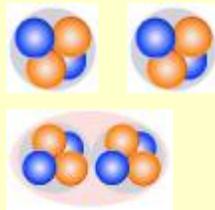
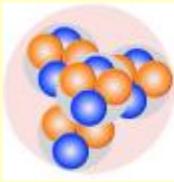
V. V. Belaga, A. A. Benjaza¹⁾, V. V. Rusakova, J. A. Salamov²⁾, and G. M. Chernov





4.5A $\Gamma \approx B/c$ $^{16}\text{O} \rightarrow \alpha + \text{C}$





4.5A Γ_αB/c ¹⁶O → (⁸Be) + 2α → 4α

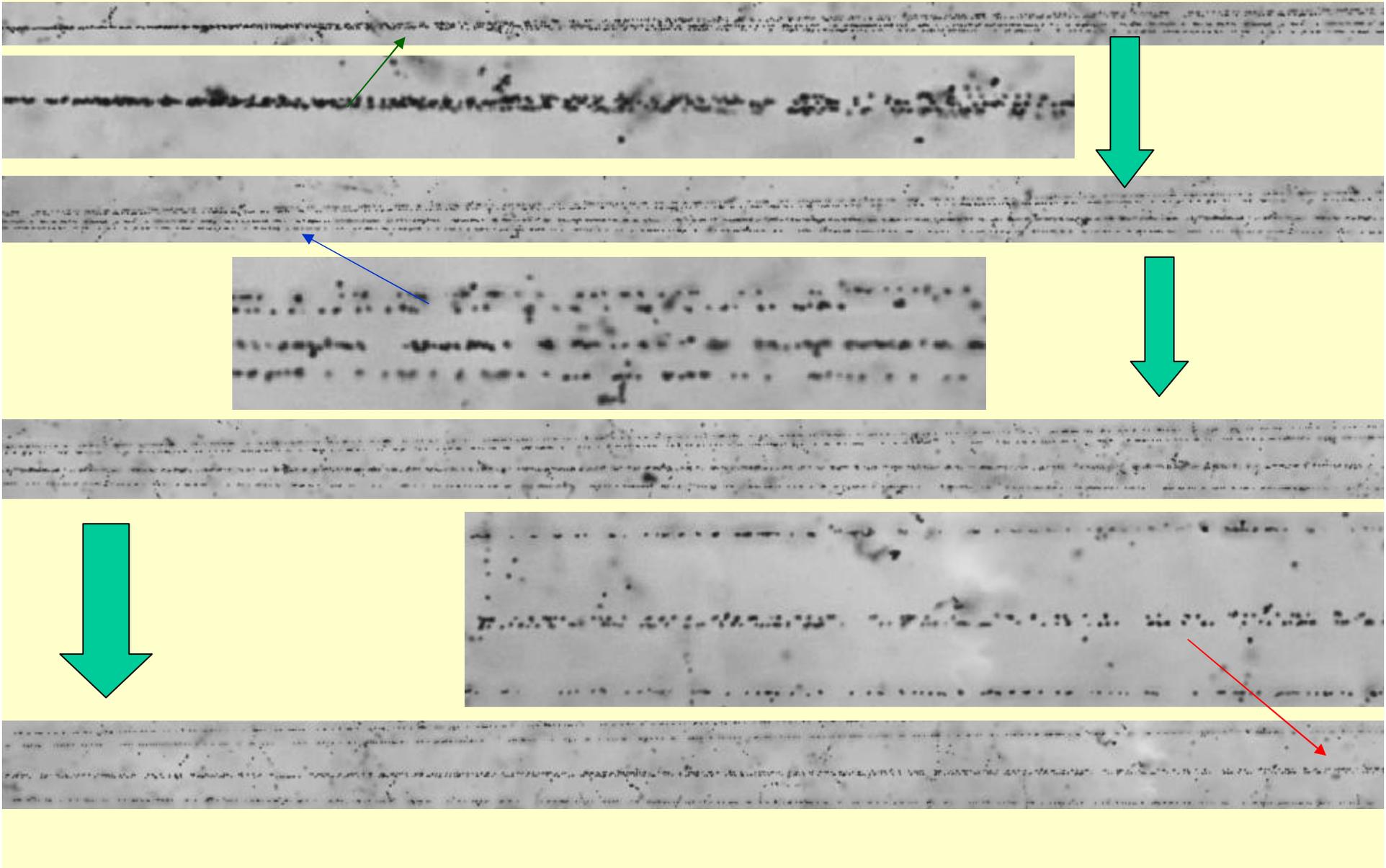
Physics of Atomic Nuclei, Vol. 59, No. 1, 1996, pp. 102 - 108. Translated from Yadernaya Fizika, Vol. 59, No. 1, 1996, pp. 110 - 116. Original Russian Text Copyright © 1996 by Collaboration.

ELEMENTARY PARTICLES AND FIELDS Experiment

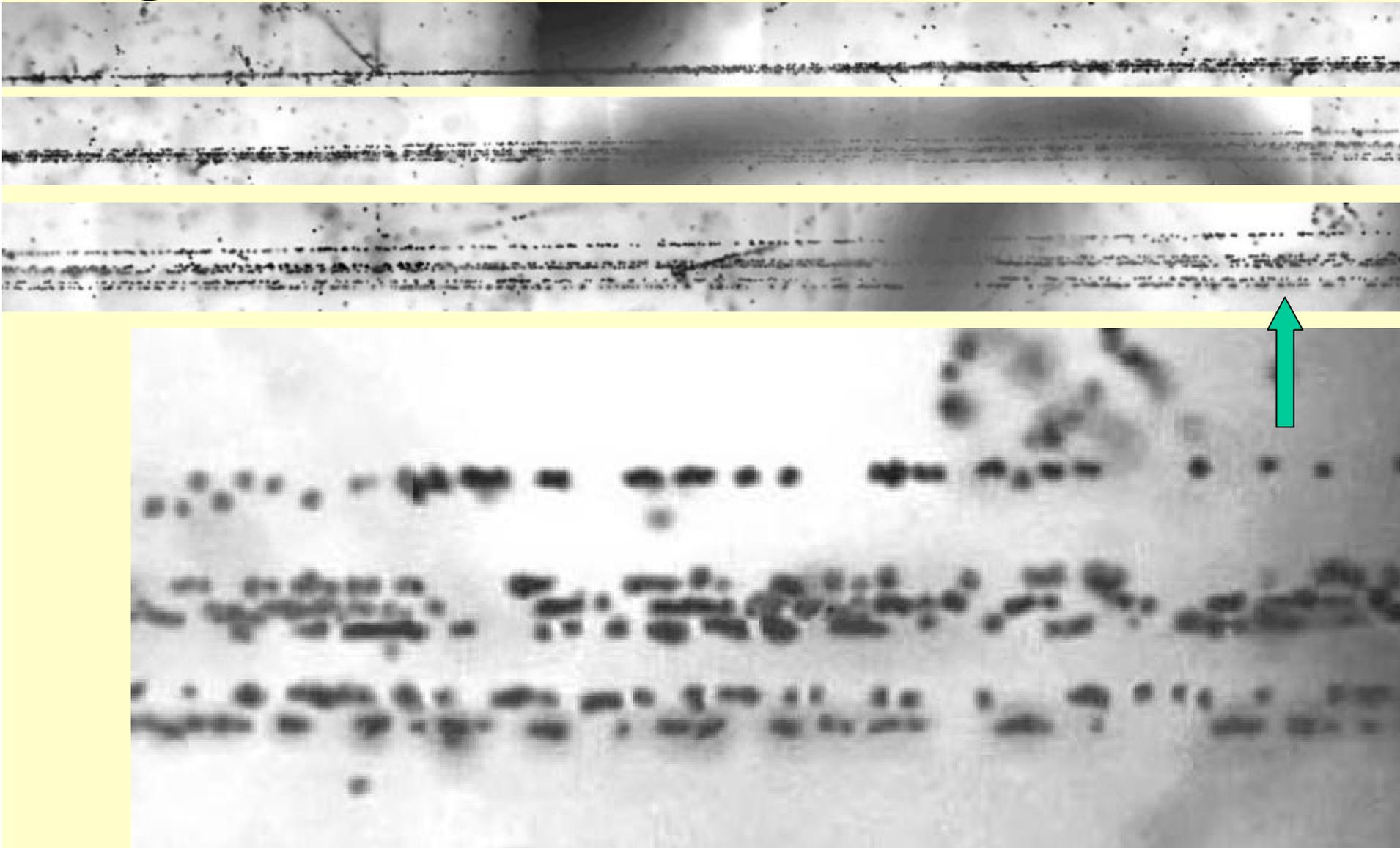
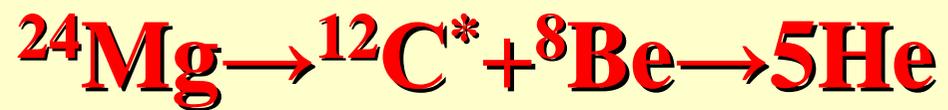
Coherent Dissociation ¹⁶O → 4α in Photoemulsion at an Incident Momentum of 4.5 GeV/c per Nucleon

Almaty–Bucharest–Dubna–Dushanbe–Yerevan–Košice–Moscow–
St. Petersburg–Tashkent–Tbilisi Collaboration¹⁾

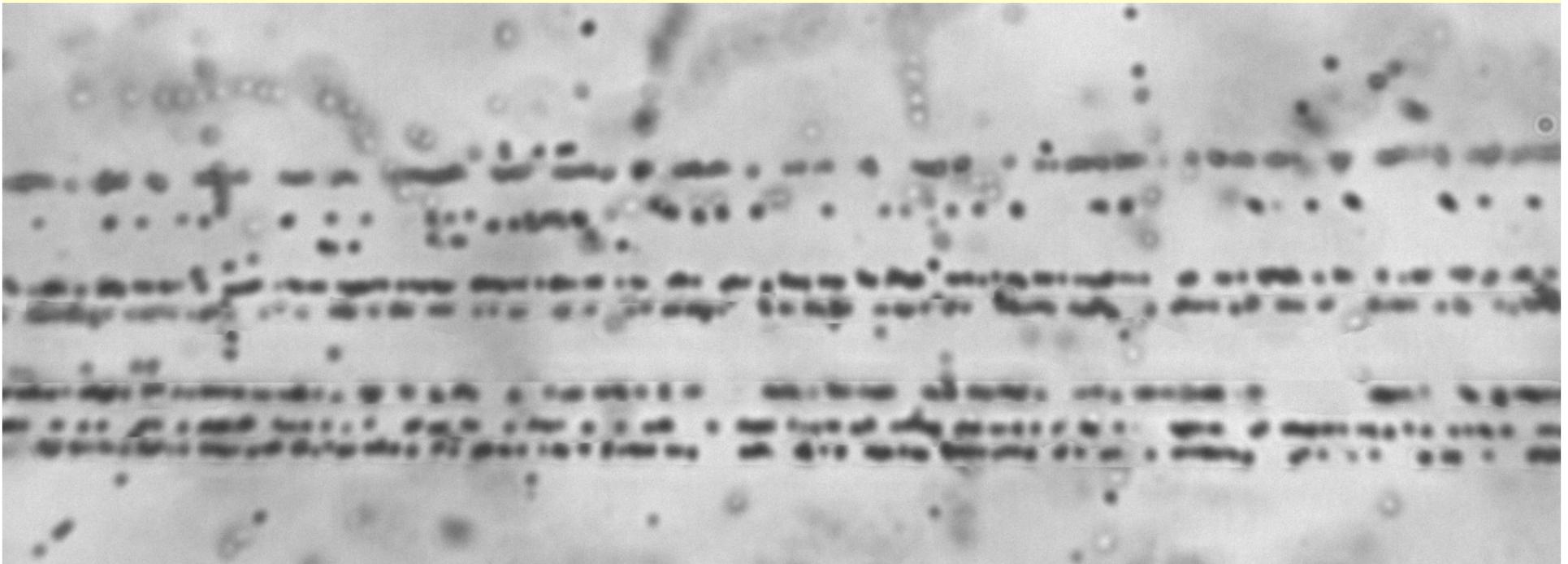
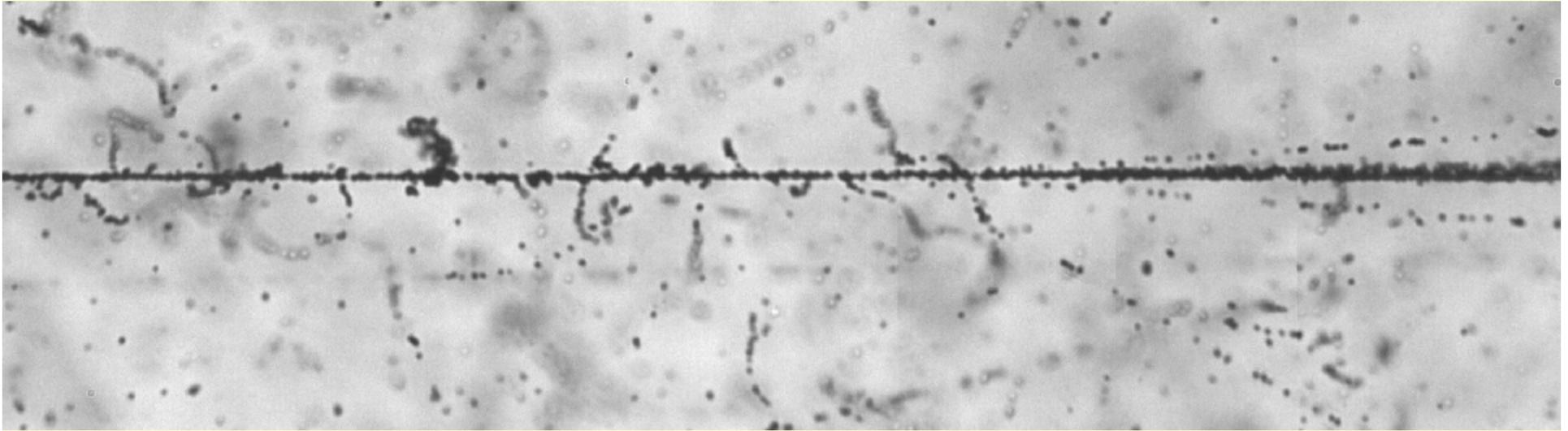
Диссоциация при 4.5А ГэВ/с: $^{20}\text{Ne} \rightarrow 3\text{He} + ^8\text{Be}$



Диссоциация при 4.5А ГэВ/с фрагментом мишени:



**Диссоциация при 4.5A ГэВ/с фрагментом мишени:
 $^{28}\text{Si} \rightarrow ^{12}\text{C}^* + ^8\text{Be} + \text{He} + \text{H} \rightarrow 6\text{He} + \text{H}$**



ELECTROMAGNETIC DISSOCIATION OF 200 GeV/NUCLEON ^{16}O AND ^{32}S IONS IN NUCLEAR EMULSIONS

G. Baroni et al. / *Electromagnetic dissociation*

677

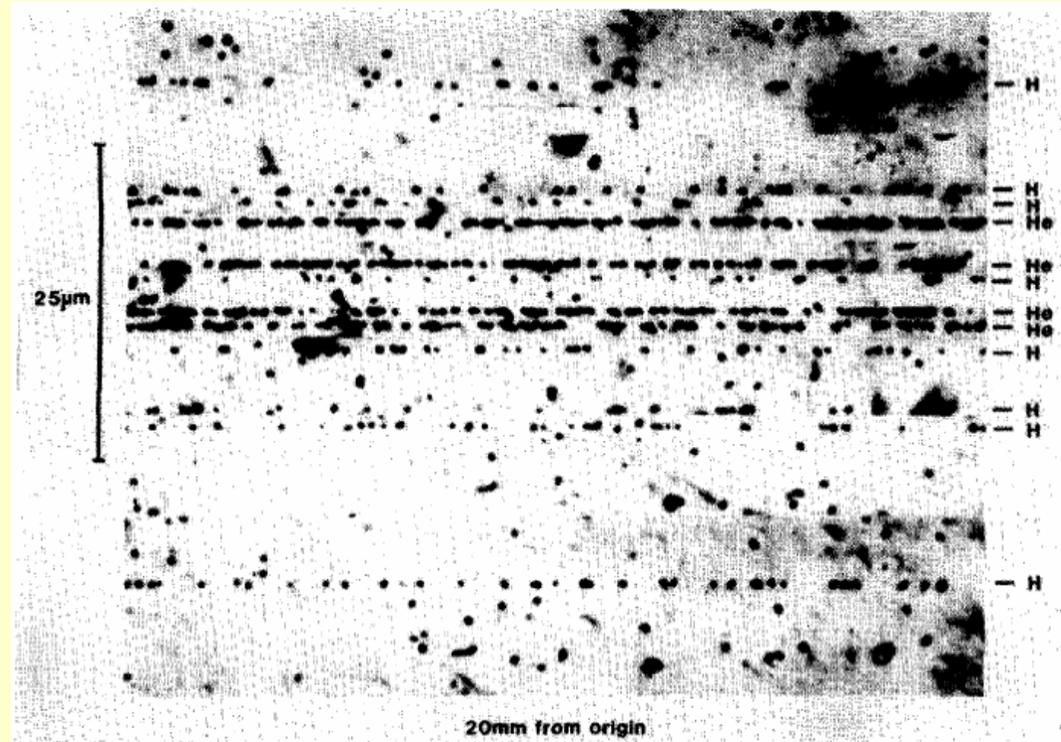
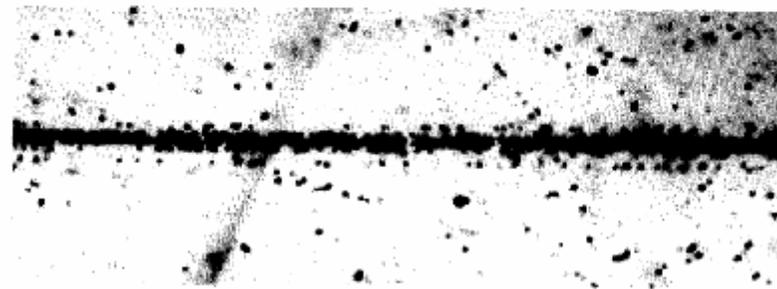
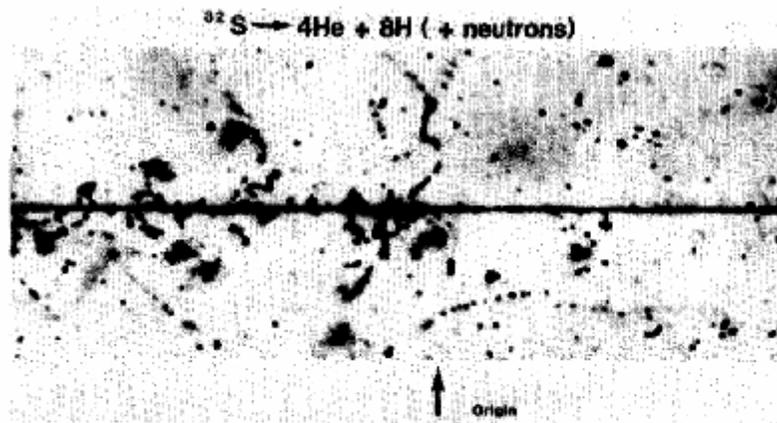


Fig. 3—continued

Fig. 3. Microphotograph of a complex projectile EMD (200 GeV/nucleon ^{32}S).

Table 1. Charge-topology distribution of white stars in the dissociation of ^{24}Mg nuclei with an energy of 3.65 GeV per nucleon

Z_f	11	10	10	9	9	8	8	8	7	7	6	5	5	5	4	4	3	-	-	-
$N_{Z=1}$	1	2	-	3	1	4	2	-	3	1	2	5	3	1	6	4	5	6	4	2
$N_{Z=2}$	-	-	1	-	1	-	1	2	1	2	2	1	2	3	1	2	2	3	4	5
N_{ev}	10	14	8	5	9	1	7	4	4	2	4	2	1	1	2	1	3	1	2	2

Table 2. Charge-topology distribution of white stars in the dissociation of ^{22}Ne nuclei with an energy of 3.3 GeV per nucleon

Z_f	9	8	8	7	6	6	5	5	5+3	4	4+3	-	-
$N_{Z=1}$	1	-	2	1	-	2	1	3	-	-	3	2	-
$N_{Z=2}$	-	1	-	1	2	1	2	1	1	3	-	4	5
N_{ev}	22	51	6	7	5	2	1	1	1	2	1	1	3

Table 3. Charge-topology distribution of white stars in the dissociation of ^{28}Si nuclei with an energy of 3.65 GeV per nucleon

Z_f	13	12	12	11	11	10	10	10	9	9	9	8	8	8	7	7	7	6	6	6	6	5	5	4	-	-	-
$N_{Z=1}$	1	-	2	1	3	-	2	4	1	3	5	6	2	4	3	5	7	2	4	6	8	3	5	2	2	8	10
$N_{Z=2}$	-	1	-	1	-	2	1	-	2	1	-	-	2	1	2	1	-	3	2	1	-	3	2	4	6	3	2
N_{ev}	9	3	15	11	6	2	7	2	2	8	3	2	5	6	1	3	3	3	5	8	1	1	3	1	1	2	3

Table 4. Charge-topology distribution of white stars in the dissociation of ^{32}S nuclei with an energy of 200 GeV per nucleon

Z_f	15	14	14	13	13	12	12	11	11	10	10	10	9	8	8	7+3	7	5+3
$N_{Z=1}$	1	-	2	1	3	2	4	3	5	2	4	6	3	-	6	4	3	4
$N_{Z=2}$	-	1	-	1	-	1	-	1	-	2	1	-	2	4	1	1	3	2
N_{ev}	99	11	48	7	6	3	4	4	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1

Table 5. Charge-topology distribution of white stars in the dissociation of ^{16}O nuclei with an energy of 3.65 GeV per nucleon

Z_f	7	6	6	5	5	4	4	–	–
$N_{Z=1}$	1	2	–	3	1	–	2	–	2
$N_{Z=2}$	–	–	1	–	1	2	1	4	3
N_{ev}	18	7	21	2	10	1	1	9	3

Table 6. Charge-topology distribution of white stars in the dissociation of ^{16}O nuclei with an energy of 200 GeV per nucleon

Z_f	7	6	6	5	5	4	3	3	–	–	–
$N_{Z=1}$	1	–	2	1	3	2	1	3	–	2	4
$N_{Z=2}$	–	1	–	1	–	1	2	1	4	3	2
N_{ev}	49	6	10	5	1	3	2	2	2	4	2

Table 7. Charge-topology distribution of white stars in the dissociation of ^{10}B nuclei with an energy of 1 GeV per nucleon

Z_f	4	3	–	–
$N_{Z=1}$	1	–	3	1
$N_{Z=2}$	–	1	1	2
N_{ev}	1	5	5	30

Table 8. Charge-topology distribution of white stars in the dissociation of ^{14}N nuclei with an energy of 2.1 GeV per nucleon

Z_f	6	5	5	4	3	3	–	–
$N_{Z=1}$	1	–	2	1	4	2	3	1
$N_{Z=2}$	–	1	–	1	–	1	2	3
N_{ev}	6	3	2	1	1	1	1	10

Table 9. Charge-topology distribution of white stars in the dissociation of ^7Be nuclei of energy 1.23 GeV per nucleon

Z_f	3	–	–	–
$N_{Z=1}$	1	4	2	–
$N_{Z=2}$	–	–	1	2
N_{ev}	7	2	38	28

Number of events of ^6Li coherent dissociation

Dissociation channel	Number of events	
	without the excitation of the target nucleus ($N_h = 0$)	with the excitation of the target nucleus ($N_h \neq 0$)
$^4\text{He} + d$	23	24
$^3\text{He} + t$	4	1
$t + d + p$	4	3
$d + d + d$	0	2

Особенность фрагментации *Ne, Mg, Si, and S* состоит в подавлении парных расщеплений во фрагменты с зарядом больше 2.

Рост степени фрагментации проявляется в нарастании множественности одно- и двухзарядных фрагментов вплоть до полного разрушения ядра.

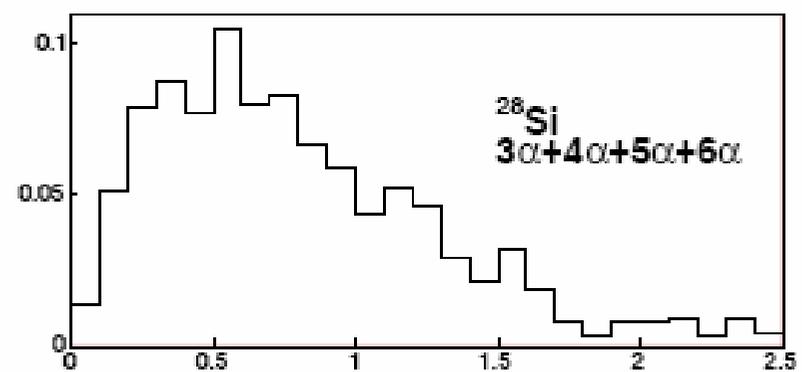
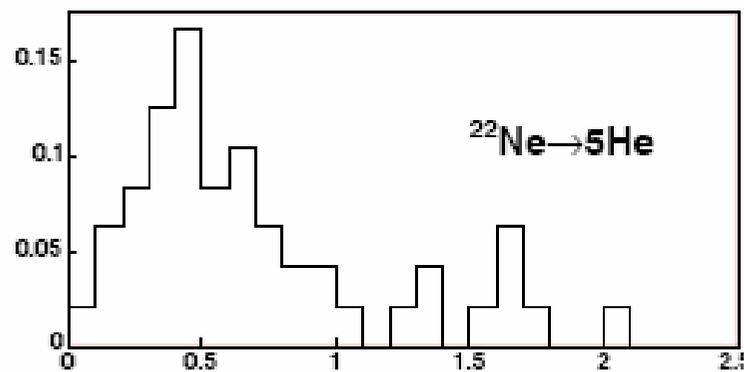
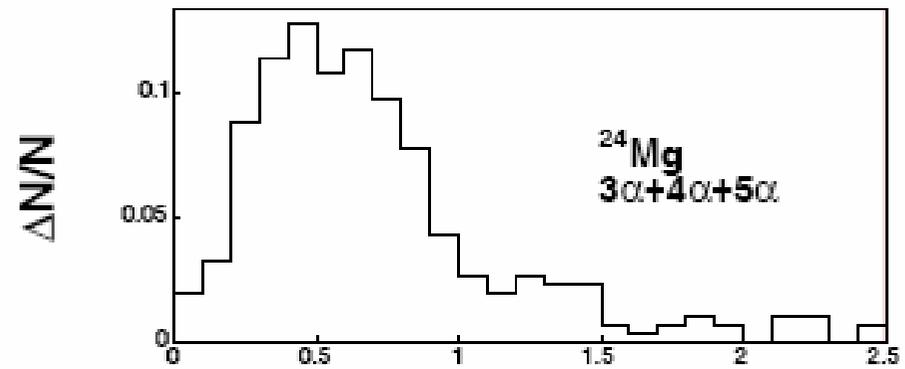
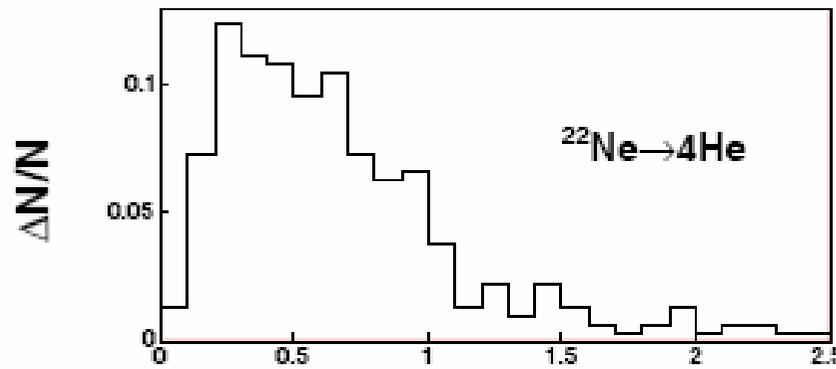
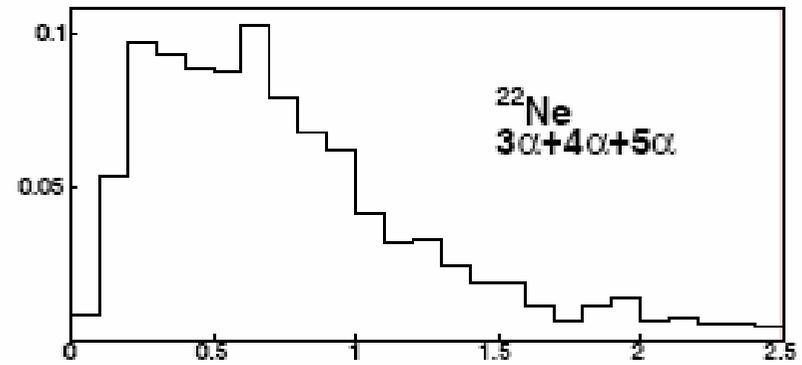
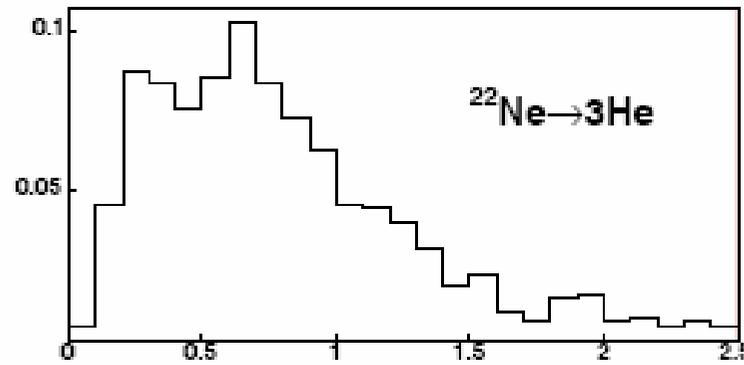
Над парными состояниями, образующимися при заметно более низких порогах, доминируют многокластерные системы.

^{28}Si
4.5A ГэВ/с

	z	3	4	5	6	7	8	9	10	Σ
3	16	15	26	21	3	7				88
4		8	18	2	6	1	1	1		37
5			8	7	6	1				22
z_{f2} 6				2	1	2				5
Σ	16	23	52	32	16	11	1	1		

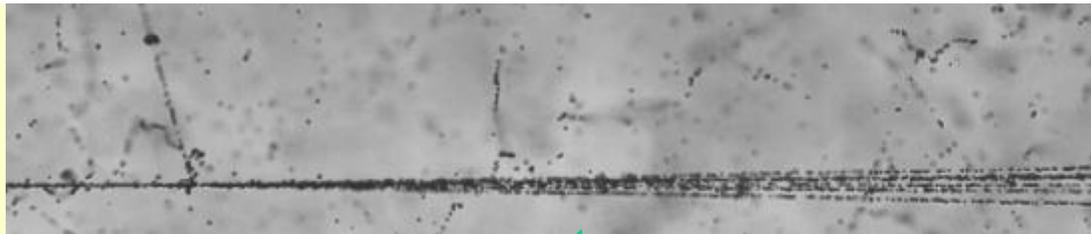
Рис.3. Зарядовая матрица для 2f-событий.

1980 неупругих взаимодействий

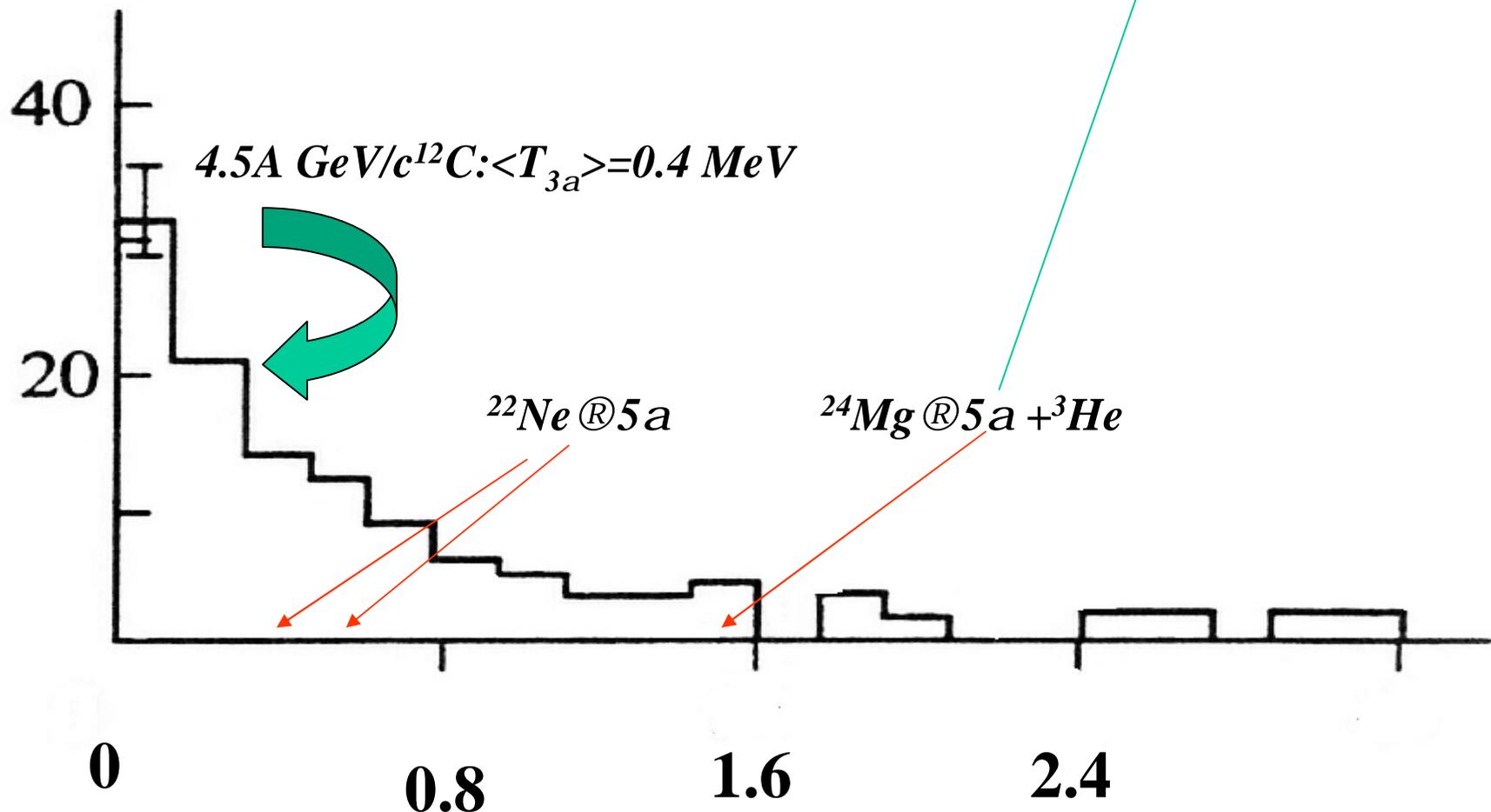


θ_{He}^0 deg.

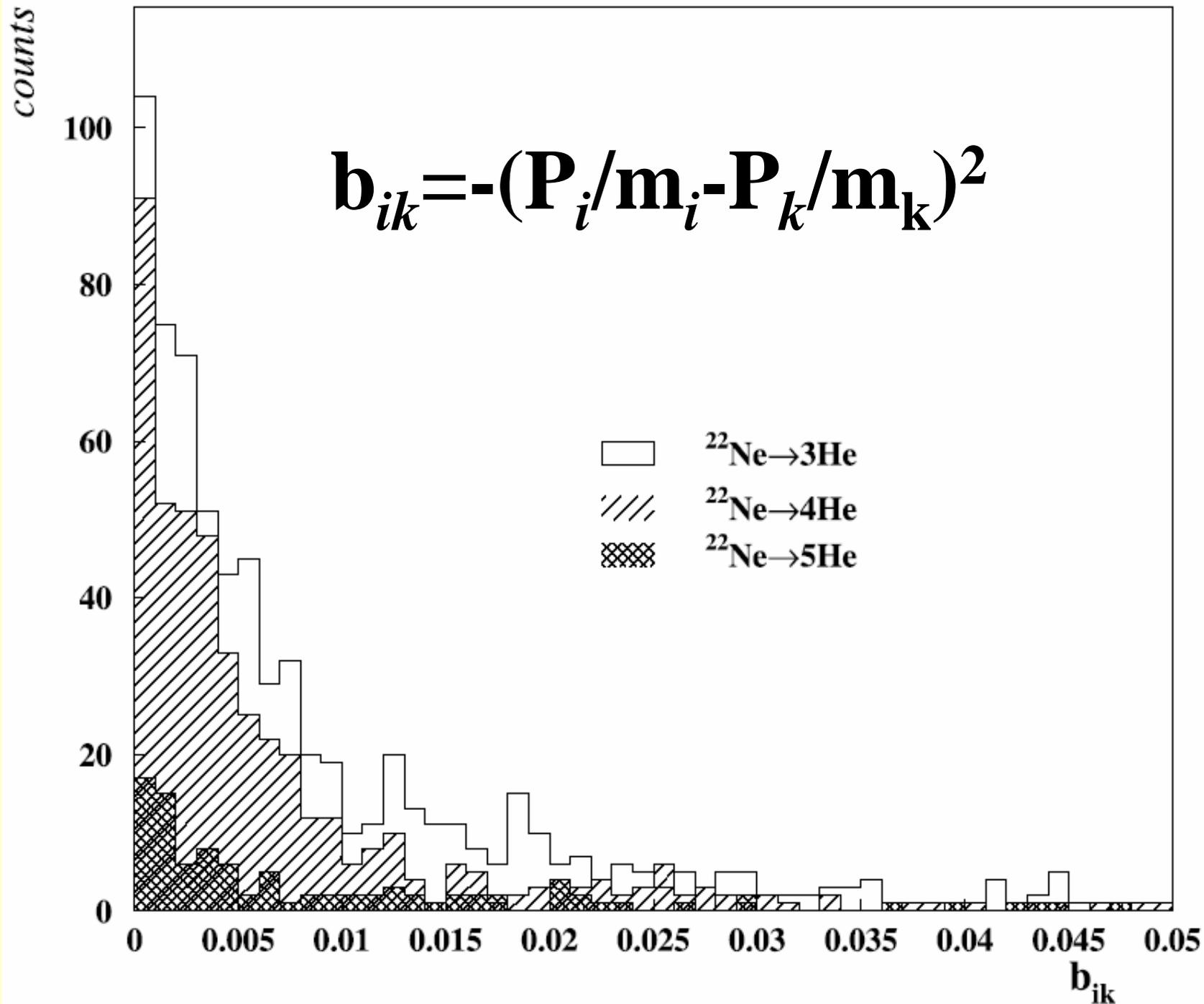
θ_{He}^0 deg.



dN/dT_{na}

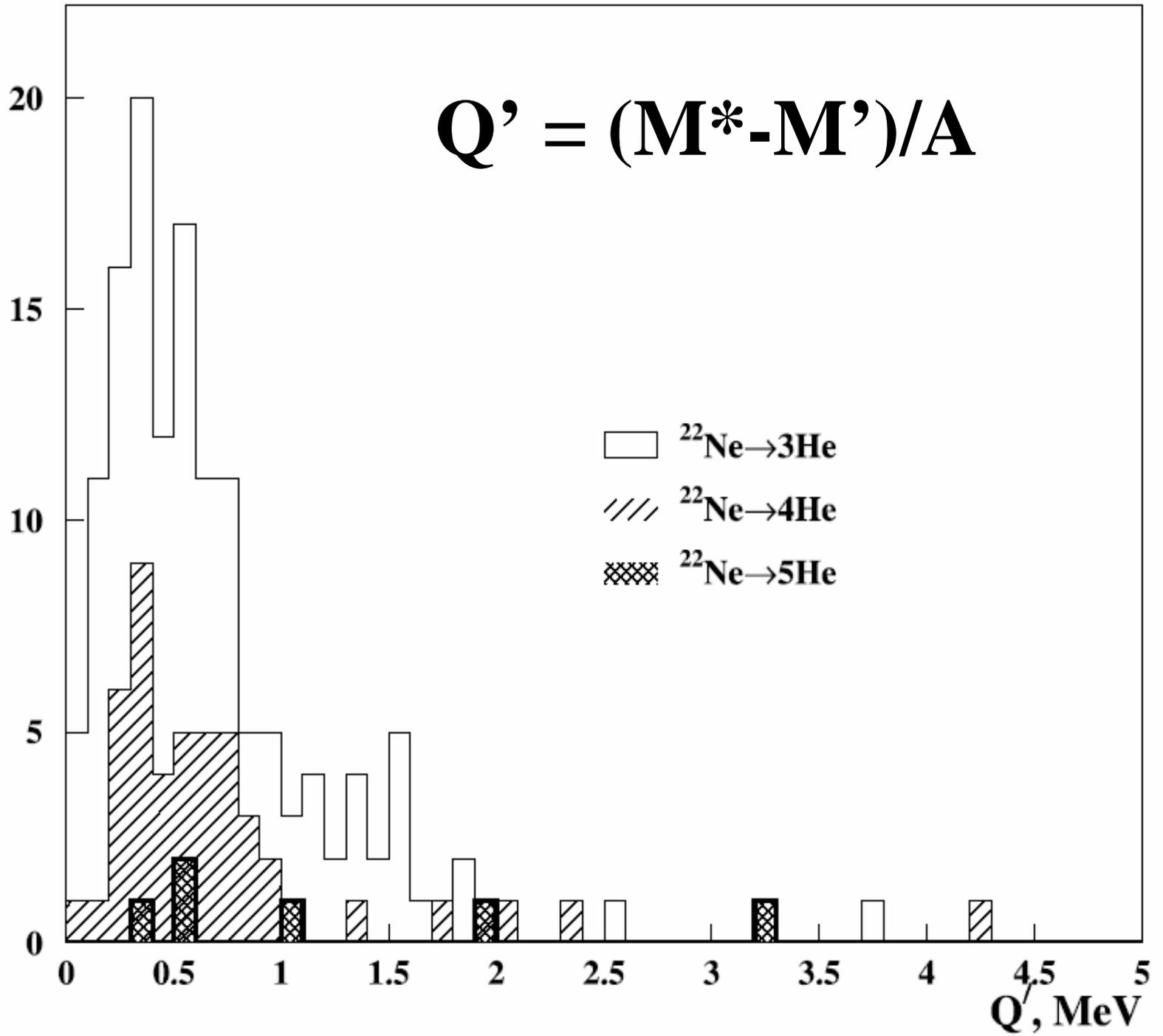


$$T_{na} = (M_{na}^* - n_a M_a) / (4 n_a), \text{ MeV}$$



counts

$$Q' = (M^* - M') / A$$

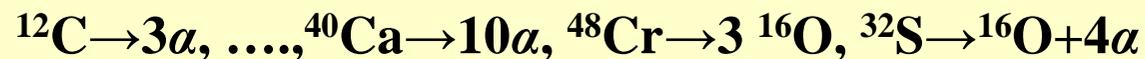


Alpha-particle condensation in nuclei

P. Schuck, H. Horiuchi, G. Ropke, A. Tohsaki, C. R. Physique 4 (2003) 537-540

“По крайней мере легкие $n\alpha$ -ядра могут проявлять вблизи порога дезинтеграции $n\alpha$ связанное состояние или резонанс, который имеет свойства α -частичного газа, т. е. они могут характеризоваться как самосвязанный газ почти не возмущенных α -частиц, находящихся в относительных s -состояниях по отношению к их центру масс и таким образом формируя состояние Бозе конденсата. Такое состояние совершенно аналогично недавно открытому конденсату бозе-атомов недавно сформированному в магнитных ловушках.”

“Единственным ядром, которое демонстрирует хорошо развитую α -частичную структуру является ${}^8\text{Be}$. Другие $n\alpha$ -ядра коллапсируют в их основные состояния в заметно более плотные системы, в которых α -частицы сильно перекрываются и возможно почти полностью теряют свою идентичность. Когда эти $n\alpha$ -ядра расширяются при некоторой меньшей плотности α -частицы возникают вновь, формируя Бозе-конденсат. Если энергия подходящая, то декомпрессия может задержаться в районе плотности α -конденсата и вся система распадается на α -частицы через когерентное состояние.”



Boltzmann constant, k /approx 10^{-4} eV K⁻¹
Typical Temperature Range, T /approx $5 \cdot 10^{8-9}$ K per α

$$p_\alpha = \sqrt{2m_\alpha \cdot T_\alpha} \quad p_\alpha \text{ /approx } 20\text{-}120 \text{ MeV}$$

Planck constant, \hbar /approx 200 MeV fm

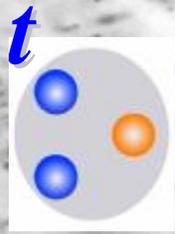
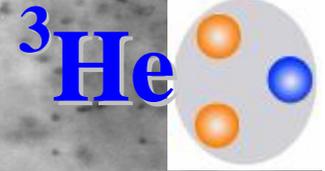
$\lambda = \hbar/p$ de Broglie wave lengths /approx 1-10 fm

$$\lambda_\alpha^{\text{coh}} \text{ /approx } R_\alpha \quad \lambda_{\text{He}}^{\text{coh}} \text{ /approx } R_{\text{He}}$$

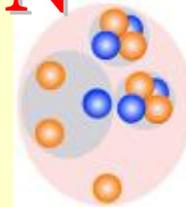
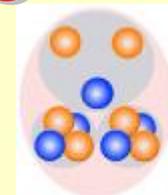
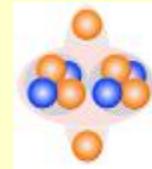
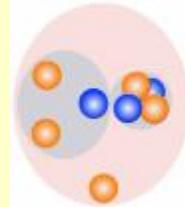
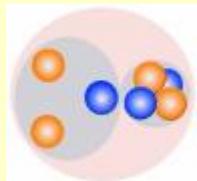
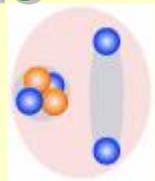
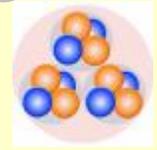
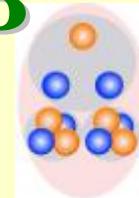
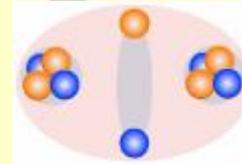
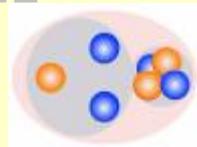
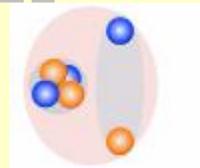
$$T_\alpha/T_{\text{He}} = T_\alpha/T_{\text{He}} = (R_{\text{He}}/R_\alpha)^2 \text{ /approx } 10^{10}$$

Macroscopic quantum coherence phenomena in atomic physics /approx 1 K

Macroscopic quantum coherence phenomena in nuclear physics /approx 10^{10} K

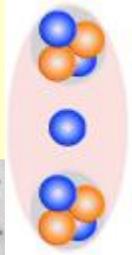


Clustering in Light Nuclei

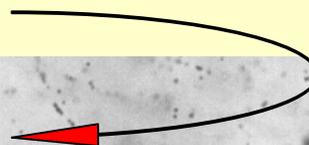


Вторичные ядра формируются в зарядово-обменных реакциях или при фрагментации ${}^{10}\text{B}$ (${}^8\text{B}$ и ${}^9\text{Be}$).

${}^9\text{Be}$ 1.2A ГэВ



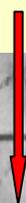
«белая» звезда



событие с выбиванием фрагмента ядра мишени

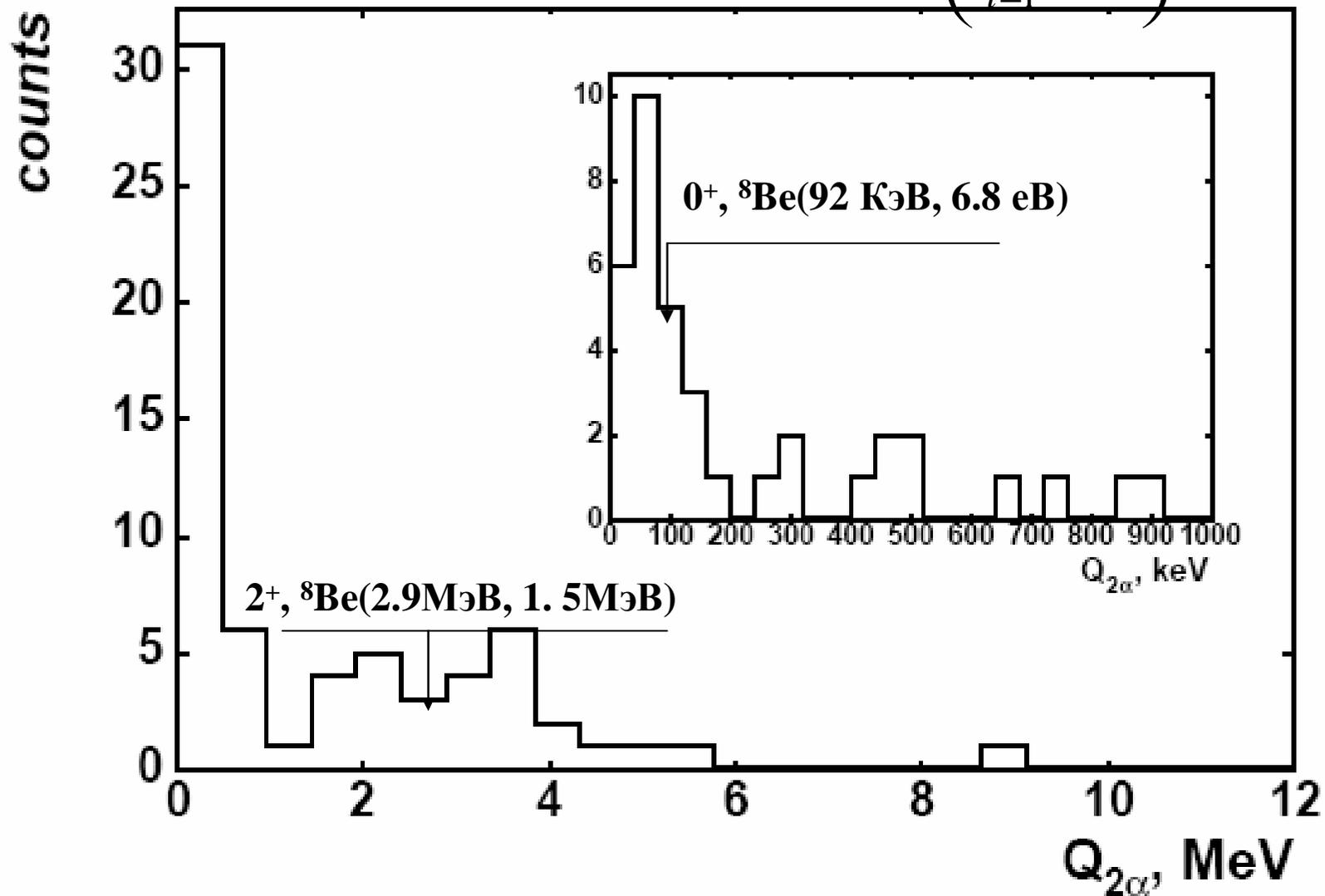


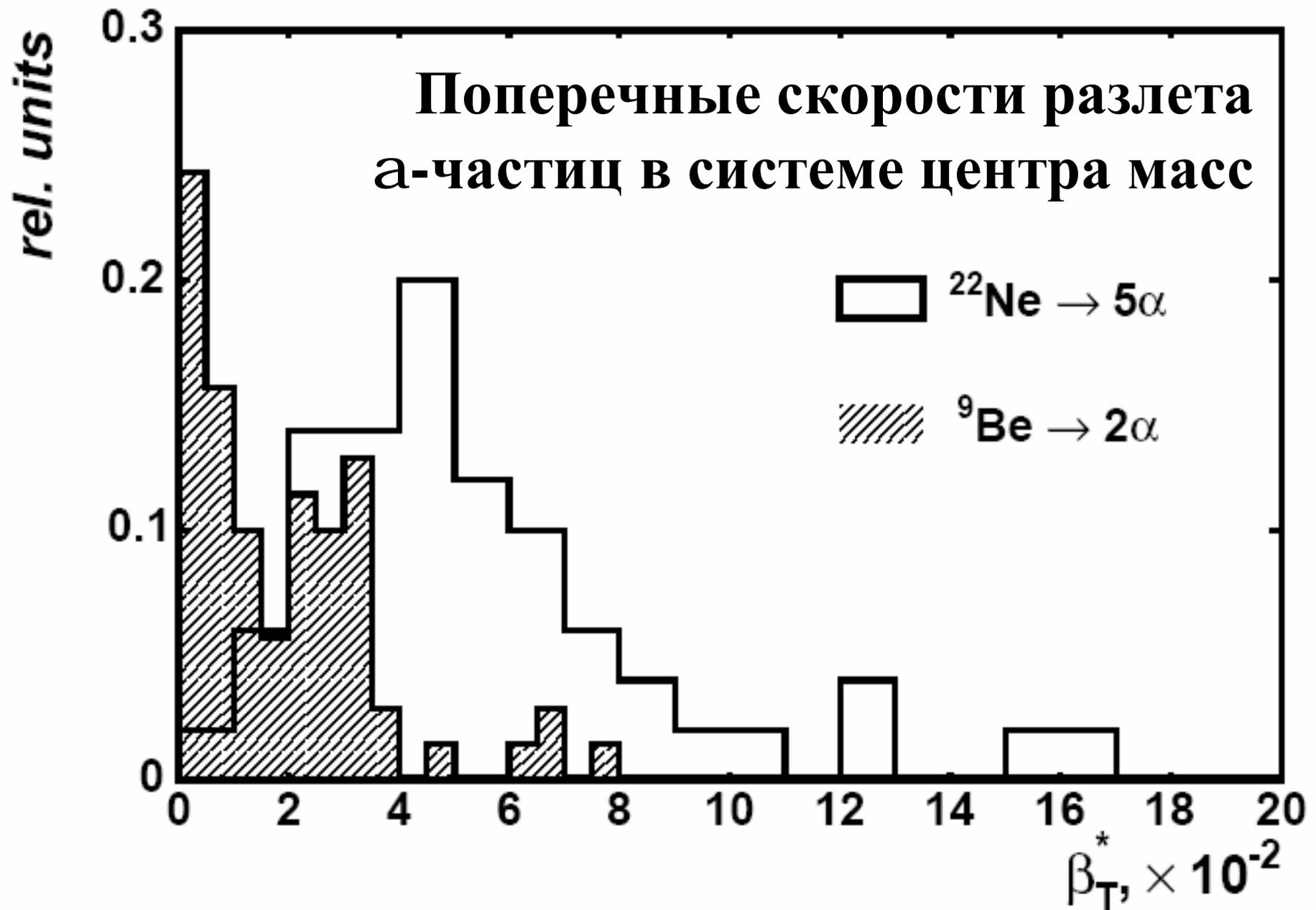
событие с выбиванием фрагмента Н



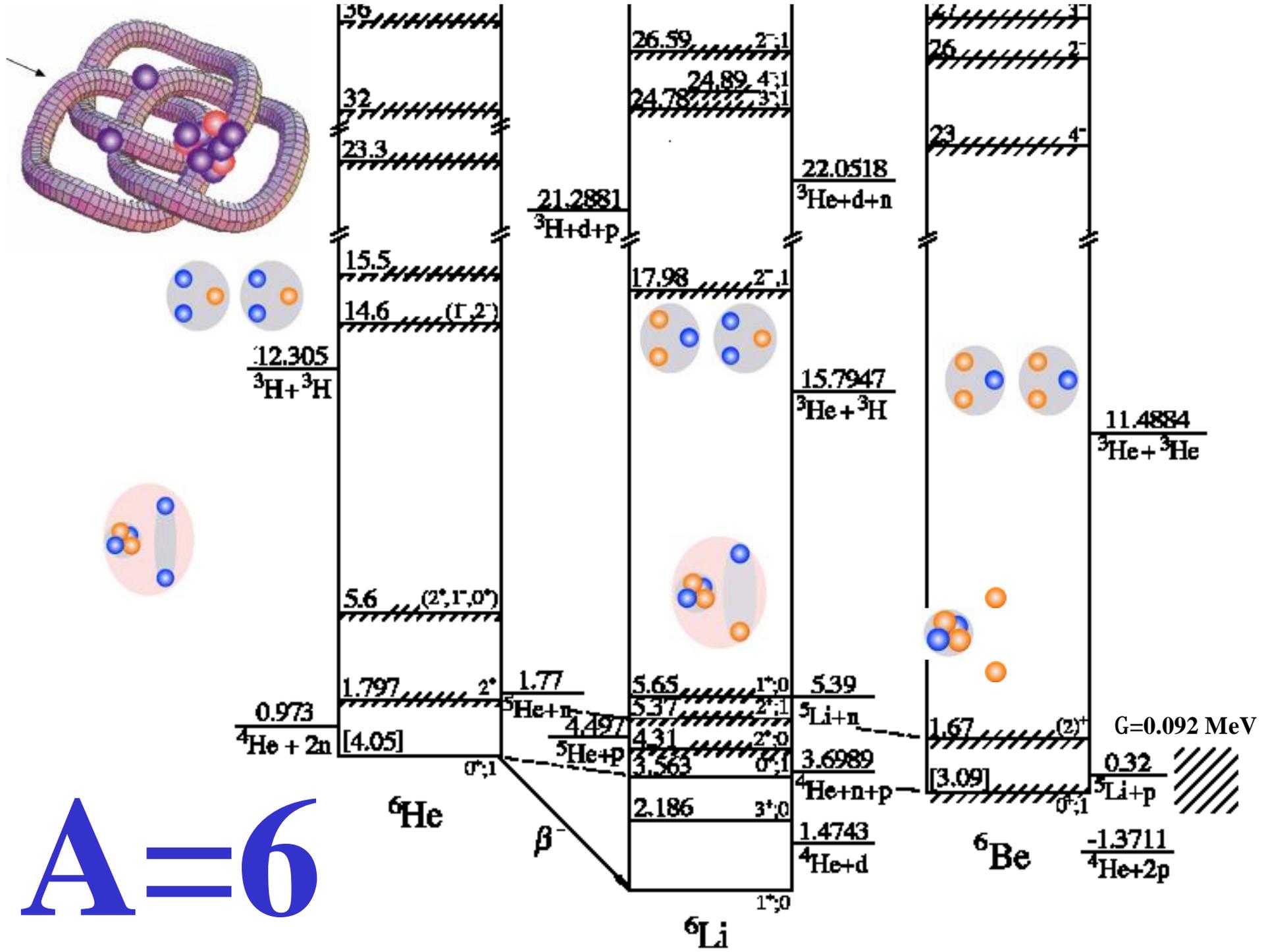
Инвариантная энергия пары α -частиц

$$Q_{2\alpha} = M - 2 \cdot m_{\alpha} \quad M^2 = -\left(\sum_{i=1}^2 P_{\alpha_i}\right)^2$$



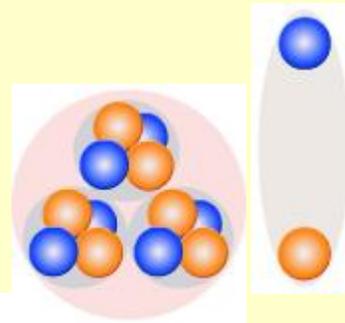


A=6

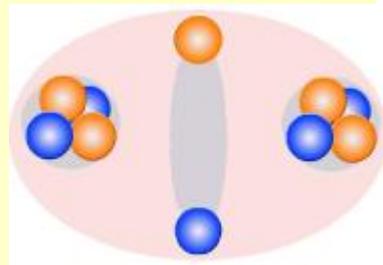


α -d кластеризация

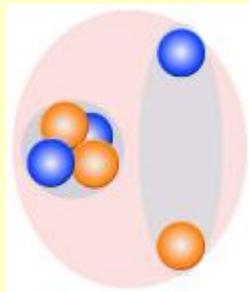
^{50}V (0.25%)



^{14}N (99.634%)



^{10}B (19.9%)

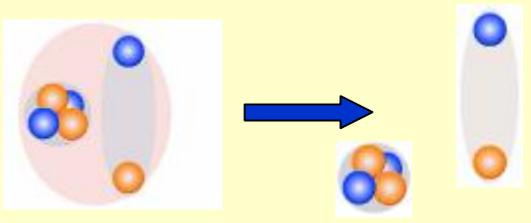


^6Li (7.5%)



d

4.5A $\Gamma \approx B/c$ ${}^6\text{Li}$



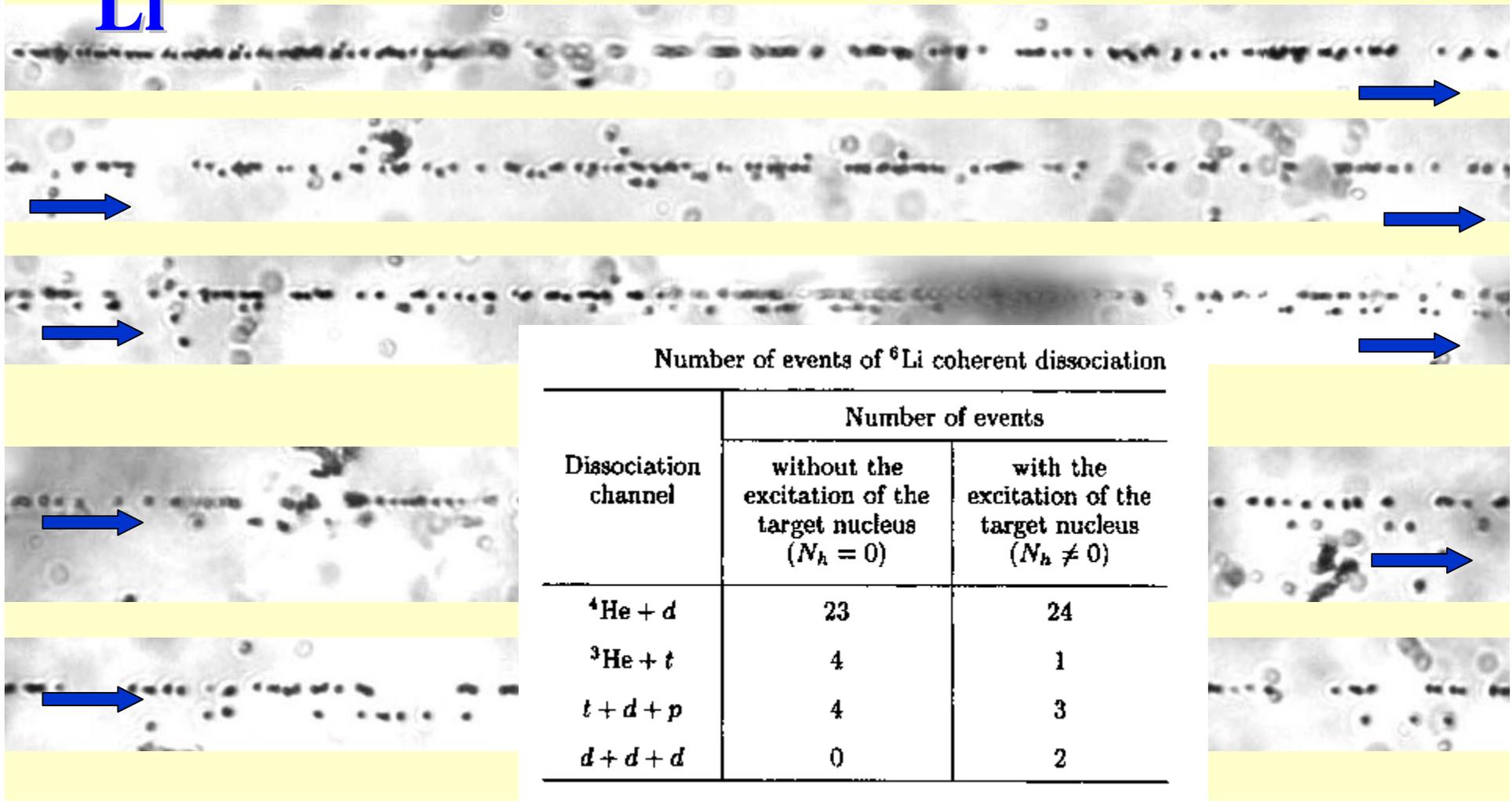
${}^6\text{Li}$

Physics of Atomic Nuclei, Vol. 62, No. 8, 1999, pp. 1378-1387. Translated from Yadernaya Fizika, Vol. 62, No. 8, 1999, pp. 1461-1471. Original Russian Text Copyright © 1999 by Adamovich, Bogdanov, Konorov, Larionova, Peresadko, Plyushchev, Solovyeva, Kharlamov.

ELEMENTARY PARTICLES AND FIELDS Experiment

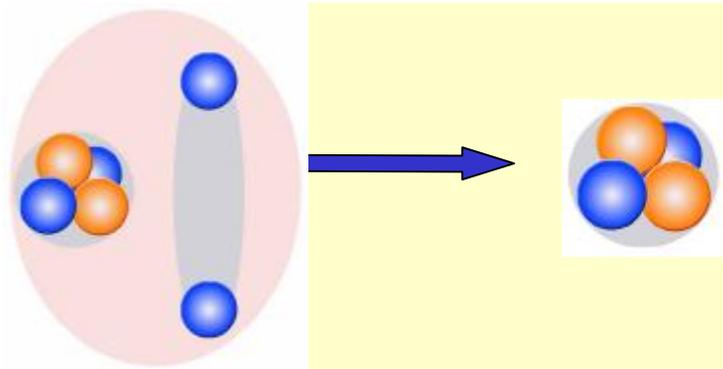
Interactions of Relativistic ${}^6\text{Li}$ Nuclei with Photoemulsion Nuclei

M. I. Adamovich, V. G. Bogdanov¹⁾, I. A. Konorov, V. G. Larionova,
N. G. Peresadko, V. A. Plyushchev¹⁾, Z. I. Solovyeva^{1)†}, and S. P. Kharlamov

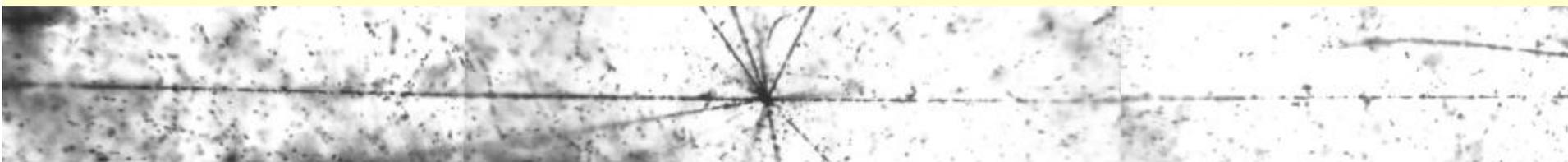


Number of events of ${}^6\text{Li}$ coherent dissociation

Dissociation channel	Number of events	
	without the excitation of the target nucleus ($N_h = 0$)	with the excitation of the target nucleus ($N_h \neq 0$)
${}^4\text{He} + d$	23	24
${}^3\text{He} + t$	4	1
$t + d + p$	4	3
$d + d + d$	0	2

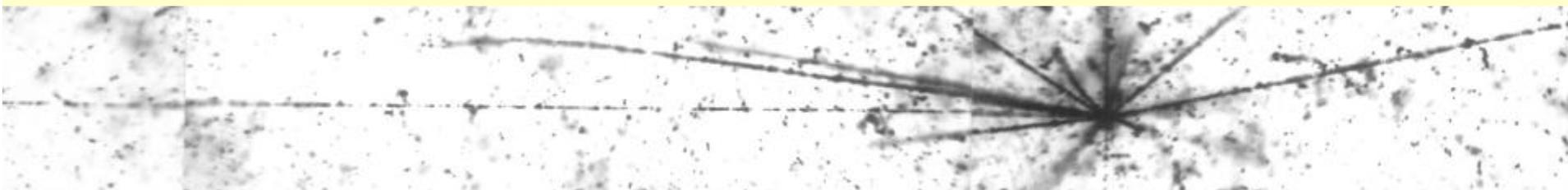


**Каскадное
взаимодействие ${}^6\text{He}$ с
энергией 2.76A GeV**



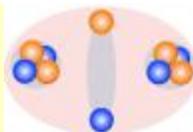
${}^6\text{He}$

а



а

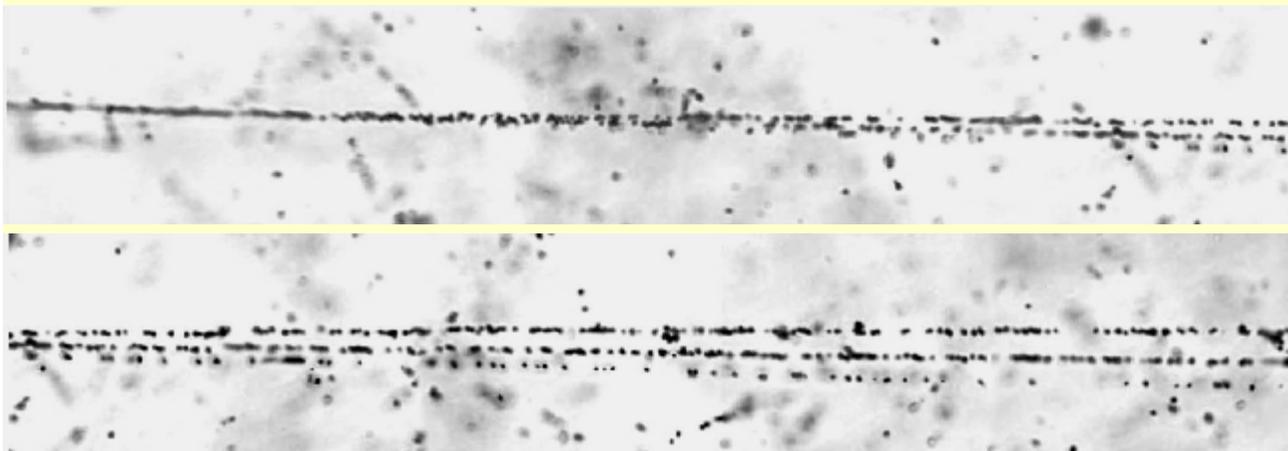
1.9A ГэВ ^{10}B



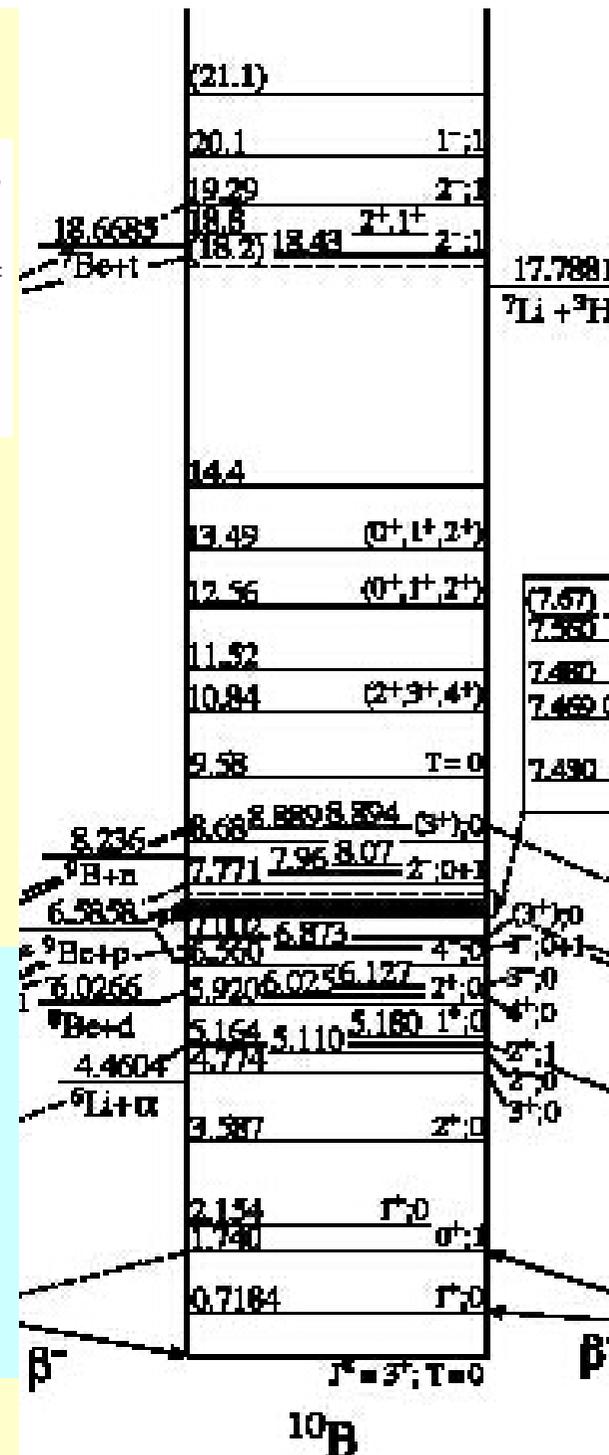
Physics of Atomic Nuclei, Vol. 67, No. 3, 2004, pp. 514–517. Translated from Yadernaya Fizika, Vol. 67, No. 3, 2004, pp. 533–536.
Original Russian Text Copyright © 2004 by Adamovich, Bradnova, Vokal, Gerasimov, Dronov, Zarubin, Kovalenko, Kotelnikov, Krasnov, Larionova, Lepikhin, Malikhov, Orlova, Peresadko, Polukhina, Rukoyatkin, Ruskova, Salmanova, Simonov, Chernyshevsky, Haiduc, Kharlamov, Just.

ELEMENTARY PARTICLES AND FIELDS Experiment

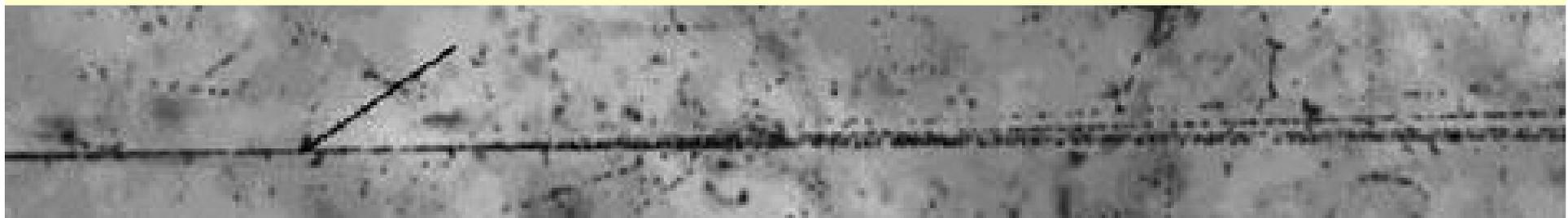
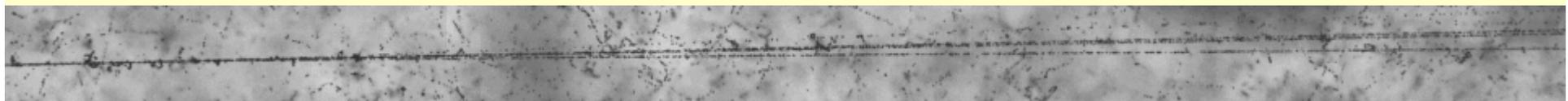
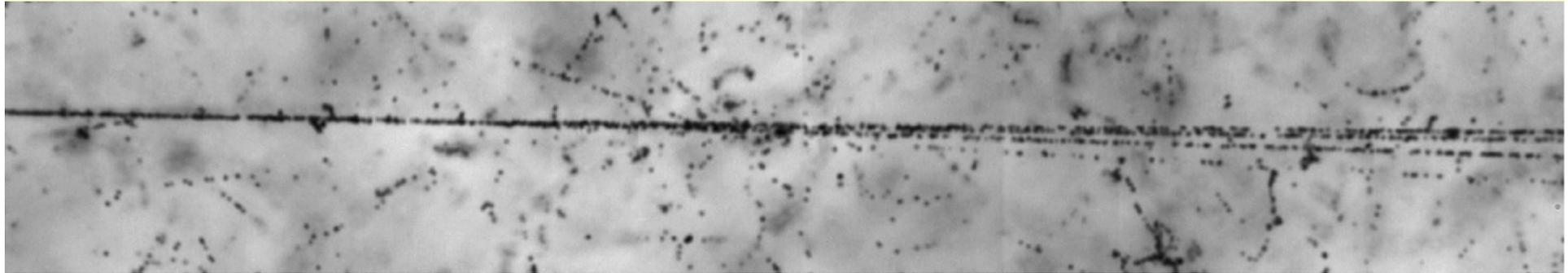
Investigation of Clustering in Light Nuclei by Means of Relativistic-Multifragmentation Processes



$^{10}\text{B} \rightarrow 2\text{He} + \text{H}$ в 70% «белых» звезд.
 H – дейтрон в 40% из них
 (как и в ^6Li). Вклад ^8Be 20%.
 $^{10}\text{B} \textcircled{\text{R}} ^9\text{Be} + \text{p}$ – 3%



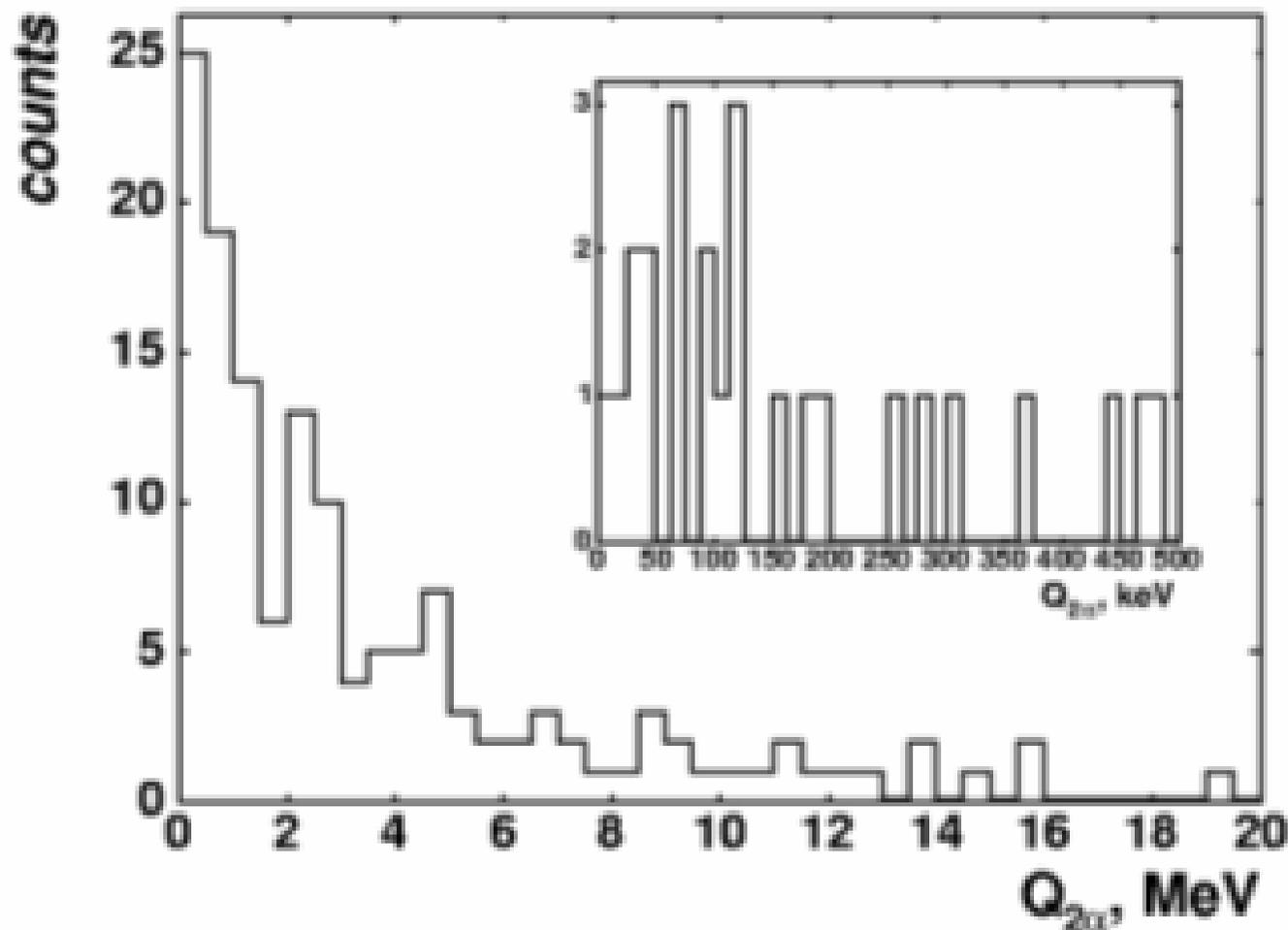
Диссоциация ^{14}N при энергии 2.9А ГэВ/с



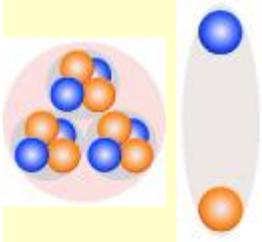
$${}^6\text{Li} \quad (\text{He} + \text{p})/(\text{He} + \text{d}) \approx 1$$

$${}^{10}\text{B} \quad (2*\text{He} + \text{p})/(2*\text{He} + \text{d}) \approx 1$$

$${}^{14}\text{N} \quad (3*\text{He} + \text{p})/(3*\text{He} + \text{d}) \approx 2:1$$



Распределение по инвариантной энергии возбуждения для пар $Q_{2\alpha}$ α -частиц для процесса $^{14}\text{N} \rightarrow 3\alpha + X$. На вставке: часть распределения в интервале между 0-500 keV.



2.1 А ГэВ ^{14}N

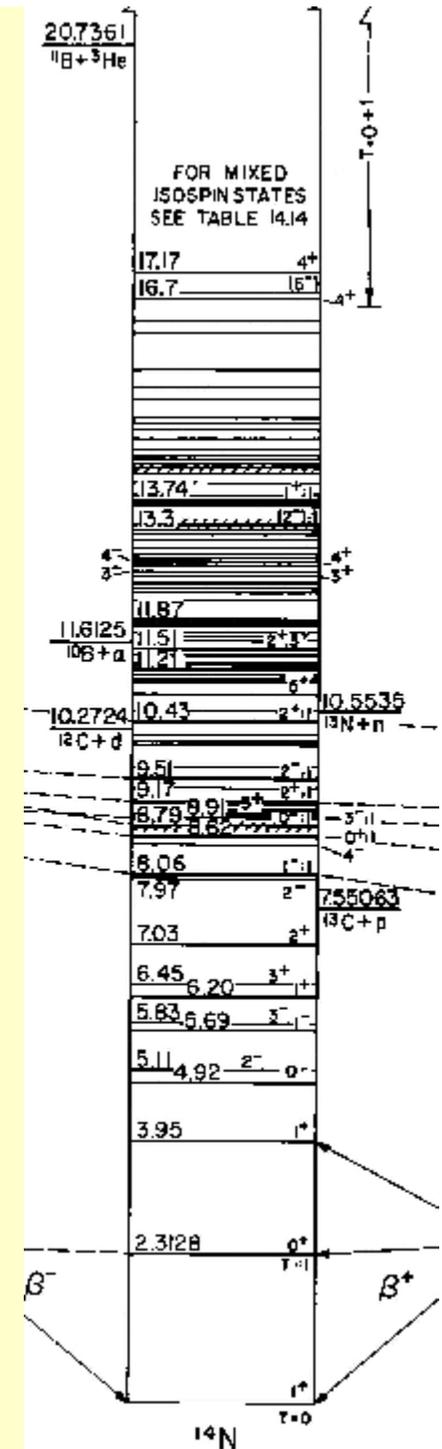
Прослеживанием по первичным следам среди 540 взаимодействий найдено 42 «белые» звезды (вторичные следы в конусе 8°).

$3\text{He} + \text{H} - 33\%$,

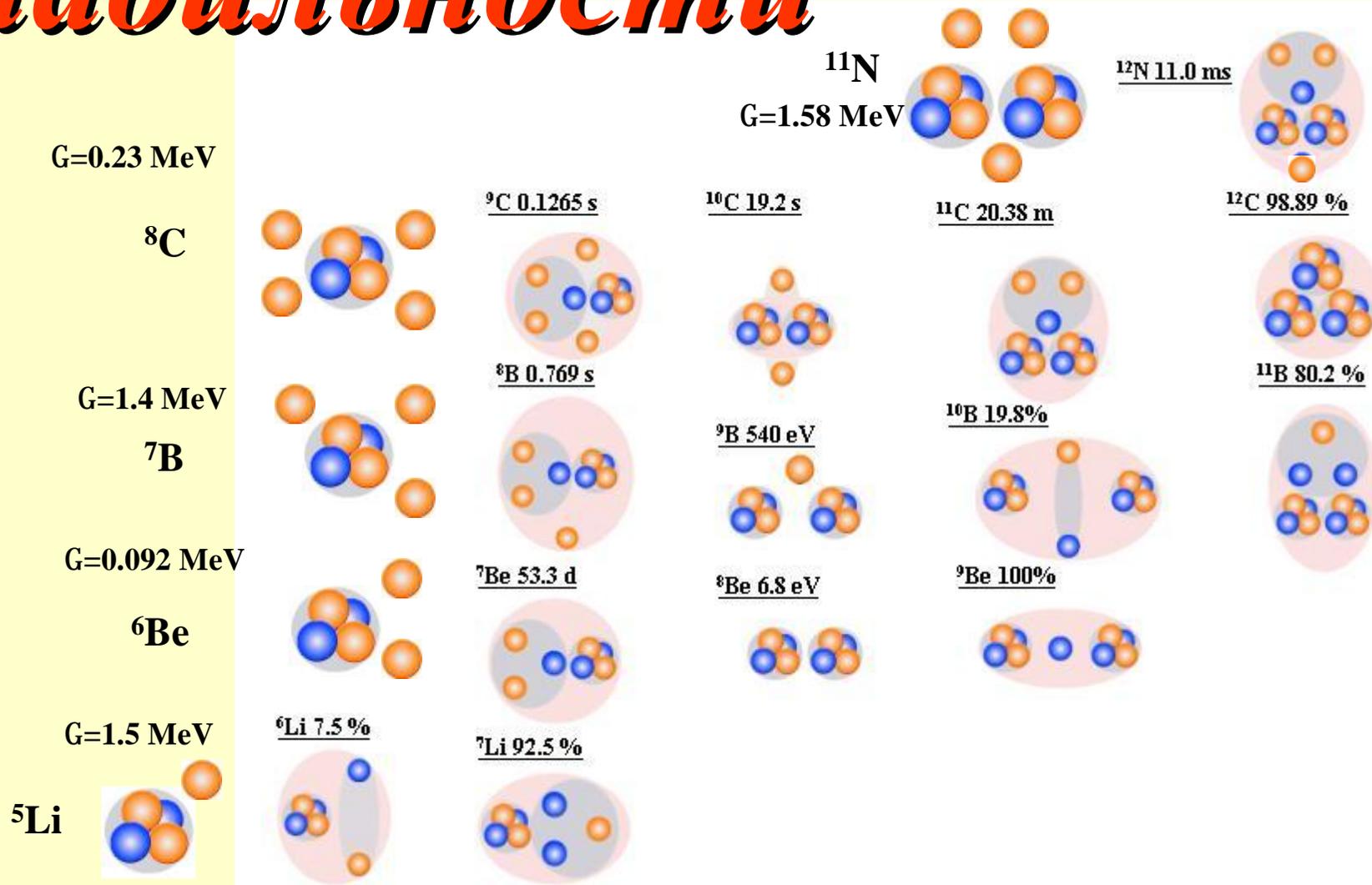
$\text{C} + \text{H} - 31\%$,

$\text{B} + 2\text{H} - 7\%$, $\text{B} + \text{He} - 7\%$,

$\text{Be} + \text{He} + \text{H} - 2\%$, $\text{Li} + \text{He} + 2\text{H} - 2\%$, $\text{Li} + 4\text{H} - 2\%$.



К границе протонной стабильности



**Амплитудный спектр со
сцинтилляционного счетчика
перед стопкой эмульсионных слоев**

Строб и ^1H

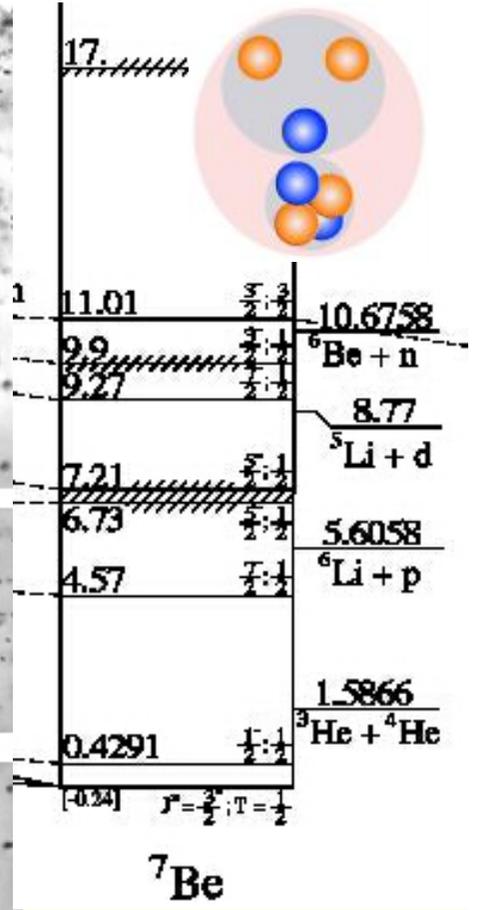
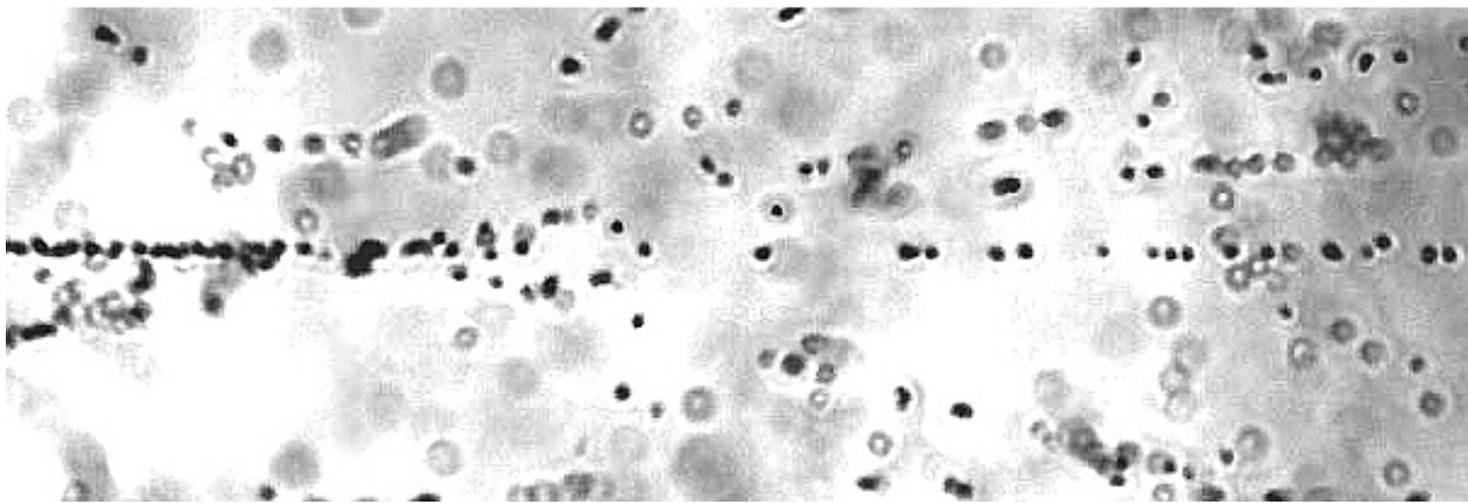
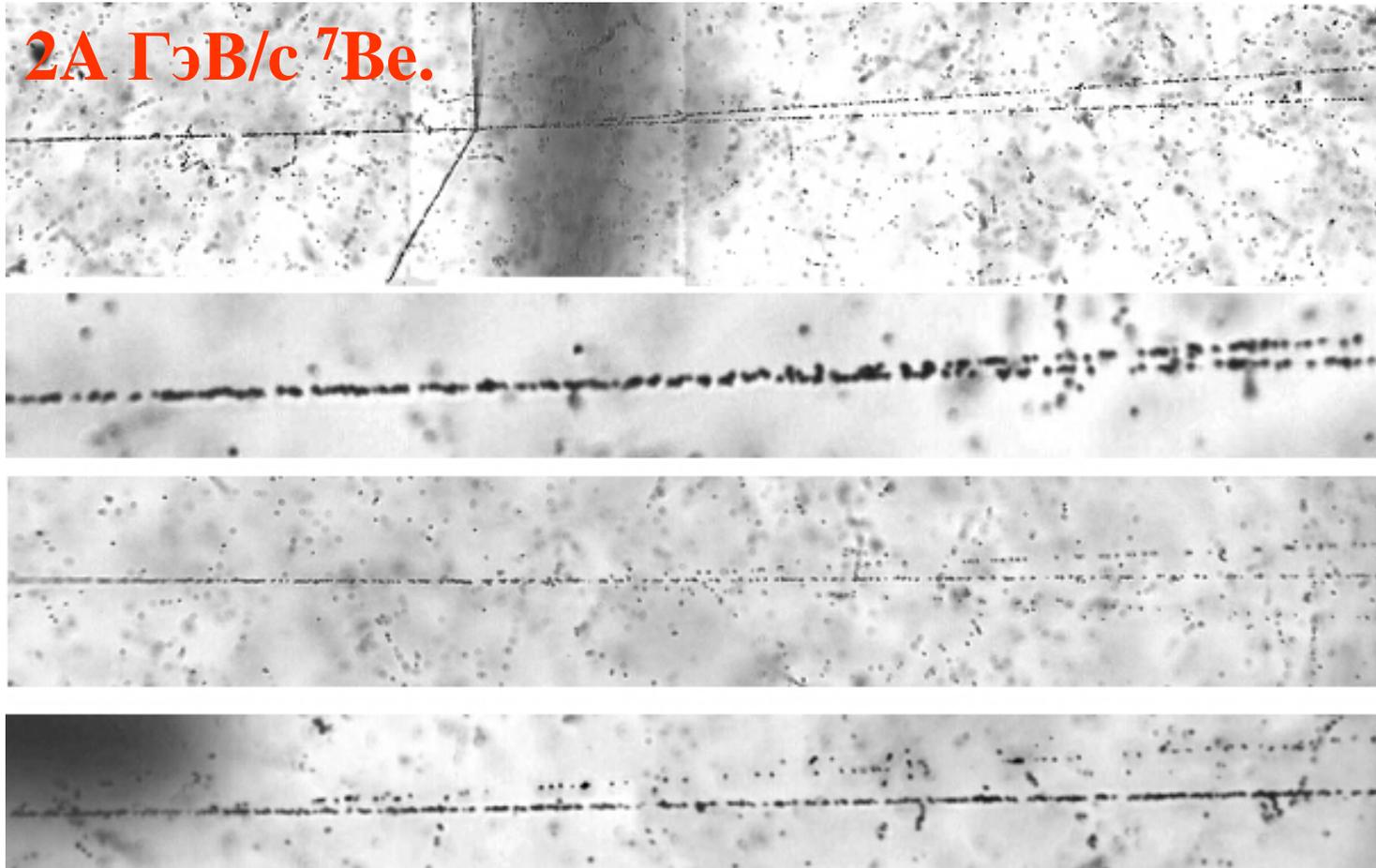
^3He

Li

^7Be



2A ГэВ/с ${}^7\text{Be}$.

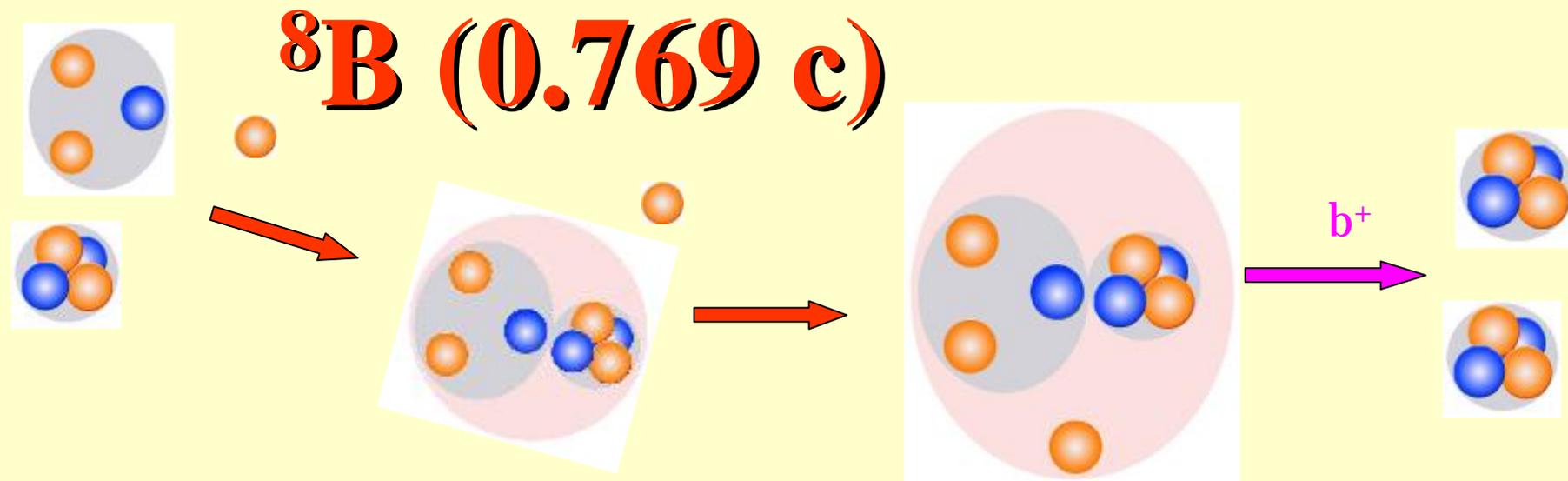


Каналы фрагментации ядер ${}^7\text{Be}$.

⊕

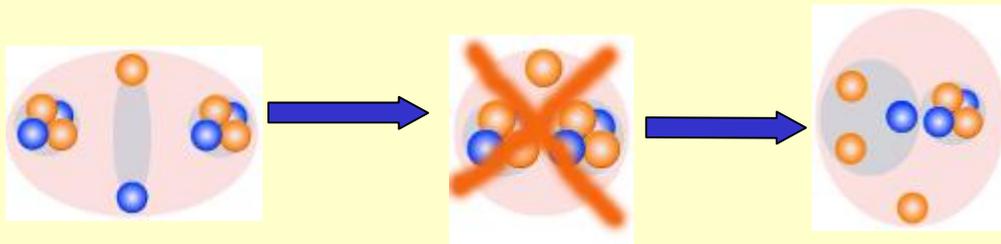
Каналы фрагментации	2 He		He + 2 H		4 H		Li + H		Сумма
	<u>nb=</u> 0	<u>nb#</u> 0	<u>nb=</u> 0	<u>nb#</u> 0	<u>nb=</u> 0	<u>nb#</u> 0	<u>nb=</u> 0	<u>nb#</u> 0	
${}^4\text{He}+{}^3\text{He}$	30	11							41
${}^3\text{He}+{}^3\text{He}$	11	7							18
${}^4\text{He}+2\text{ p}$			13	9					22
${}^4\text{He}+\text{d}+\text{p}$			10	5					15
${}^3\text{He}+2\text{ p}$			9	9					18
${}^3\text{He}+\text{d}+\text{p}$			8	10					18
${}^3\text{He}+2\text{ d}$			1						1
${}^3\text{He}+\text{t}+\text{p}$			1						1
3 p+ d					2				2
2 p+ 2 d						1			1
${}^6\text{Li}+\text{p}$							9	3	12
<u>Сумма</u>	41	18	42	33	2	1	9	3	149

□



Пучок ядер ${}^{10}\text{B}$ с импульсом 2A ГэВ/с и интенсивностью 10^8 в цикл получен на нуклотроне ОИЯИ. Эмульсии облучены в пучке вторичных ядер с магнитной жесткостью, соответствующей $Z/A = 5/8$ (${}^{10}\text{B} \textcircled{\text{R}} {}^8\text{B}$).

${}^8\text{B} \textcircled{\text{R}} {}^7\text{Be}$, ${}^3, {}^4\text{He}$ ${}^3\text{He}$ He H H p ,
 ${}^6\text{Li}$ p p , and H H H p p .



2 А ГэВ/с $^{10}\text{В}$ ® $^8\text{В}$

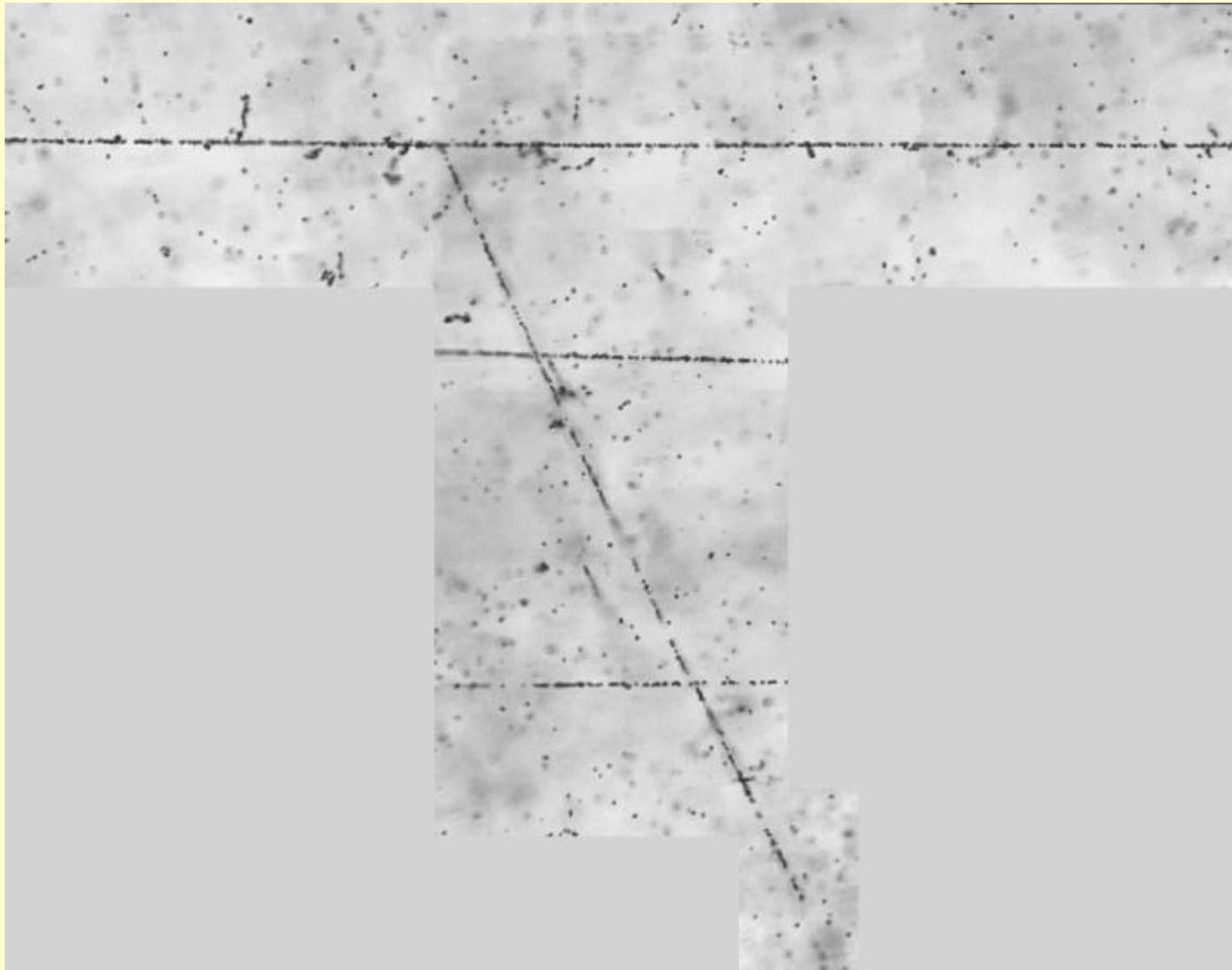
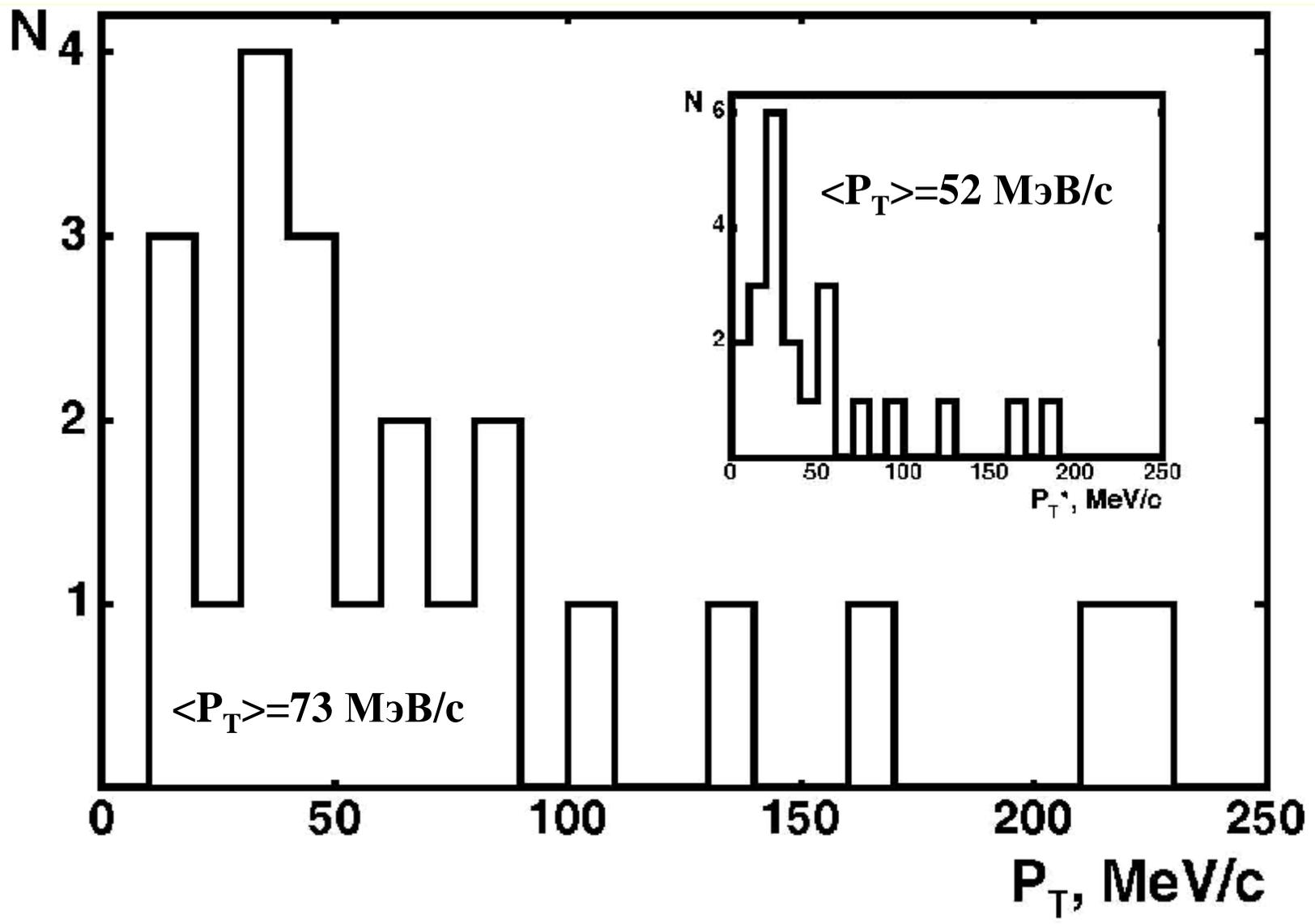


Таблица 1. Распределение по зарядовой топологии числа взаимодействий периферического типа N_{pf} наблюдавшихся в эмульсии облученной во вторичном пучке ядер 8B ; Q - суммарный заряд релятивистских фрагментов в угловом конусе до 8° в событии; N_z - число фрагментов с зарядом Z в событии; N_{ws} - число «белых» звезд; N_{ff} - число событий с фрагментами мишени;

Q	N_z					N_{pf}	
	Z=5	Z=4	Z=3	Z=2	Z=1	N_{ff}	N_{ws}
7	-	-	-	2	3	-	1
7	-	-	-	1	5	1	-
6	-	-	-	2	2	8	2
6	-	-	-	1	4	6	4
6	-	-	-	-	6	1	-
5	-	-	-	1	3	61	14
5	-	-	-	2	1	44	12
5	-	-	1	-	2	8	-
5	-	-	1	1	-	1	-
5	-	1	-	-	1	17	24
5	1	-	-	-	-	17	1
5	-	-	-	-	5	21	4
4	-	-	-	-	4	5	1
4	-	-	-	2	-	24	1
4	-	-	-	1	2	42	-

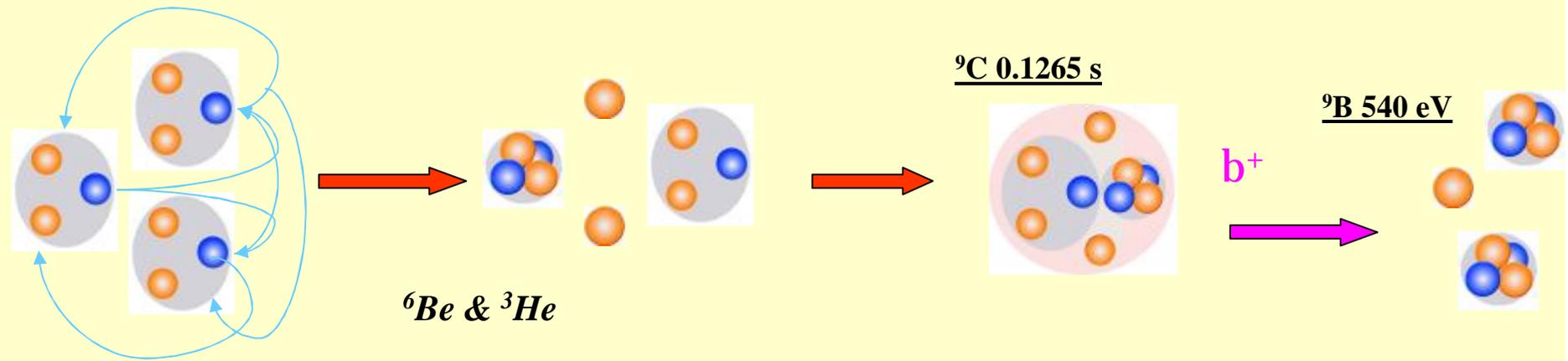
Распределение по поперечному импульсу P_T протонов, рожденных в «белых» звездах ${}^8\text{B} \rightarrow {}^7\text{Be} + p$.

На вставке: то же распределение P_T^* в с. ц. м. ${}^7\text{Be} + p$.

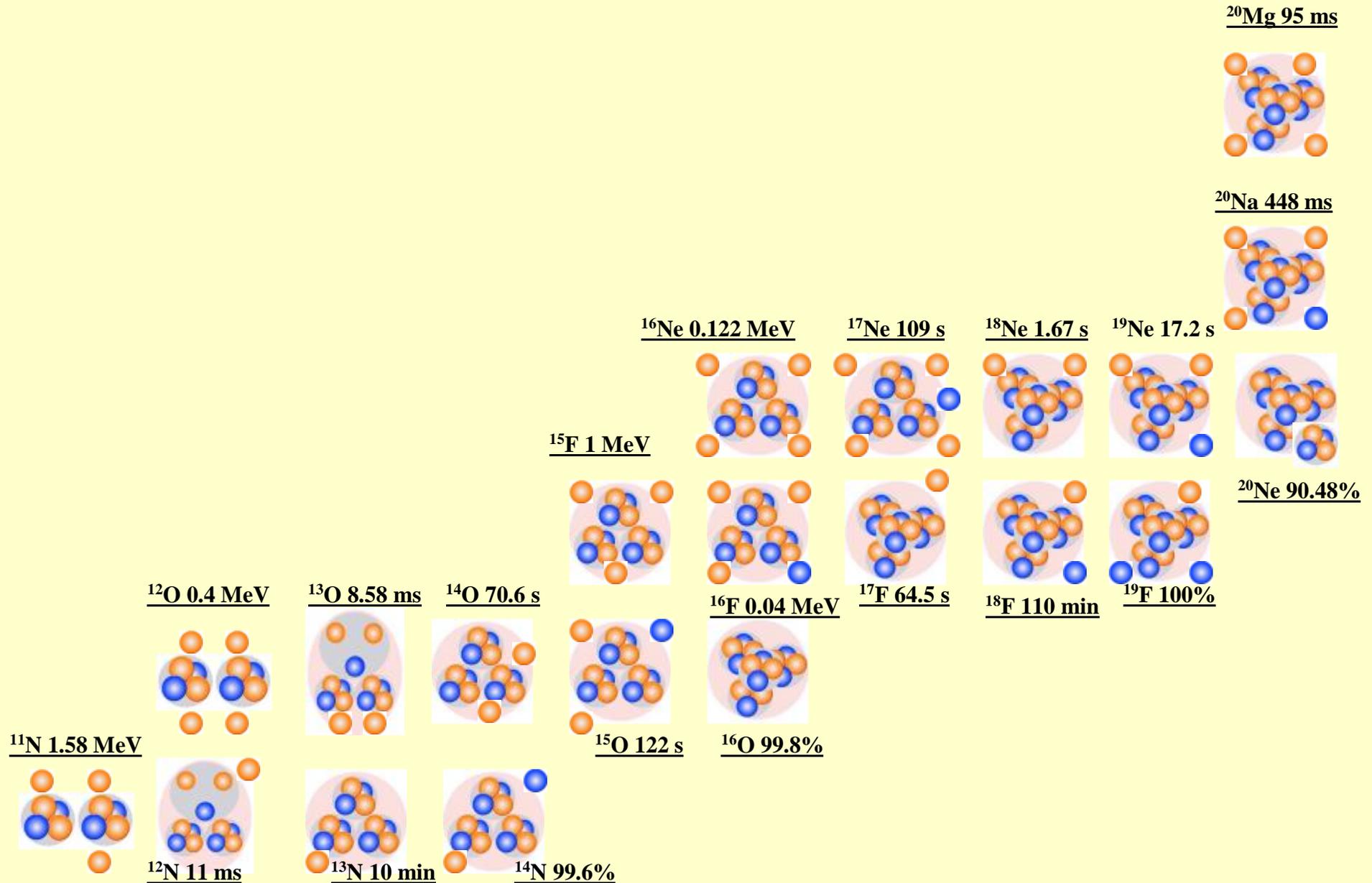


“Тройной ^3He процесс”

$^9\text{C} \textcircled{\text{R}}$ ^8Br , ^7Be ,
 HeHe , HeHHe ,
 $^3\text{He}^3\text{He}^3\text{He}$

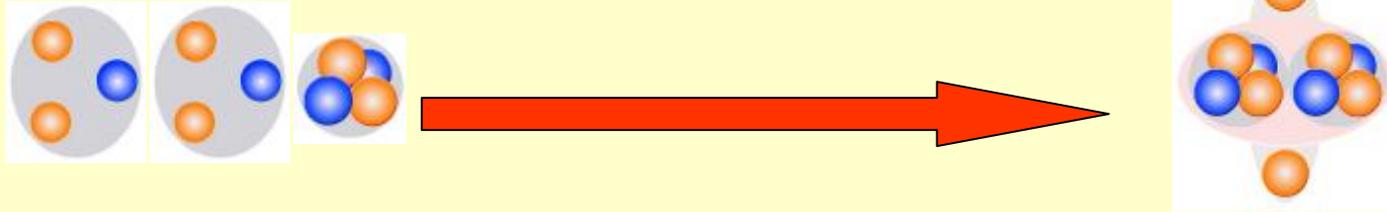


Walking along proton stability line

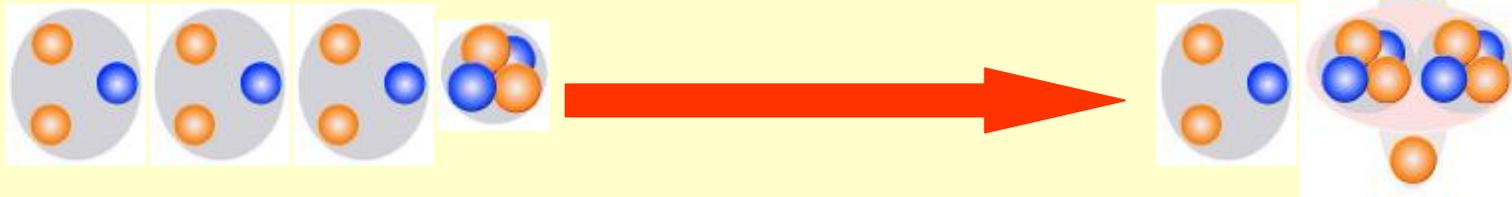


Multifragmentation in H&He

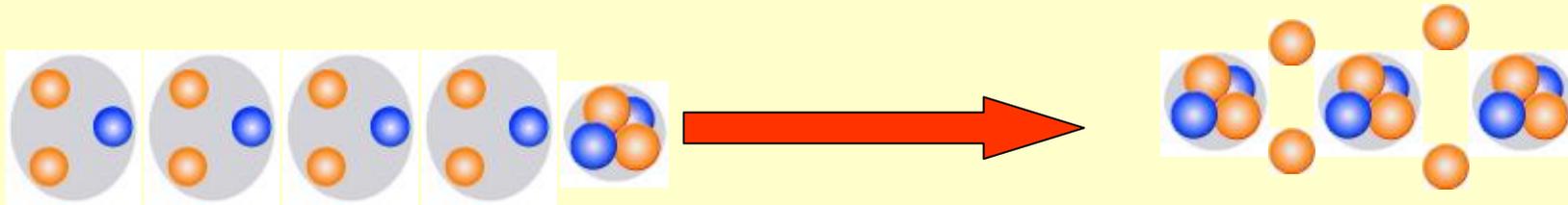
^{10}C 19.2 s



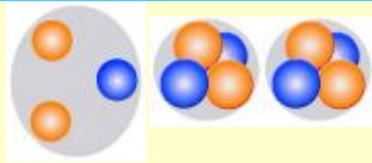
^{13}O 8.58 ms



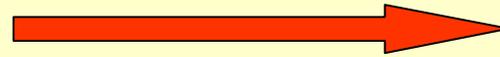
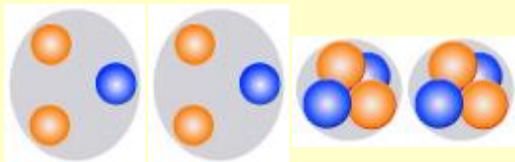
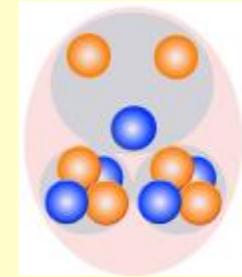
^{16}Ne 0.122 MeV



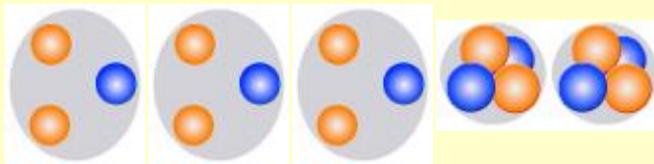
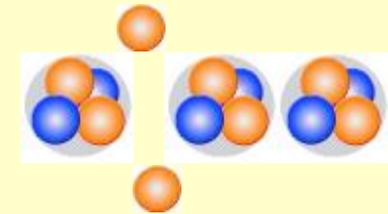
Multifragmentation in H&He



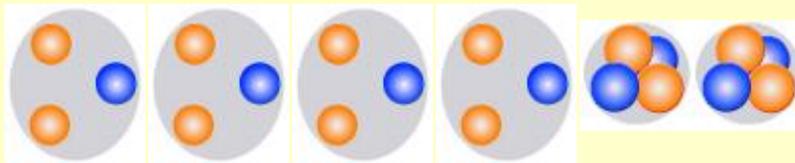
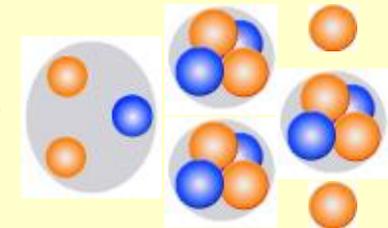
^{11}C 20.38 m



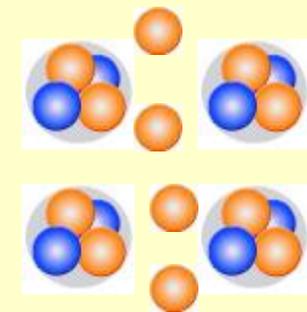
^{14}O 70.6 s



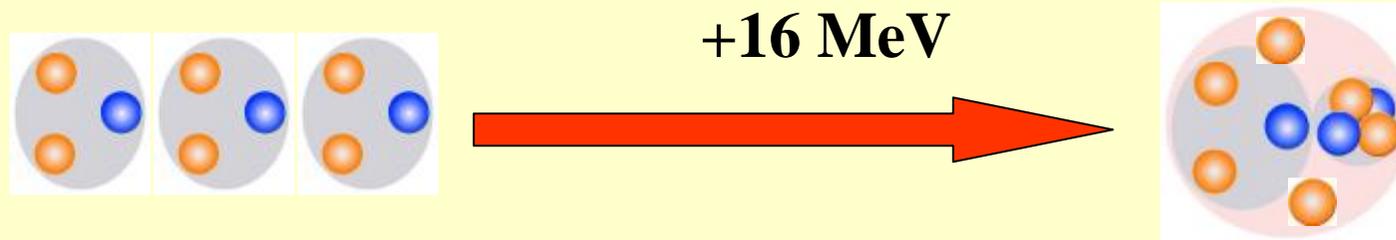
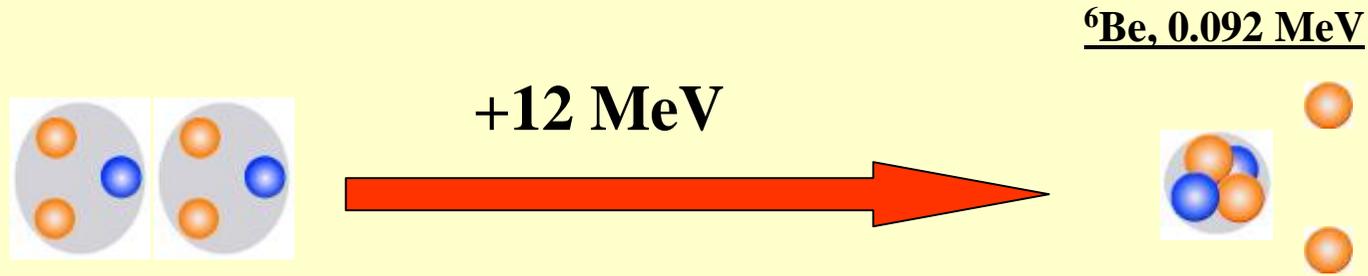
^{17}Ne 109 s



^{20}Mg 95 ms



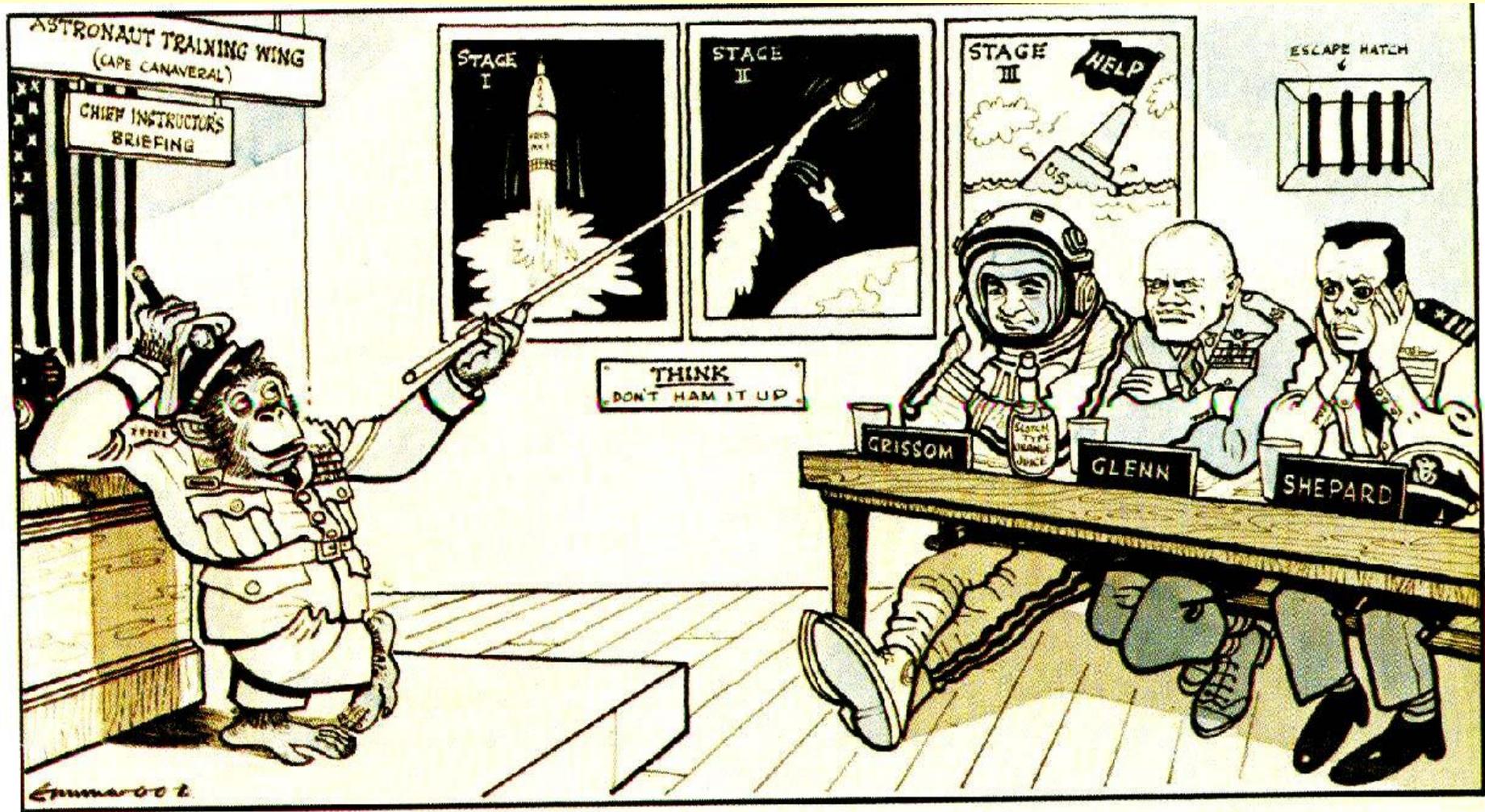
Multifragmentation in H&He



Заключение

Несмотря на более чем полувековую историю исследования атомное ядро остается лабораторией квантовой физики полной сюрпризов. Одной из основных целей современной физики атомного ядра становится масштабная задача осознания богатства таблицы изотопов как ступенек в творении окружающего мира. Это разнообразие лежит в основе возникновения мира стабильных ядер в Природе при весьма разнообразных сценариях звездного нуклеосинтеза. Радиоактивные ядра, резонансные состояния ядер – не просто шлейф отходов от звездных реакций горения и процессов взрывного типа в космосе, а необходимые «станции ожидания» на пути наиболее эффективной генерации стабильных ядер.

Сотрудничеством БЕККЕРЕЛЬ изучается фазовый переход ядерной материи из квантовой жидкости в газ нуклонов легчайших ядер. Термин «легчайшие ядра» включает дейтроны, тритоны, ядра ${}^3\text{He}$ и ${}^4\text{He}$, т. е. стабильные системы, не имеющие возбужденных состояний ниже порога распада на нуклоны. Современный интерес - свойства слабосвязанных состояний с пространственной протяженностью, превышающей размер фрагментов - состояния Ефимова, ядра со структурой молекулярного типа, Бозе конденсат разреженного газа легчайших ядер. Такие системы могут играть важную роль в процессах синтеза ядер в звездах.

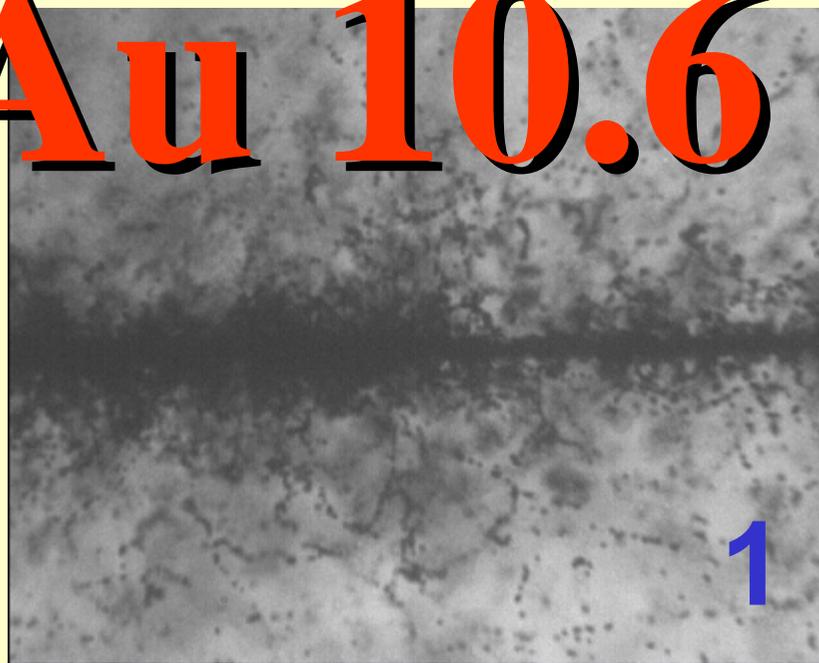


"THEN, AT 900,000 FEET, YOU'LL GET THE FEELING THAT YOU MUST HAVE A BANANA!"

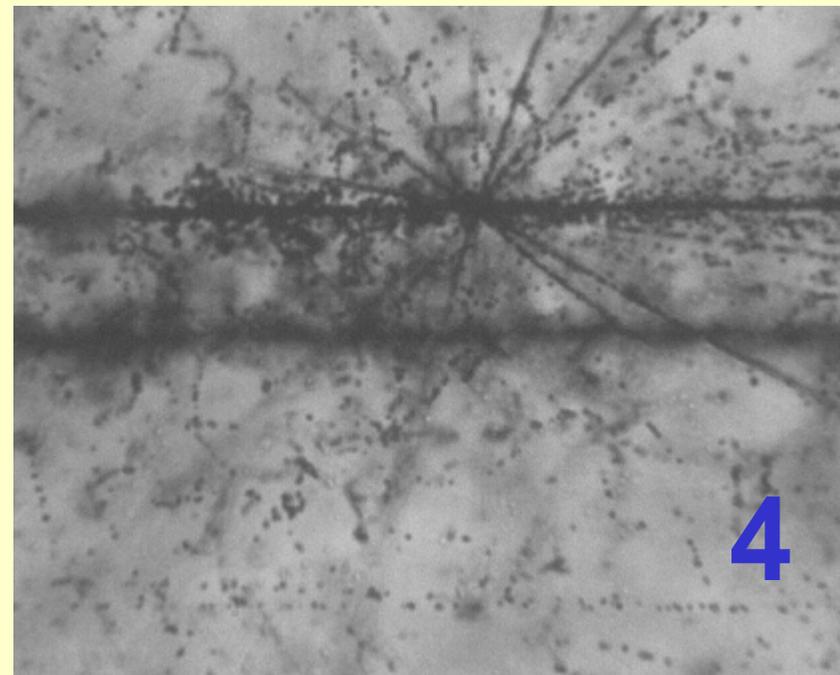
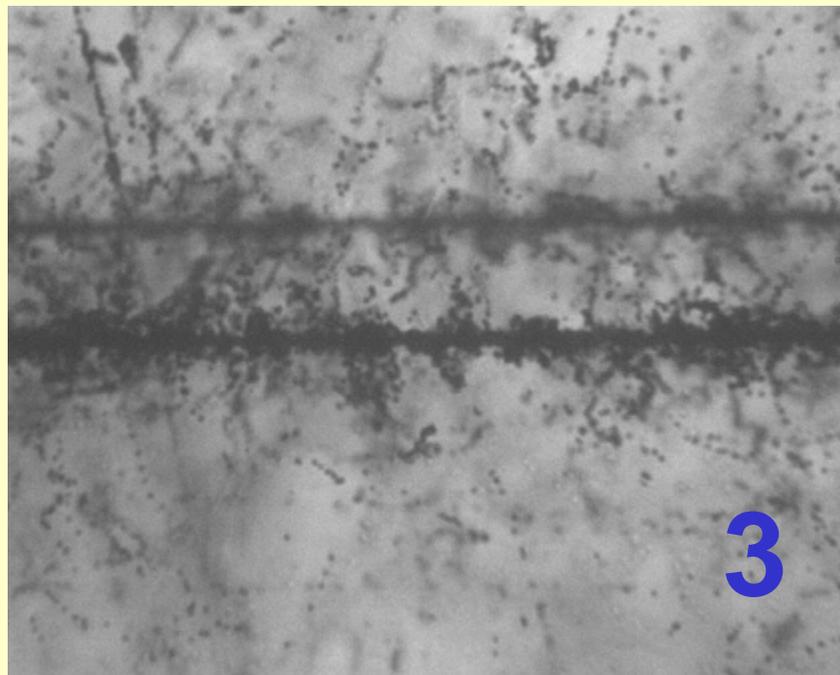
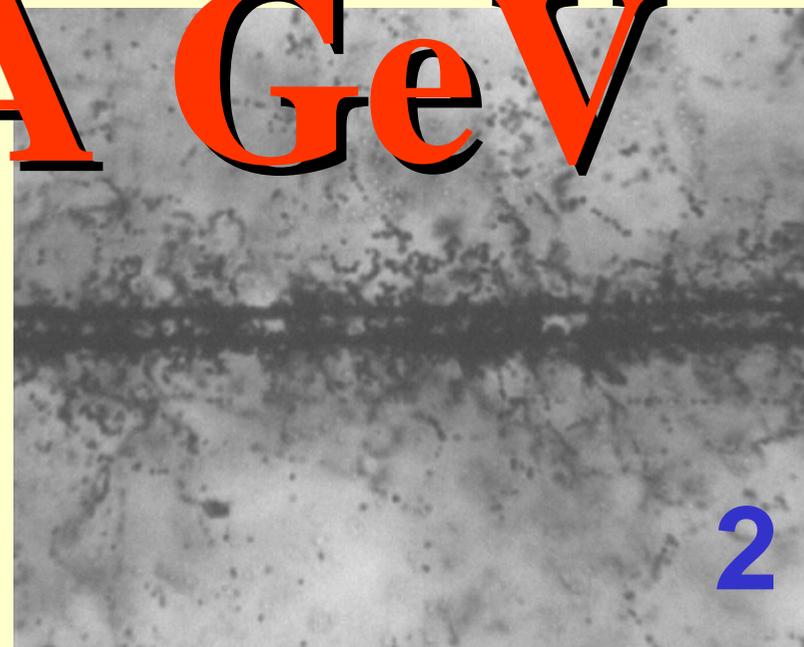
FROM DAILY MAIL — 23RD FEBRUARY, 1960.

Animals flew first, paving the way for man. Chimpanzees were physiologically manlike and easily trained. The Air Force's Aeromedical Field Laboratory provided them.

Au 10.6

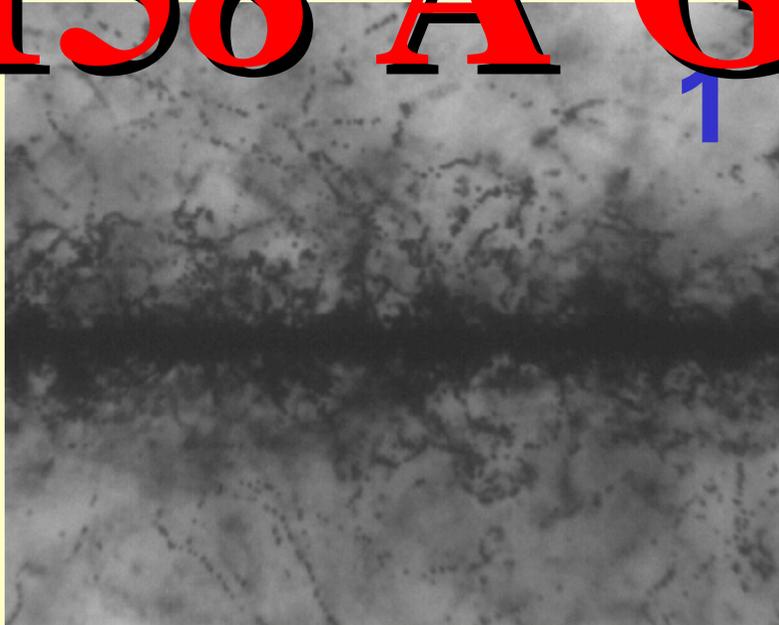


A 6.4



158 A GeV/c Pb

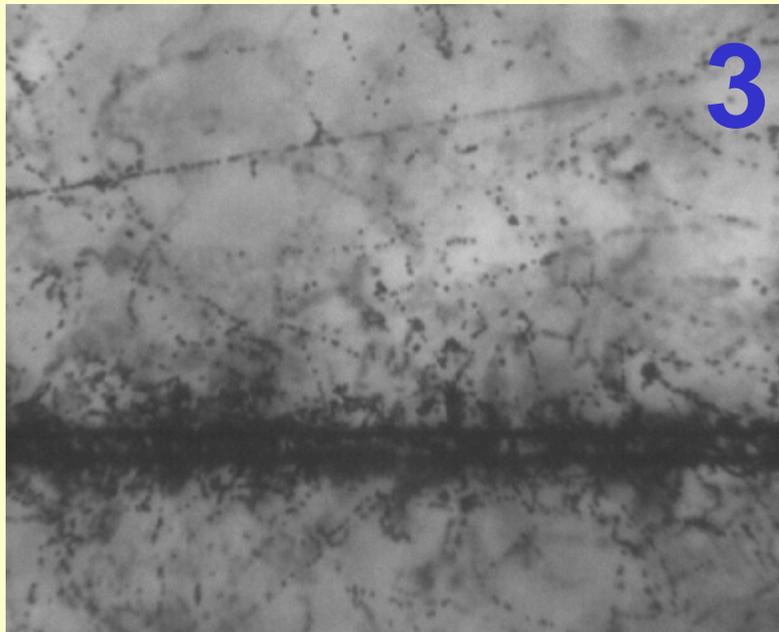
1



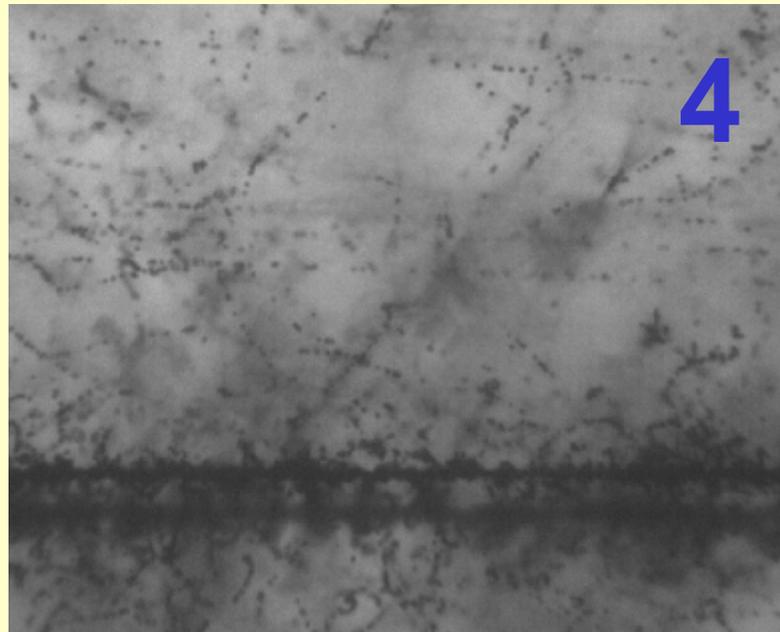
2



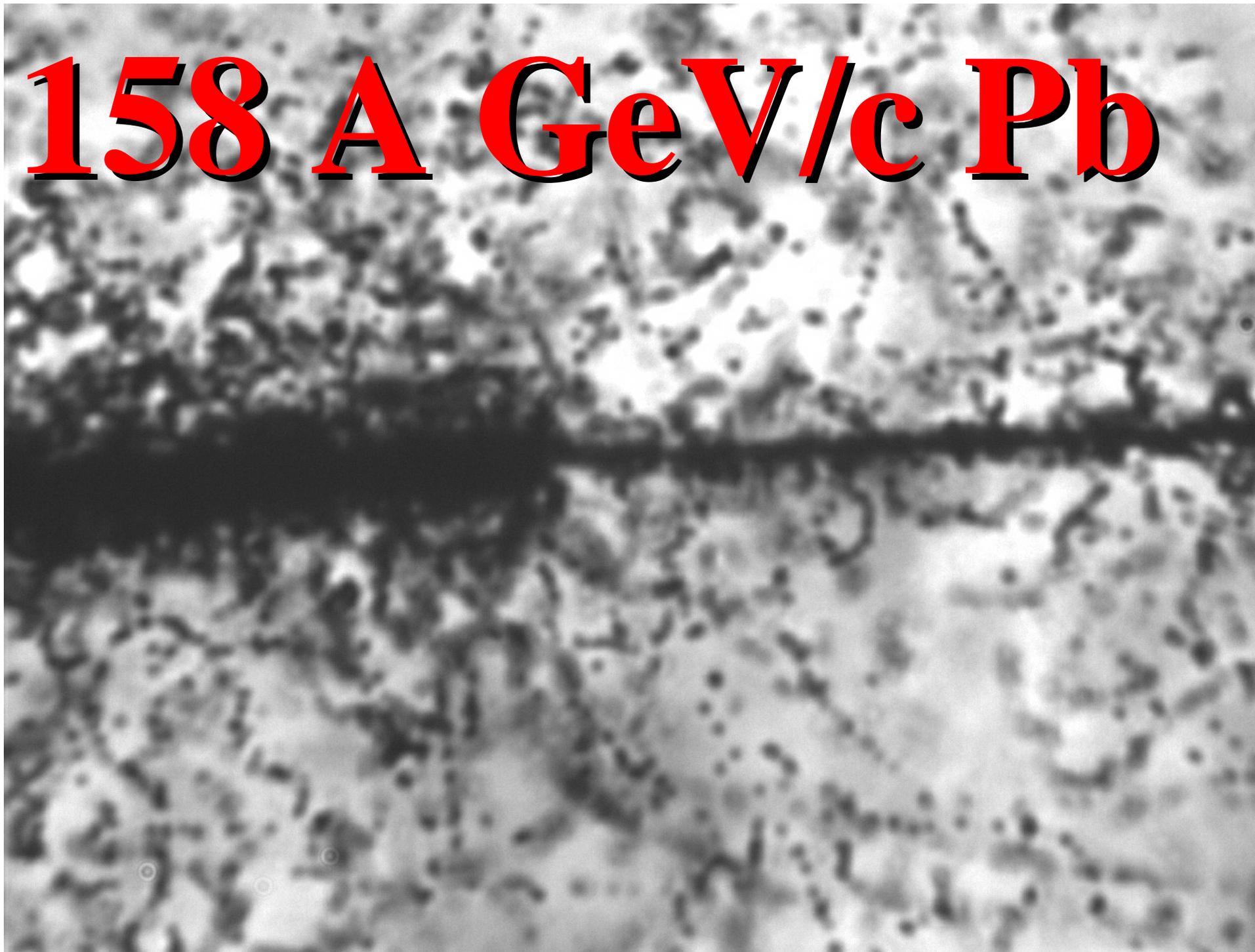
3



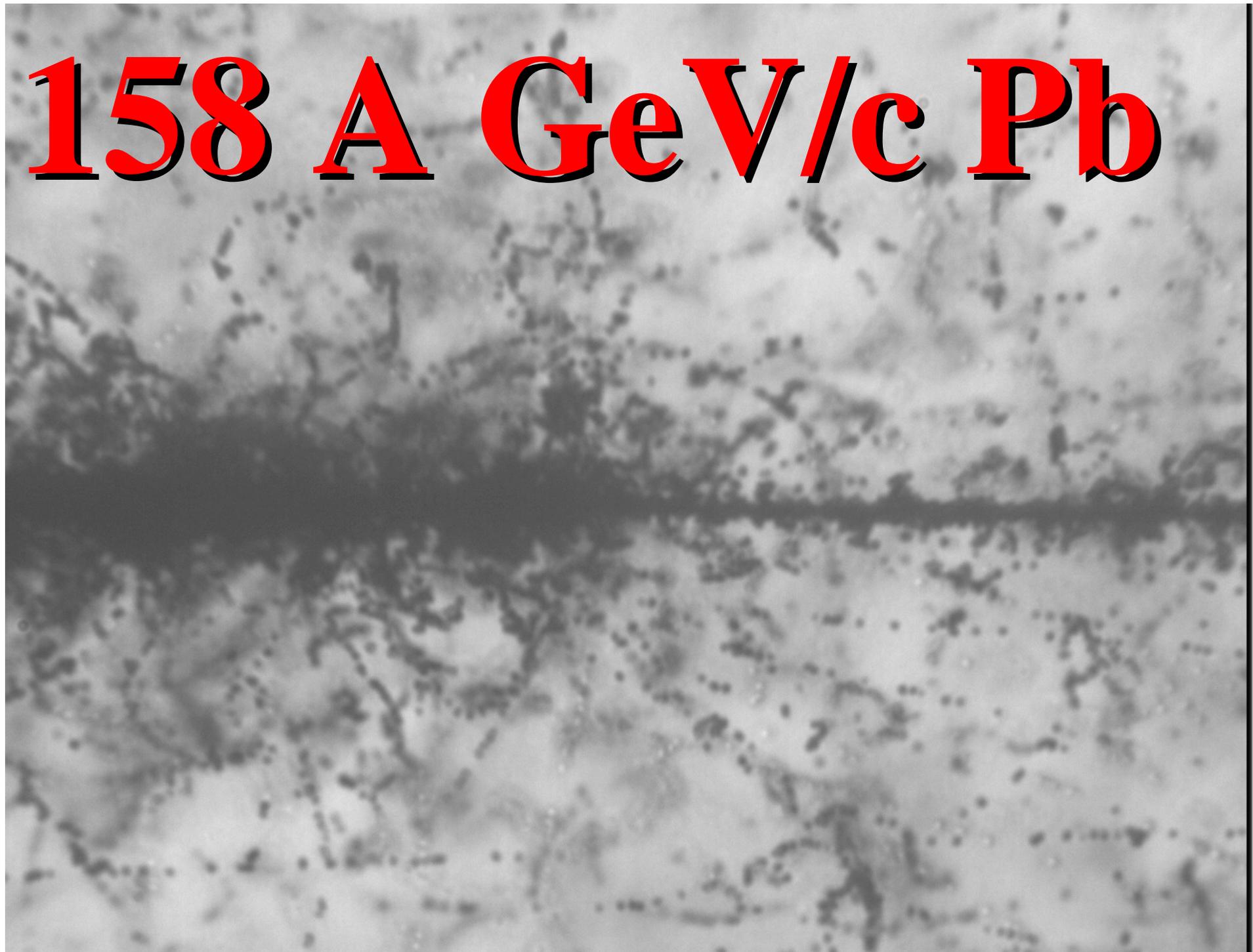
4



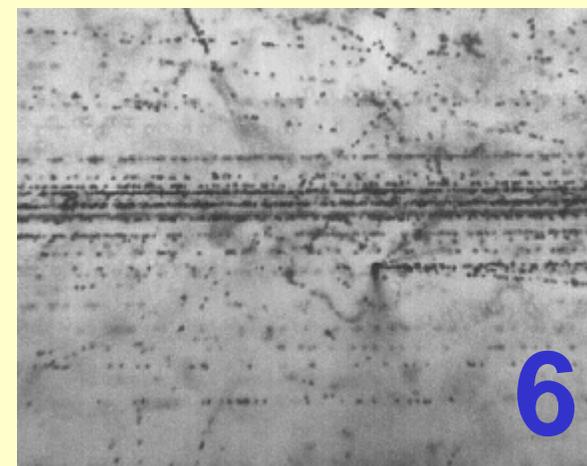
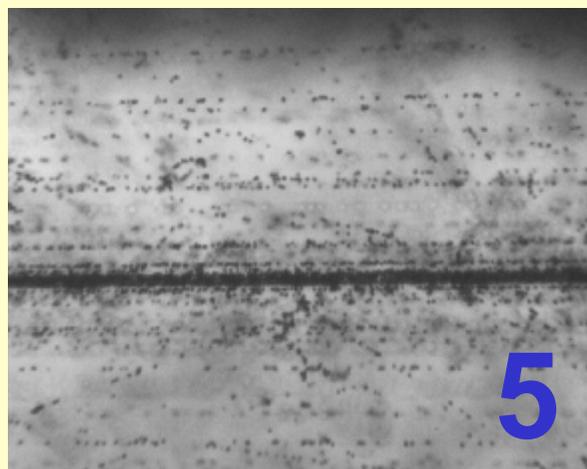
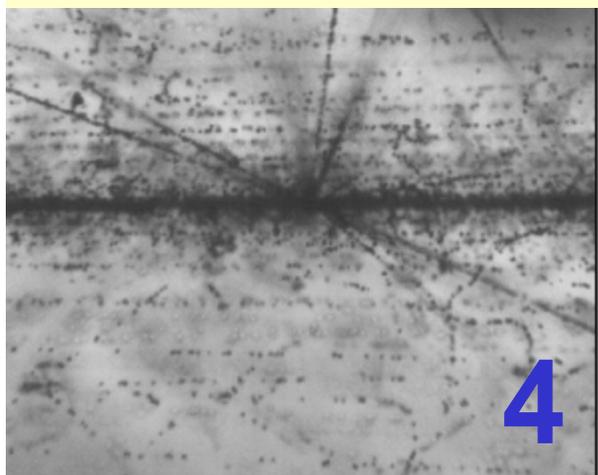
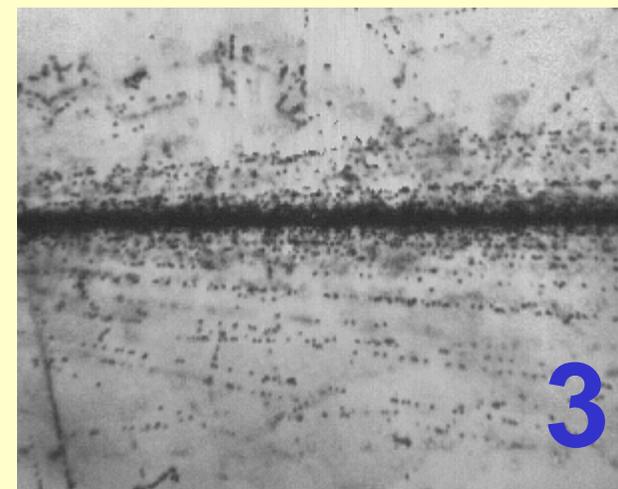
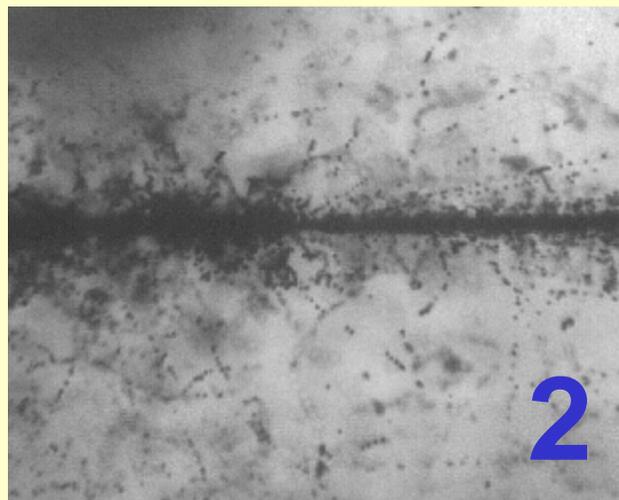
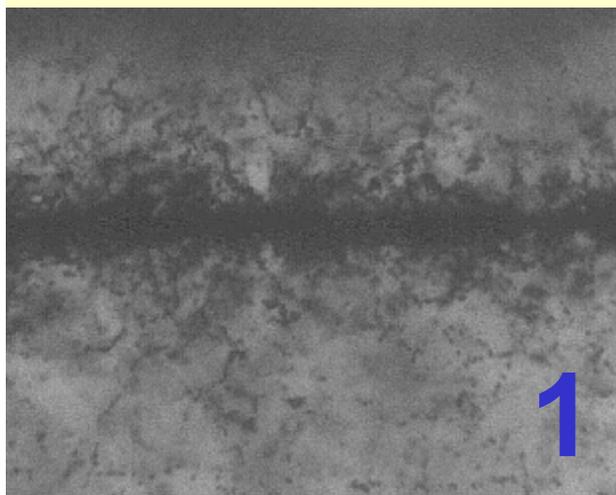
158 A GeV/c Pb



158 A GeV/c Pb



158 A GeV/c Pb



158 A GeV/c Pb

