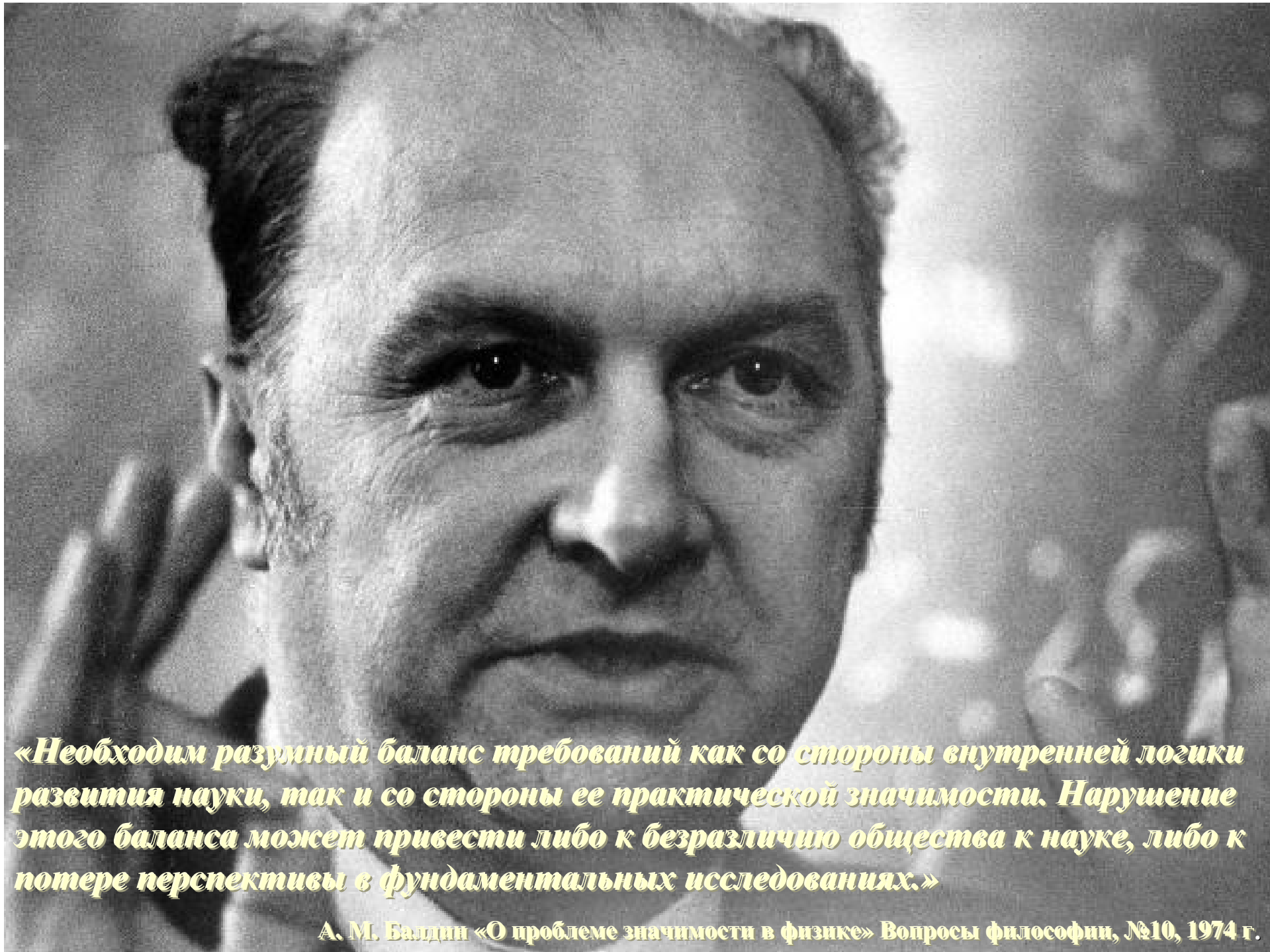


**Нуклотрон как инструмент  
исследований по релятивистской  
ядерной астрофизике**

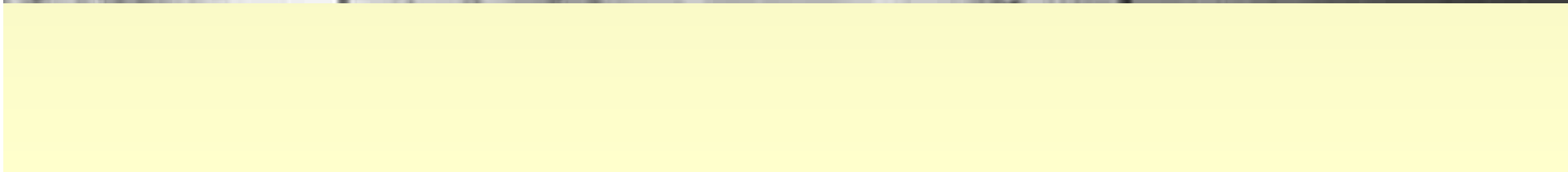
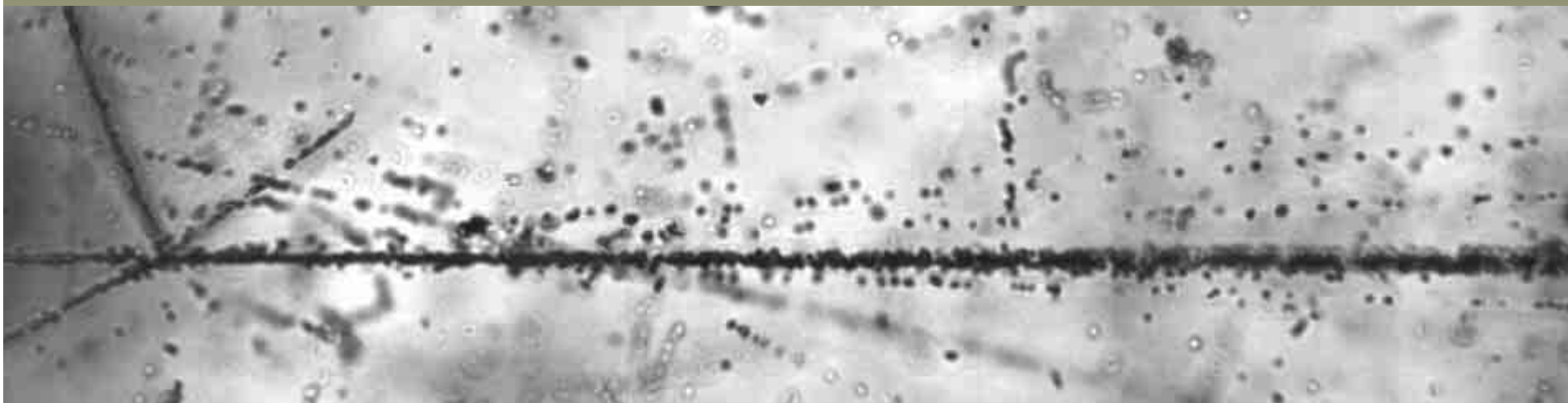
*К 80-летию со дня рождения А. М. Балдина*

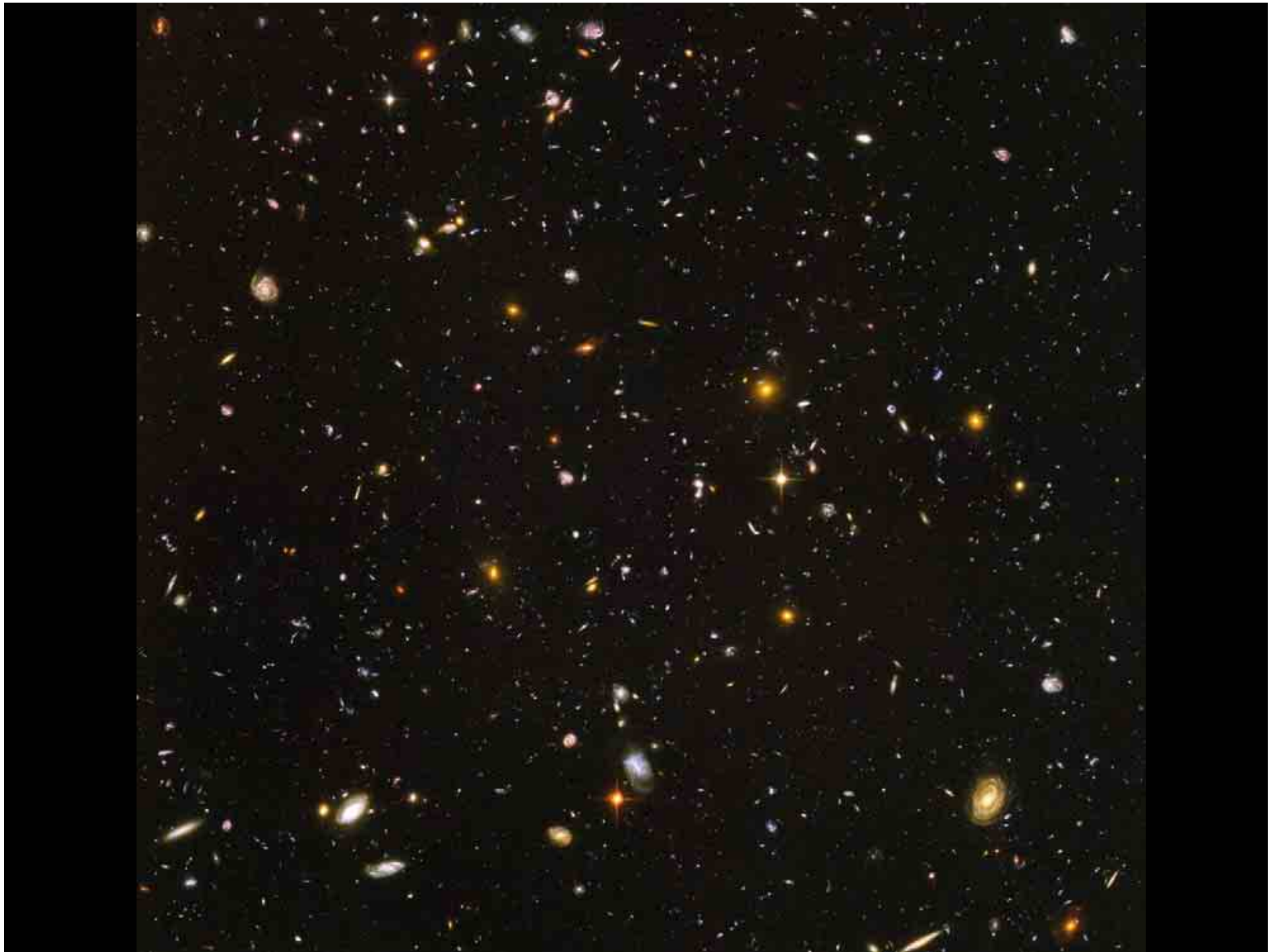


*«Необходим разумный баланс требований как со стороны внутренней логики развития науки, так и со стороны ее практической значимости. Нарушение этого баланса может привести либо к безразличию общества к науке, либо к потере перспективы в фундаментальных исследованиях.»*

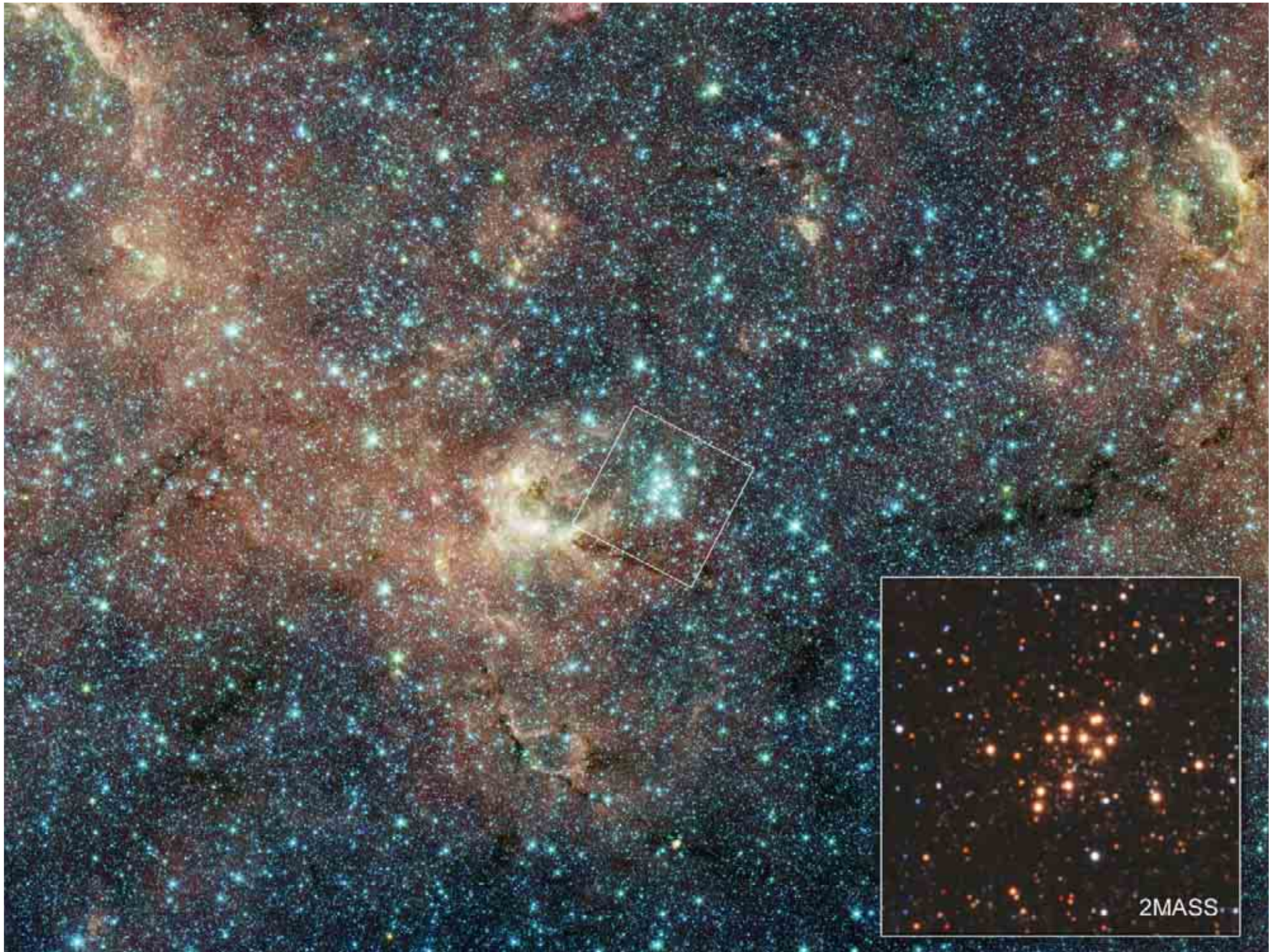
*А. М. Балдин «О проблеме значимости в физике» Вопросы философии, №10, 1974 г.*

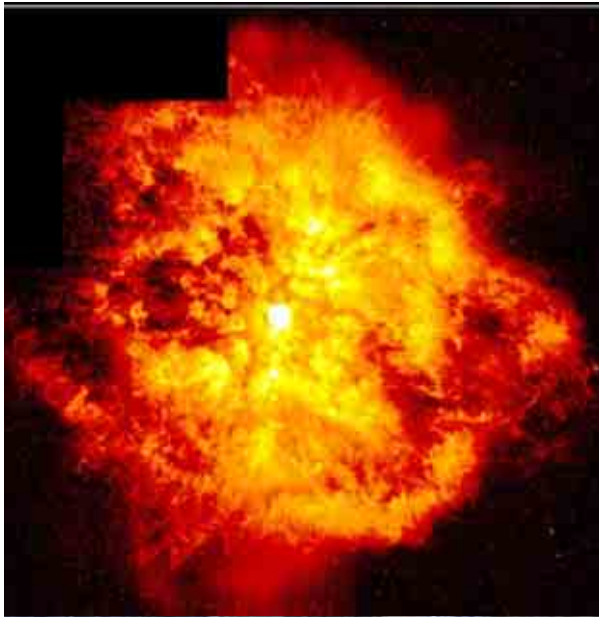
# 3.65А ГэВ $^{28}\text{Si}$ в ЭМУЛЬСИИ (ПАВИКОМ в ФИАН)

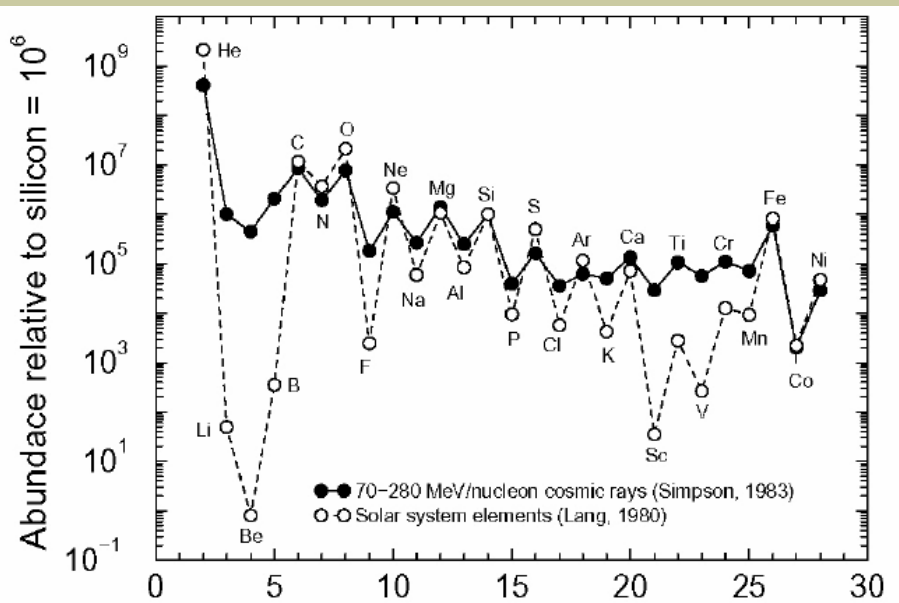
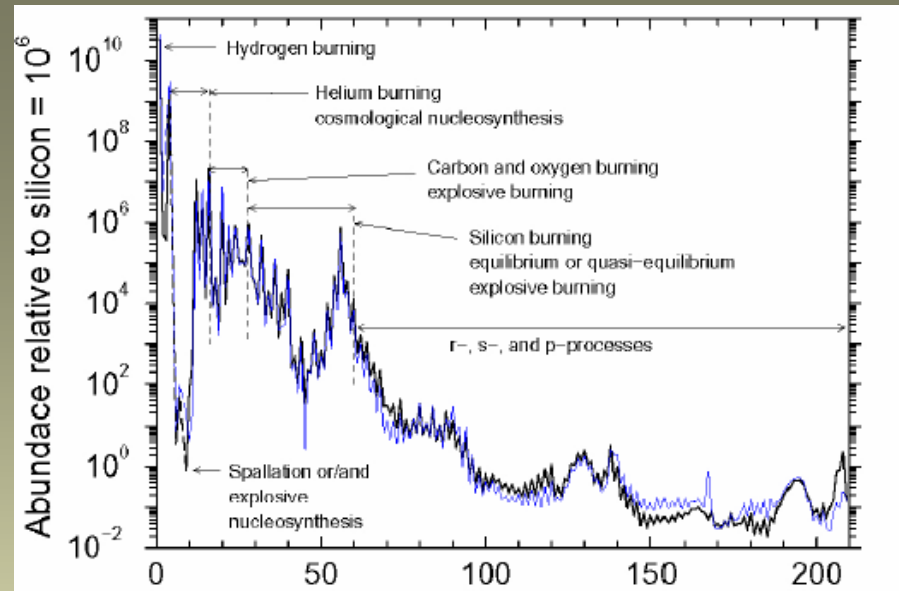
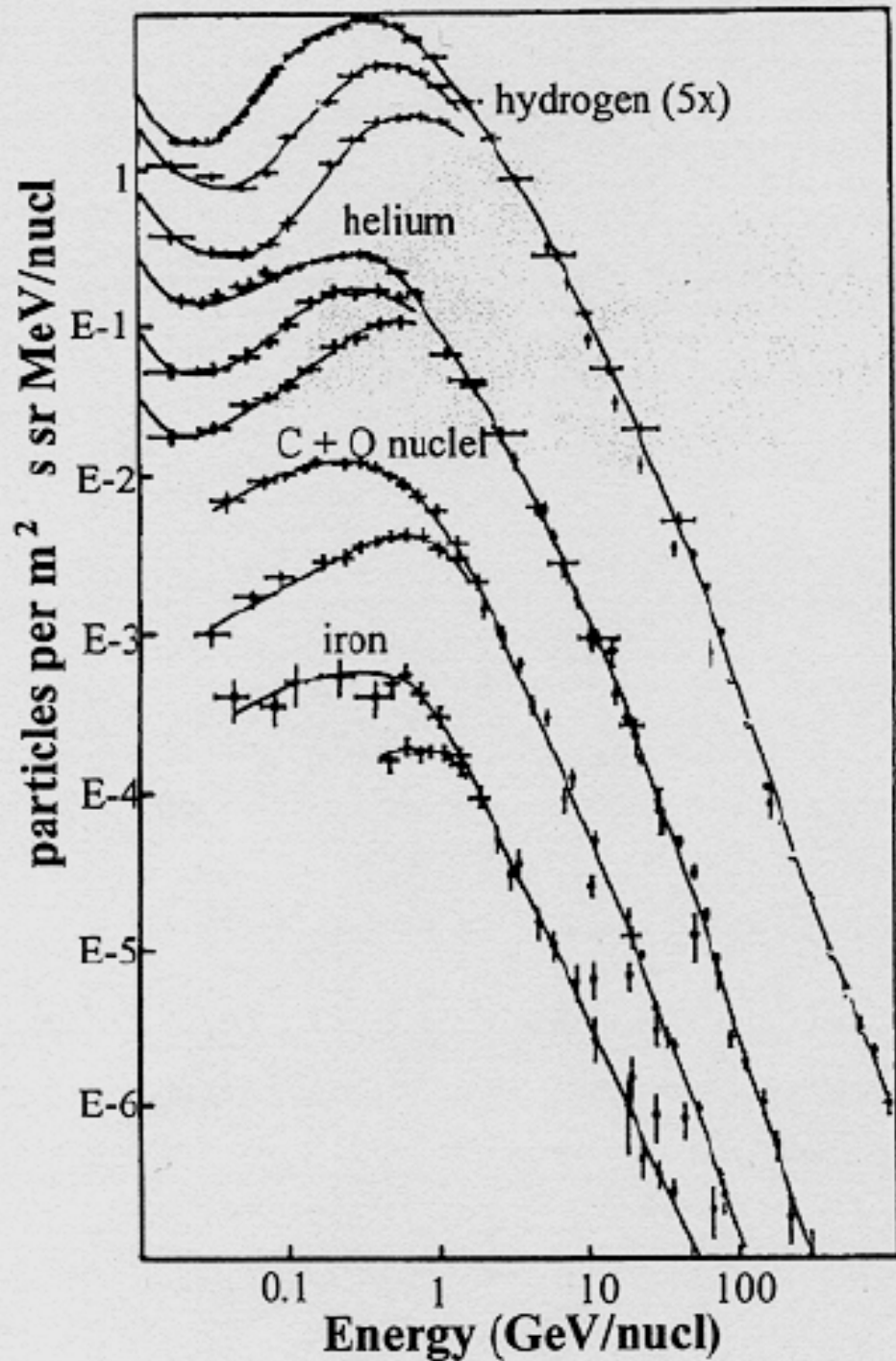










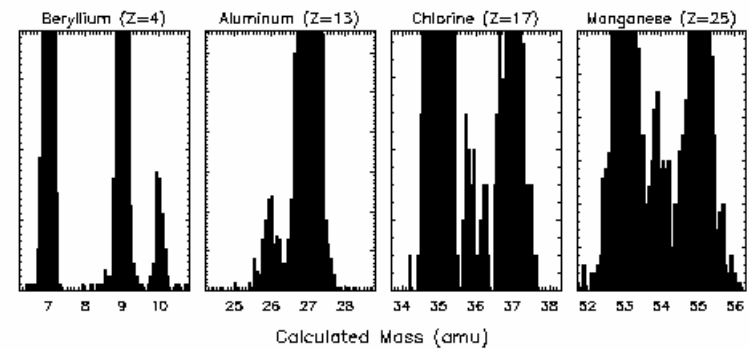
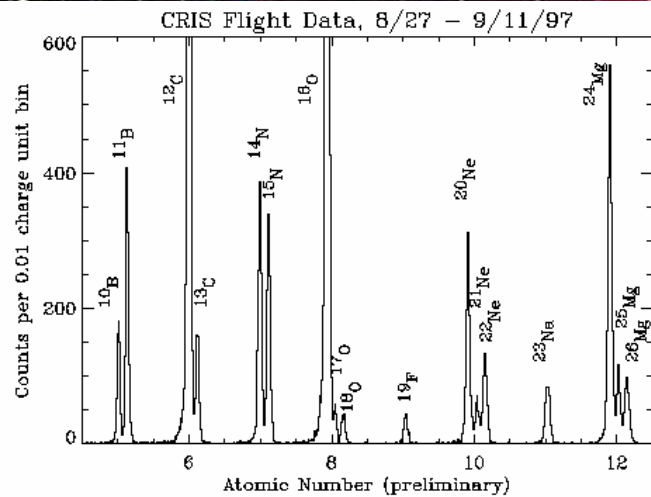




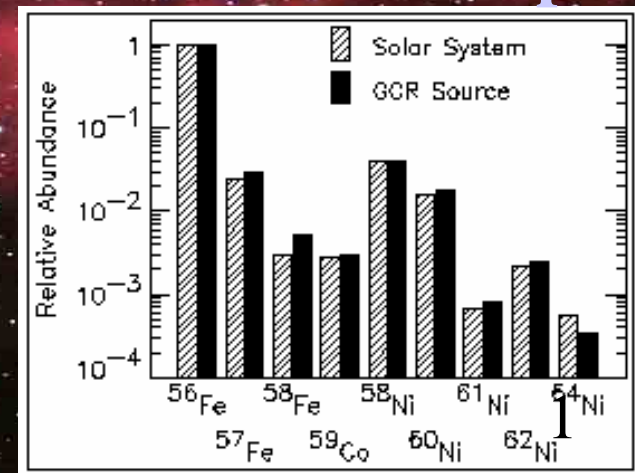
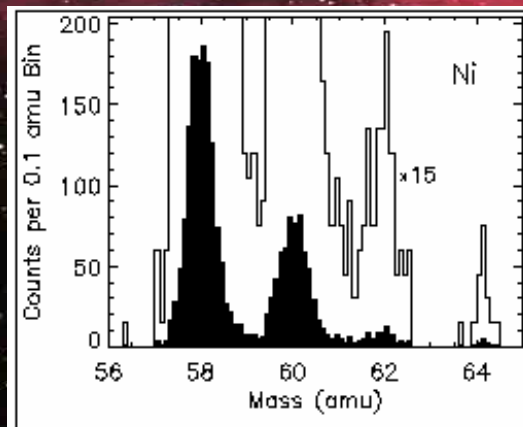
# Advanced Composition Explorer

## Cosmic Ray Isotope Spectrometer

### Radioactive Clock isotopes



### Abundances of Iron, Cobalt, and Nickel Isotopes



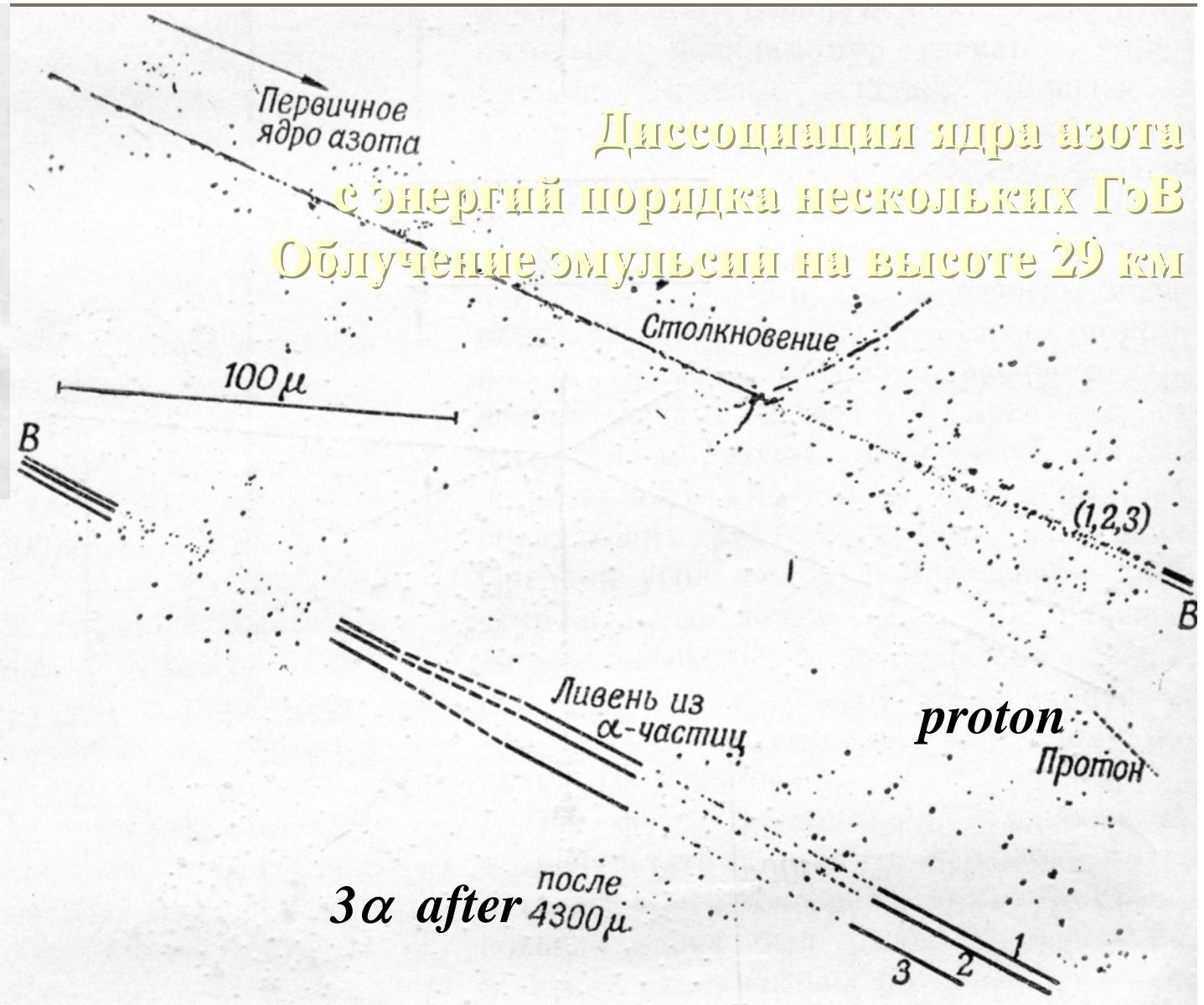
PROGRESS  
in  
COSMIC RAY PHYSICS

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  $\alpha$ -частицы, которые в лабораторной системе испускаются в узком конусе в направлении движения первичной частицы

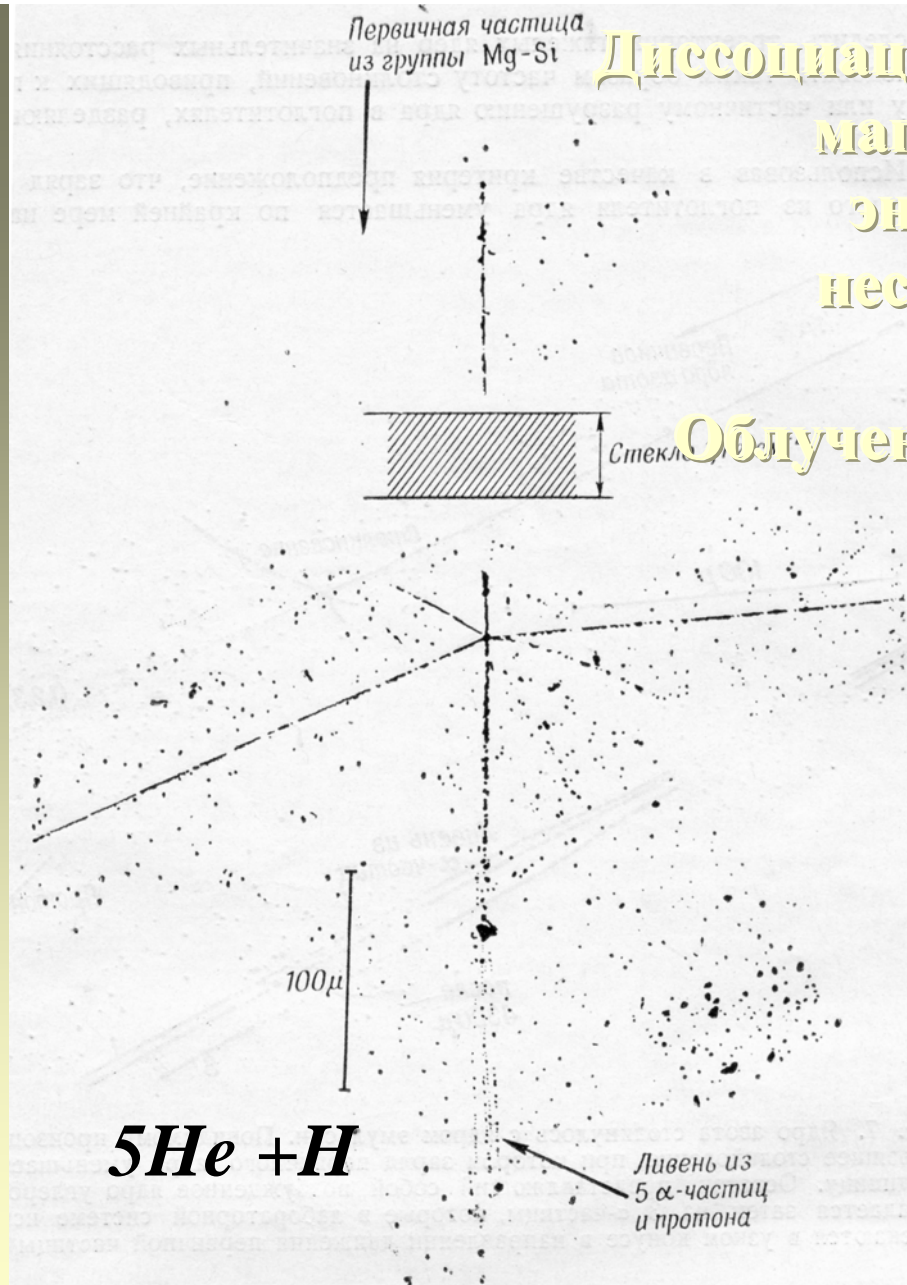
PROGRESS  
in  
COSMIC RAY PHYSICS

Edited by  
J. G. WILSON

Contributors

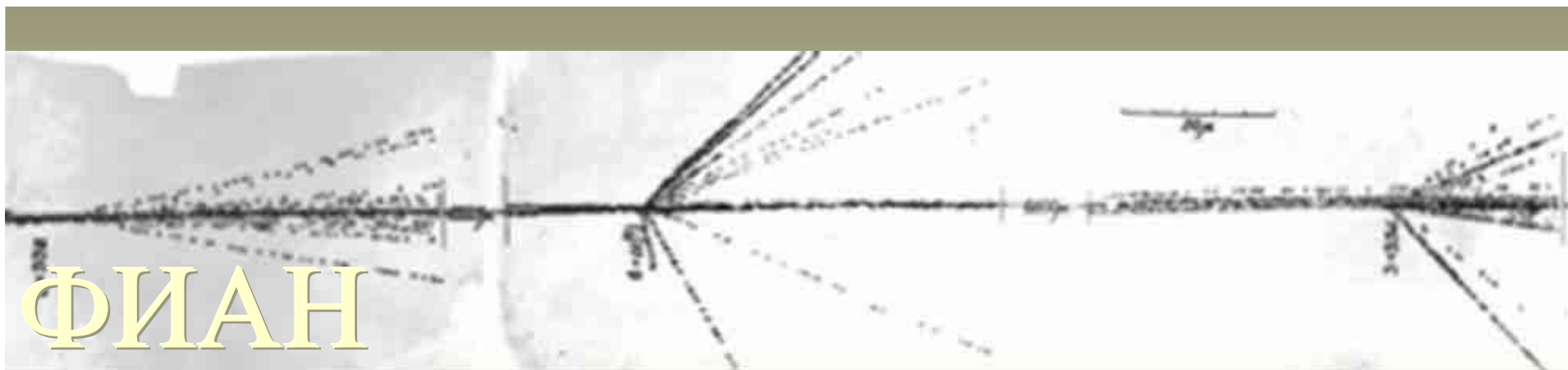
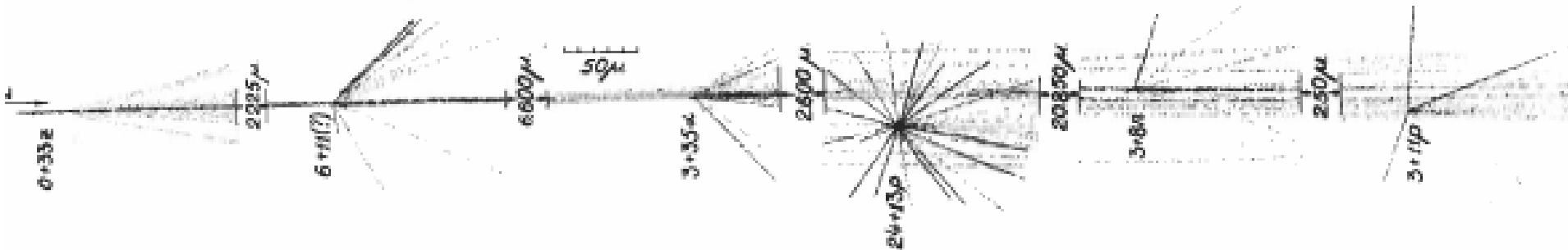
U. Camerini	L. Michel	G. Puppi
W. O. Lock	B. Peters	N. Dallaporta
D. N. Perkins	H. V. Neher	E. P. George
C. C. Butler		H. Elliot

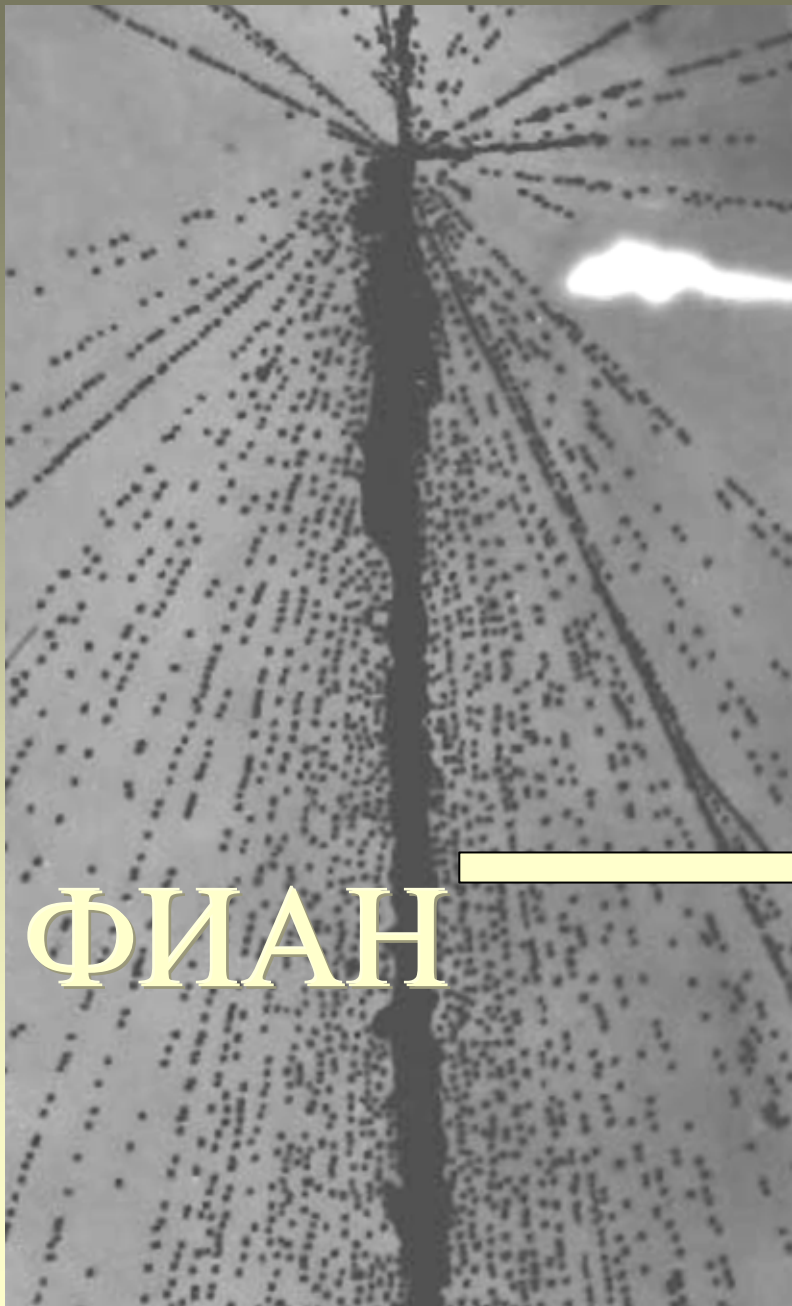
AMSTERDAM, 1952



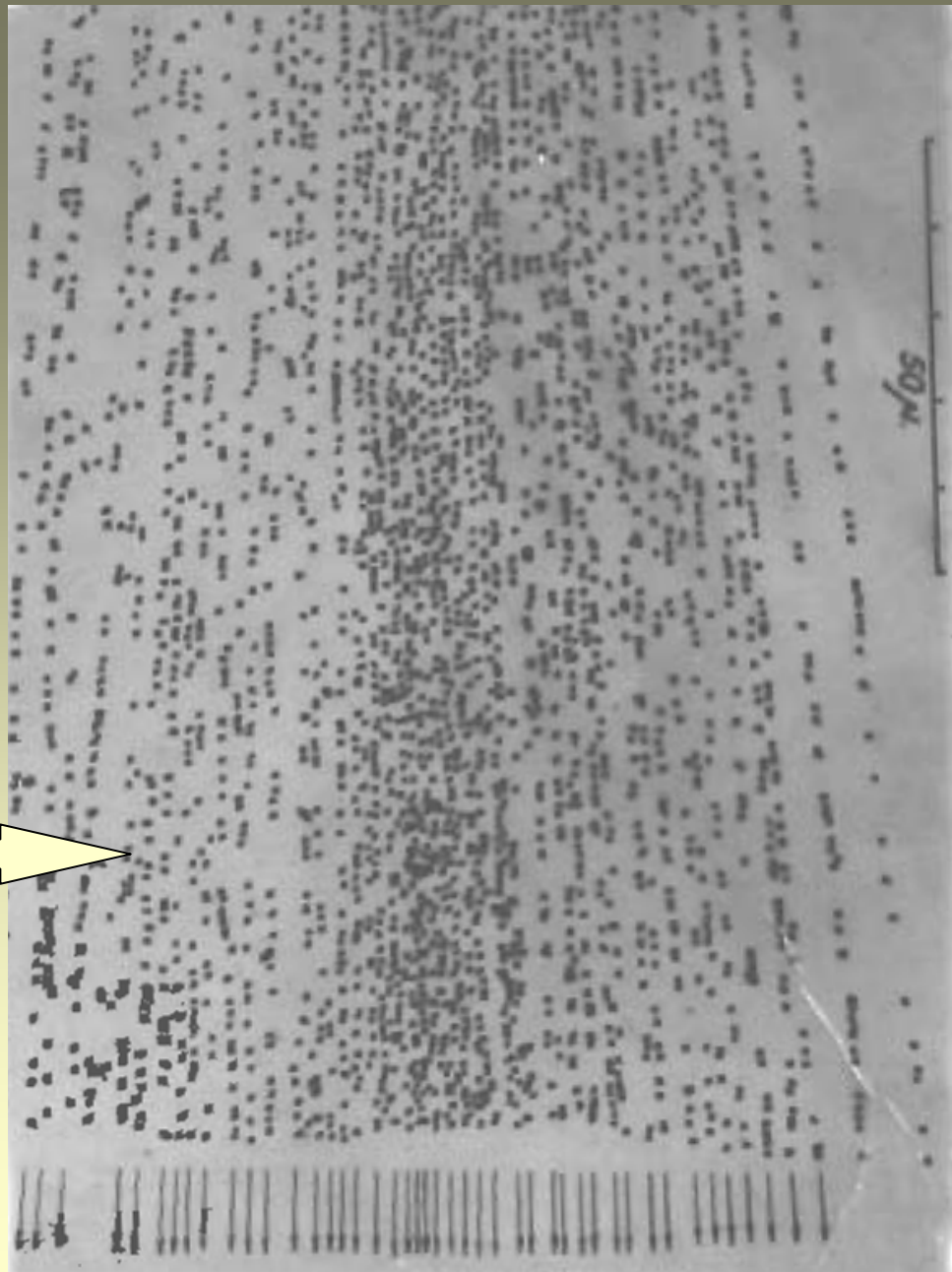
Диссоциация ядра группы магний-кремний с энергией порядка нескольких ГэВ на нуклон. Облучение эмульсии на высоте 29 км.

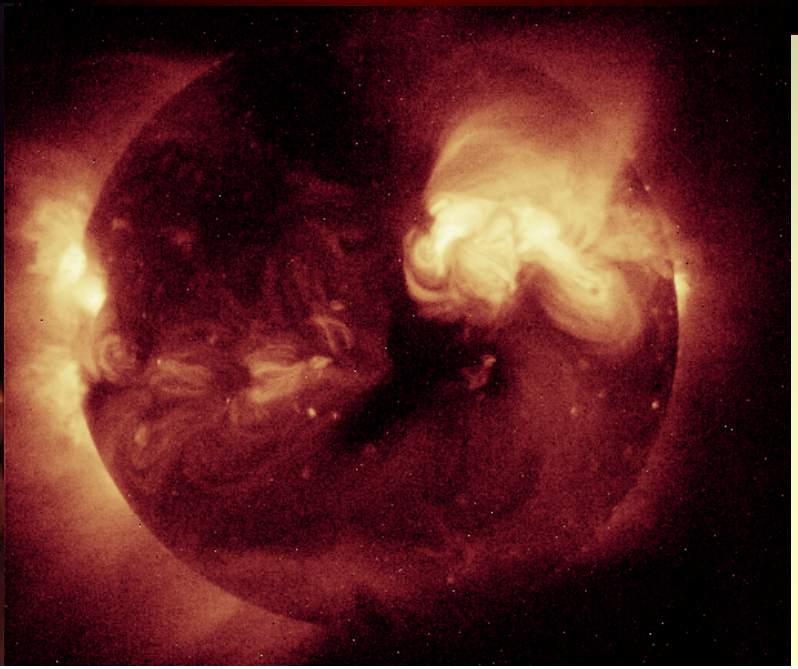
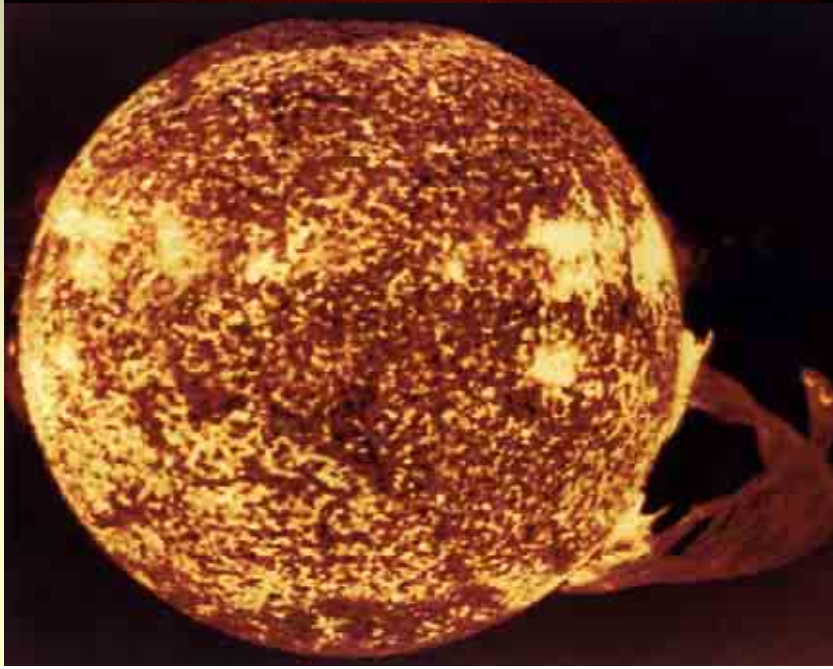
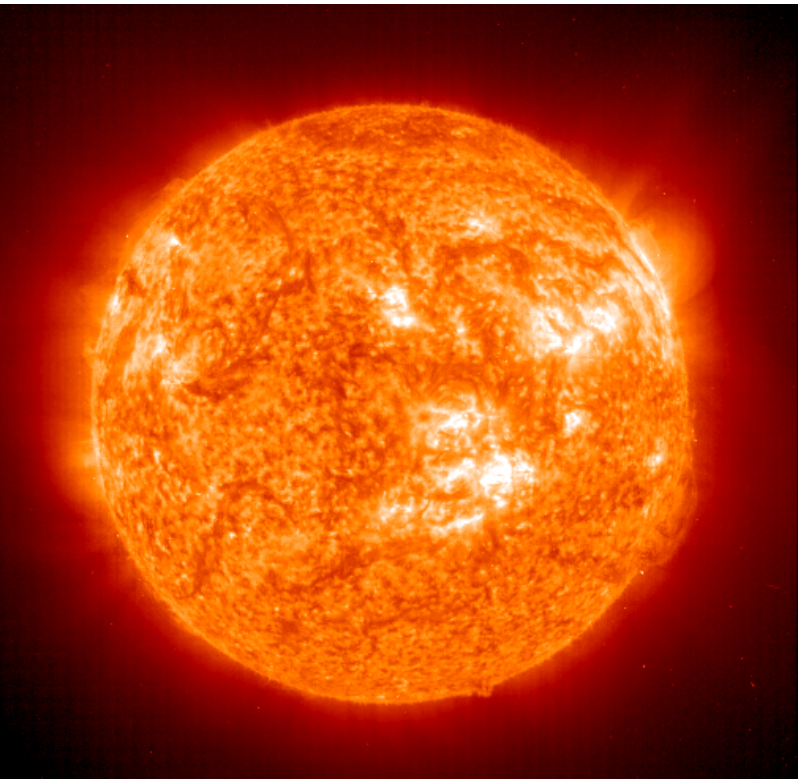
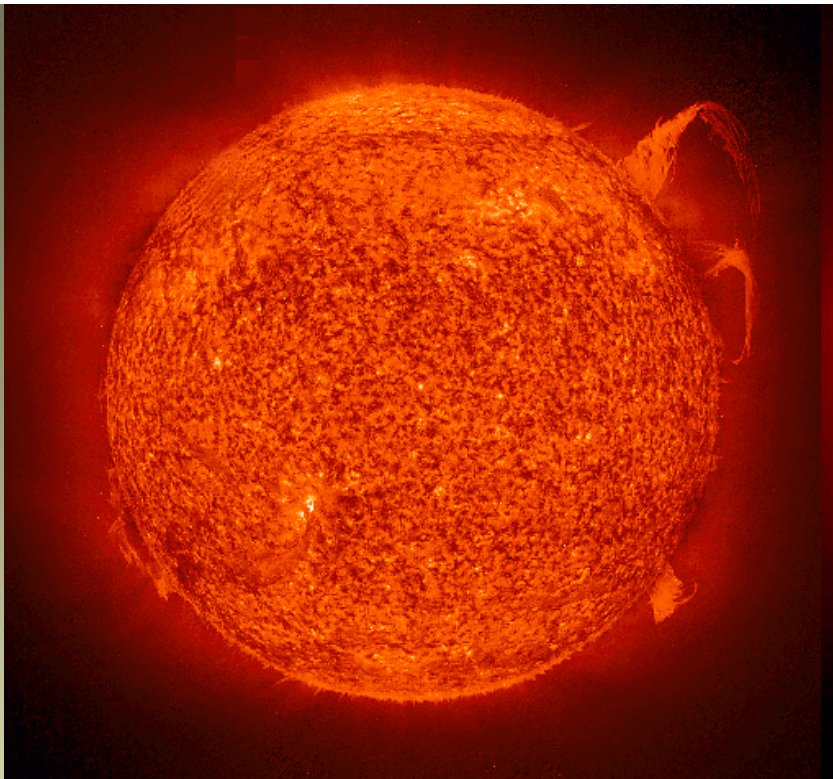
Фиг. 6. Ядро из группы Mg—Si столкнулось с ядром эмульсии. Предполагают, что узкий ливень, состоящий из протона и 5 α-частиц, возник в результате испарения первичного ядра, возбужденного столкновением. Сстальные частицы, испущенные в звезде, являются, повидимому, осколками ядра мишени.



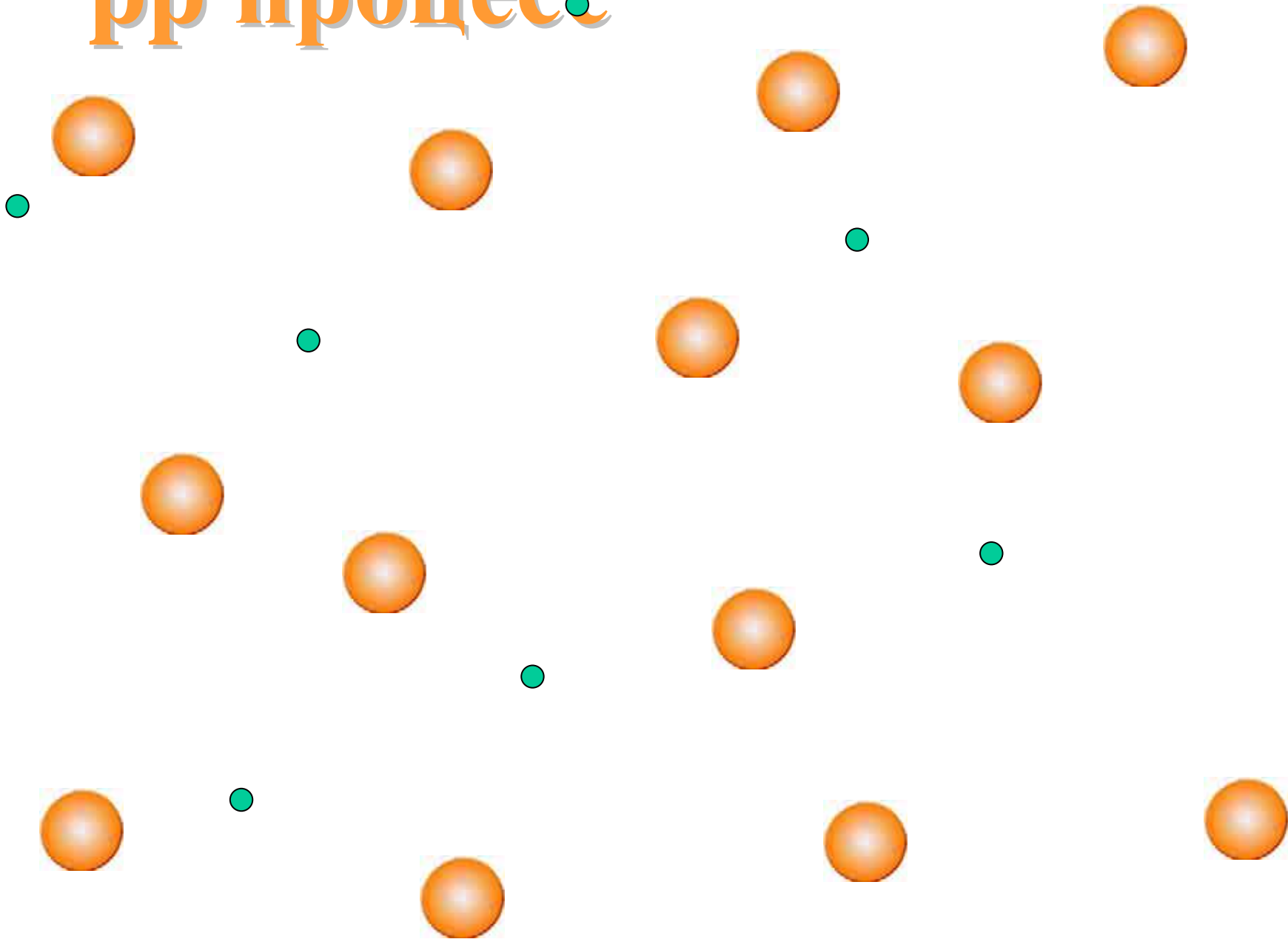


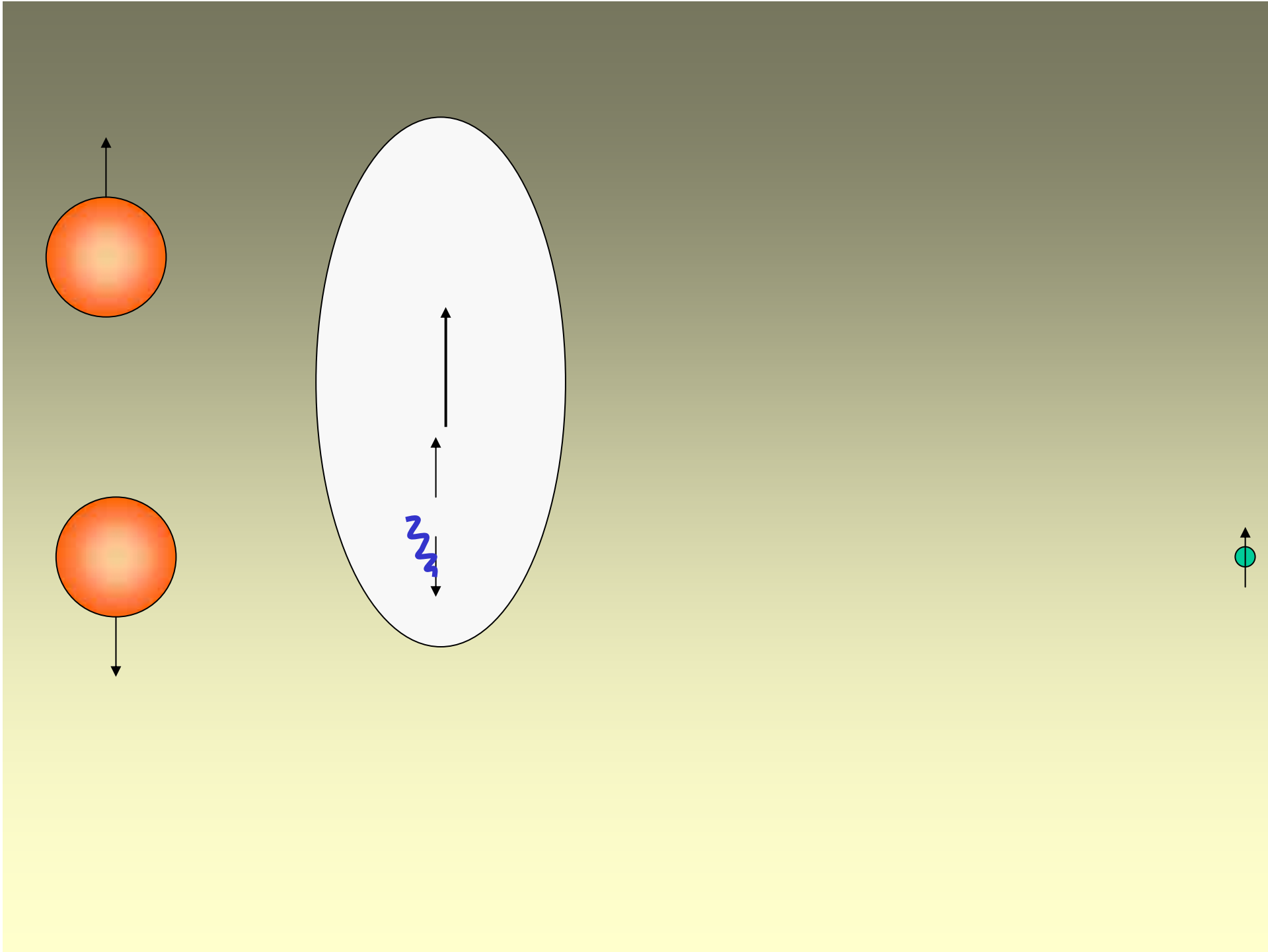
ФИАН



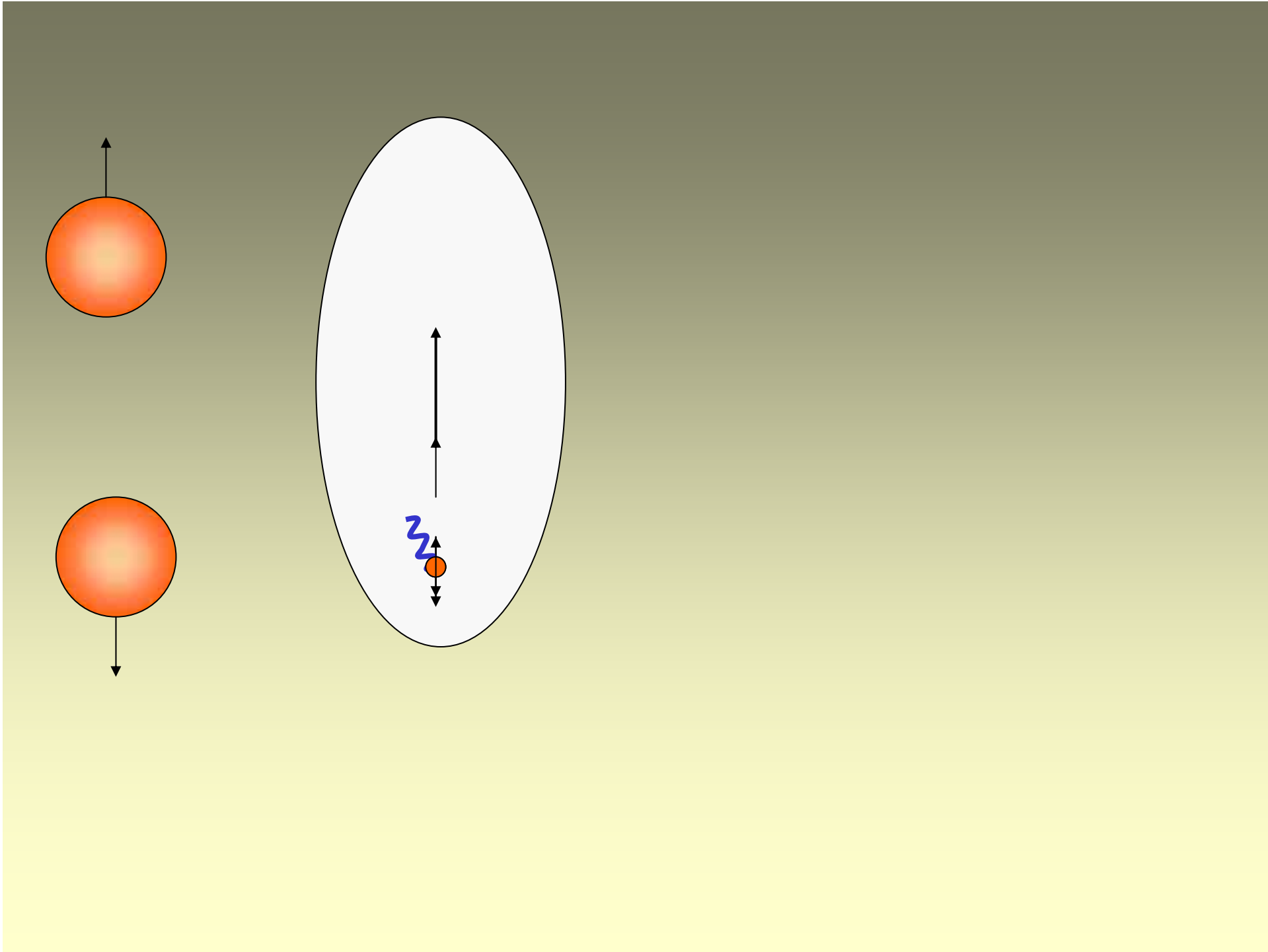


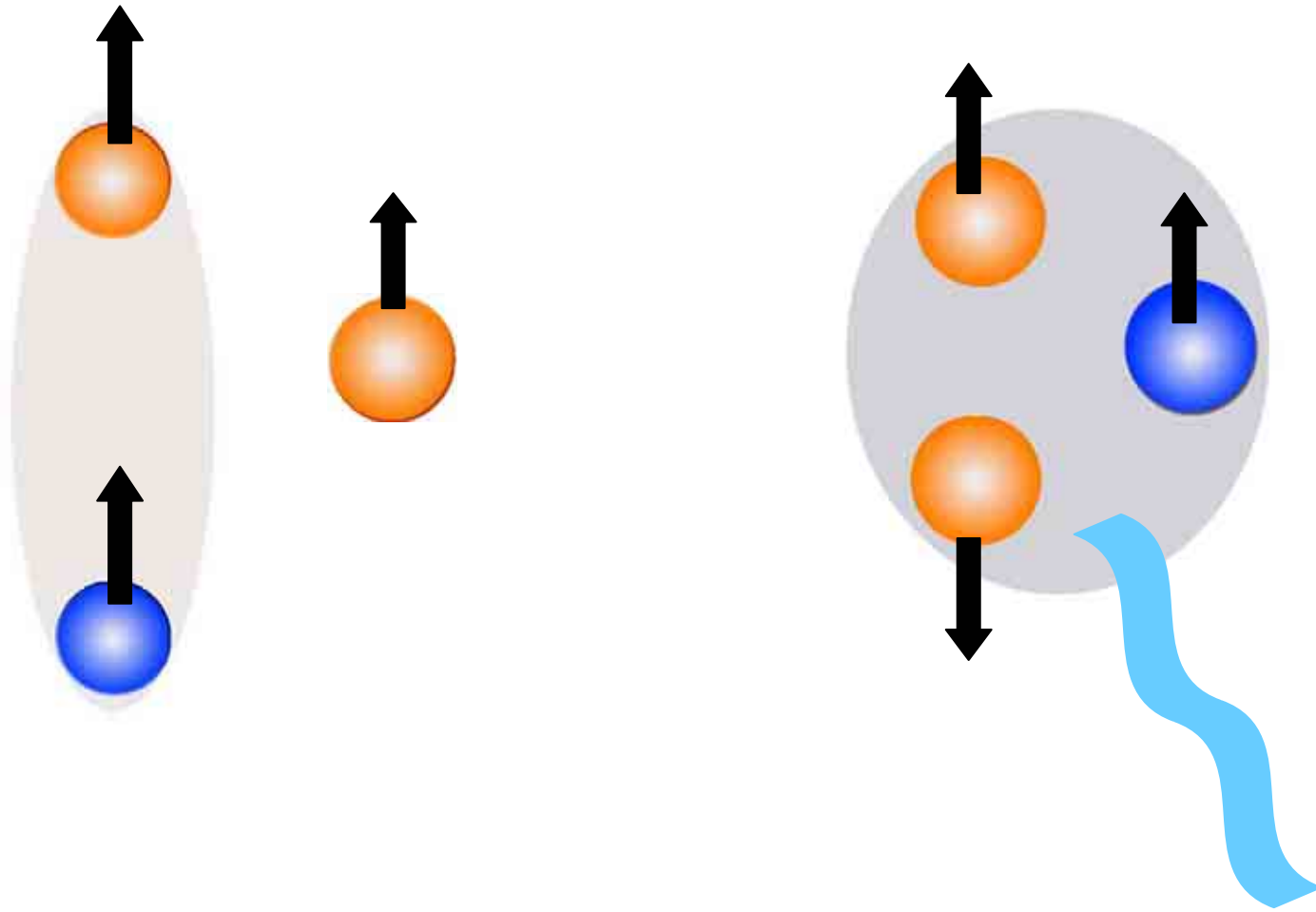
# pp процесс

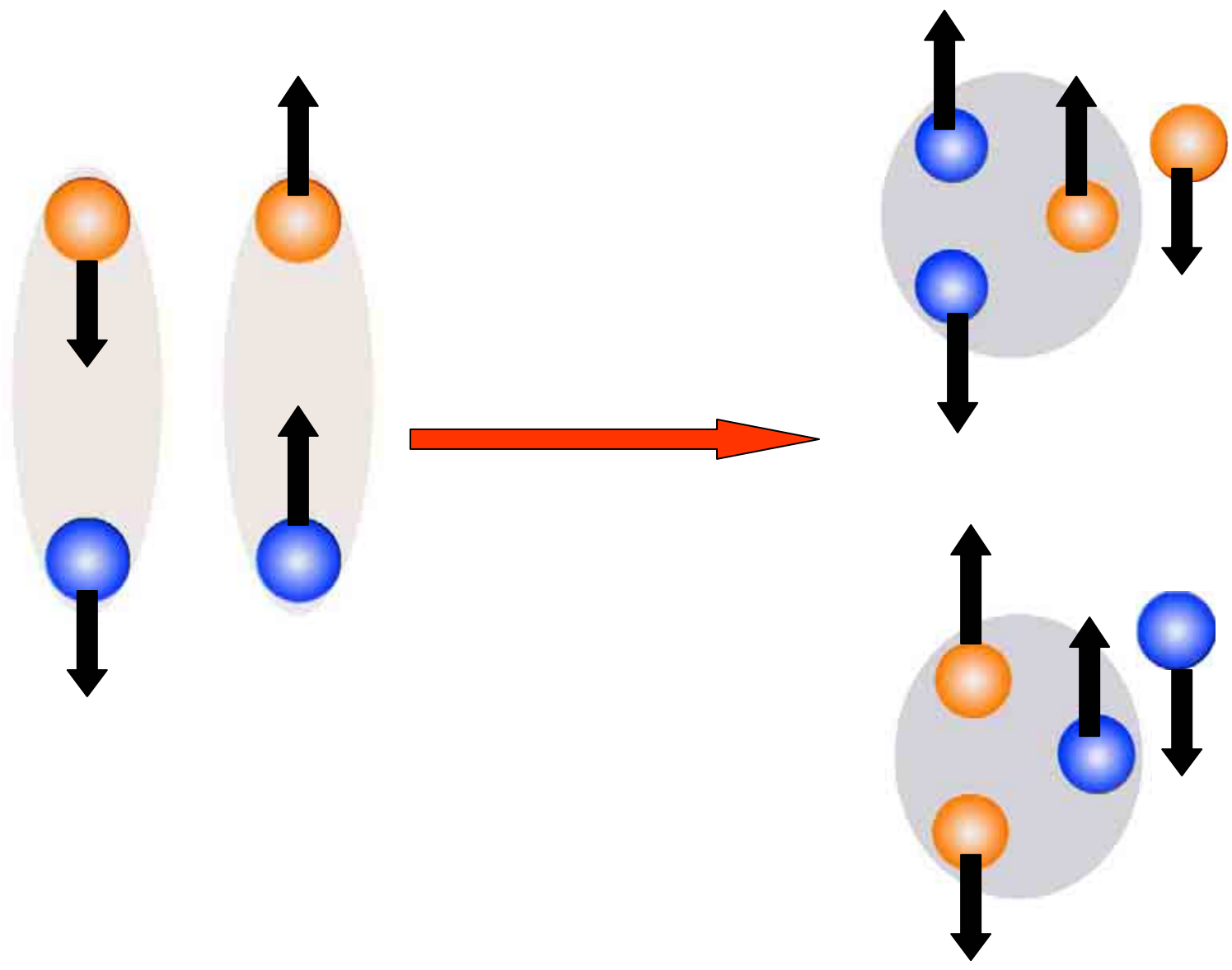


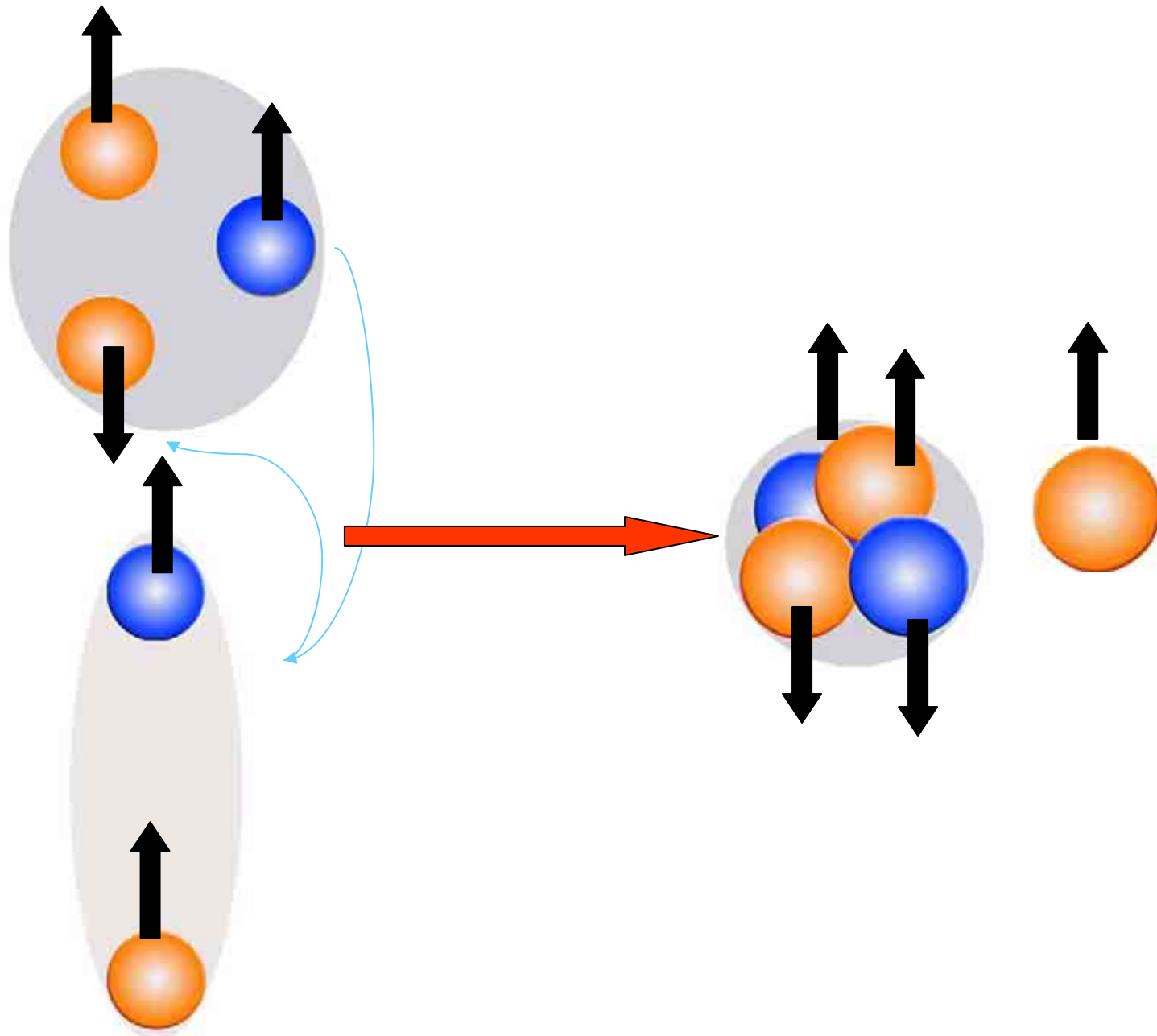


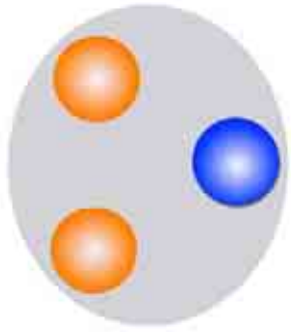




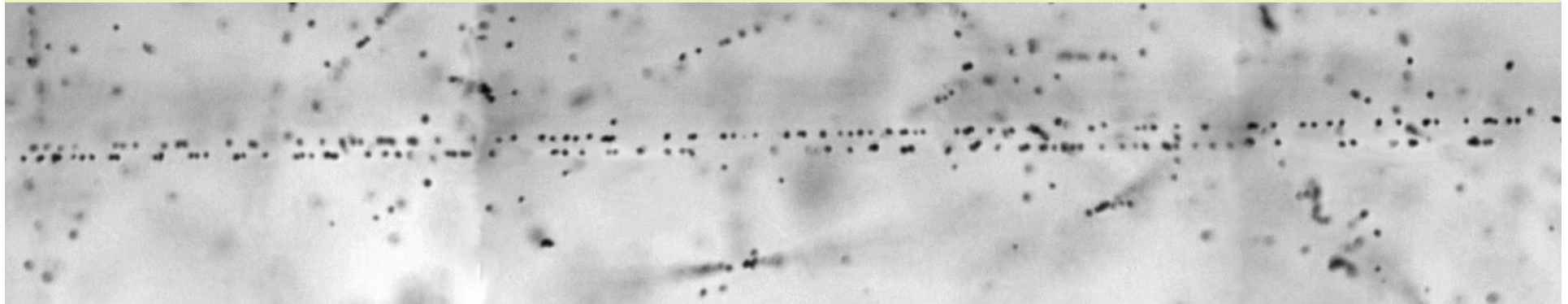
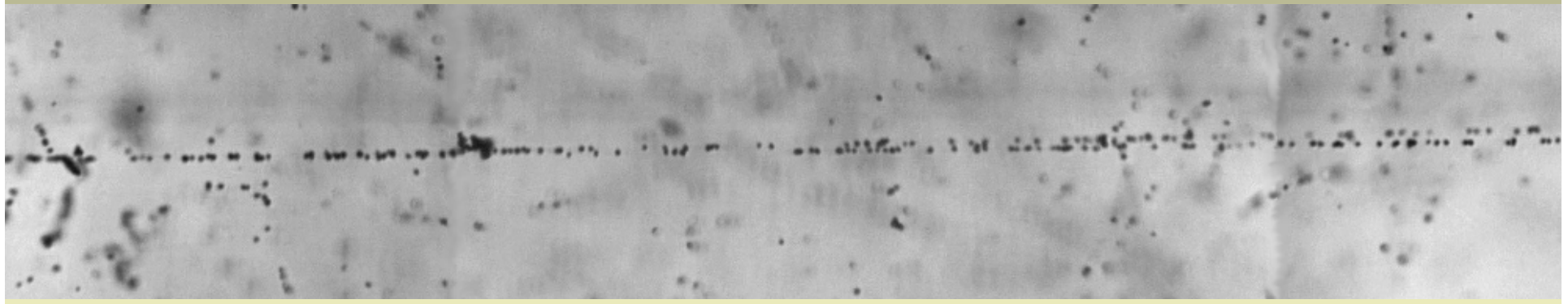
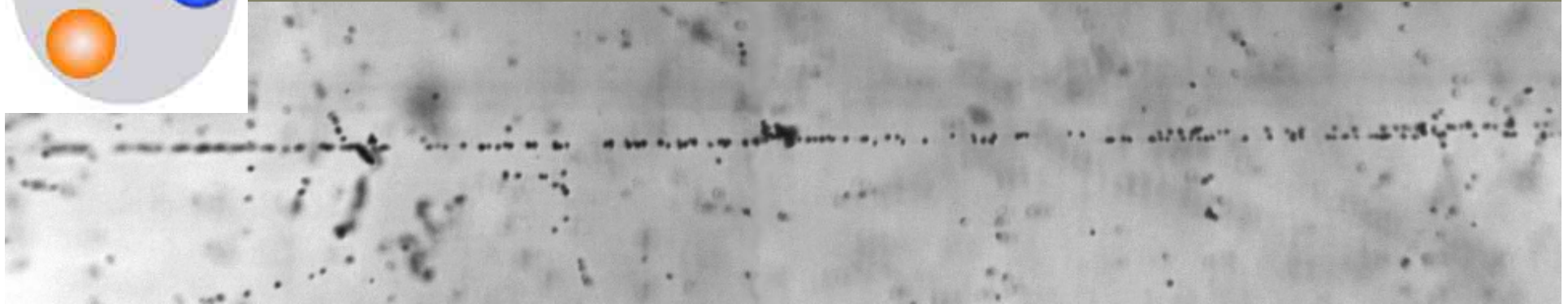


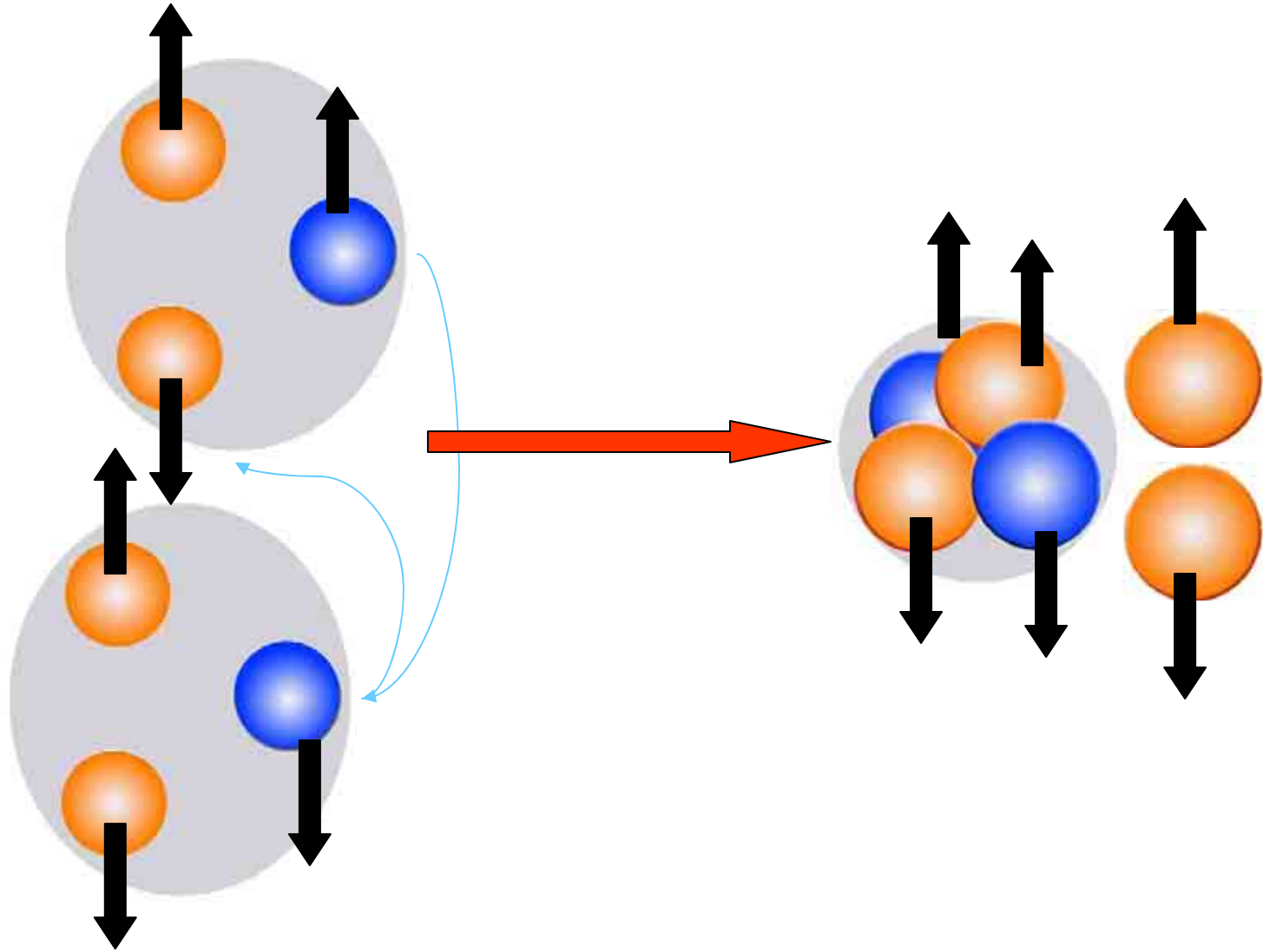






$^3\text{He}$





# К границе протонной стабильности

$\Gamma=0.23 \text{ MeV}$

$^8\text{C}$

$\Gamma=1.4 \text{ MeV}$

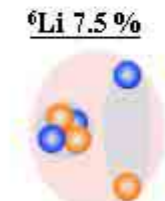
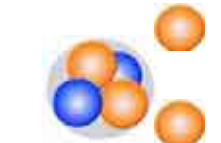
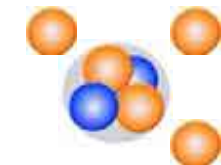
$^7\text{B}$

$\Gamma=0.092 \text{ MeV}$

$^6\text{Be}$

$\Gamma=1.5 \text{ MeV}$

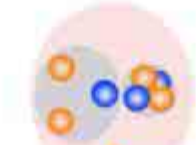
$^5\text{Li}$



$^9\text{C} \text{ 0.1265 s}$



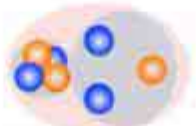
$^8\text{B} \text{ 0.769 s}$



$^7\text{Be} \text{ 53.3 d}$



$^7\text{Li} \text{ 92.5 \%}$



$^{10}\text{C} \text{ 19.2 s}$



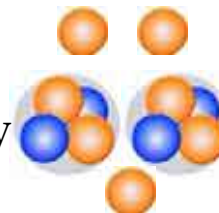
$^9\text{B} \text{ 540 eV}$



$^8\text{Be} \text{ 6.8 eV}$



$^{11}\text{N} \text{ } \Gamma=1.58 \text{ MeV}$



$^{11}\text{C} \text{ 20.38 m}$



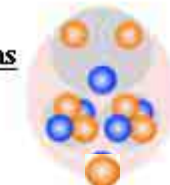
$^{10}\text{B} \text{ 19.8 \%}$



$^9\text{Be} \text{ 100 \%}$



$^{12}\text{N} \text{ 11.0 ms}$



$^{12}\text{C} \text{ 98.89 \%}$

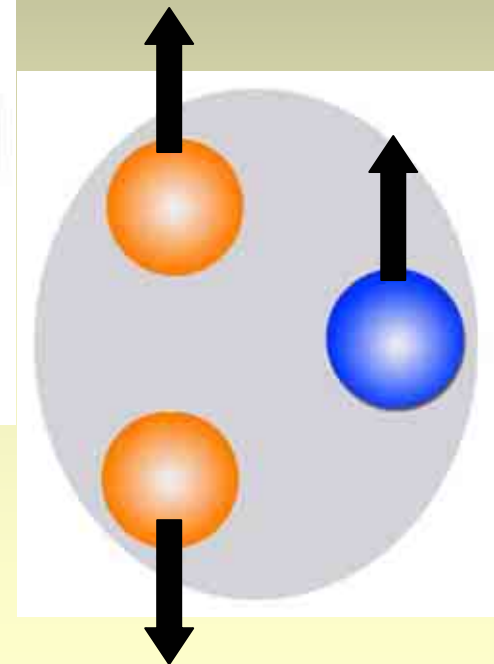
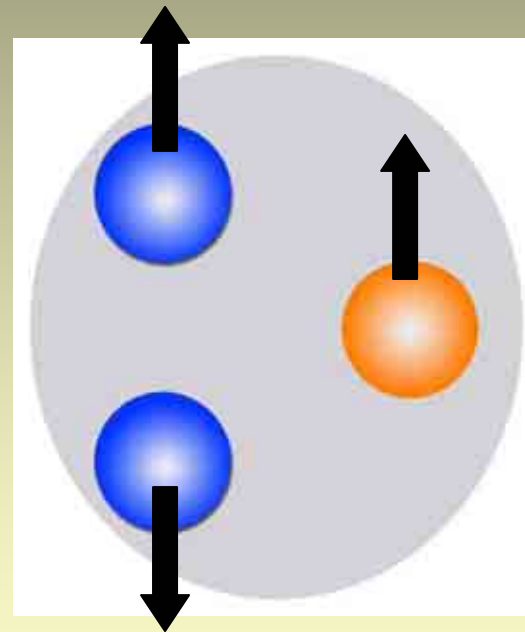
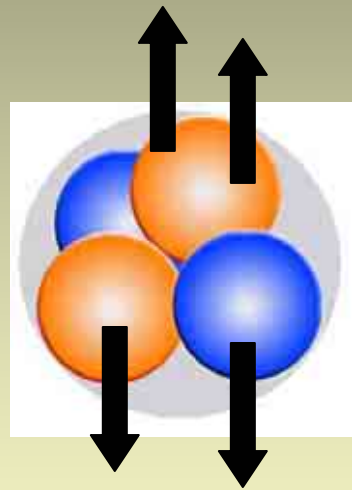


$^{11}\text{B} \text{ 80.2 \%}$



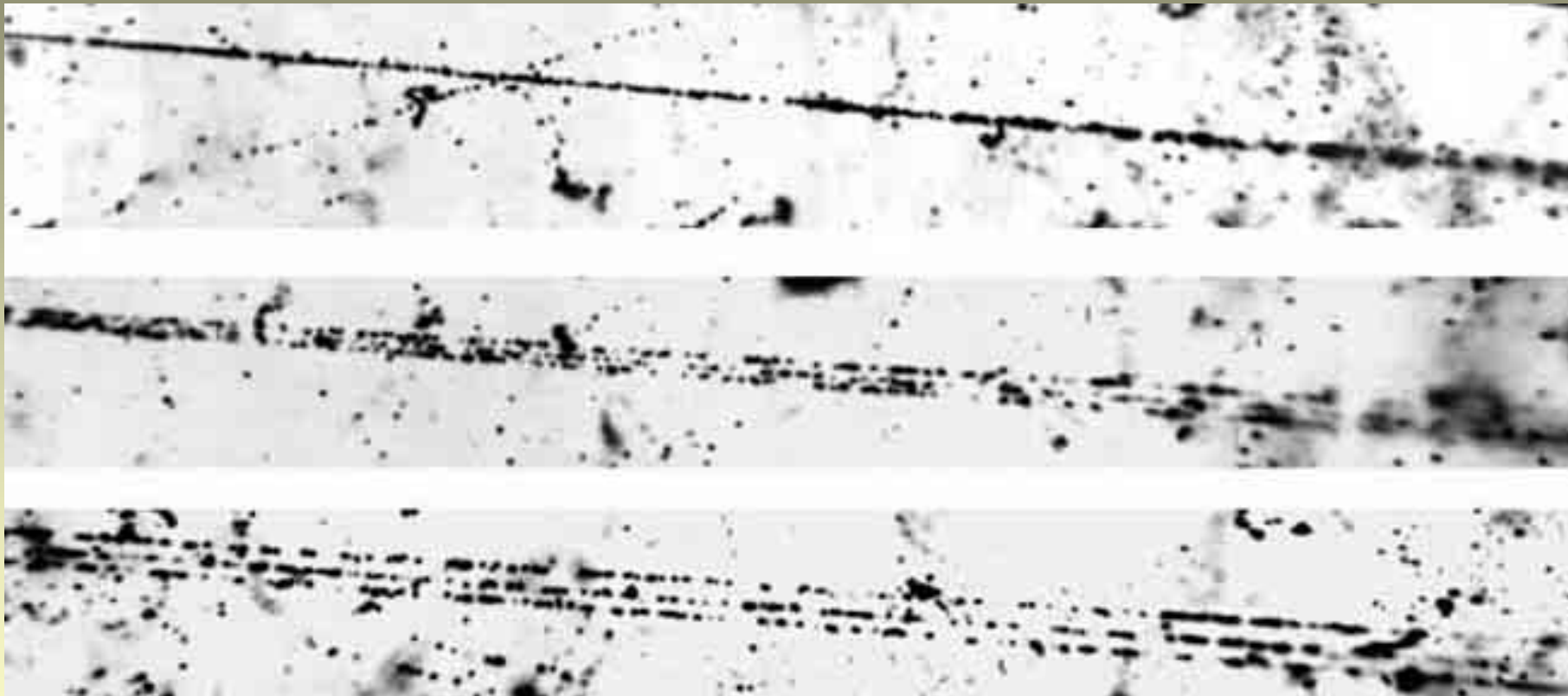
## Кластерные «кирпичики»:

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

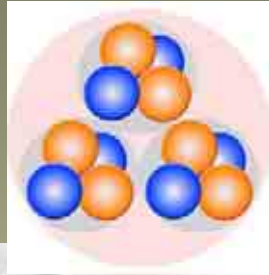
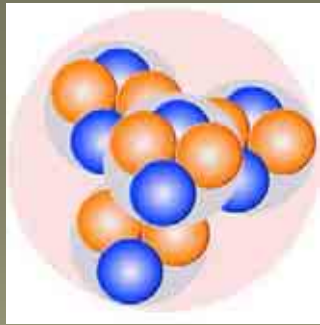




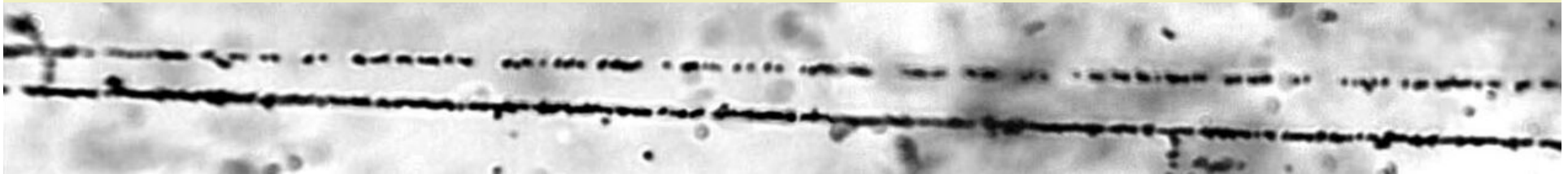
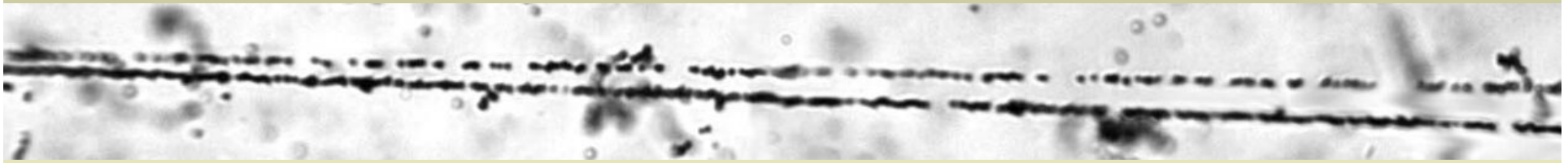
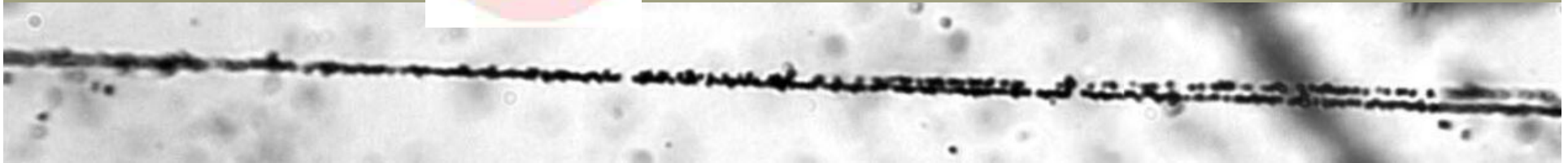
# 4.5A $\Gamma \rightarrow B/c$ $^{12}\text{C} \rightarrow 3\alpha$

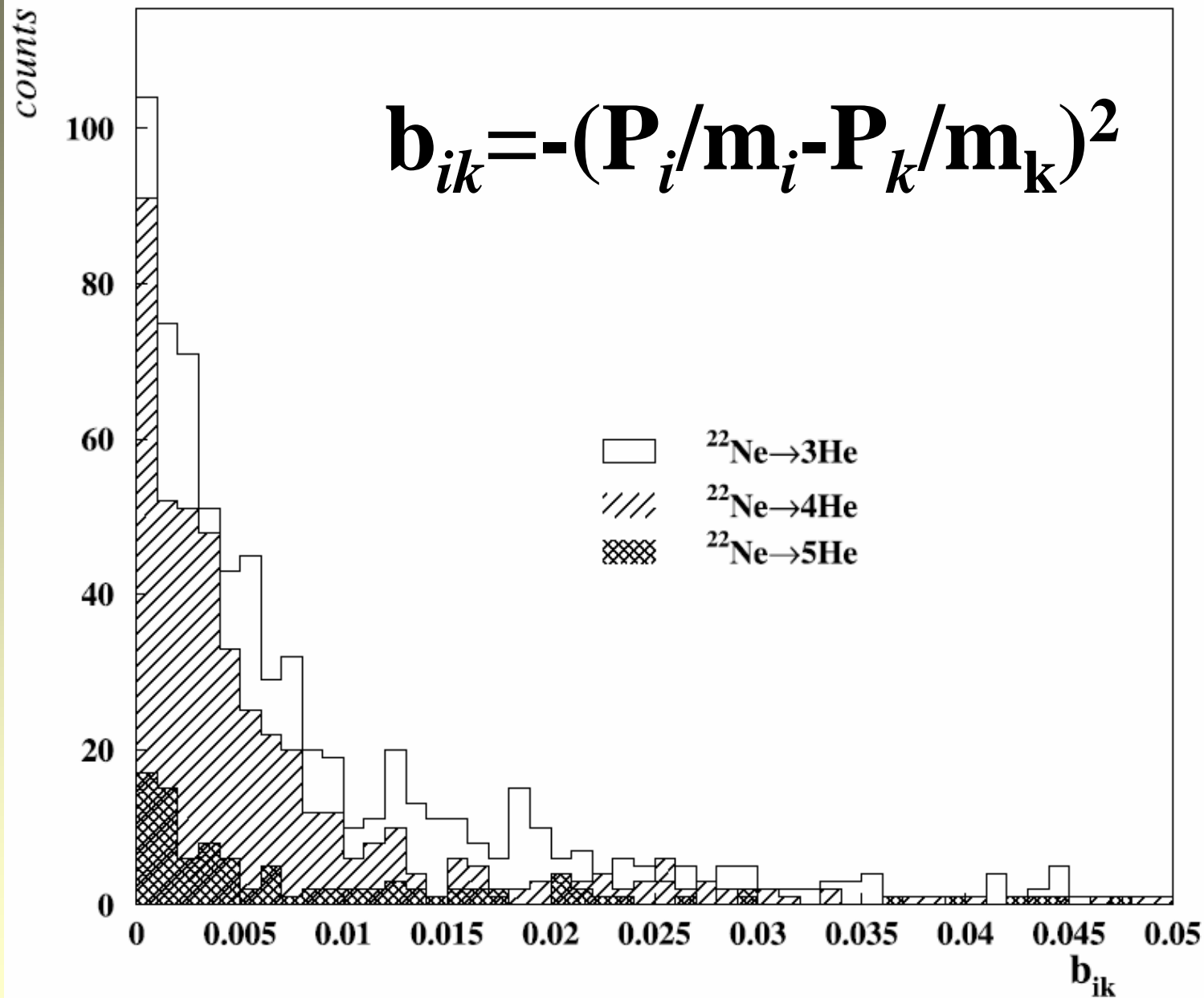






4.5 A GeV/c  $^{16}\text{O}$





*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.*

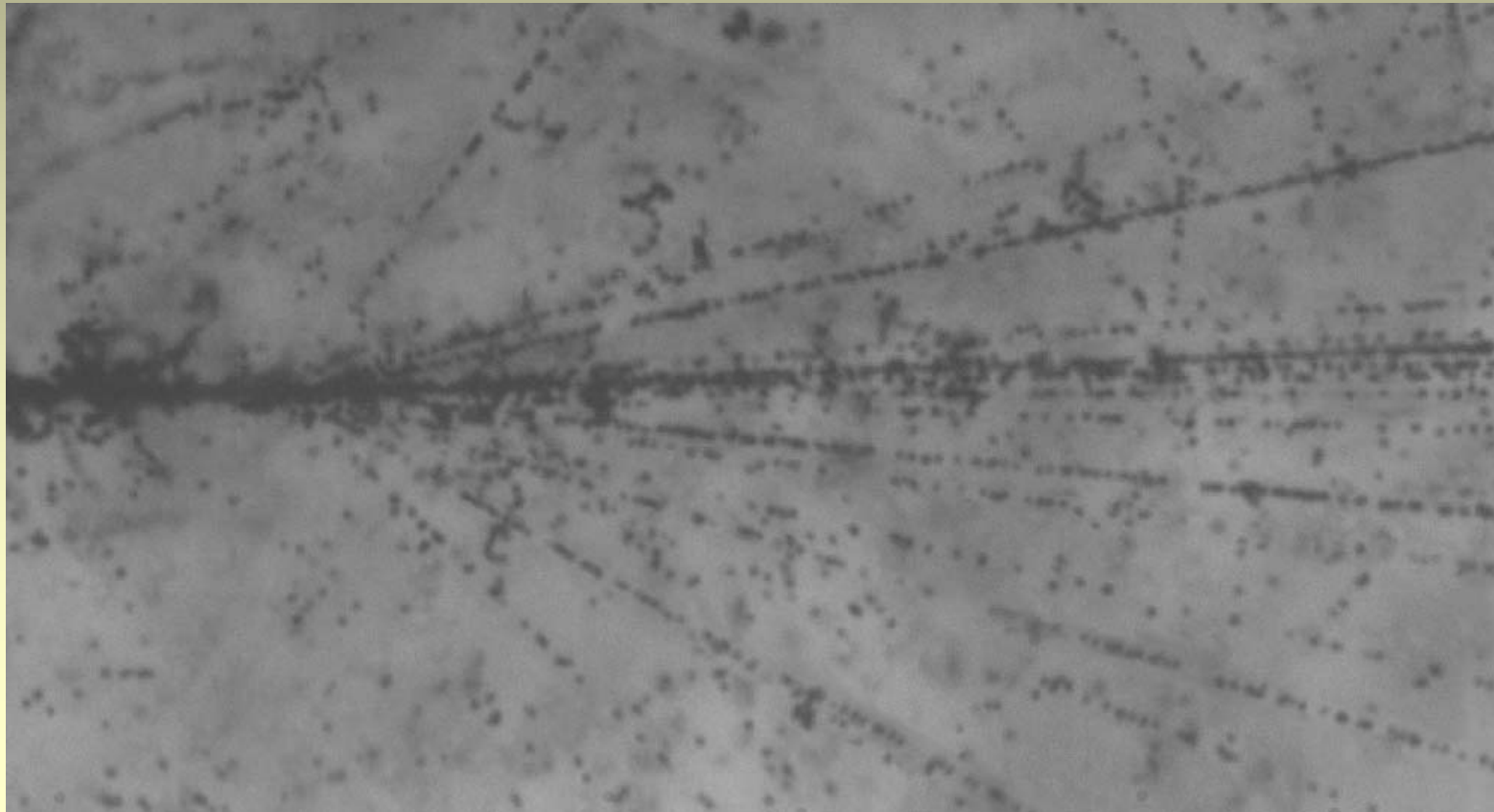
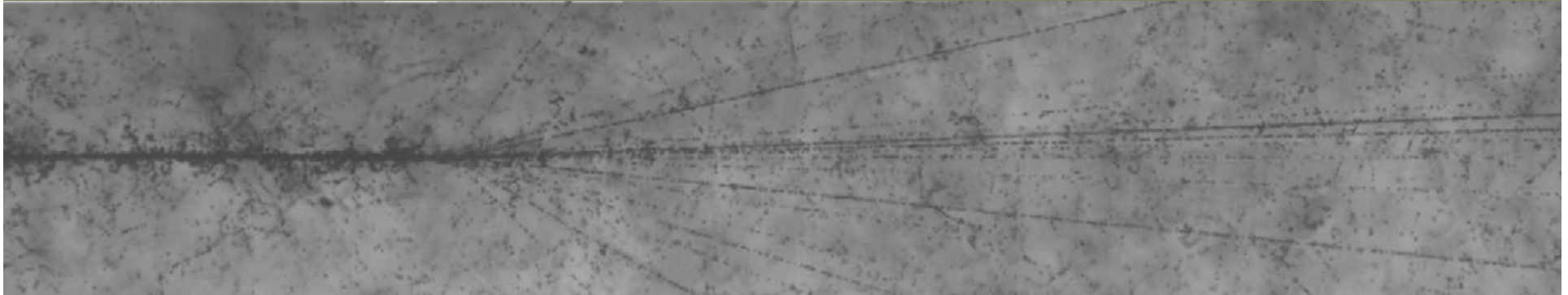
# 4.5A ГэВ/с $^{28}\text{Si}$

		$z_{f1}$								
		3	4	5	6	7	8	9	10	$\Sigma$
$z_{f2}$	3	16	15	26	21	3	7			88
	4		8	18	2	6	1	1	1	37
	5			8	7	6	1			22
	6				2	1	2			5
	$\Sigma$	16	23	52	32	16	11	1	1	

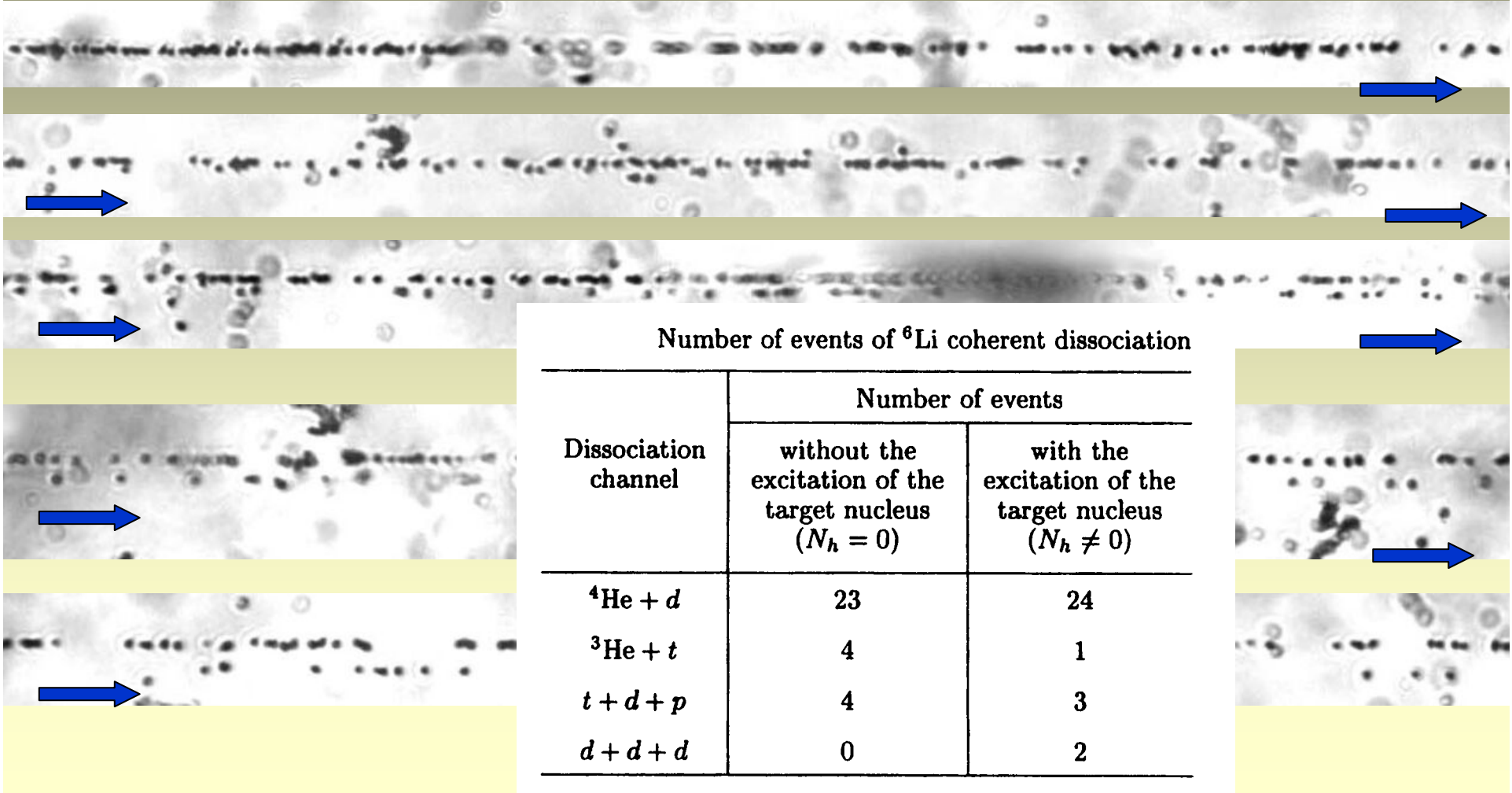
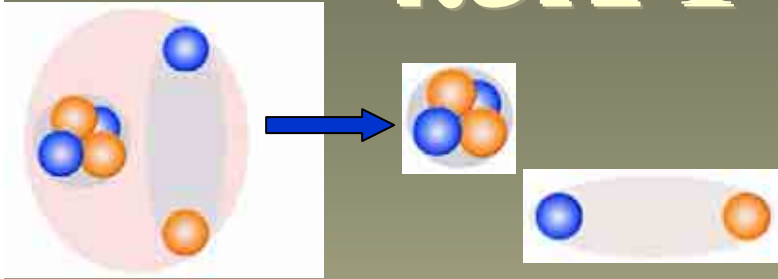
Рис.3. Зарядовая матрица для 2f-событий.

1980 неупругих взаимодействий

**1A GeV  $^{56}\text{Fe}$**



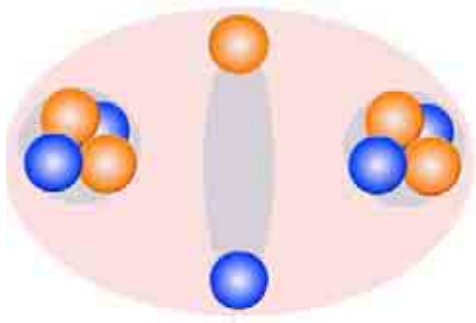
# 4.5A $\Gamma_{\text{эВ/c}}$ ${}^6\text{Li} \rightarrow \text{He} + \text{H}$



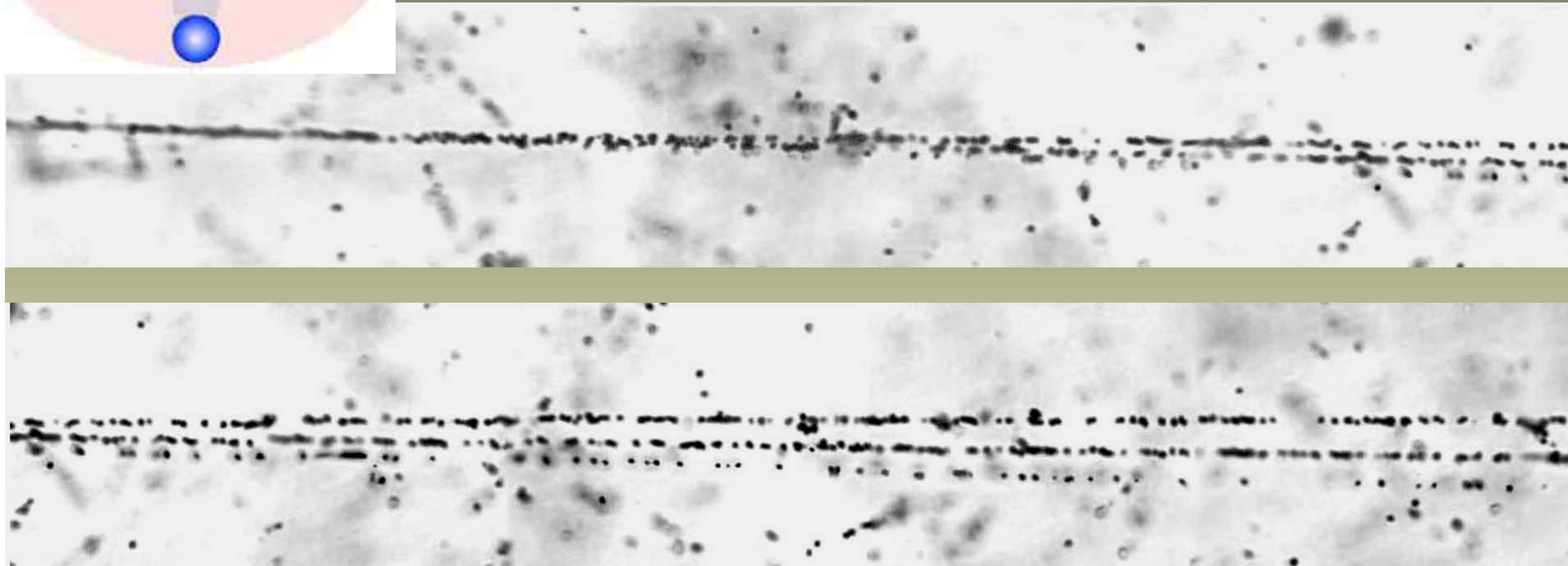
Number of events of  ${}^6\text{Li}$  coherent dissociation

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



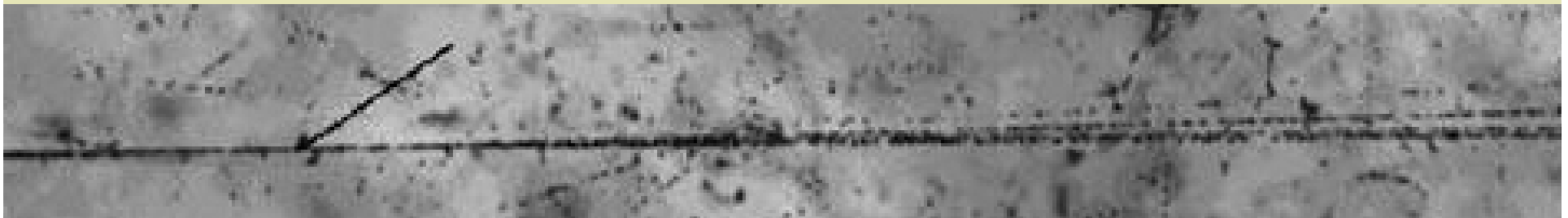
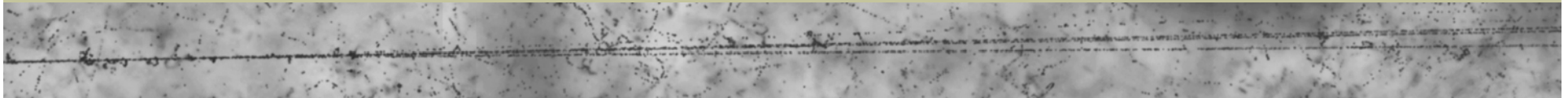
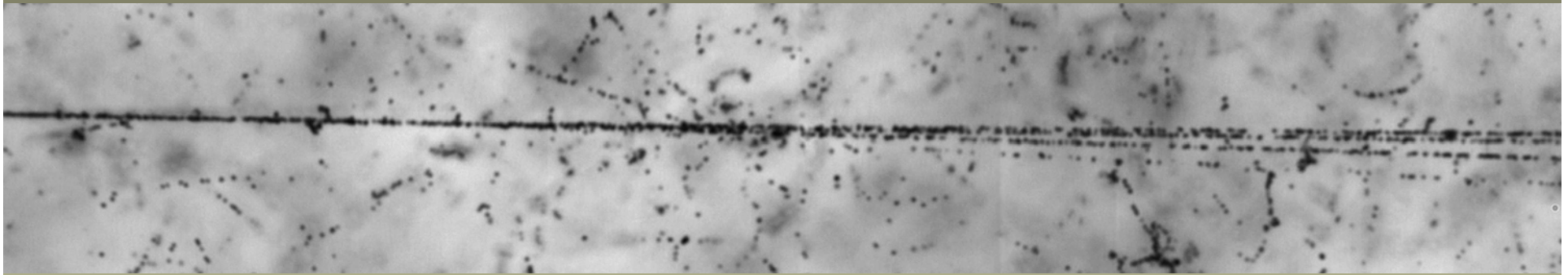


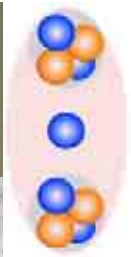
**1.0 А ГэВ  $^{10}\text{B}$**



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

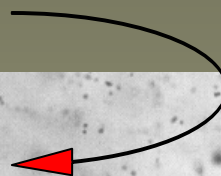
# 2.1 А ГэВ $^{14}\text{N} \rightarrow 3\text{He} + \text{H}$





**1.2А ГэВ  $^9\text{Be}$**

**«белая» звезда**



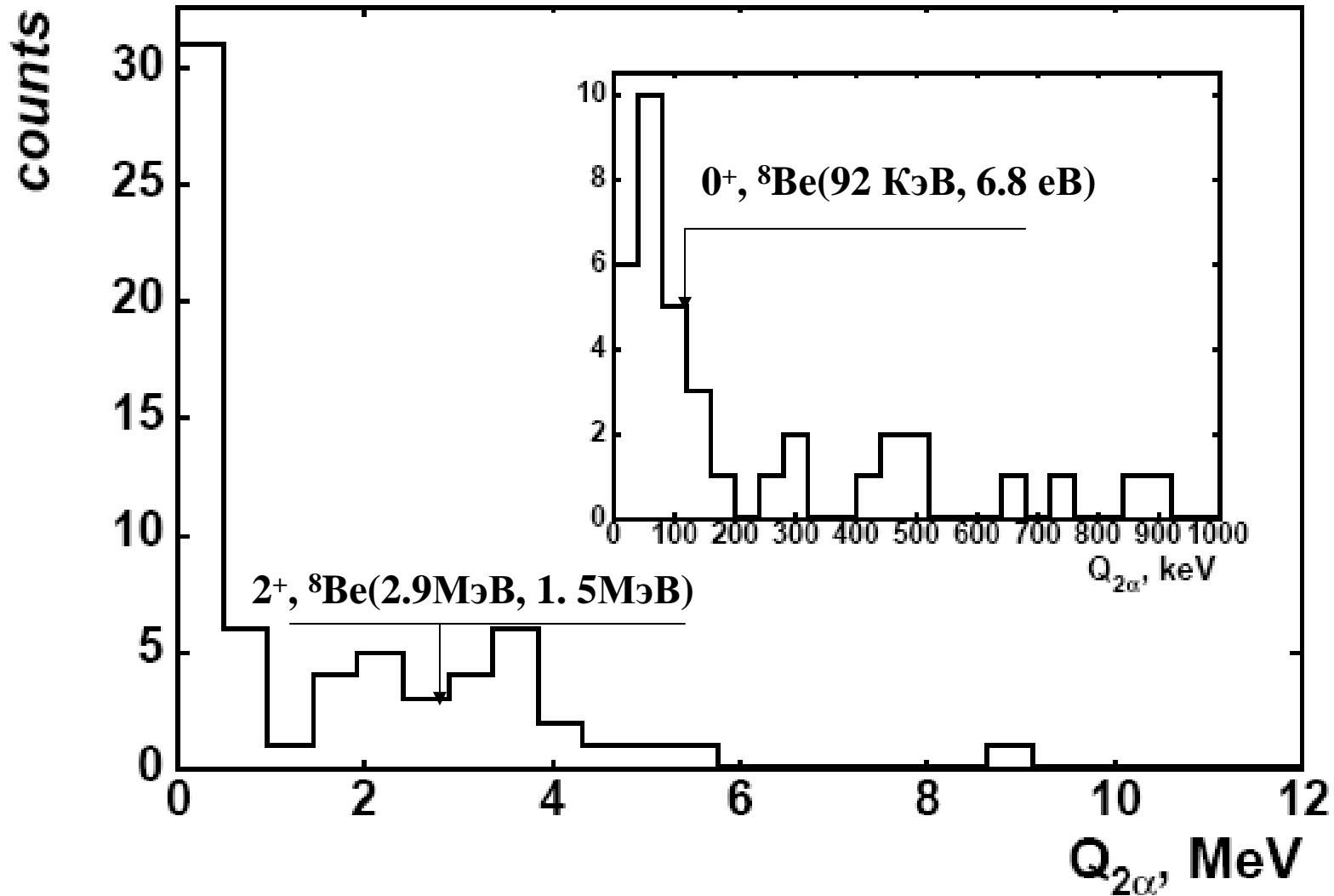
**событие с фрагментом ядра мишени**

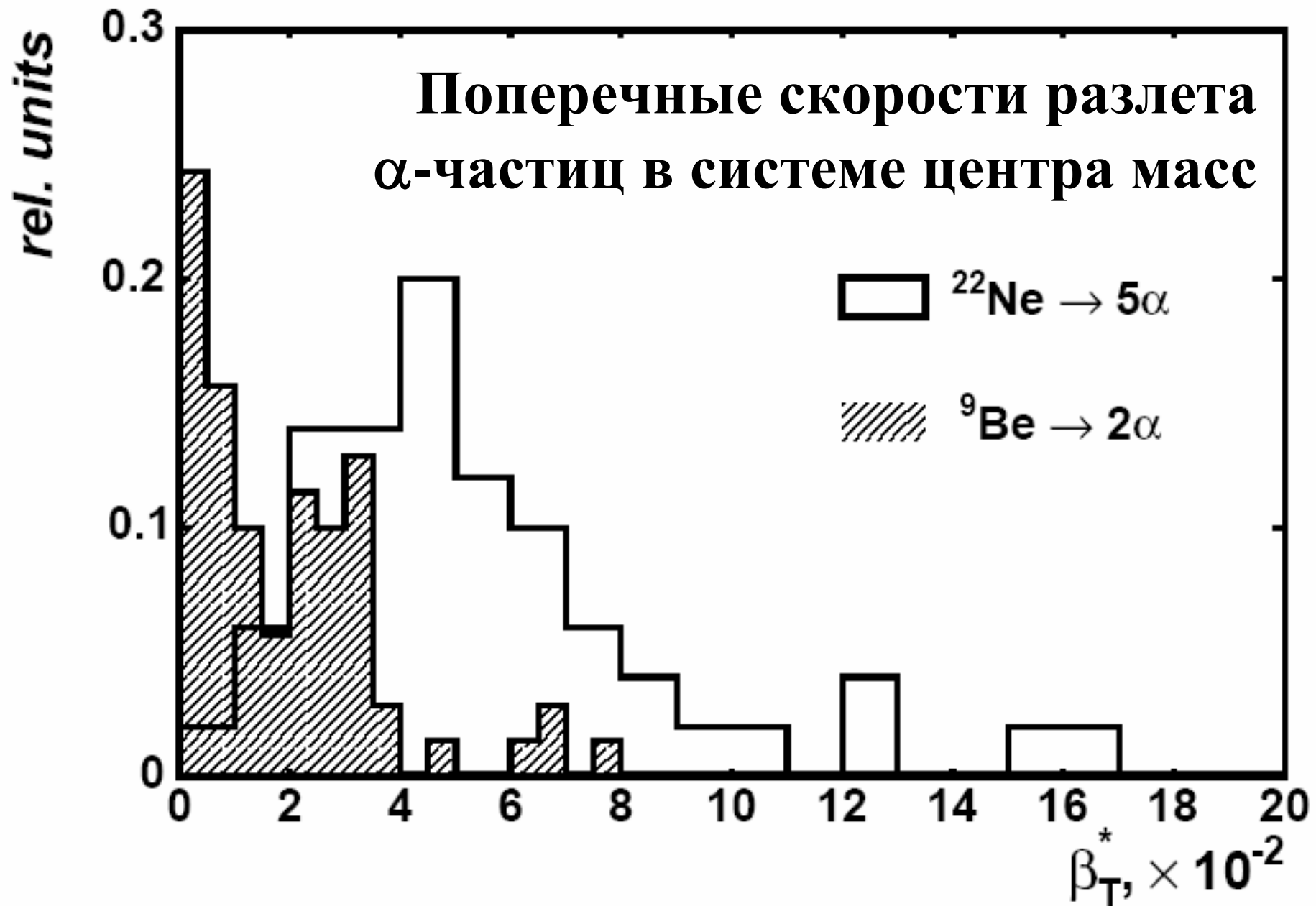


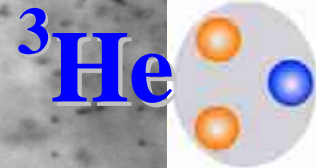
**событие с протоном отдачи**



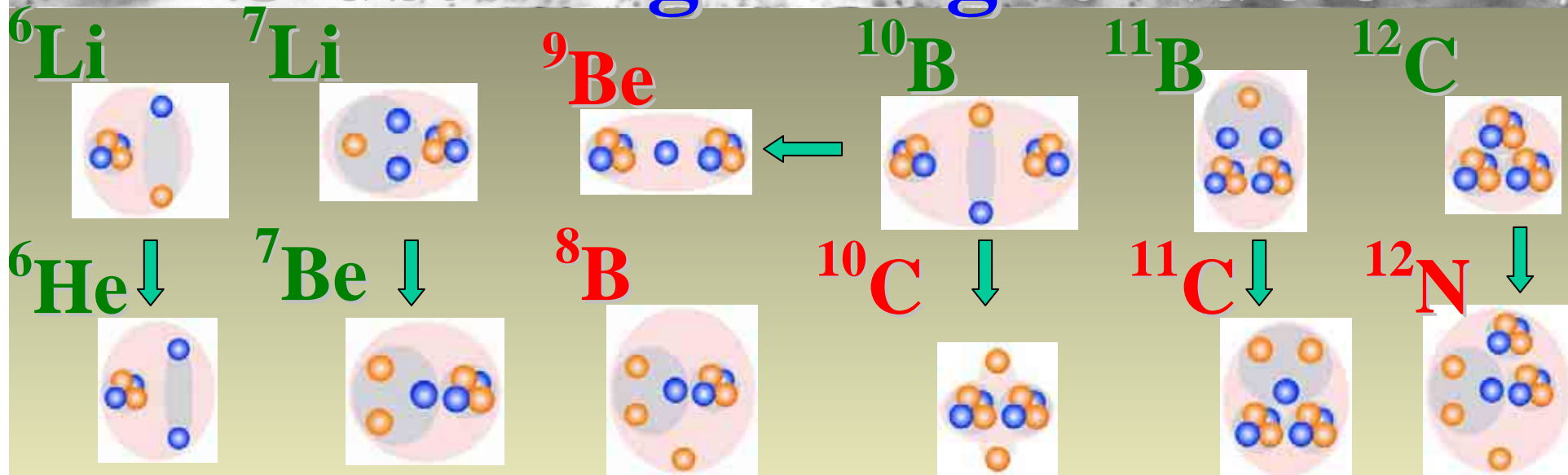
$$Q_{2\alpha} = M - 2 \cdot m_{\alpha} \quad M^2 = -\left(\sum_{i=1}^2 P_{\alpha_i}\right)^2$$



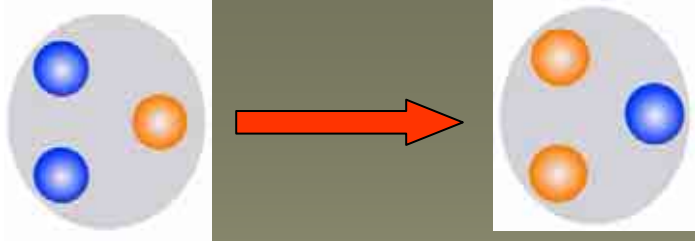




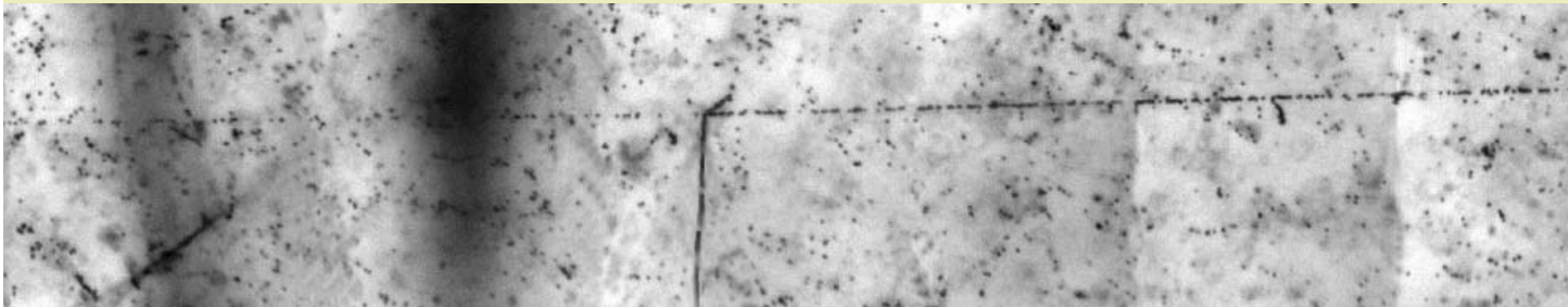
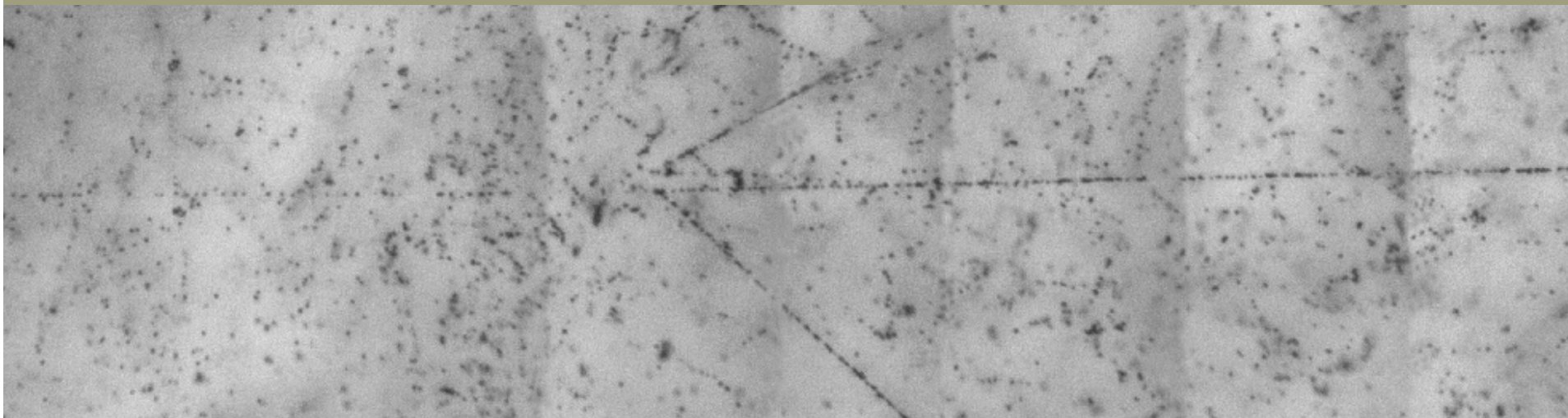
# Clustering in Light Nuclei

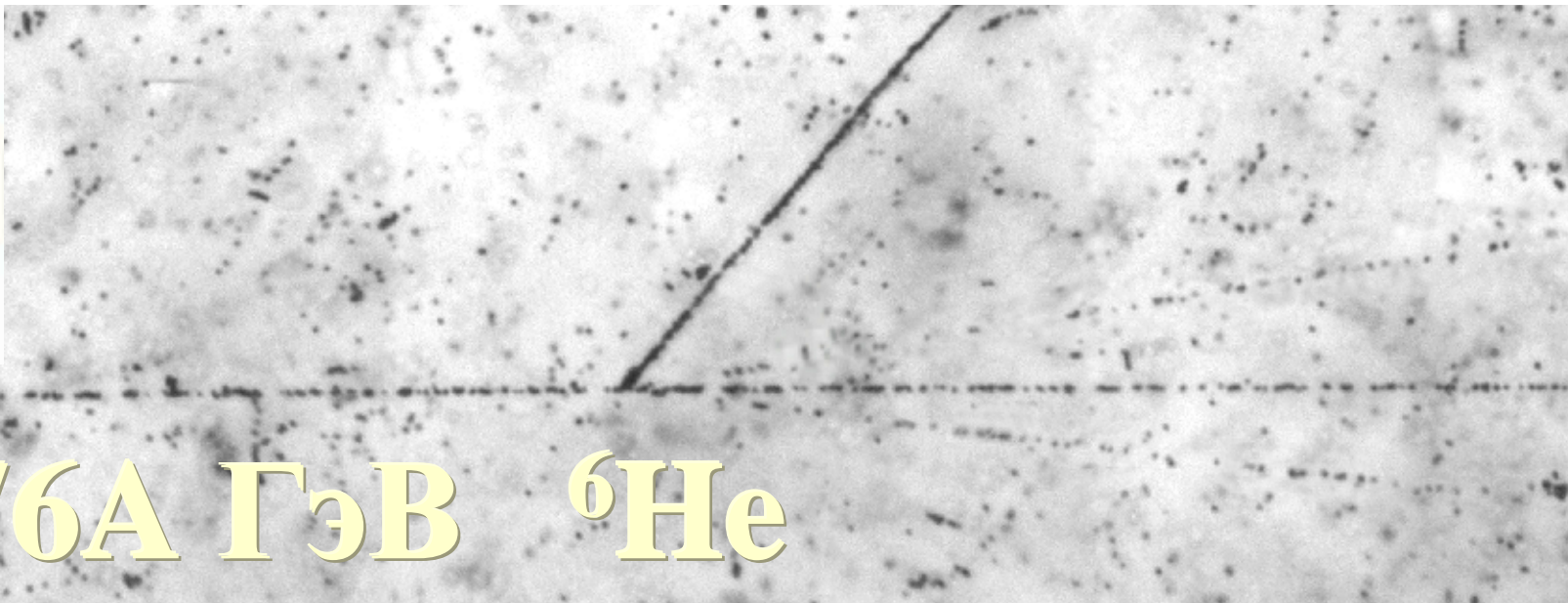
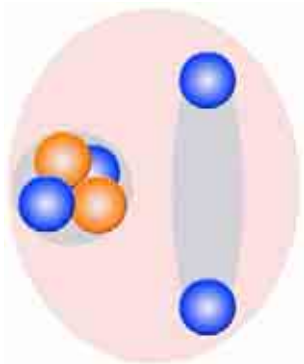


Вторичные ядра формируются в зарядово-обменных реакциях или при фрагментации  ${}^{10}\text{B}$  ( ${}^8\text{B}$  и  ${}^9\text{Be}$ ).

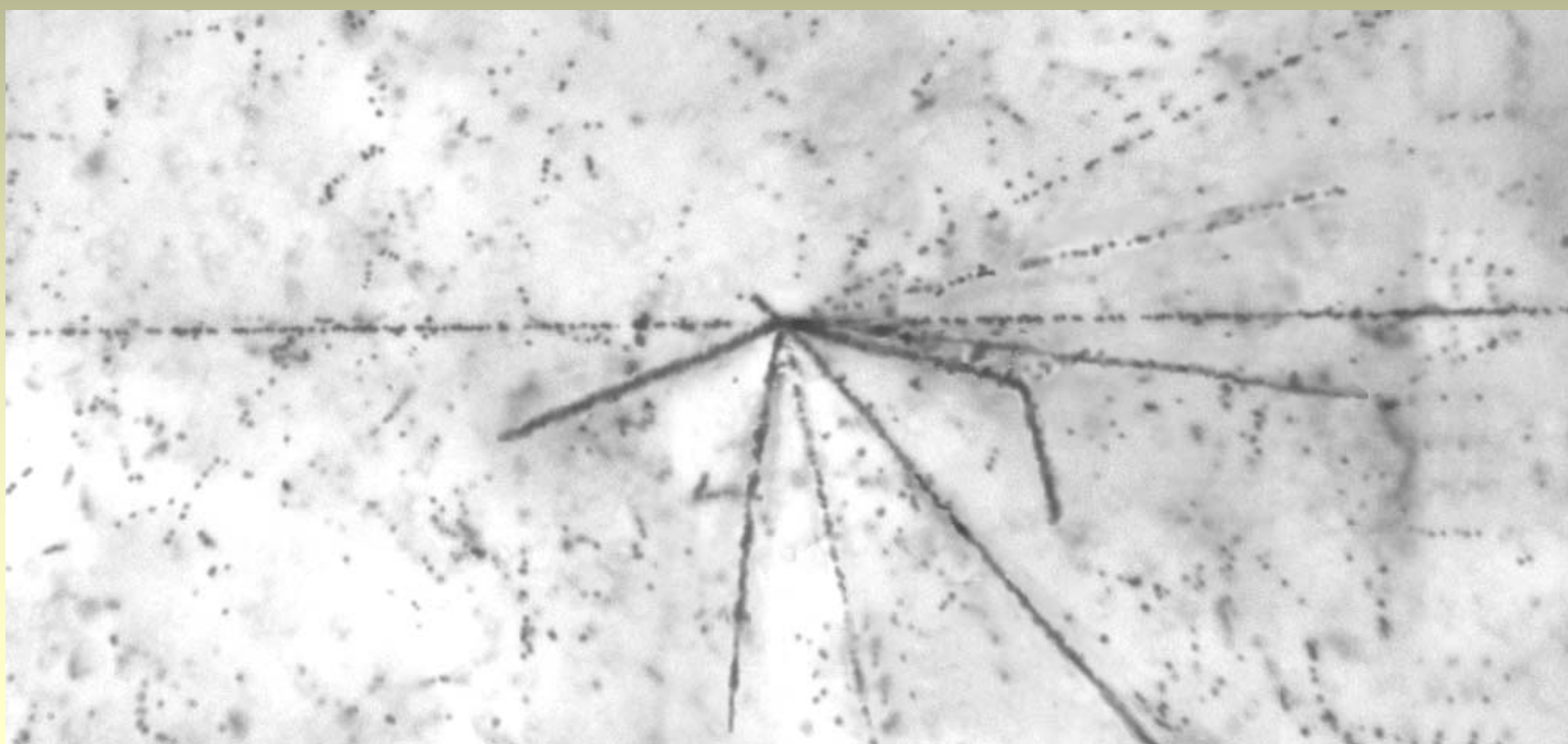


**2.76A ГэВ  ${}^3\text{H} \rightarrow {}^3\text{He}$**





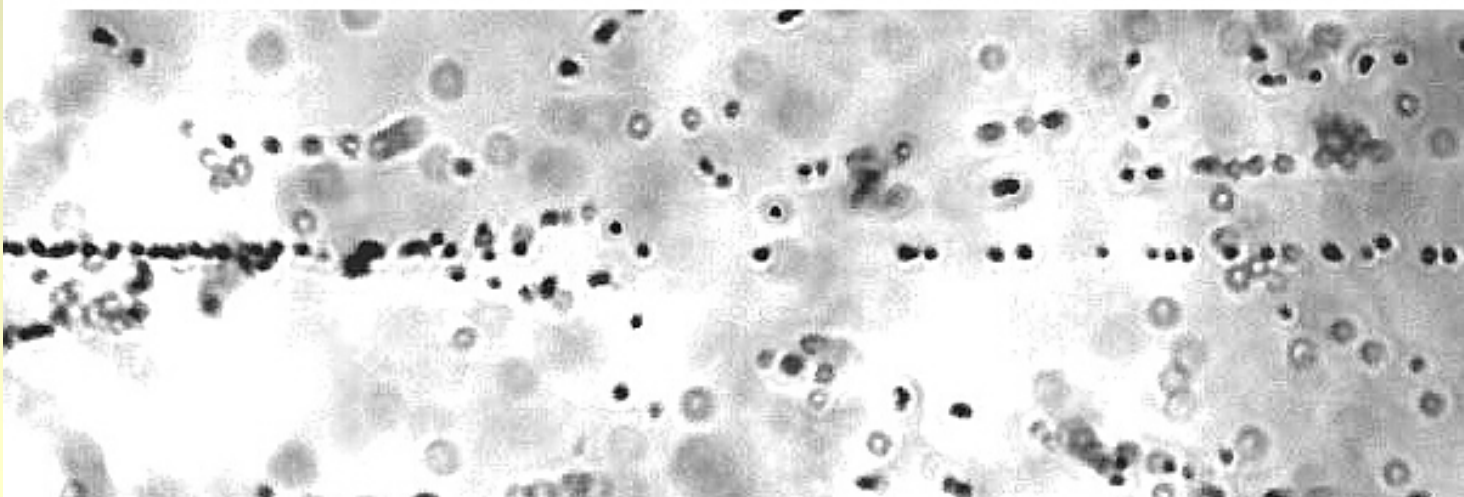
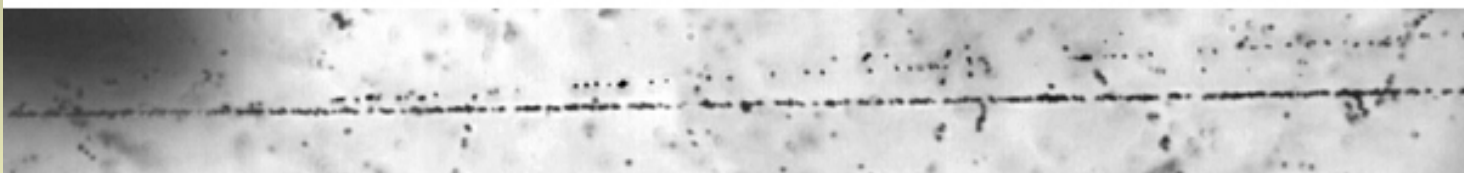
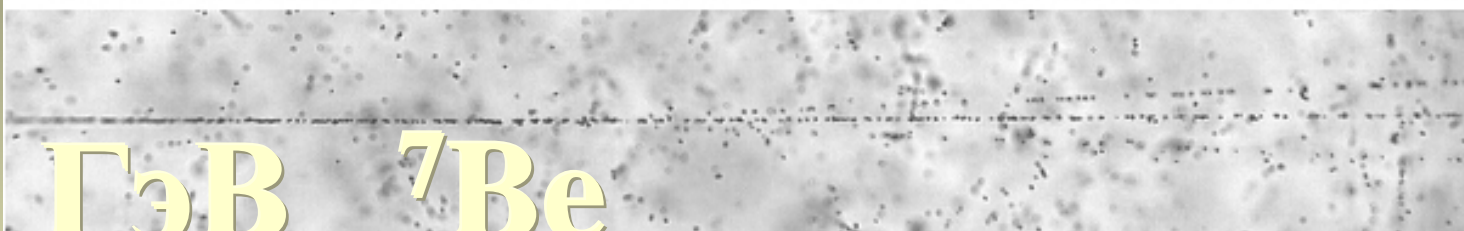
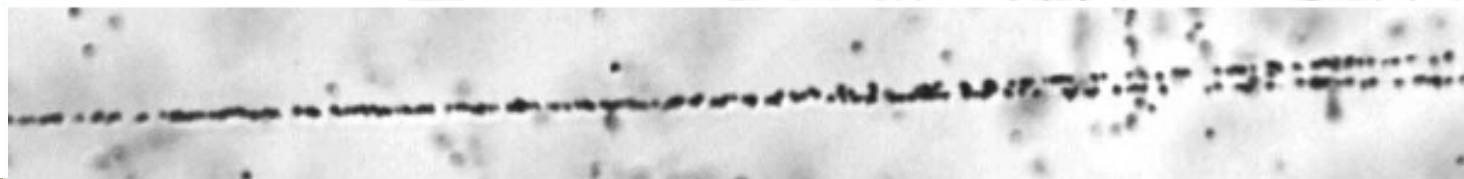
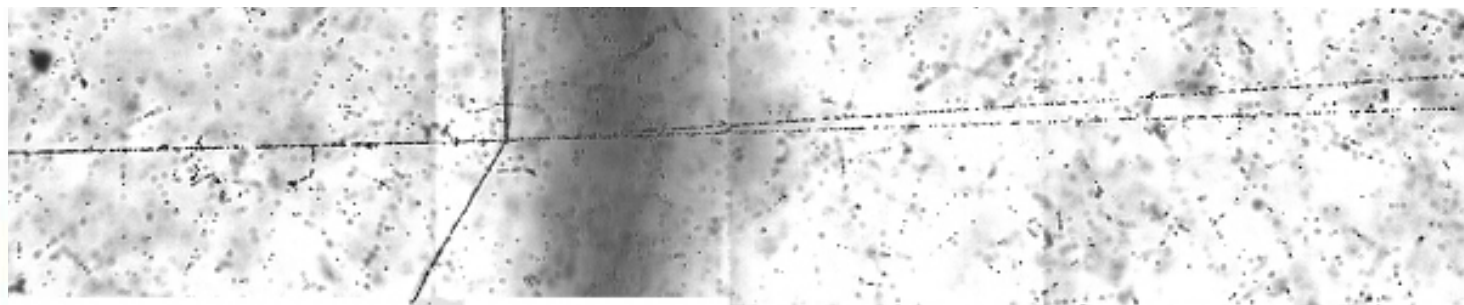
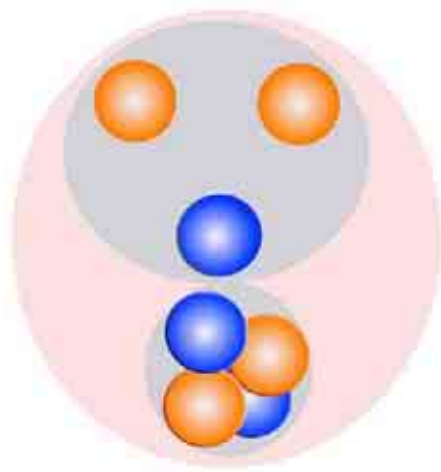
2.76A ГэВ  ${}^6\text{He}$



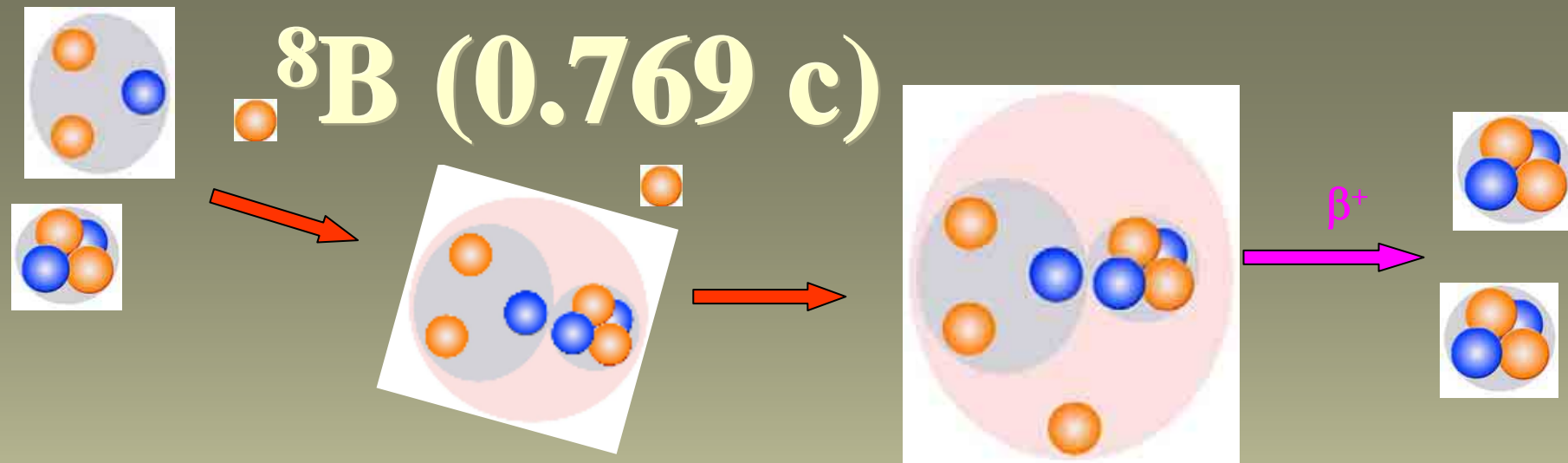


**Амплитудный спектр со  
сцинтиляционного счетчика  
перед стопкой эмульсионных слоев**





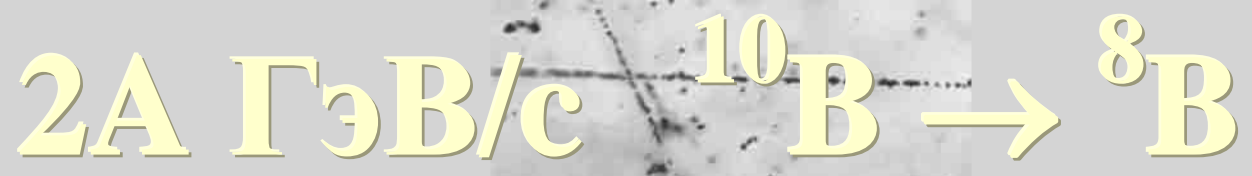
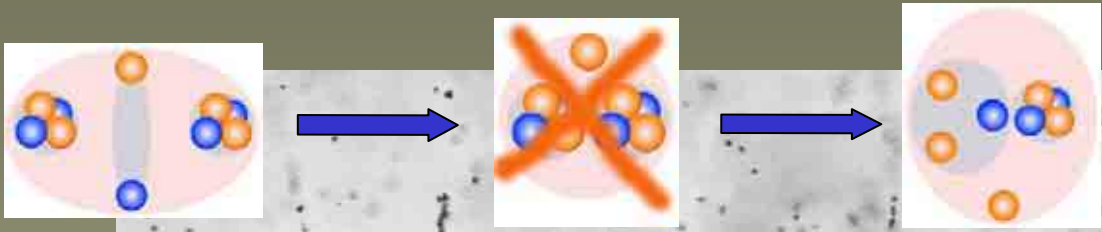
1.2A ГэВ  ${}^7\text{Be}$



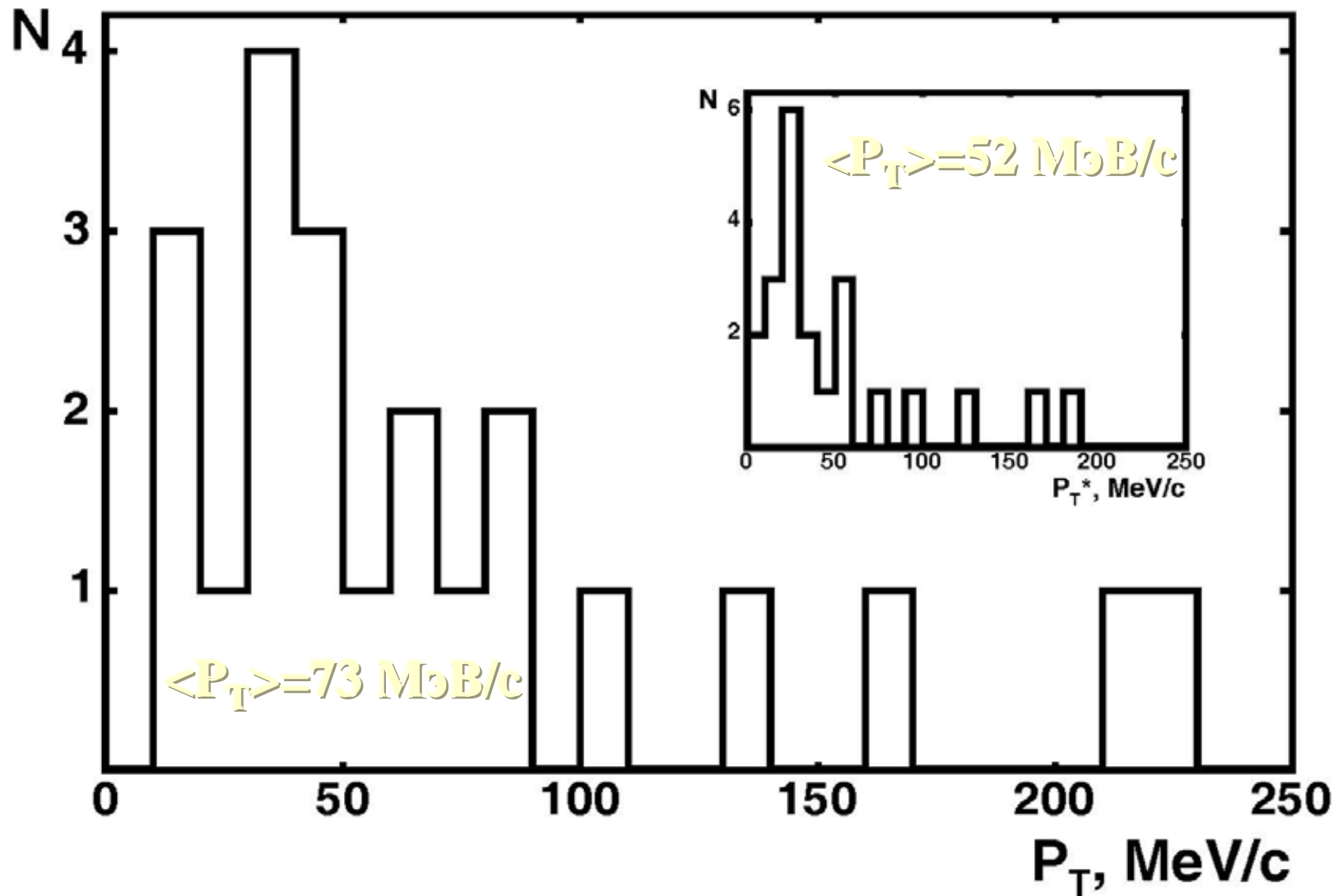
$^{8}\text{B}$  (0.769 с)

*Пучок ядер  $^{10}\text{B}$  с импульсом 2А ГэВ/с и интенсивностью 108 в цикл получен на нуклотроне ОИЯИ. Эмульсии облучены в пучке вторичных ядер с магнитной жесткостью, соответствующей  $Z/A = 5/8$  ( $^{10}\text{B} \rightarrow ^8\text{B}$ ).*

$^{8}\text{B} \rightarrow ^7\text{Be} \nu$  (24),  $^3, ^4\text{He}^3\text{He} \nu$  (12),  $\text{HeH} \nu$  (14),  $^6\text{Li} \nu$  (0), and  $\text{HH} \nu$  (4).

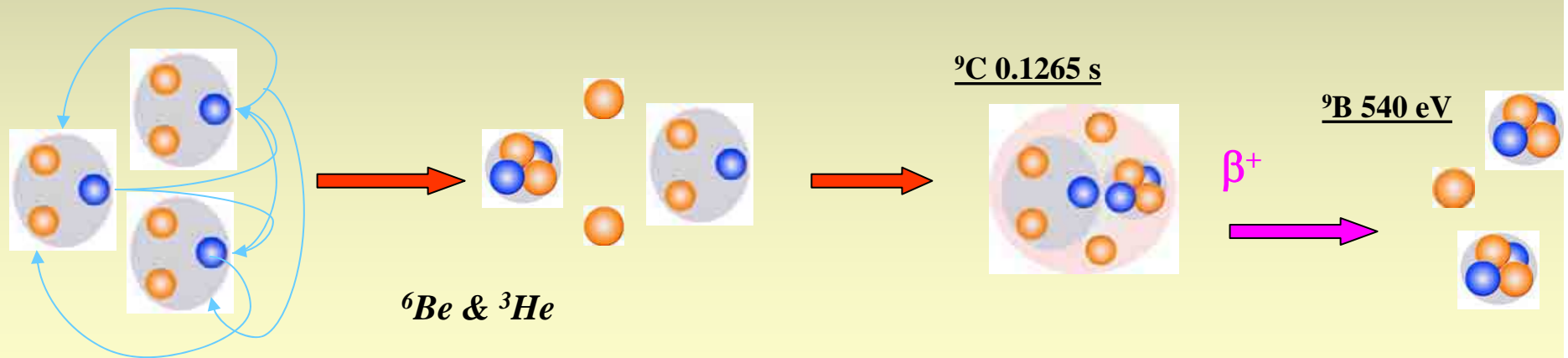


# Распределение протонов по $P_T$ в «белых» звездах ${}^8\text{B} \rightarrow {}^7\text{Be} + p$ и $P_T^*$ в с. ц. м. ${}^7\text{Be} + p$ .

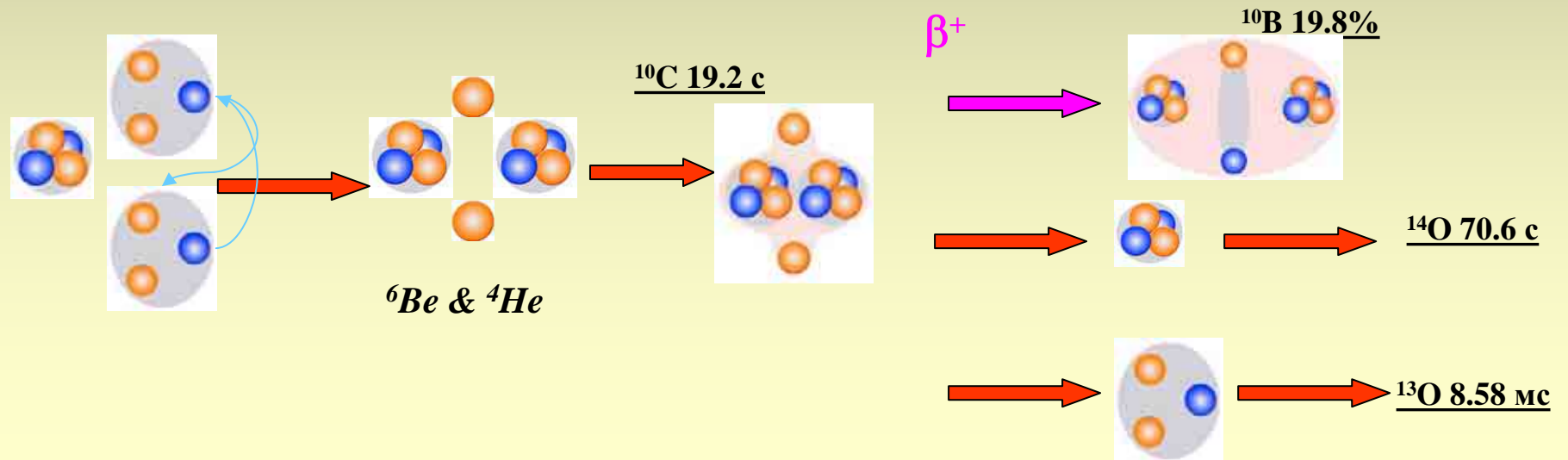
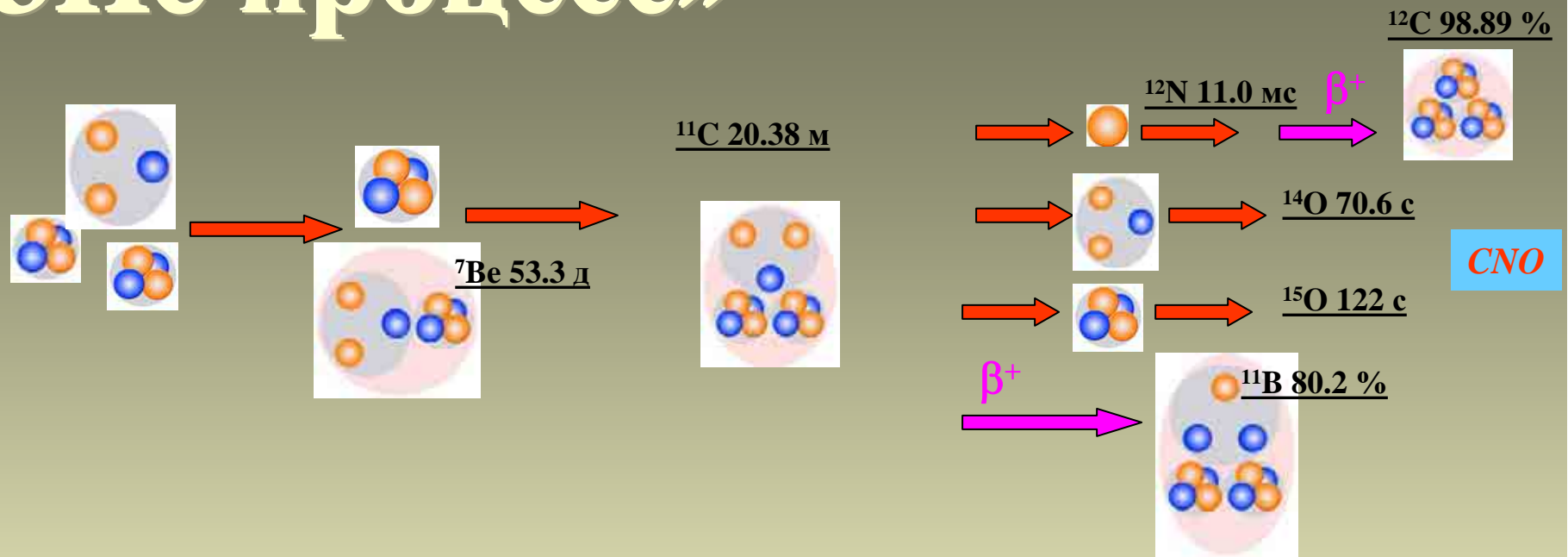


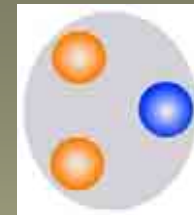
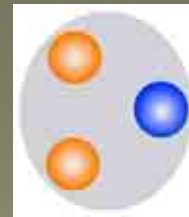
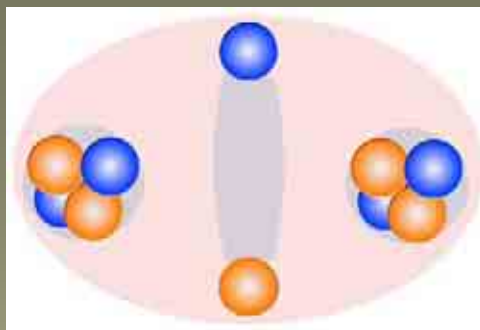
# “Тройной ${}^3\text{He}$ процесс”

${}^9\text{C} \rightarrow {}^8\text{Br}, {}^7\text{Bepp},$   
 $\text{HeHepp}, \text{HeHppr},$   
 ${}^3\text{He}{}^3\text{He}{}^3\text{He}$



# «3He процесс»



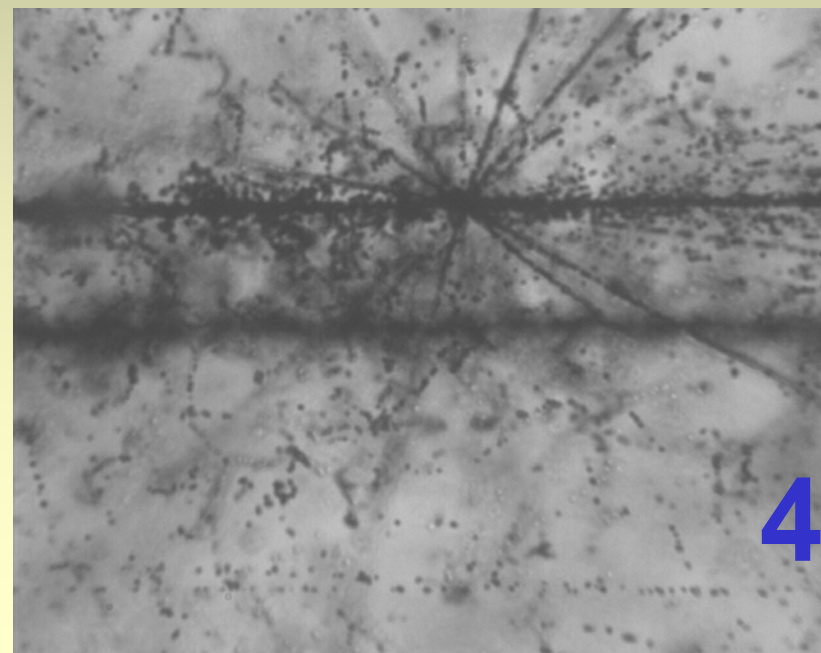
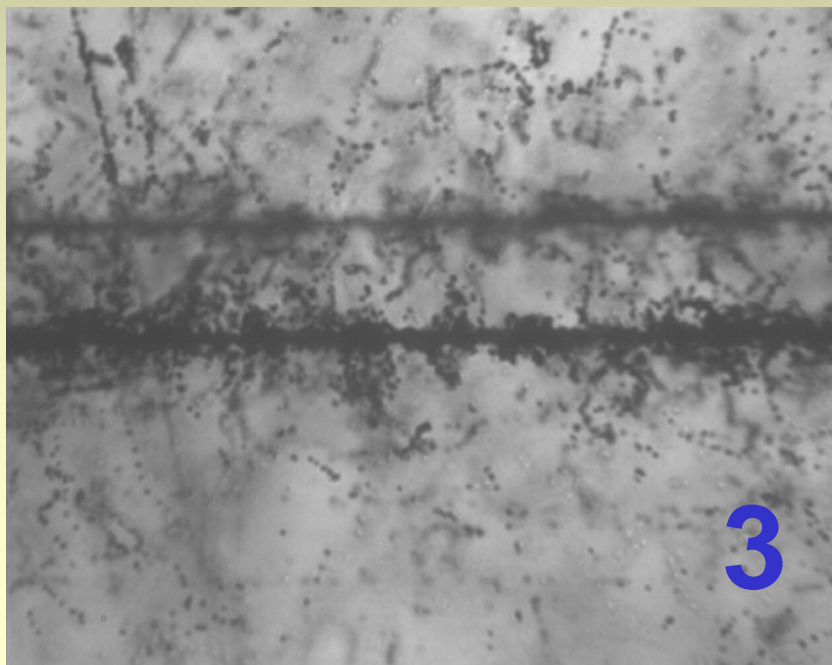
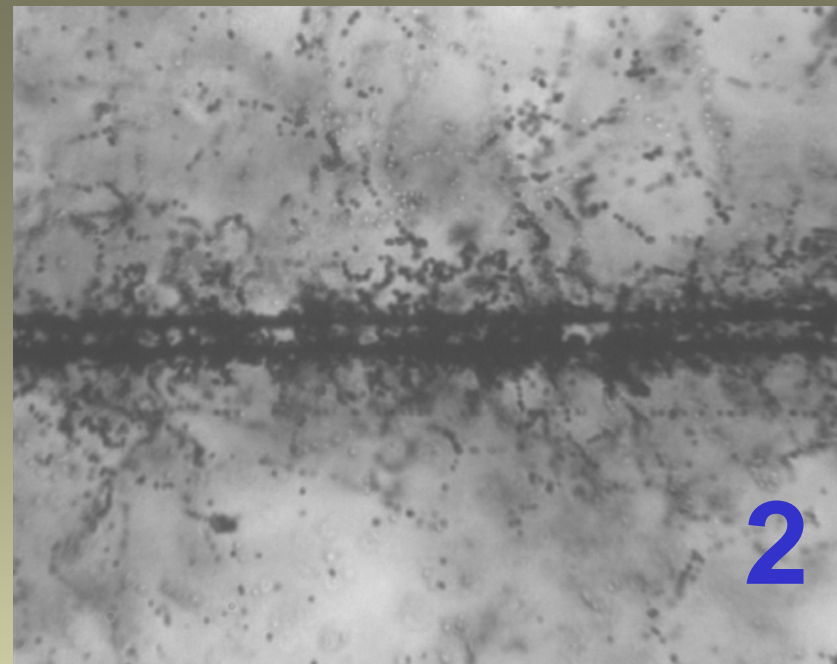
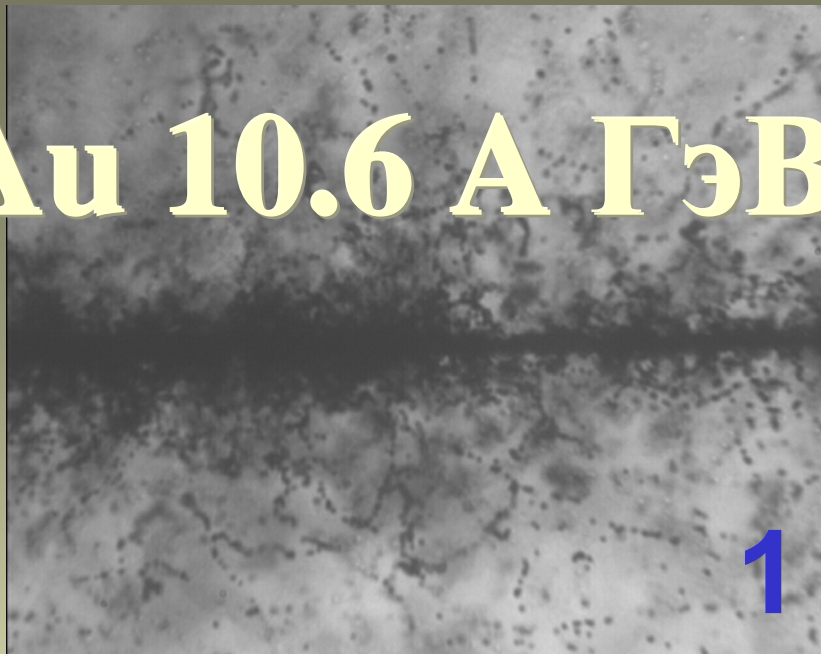




# Вдоль берега протонной стабильности



# Au 10.6 A ΓεΒ



158 A Γ<sub>3</sub>B/c Pb

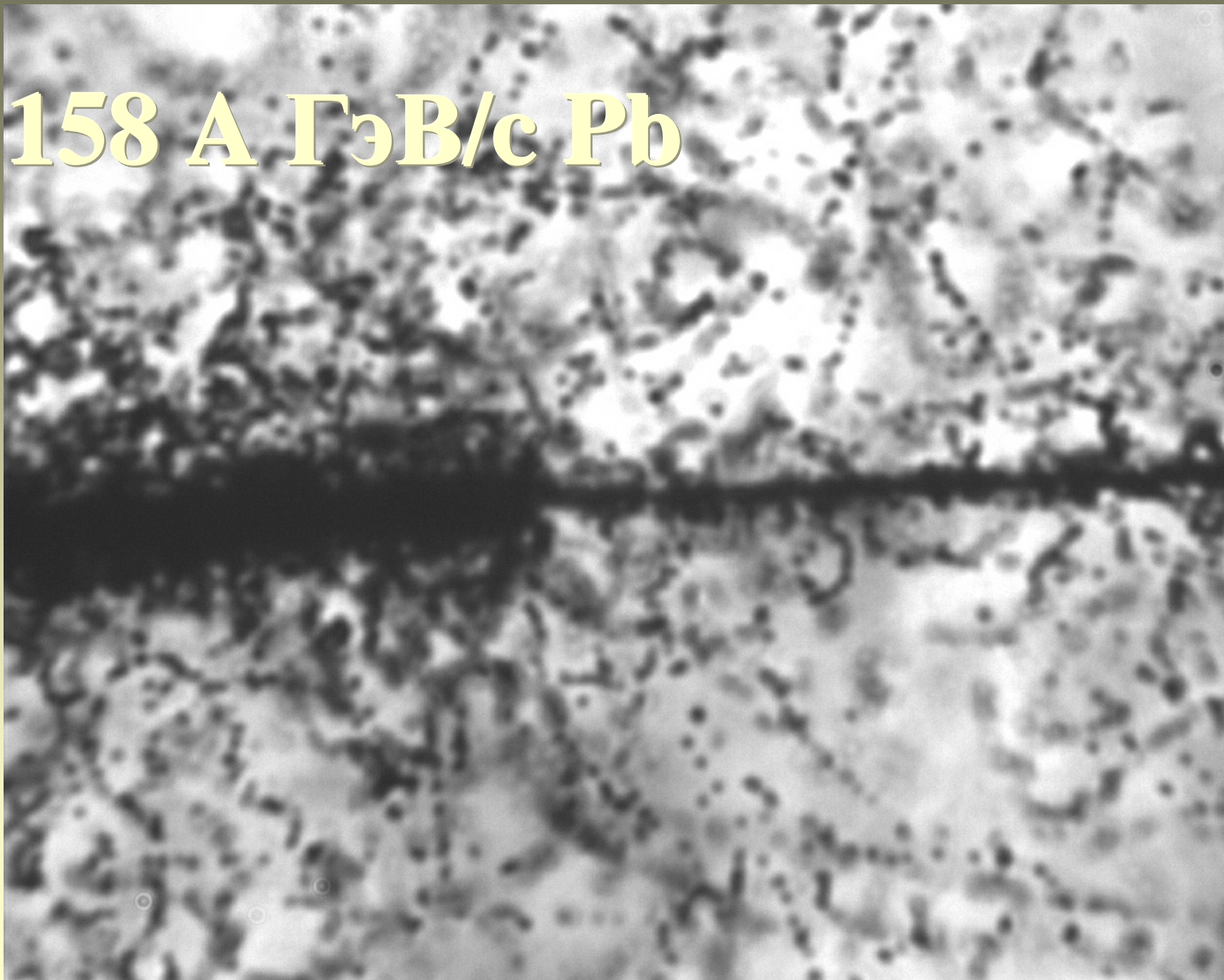
1

2

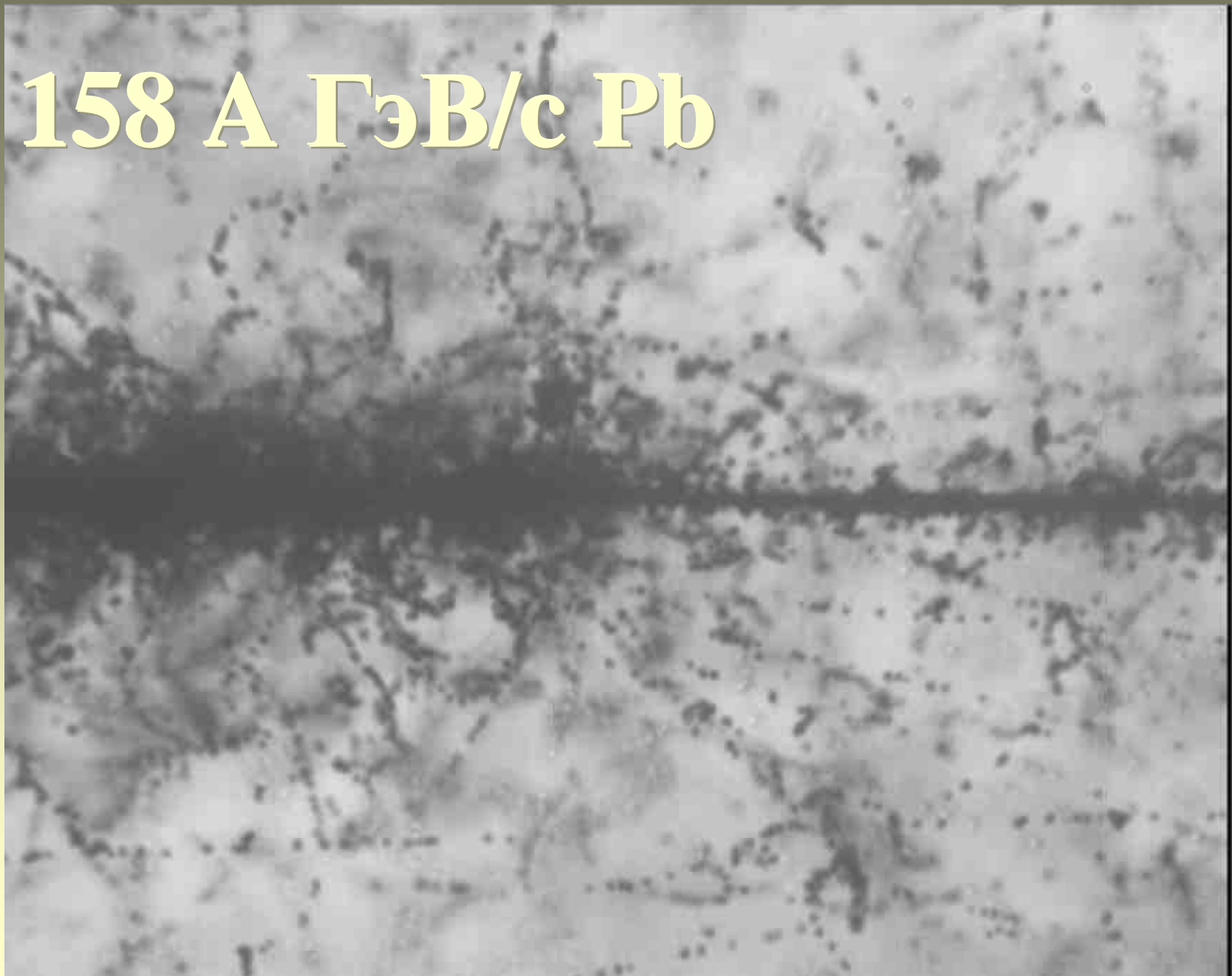
3

4

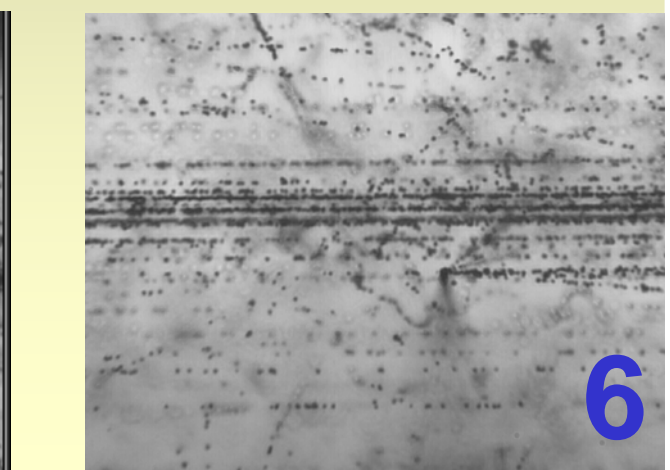
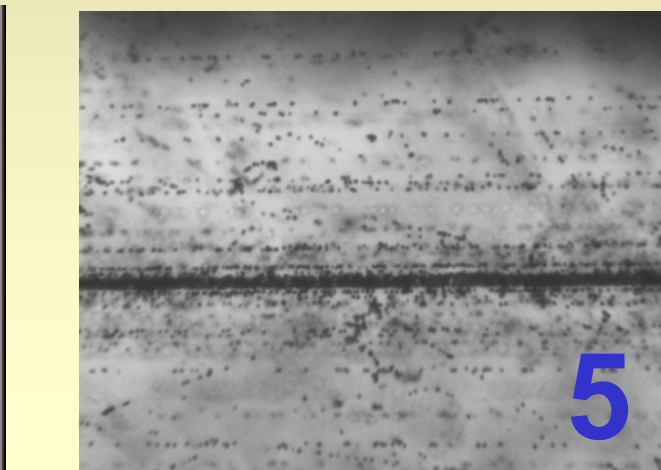
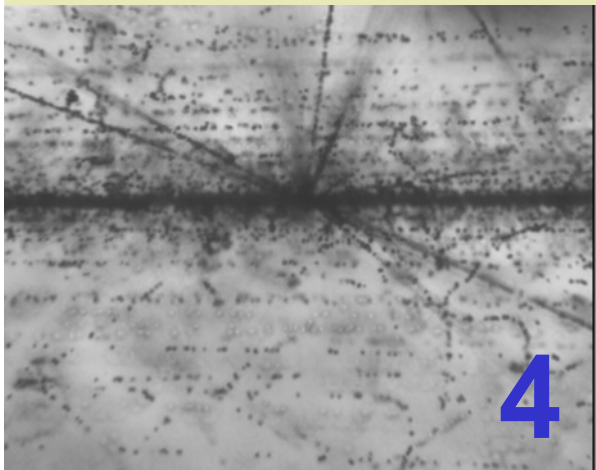
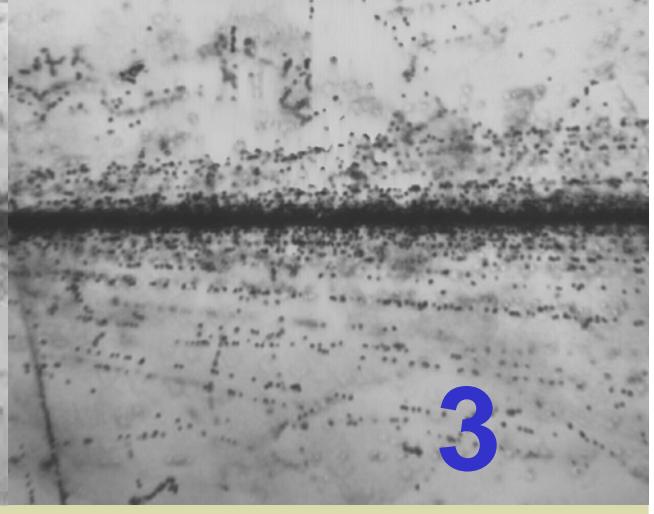
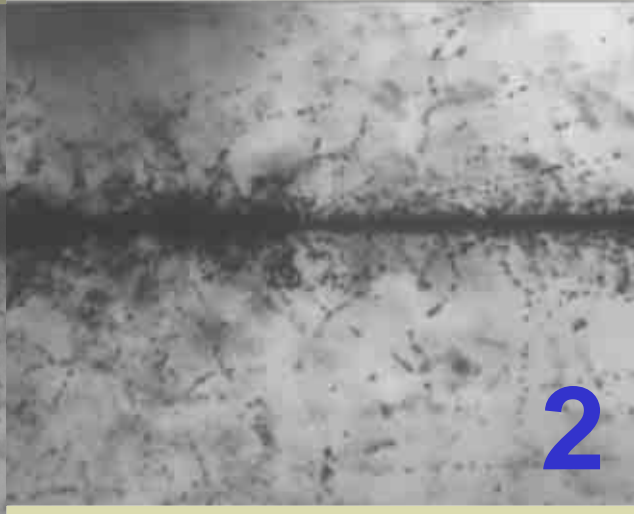
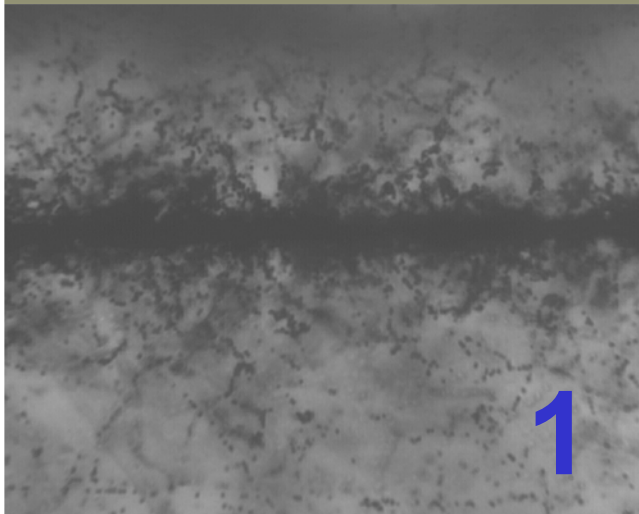
158 A Γ<sub>3</sub>B/c Pb



158 A ГэВ/с Pb



# 158 A $\Gamma_3$ B/c Pb



# 158 A ГэВ/c Pb

1

2

3

4

