



BECQUEREL  
PROJECT

Проект  
БЕККЕРЕЛЬ

Beryllium (Boron)

Clustering

Quest in

Relativistic Multifragmentation

<http://becquerel.jinr.ru>

# “Nuclear track emulsion”

Pavel Zarubin (JINR, Russia)

Maria Haiduc (ISS, Romania)

Ondrej Ploc (INP CAV, Czechia)

Veksler & Baldin Laboratory of High Energy Physics  
JINR, Dubna, Russia



1 1072 477 0625  
e 300 1  
D.L. 23

# The Study of Elementary Particles by the Photographic Method

*An account of  
The Principal Techniques and Discoveries  
illustrated by  
An Atlas of Photomicrographs*

BY  
C. F. POWELL  
P. H. FOWLER and D. H. PERKINS

H. H. WILLS PHYSICAL LABORATORY  
UNIVERSITY OF BRISTOL

Общественный научно-исследовательский институт  
БНБЛИОТЕКА



PERGAMON PRESS  
LONDON · NEW YORK · PARIS · LOS ANGELES

1959

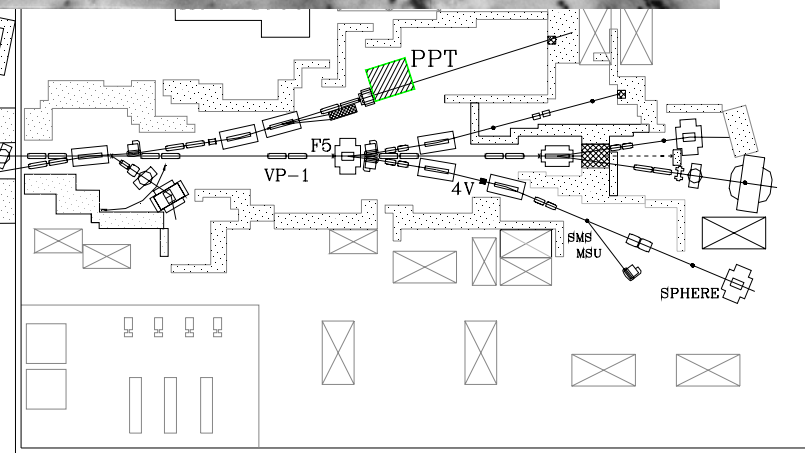
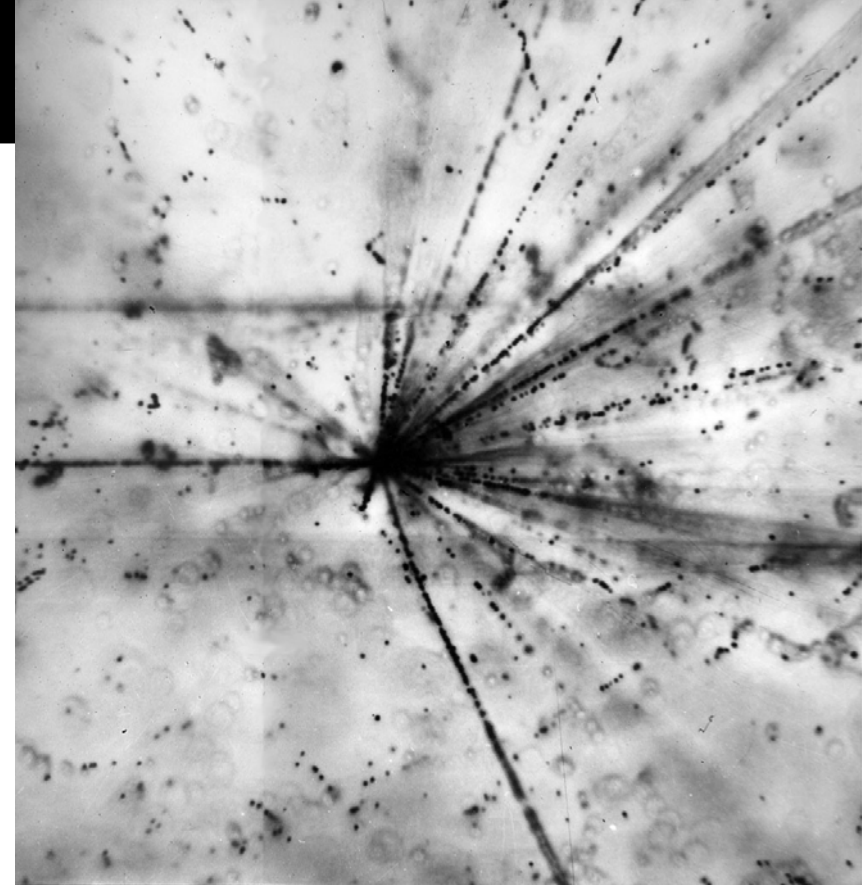
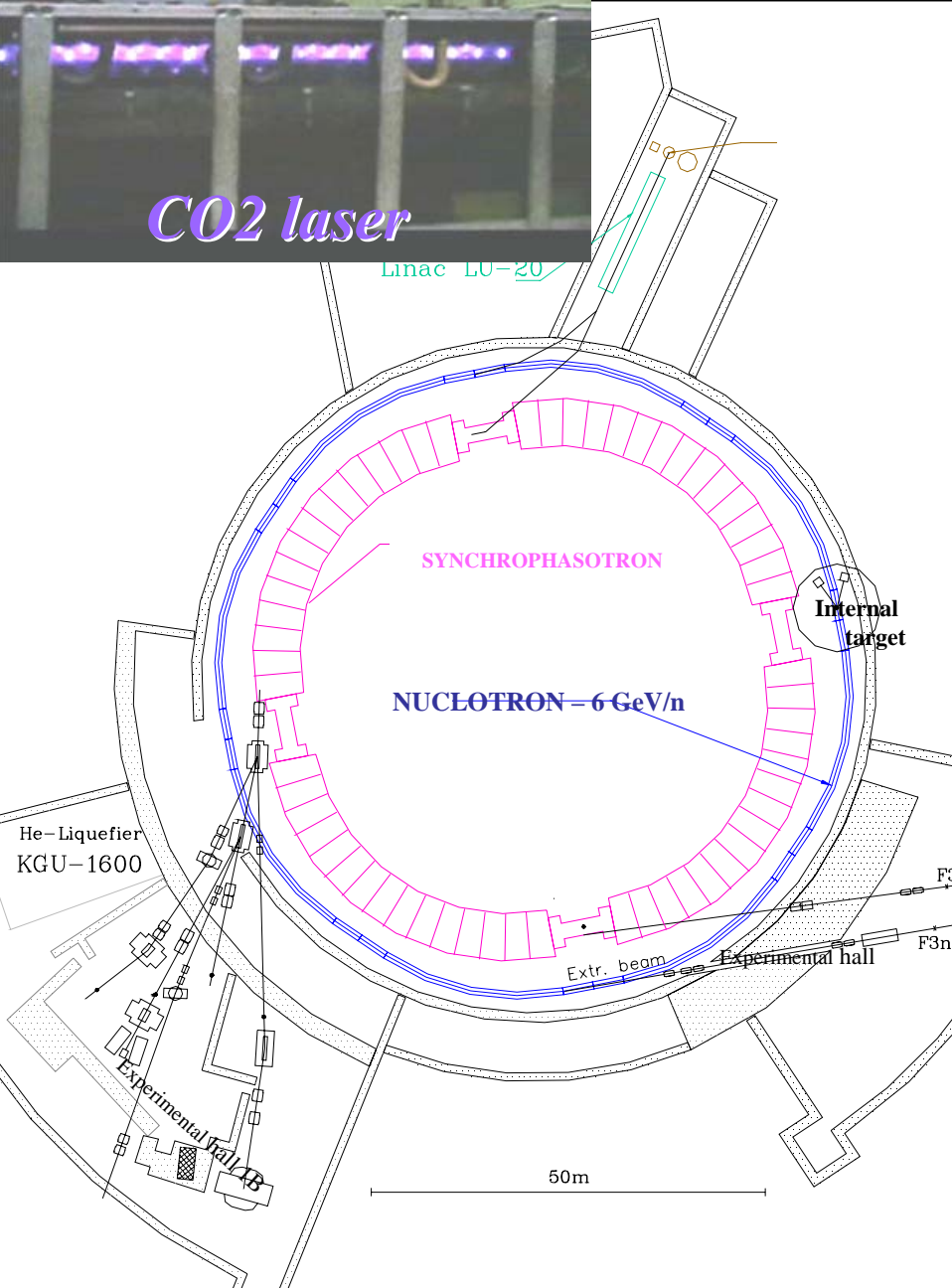
In spite of the fact that half a century passed since the NTE development it retains the status of an universal and inexpensive detector. With an unsurpassed spatial resolution (about 0.5  $\mu\text{m}$ ) NTE of the BR-2 type provides a complete observation of tracks starting from fission fragments and down to relativistic particles. NTE deserve a further use in fundamental and applied research in state-of-art accelerators and reactors, as well as with sources of radioactivity, including natural ones. Application of NTE is especially justified in those pioneering experiments in which nuclear particle tracks can not be reconstructed with the help of electronic detectors.

does not give up the search, I will not  
be long. He will not rest, but will turn his attention to one thing  
after another which he considers relevant to the subject under  
investigation until he arrives at the solution of his problem."  
ERASTRATOS  
(from a translation by J. P. FARENTOIS)

<http://becquerel.jinr.ru/text/books/POWELL.pdf>



Linac LU-20

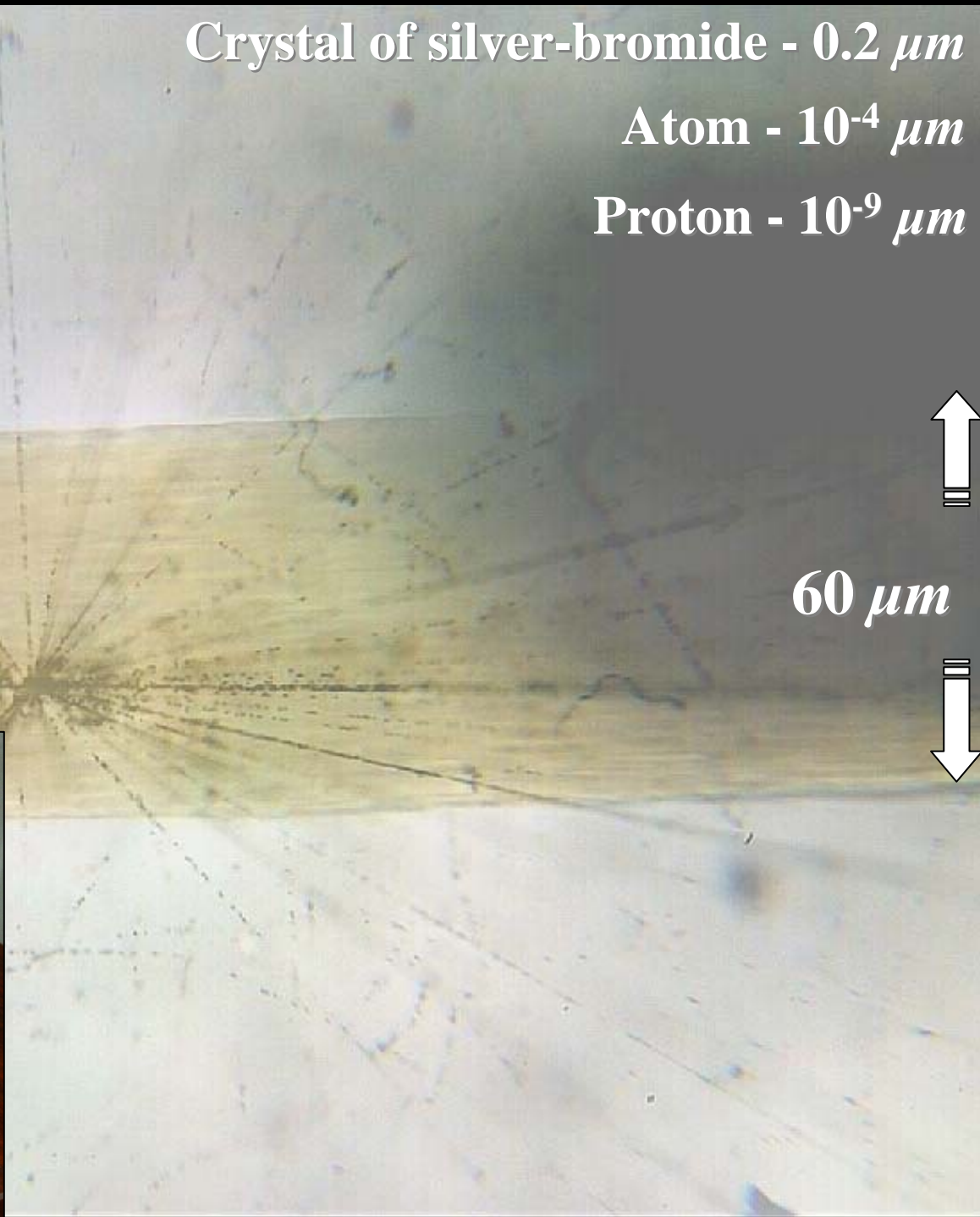


Crystal of silver-bromide -  $0.2 \mu\text{m}$

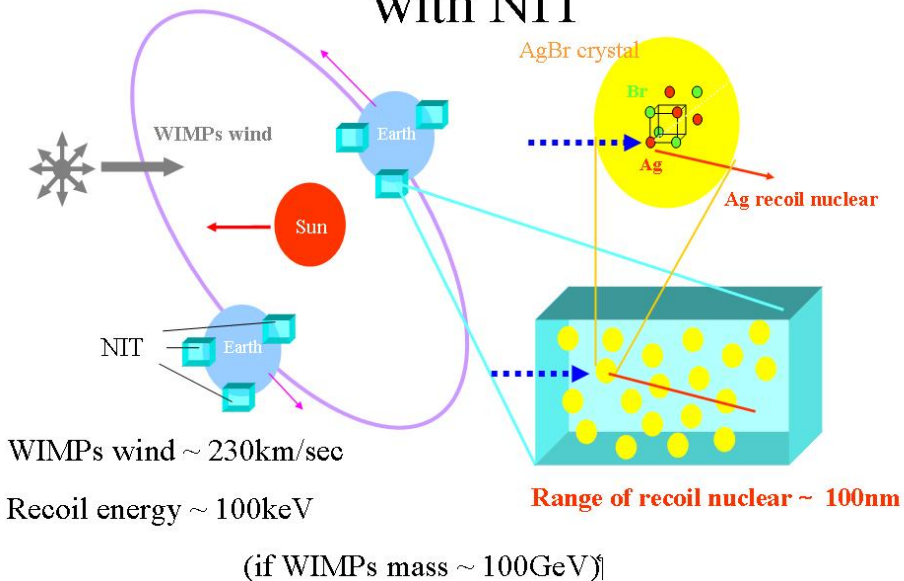
Atom -  $10^{-4} \mu\text{m}$

Proton -  $10^{-9} \mu\text{m}$

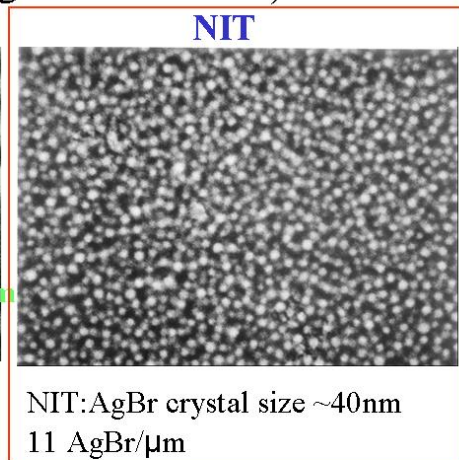
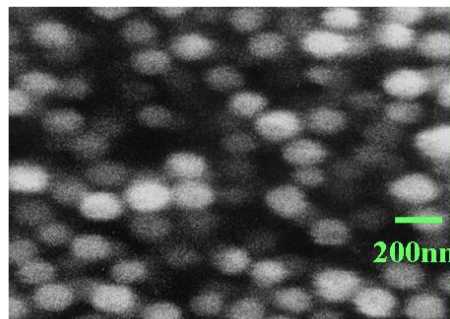
$60 \mu\text{m}$



# Principle for Detection of WIMPs with NIT



## High resolution emulsion (Nano Imaging Tracker: NIT)



5 times resolution for OPERA!

## Recoil nuclear test of NIT => implant low velocity Kr ion

サイズ 7cm $\times$ 3cm

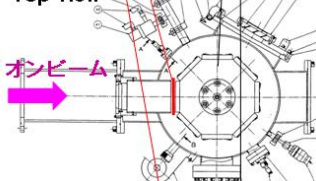
乳剤層の厚み

NIT: 5 $\mu\text{m}$

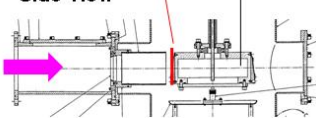
OPERA: 20 $\mu\text{m}$

フィルム

Top view



Side view

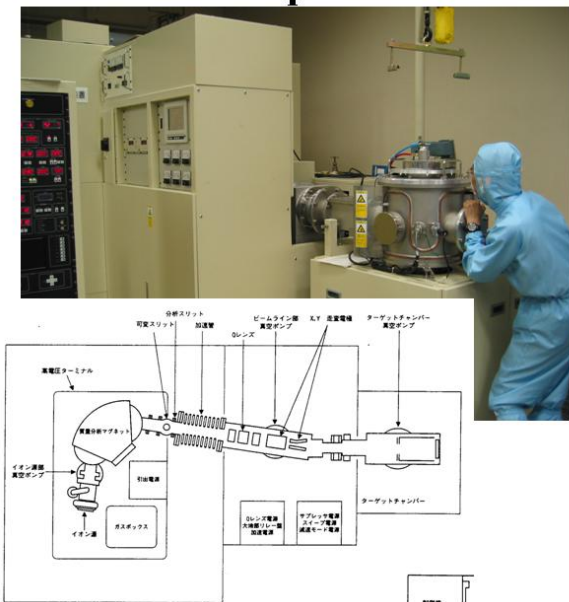
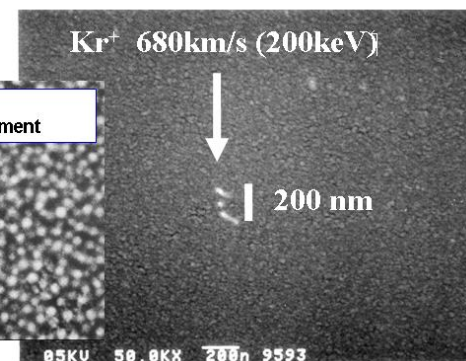
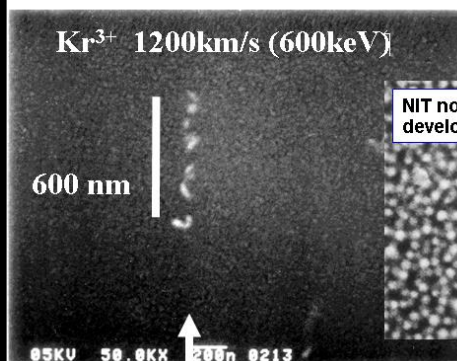


チェンバーの真空はそのままに  
 7つのサンプルに照射できる

## Tracking test by low velocity Kr

SEM image

Supposition Br recoil



## ИССЛЕДОВАНИЯ ЧАСТИЦ КОСМИЧЕСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА ИСЗ «ИНТЕРКОСМОС-6»

Л. А. ВЕДЕШИН,  
Р. А. НЫММИК,  
И. Д. РАПОПОРТ,  
А. Ф. ТИТЕНКОВ

**П**о программе сотрудничества социалистических стран в области исследования и использования космического пространства в мирных целях 7 апреля 1972 г. в СССР был выведен на околоземную орбиту искусственный спутник Земли «Интеркосмос-6». Этот эксперимент, подготовленный учеными шести стран — Венгрии, Монголии, Польши, Румынии, Чехословакии и Советского Союза, — ставил задачей выяснение природы частиц космического излучения и исследование характеристик их взаимодействия с веществом в области высоких энергий ( $10^{12}$ — $10^{13}$  эв).

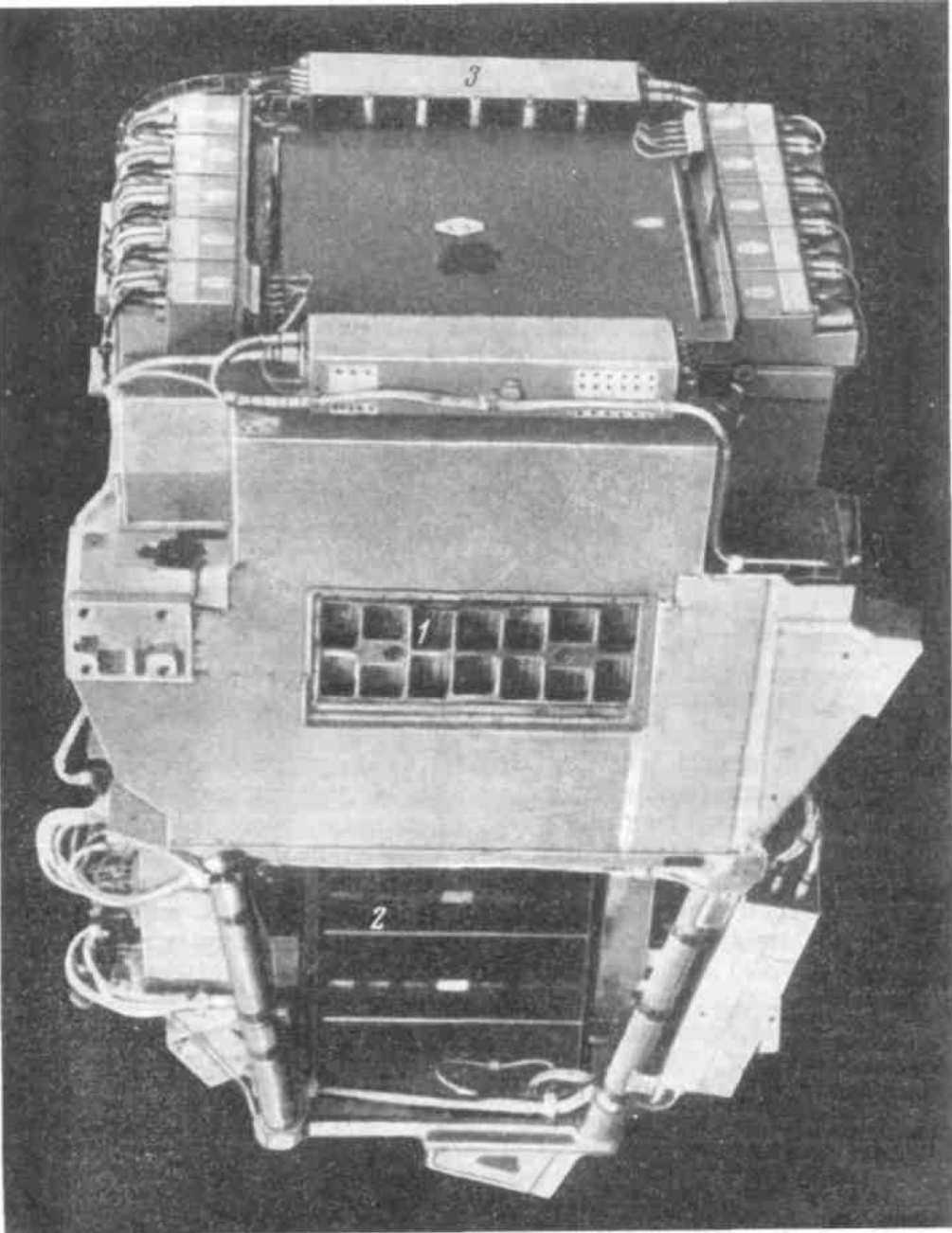


Рис. 1. Внешний вид установленного на ИСЗ «Интеркосмос-6» прибора для исследования первичного космического излучения

1 — фотоэмульсионный блок, 2 — ионизационный калориметр, 3 — детектор зарядов

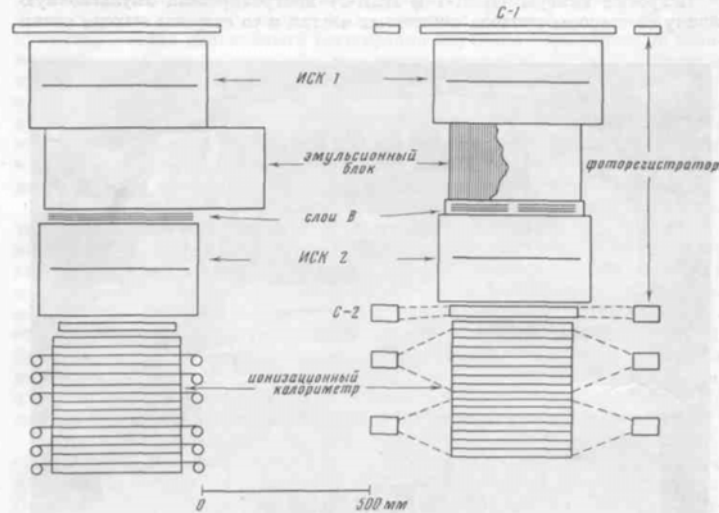


Рис. 2. Схема устройства прибора для исследования первичного космического излучения

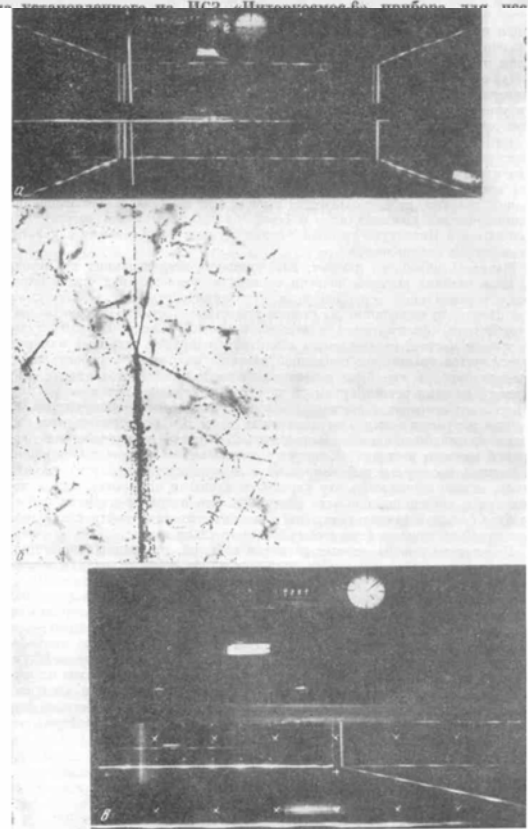
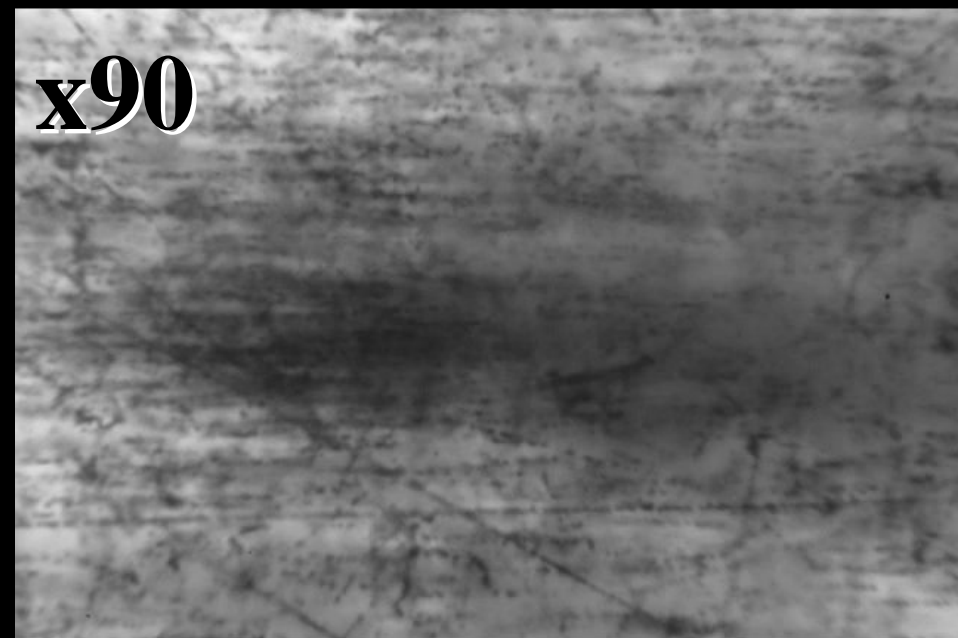
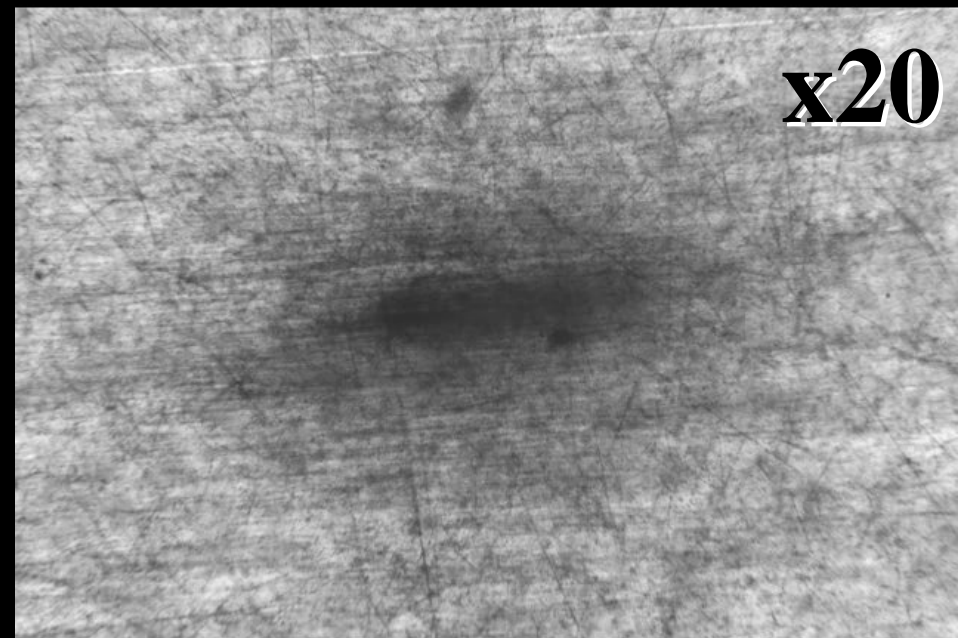
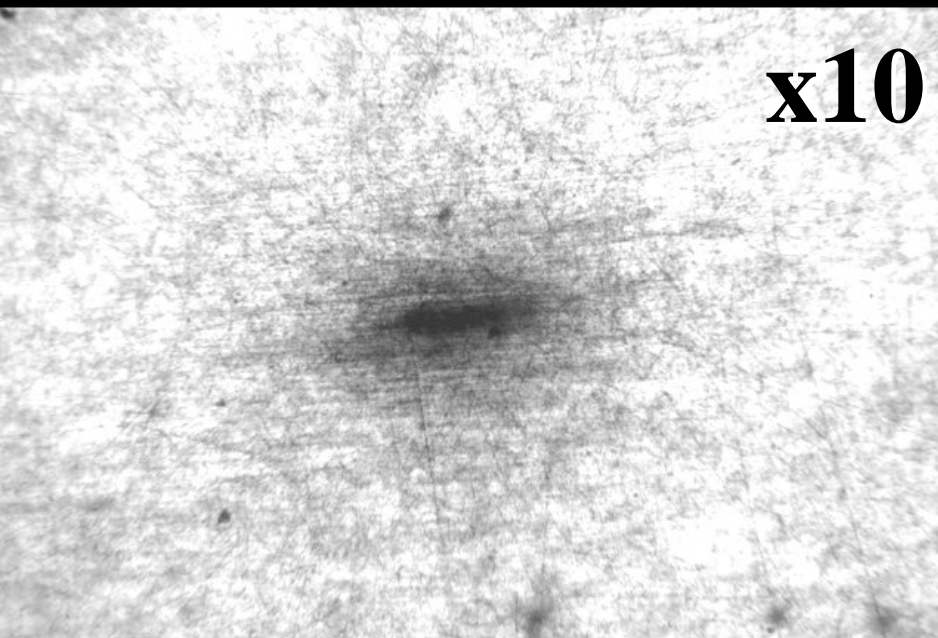
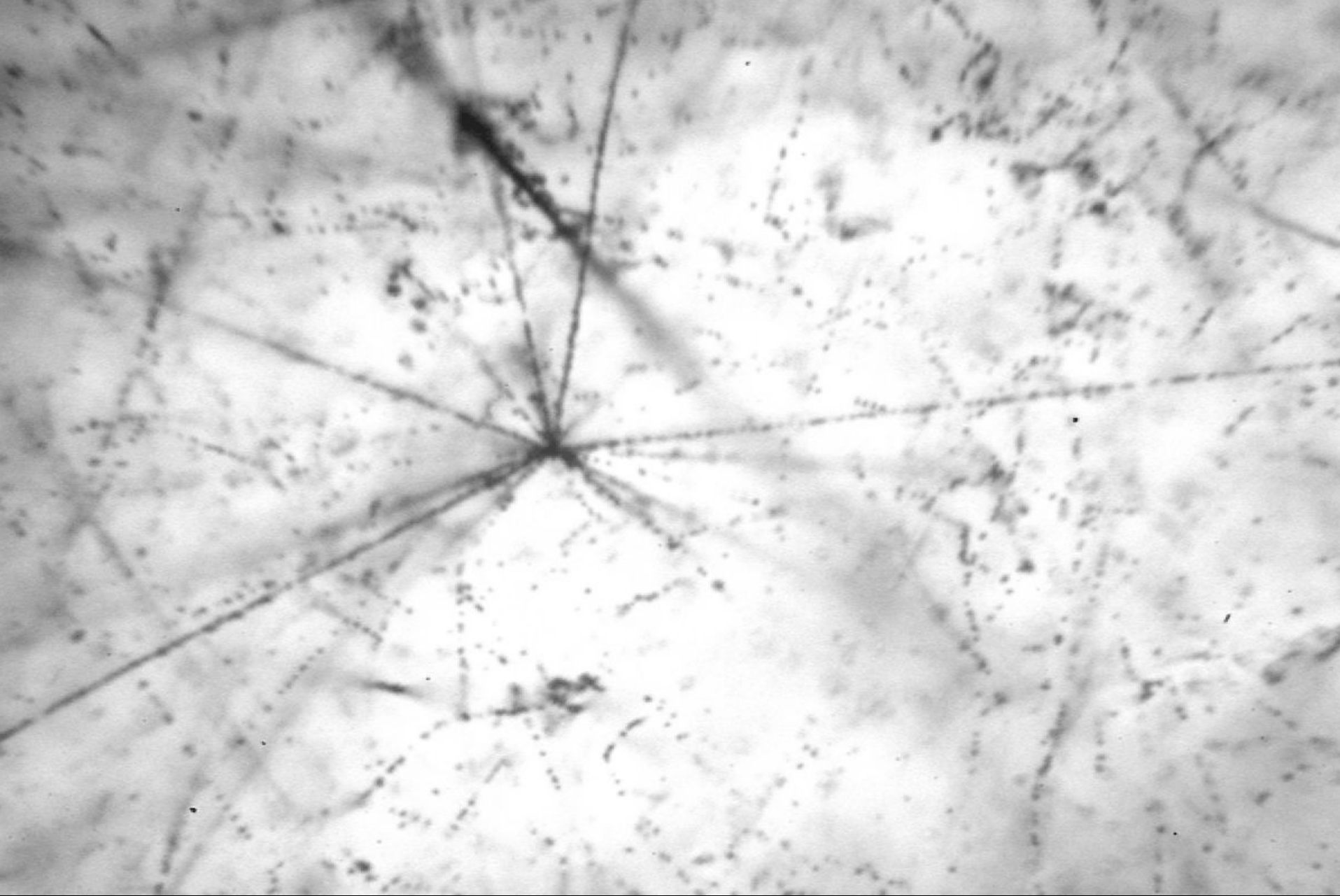


Рис. 3. Взаимодействие  $\alpha$ -частицы с энергией  $\sim 10^7$  эв в эмульсионной пластине  
 а — вид трех первичных частиц в верхней камере, б — микрофотография взаимодействующих первичных частиц в пластине, наблюдаемая по сигналам искровой камеры, в — линия вторичных частиц, зарегистрированных в нижней камере







ИЗУЧЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ЯДЕР  
ПЕРВИЧНЫХ КОСМИЧЕСКИХ ЛУЧЕЙ ВЫСОКОЙ ЭНЕРГИИ  
С АТОМНЫМИ ЯДРАМИ ФОТОЭМУЛЬСИИ НА ИСКУССТВЕННОМ  
СПУТНИКЕ ЗЕМЛИ «ИНТЕРКОСМОС-6»

А. ШОМОДИ

*ЦИФИ ВЕНГЕРСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК*

С. СУГАР, Б. ЧАДРАА

*ИНСТИТУТ ФИЗИКИ И ТЕХНИКИ МОНГОЛЬСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК*

Ю. В. БАСИНА, С. И. БРИККЕР, Н. Л. ГРИГОРОВ, Л. Б. ГРИГОРЬЕВА,  
М. А. КОНДРАТЬЕВА, Л. Г. МИЩЕНКО, Р. А. НЫММИК, Л. П. ПАПИНА,  
А. В. ПОДГУРСКАЯ, Л. М. ПОПЕРЕКОВА, И. Д. РАПОПОРТ, И. А. САВЕНКО,  
В. К. СОКОЛОВ, В. А. СОБИНЯКОВ, Ч. А. ТРЕТЬЯКОВА, Л. О. ЧИКОВА,  
В. Я. ШЕСТОПЕРОВ, Ж. М. ШОПЕНБЕРГ

*НИИЯФ МОСКОВСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО УНИВЕРСИТЕТА*

Б. БАЦКАН, Д. НЕАЧУ, М. ХАЙДУК, Т. ВИШКИ

*ИНСТИТУТ АТОМНОЙ ФИЗИКИ РУМЫНСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК*

Ю. ДУБИНСКИЙ, Л. ЮСТ

*ИНСТИТУТ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ ФИЗИКИ СЛОВАЦКОЙ  
АКАДЕМИИ НАУК*

*(Поступила в редакцию 18 октября 1977 г.)*

Приведены экспериментальные данные о характеристиках взаимодействия протонов,  $\alpha$ -частиц и тяжелых ядер с атомными ядрами фотоэмульсии при средней энергии частиц  $\sim 7$  Тэв. Полученные экспериментальные данные указывают на уменьшение числа рождаемых частиц в расчете на один взаимодействующий нуклон первичного ядра с ростом атомного веса первичных ядер. Выявлен класс взаимодействий ядер, которые не сводятся к суперпозиции независимо взаимодействующих нуклонов.

However, the production of NTE pellicles which lasted in Moscow for four decades was ended more than ten years ago. The interest in a further application stimulated its reproduction in the MICRON workshop that is part of the company “Slavich” (Pereslavl Zalesky, Russia). At present NTE samples are produced by layers of thickness of 50 to 200  $\mu\text{m}$  on glass substrates. Supportless pellicles of thickness of the order of 500  $\mu\text{m}$  are expected to be available soon. Verification of novel NTE in exposures to relativistic particles confirmed that it is similar to the BR-2 one.

Competitiveness of NTE in measurements of short  $\alpha$ -particle and heavy ion tracks on most precise optical microscope KSM with a 90 $\times$  objective is demonstrated in series of low energy applications. When measuring decays of  $^8\text{He}$  nuclei implanted in NTE the possibilities of  $\alpha$ -spectrometry were verified and the effect of the  $^8\text{He}$  atom drift was established. Correlation of  $\alpha$ -particle triples were studied in disintegrations of carbon nuclei of NTE composition by 14.1 MeV neutrons. The angular correlations of  $^7\text{Li}$  and  $^4\text{He}$  nuclei produced in disintegrations of boron nuclei by thermal neutrons were studied in boron enriched NTE. In this series of exposures the angular resolution of NTE was confirmed to be perfect by expected physical effects which are manifested in the distributions of the opening angles distributions of the products of the studied reactions.

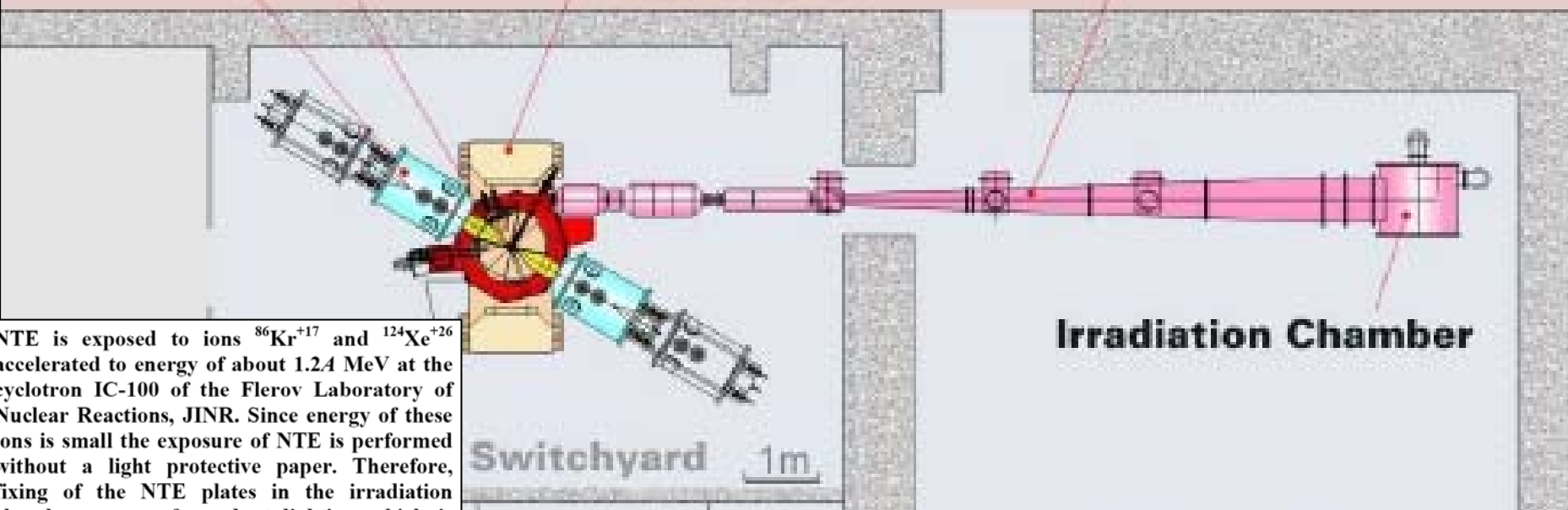
**Tank**

**Chamber**

**IC-100**

**Beam line**

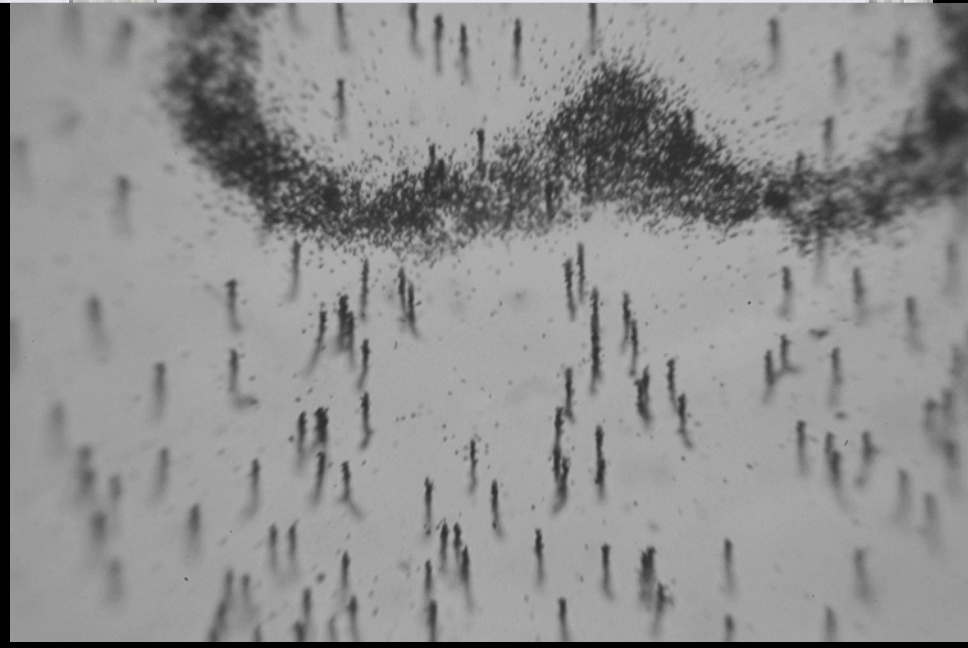
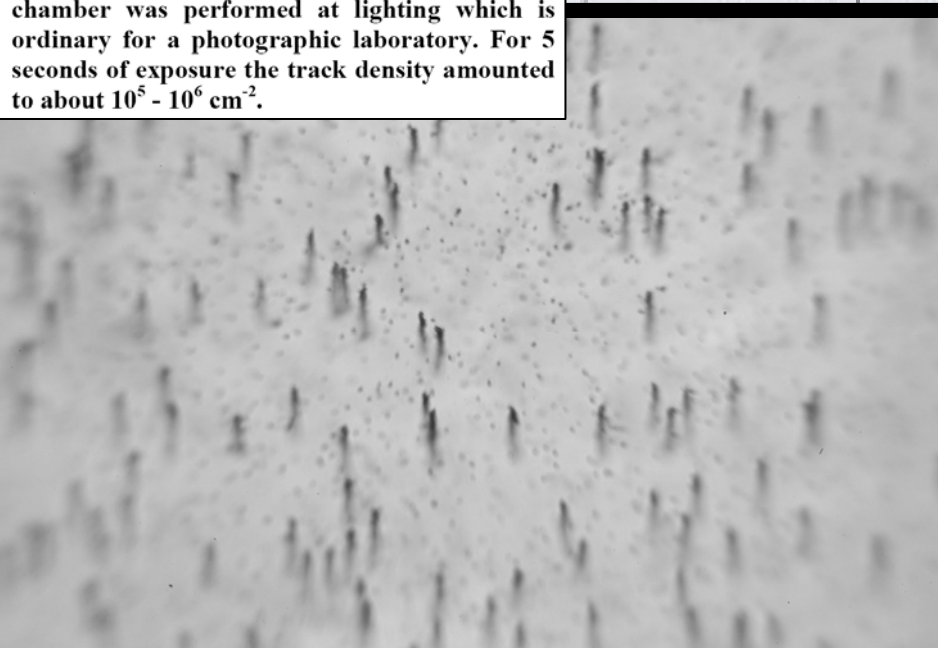
cross-section

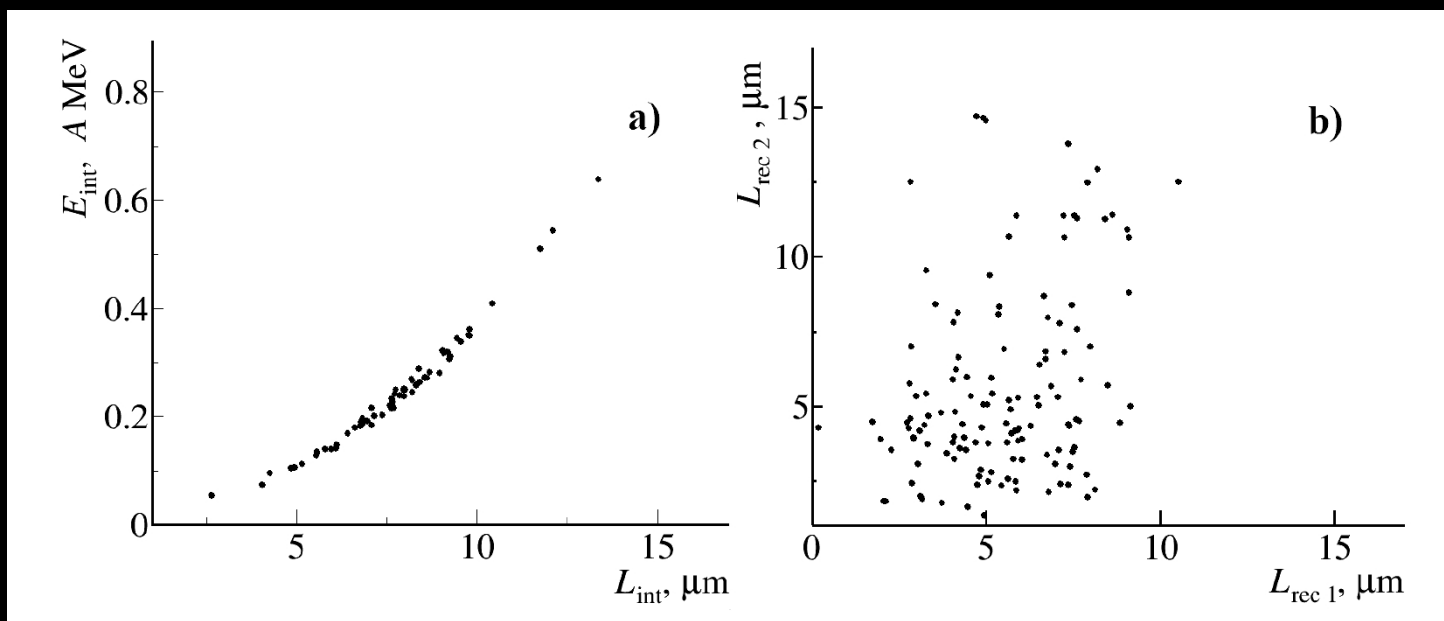
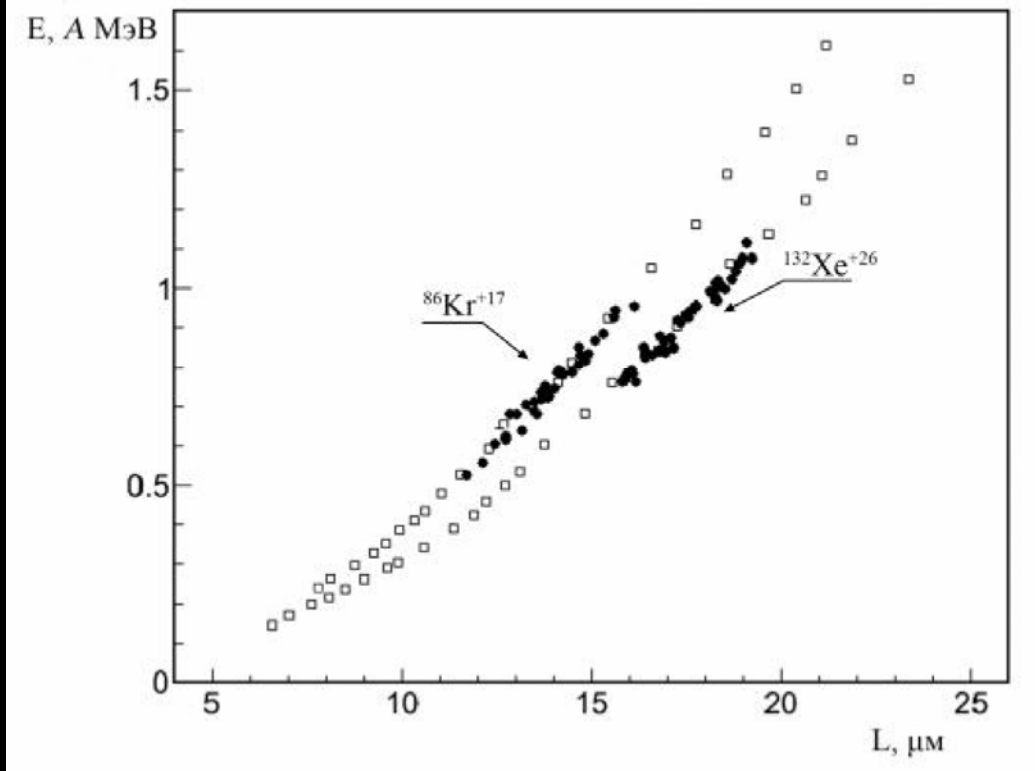


**Irradiation Chamber**

Switchyard 1m

NTE is exposed to ions  $^{86}\text{Kr}^{+17}$  and  $^{124}\text{Xe}^{+26}$  accelerated to energy of about 1.24 MeV at the cyclotron IC-100 of the Flerov Laboratory of Nuclear Reactions, JINR. Since energy of these ions is small the exposure of NTE is performed without a light protective paper. Therefore, fixing of the NTE plates in the irradiation chamber was performed at lighting which is ordinary for a photographic laboratory. For 5 seconds of exposure the track density amounted to about  $10^5 - 10^6 \text{ cm}^{-2}$ .





Xe x10 1.2 A MeV



3

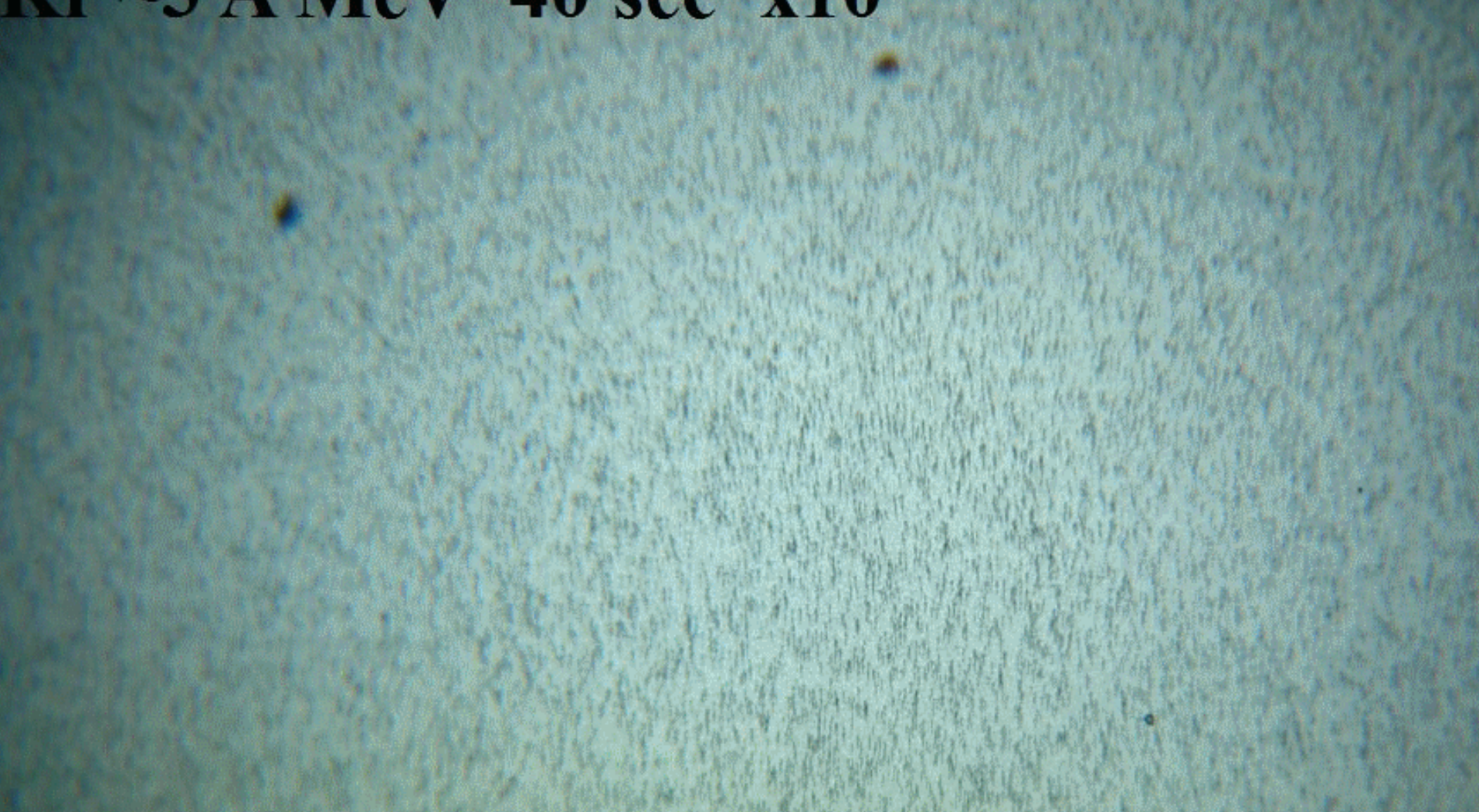
5

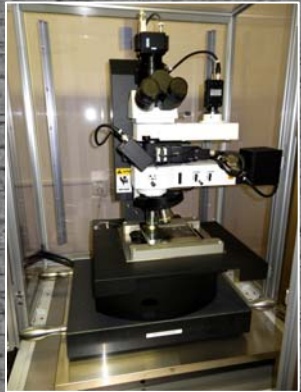
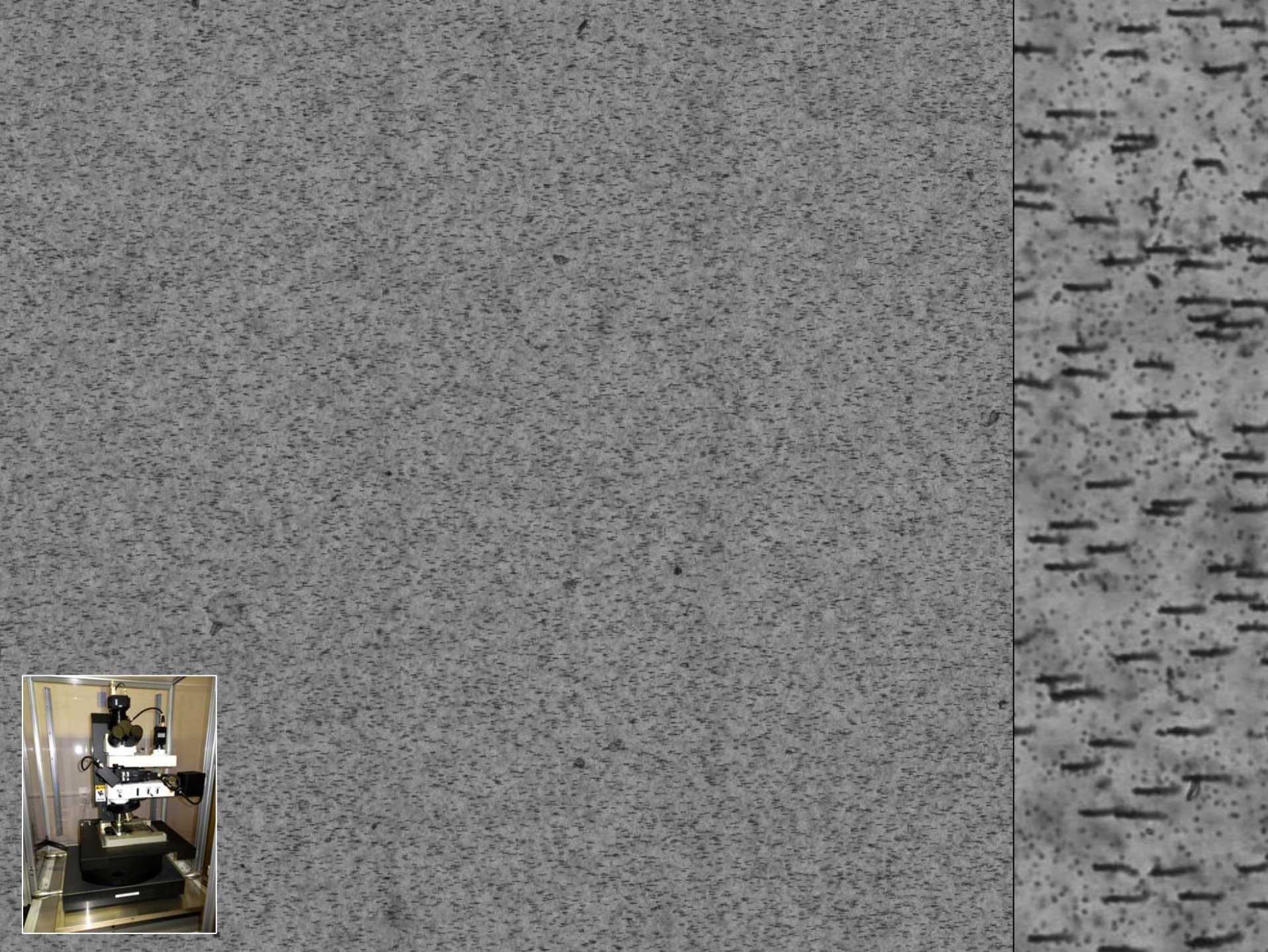
2

5

# Flerov Laboratory

**Kr ~3 A MeV 40 sec x10**







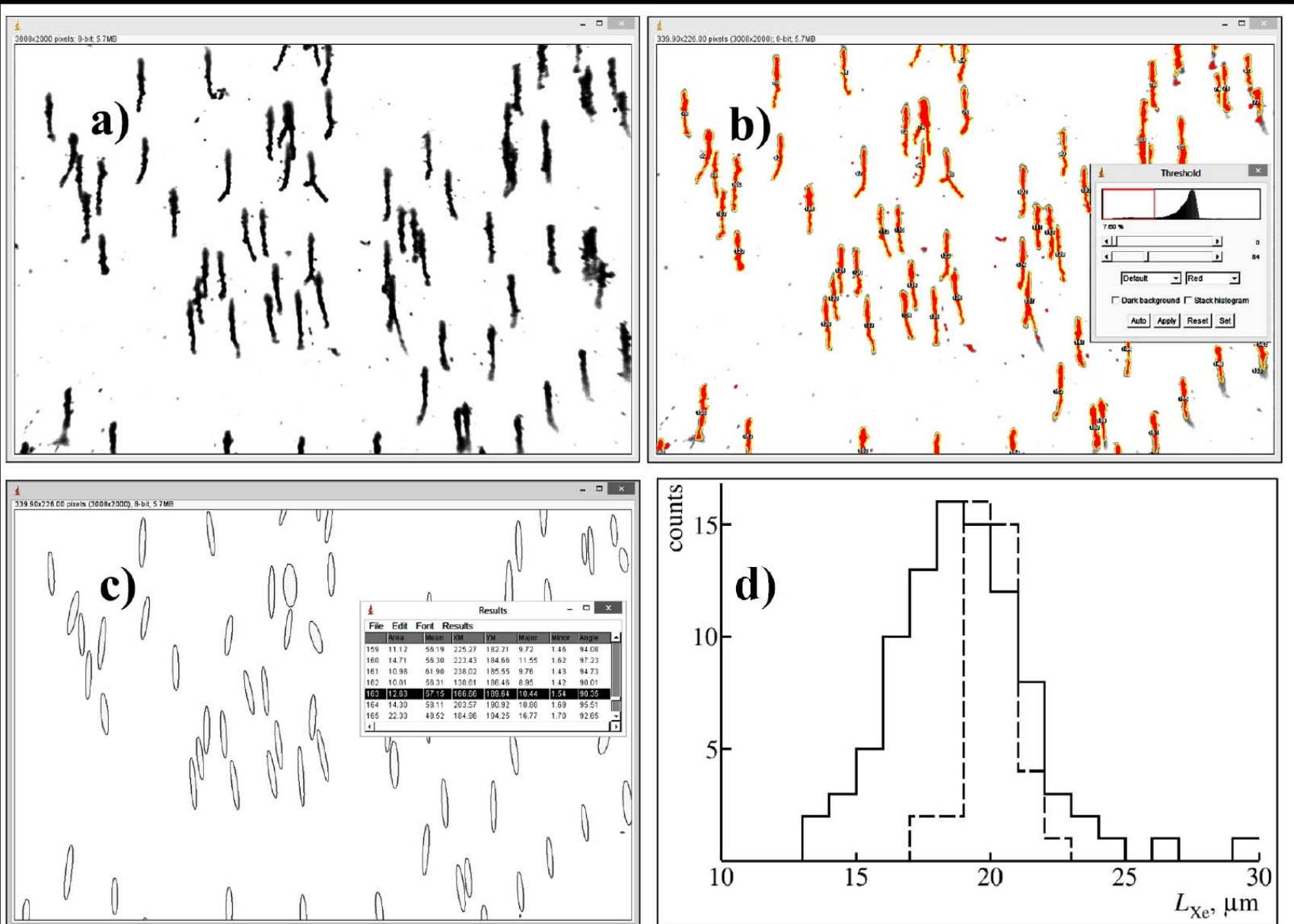
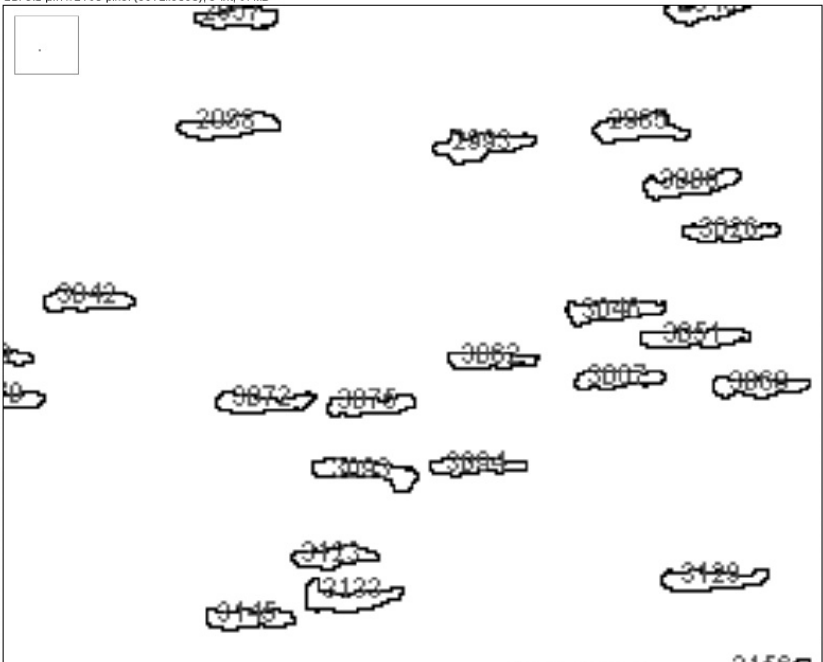
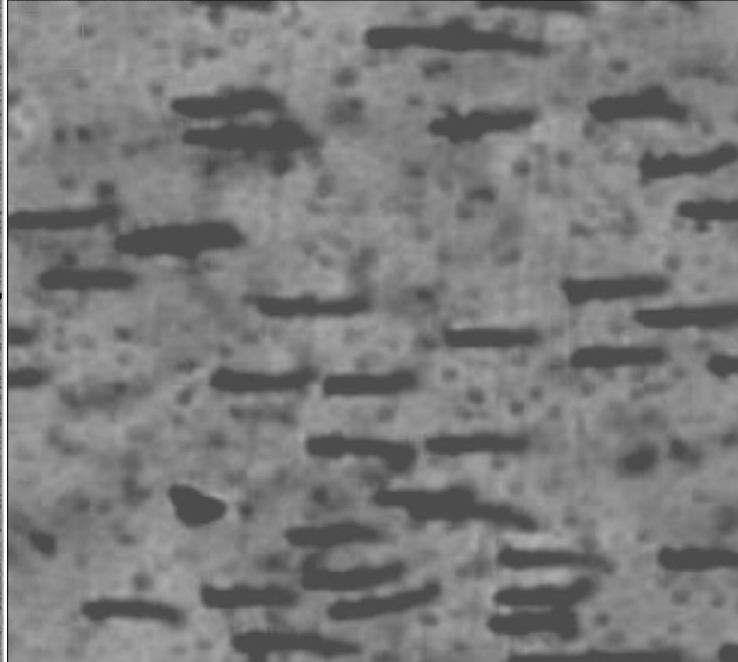


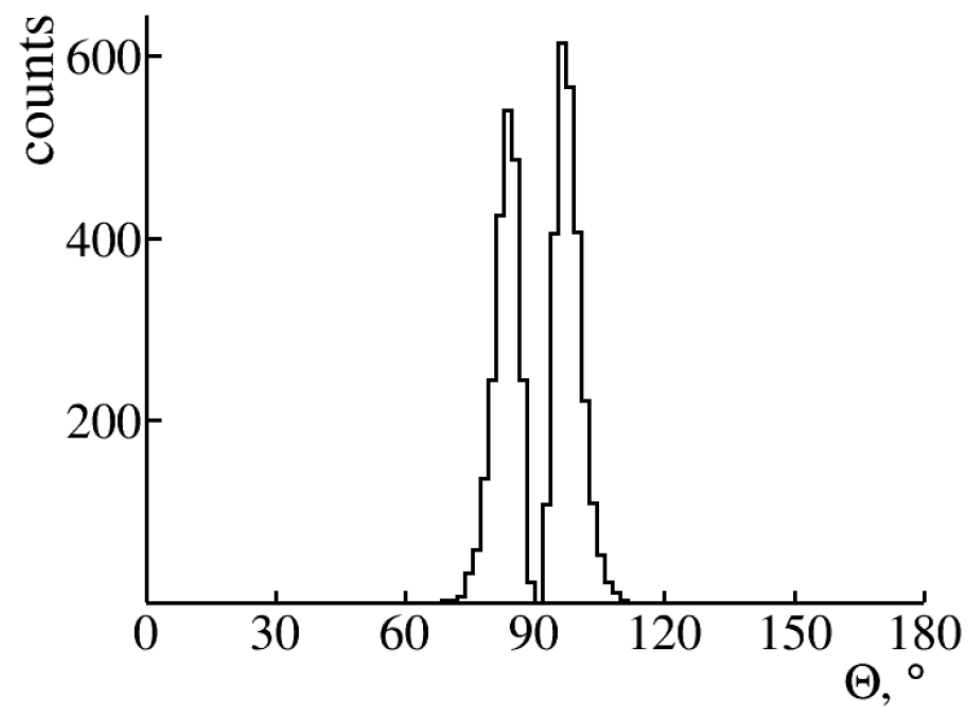
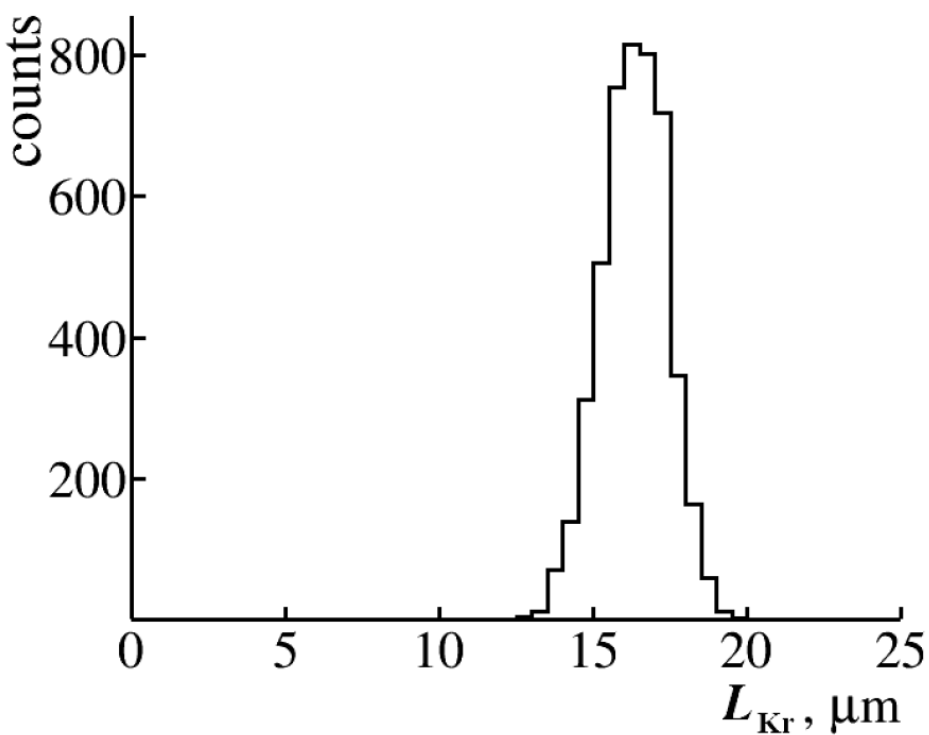
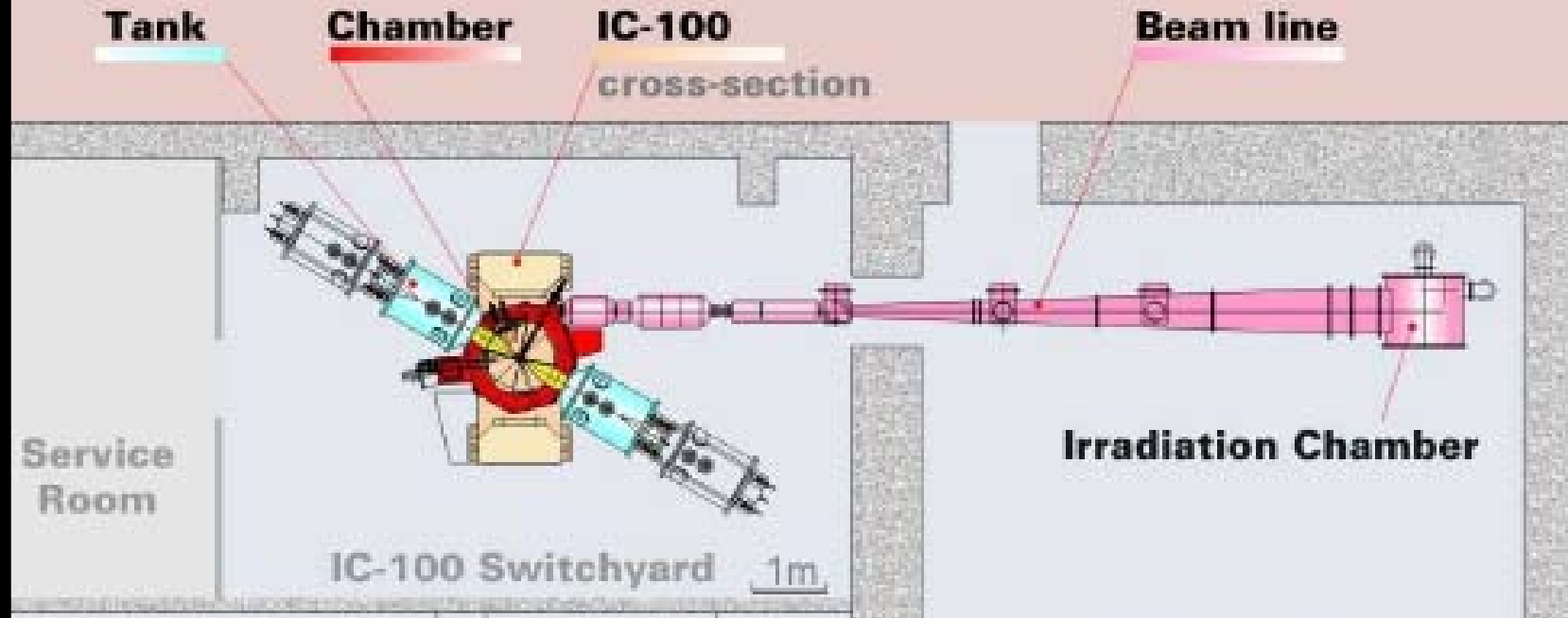
Fig. 5. Stages of computer analysis: (a) initial close-up, (b) finding of track images, (c) description of them as ellipses and (d) ion range distribution in computer (solid line) and manual (dashed line) analysis.



Results

File Edit Font Results

	Area	X	Y	Perim.	Major	Minor	Angle	Circ.	Feret	FeretX	FeretY	FeretAngle	MinFeret	AR	Round
3182	15.312	548.773	1314.083	23.730	11.515	1.693	4.694	0.342	10.990	543.550	1314.950	9.162	1.907	6.801	0.147
3183	25.602	208.164	1315.026	30.044	10.302	3.164	2.184	0.356	11.336	202.650	1315.650	8.881	4.729	3.256	0.307
3184	22.662	748.806	1314.813	27.364	11.655	2.476	176.318	0.380	11.465	743.400	1313.550	167.661	3.121	4.708	0.212
3185	16.292	623.072	1314.512	23.730	11.391	1.821	0.947	0.364	10.901	617.750	1314.950	5.528	2.098	6.255	0.160
3186	16.905	1175.295	1315.224	23.984	10.918	1.971	4.026	0.369	10.523	1170.050	1314.950	176.186	2.591	5.538	0.181
3187	21.560	1502.451	1315.145	22.584	9.231	2.974	0.784	0.531	9.267	1498.000	1314.600	169.114	3.500	3.104	0.322
3188	23.397	943.595	1315.473	25.420	11.721	2.542	3.319	0.455	11.336	938.000	1316.350	8.881	2.800	4.612	0.217
3189	22.417	2158.895	1315.555	25.589	10.935	2.610	2.810	0.430	10.365	2153.550	1316.000	11.689	3.150	4.189	0.239



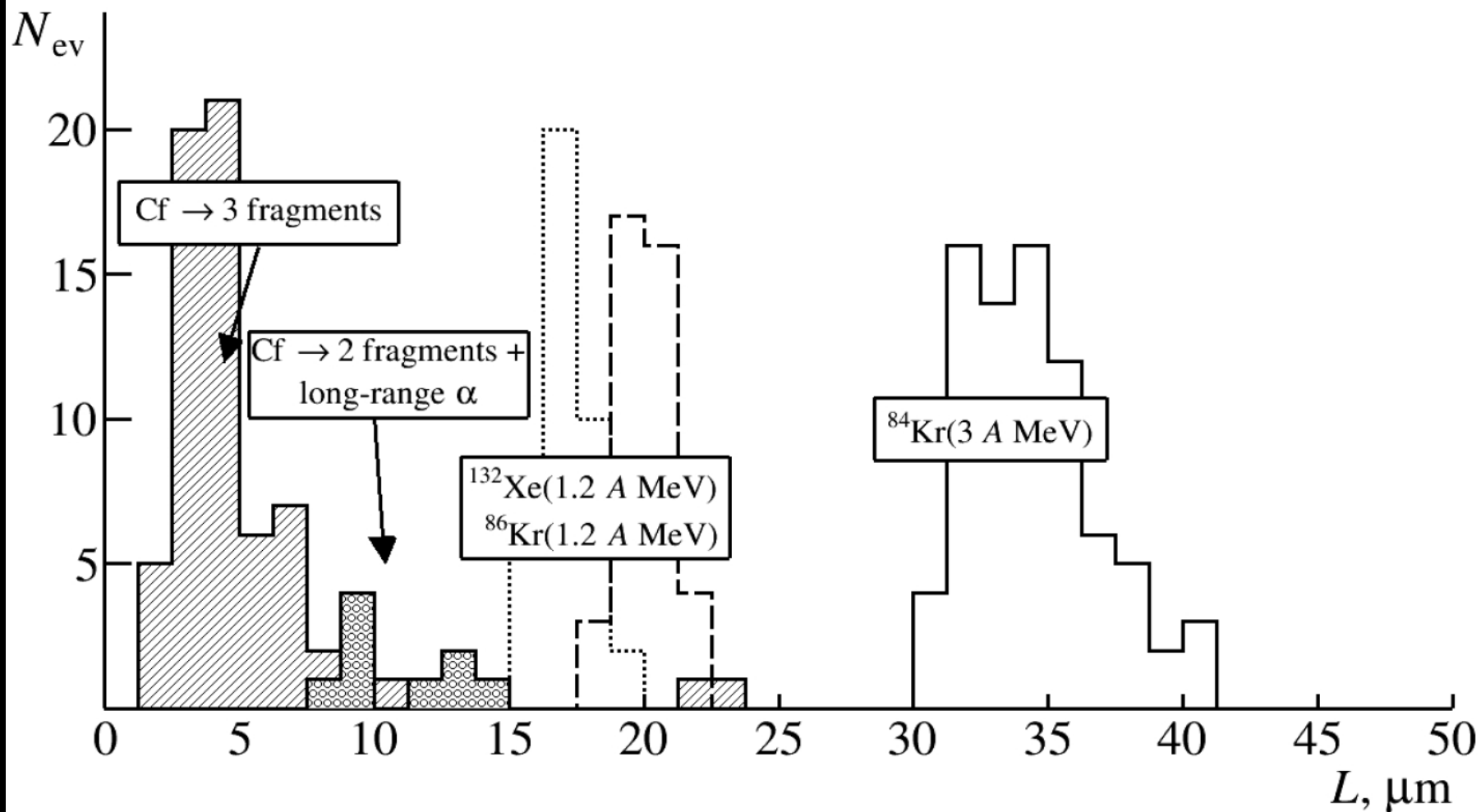


Fig. 2. Distributions of ranges of ions  $^{86}\text{Kr}$ ,  $^{132}\text{Xe}$ ,  $^{84}\text{Kr}$  and in decays  $\text{Cf} \rightarrow 3$  fragments and  $\text{Cf} \rightarrow 2$  fragments + long-range  $\alpha$ .

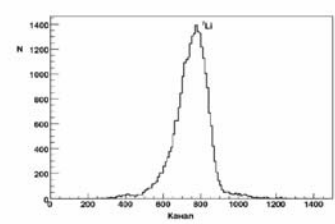
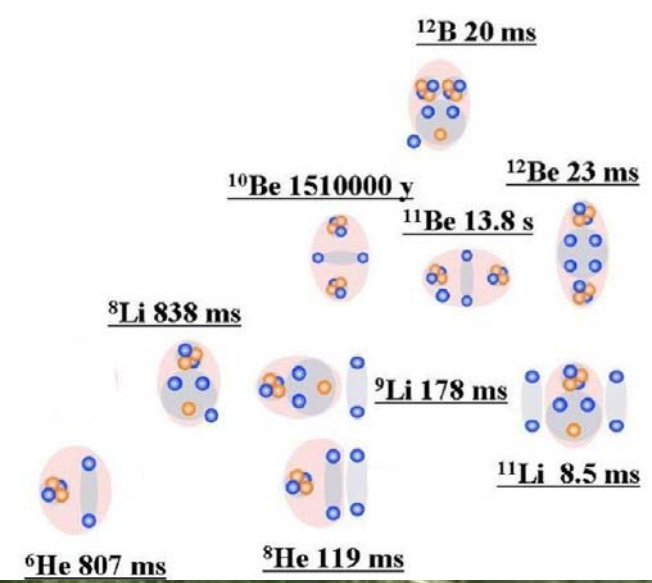
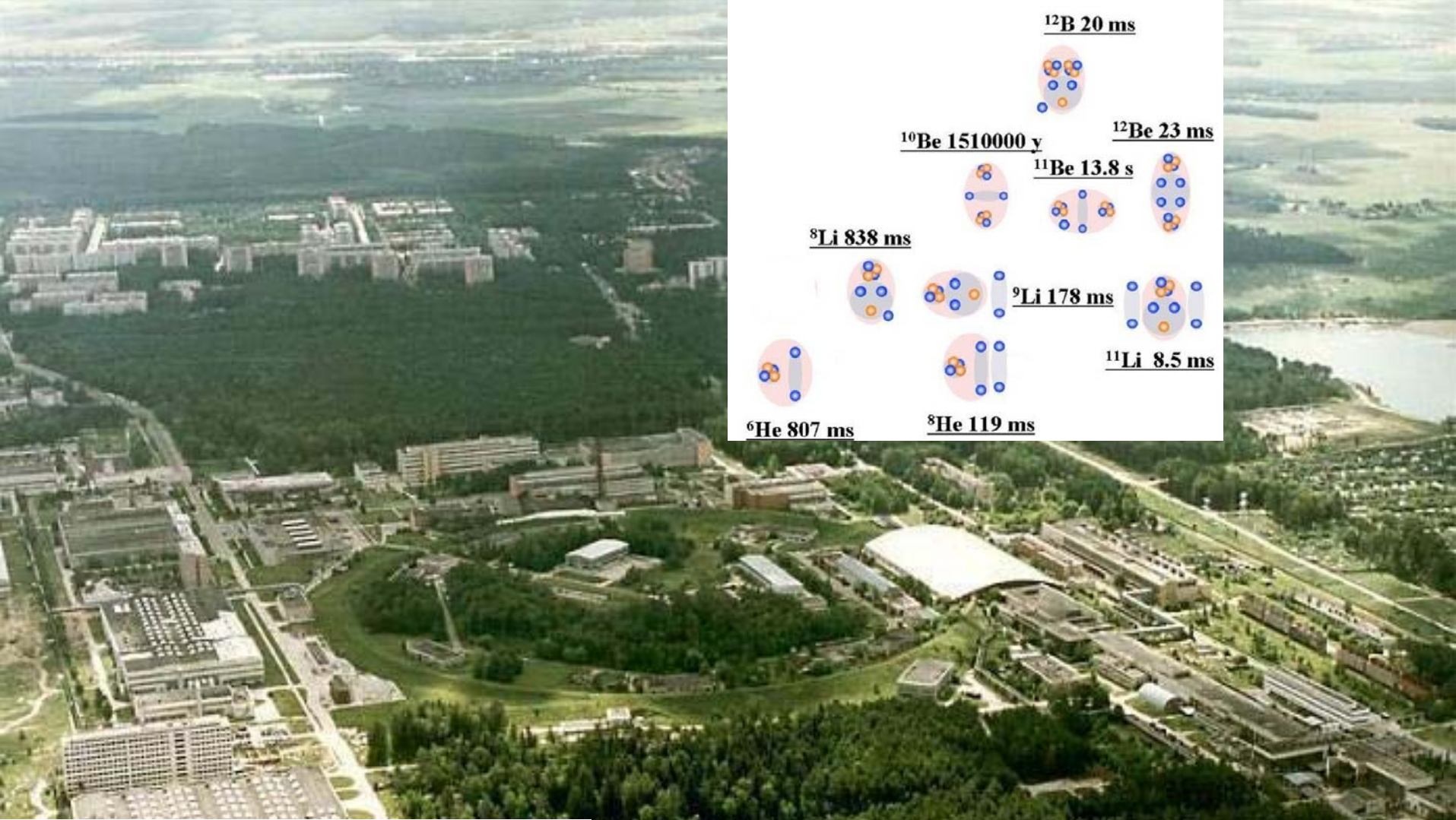


Рис. 9: Амплитудный спектр с адронного калориметра. Цена канала 3.2 канал/ГэВ, пьедестал в 250-м канале.

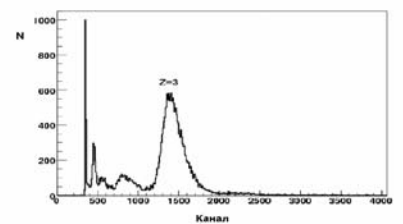
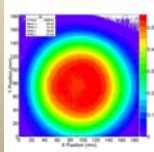
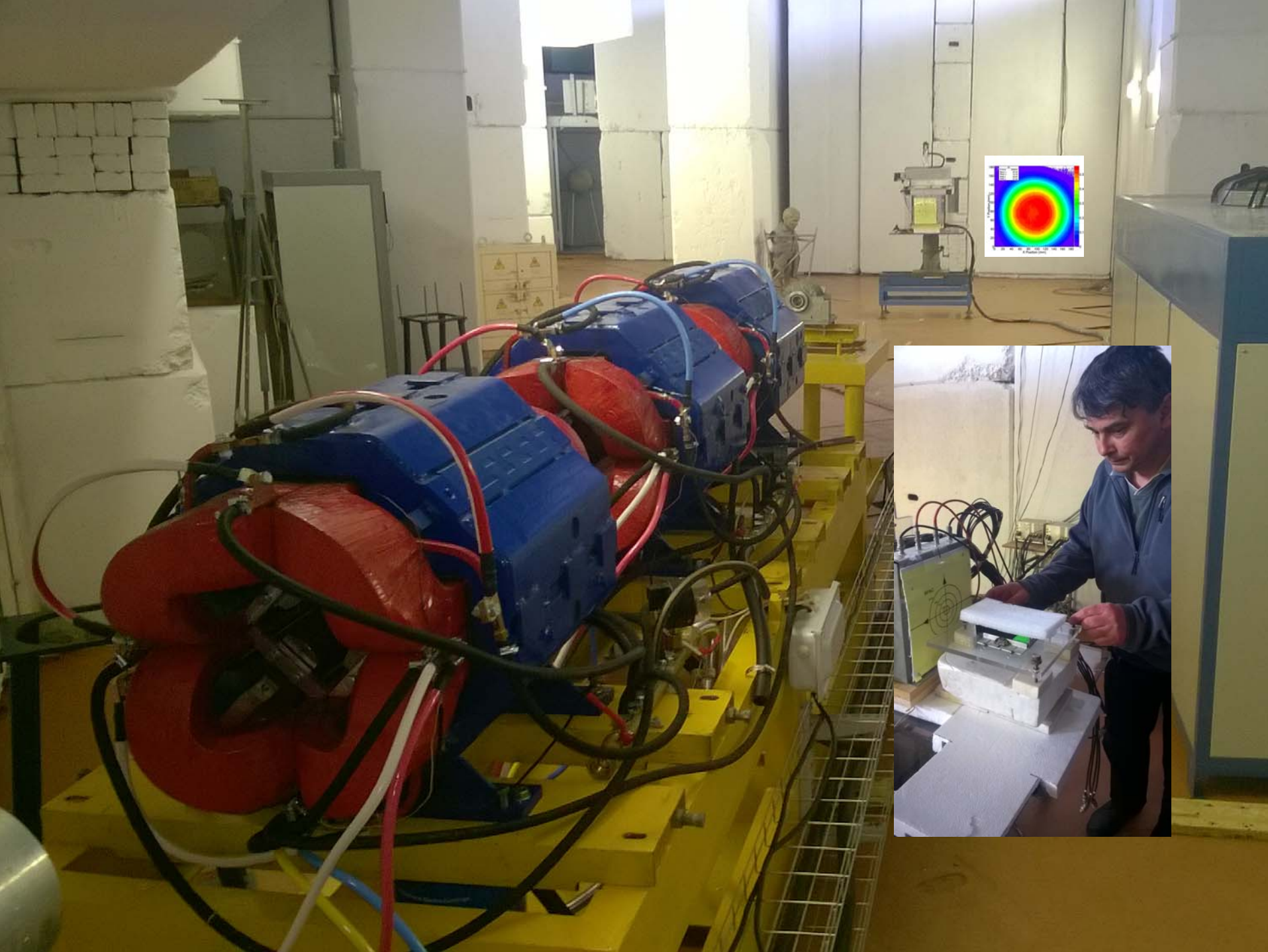


Рис. 10: Амплитудный спектр со сцинтилляционного счётчика  $S_3$ . Основной сигнал соответствует заряду  $Z = 3$ . Сигналы с меньшей амплитудой связаны с развалом ядра  $^7\text{Li}$  в веществе перед счетчиком.

Таким образом, в весеннем сеансе 2012 года получен важный результат — ускоренные до полной энергии 300 ГэВ ионы углерода выведены из ускорителя У-70, продемонстрированы возможности канала №22 в качестве сепаратора фрагментов.

Полученный в этом сеансе опыт работы с высокоэнергичными пучками ионов углерода и продуктами их фрагментации позволяет уверенно планировать дальнейшие эксперименты в области релятивистской ядерной физики на крупнейшем в России Ускорительном комплексе У-70 ГИЦ ИФВЭ.



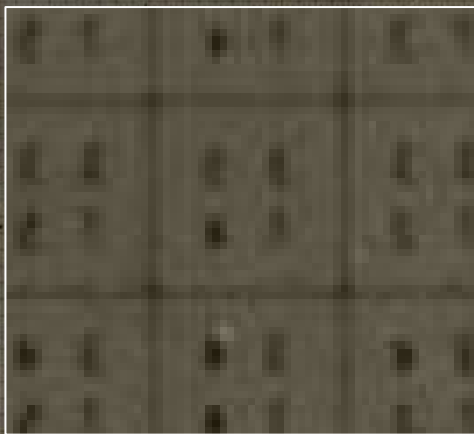


D-10 (50.1)

0



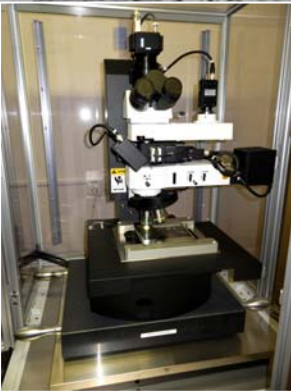
**Correlation of  $\alpha$ -particle triples in disintegrations of carbon nuclei by 14.1 MeV neutrons**



10/10

10/10





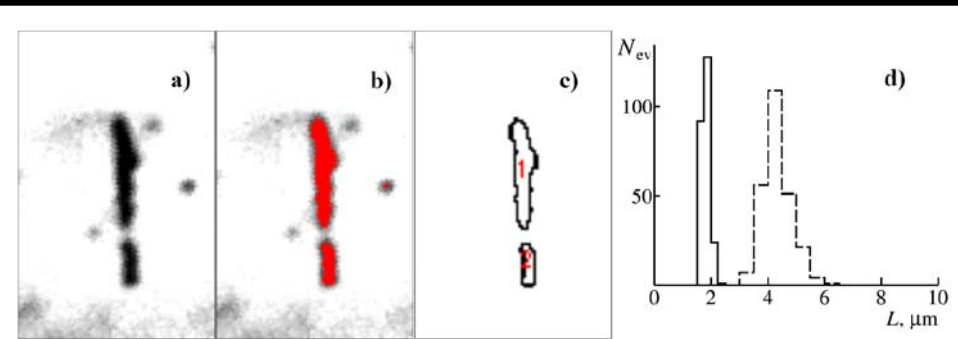
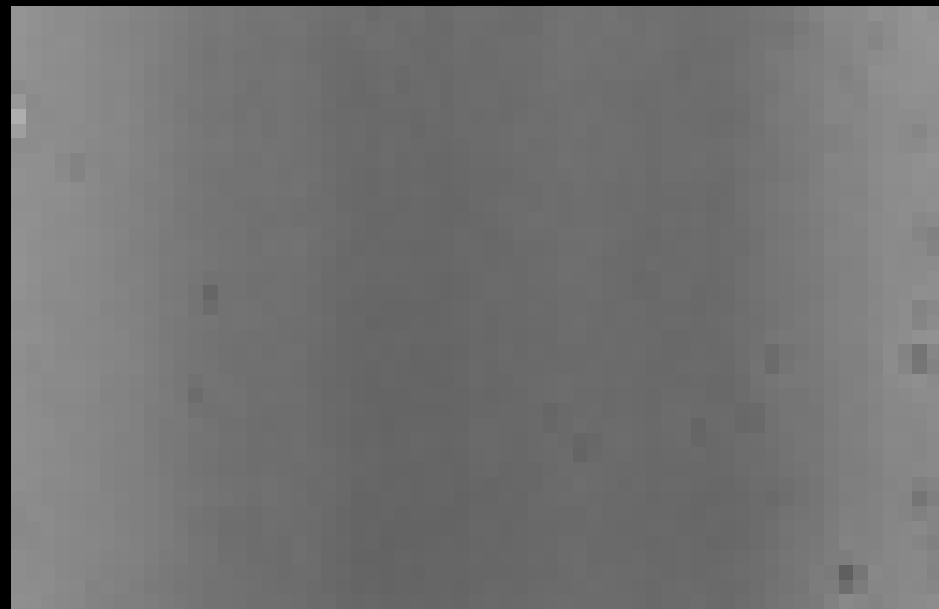
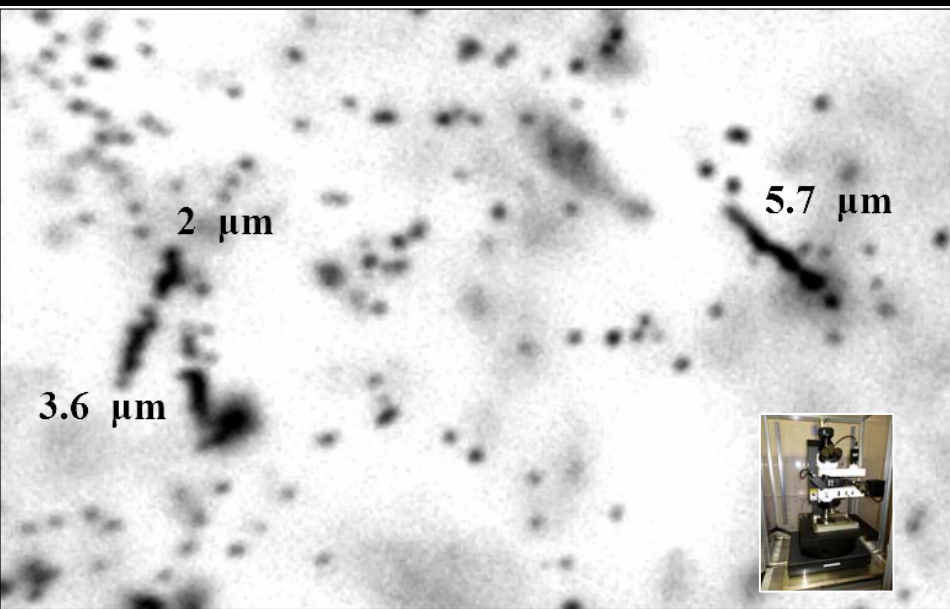
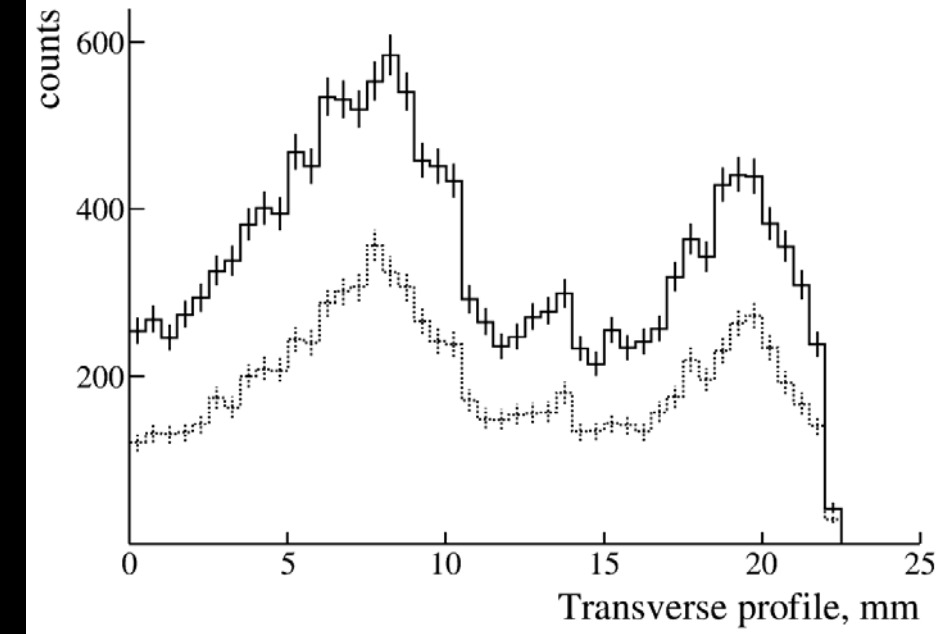
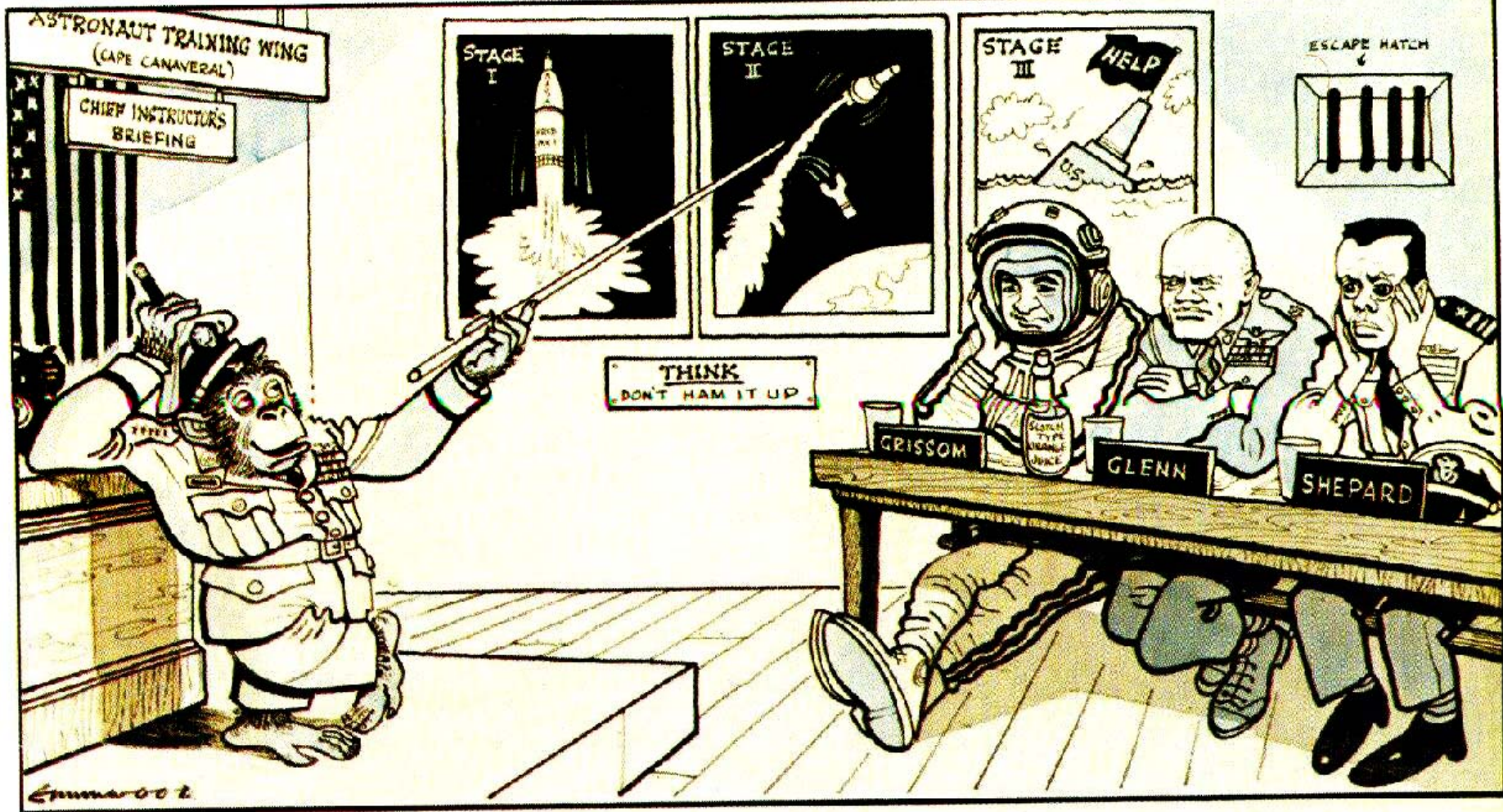


Figure 3. Example of disintegration of boron nucleus by thermal neutron to the Li and He  $n_{th}$  (a) and steps of image recognition via the ImageJ program (a-c). Distribution of mean range of Li (solid line) and He (dotted line) (d).





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

FROM DAILY MAIL — 23<sup>RD</sup> 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.