



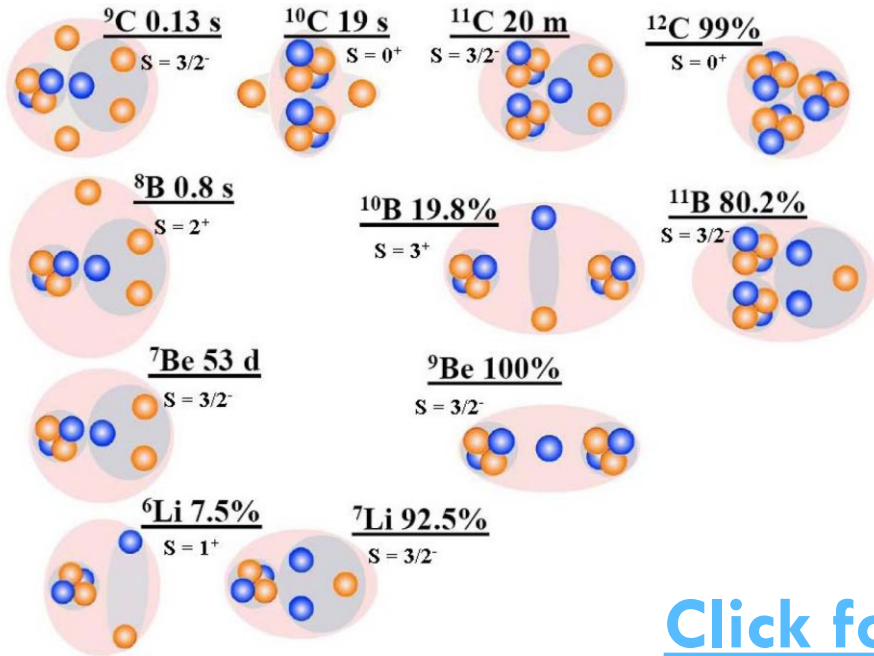
**Облучения ядерной эмульсии и  
твёрдотельных трековых детекторов  
релятивистскими и медленными ядрами  
ксенона**

А.А. Зайцев, П.И. Зарубин

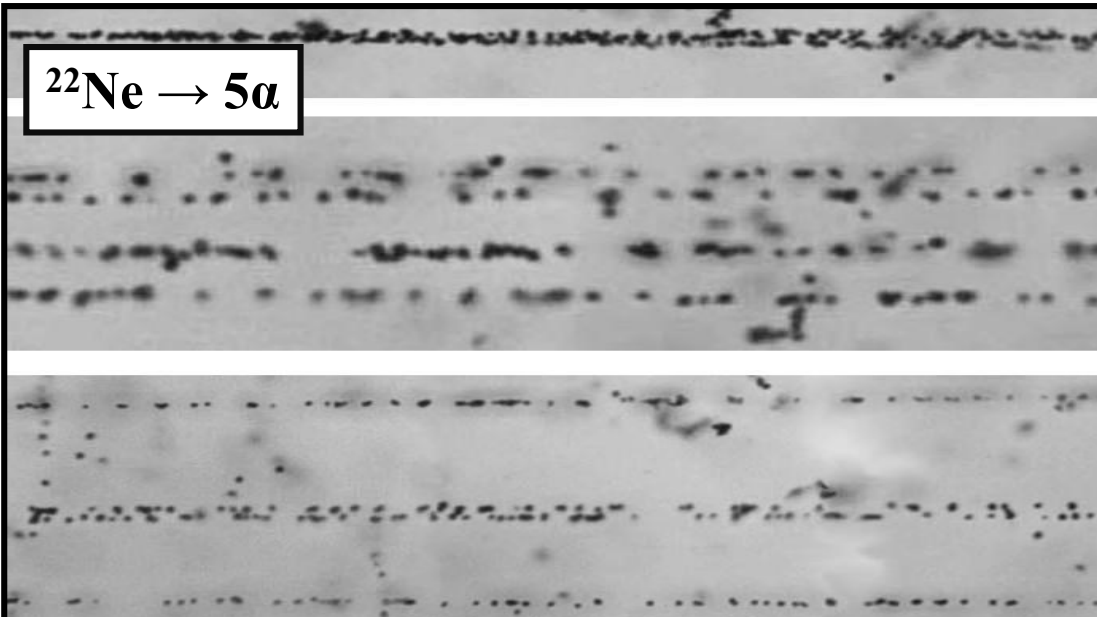
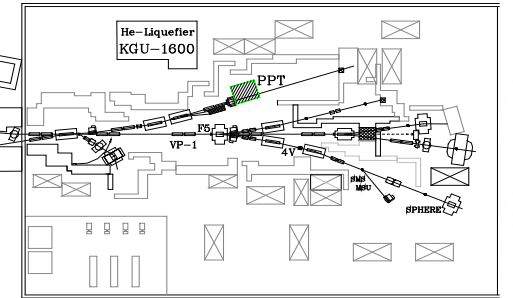
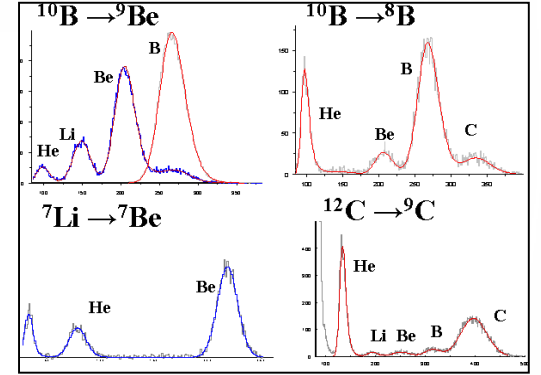
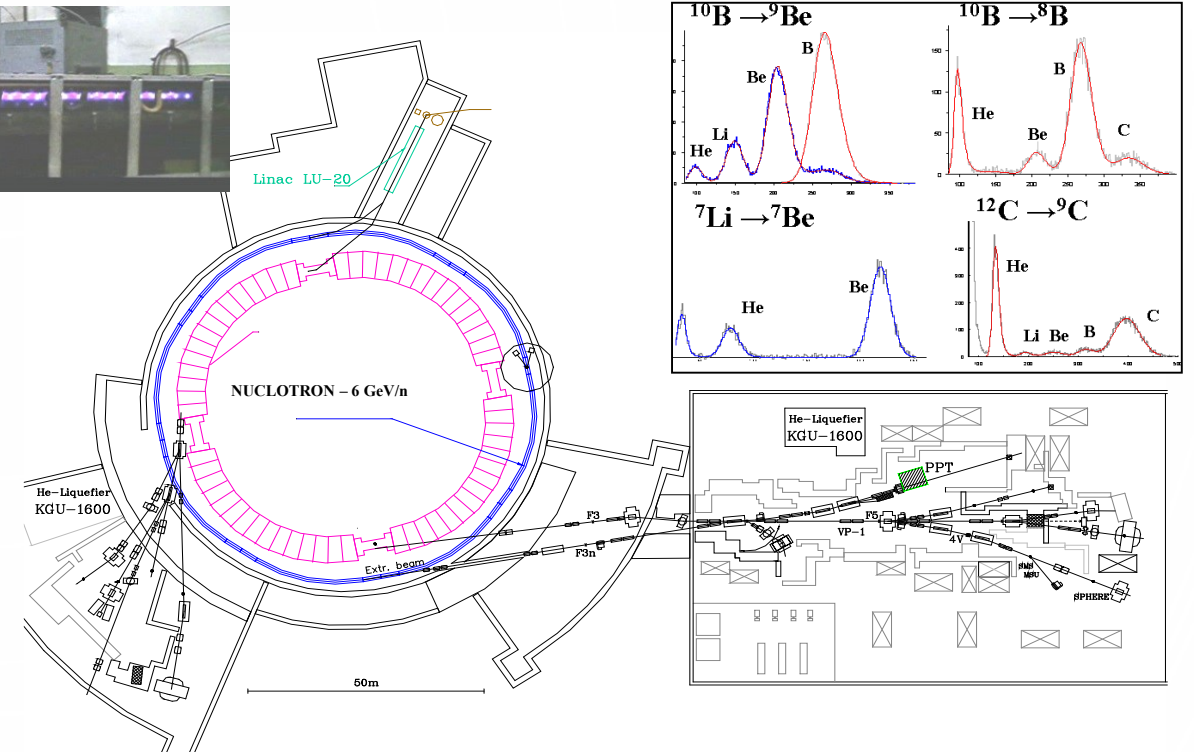
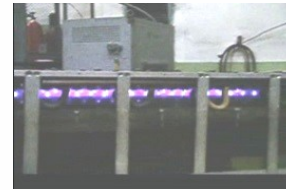
*ОИЯИ  
ФИАН*

[becquerel.jinr.ru](http://becquerel.jinr.ru)

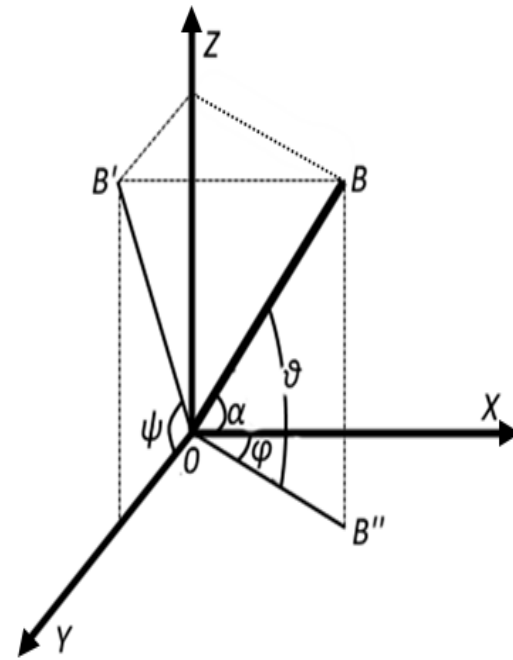
# Эксперимент БЕККЕРЕЛЬ



[Click for more](#)



В эксперименте БЕККЕРЕЛЬ исследуется кластерная структура легких стабильных и радиоактивных изотопов, ускоренных на ускорительном комплексе Нуклотрон-НИСА. По методу инвариантной массы образованных релятивистских фрагментов He и H при диссоциации релятивистских ядер идентифицируются нестабильные ядра  $^8\text{Be}$ ,  $^9\text{B}$  и возбужденное ядро  $^{12}\text{C}$  в состоянии Хойла.



$$P_x = P_0 \cdot A \cdot \cos \alpha \cdot \cos \varphi$$

$$P_y = P_0 \cdot A \cdot \cos \alpha \cdot \sin \varphi$$

$$P_z = P_0 \cdot A \cdot \sin \alpha$$

$$P_{tot} = \sqrt{P_x^2 + P_y^2 + P_z^2}$$

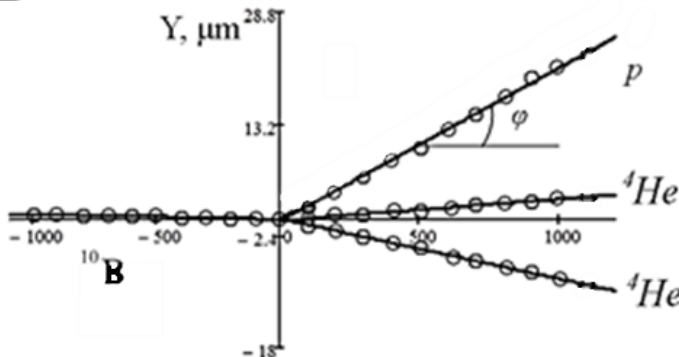
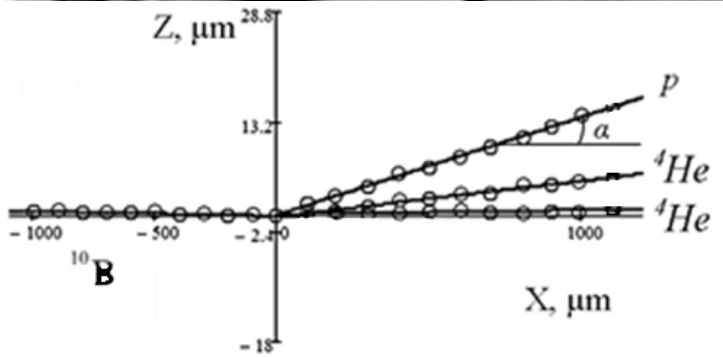
$$E_\alpha = \sqrt{P_0^2 \cdot A^2 + m_\alpha^2}$$

$$\Theta_{2\alpha} = \frac{P_{x1} \cdot P_{x2} + P_{y1} \cdot P_{y2} + P_{z1} \cdot P_{z2}}{P_{tot1} \cdot P_{tot2}}$$

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

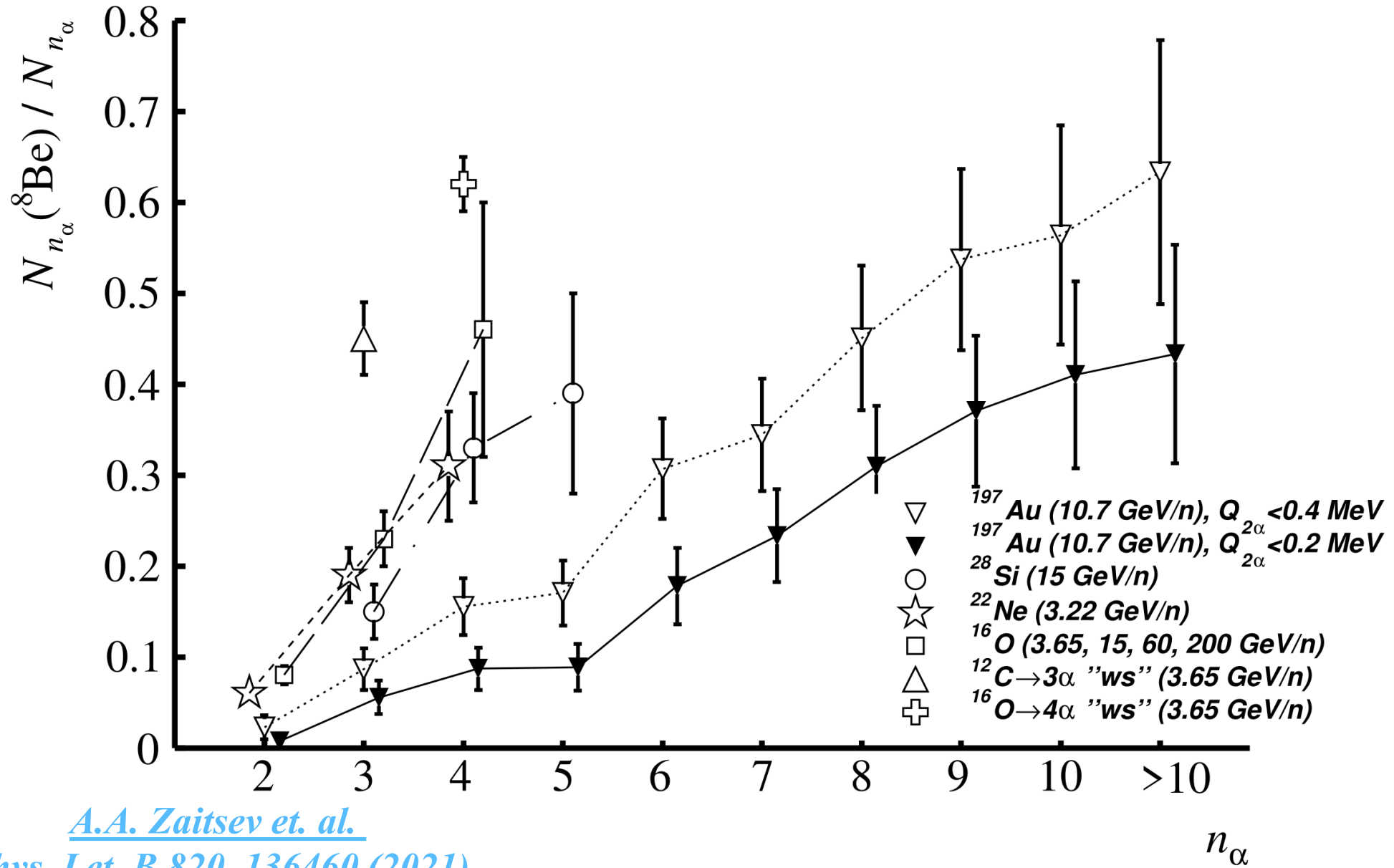
$$Q_{2\alpha} = \sqrt{2 \cdot [m_\alpha^2 + E_\alpha^2 - \vec{P}_{\alpha 1} \cdot \vec{P}_{\alpha 2}]} - 2 \cdot m_\alpha$$

$$Q_{3\alpha} = \sqrt{3 \cdot m_\alpha^2 + 2 \cdot \sum_{i \neq j} (E_{\alpha i} \cdot E_{\alpha j} - \vec{P}_{\alpha i} \cdot \vec{P}_{\alpha j})} - 3 \cdot m_\alpha$$



В общем случае энергия системы нескольких частиц  $Q$  равна  $Q = M^* - M$ .  $M^*$  - инвариантная масса, определяемая суммой всех произведений 4-импульсов  $P_{i,k}$  фрагментов  $M^{*2} = \sum(P_i \cdot P_k)$ . Вычитание массы  $M$  — вопрос удобства. 4-импульсы  $P_{i,k}$  определяются в приближении сохранения начального импульса на нуклон. Тогда определение  $Q$  сводится к определению углов между направлениями вылета осколков.

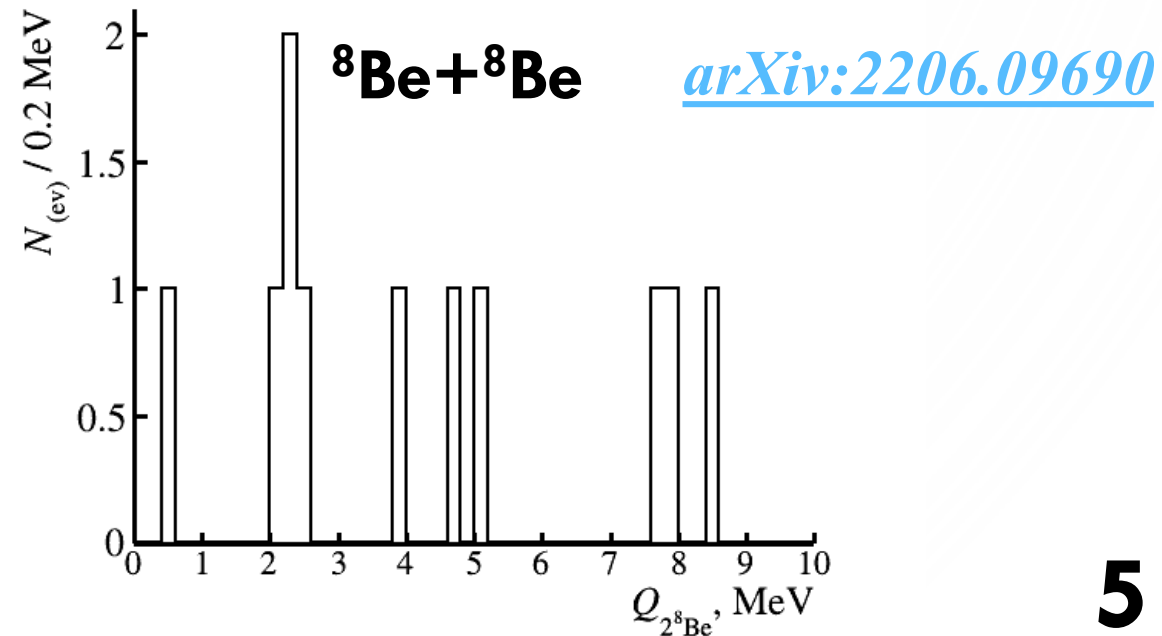
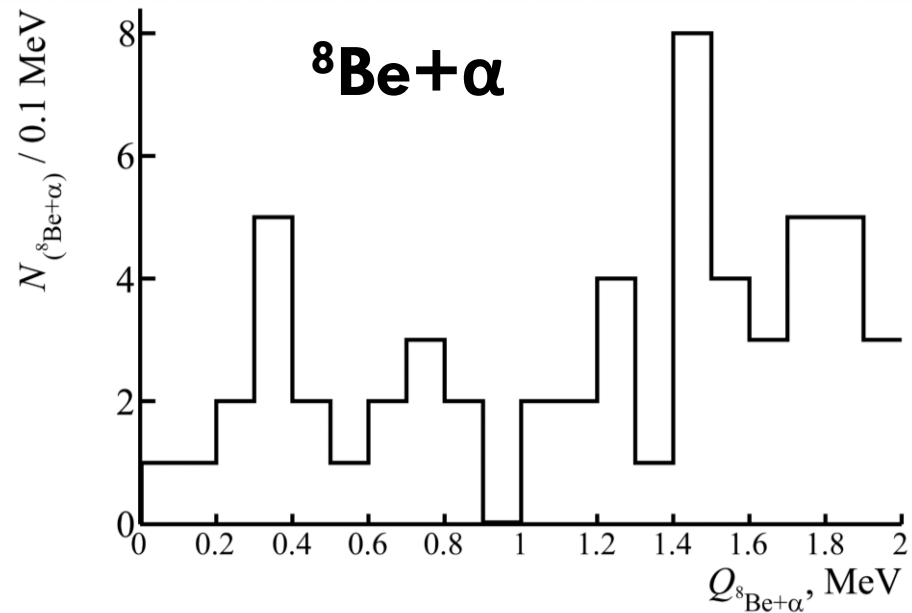
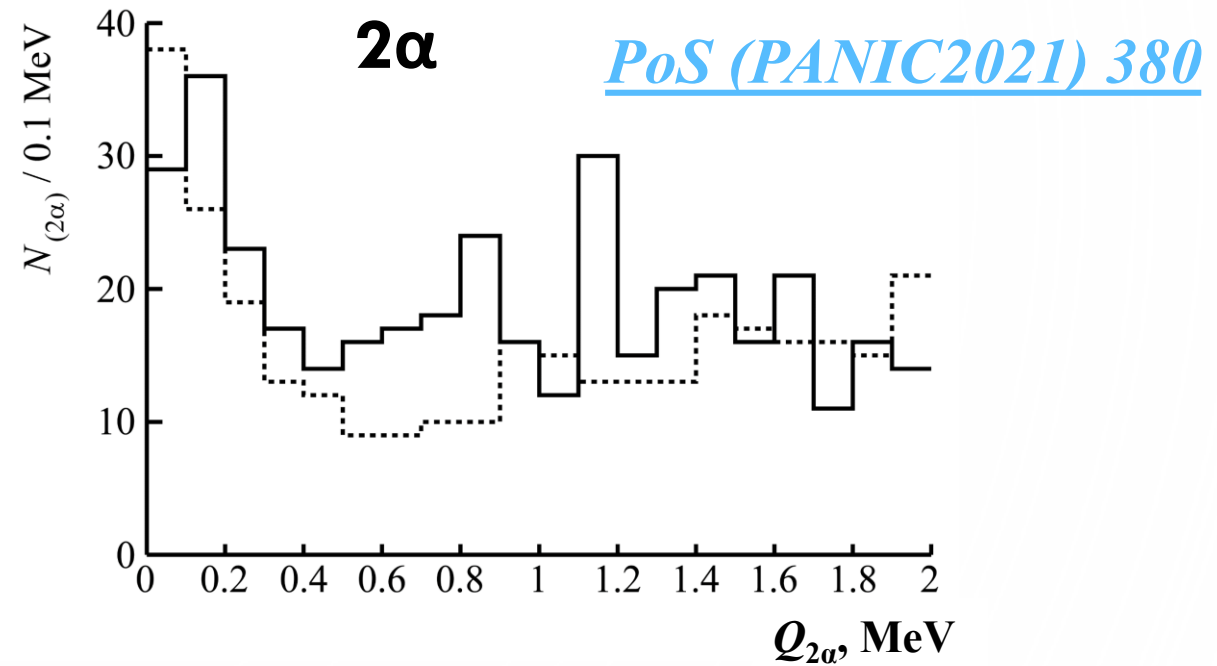
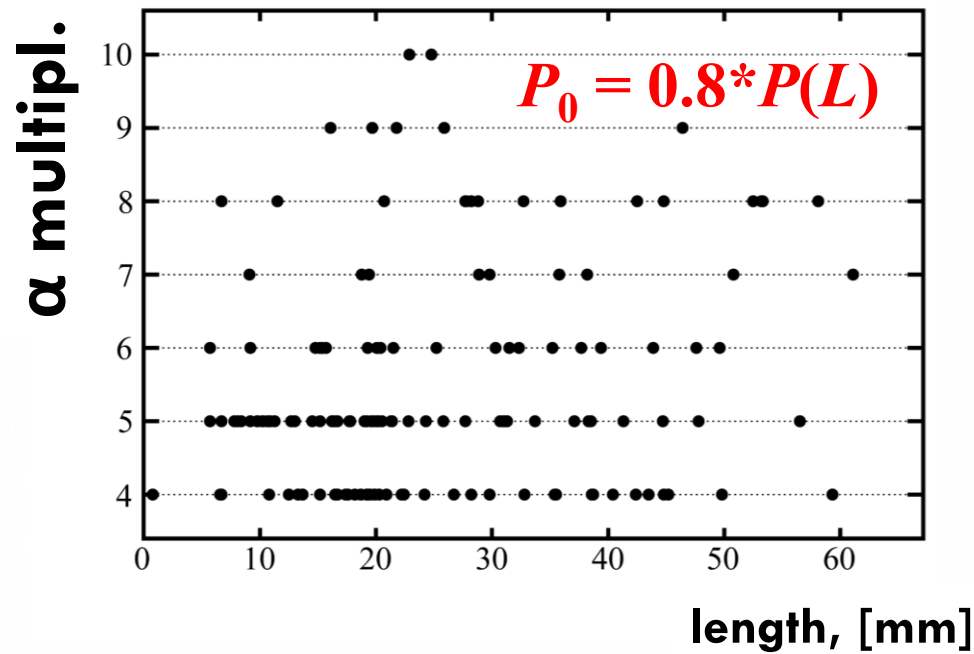
# Корреляция образования ядра ${}^8\text{Be}$ и множественности $\alpha$ -частиц



[A.A. Zaitsev et al.](#)

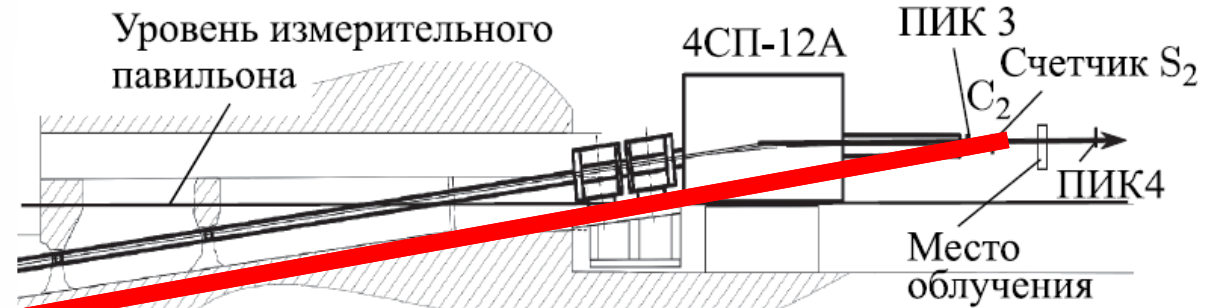
[Phys. Let. B 820, 136460 \(2021\)](#)

# $\alpha$ состояния в диссоциации $^{84}\text{Kr}$ при 950A МэВ





# Облучение ядерной эмульсии ядрами $\text{Xe } 3.85 \text{ A GeV}$ на выведенном канале Нуклотрона в точке F3 (2022г.)



[Click for more](#)

Interaction  
vertex

Xe Beam

Relativistic  
charged fragments

Изображение множественной фрагментации ядра Xe в ядерной эмульсии, полученное на микроскопе Olympus VX63 с объективом 40x.



# Облучение ядерной эмульсии ядрами ксенона в фокусе F3



1 цикл

A rectangular nuclear emulsion plate is shown next to a blue ruler. The plate is mostly clear with a few small dark spots. The ruler is marked from 0 to 10 cm.



5 циклов

A rectangular nuclear emulsion plate is shown next to a blue ruler. The plate shows a faint, dark horizontal band across its center. The ruler is marked from 0 to 8 cm.



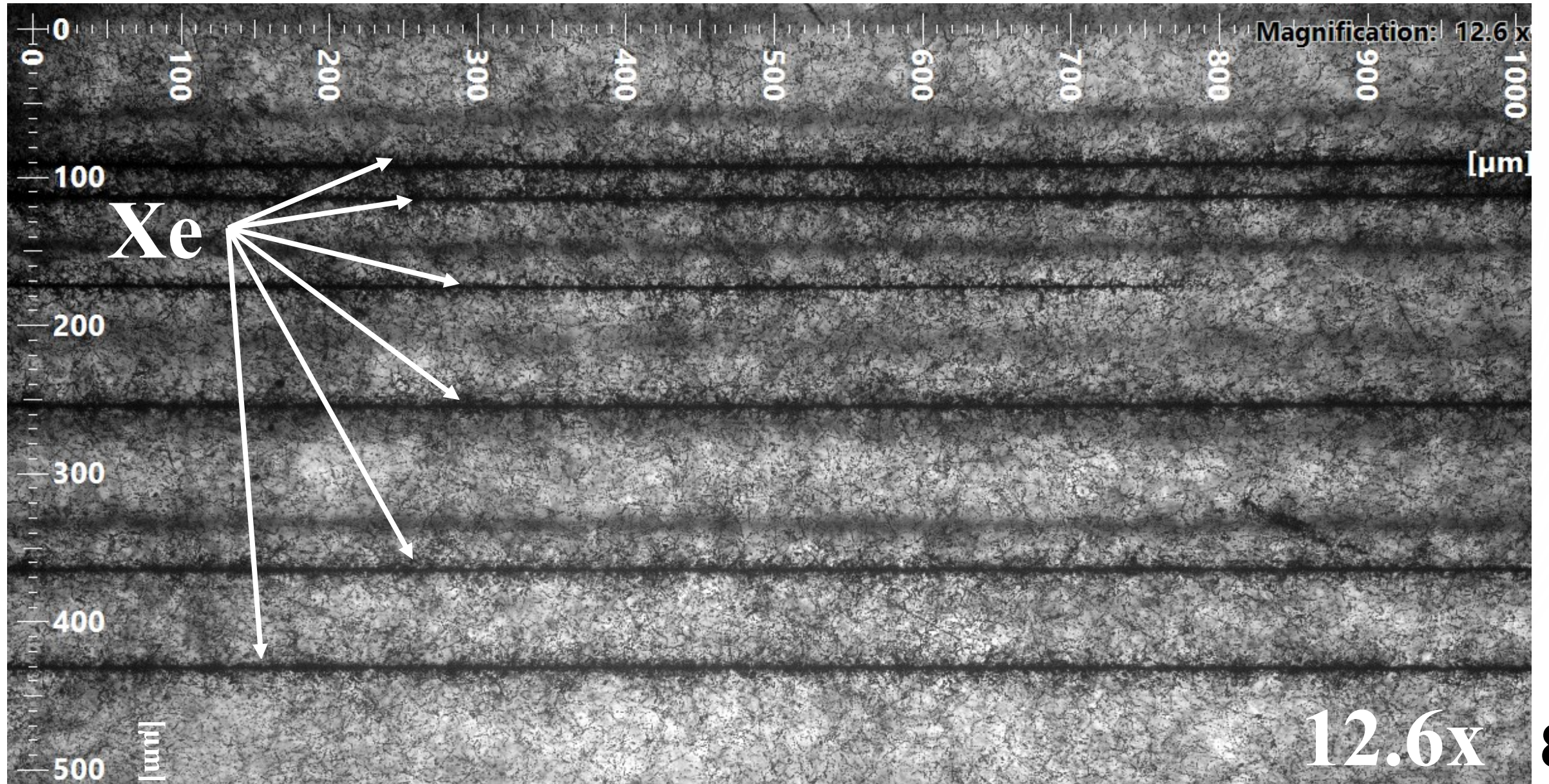
25 циклов

A rectangular nuclear emulsion plate is shown next to a blue ruler. The plate is almost entirely black, indicating significant darkening. The ruler is marked from 0 to 9 cm.

[Click for more](#)

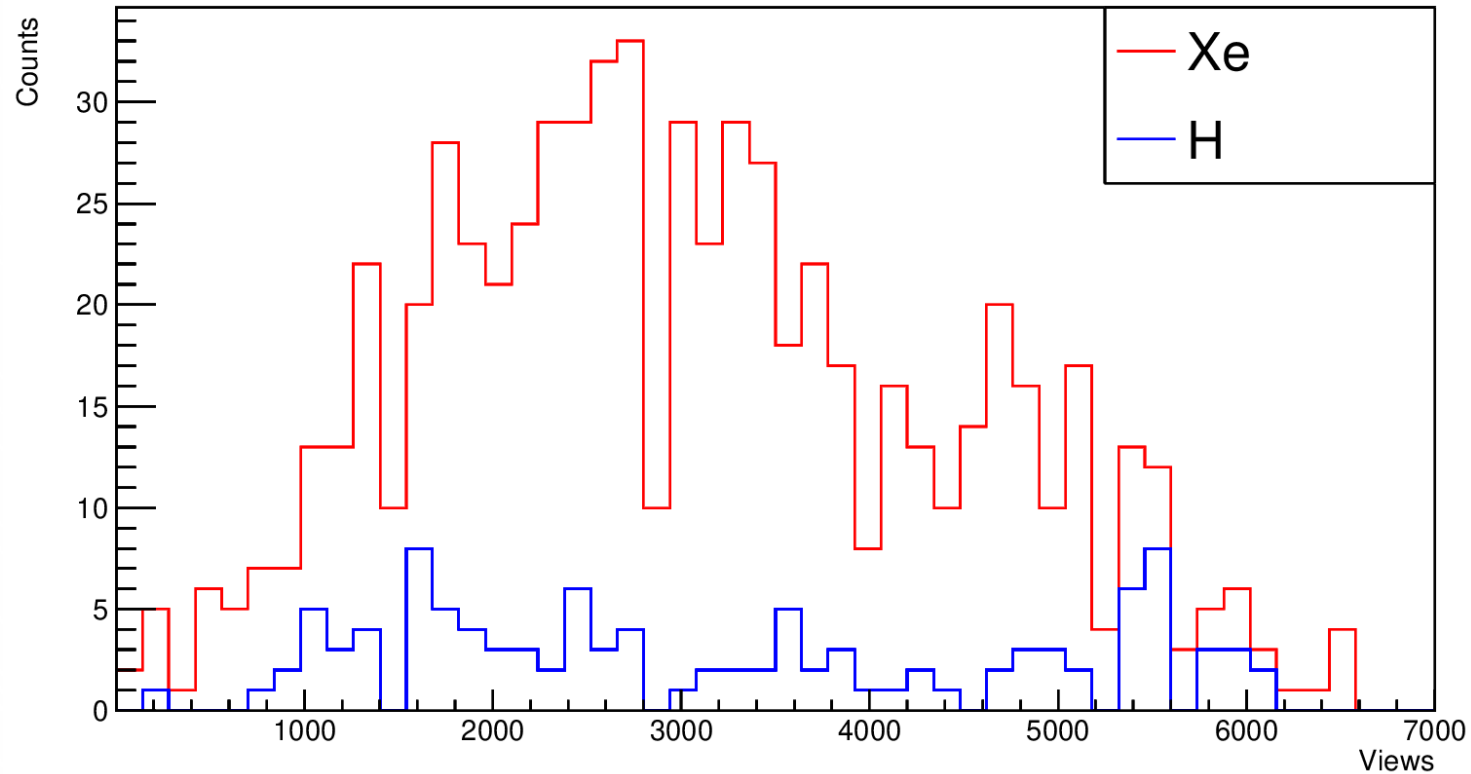
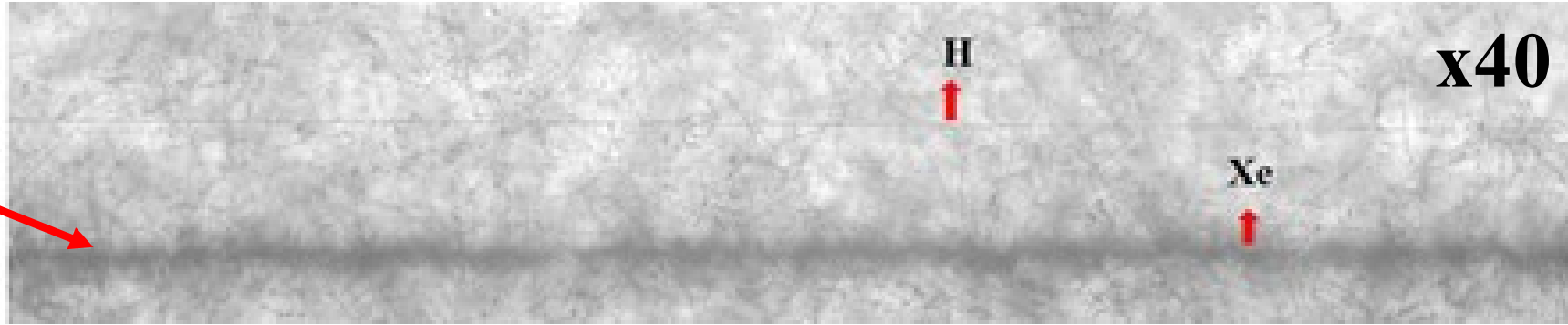


# Увеличенное изображение ядерной эмульсии, облученной в пучке ядер Хе на выведенном канале в точке F3 (2022 г.)





# Облучение ядерной эмульсии ядрами ксенона (2022 г.)

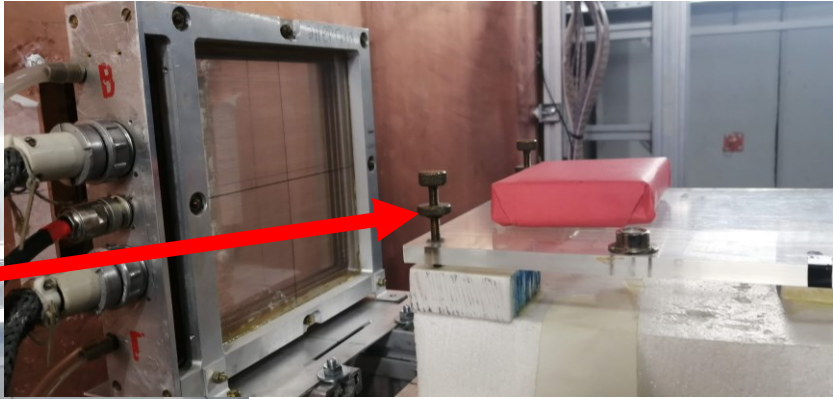


**Z=54 – 85%**  
**Z=1 – 15%**

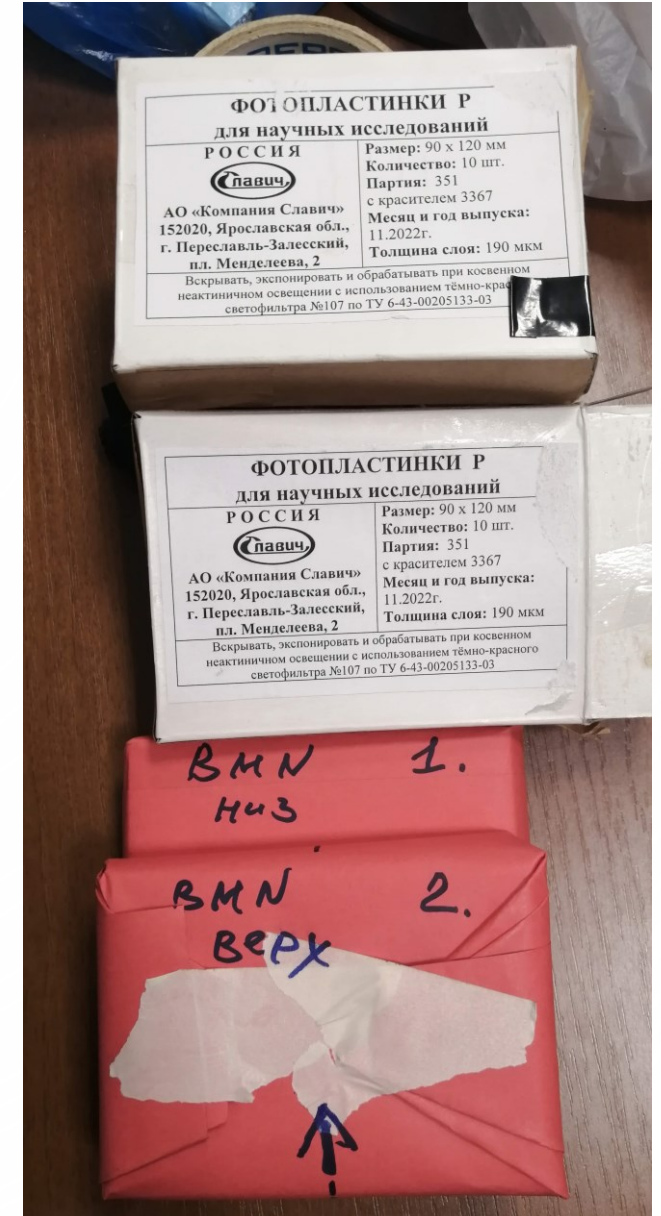
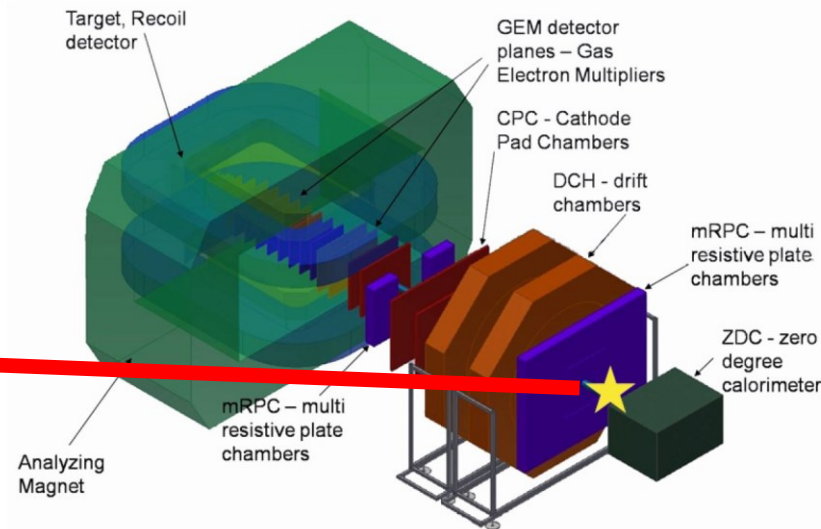
x4

Распределение числа входящих треков на ширину слоя эмульсии

# Облучение ядерной эмульсии в зоне установки ВМ@N (2023 г.)

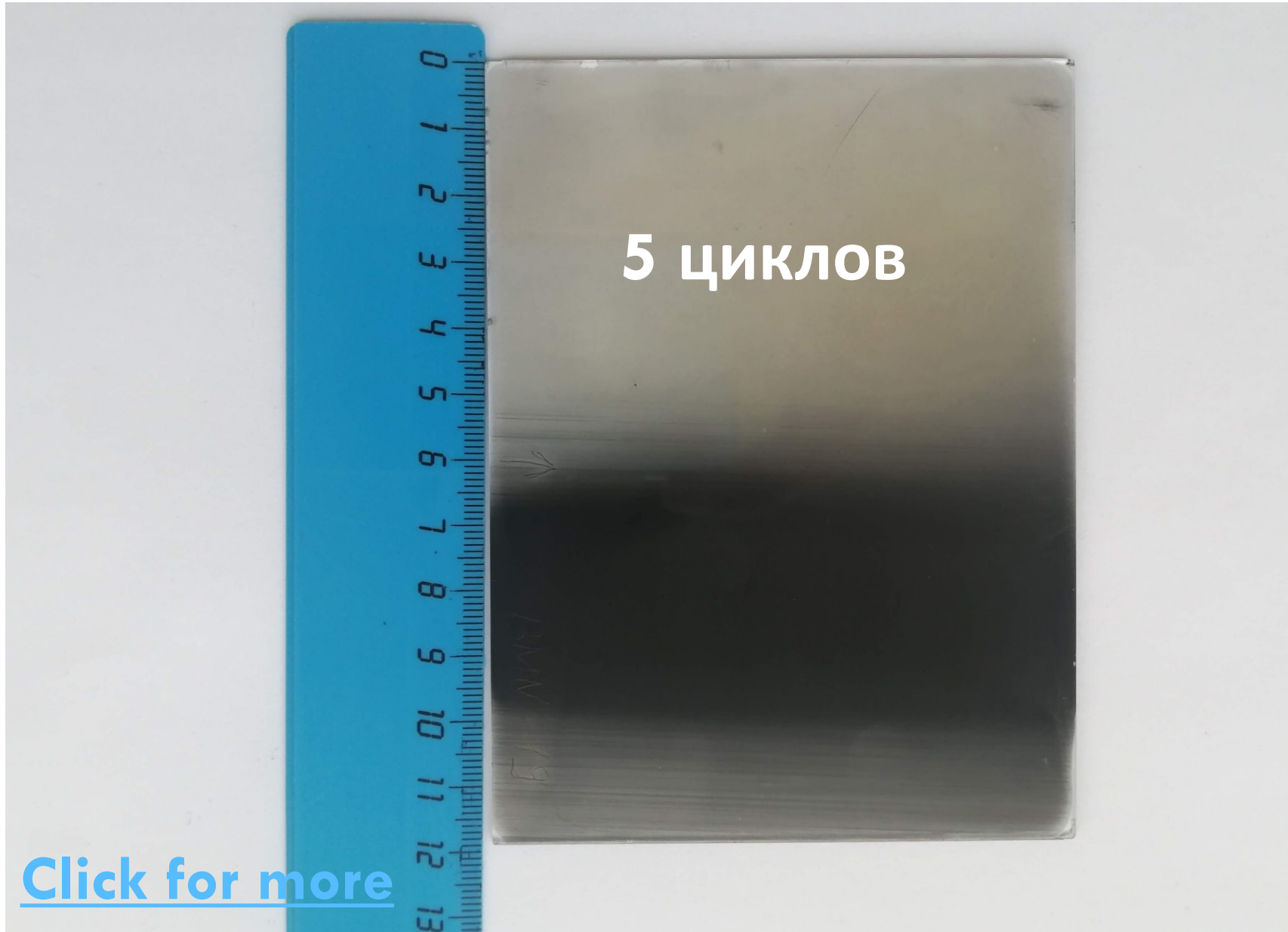


$^{124}\text{Xe}^{+54}$  3.86A ГэВ





# Облучение ядерной эмульсии ВМ@N (2023 г.)



# Автоматизированный микроскоп Olympus BX63, установленный в НЭОФТИ ЛФВЭ. Представлен процесс сканирования образца CR39.

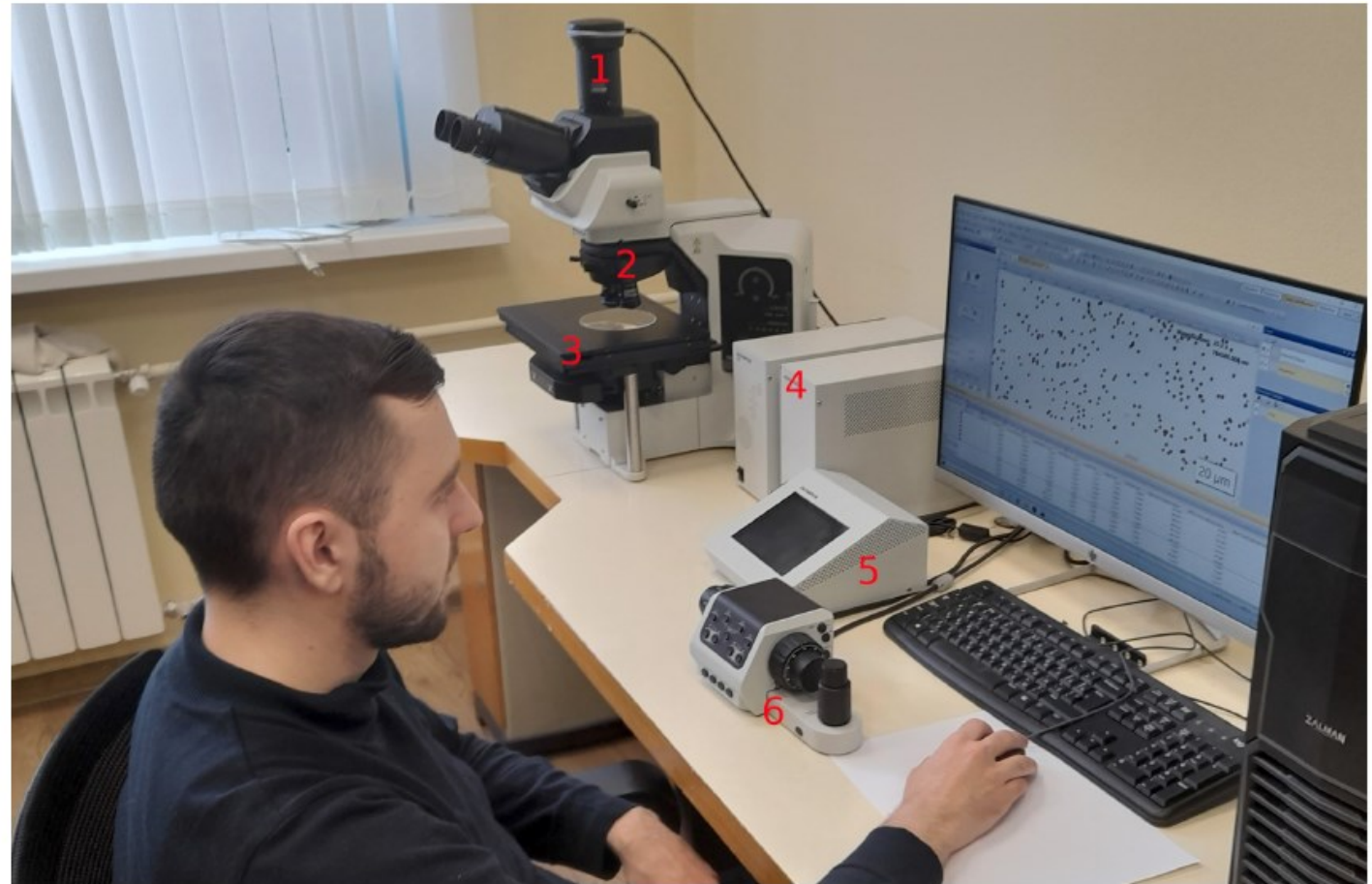
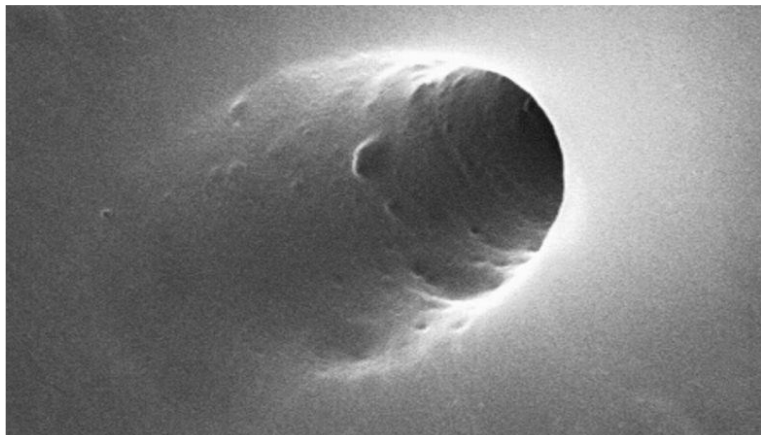
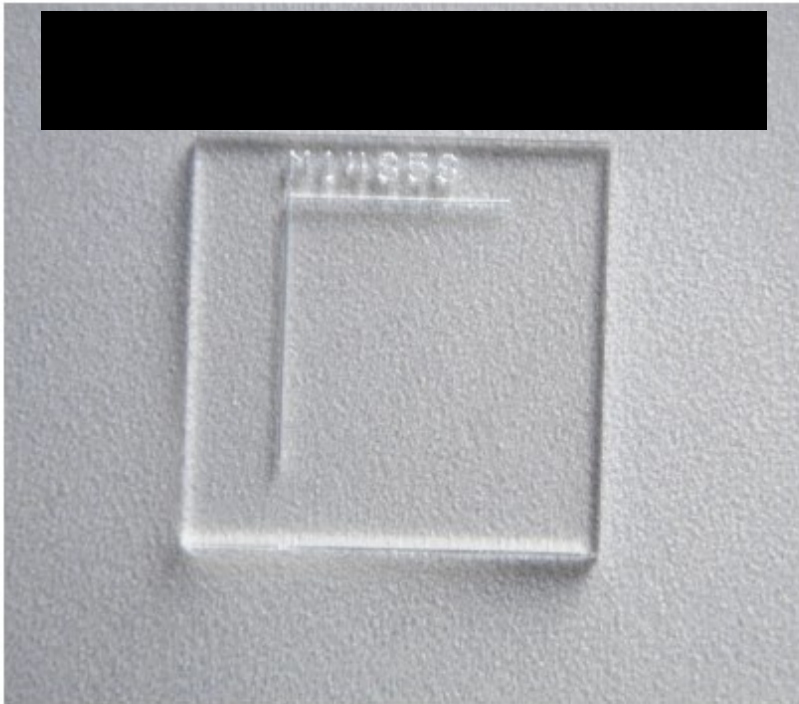
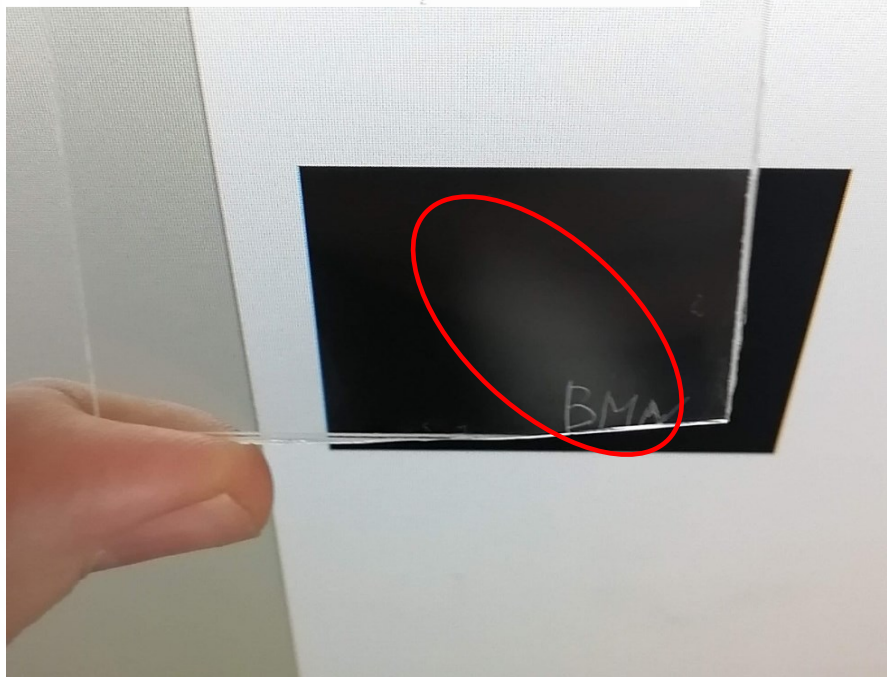
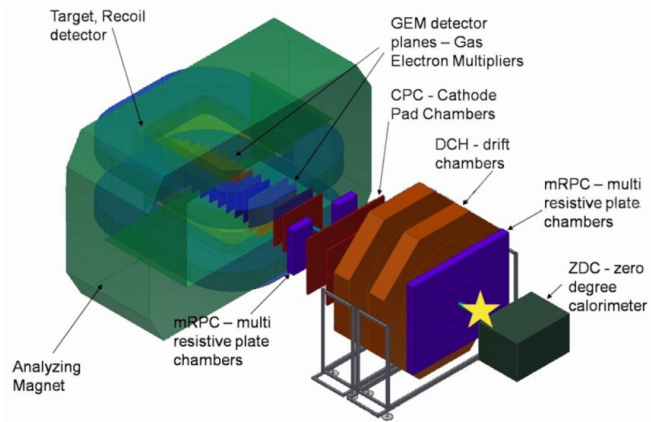


Figure 5: Olympus BX63 motorised microscope. 1) microscope camera, 2) lens revolver, 3) motorised stage, 4) microscope control units, 5) controller, 6) touch panel controller.

[Click for more](#)





Фотография образца CR39, облученного в пучке ядер Хе на установке BM@N в 2023 г. Красным выделена область прохождения пучка.

Увеличенное изображение облученного образца CR39, полученное с помощью микроскопа Olympus VX63. Представлена процедура автоматического анализа и счета входящих треков («дырок») ядер Хе в плоскость детектора CR39, реализованного в фирменном программном обеспечении CellSens Olympus.

# Анализ облученного детектора CR39 ядрами Хе на установке ВМ@N в 2023 г.

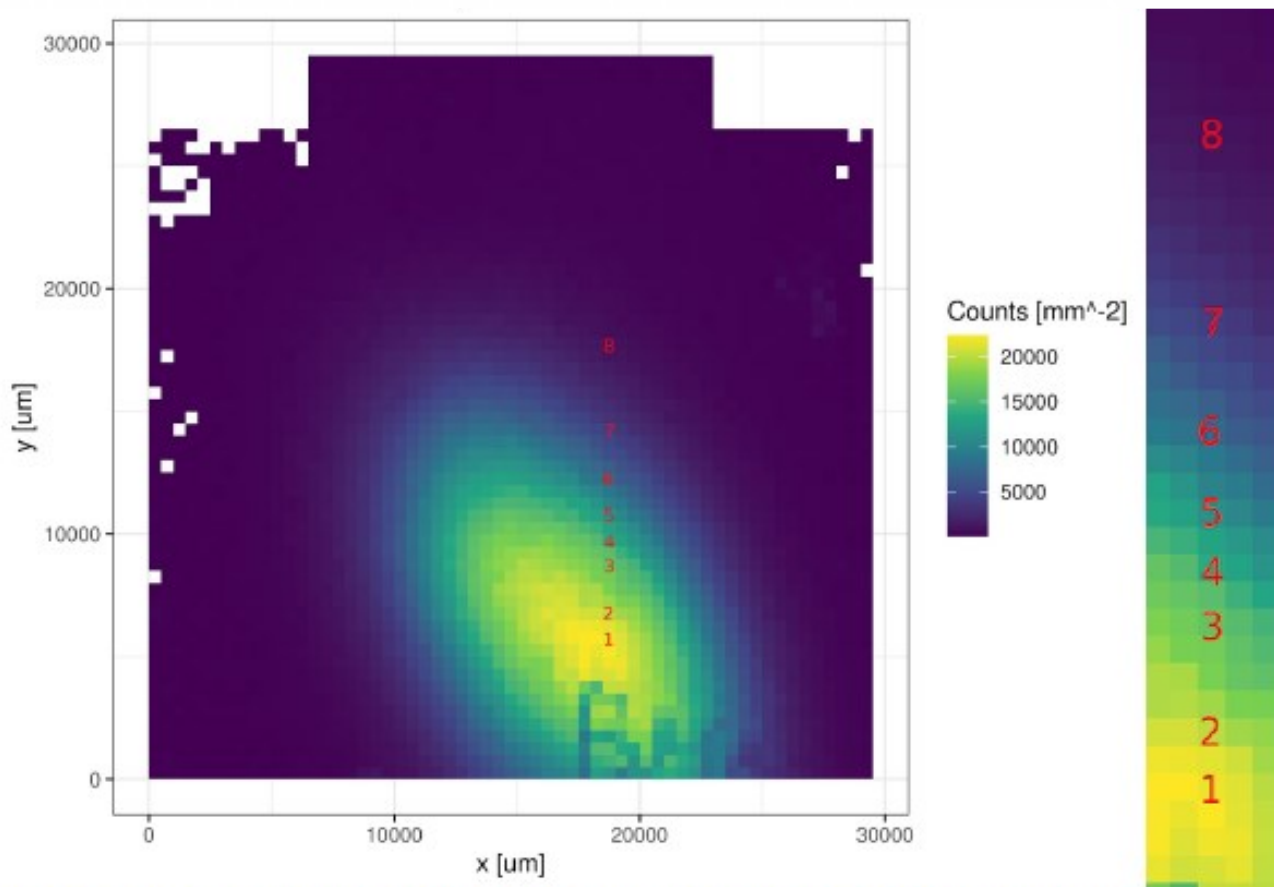


Figure 14: Spatial distribution of dip over the area of the CR-39 SSNTD. The bin width is 0.5 mm. On the right there are the centres of the analysed squares.

Table 3. Estimation of track density by the visual method.

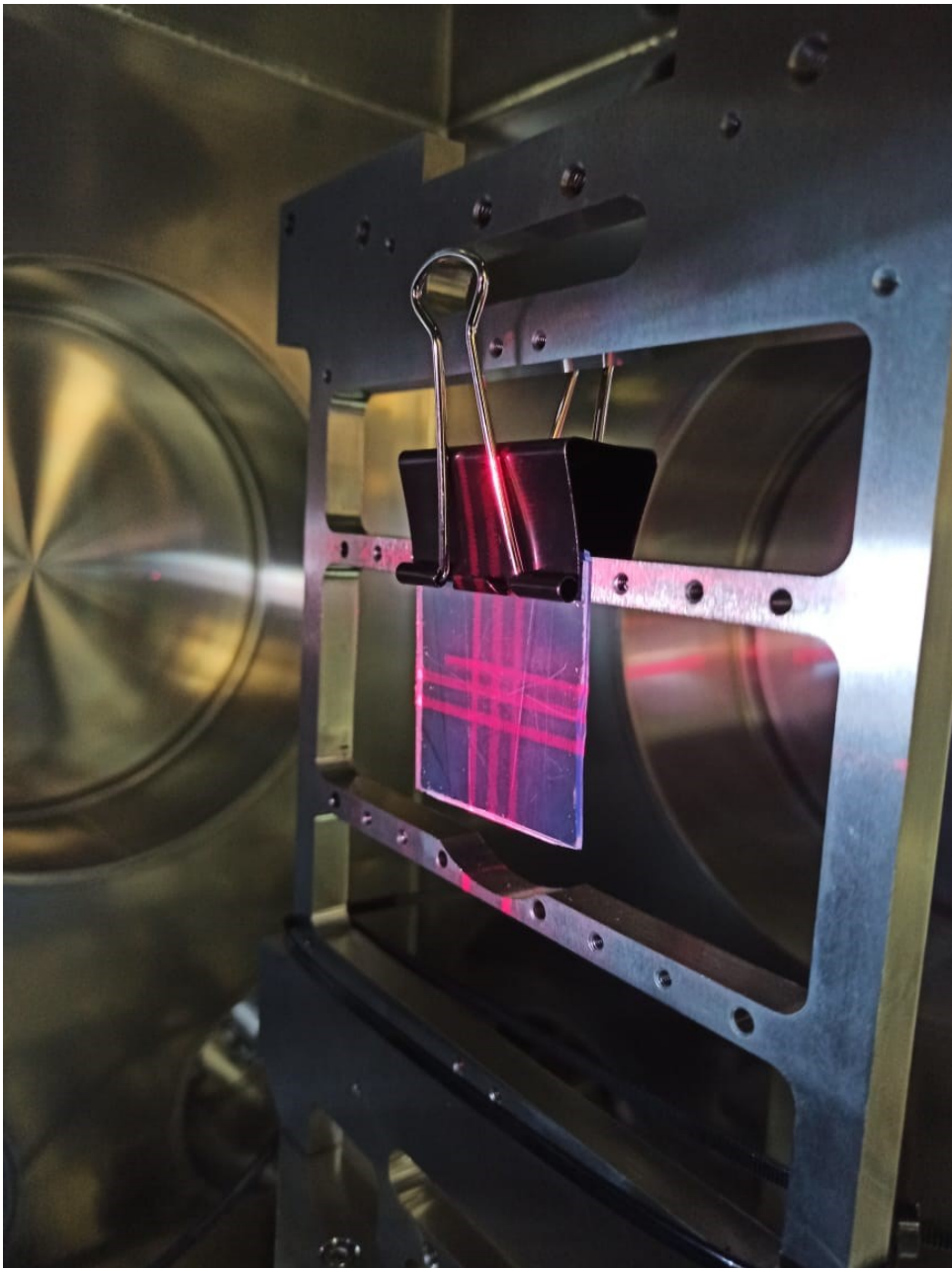
No. Square	Square side [mm]	Total number of dips	Number of tracks	ratio of tracks to dips	Fluence [mm <sup>-2</sup> ]
1	0.25	1370	1601	1.16862	25616
2	0.25	1288	1487	1.15450	23792
3	0.25	1110	1250	1.12613	20000
4	0.25	982	1077	1.09674	17232
5	0.25	744	776	1.04301	12416
6	0.25	502	528	1.05179	8448
7	0.5	980	991	1.01122	3964
8	1	772	772	1.00000	772

**Пучок имеет эллиптическую форму с наклоном эллипса около 45°.**

**Эллипс пучка, внутри которого плотность «дырок» превышает 10<sup>3</sup> мм<sup>-2</sup>, имеет размеры большой и малой полуосей порядка 16 и 8 мм соответственно.**



# Облучение ТТД на станции СОЧИ (2023 г.)



Режимы облучения:

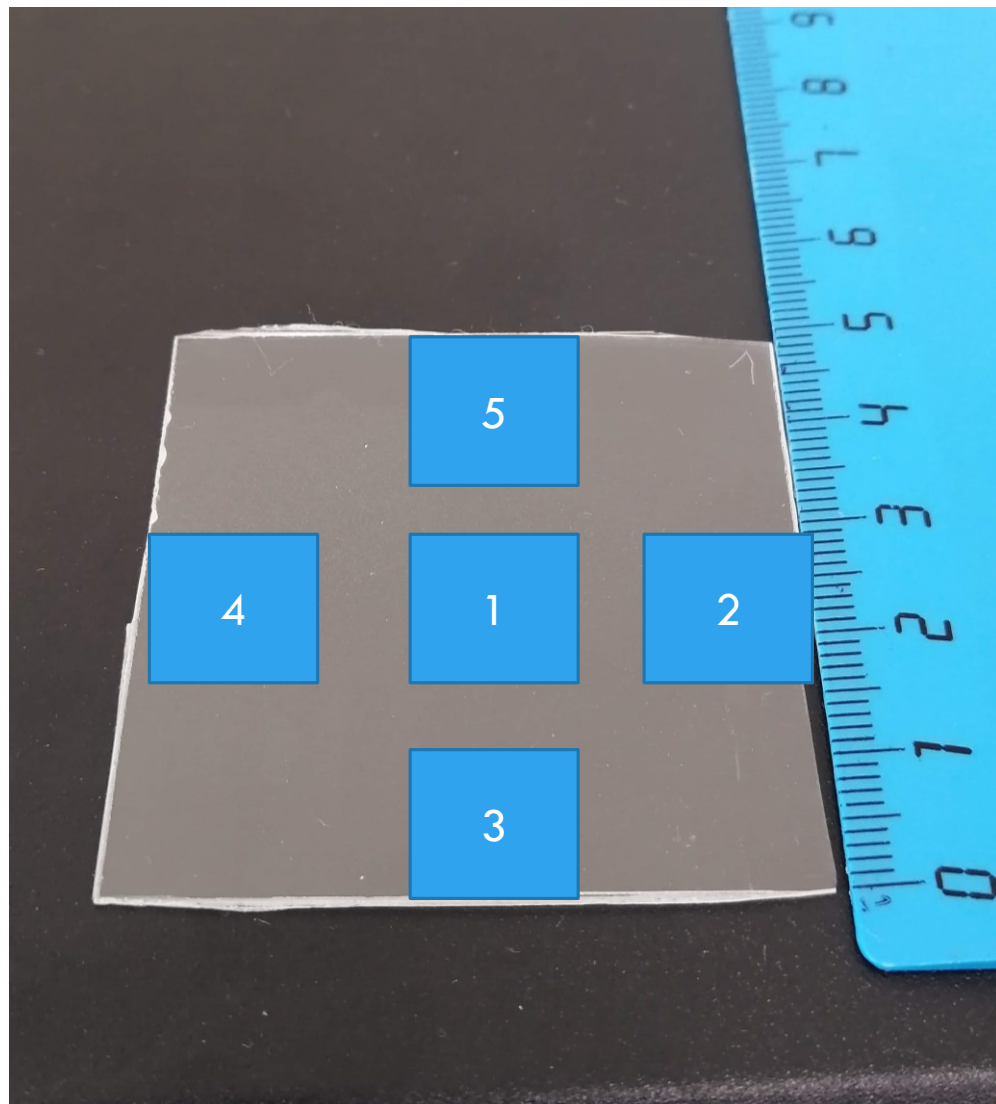
1. CR39. Расфокусированный пучок с флюенсом  $1,8 \cdot 10^3$  частиц/ $\text{cm}^2$  за сброс. Набрано 3 сброса.
2. CR39. Расфокусированный пучок с флюенсом  $2,8 \cdot 10^4$  частиц/ $\text{cm}^2$  за сброс. Набрано 4 сброса.
3. ПЭТФ (Майлар). Расфокусированный пучок с флюенсом  $2,8 \cdot 10^4$  частиц/ $\text{cm}^2$  за сброс. Набрано 36 сбросов.
4. CR39. Сфокусированный пучок с флюенсом  $\approx 10^6 - 10^7$  частиц/ $\text{cm}^2$  за сброс. Набран 1 сброс.

**Станция Облучения Чипов (СОЧИ)**

**Ионы  $^{124}\text{Xe}^{+(27,28)}$  с энергией 3.2А МэВ**

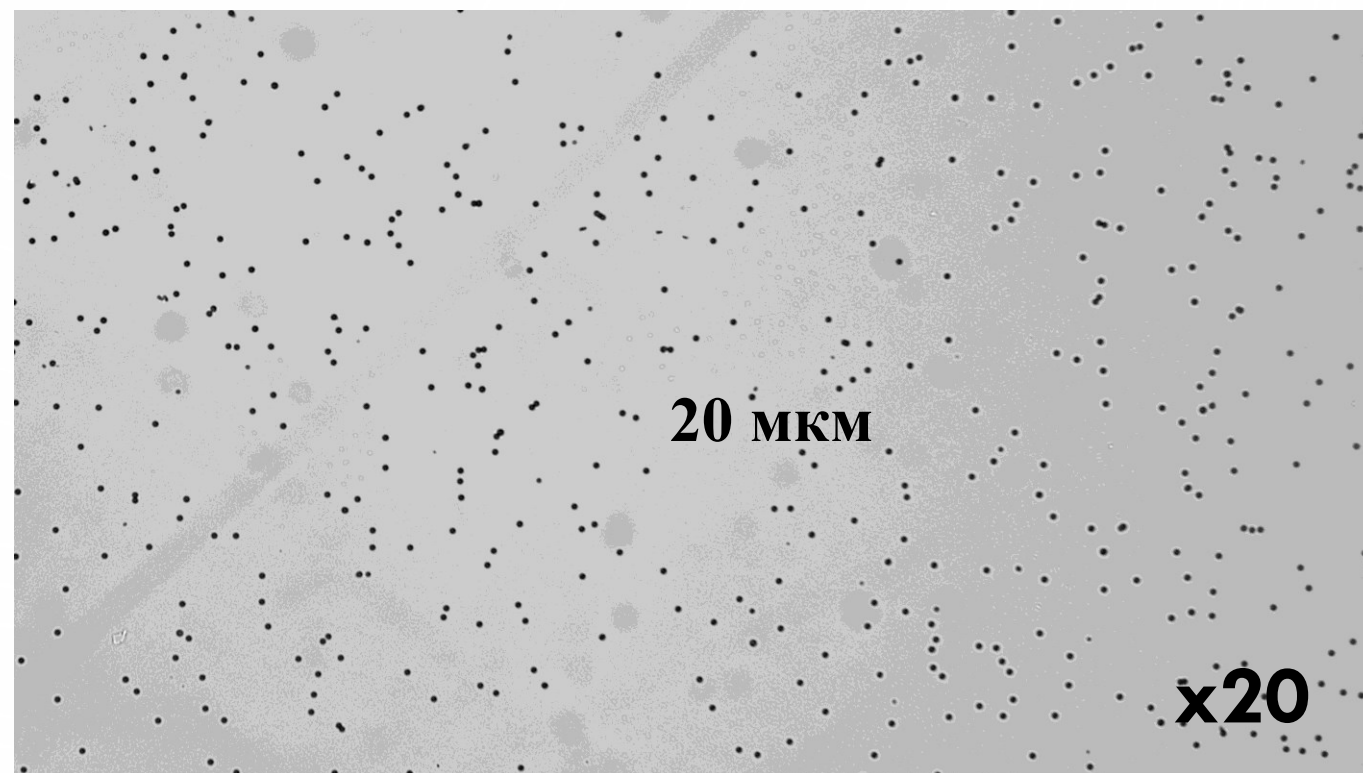
[Click for more](#)

# Облучение ТТД на станции СОЧИ (2023 г.)



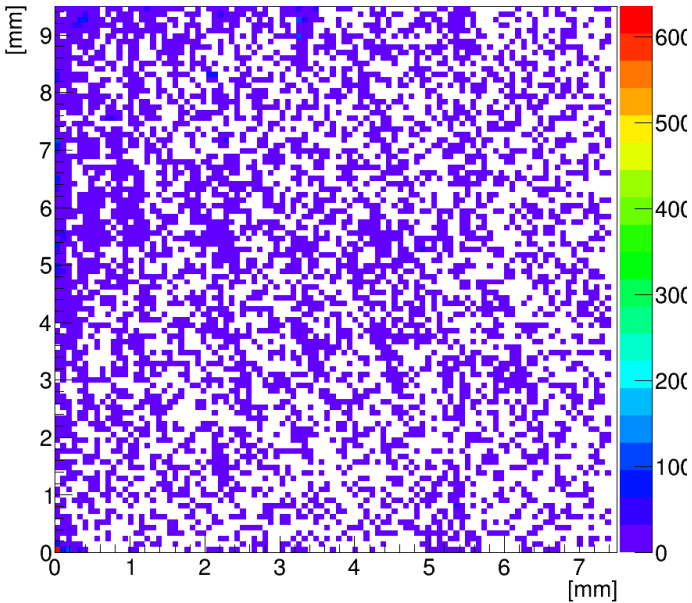
Образец №1

Условия травления:  
6M NaOH, T=85°C, t=120 min

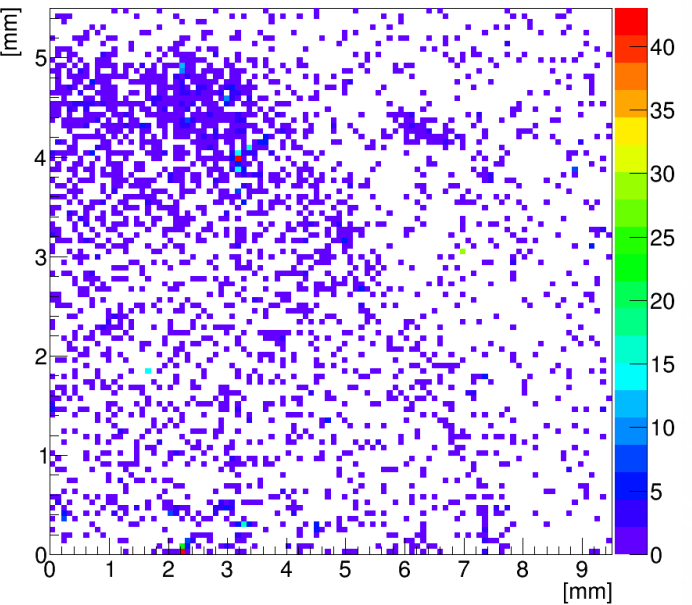




**№2**  $\approx 1 \cdot 10^4$

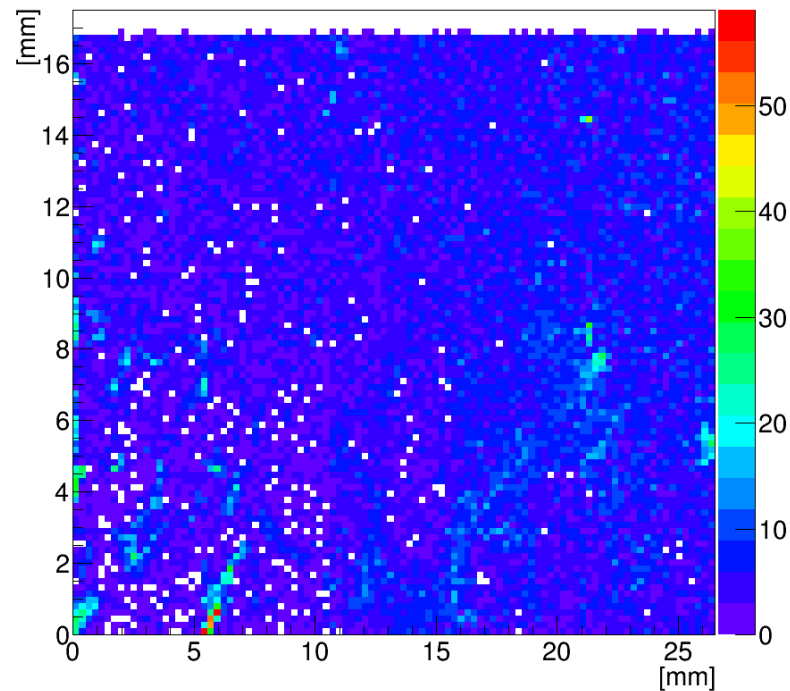


**№3**  $\approx 5 \cdot 10^3$

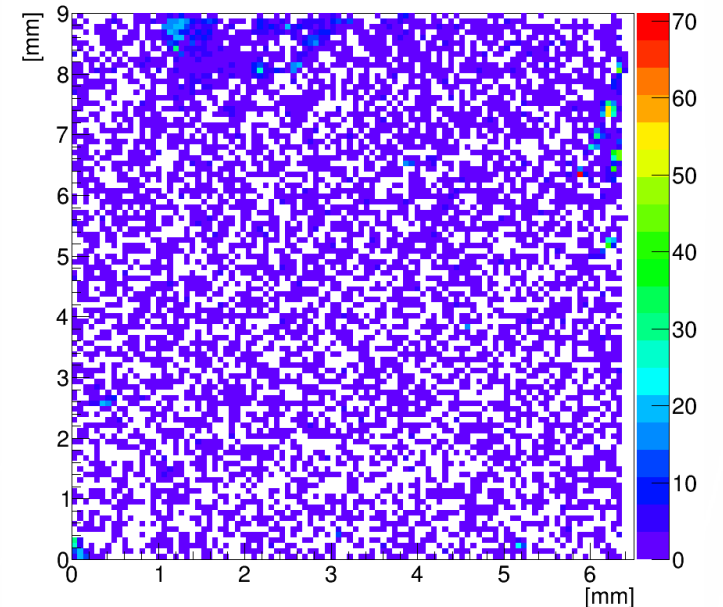


# Прямой счет образовавшихся «дырок»

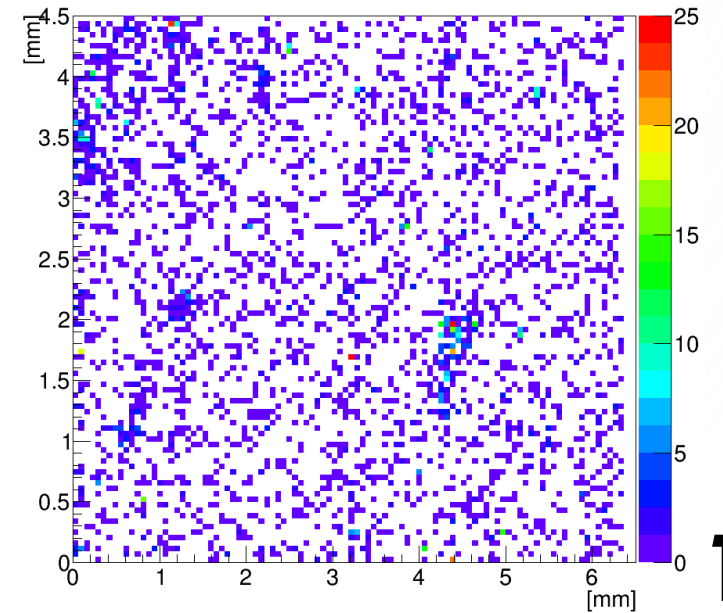
**№1**  $\approx 8 \cdot 10^3 \text{ см}^2$



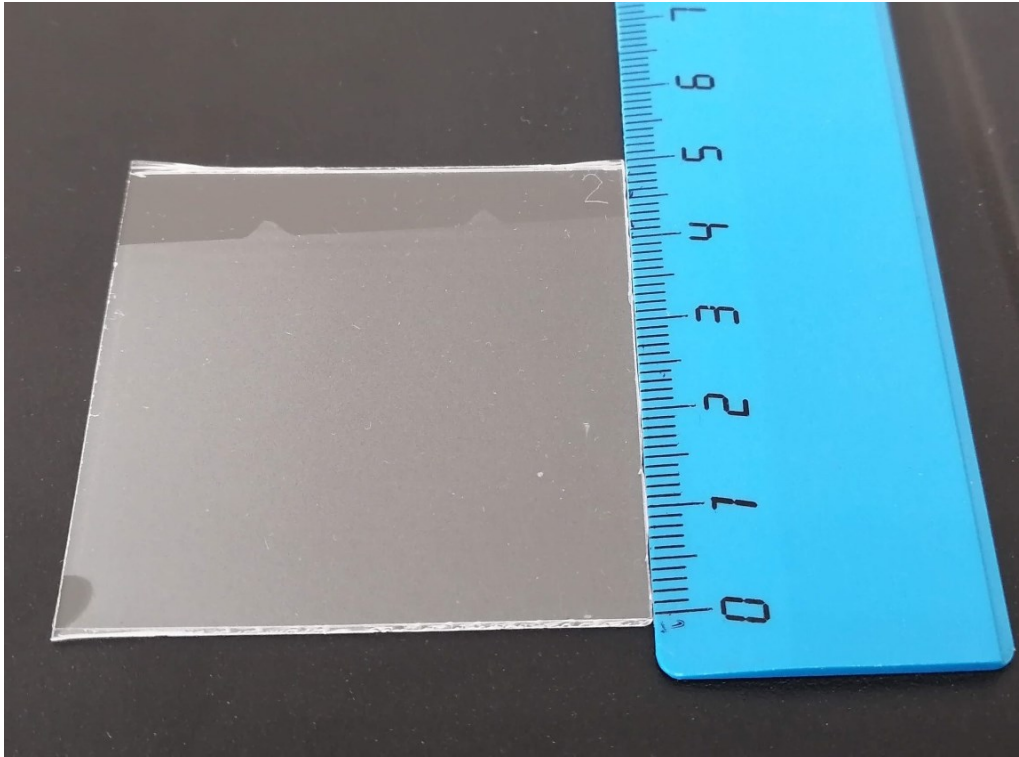
**№4**  $\approx 1 \cdot 10^4$



**№5**  $\approx 4 \cdot 10^3$

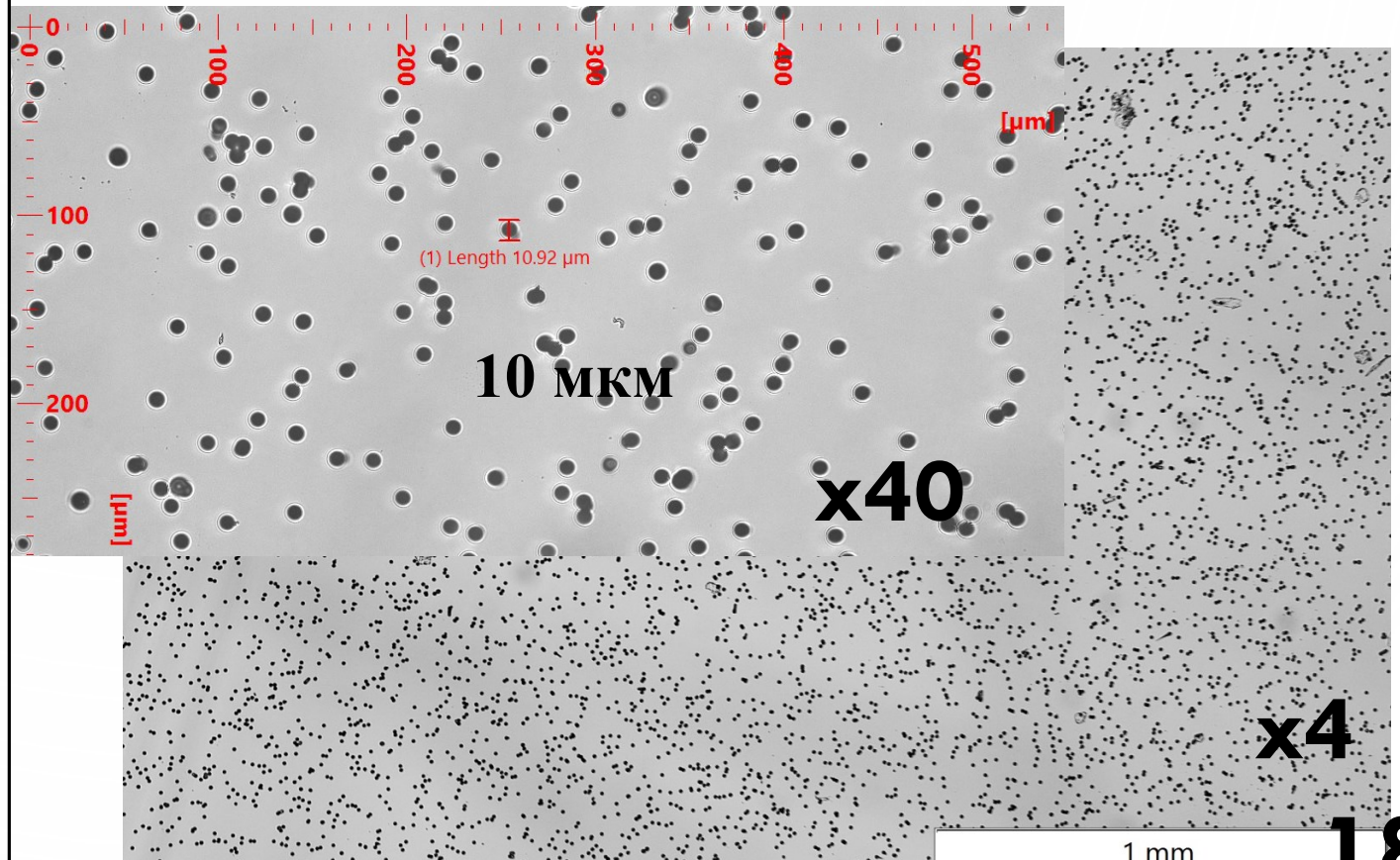


# Облучение детекторов CR39 в расфокусированном пучке ионов $\text{Xe}^{+28}$ на станции СОЧИ (2023 г.)



Облученный образец CR39.

Увеличенные изображения облученного образца CR39 с использованием объективов  $\times 4$  и  $\times 40$  крат. Черные окружности представляют собой отдельные следы прошедших ионов  $\text{Xe}$  через детектор CR39.



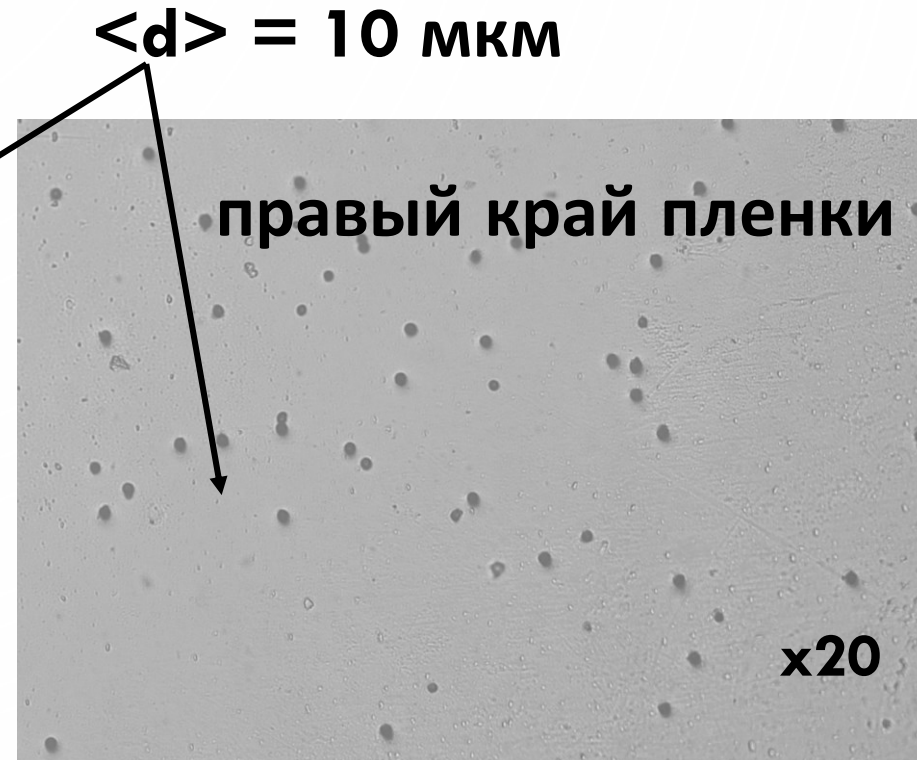
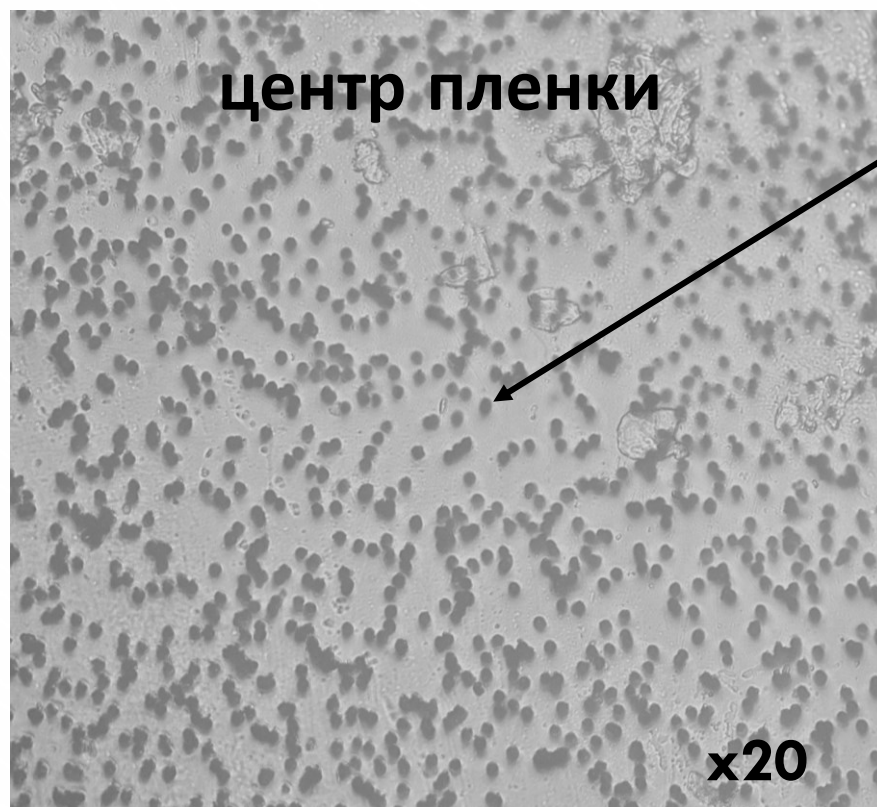


# Облучение CR39 на станции СОЧИ (2023 г.)

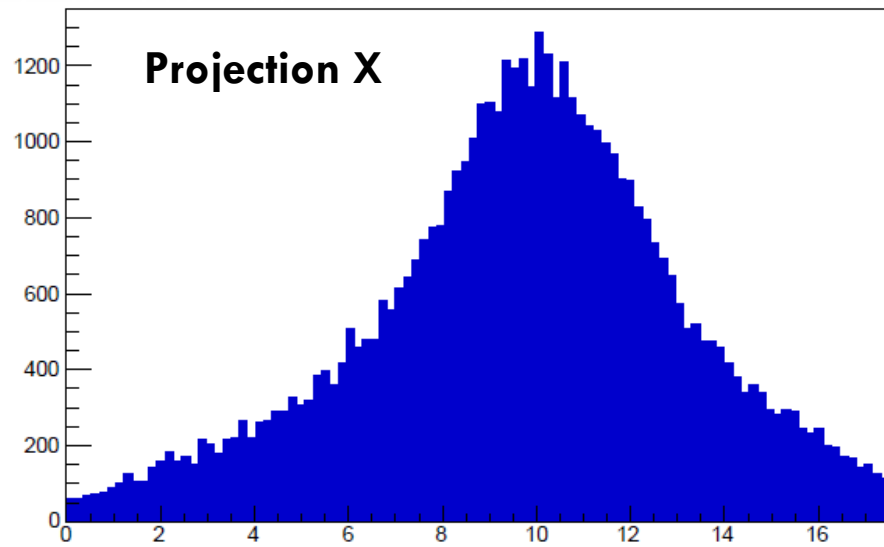
ПЭТФ (Майлар)

Условия травления:

6M NaOH, T=85°C, t=10 min (можно меньше)

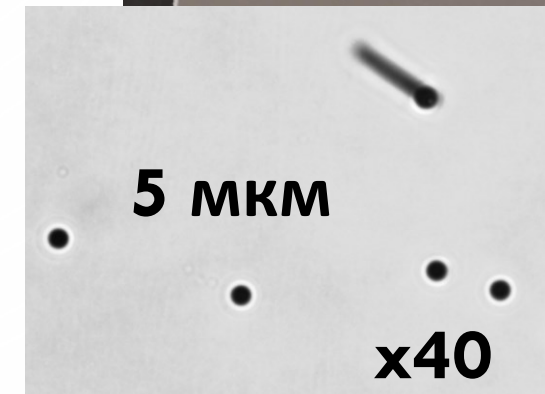
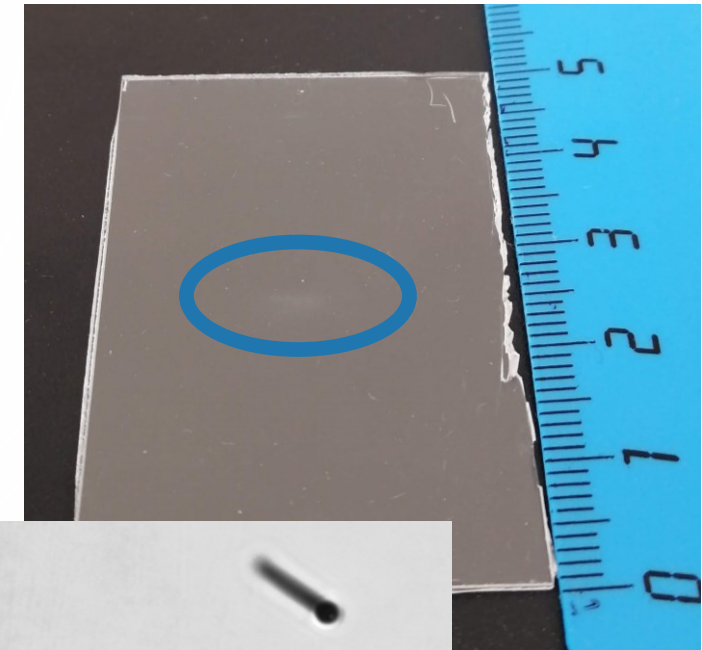
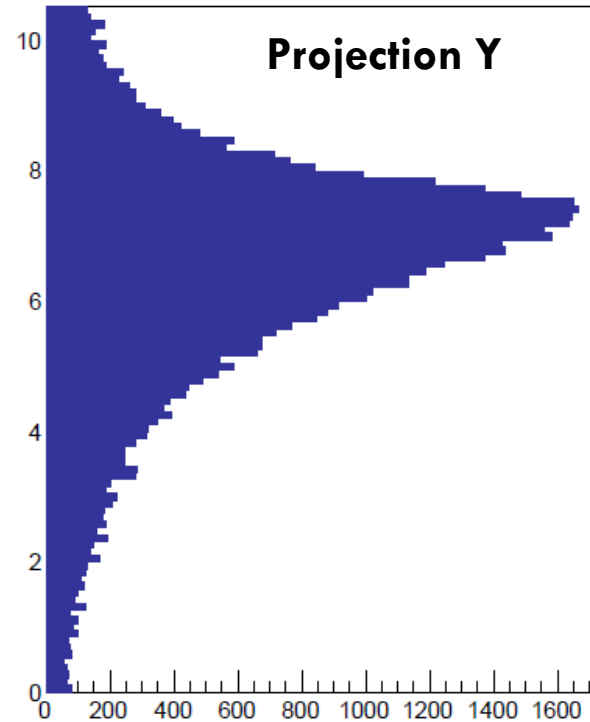
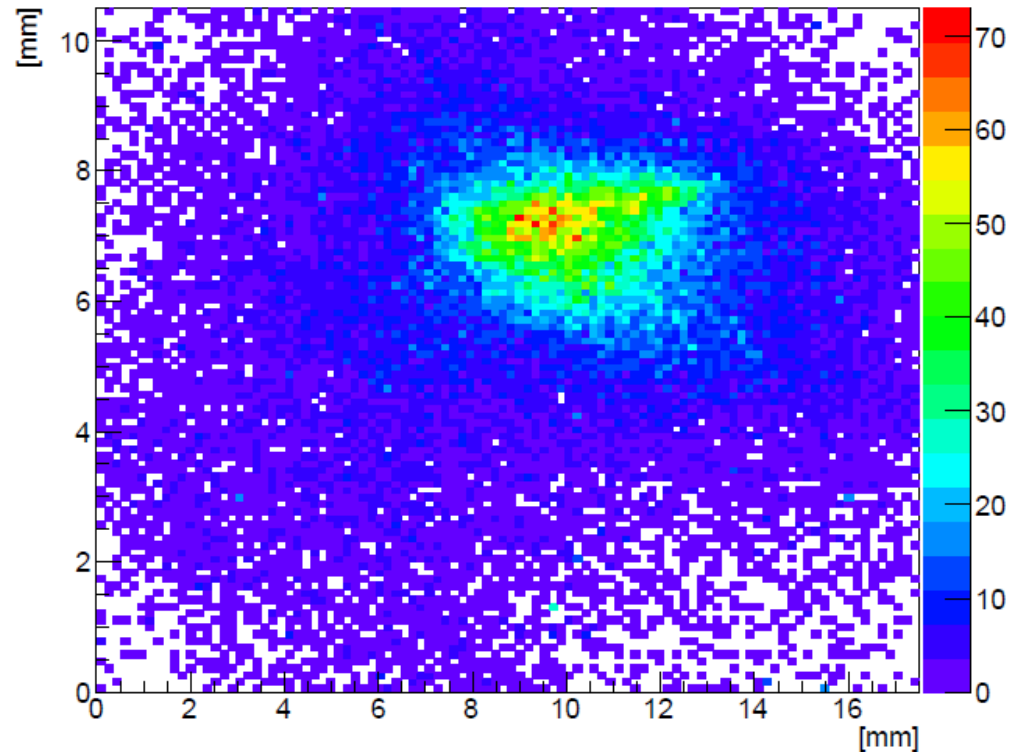


# Анализ образца CR39, облученного в сфокусированном пучке ионов Xe на станции СОЧИ



Xe<sup>+28</sup> SOCHI Focused  
Two projections X and Y axes.  
Bin 0.175x0.105 mm<sup>2</sup>  
Total number of ions - 50776

$$S = 10 \times 17 \text{ mm}^2$$

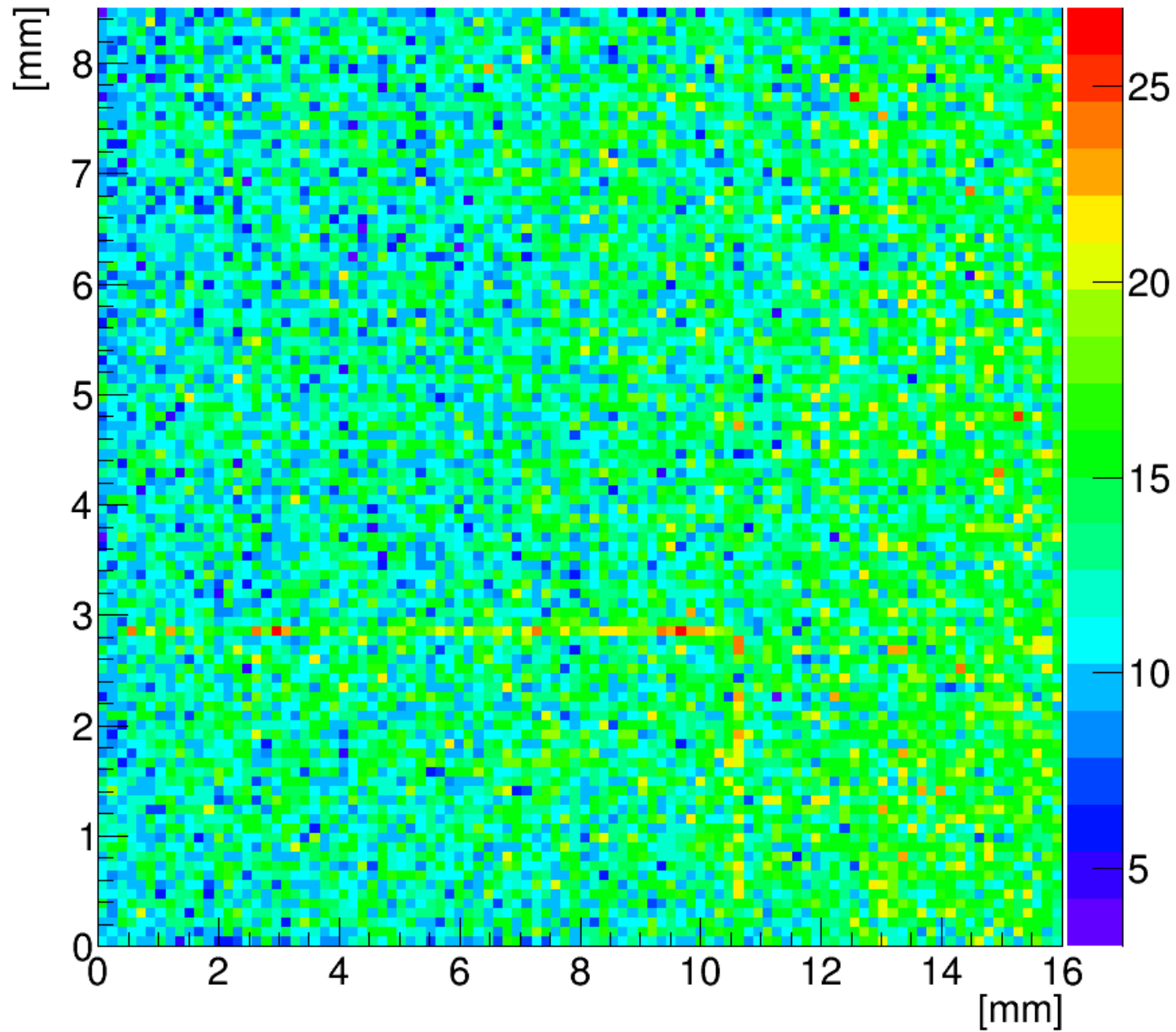




**Спасибо за внимание!**

[Welcome to BECQUEREL experiment website](#)





**$\sim 1 \cdot 10^5 \text{ cm}^2$**