



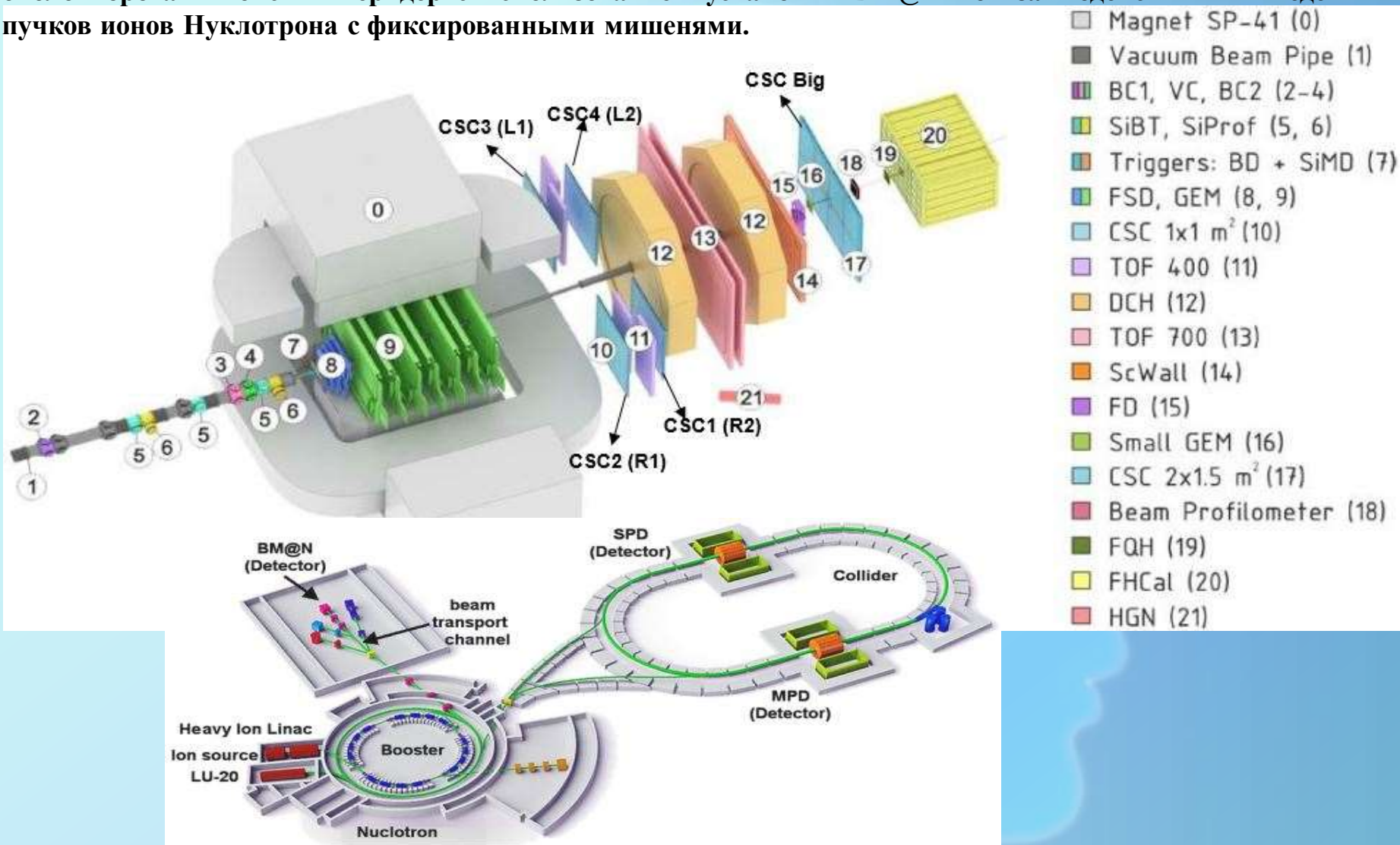
Разработка и тестирование Катодно-стриповых камер (CSC) для эксперимента BM@N

Расулжон Каттабеков –ЛФВЭ ОИЯИ

ЯДРО - 2025

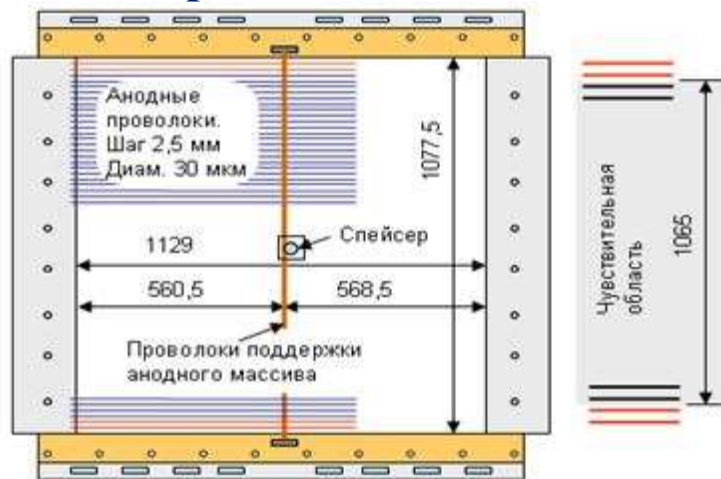
Эксперимент BM@N

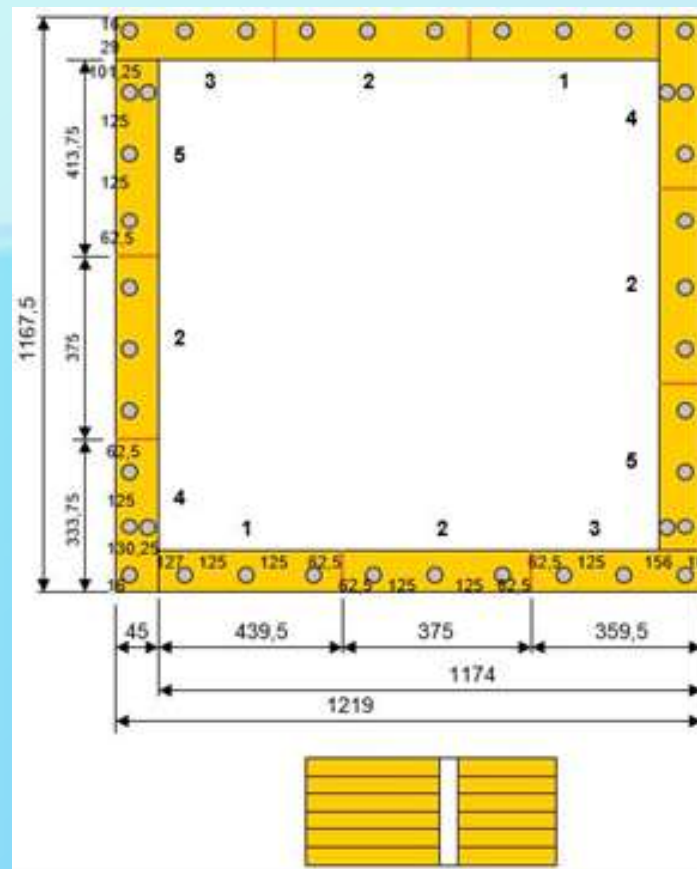
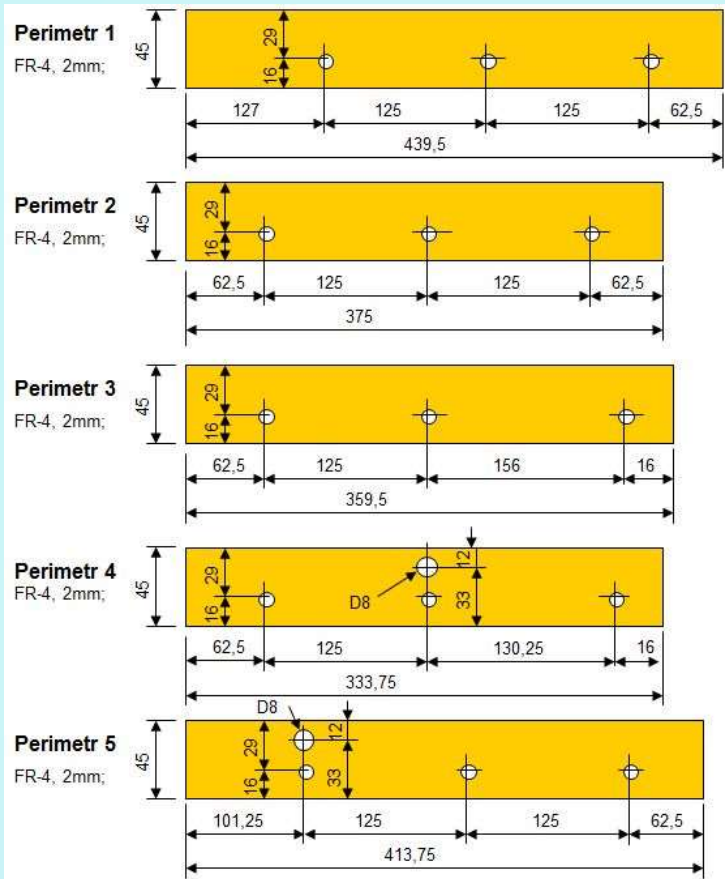
BM@N (Baryonic Matter at Nuclotron) - первый эксперимент, работающий на ускорительном комплексе Нуклотрон/NICA в ОИЯИ. Целью эксперимента BM@N является исследование динамики реакций и изучение модификации свойств адронов в ядерной материи, рождение странных гиперонов около порога и поиск гиперядер с использованием установки BM@N во взаимодействиях выведенных пучков ионов Нуклотрона с фиксированными мишенями.



Конфигурация детекторов BM@N в сеансе с пучком ксенона (Xe) в 2023 году

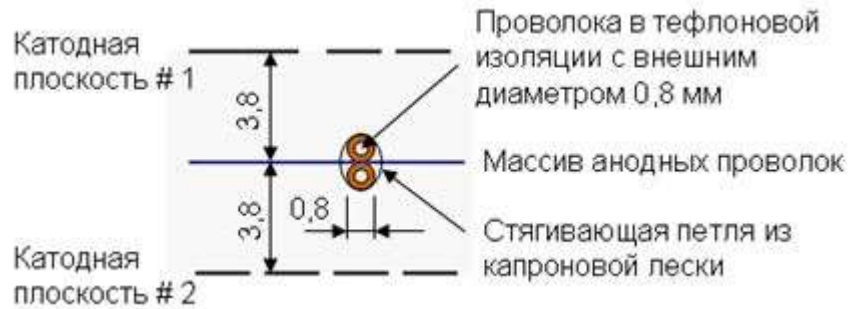
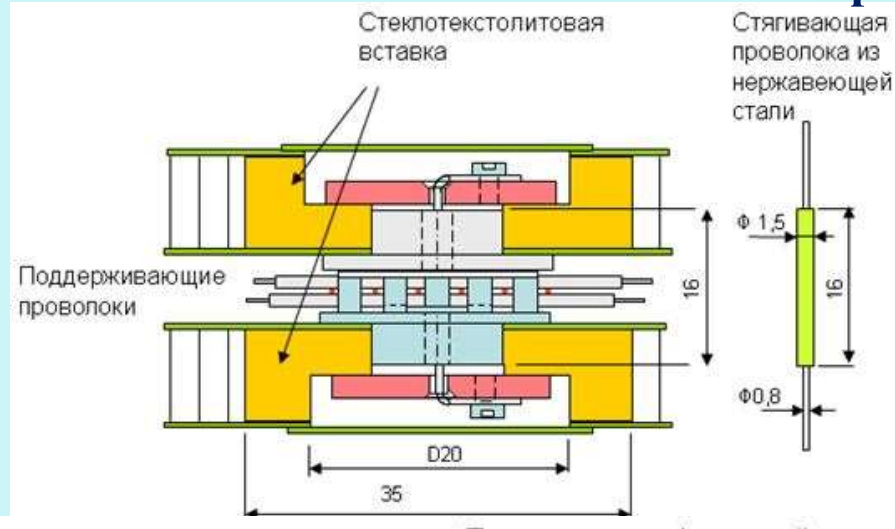
Конструкция катодно-стриповой камеры. Общий вид камеры со стороны массива анодных проволок и её сечение



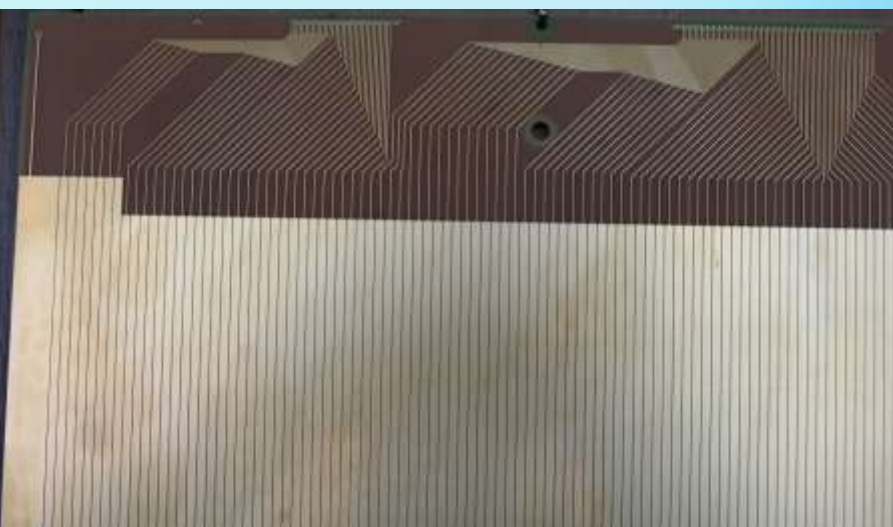
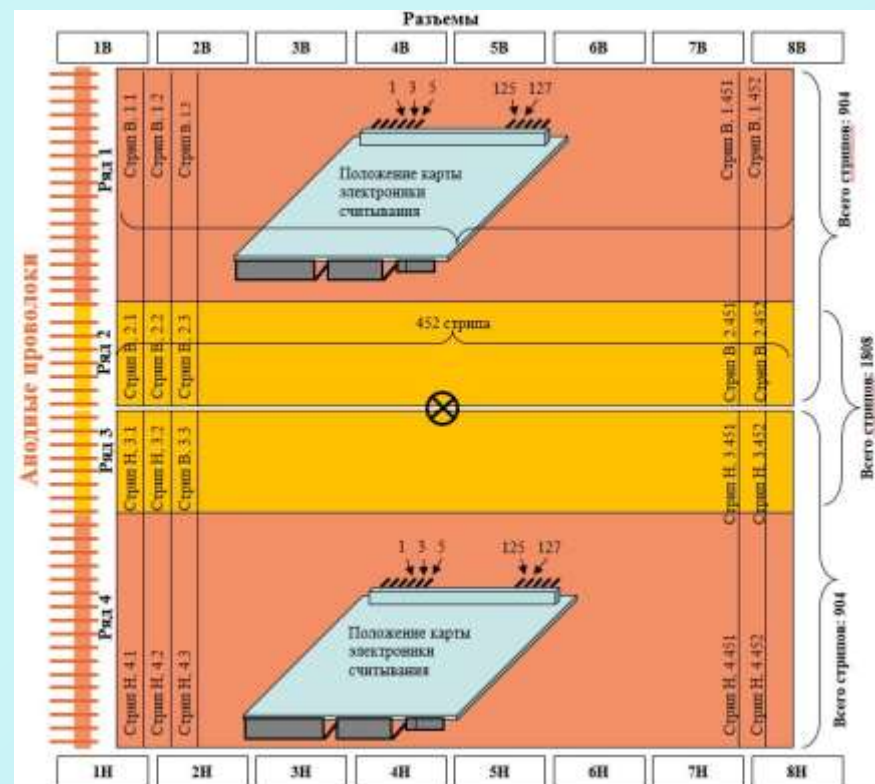


	<u>Perimetr-1</u> 439.5 мм	<u>Perimetr-2</u> 375 мм	<u>Perimetr-3</u> 359.5 мм	<u>Perimetr-4</u> 333.75 мм	<u>Perimetr-5</u> 413.75 мм	Общая КОЛ-ВО ШТ.
Корпус	12	24	12	12	12	144
Крышка	12	24	12	12	12	
Всего	24	48	24	24	24	

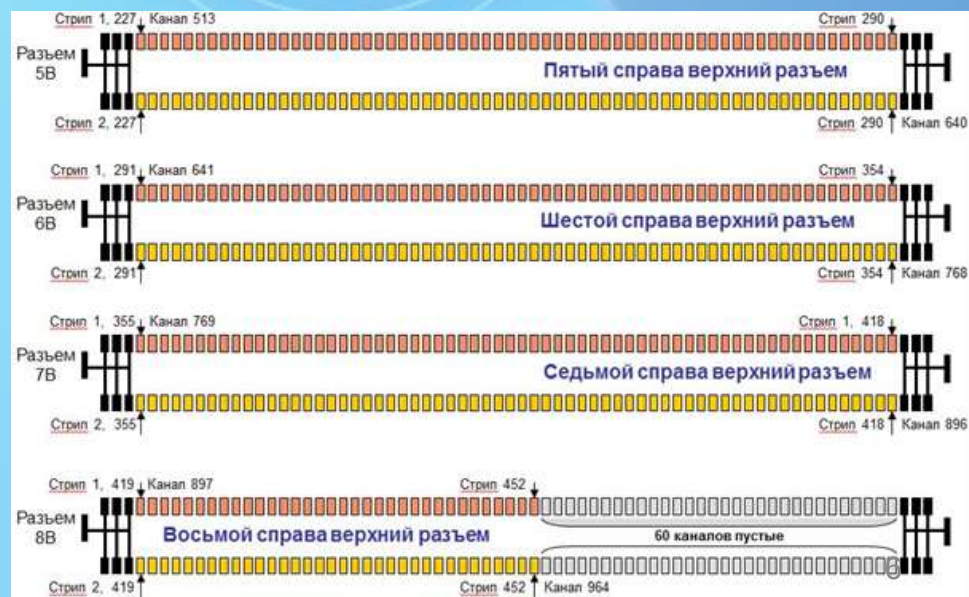
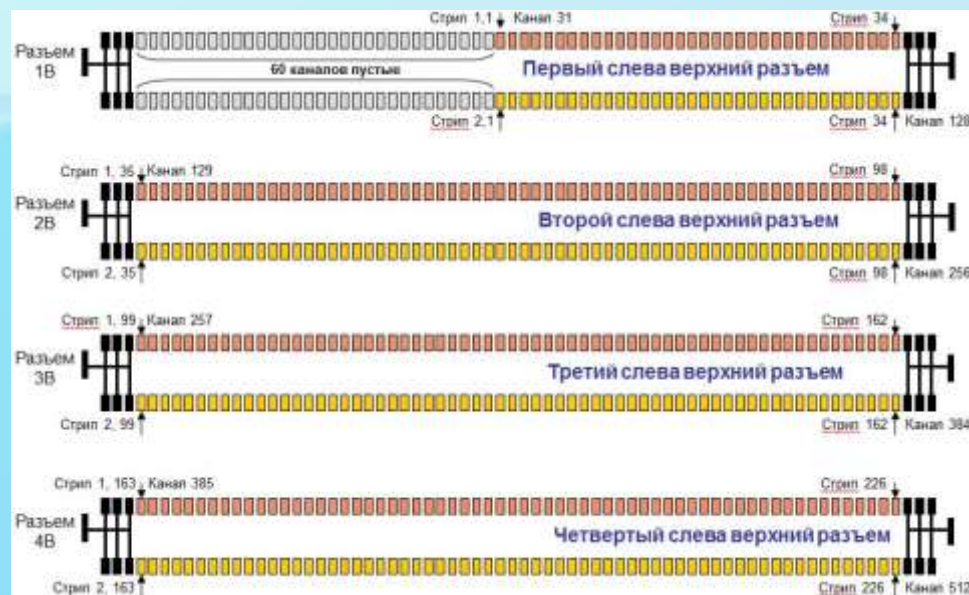
Сечение спейсерного узла и пересечение спейсера с массивом анодных проволок



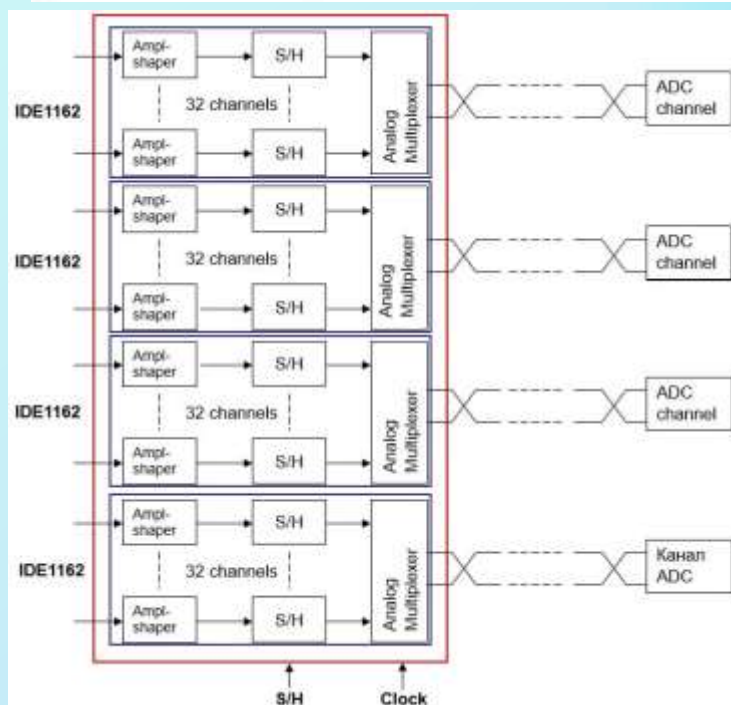
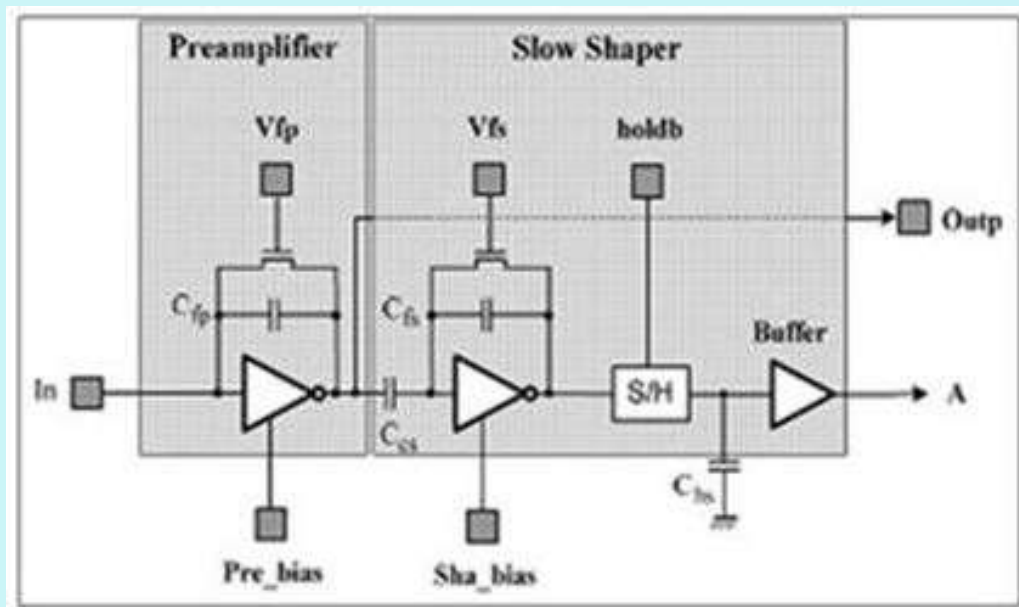
Геометрия стрипов катодной плоскости, расположенной на корпусе камеры.



Разводка вертикальных стрипов на разъемы камеры. Вид со стороны стрипов



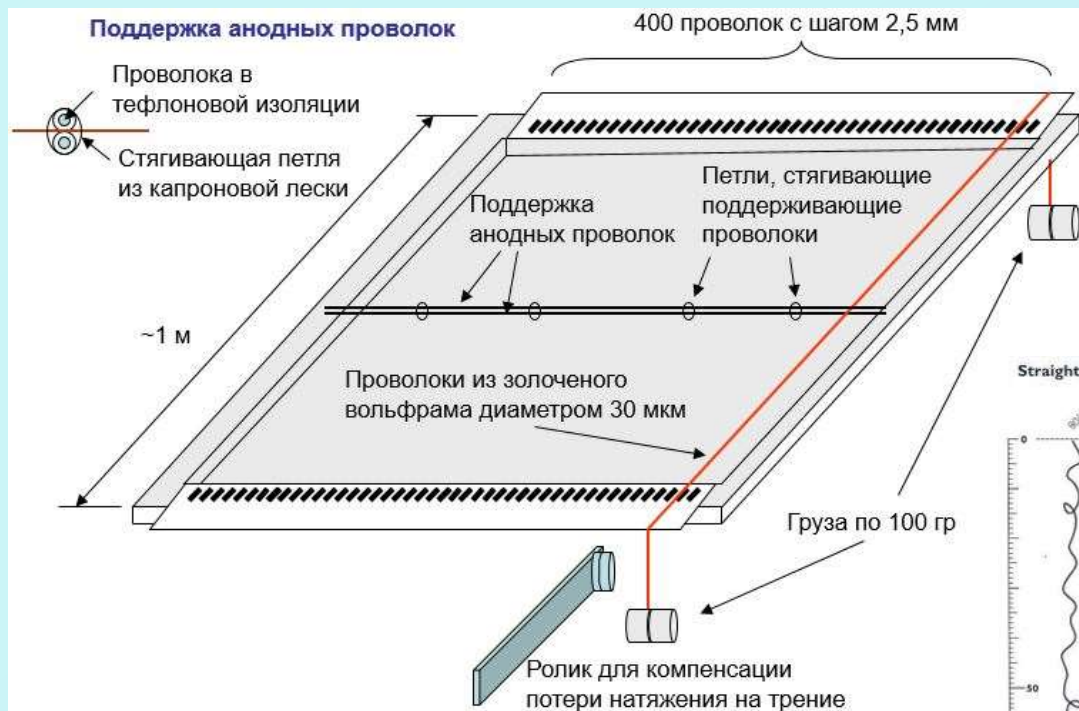
Считывающая электроника и система сбора данных



	VA162	VA163
Number of channels	32	32
Input charge	$-1.5\text{pC} \div +1.5\text{fC}$	$-750\text{fC} \div +750\text{fC}$
Shaping time	$2 \div 2.5\mu\text{s}$	500ns
Noise	2000e ENC at 50pF load	1797e ENC at 120pf load
Linearity positive charge	1%	0.5%
Linearity negative charge	3%	1.4%
Gain	$0.5 \mu\text{A/fC}$	$0.88 \mu\text{A/fC}$
Total power max.	66 mW	77 mW

Характеристики считывающей электроники
VA162 и VA163

Распайка массива анодных проволок



$$V = \frac{1}{ld} \sqrt{\frac{F}{\pi \rho}}$$

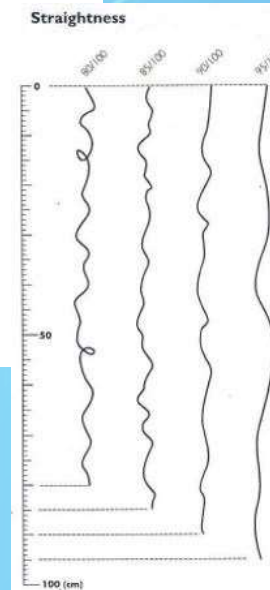
V - частота

l - длина

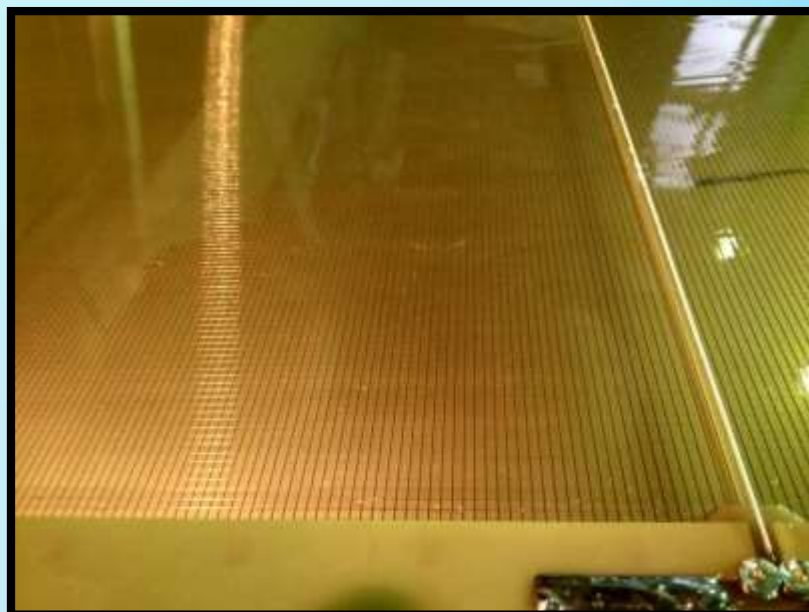
d - диаметр проволоки

F - сила натяжения проволоки

ρ - плотность материала проволоки

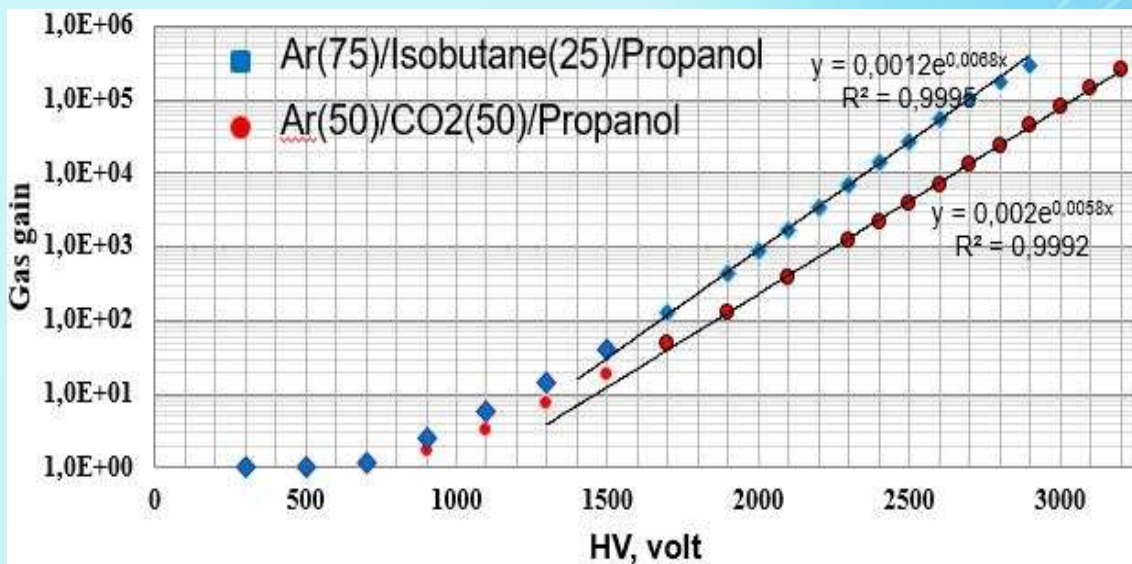


Wire dimensions	5 - 200 microns 0.2 - 7.87 mils	
Diameter tolerance	+/- 4% by weight as standard. Minimum +/- 1.5% available on request	
Gold coat thickness	For wire dimensions below 50 microns, the coat thickness corresponds to 3 - 5% by weight as standard. For wire dimensions from 50 microns the coat thickness is 0.5 micron as standard. The coat thickness can be adjusted to meet your requirements.	
Ovality (out of roundness)		
Ø Microns	Standard	Available on request
< 15	Max 6%	Max 3%
≥ 15	Max 5%	Max 2%
Elongation	1 - 3%	
Straightness		
Straightness grade	Ø Microns < 15	Ø Microns ≥ 15
4 (80/100)	standard	-
3 (85/100)	on request	standard
2 (90/100)	on request	on request
1 (95/100)	not available	on request

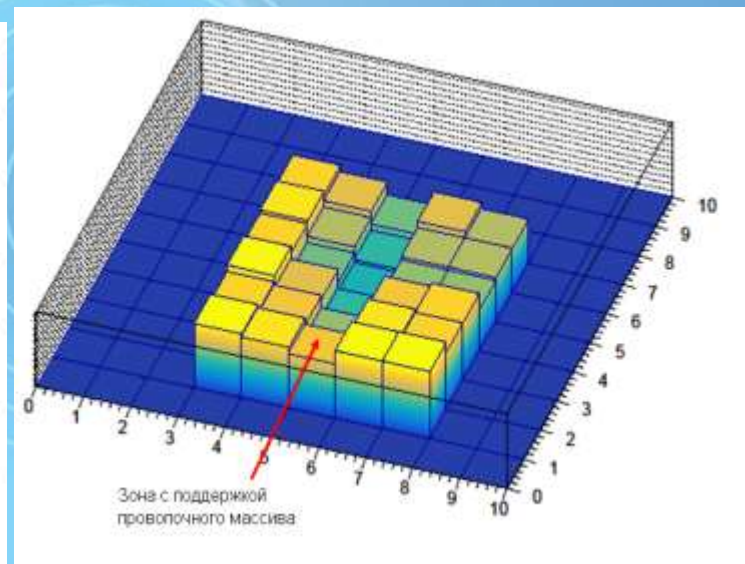


Газовая система

Газовые измерения были выполнены для двух различных газовых смесей – синие точки – смесь аргона и изобутана, красная точка – смесь аргона и углекислого газа. В нашей работе рабочий объем камеры продувается специальной газовой смесью на основе аргона с добавками изобутана и паров пропанола. Аргон обеспечивает возможность газового усиления. Изобутан препятствует развитию газового разряда до электрического пробоя между электродами. Возбужденные атомы Ar в области лавины испускают ультрафиолет, который вызывает рост лавины вдоль проволоочки и вырывает дополнительные электроны из катодов камеры. Для предотвращения этих эффектов в Ar добавили пары спирта C_3H_7OH . Пар спирта эффективно поглощает ультрафиолет из лавины.



Зависимость газового усиления от напряжения на камере



Распределение равномерности отклика по поверхности камеры



Стендовые испытания

Сцинтилляционные счетчики

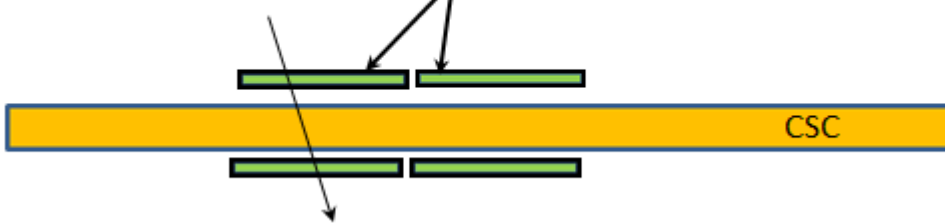
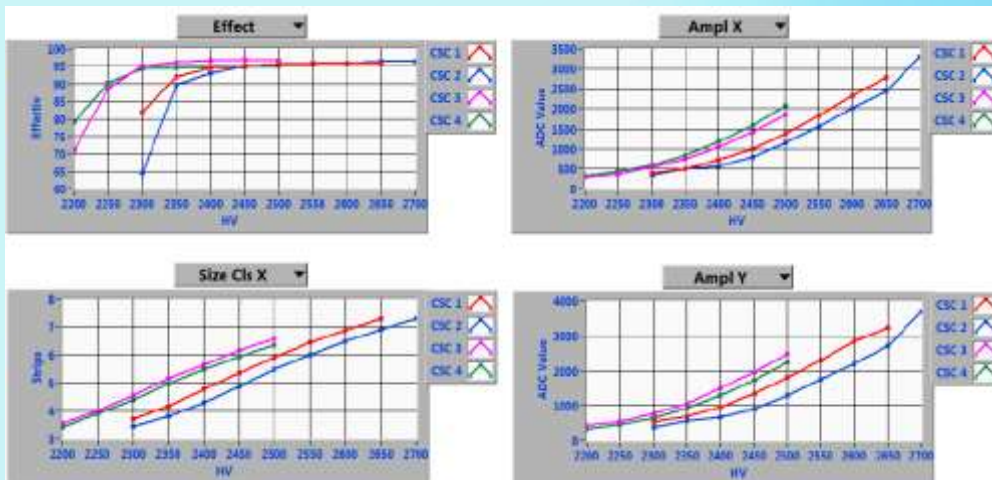


Схема стендовых испытаний CSC на космических мюонах



Характеристики CSC в зависимости от ВВ напряжения: эффективность (слева сверху), размер кластера по X (слева внизу), амплитуды по X (справа сверху), амплитуды по Y (справа внизу)

CSC	Напряжение, V	Зазор, мм	Эффективность
CSC 1 (R2)	2520	3.8	93.75 %
CSC 2 (R1)	2540	3.8	94.75 %
CSC 3 (L1)	2420	3.6	94.28 %
CSC 4 (L2)	2480	3.6	95.15 %

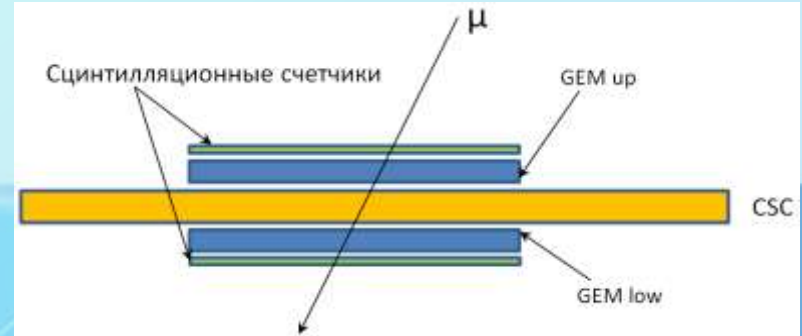
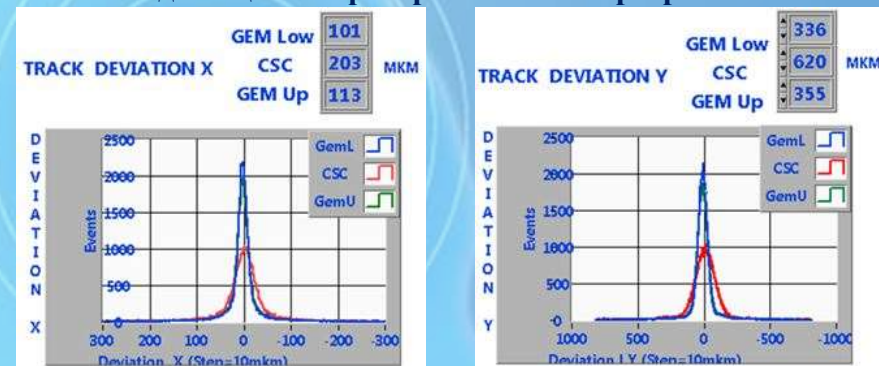


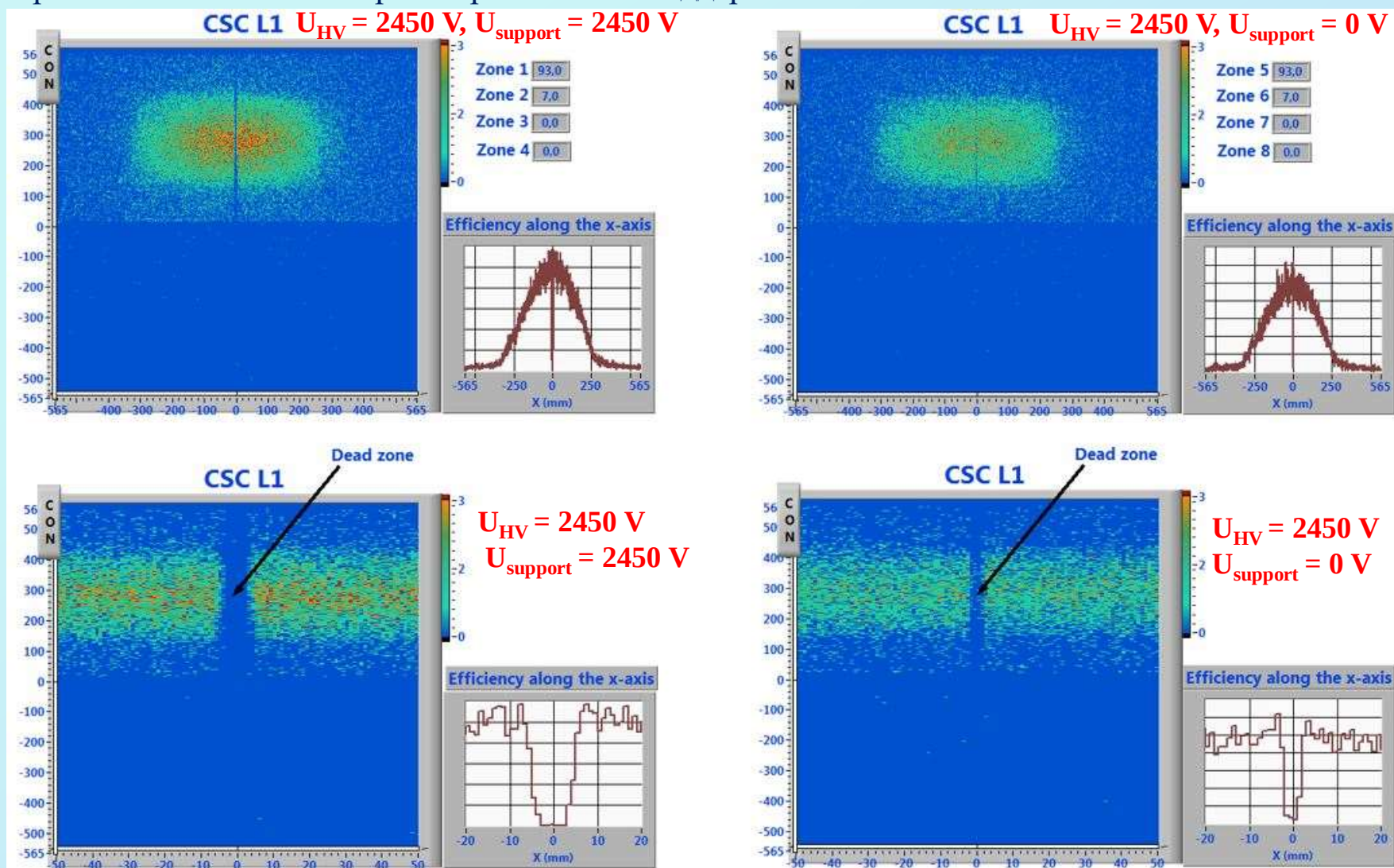
Схема стендовых испытаний CSC на космических мюонах для оценки пространственного разрешения



Распределения отклонений координат траекторий частиц от координат сработавших стрипов для X и Y CSC3.

Также были проведены стендовые испытания на космических мюонах для оценки пространственного разрешения CSC. Были построены распределения отклонений координат траекторий частиц от координат сработавших стрипов для CSC3. В результате были получены величины стандартных отклонений 203 мкм по X-координате и 620 мкм по Y-координате.

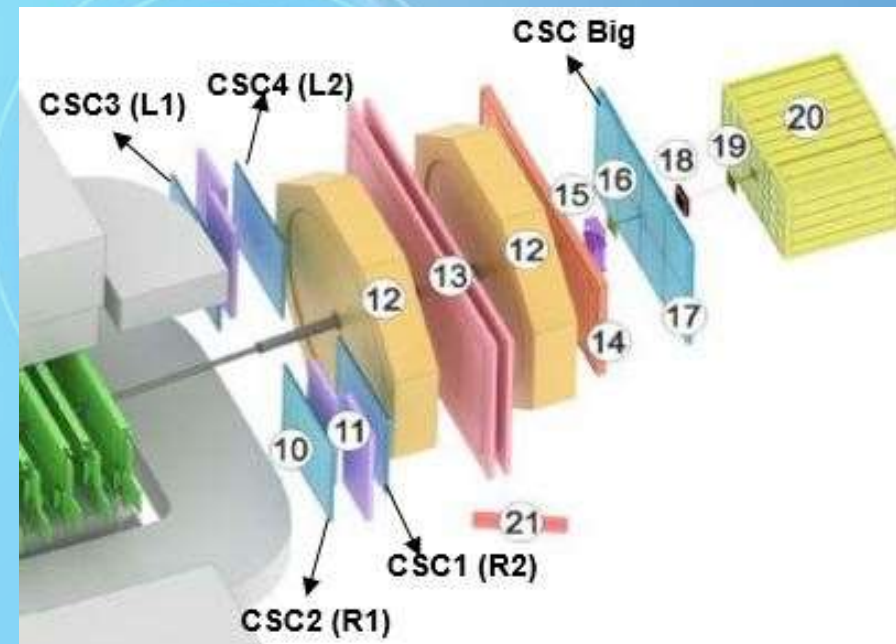
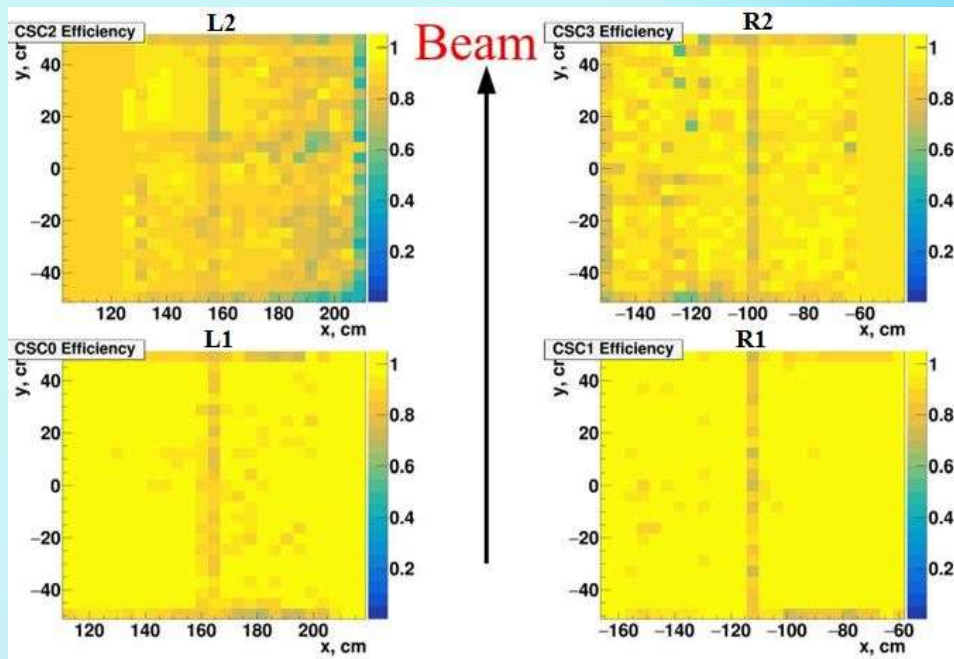
С целью выяснения влияния поддерживающих линий были построены распределения сработавших стрипов координатной плоскости X при напряжении на поддержке 2450 V и при нулевом напряжении для CSC3. Неэффективная область в районе поддержки при нулевом напряжении меньше чем при напряжении на поддержке 2450 V.



Распределения сработавших стрипов координатной плоскости X при напряжении на поддержке 2450 V и при нулевом напряжении для CSC3 (L1)

Работа CSC в составе спектрометра BM@N

Эффективность дальних по пучку CSC4 и CSC1 меньше эффективности ближних CSC3 и CSC2, так как в дальние CSC попадают вторичные частицы, образовавшиеся в результате взаимодействия первичных частиц с ближними CSC и ToF-400. Области однородной эффективности, заметные в дальних CSC, соответствуют областям, куда не попадают треки, проходящие через ToF-400. В центре каждой камеры видна область расположения поддержки.



№ Run	CSC3 (L1)		CSC2 (R1)		CSC4 (L2)		CSC1 (R2)	
	ϵ , %	N_{tr}	ϵ , %	N_{tr}	ϵ , %	N_{tr}	ϵ , %	N_{tr}
7498	96.33	25538	98.28	40546	84.48	18963	91.8	30268
7482	96.72	97507	97.35	85622	86.85	79913	91.90	68884
835	97.3	149765	98.32	116955	86.91	100637	92.62	92979

Эффективность CSC в сеансе с пучком ксенона в 2023 году

Заключение

При работе CSC с газовой смесью $\text{Ar}(75\%)/\text{C}_4\text{H}_{10}(25\%)/\text{C}_3\text{H}_8\text{O}(\text{пары})$ была получена необходимая эффективность регистрации заряженных частиц (до 96%). Длина плато кривой эффективности составила 200-250 Вольт. Включение этих камер в состав спектрометра BM@N обеспечило требуемую точность при восстановлении траекторий заряженных частиц в области за магнитом с целью точной привязки к трекам, реконструированным в детекторах FSD и GEM внутри анализирующего магнита. Использование камер CSC позволило отфильтровать ложные треки и треки с плохо восстановленными параметрами, а также обеспечило возможность надёжного сопоставления указанных треков с сигналами времяпролётных систем TOF400 и TOF700.

Создание спектрометра BM@N в конфигурации с CSC с размером рабочей области $1 \times 1 \text{ м}^2$ позволило начать широкую программу экспериментальных исследований на ускорительном комплексе Нуклотрон / NICA в ОИЯИ.

Спасибо за внимание!

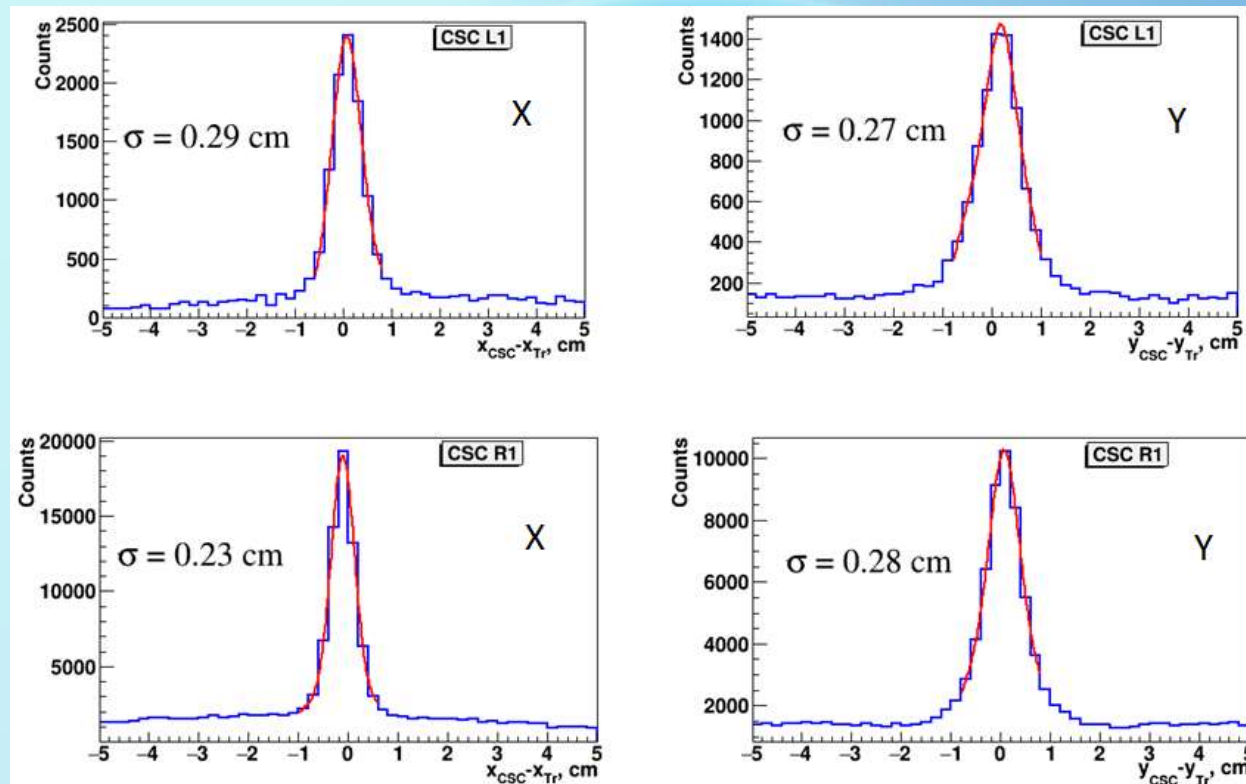
Определения эффективности и оценки пространственного разрешения CSC

Для определения эффективности и оценки пространственного разрешения CSC использовались первичные частицы с достаточным количеством хитов на трек с подтверждёнными в ToF-400 условиями:

- 1) импульс трека должен быть больше 1 ГэВ/с;
- 2) трек должен включать 5 или более хитов GEM (из 6 станций);
- 3) трек должен экстраполироваться в область положения мишени (в положении с $z = 0$ см $-3 < x < 3$ см и $-3 < y < 3$ см);
- 4) трек должен иметь подтверждение (хит) в детекторе ToF-400.
- 5) отклонение хита $|\Delta_{x(y)}|$ в ToF-400 от трека < 2 см
- 6) отклонение хита $|\Delta_{x(y)}|$ в CSC от трека < 6 см (все CSC хиты).



Также были построены распределения отклонений координат траекторий частиц от координат сработавших стрипов. Полученные распределения аппроксимировались функцией Гаусса.

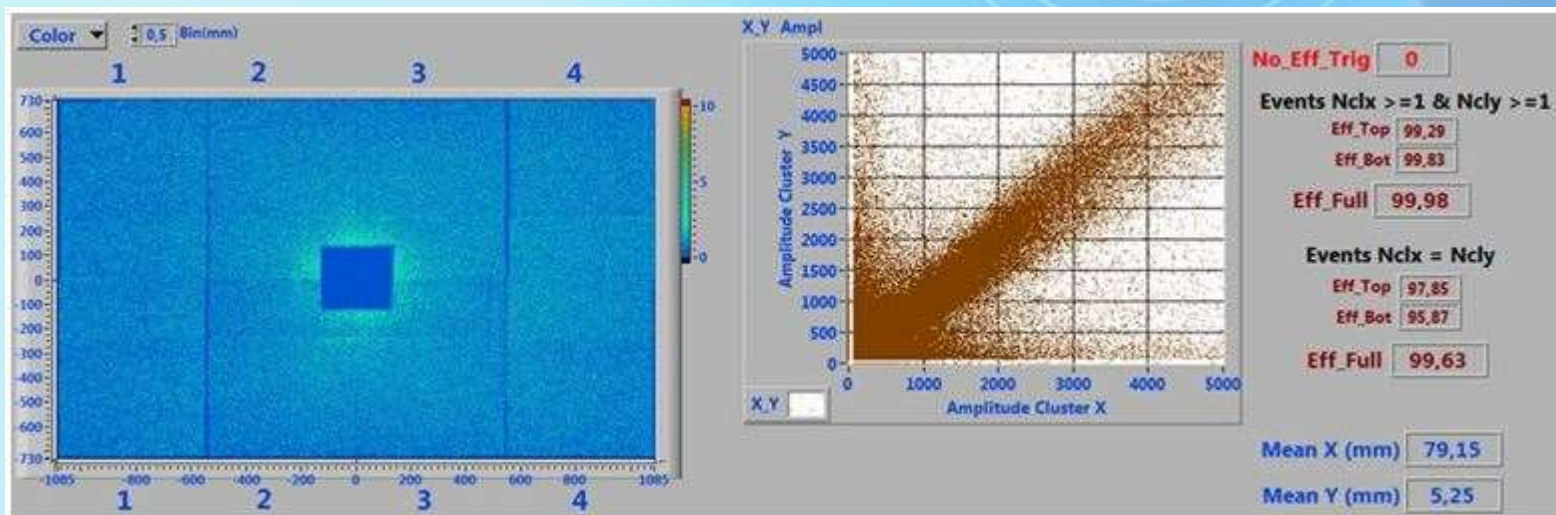


Распределения отклонений координат траекторий частиц от координат сработавших стрипов (X/Y): для CSC3 (L1) и CSC2 (R1) .

Космические испытание



Схема стендовых испытаний CSC на космических мюонах



Характеристики CSC в зависимости от ВВ-напряжения