

Невозмущающая газовая диагностика ионных пучков

Гурьева Е.В., Романов С.В., Худомясов А.В.

ГНЦ РФ Институт Экспериментальной и Теоретической Физики Научно-исследовательский Ядерный Университет (МИФИ)

Невозмущающими называются такие методы получения информации о параметрах пучка, при применении которых вносимыми при измерении возмущениями можно пренебречь.

Задачи диагностики

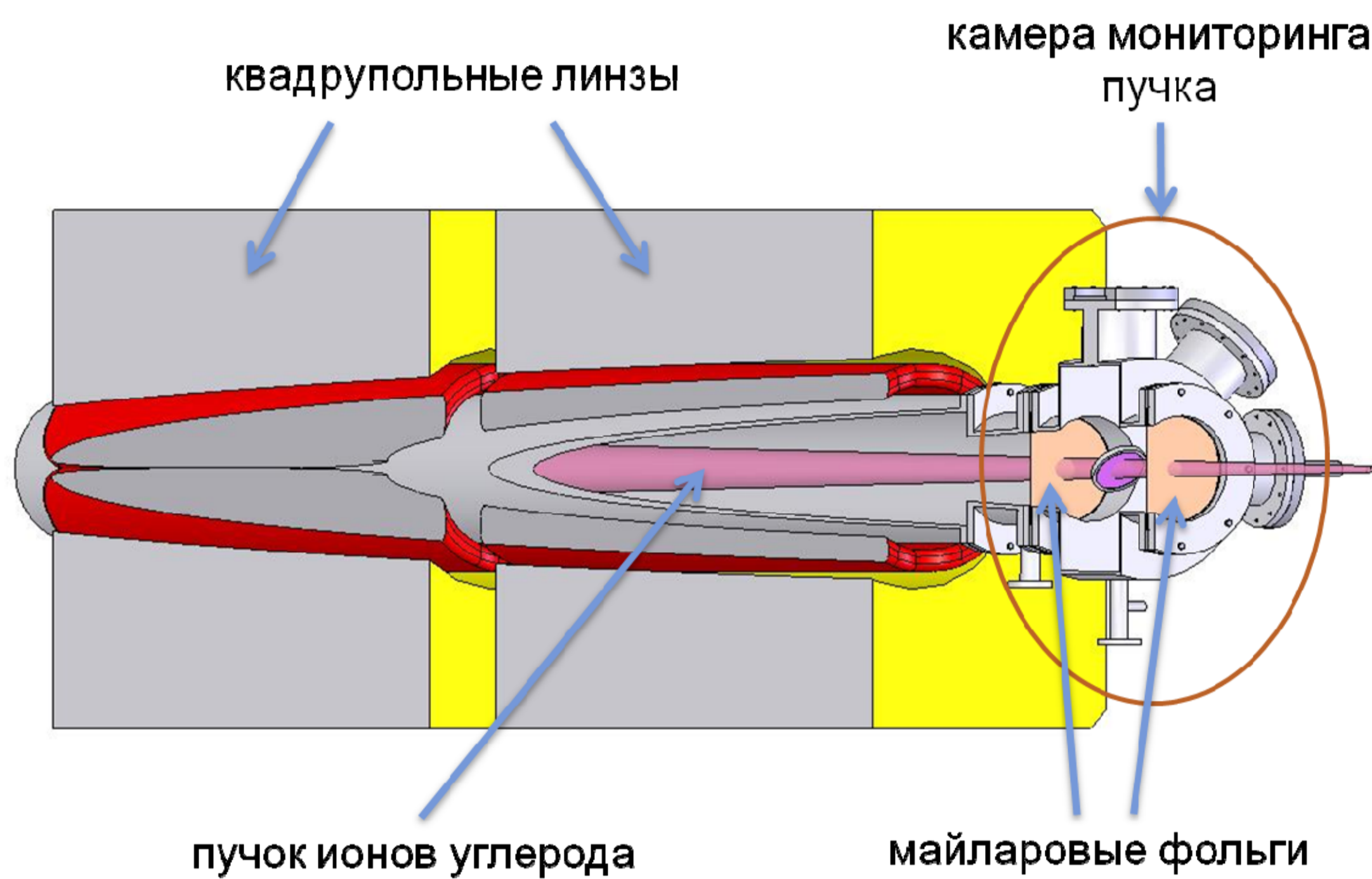
1. Получение базовой информации о пространственных и временных параметрах ионного пучка;
2. Контроль характеристик пучков заряженных частиц как в процессе их формирования и ускорения, так и при транспортировке пучка на экспериментальную установку.

Требования к невозмущающей диагностике

1. Воздействие на пучок должно быть минимальным;
2. Обеспечение наилучшего временного и пространственного разрешения (зависит от конкретных условий и задач эксперимента).

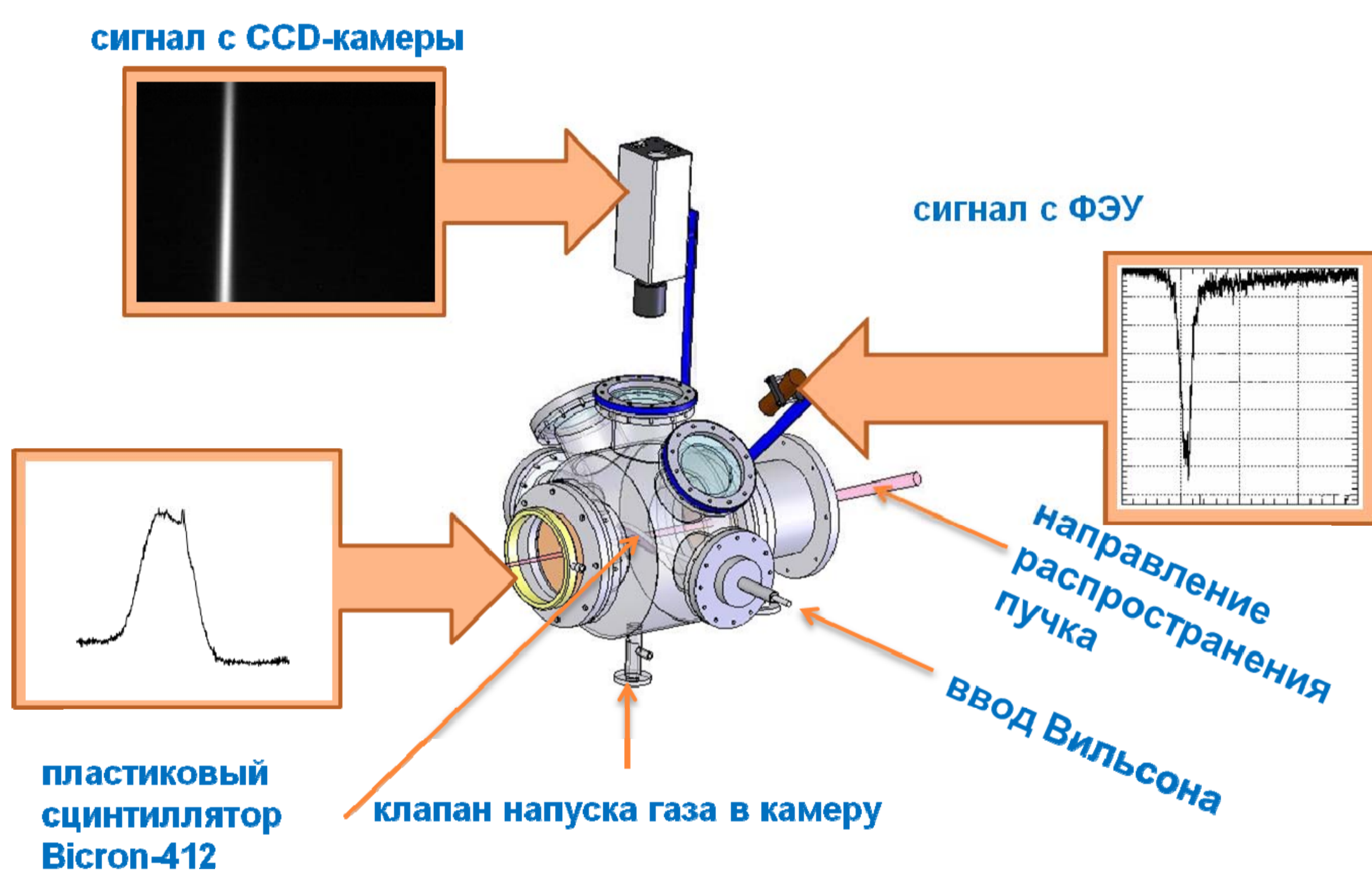
В основе метода невозмущающей газовой диагностики лежит определение профиля ионного пучка по свечению, возникающему в результате взаимодействия пучка с атомами и молекулами газа.

Схема установки в ИТЭФ



Тип иона	C^{6+}
Энергия ионов, E_0	200 – 250 МэВ/нуклон
Интенсивность пучка, N	$1.5 \cdot 10^8 - 3.5 \cdot 10^9$ ионов/импульс
Длительность импульса (FWHM), τ	600 – 800 нс
Размер фокального пятна (FWHM), S_f	0.6 – 2 мм

Схема диагностической камеры (ИТЭФ)



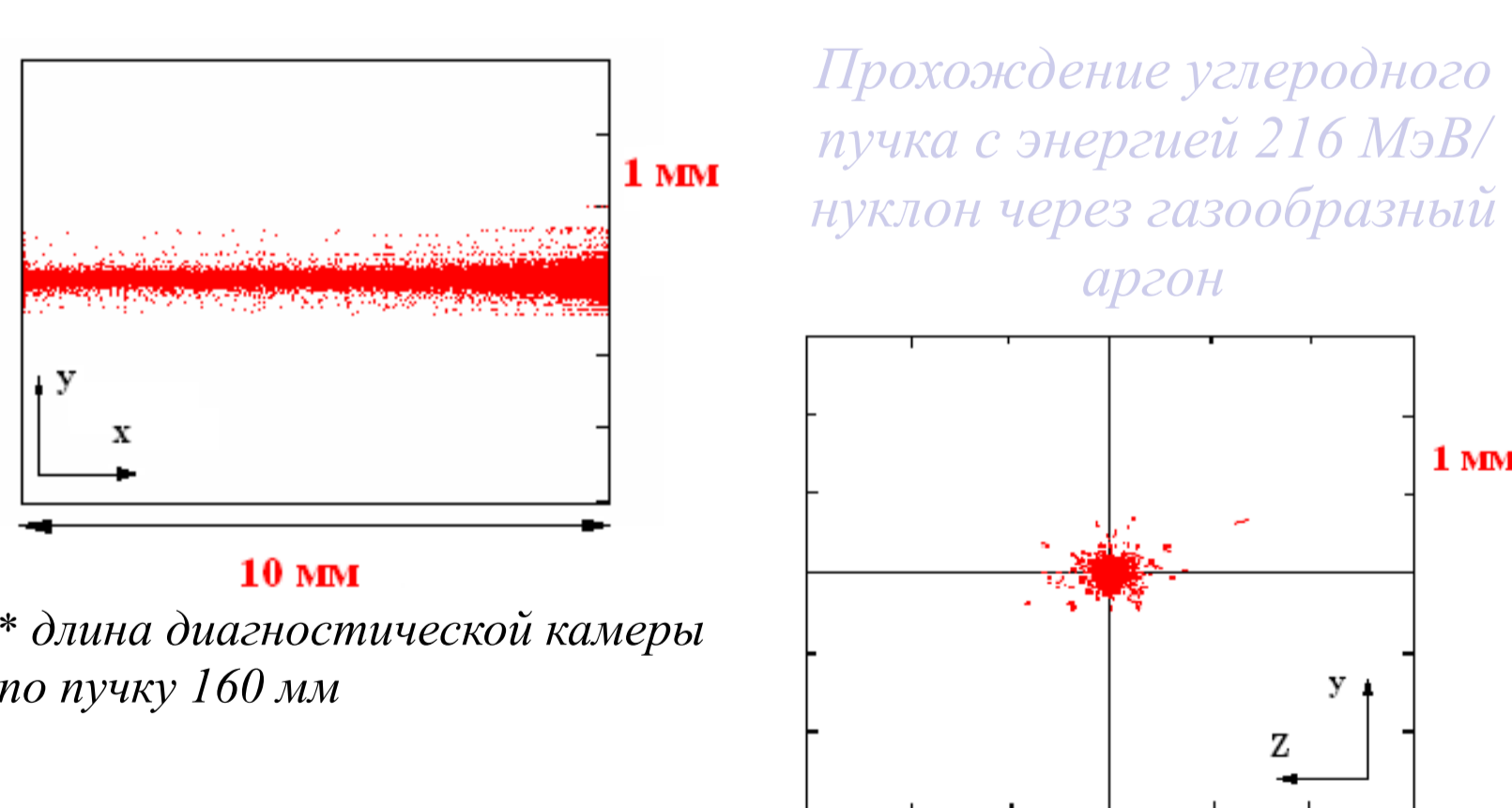
Характеристики пучка:

- углеродный пучок C^{6+} , энергия 216 МэВ/нуклон
- сечение пучка 0,5 мм

Оценка потерь энергии в мишени (SRIM моделирование):

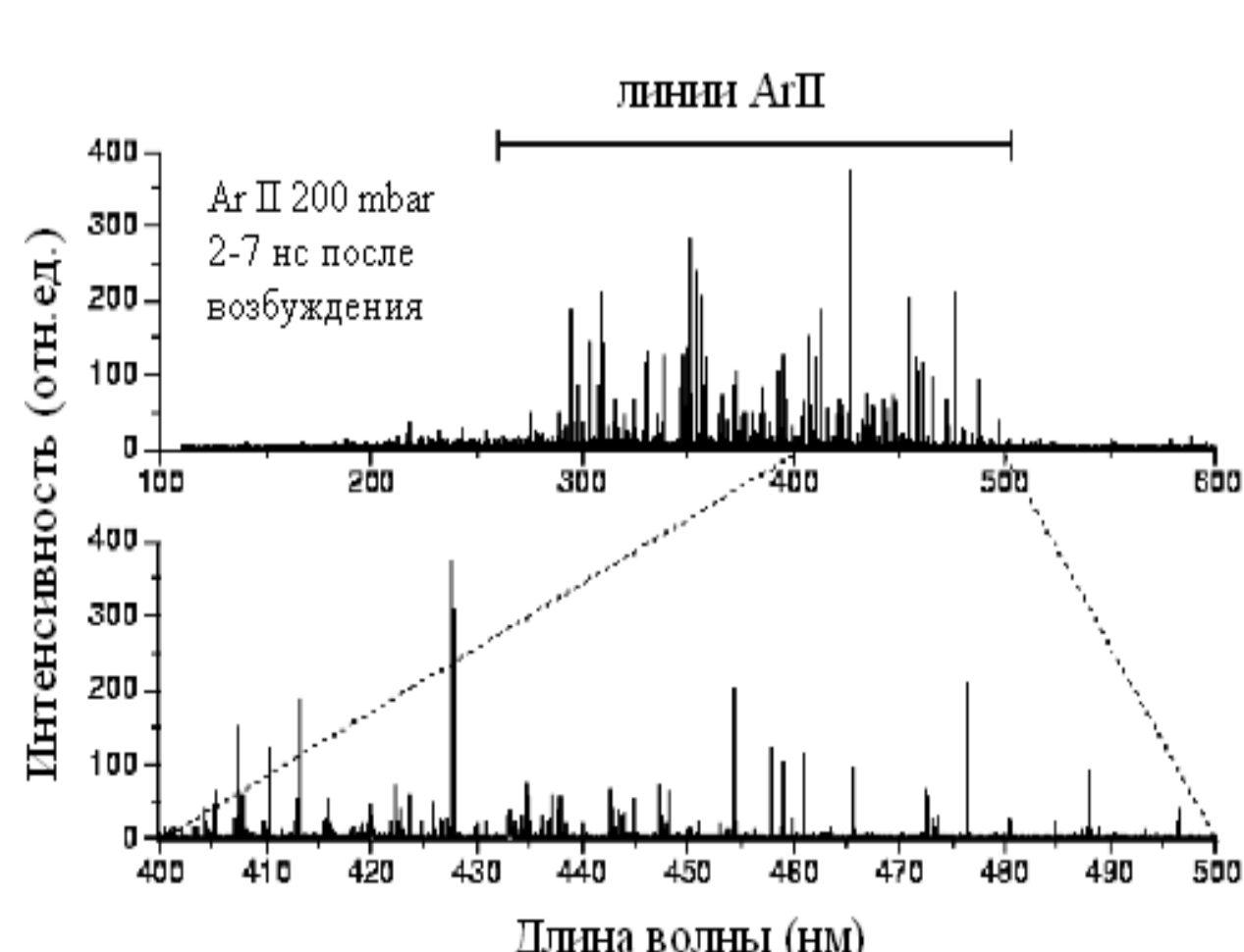
давление (торр)	плотность газа (10^{-4} , г/см ³)	dE/dx (КэВ/мм)	dE/dN (КэВ/нуклон)*
35	0.81	0.89	11.2
50	1.17	1.86	23.3
100	2.34	2.54	31.8
200	4.68	5.08	63.5
300	7.03	7.63	95.4
400	9.37	10.17	127.1
500	11.71	12.71	158.9

Оценка угловой расходимости углеродного пучка в аргоне (SRIM моделирование):



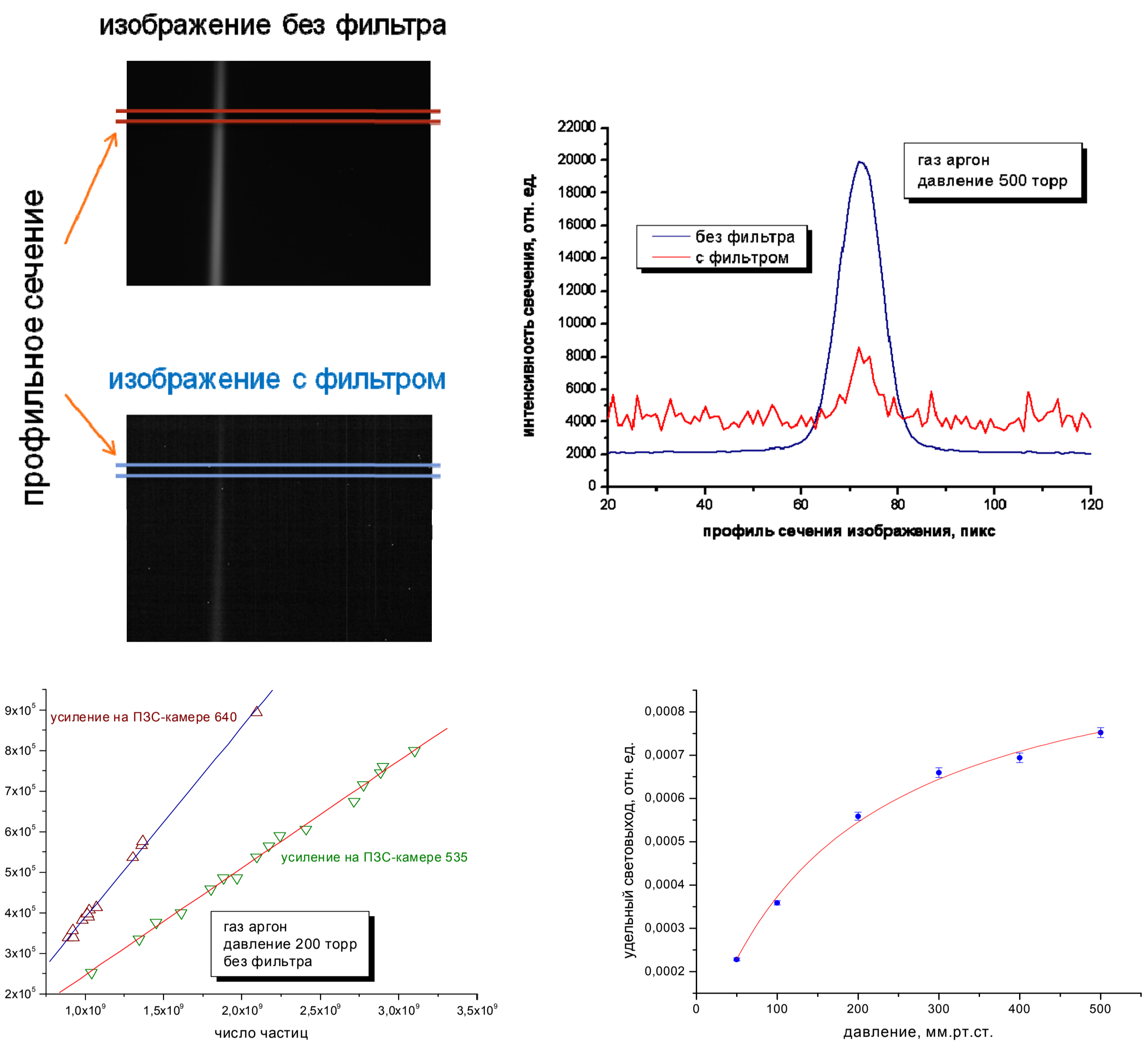
Причины выбора аргона в качестве рабочего газа:

В процессе взаимодействия налетающих ионов с частицами газа возникают вторичные электроны, которые также могут возбуждать атомы газа. Эти электроны, в отличие от ионов пучка, могут покидать область взаимодействия и способны привести к существенному искажению измеряемого профиля. Для оценки влияния данного эффекта в экспериментальную оптическую схему может быть включен интерференционный фильтр на линии ArII (450±40) нм. Предполагается, что вероятность для вторичных электронов произвести два процесса (ионизацию и возбуждение) в одном столкновении ниже вероятности одного процесса. Поэтому вклад δ -электронов в свечение газа под действием ионного пучка может быть уменьшен в случае анализа излучения исключительно ArII. Таким образом, профиль свечения газа, зарегистрированный с использованием фильтра в оптической схеме, будет более соответствовать реальному пространственному распределению ионов пучка в пятне фокусировки.



Обработка экспериментальных данных

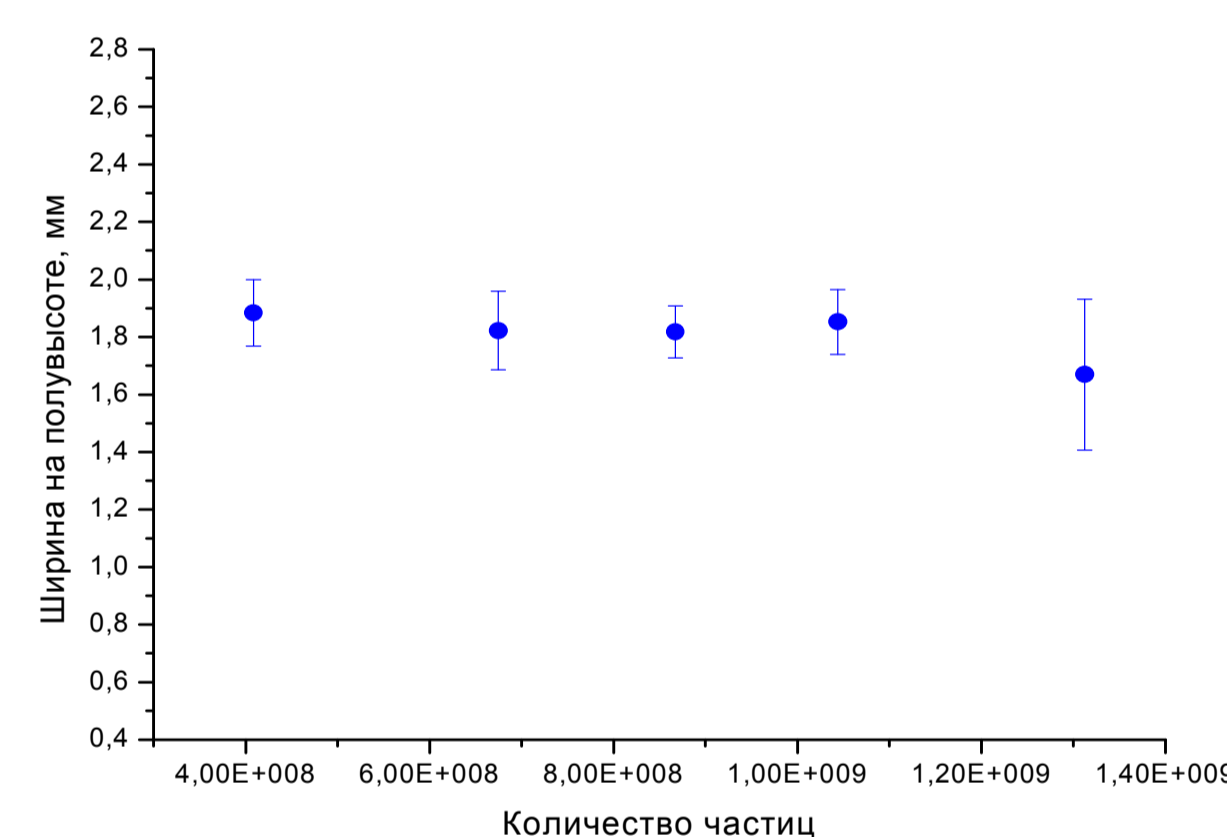
Исследовалось соответствие свечению, возникающему в аргоне под воздействием ионного пучка, его реальным пространственным характеристикам методом газовых сцинтилляций для различных давлений аргона.



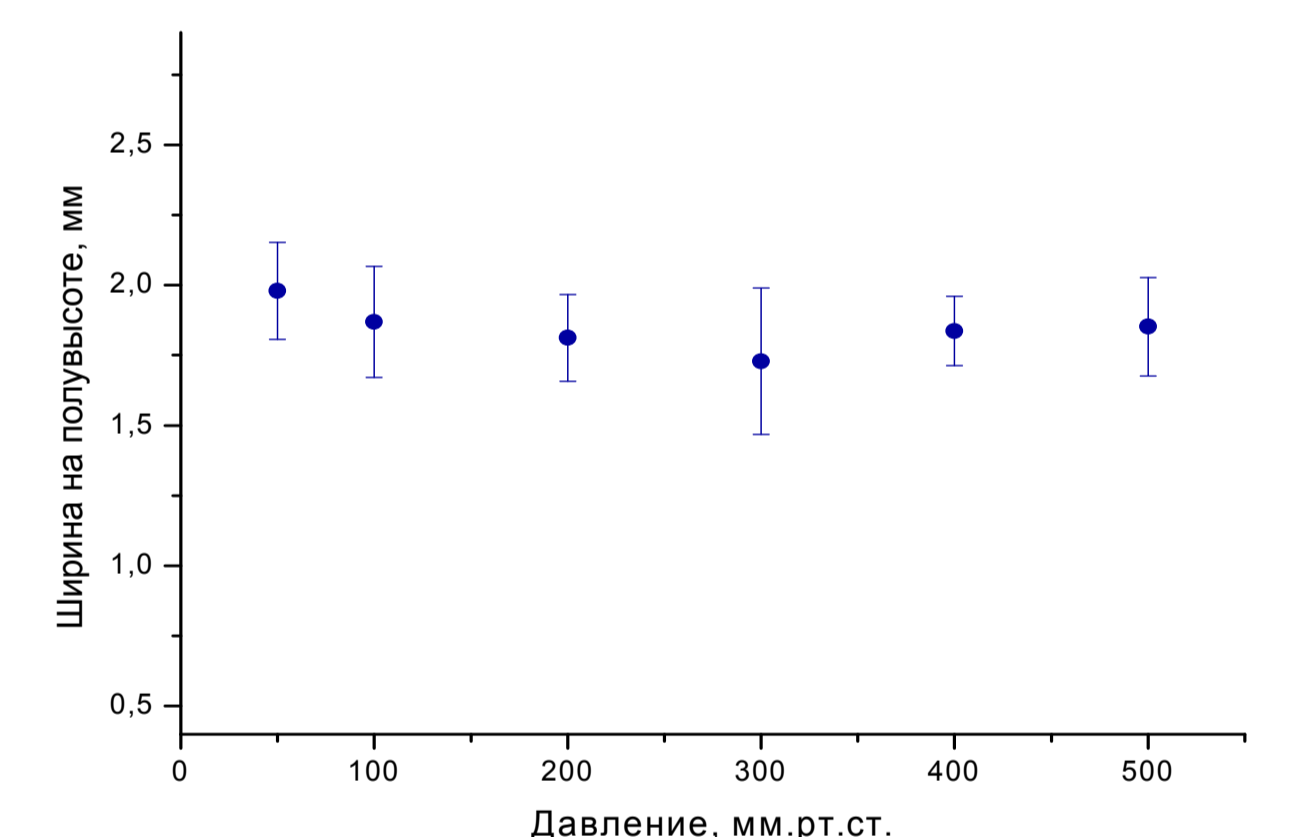
Зависимость интенсивности свечения от количества частиц

Зависимость выхода света на одну частицу от давления при постоянной интенсивности пучка

Можно сделать вывод о линейной зависимости интенсивности свечения аргона при давлениях от 35 до 500 торр от числа ионов углерода в импульсе в диапазоне от $1.5 \cdot 10^8$ до $3.5 \cdot 10^9$ ионов/импульс. Определяя угол наклона для каждой прямой, фактически, находим среднее значение удельного выхода света (на один ион). Нелинейность зависимости удельного световыхода от давления может быть объяснена конкуренцией между временем жизни радиационно-возбужденных состояний и величиной, обратной к частоте столкновений, приводящих к снятию возбуждения.

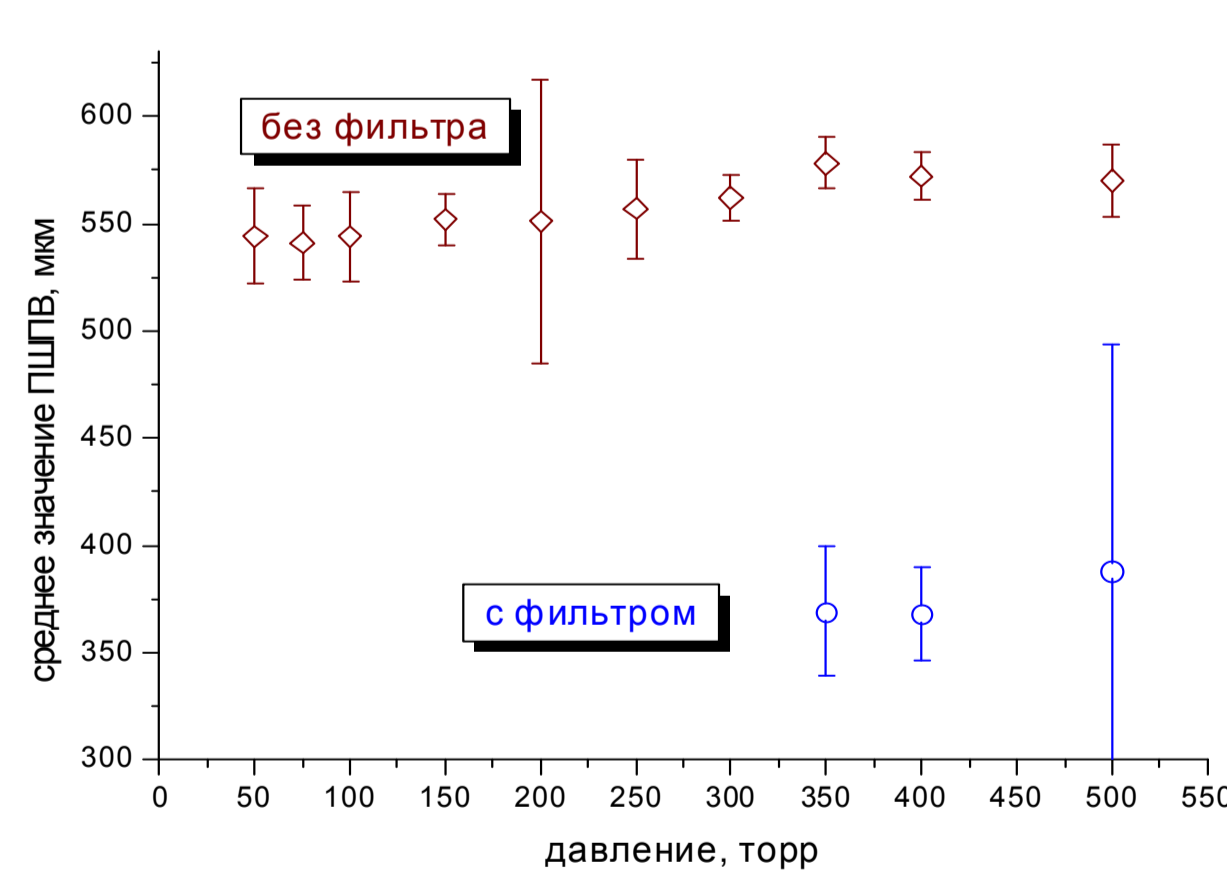


Зависимость ширины на полувысоте профиля пучка от количества частиц $\langle \text{ПШПВ} \rangle = 1.81 \pm 0.08$ мм

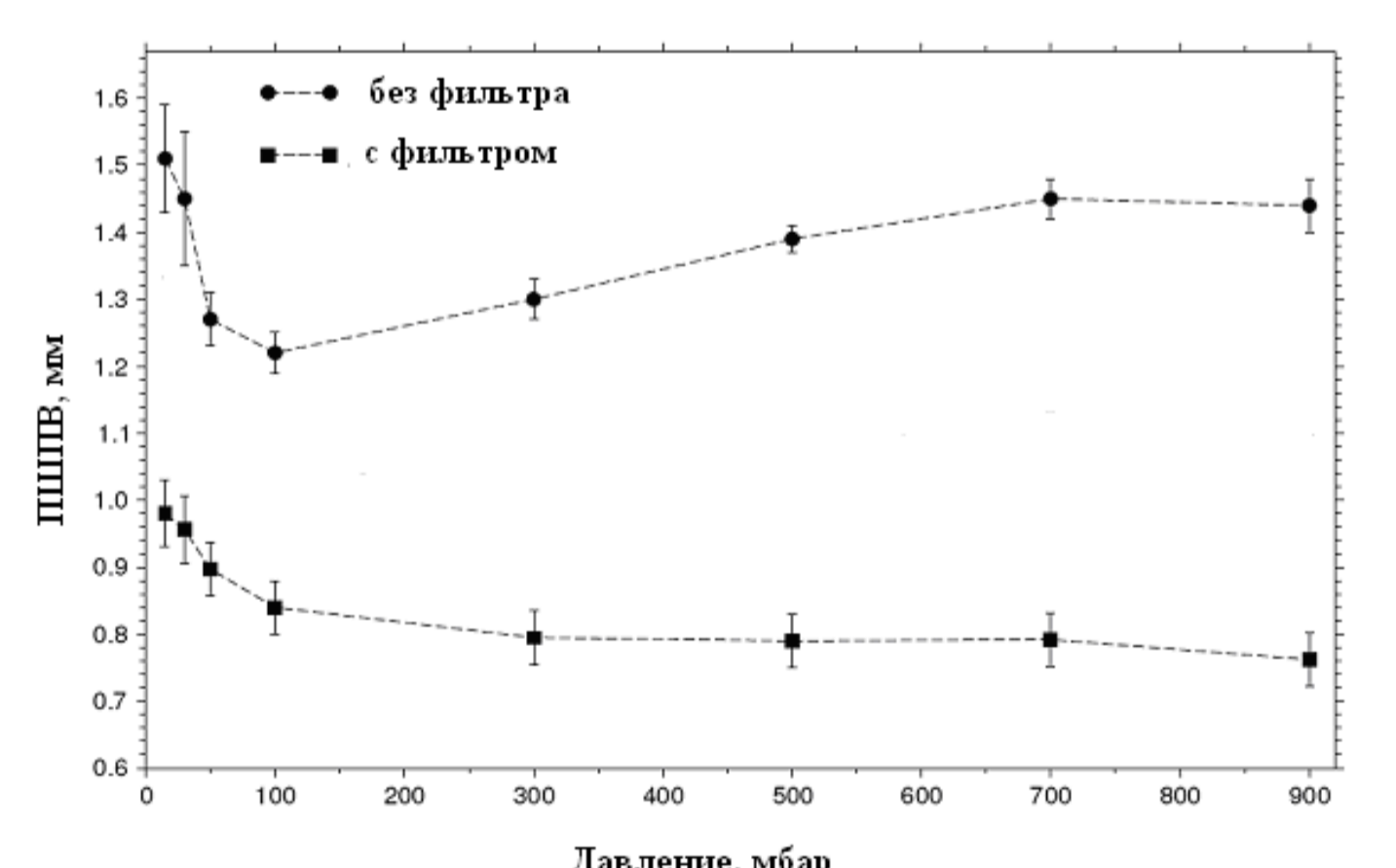


Зависимость ширины на полувысоте профиля пучка от давления $\langle \text{ПШПВ} \rangle = 1.8 \pm 0.2$ мм

Значения ширины на полувысоте в пределах погрешности совпадают со значением ширины на полувысоте, полученной при использовании пластикового сцинтиллятора Bicron-412, $\langle \text{ПШПВ} \rangle = 1.9 \pm 0.1$ мм.



Распределения интенсивности свечения газов при различных давлениях в мишенной камере 200 торр под воздействием пучка ионов урана



Экспериментальная зависимость ширины области свечения газа на полувысоте под воздействием пучка ионов урана

Выводы:

Геометрические размеры профилей изображения пучка, полученные методом газовых сцинтилляций, соответствуют геометрическим размерам профилей, полученных с помощью тонкого сцинтилляционного экрана, который был установлен внутри диагностической камеры поперек пучка. В результате обработки экспериментальных данных можно сделать следующие выводы:

- интегральный выход света в результате сцинтилляции аргона под воздействием углеродного пучка прямо пропорционален количеству частиц от $1.5 \cdot 10^8$ до $3.5 \cdot 10^9$ за импульс длительностью 1 мкс по основанию;
- зависимость удельного световыхода от давления имеет нелинейный характер, что может быть объяснено ростом вероятности снятия возбуждения через столкновения с увеличением давления;
- ширина пучка (и его изображения в газе) на полувысоте не зависит от числа ионов углерода в импульсе для диапазона интенсивностей от $1.5 \cdot 10^8$ до $3.5 \cdot 10^9$ ион/импульс длительностью 1 мкс по основанию;
- ширина профиля не зависит от давления газа (в диапазоне от 35 до 500 мм.рт.ст.) в диагностическом объеме в пределах экспериментальной погрешности;
- сравнительный анализ профилей изображения пучка, зарегистрированных в широком и в выделенном спектральных диапазонах, показал, что результаты измерений с использованием интерференционного фильтра демонстрируют сужение поперечного размера изображения пучка, т.е. можно предположить, что вероятность возбуждения ArII вторичными электронами существенно ниже вероятности возбуждения ArI.