



# Использование изогнутых кристаллов для пучков на синхроциклотроне ПИЯФ (SPS и LHC)

---

Ю. М. Иванов

Сессия Ученого Совета ОФВЭ ПИЯФ, 26 декабря 2023

# Где применяют или планируют применить кристаллы в ЦЕРН

---

- На ускорителе SPS
  - Исследование физики взаимодействия пучков с кристаллами
  - Экспериментальное моделирование применений кристаллов для пучков LHC
  - Экранирование электростатического септума для высокоинтенсивного вывода SPS
- На коллайдере LHC
  - Коллимация протонных и ионных пучков HL-LHC
  - Вывод 7 ТэВ пучков
  - Кристаллы в LHCb для измерения электромагнитных моментов
  - Кристаллы в ALICE для исследований с фиксированной мишенью

# Где планируют применить кристаллы в Европе

---

- Вывод пучка из коллайдера во Фраскати
  - Моделирование возможных схем
  - Изготовление и тесты прототипов кристалла
- Исследование каналирования адронных пучков в кристаллах в Italian National Center for Oncological Adrotherapy (CNAO), Pavia
  - Моделирование эксперимента, оптимизация детектора
  - Кристаллы RD-22 и UA9
- Формирование пучков в DESY
  - Подготовка установки
  - Разработка и тесты кристаллов (UF, Italy)

# Где планируют применить кристаллы в США и Японии

---

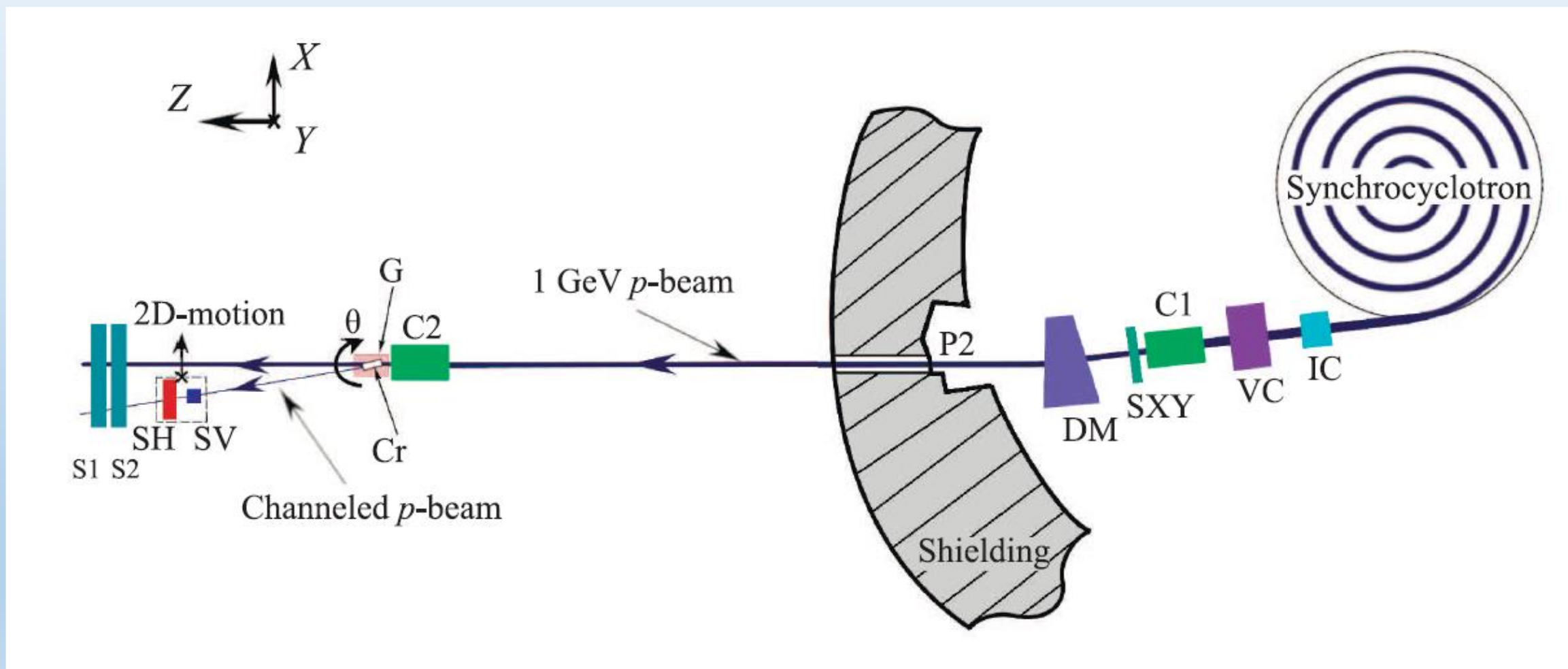
- Septum shadowing at 8 GeV for the Mu2e project slow extraction at Fermilab
  - simulations
- Septum shadowing at KEK
  - simulations

# Где применяют кристаллы в России

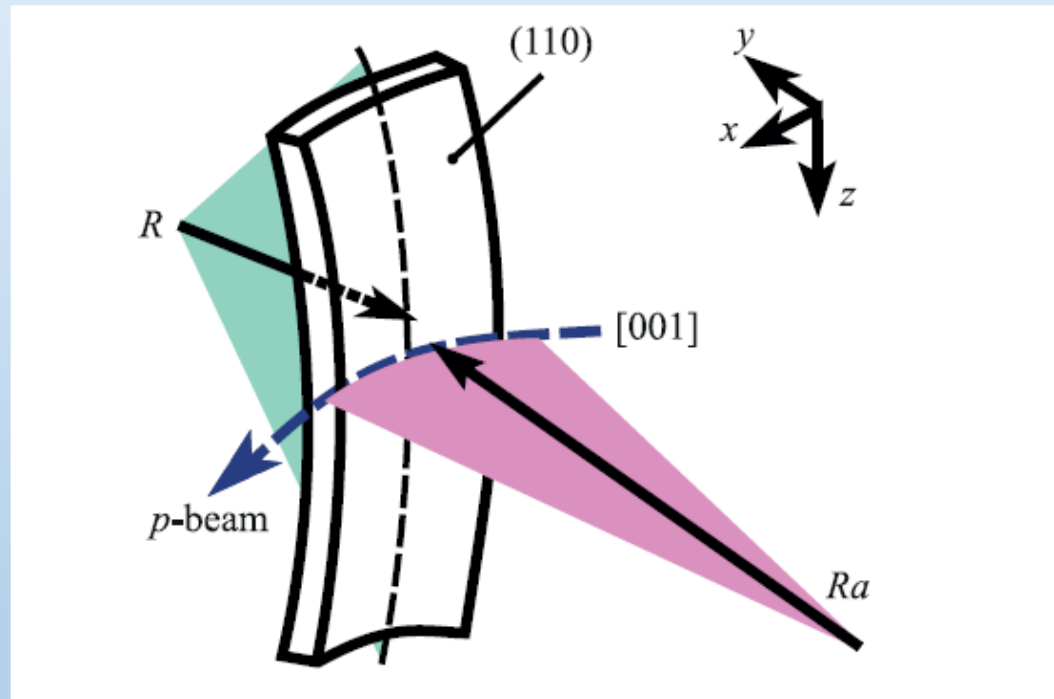
---

- ИФВЭ
  - вывод пучков из ускорителя
  - деление выведенных пучков

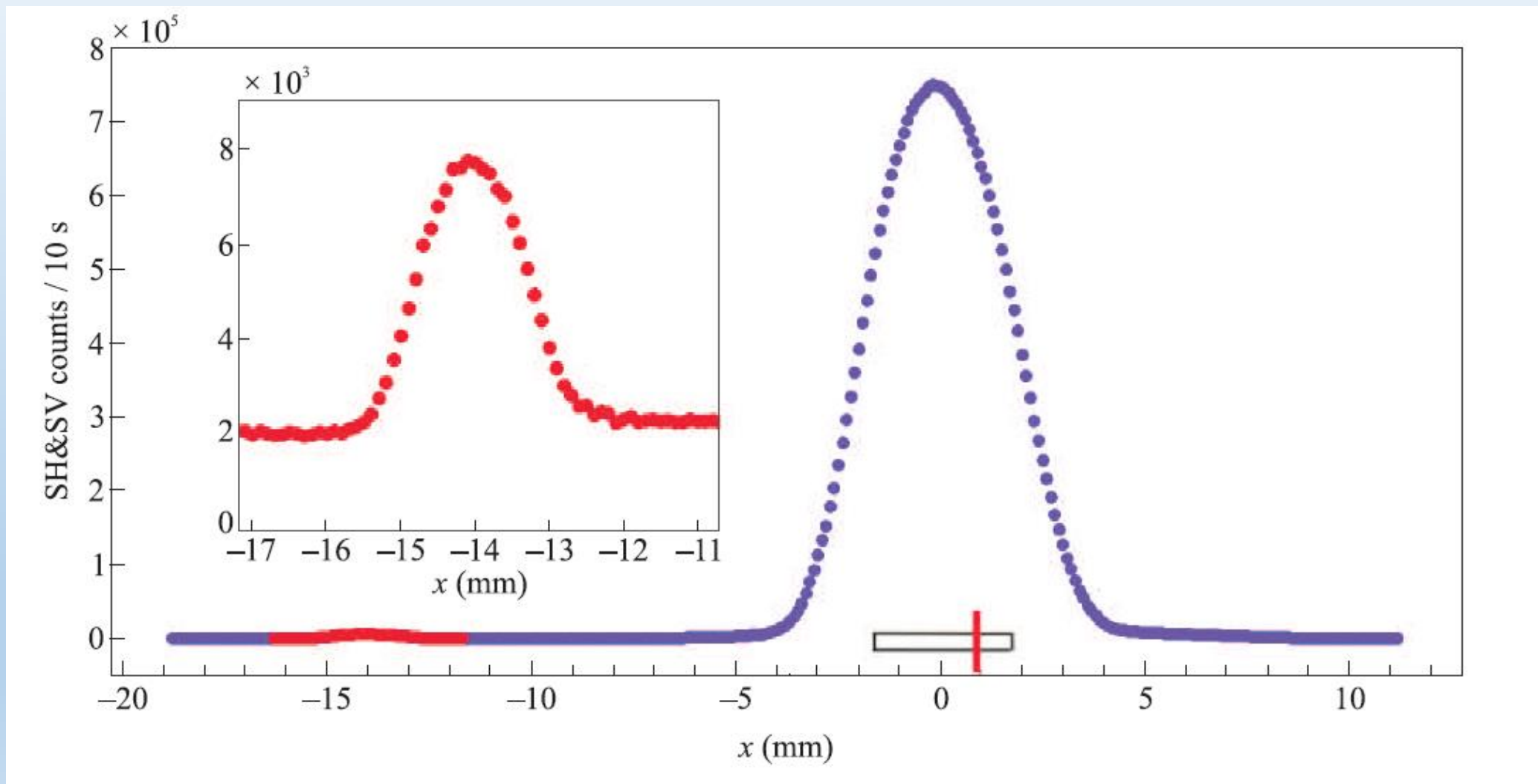
# Эксперимент по высокоэффективному отклонению протонов с энергией 1 ГэВ изогнутым кристаллом - 1



# Эксперимент по высокоэффективному отклонению протонов с энергией 1 ГэВ изогнутым кристаллом - 2



# Эксперимент по высокоэффективному отклонению протонов с энергией 1 ГэВ изогнутым кристаллом - 3





# Эксперимент по высокоэффективному отклонению протонов с энергией 1 ГэВ изогнутым кристаллом - 4

Принимая критический угол каналирования  $\theta_c$  равным 139 мкрад, что соответствует критической поперечной энергии каналирования  $E_c(x_c) = 14.32$  эВ (см. [20]), и оценивая расходимость пучка  $\Phi$  величиной 161 мкрад по полуразмеру отверстия коллиматора С1, находим значение длины деканалирования  $\lambda_d$ , равное  $(1.9 \pm 0.3)$  мм.

Найденное значение соответствует торцевому захвату в режим каналирования и заметно отличается от оценки длины деканалирования 1 мм, полученной пересчетом результата эксперимента по объемному захвату [8]. По-видимому, это свидетельствует о различии процессов деканалирования при торцевом и объемном захвате. Объяснение может состоять в том, что при торцевом захвате заселяются все состояния каналирования, а в случае объемного захвата заселяются преимущественно верхние состояния, которые деканалируют быстрее.

# Эксперимент Сумбаева-Самсонова по объемному захвату в режим каналирования протонов с энергией 1 ГэВ изогнутым кристаллом

до 0,01 мрад и перемещался поперек пучка с точностью 10 мкм. Установка работала в линию с ЭВМ PDP 11/40 и ЕС-1030.

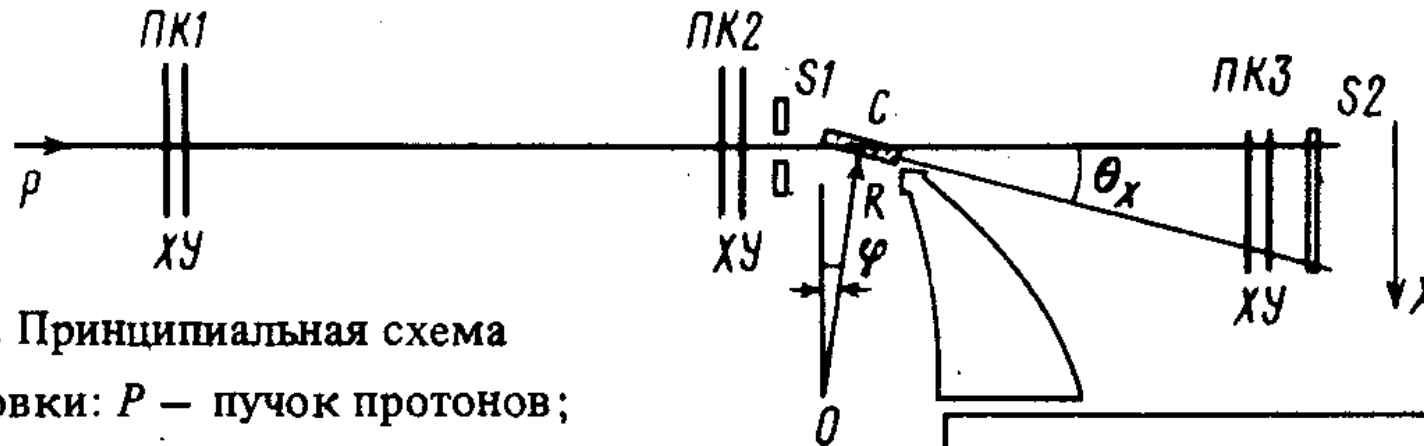
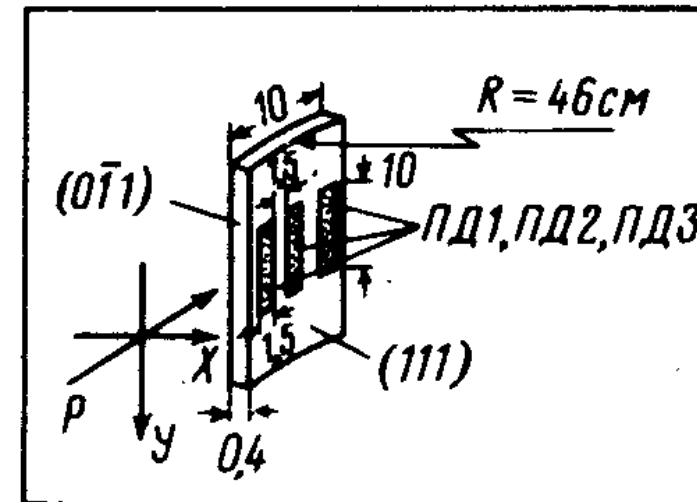
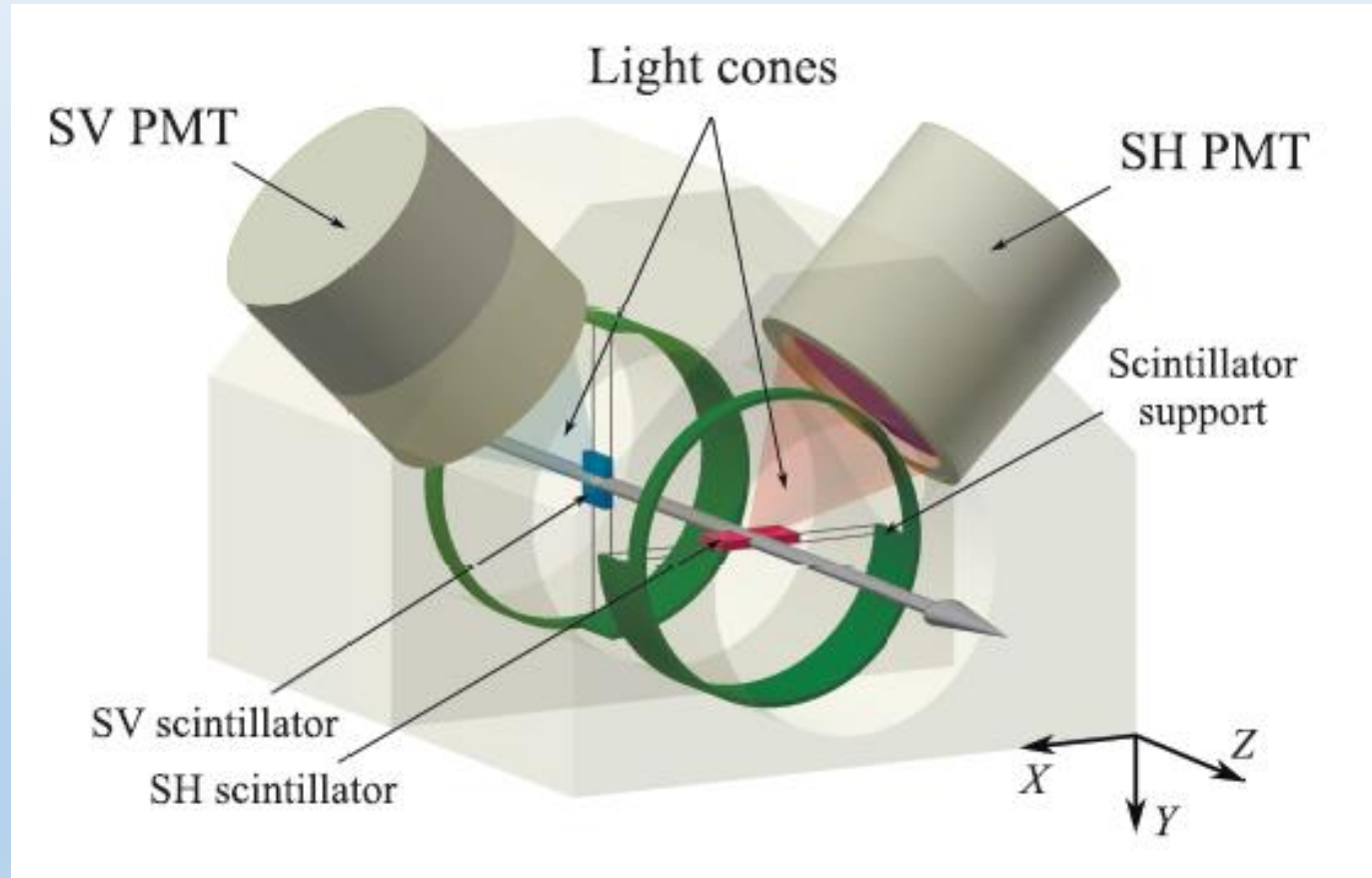


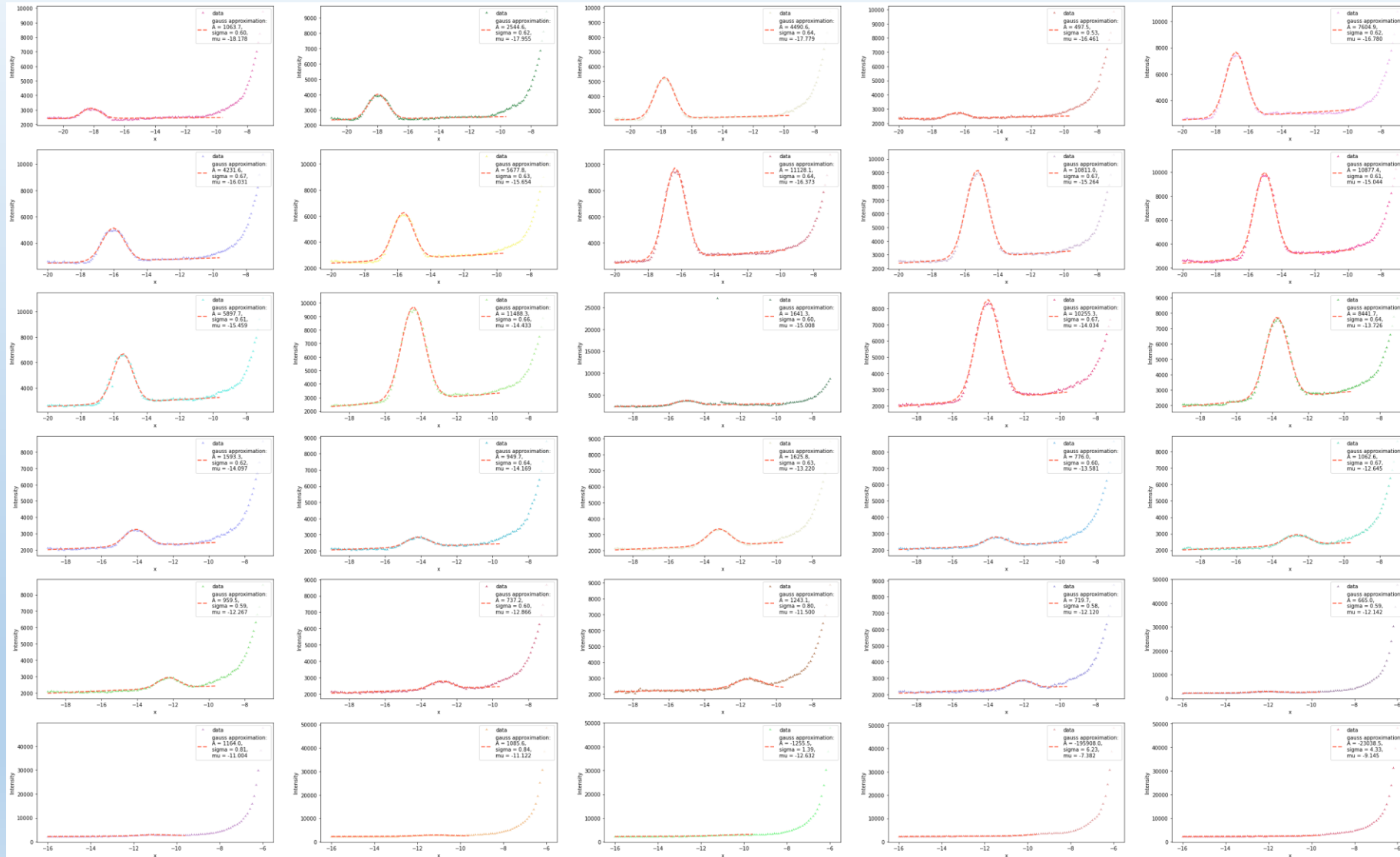
Рис. 1. Принципиальная схема установки:  $P$  – пучок протонов;  $S1, S2$  – сцинтилляционные счетчики; ПК1, ПК2, ПК3 – пропорциональные камеры;  $C$  – кремниевый монокристалл с детекторами ПД1, ПД2 и ПД3. Кристалл может поворачиваться вокруг оси  $O$ , совпадающей с осью цилиндра, по которому он изогнут



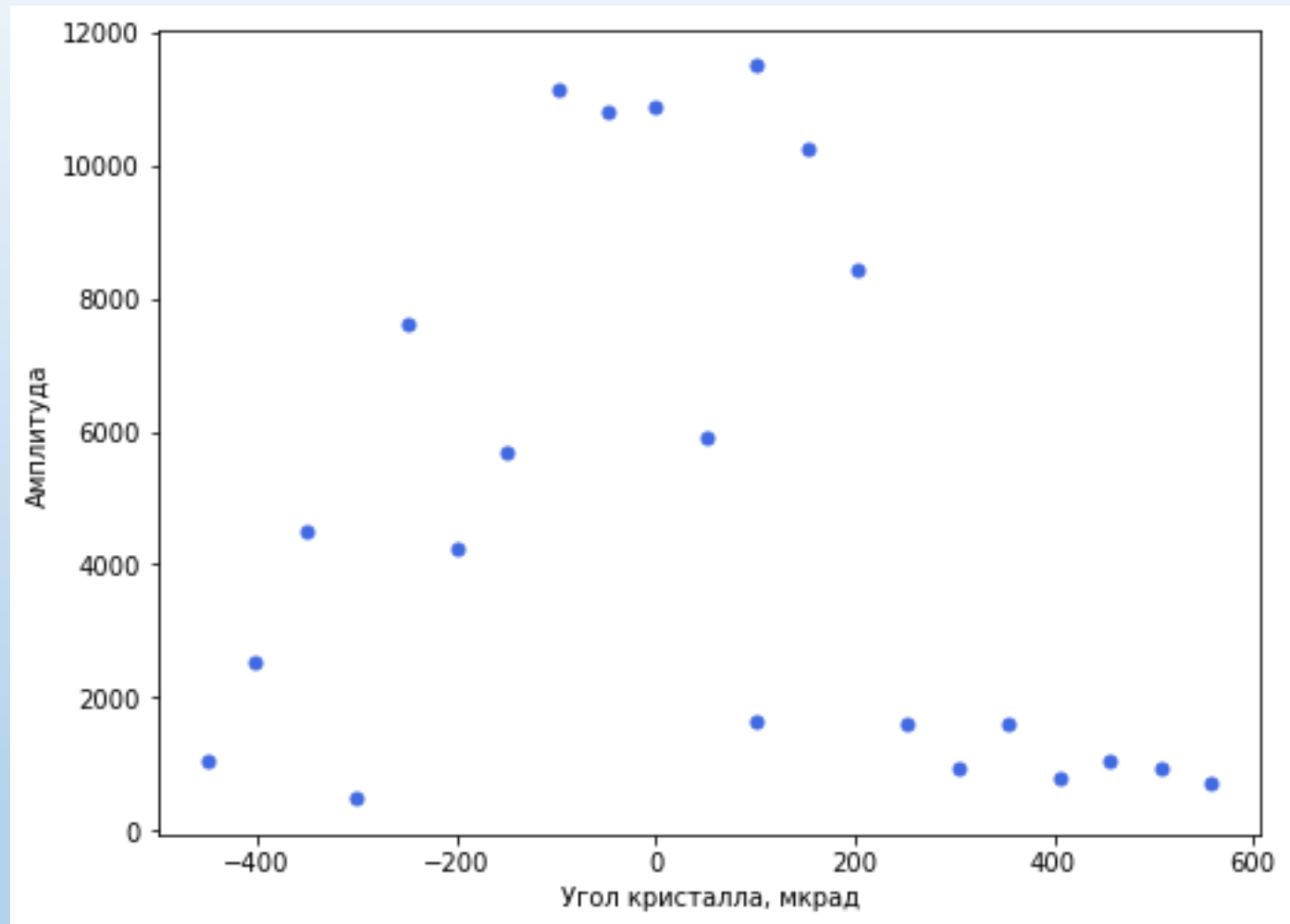
# Поиск объемно-захваченного пучка - 1



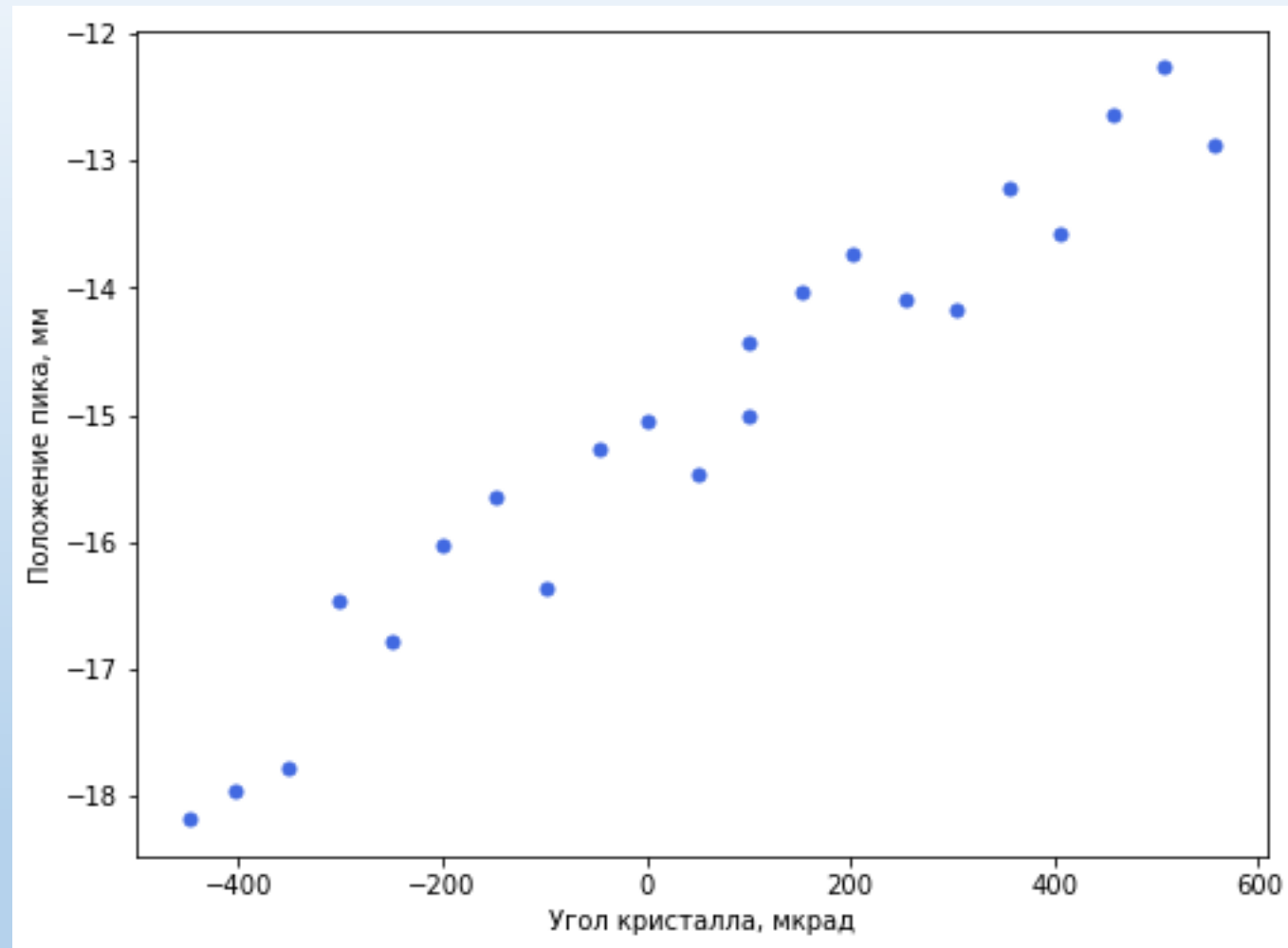
# Поиск объемно-захваченного пучка - 2



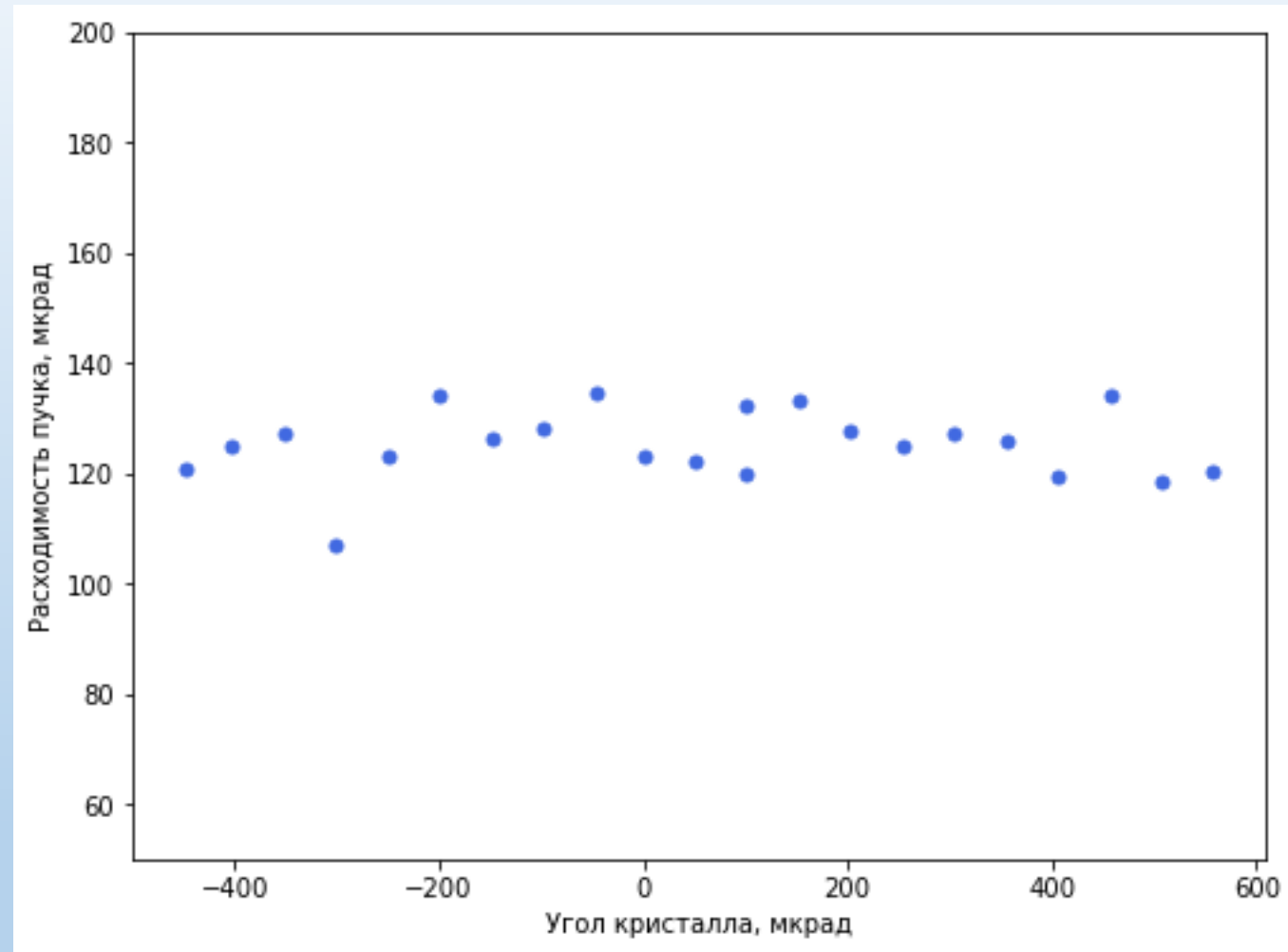
# Поиск объемно-захваченного пучка - 3



# Поиск объемно-захваченного пучка - 4



# Поиск объемно-захваченного пучка - 5



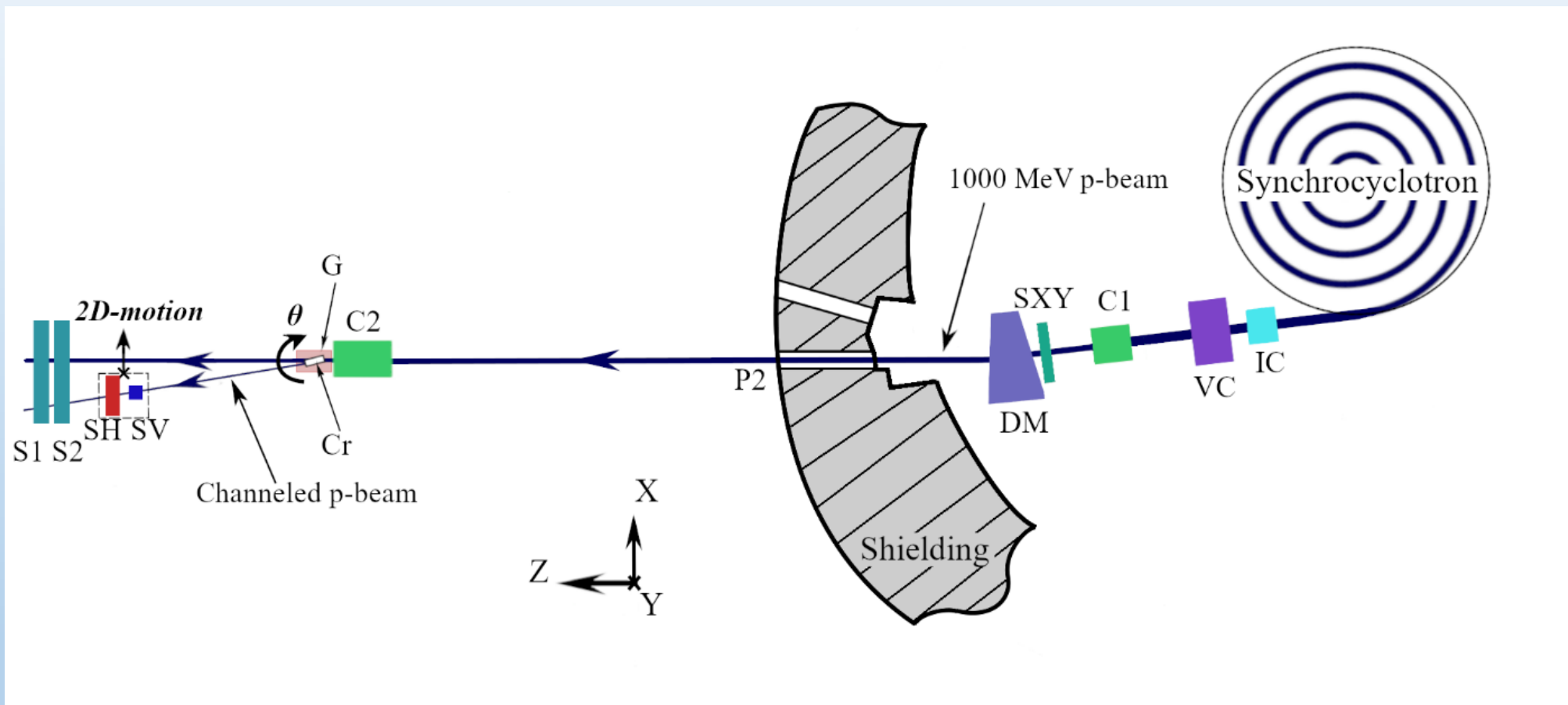
# О развитии кристаллооптики для области энергий $\leq 1$ ГэВ в ПИЯФ

---

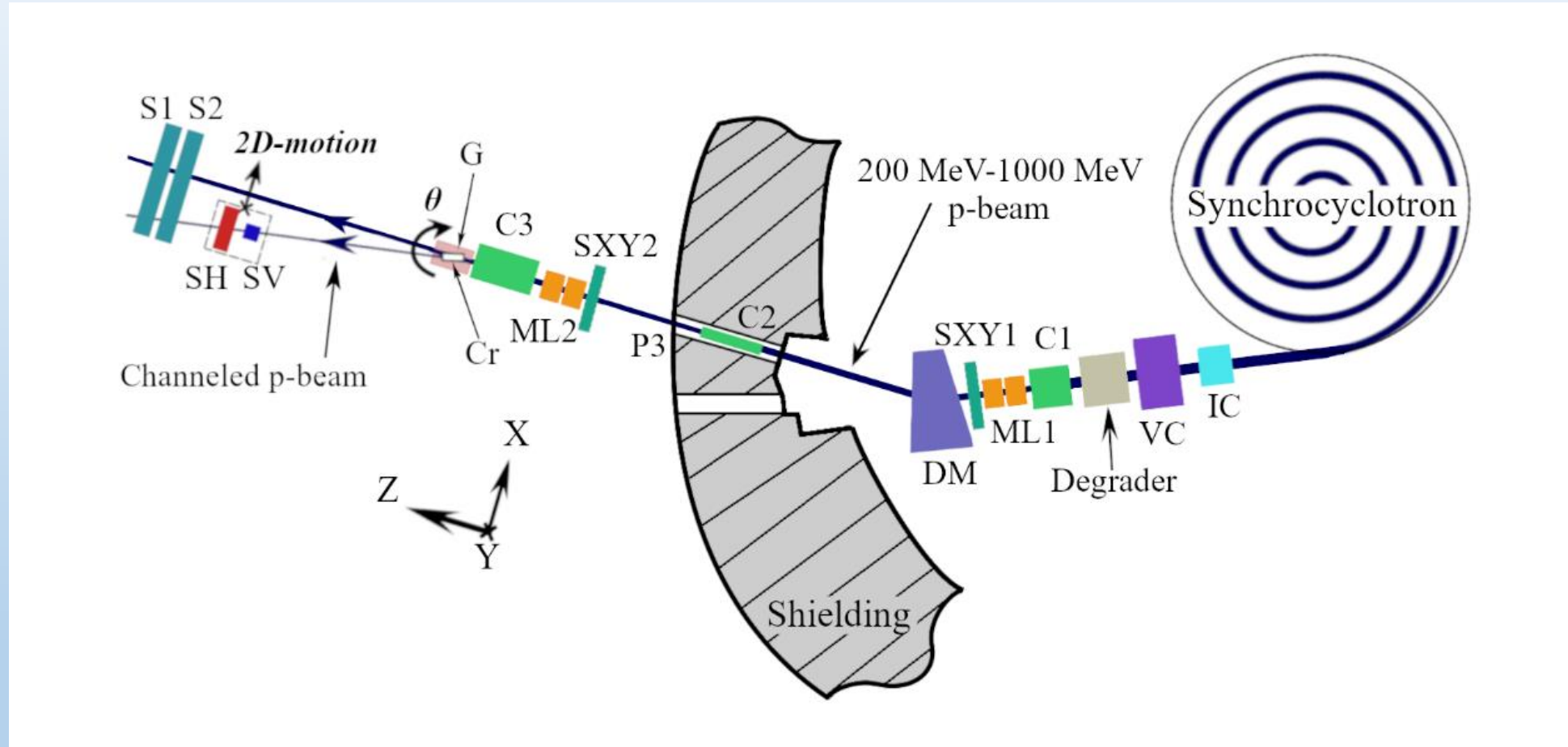
- В Ускорительном отделе возник интерес к использованию кристаллов в инфраструктуре синхроциклотрона
- Обсуждается научная программа
- Ведутся поиски источников финансирования



# Этап1 – каналирование протонов с энергией 1 ГэВ



# Этап 2 – каналирование протонов с энергией 200-1000 МэВ



# Заключение

---

- Сотрудничество ПИЯФ-ЦЕРН с ускорителями LHC на паузе
- Выполнен и опубликован эксперимент по расщеплению протонного пучка с энергией 1 ГэВ пучка изогнутым кристаллом, измеренный угол отклонения равен 3 мрад, эффективность отклонения около 30%
- Выполнен эксперимент по расщеплению протонного пучка с энергией 1 ГэВ изогнутым кристаллом с помощью объемного захвата в каналирование. Проводится обработка и анализ данных.

**Спасибо за внимание!**