



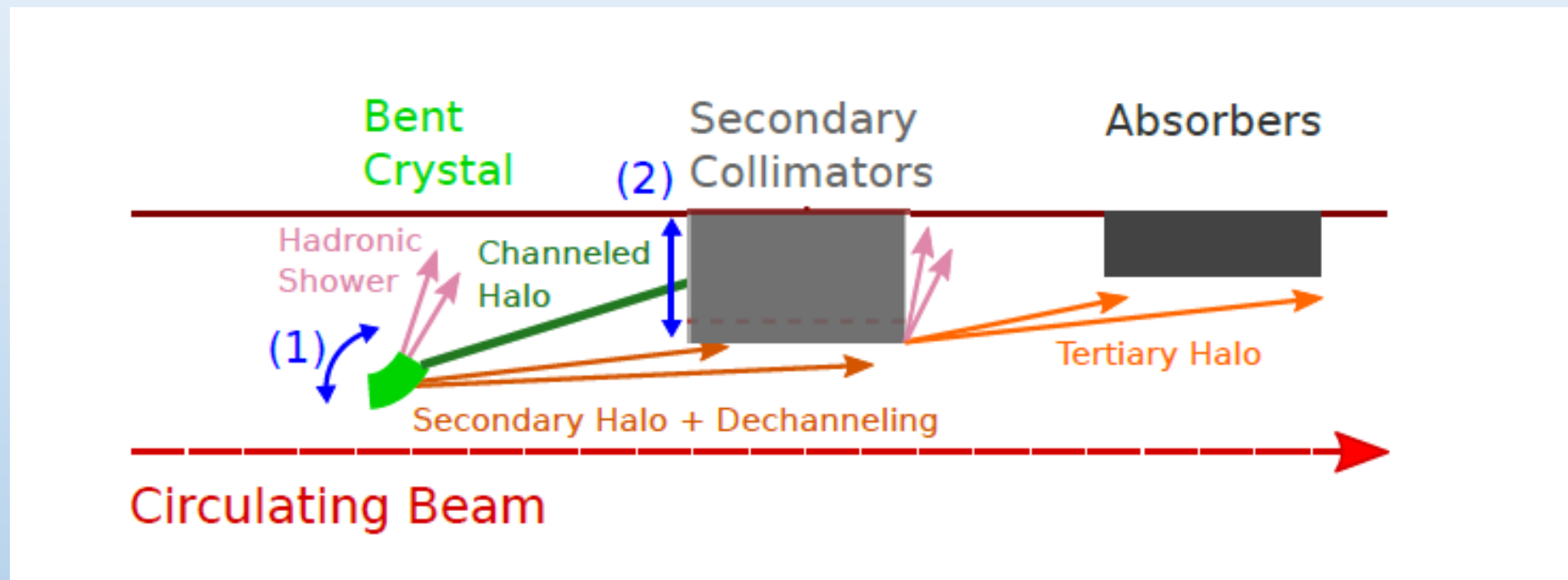
# Использование изогнутых кристаллов для пучков SPS и LHC, перспективы использования на синхроциклотроне ПИЯФ

---

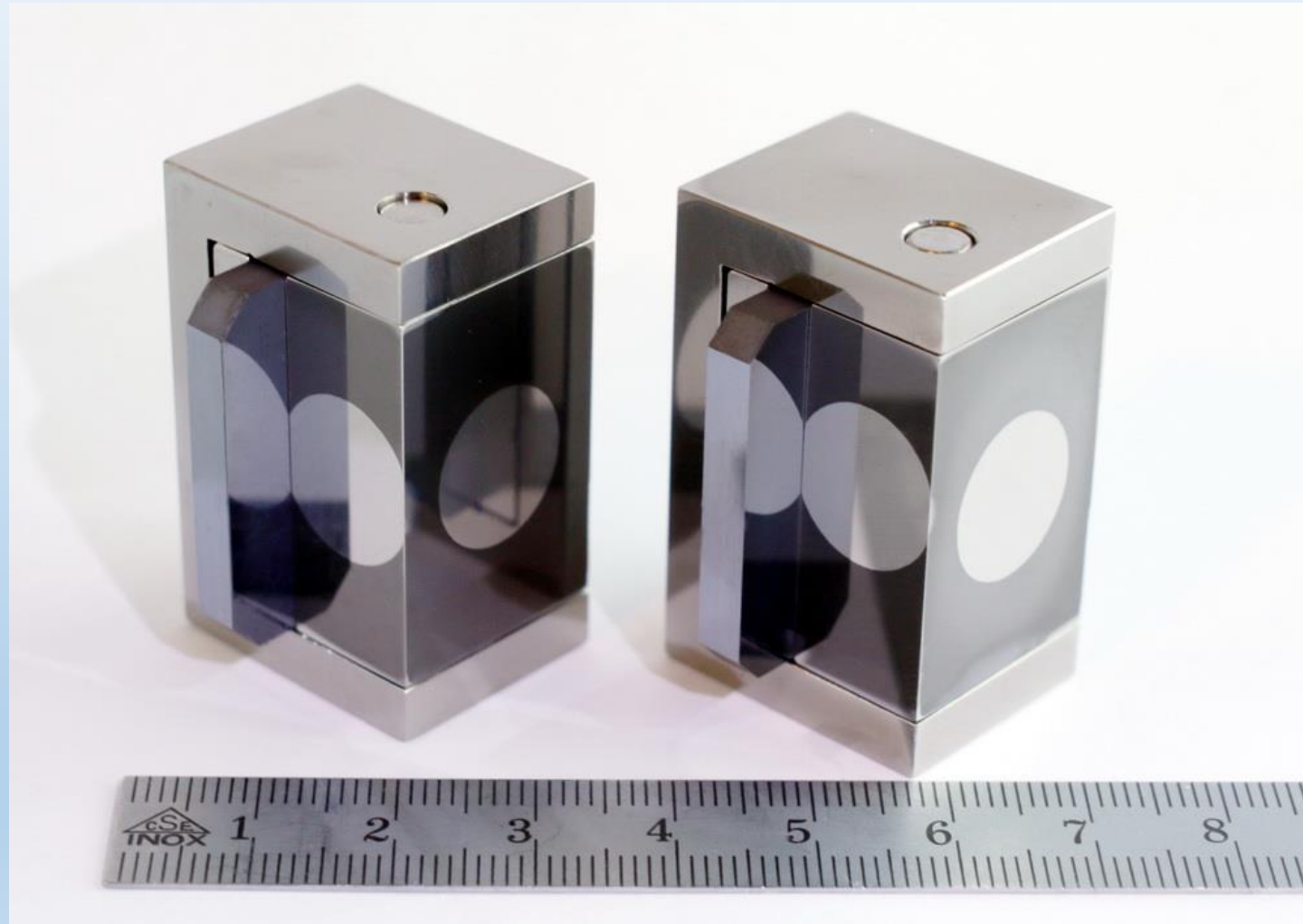
Ю. М. Иванов

Сессия Ученого Совета ОФВЭ ПИЯФ, 21 декабря 2022

# Коллимация и вывод пучков LHC

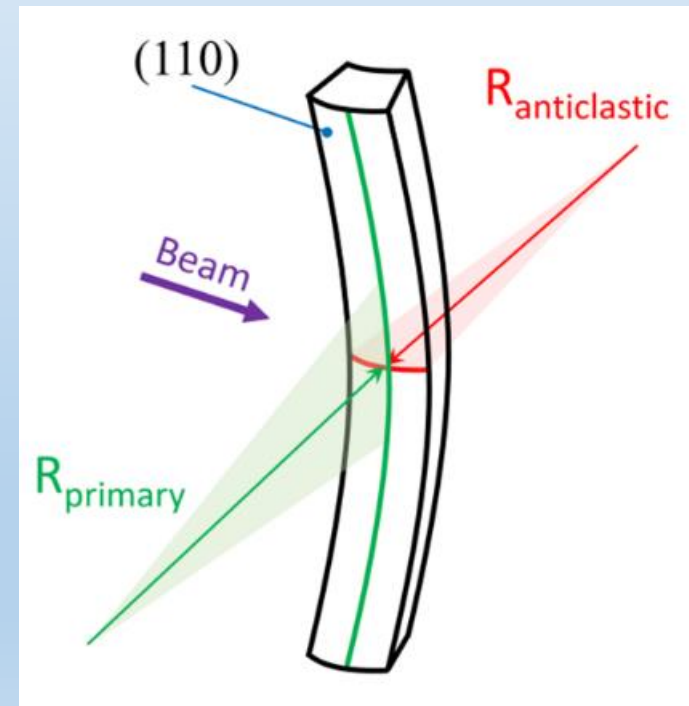


# Упругоквазимозаичный дефлектор для ЛНС

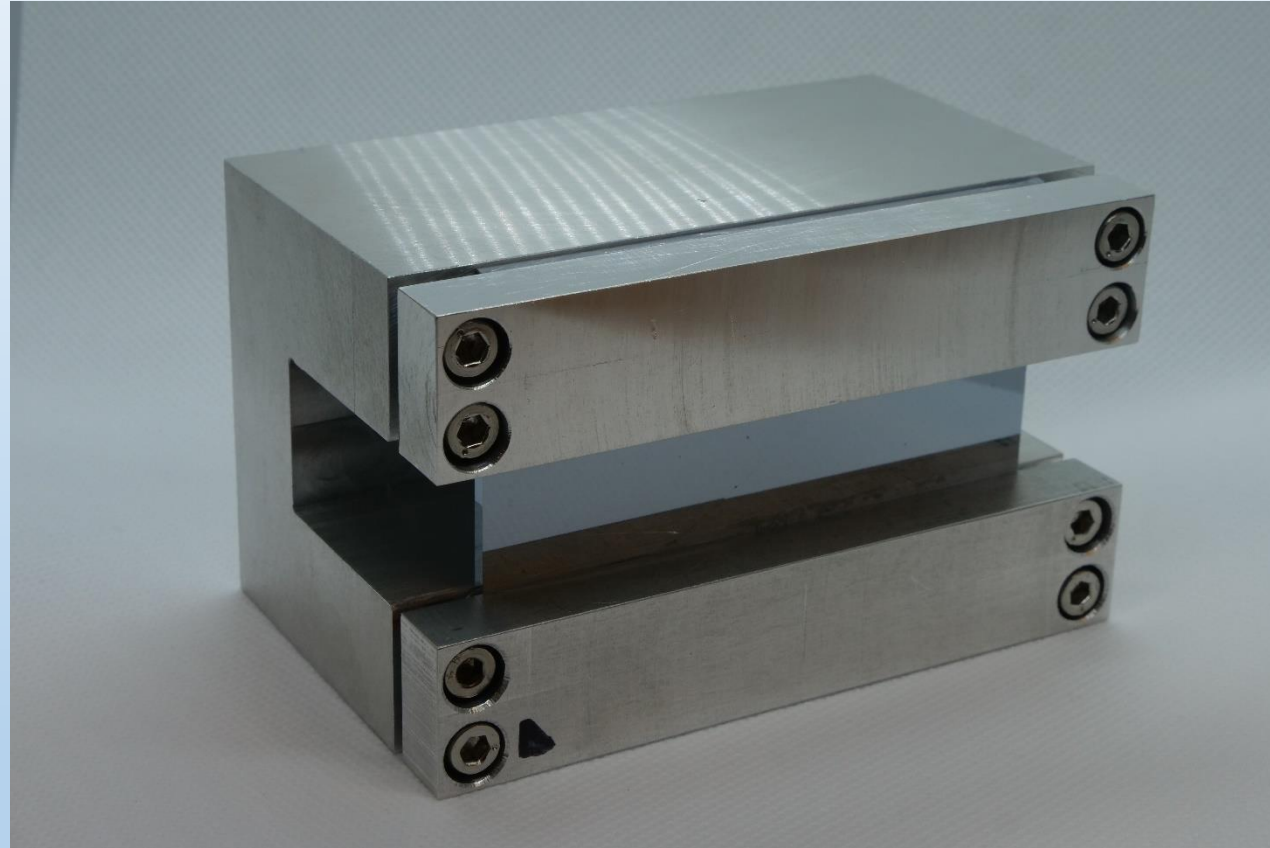


# Антикластический дефлектор для LHC

- The design of single crystal devices and first prototypes were developed in 2017 for **LHC collimation** experiment, the experiment was successfully carried out in 2018.

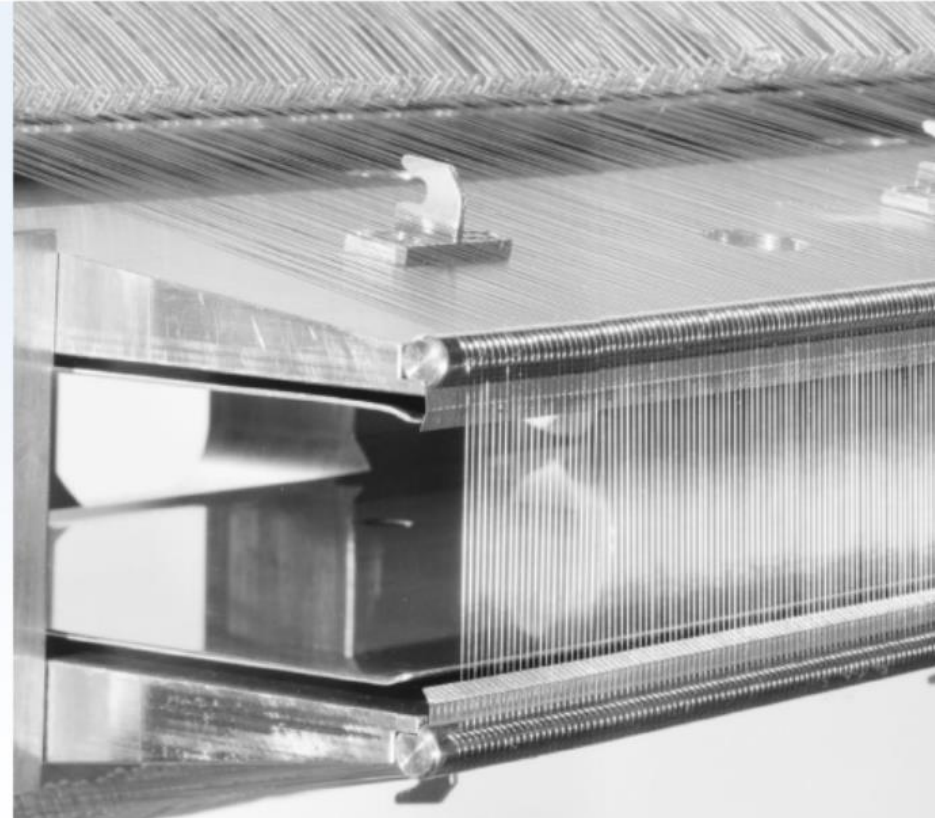
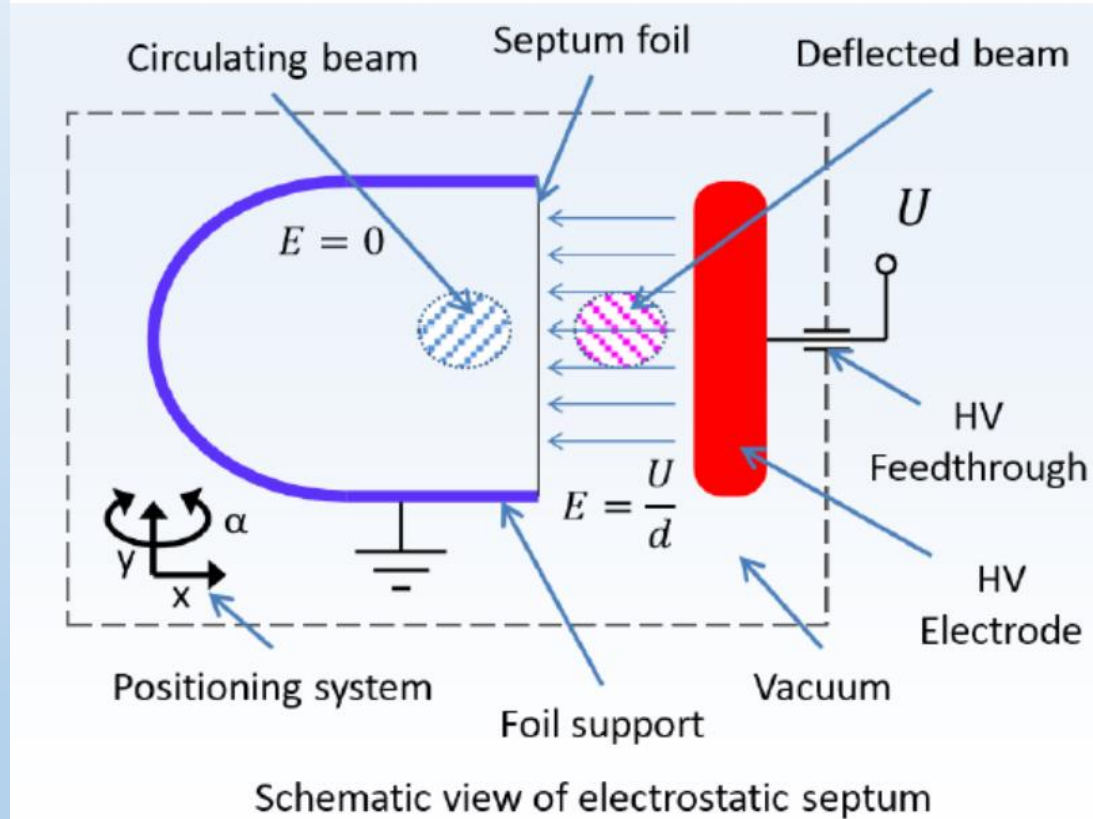


# Дефлектор для вывода ЛНС пучков



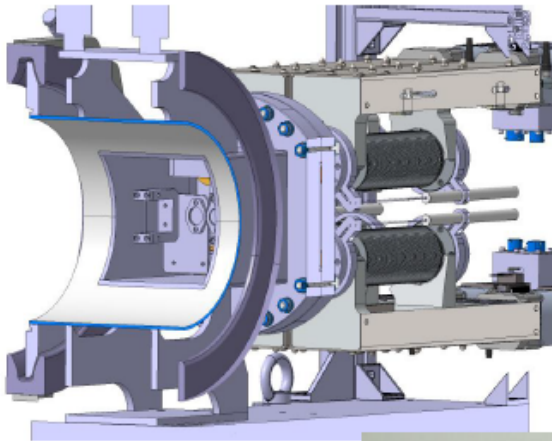
# Электростатический септум SPS

## Crystals helping slow extraction

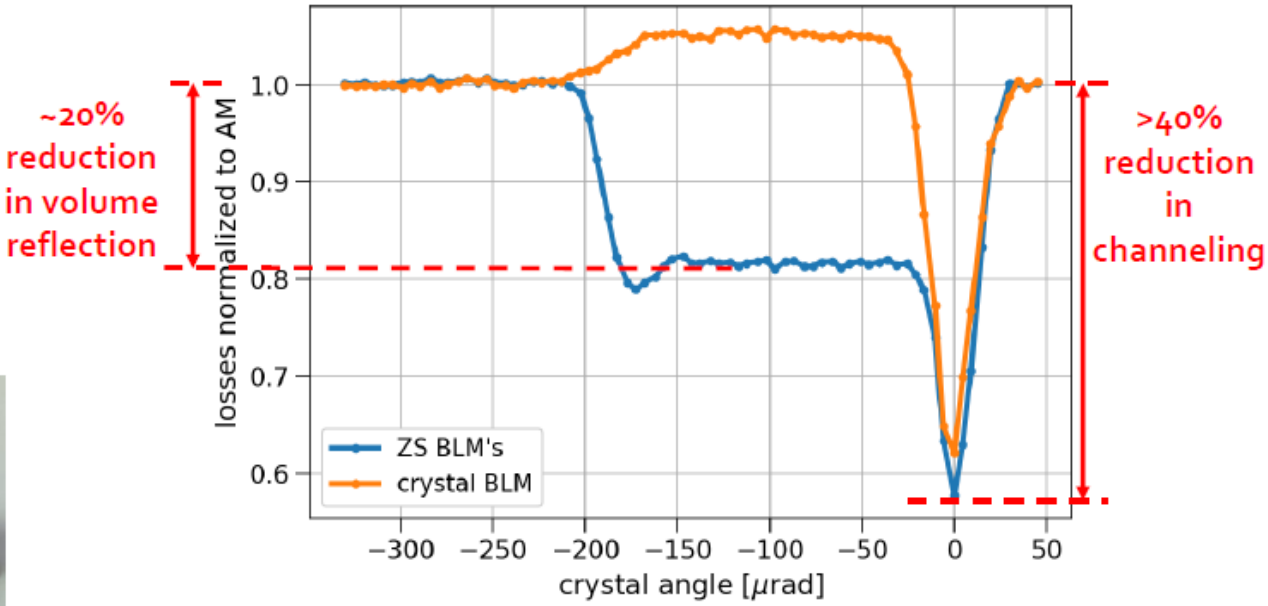


# Экранирование электростатического септума SPS кристаллом

## Shadowing of the SPS electrostatic septum



Device built in few months and installed in ITS2 2018 by EN-SMM, EN-STI, TE-ABT and UA9



~20% reduction in volume reflection

>40% reduction in channeling

Demonstrated reduction of the losses in SPS of ~20% in VR and > 40% in CH  
Successfully test in operation for 12 hours with constant loss reduction



# The 3-strip model to prototype multi-crystal device for SPS shadowing

- Three (3) silicon strips of 1mm x 2mm x 54 mm dimensions from commercial (110) silicon wafer 1mm x 100 mm.
- Robust static design without adjustment screws and instability sources.
- Identical bending of crystals in a row.
- Controlled torsion of the crystals during assembly process.
- Contactless optical and X-ray procedures to check multi-crystal array.
- Thermal stability up to 250°C confirmed for single crystals of similar concept developed by PNPI in 2017.







# Соглашение P109/A23

ORGANISATION EUROPÉENNE POUR LA RECHERCHE NUCLÉAIRE (CERN)  
EUROPEAN ORGANIZATION FOR NUCLEAR RESEARCH (CERN)

---

Addendum No. P109/A23 / 353K-300-2/2019

to

THE 2013 PROTOCOL CONCERNING SCIENTIFIC COLLABORATION

between

THE EUROPEAN ORGANIZATION FOR NUCLEAR RESEARCH  
(CERN)

and

THE NATIONAL RESEARCH CENTRE KURCHATOV INSTITUTE  
(NRC-KI)

to

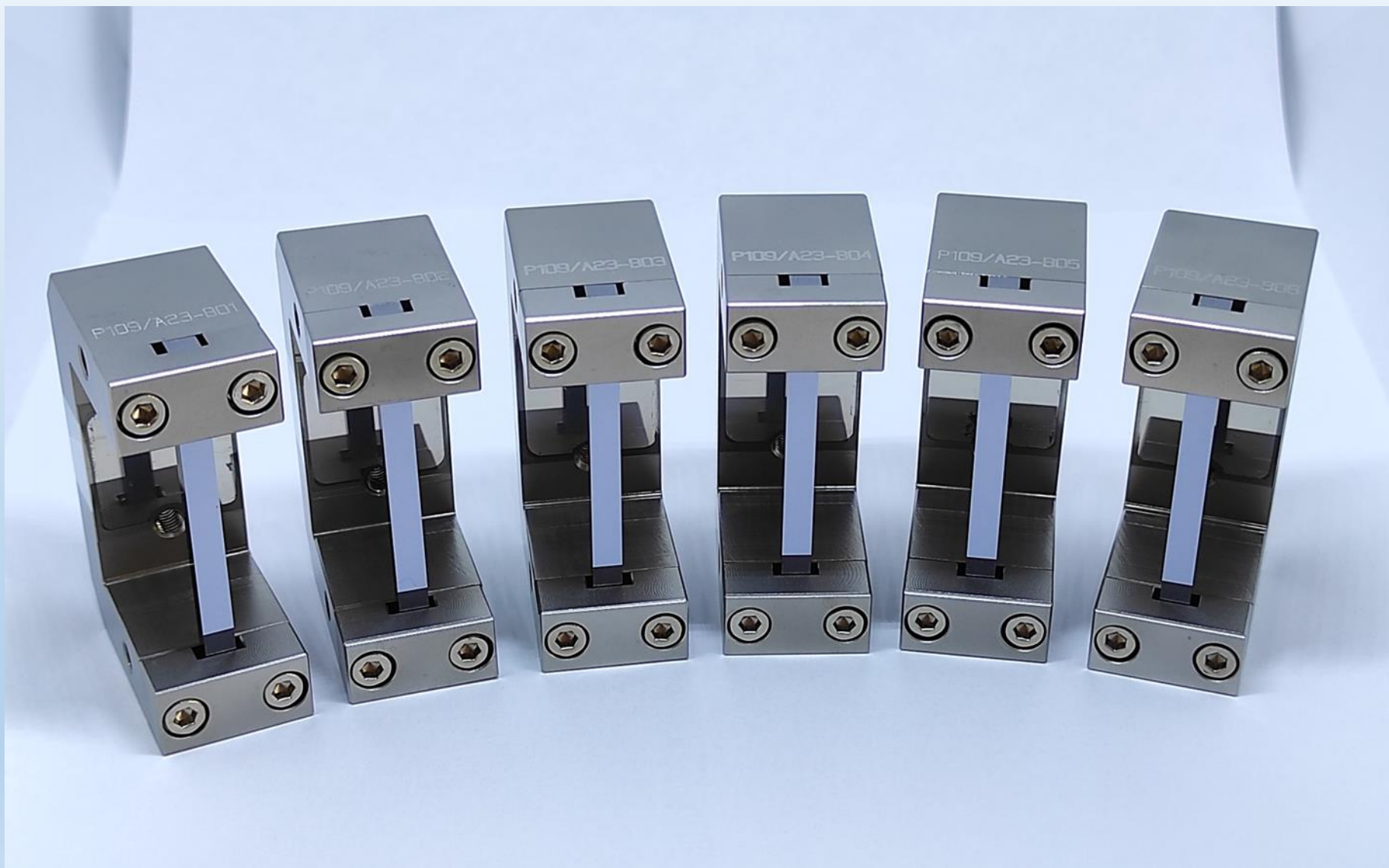
THE 1993 CO-OPERATION AGREEMENT BETWEEN THE GOVERNMENT  
OF THE RUSSIAN FEDERATION AND CERN

concerning

Collaboration in the Research and Development of Crystal Devices for the High  
Luminosity LHC Project

2019

# Первые шесть кристаллических дефлекторов, подготовленных в рамках Соглашения ПИЯФ-ЦЕРН о Сотрудничестве по коллимации ионных пучков LHC в 2021 году



# Соглашение P109/A28

ORGANISATION EUROPÉENNE POUR LA RECHERCHE NUCLÉAIRE (CERN)  
EUROPEAN ORGANIZATION FOR NUCLEAR RESEARCH (CERN)

---

Addendum No. P109 / A28  
NRC KI - PNPI ref: 362K-300-2/2021

to

THE 2013 PROTOCOL  
CONCERNING SCIENTIFIC COLLABORATION

between

THE NATIONAL RESEARCH CENTRE KURCHATOV INSTITUTE  
(NRC-KI)

and

THE EUROPEAN ORGANIZATION FOR NUCLEAR RESEARCH  
(CERN)

to

THE 1993 CO-OPERATION AGREEMENT  
BETWEEN THE GOVERNMENT OF THE RUSSIAN FEDERATION  
AND CERN

concerning

Collaboration in the research and development of Crystal Devices  
for the SPS slow extraction at CERN

2021

# Остановка Соглашений Р109/А23 и Р109/А28

---

От: Симоне Джилардони

Отправлено: 05 апреля 2022 16:48

Кому: Юрий Иванов

Тема: Re: Р109/А23 WP2 и Р109/А28 WP1 в апреле 2022 г.

Уважаемый Юрий,

Спасибо за ваше письмо.

Что касается вашего вопроса о том, в состоянии ли ЦЕРН принять устройства, обратите внимание, что, как указано в недавней резолюции Совета государств-членов ЦЕРН, все обмены фондами, материалами и персоналом приостановлены. Соответственно, с сожалением сообщая вам, что ЦЕРН в настоящее время не в состоянии принять эти устройства.

Если эта ситуация изменится, можно было бы рассмотреть возможность составления новых Дополнений по этим компонентам.

С наилучшими пожеланиями,

Симоне и Луиджи

# Соглашение P109/A24

ORGANISATION EUROPÉENNE POUR LA RECHERCHE NUCLÉAIRE (CERN)  
EUROPEAN ORGANIZATION FOR NUCLEAR RESEARCH (CERN)

---

Addendum No. P109/A24

to

THE 2013 PROTOCOL CONCERNING SCIENTIFIC COLLABORATION

between

THE EUROPEAN ORGANIZATION FOR NUCLEAR RESEARCH  
(CERN)

and

THE NATIONAL RESEARCH CENTRE KURCHATOV INSTITUTE  
(NRC-KI)

to

THE 1993 CO-OPERATION AGREEMENT BETWEEN THE GOVERNMENT OF  
THE RUSSIAN FEDERATION AND CERN

concerning

Collaboration in the construction and testing of Crystal Collimation Systems for  
the High Luminosity LHC Project

2019



# Прекращение Соглашения P109/A24

Geneva, 21 July 2022

Dear Dr. Gorchakov,

I am writing to you in respect of the non-fulfillment of PNPI's obligations under Addendum No. 24 to the 2013 Protocol (P109) concerning collaboration in the construction and testing of Crystal Collimation Systems for the High Luminosity LHC Project (the "Addendum").

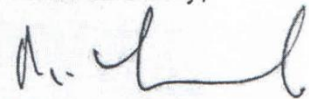
As you know, CERN, IHEP and PNPI signed this Addendum on 31 October 2019 and its Amendment no.1 on 24 March 2020, to further detail the parties' contributions, including the purchase by CERN of materials required for the fulfillment of IHEP's obligations under the Addendum.

During the 44th meeting of the CERN-Russia Committee held on 29 November 2021, CERN highlighted that the delays were in danger of severely impacting the progress of the High-Luminosity Upgrade project and the subsequent execution of LHC Run 4.

Given the unresolved delays to the execution of IHEP's contribution under the Addendum and despite numerous exchanges, including during the aforementioned CERN-Russia Committee meeting, CERN considers that this detrimental situation amounts to a substantial breach under Article 11.1 of the Addendum. In the circumstances, we consider that this breach cannot be remedied.

For the above reasons, CERN therefore notifies PNPI that Addendum No. 24 to the 2013 Protocol (P109) shall be terminated in whole with effect from 21 September 2022.

Yours sincerely,

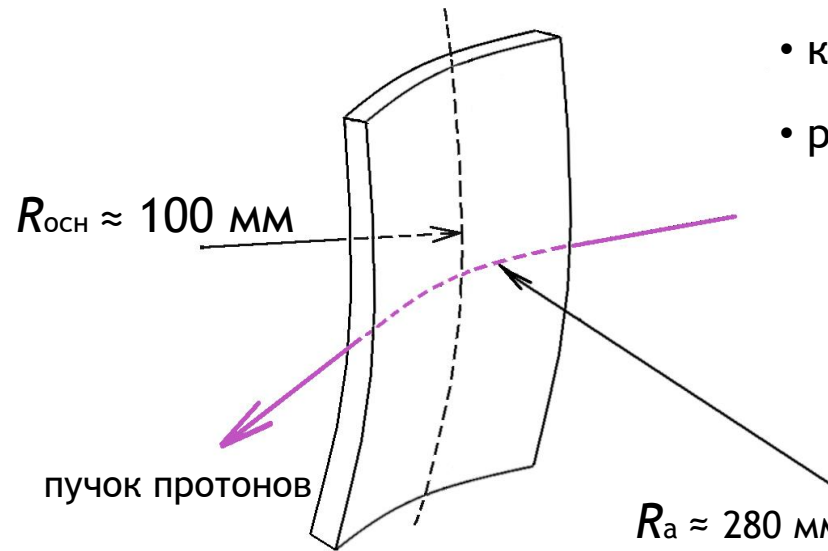


Mike Lamont  
Director for Accelerators & Technology

# О применении на 1 ГэВ синхроциклотроне ПИЯФ

- Прототип высокоэффективного кристаллического дефлектора для 1 ГэВ протонов
- Исследование характеристик прототипа в опыте по расщеплению 1 ГэВ пучка
- Оценка предельных параметров кристаллических дефлекторов для 1 ГэВ протонов
- Возможности развития пучковой инфраструктуры синхроциклотрона с помощью кристаллических дефлекторов

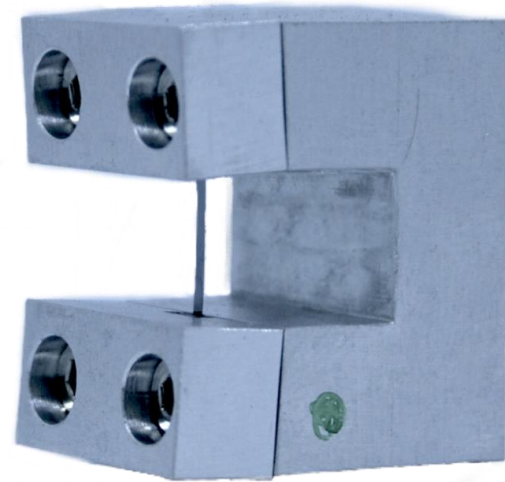
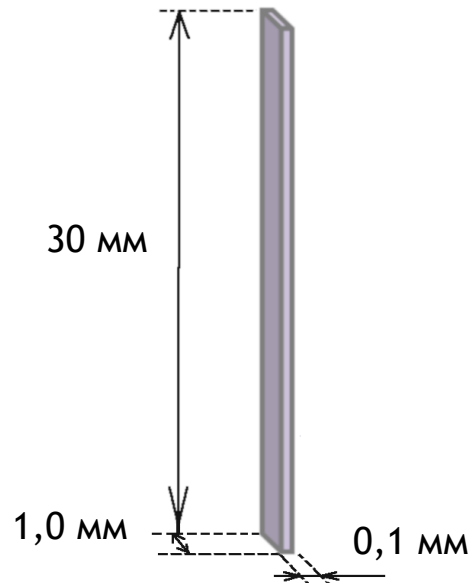
# Прототип кристаллического дефлектора



- кристалл с антикластическим изгибом
- радиус антикластического изгиба:

$$R_a = R_{осн} \cdot \frac{(S_{35}^2 - S_{33}S_{55})}{(S_{13}S_{55} - S_{15}S_{35})},$$

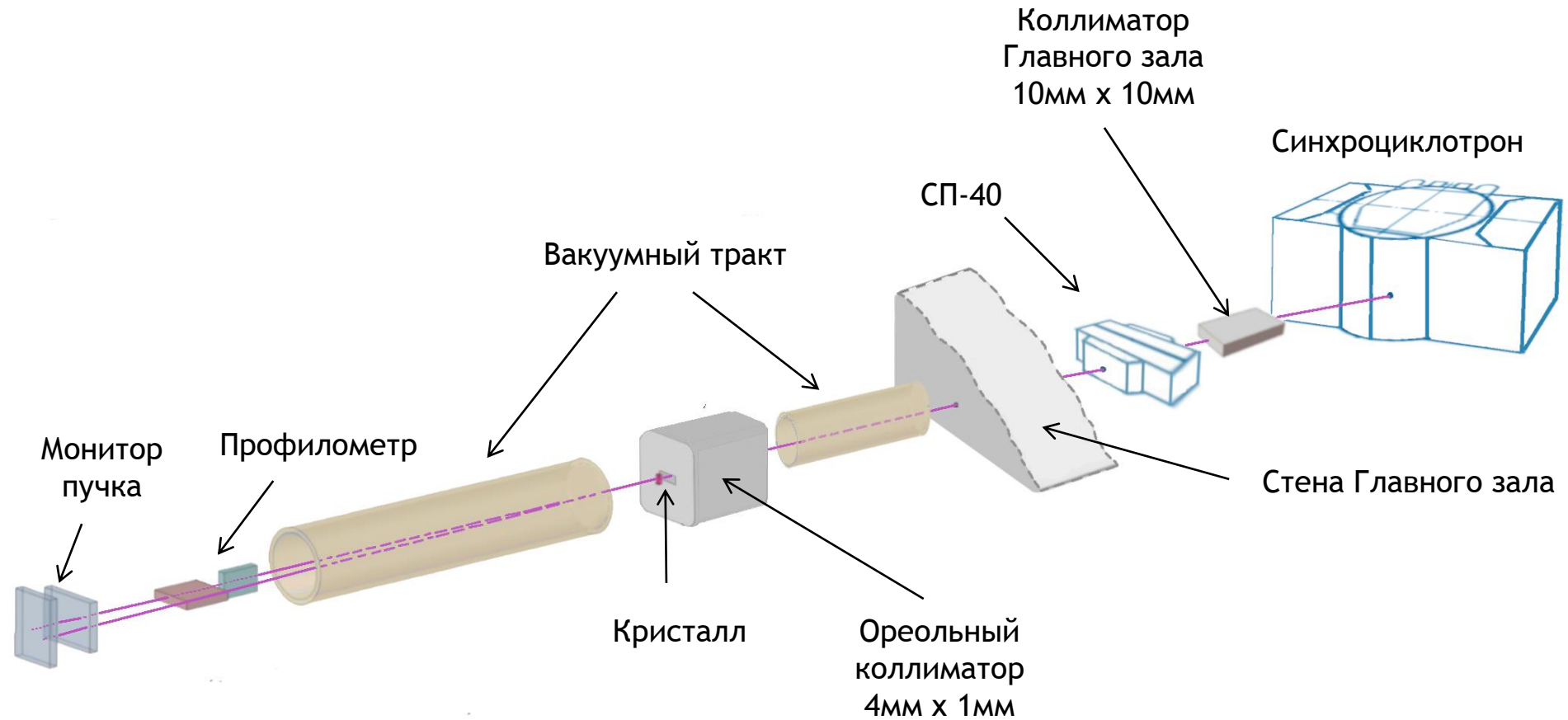
где  $S_{13}, S_{15}, S_{33}, S_{35}, S_{55}$  - константы упругости



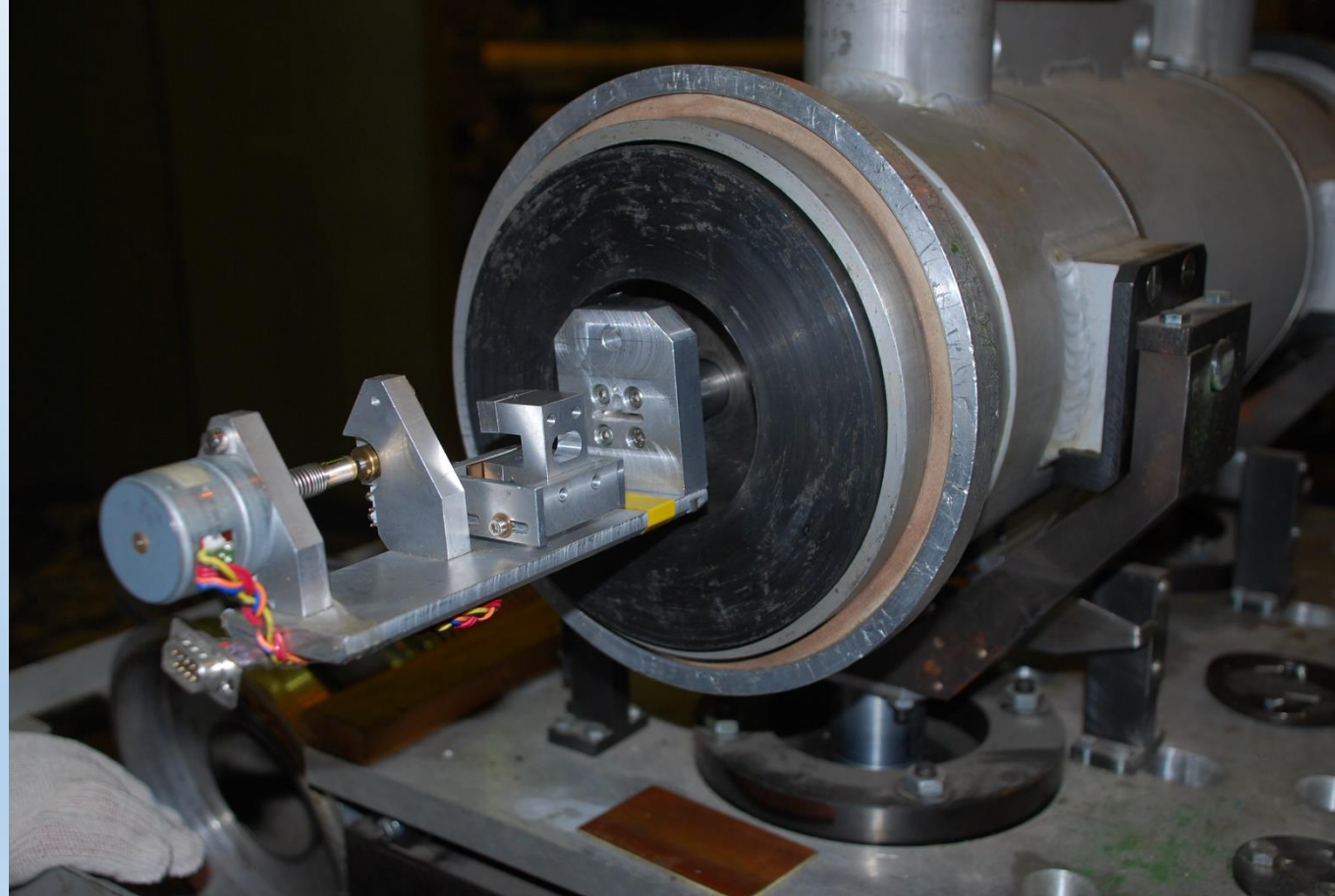
- оптически измеренный угол антикластического изгиба  $\approx 3$  мрад



# Постановка эксперимента



# Поворотное устройство с установленным кристаллом





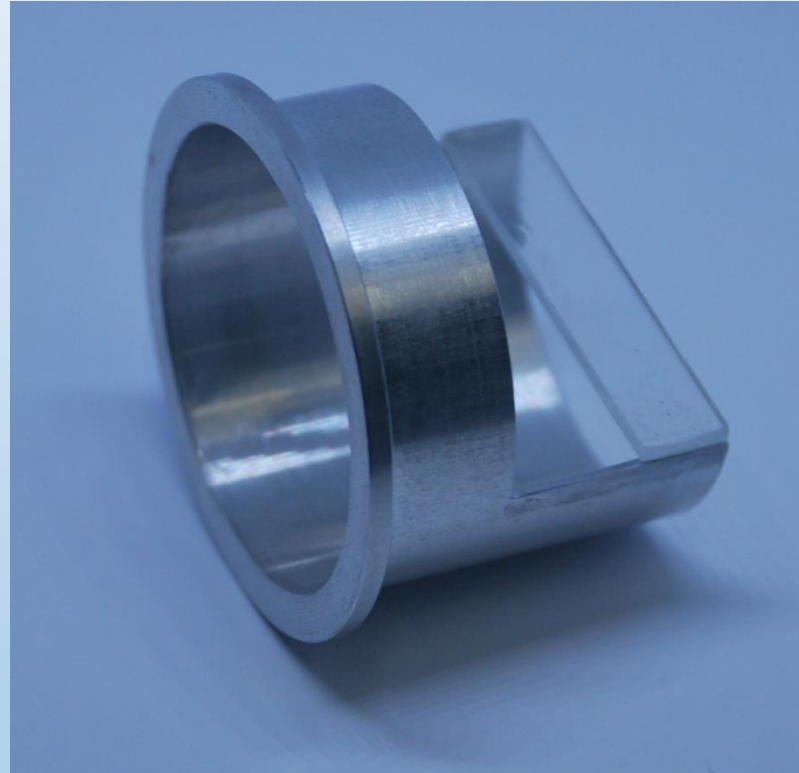
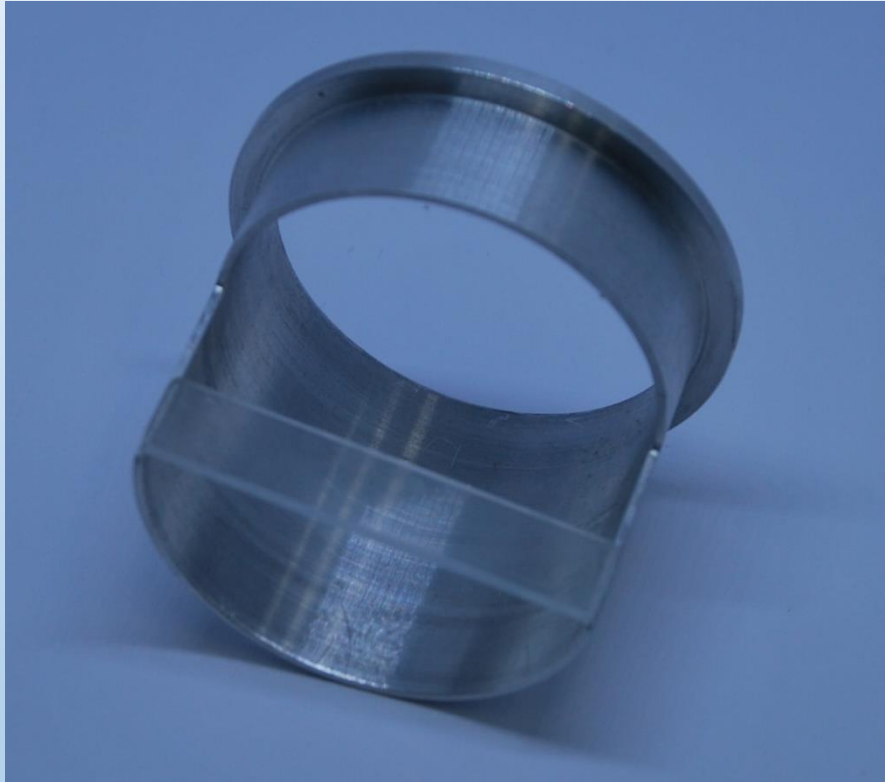
# Профиллометр и монитор пучка



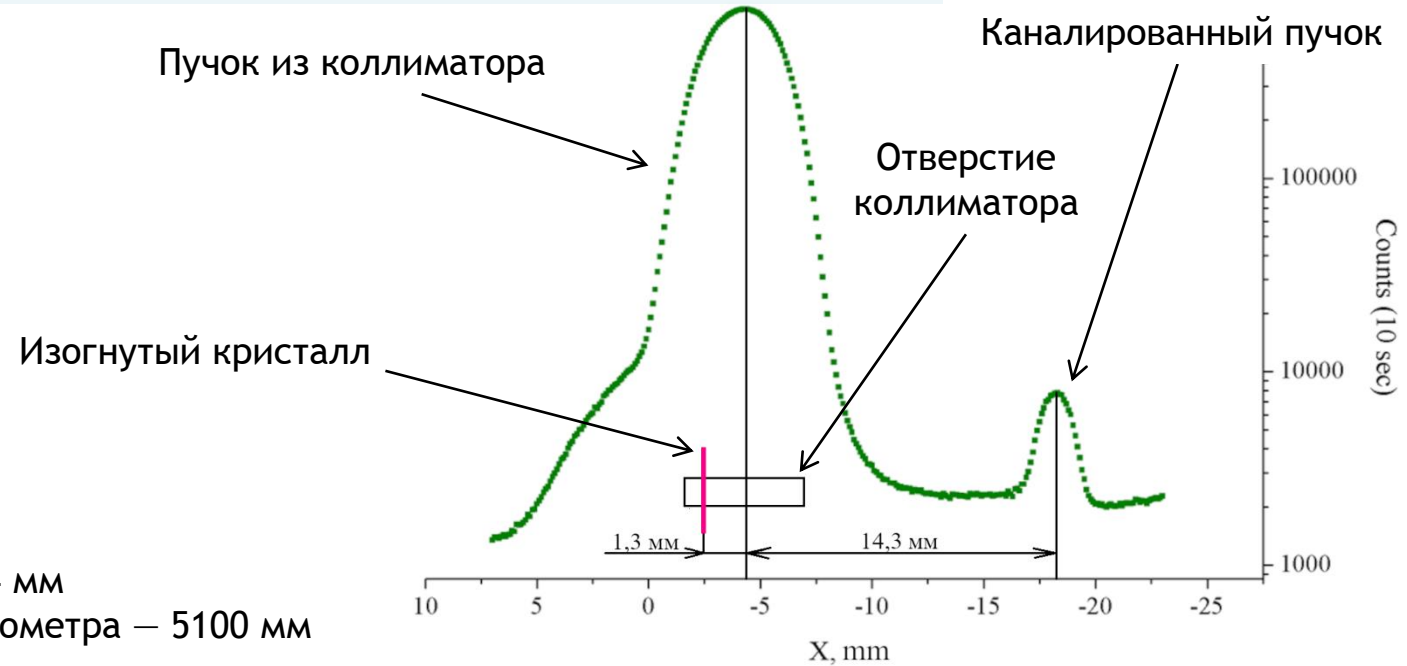


# Сцинтилляторы профилометра

---



# Основные результаты



- ширина кристалла — 0,1 мм
- ширина отверстия коллиматора — 4 мм
- расстояние от кристалла до профилометра — 5100 мм

$$\text{Угол отклонения} = \frac{(14,3 + 1,3) \text{ мм}}{5100 \text{ мм}} = 3,1 \text{ мрад}$$

$$\text{Эффективность отклонения} = \frac{(\text{число частиц, отклоненных кристаллом})}{(\text{число частиц, упавших на кристалл})} \approx 40 \%$$

$$(\text{число частиц, упавших на кристалл}) = \frac{0,1 \text{ мм}}{4 \text{ мм}} * (\text{число протонов, прошедших через коллиматор})$$



# В эксперименте получили практику 3 студента

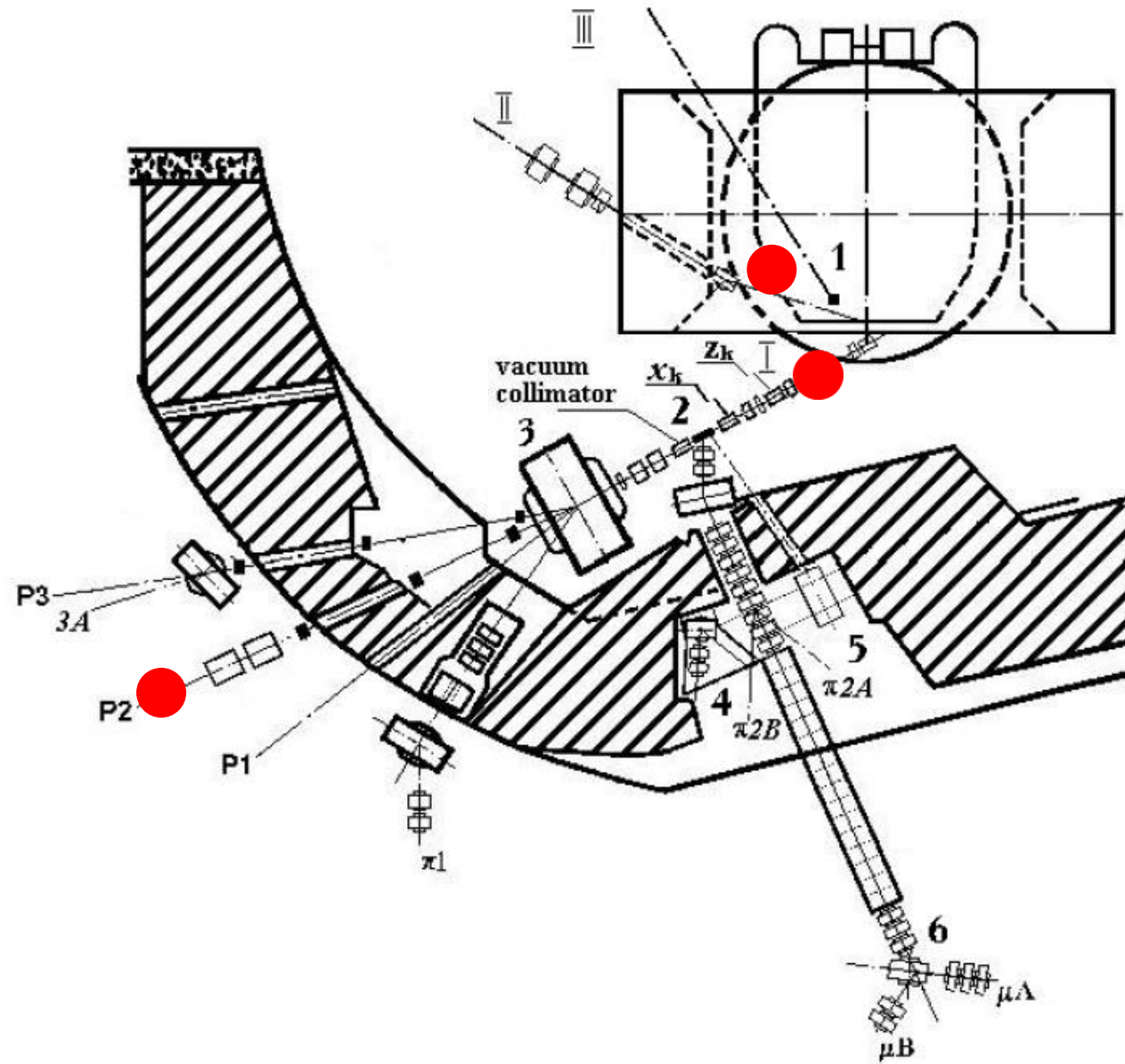


# Способы увеличения угла отклонения

---

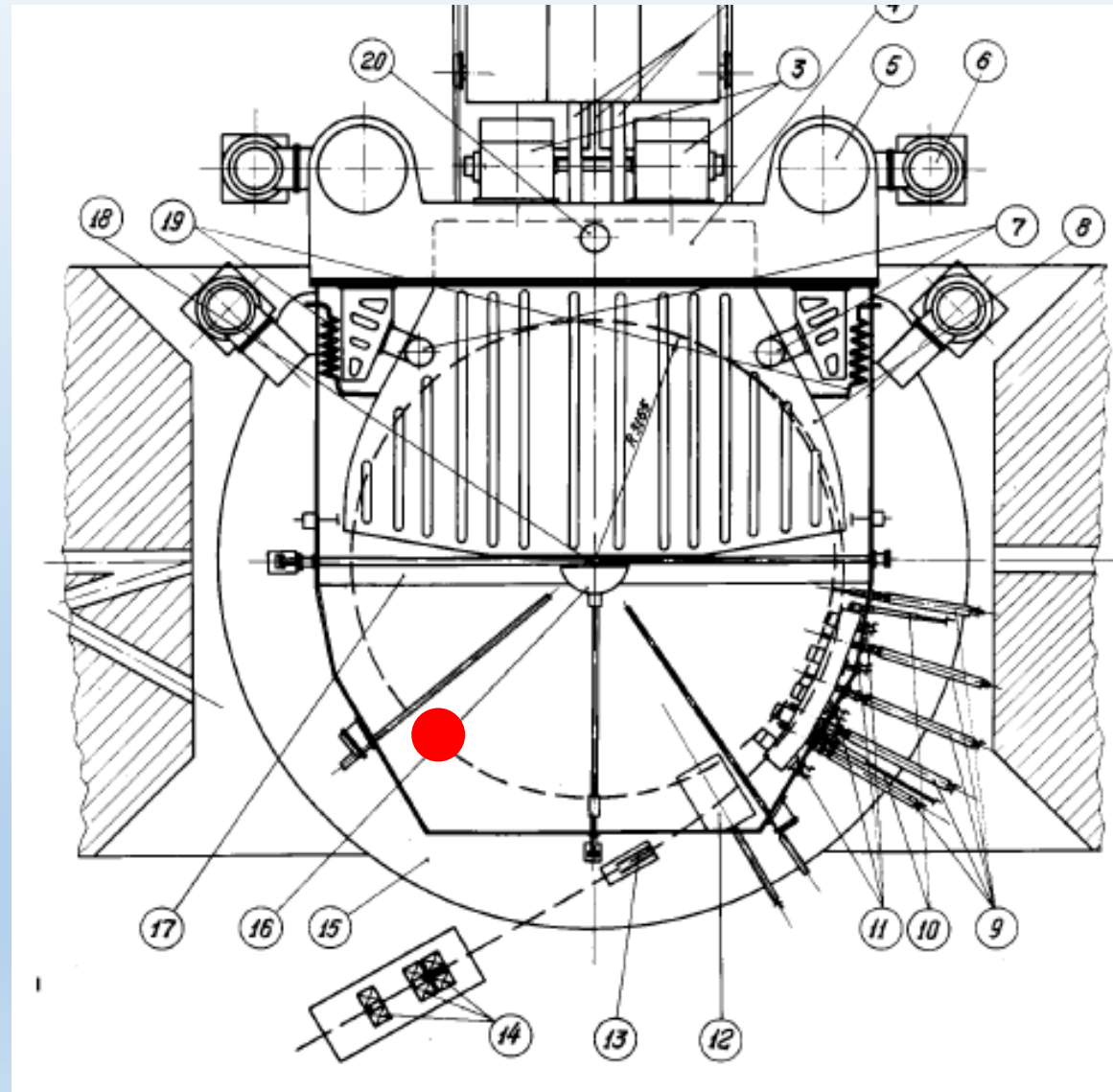
- В антикластической схеме отклонение можно увеличить до 20 мрад
  - радиус первичного изгиба 70 мм
  - длина кристалла по пучку 5 мм
  - эффективность отклонения определить экспериментально
- Использование первичного изгиба может увеличить отклонение до 60 мрад
  - другая конструкция изгибающего устройства
  - радиус первичного изгиба 70 мм
  - длина кристалла по пучку 5 мм
  - неоднородность изгиба определить экспериментально
  - Эффективность отклонения определить экспериментально

# Синхроциклотрон и пучки





# Вывод пучка кристаллом





# Расщепление выведенного пучка кристаллами в Экспериментальном зале

---

- Выведенный прямой пучок  $10^6$  р/мм<sup>2</sup>/с
- Левый каналированный пучок
  - отклонение по углу 20 мрад + 300 мрад
  - поперечное X-отклонение на длине 10 м около 3 метров
  - интенсивность пучка около  $3 \cdot 10^3$
- Правый каналированный пучок
  - отклонение по углу 20 мрад + 300 мрад
  - поперечное X-отклонение на длине 10 м около 3 метров
  - интенсивность пучка около  $3 \cdot 10^3$

# Расщепление выведенного пучка кристаллами в Главном зале

---

# Вывод протонного пучка кристаллом из синхроциклотрона

---

# Заключение

---

- Сотрудничество ПИЯФ-ЦЕРН с ускорителями LHC на паузе
- Есть прототип кристаллического дефлектора для 1 ГэВ протонов
- Прототип исследован в опыте по расщеплению 1 ГэВ пучка, измеренный угол отклонения равен 3 мрад, эффективность отклонения около 40%
- Есть некоторые возможности по применению кристаллов на синхроциклотроне ПИЯФ, требующие более детального изучения

**Спасибо за внимание!**