

# НЕЙТРОННЫЙ РЕФЛЕКТОМЕТР- МАЛОУГЛОВОЙ СПЕКТРОМЕТР «ГОРИЗОНТ» НА ИМПУЛЬСНОМ ИСТОЧНИКЕ «ИН-06» ИЯИ РАН

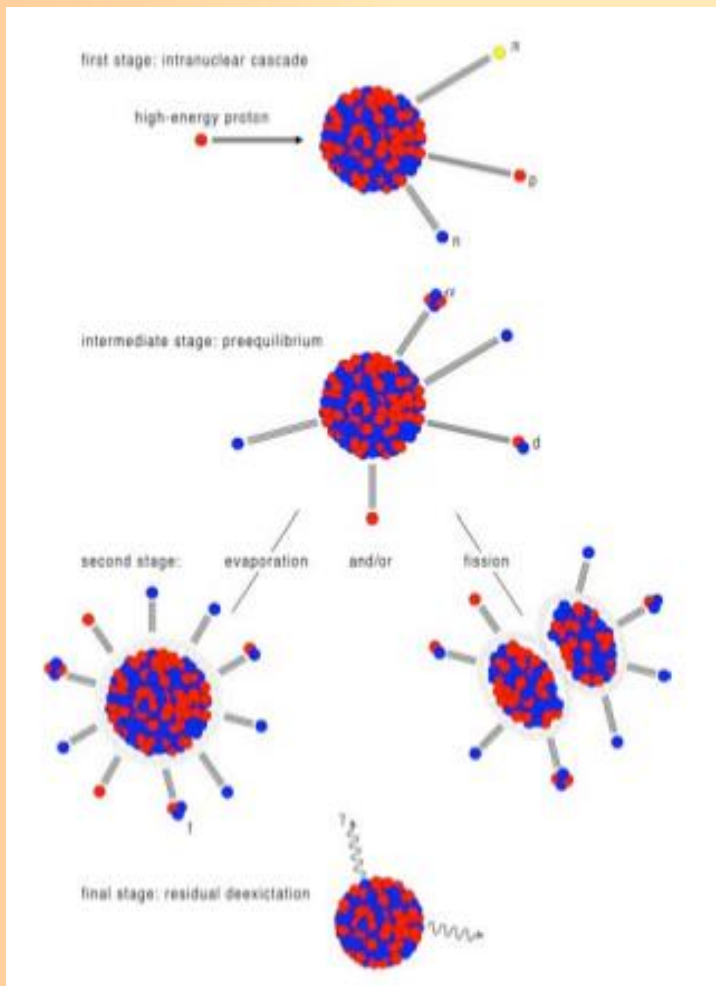
В.С. Литвин<sup>1</sup>, А.А. Столяров<sup>1</sup>, А.А. Афонин<sup>1</sup>, <sup>2</sup>,  
В.А. Ульянов<sup>2</sup>, А.П. Булкин<sup>2</sup>, С.И. Калинин<sup>2</sup>, В.А. Соловей<sup>2</sup>,  
М.Р. Колхидашвили<sup>2</sup>, Р.А. Садыков<sup>1</sup>, Э.А. Коптелов<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Институт ядерных исследований РАН*

<sup>2</sup>*Петербургский институт ядерной физики*



# НЕЙТРОННЫЙ КОМПЛЕКС ИЯИ РАН



## SPALLATION PROCESS

### Линейный ускоритель протонов

600 МэВ (проект)

209 МэВ (сейчас)

10-25-50-100 Гц

Длительность протонных импульсов

– 1-250 мкс

Ток протонов: до 300 мкА

Интенсивность на поверхности  
замедлителя:

До  $0.9 \cdot 10^{13}$  н см<sup>2</sup>/с (сейчас)

До  $0.75 \cdot 10^{13}$  н см<sup>2</sup>/с (с новой мишенью)

# ИМПУЛЬСНЫЙ ИСТОЧНИК НЕЙТРОНОВ ИН-06



# ИМПУЛЬСНЫЙ ИСТОЧНИК НЕЙТРОНОВ ИН-06

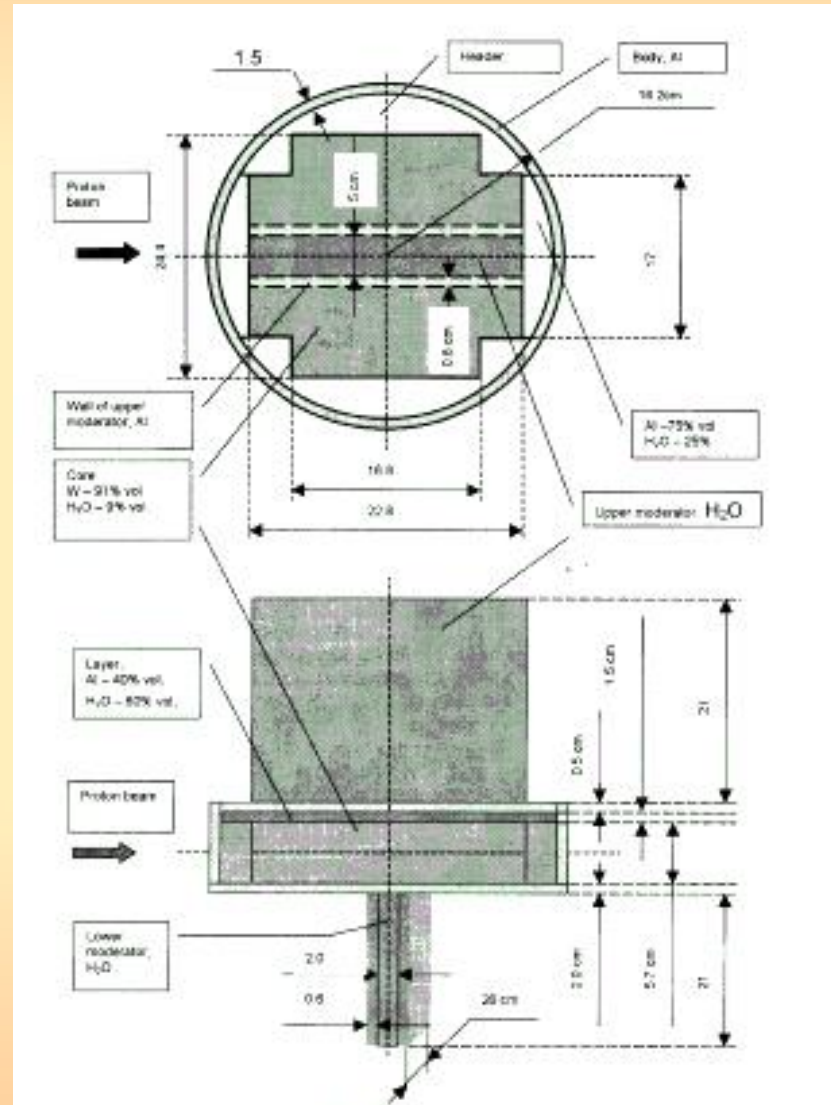
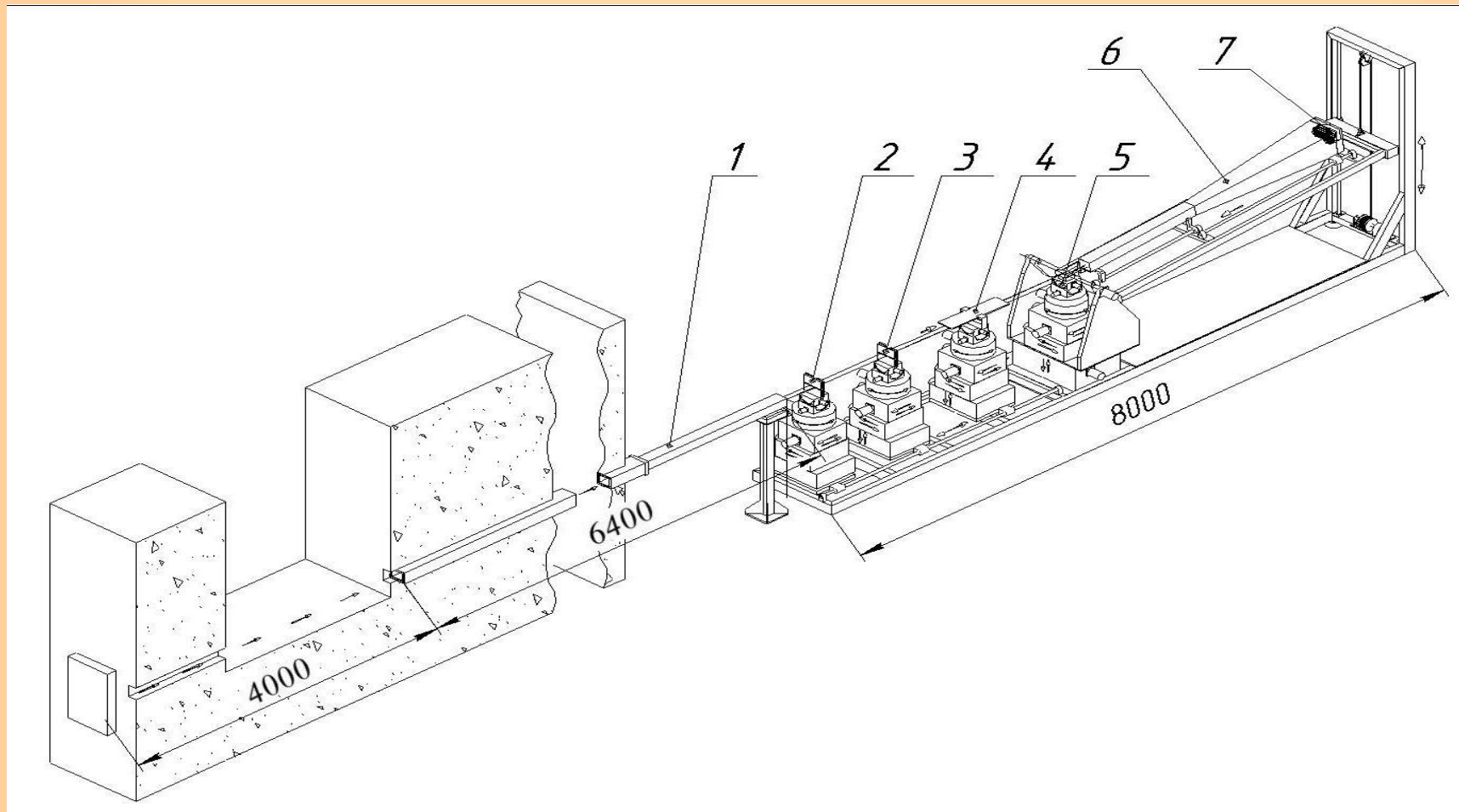


Схема мишени

# Схема установки «Горизонт»

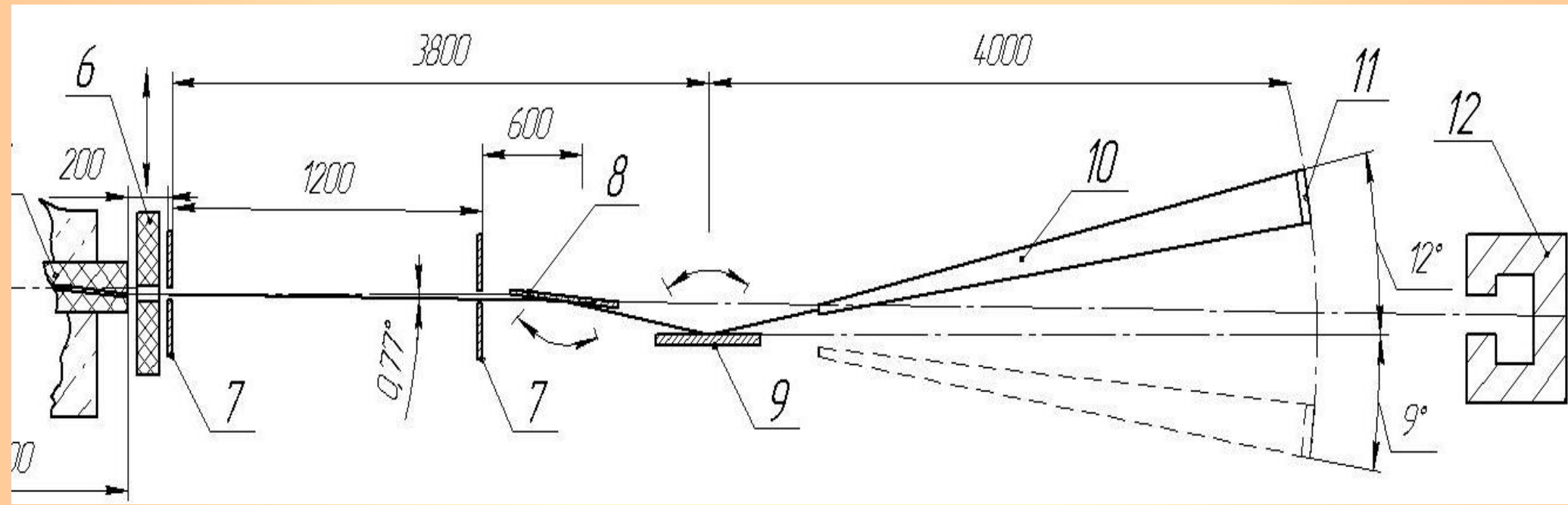


- 1—зеркальный нейтроновод, 2,3— коллимирующие щели,  
4 — отклоняющее суперзеркало, 5 — узел образца,  
6 — вакуумированная труба, 7—детектор нейтронов

# Общий вид установки

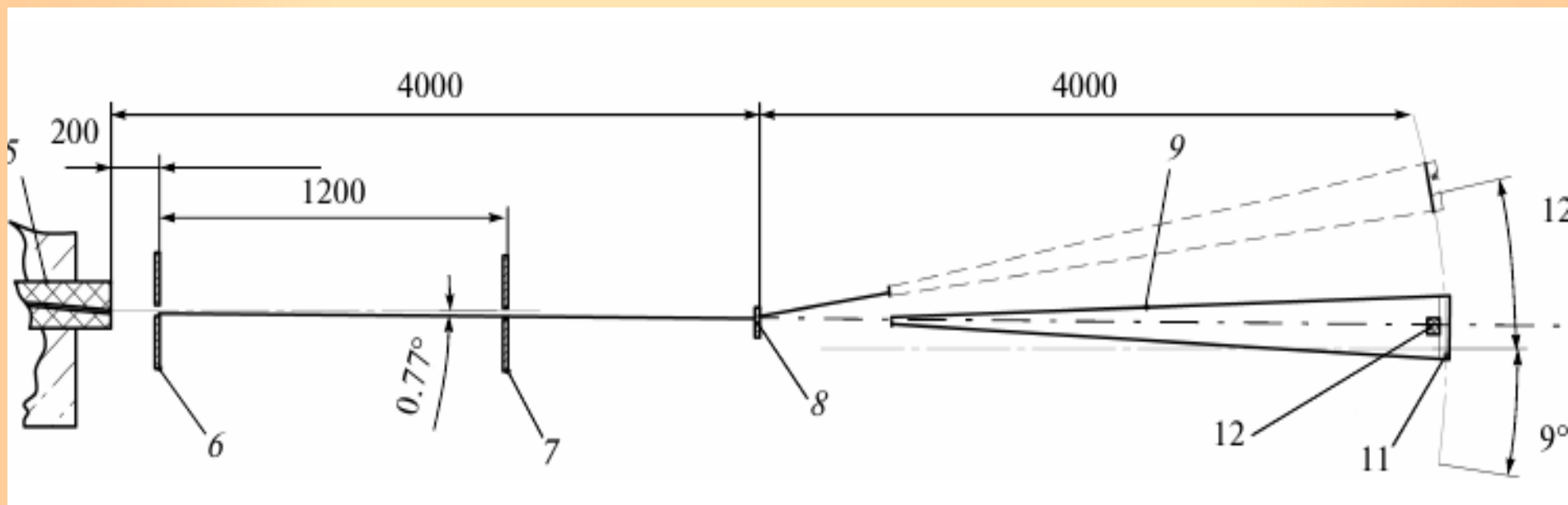


# Установка «ГОРИЗОНТ» в режиме рефлектметра



1-МИШЕНЬ, 2- ЗАМЕДЛИТЕЛЬ, 3- КОЛЛИМАТОР, 4-ШИБЕР,  
5- ЗЕРКАЛЬНЫЙ НЕЙТРОНОВОД, 6-ЛЕГКИЙ ШИБЕР,  
7- КОЛЛИМИРУЮЩИЕ ШЕЛИ, 8- ОТКЛОНЯЮЩЕЕ СУПЕРЗЕРКАЛО,  
9- ОБРАЗЕЦ, 10 — КОНСОЛЬ С ВАКУУМИРУЕМОЙ ТРУБОЙ,  
11- ДЕТЕКТОР НЕЙТРОНОВ, 12 — ЛОВУШКА ПРЯМОГО ПУЧКА.

# Установка ГОРИЗОНТ в режиме малоуглового спектрометра

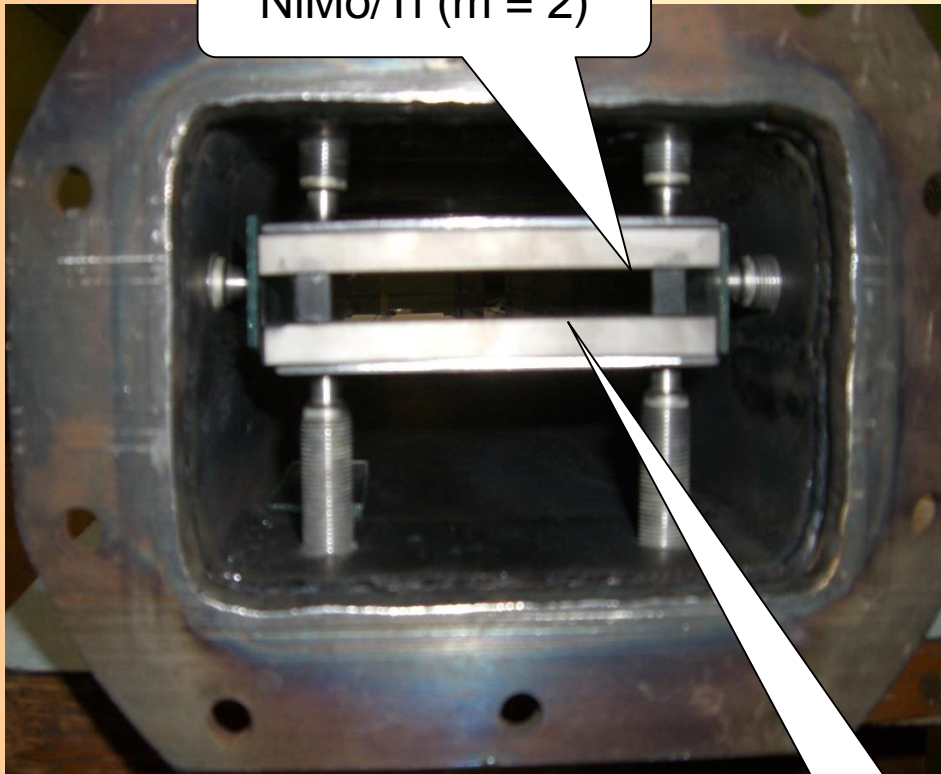


5 — ЗЕРКАЛЬНЫЙ НЕЙТРОНОВОД, 6,7 — КОЛЛИМИРУЮЩИЕ ШЕЛИ,  
8 — ОБРАЗЕЦ, 9 — КОНСОЛЬ С ВАКУУМИРУЕМОЙ ТРУБОЙ,  
11 — ДЕТЕКТОР НЕЙТРОНОВ, 12 — ЛОВУШКА ПРЯМОГО ПУЧКА.



# ИЗОГНУТЫЙ ЗЕРКАЛЬНЫЙ НЕЙТРОНОВОД

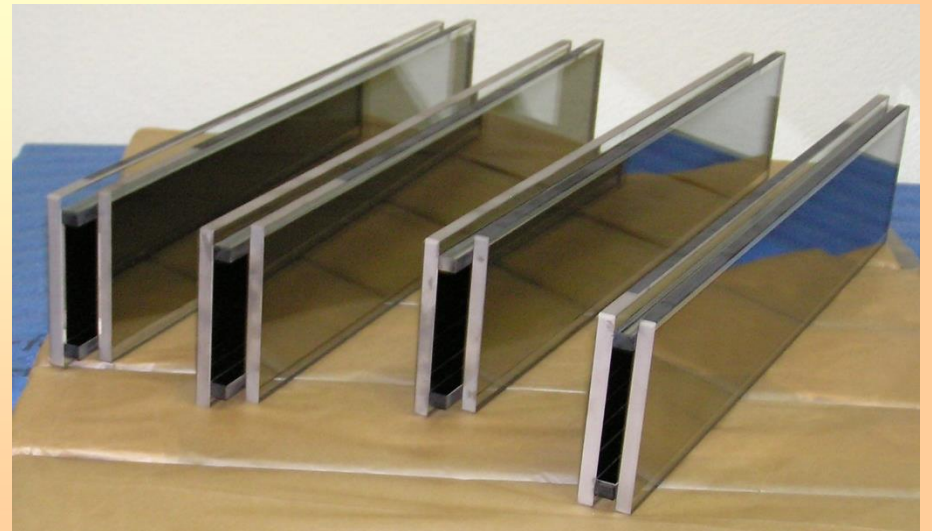
NiMo/Ti ( $m = 2$ )



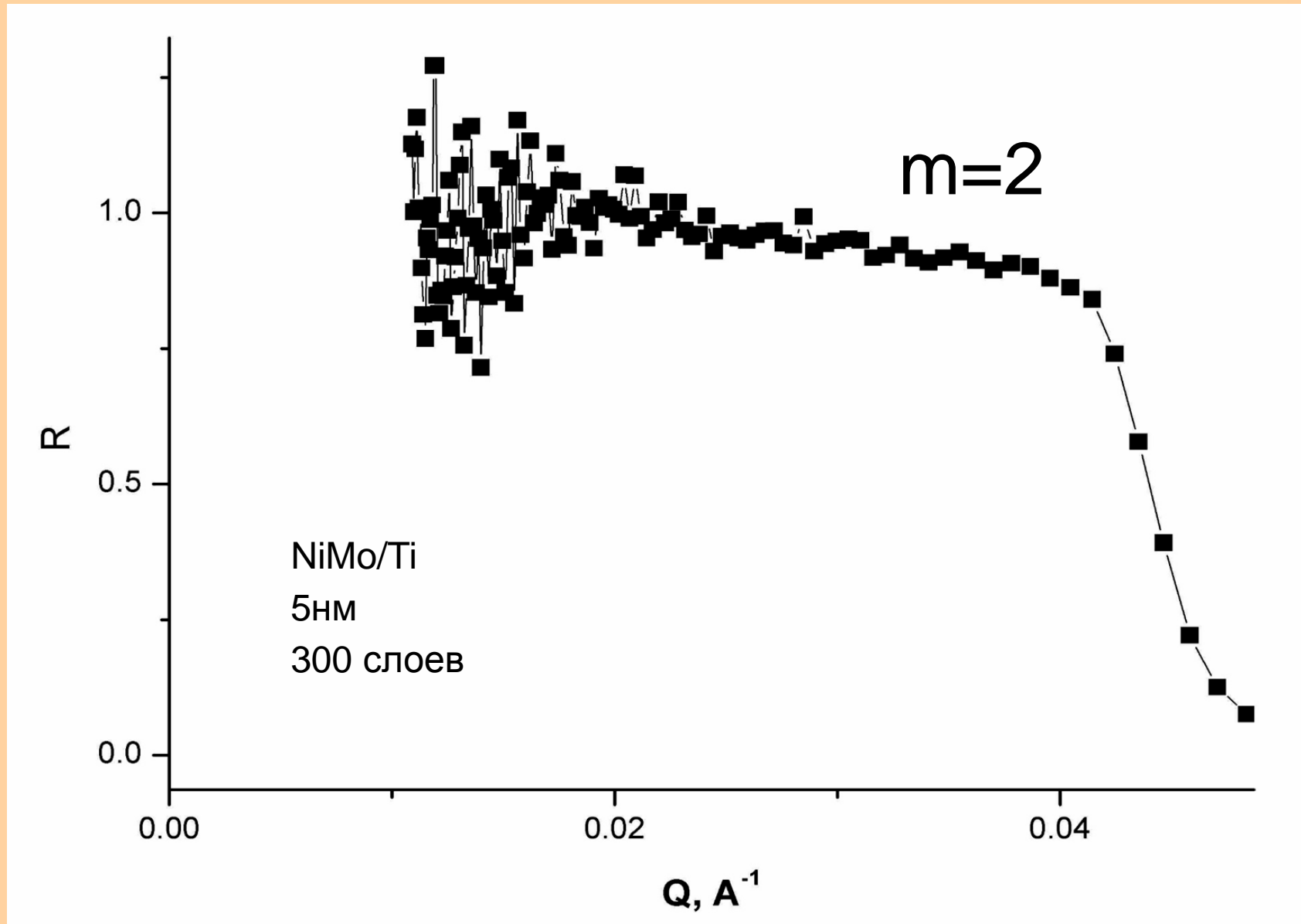
Секция нейтроновода в кожухе

Ni ( $m = 1$ )

- Длина зеркального канала 7 м
- Сечение 70(ширина) x 10(высота) мм
- $R=520$  м
- 14 СЕКЦИЙ СУПЕРЗЕРКАЛ NiMo/Ti ( $m=2$ ) верхние и боковые, Ni нижние



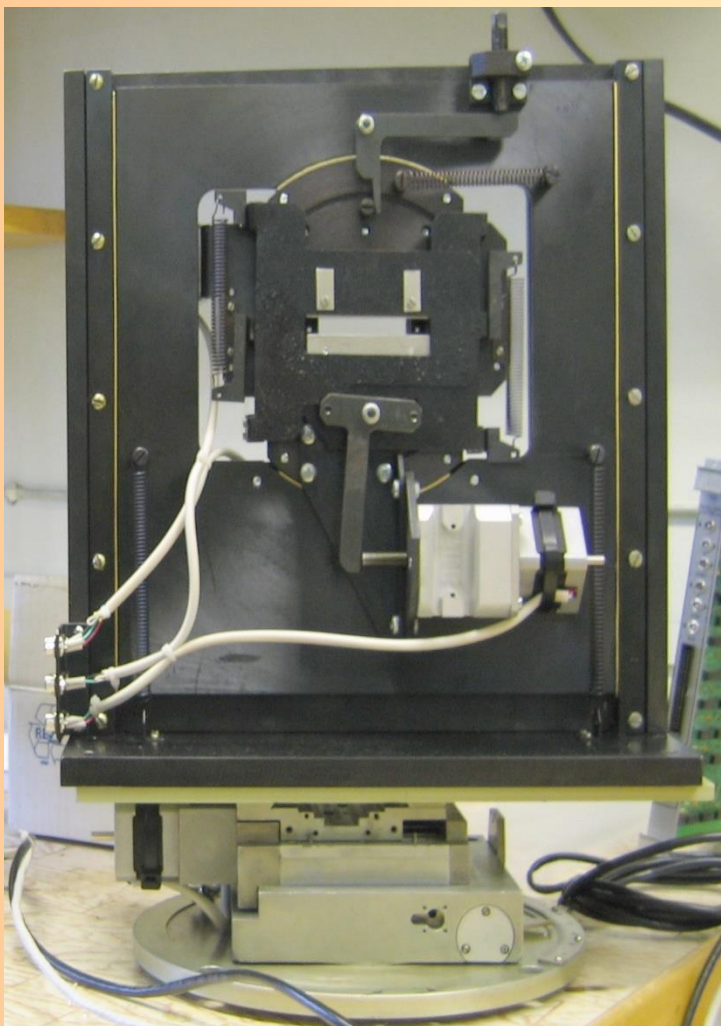
# Суперзеркала



Критический угол полно внешнего отражения

больше в 2 раза по сравнению с Ni

# КОЛЛИМИРУЮЩИЕ ЩЕЛИ

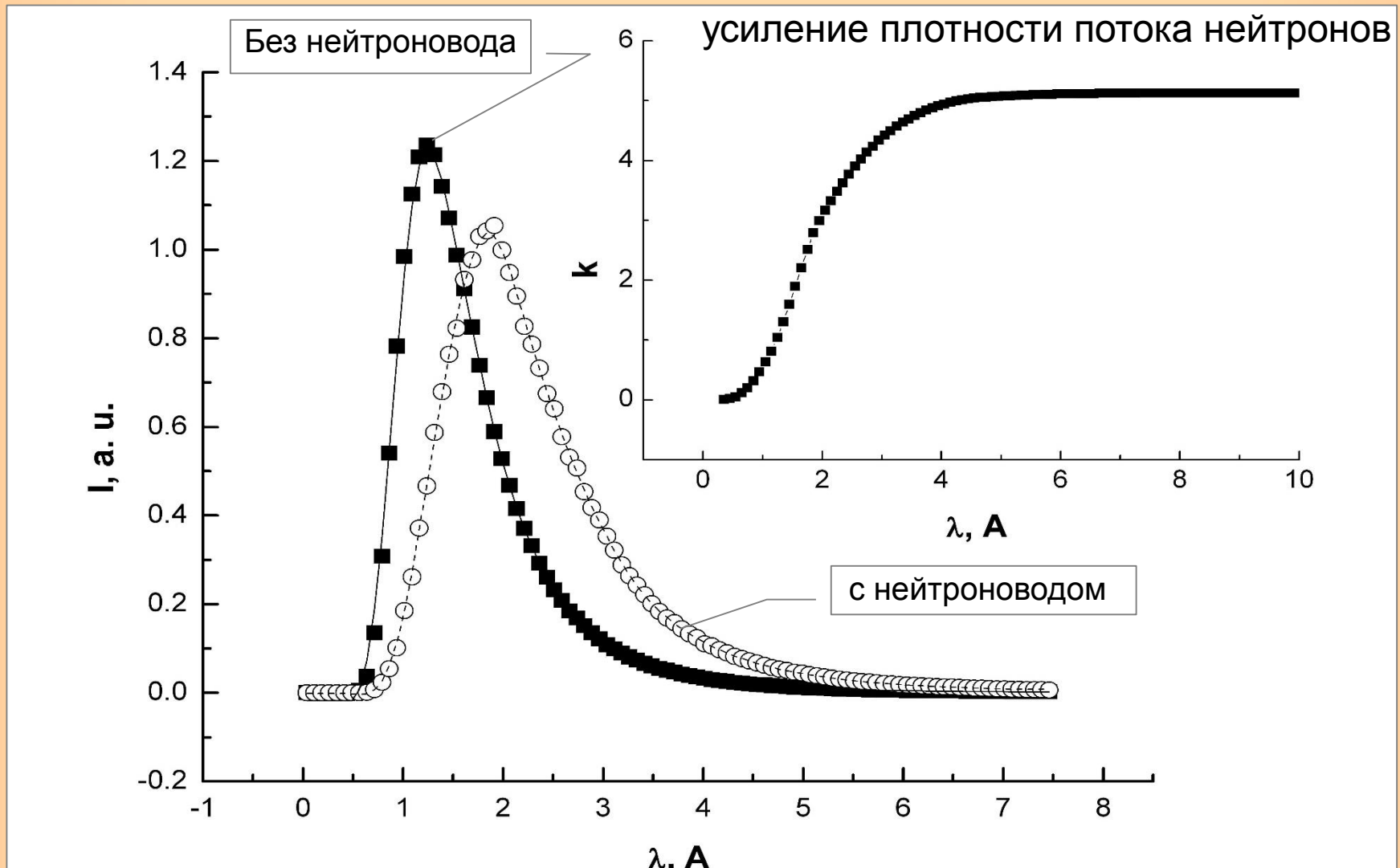


## Техническая характеристика

- |                               |                                |
|-------------------------------|--------------------------------|
| 1. Двигатели управления       | РК 244-038 (фирма Vexta)       |
|                               | Момент на валу 10 Нм = 10 Кгсм |
|                               | Угловой шаг 18° 200 шаг/об     |
| 2. Размер щели по вертикали   | 0.. 12 мм                      |
|                               | 1 шаг движ. = 0.0012 мм        |
| 3. Размер щели по горизонтали | 0.. 70 мм                      |
|                               | 1 шаг движ. = 0.005 мм         |
| 4. Подъем щели                | ±12 мм                         |
|                               | 1 шаг движ. = 0.003 мм         |
| 5. Поворот щели               | ±5°                            |
|                               | 1 оборот винта ≈ 0.5°          |

Точность не ниже 10 мкм

# Спектр нейтронов

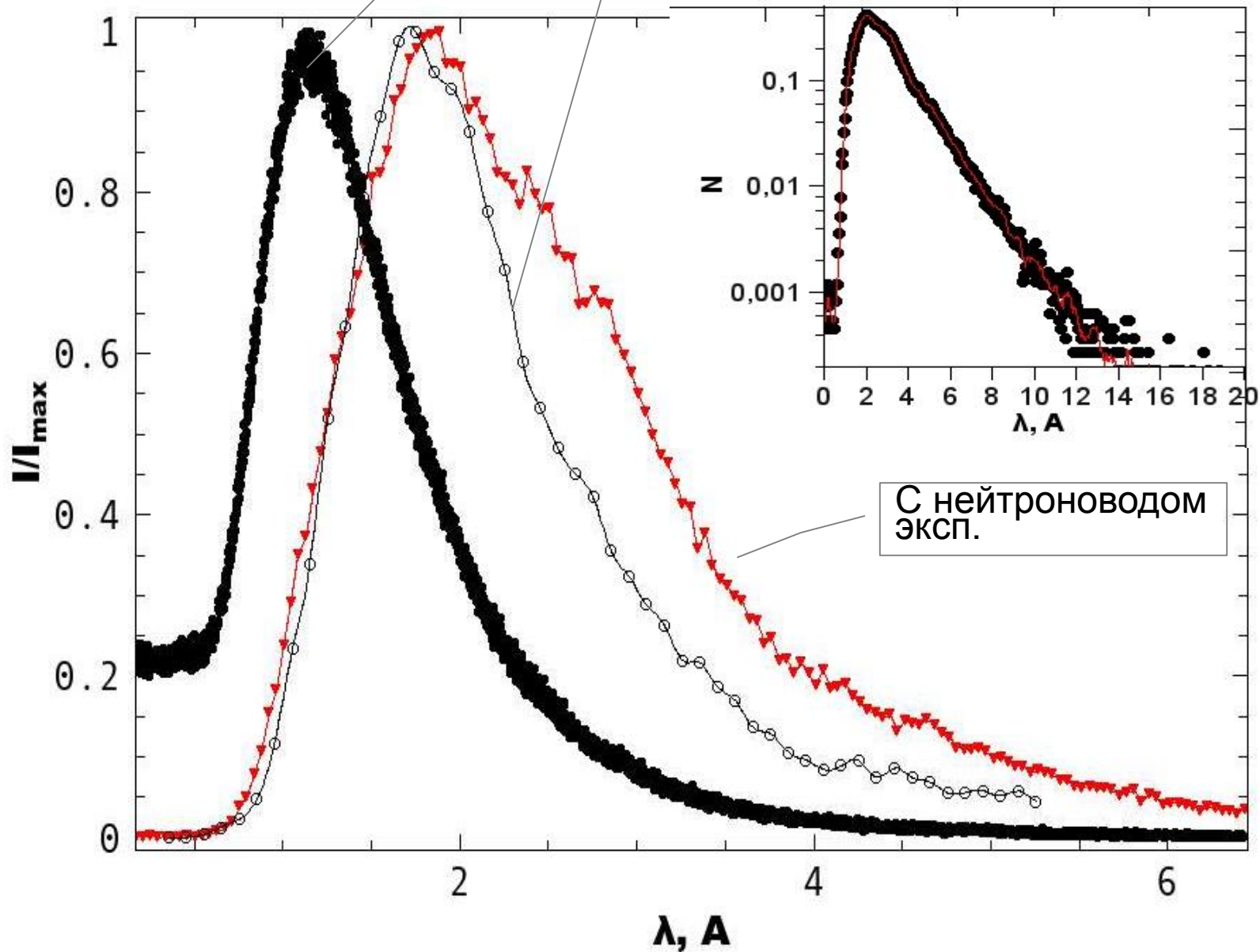


Расчетный спектр нейтронов на выходе из нейтронвода (○) и спектр нейтронов на том же расстоянии от источника без нейтронвода (■).

# Спектр нейтронов на выходе из нейтроновода

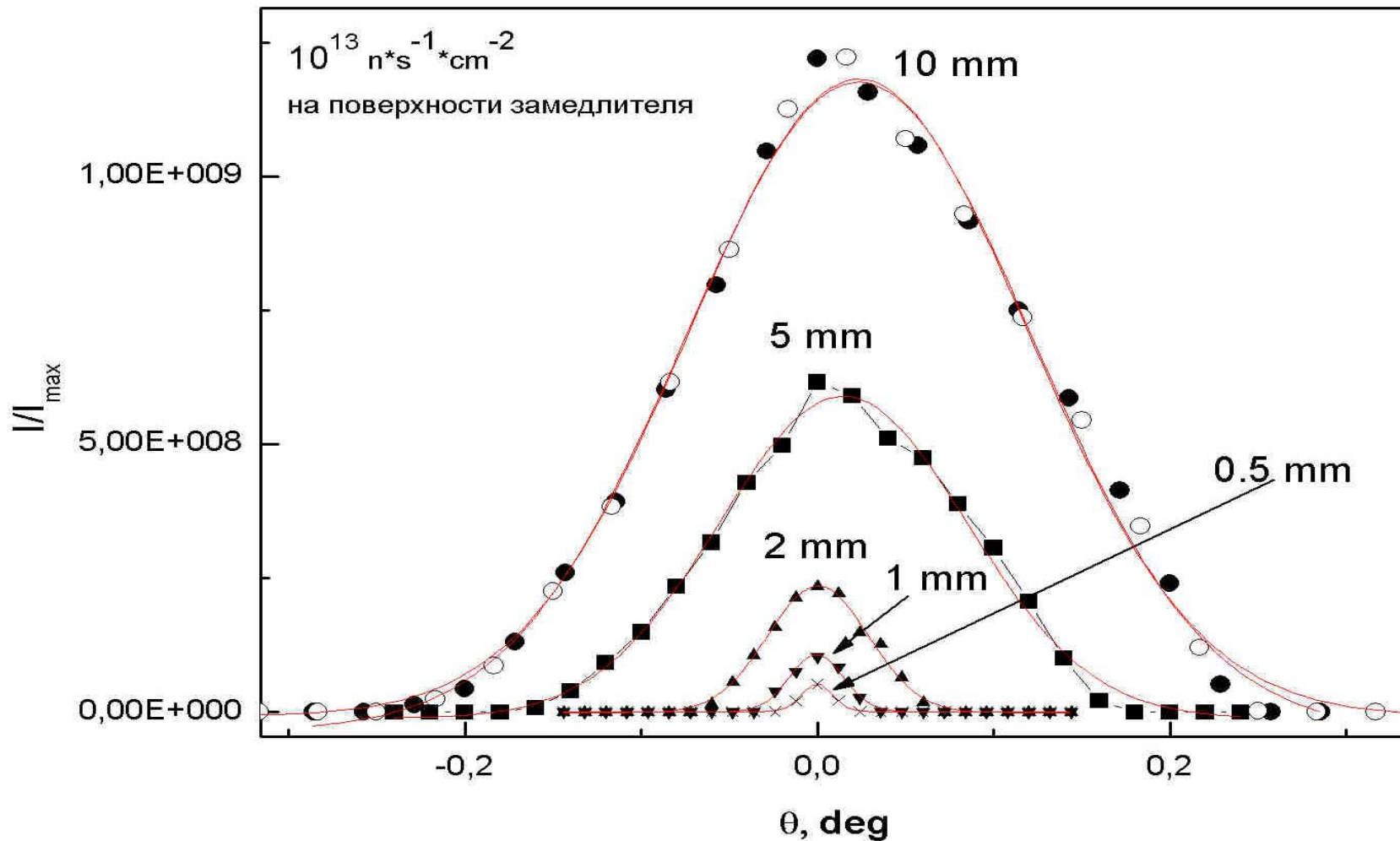
Без нейтроновода эксп.

С нейтроноводом модельный

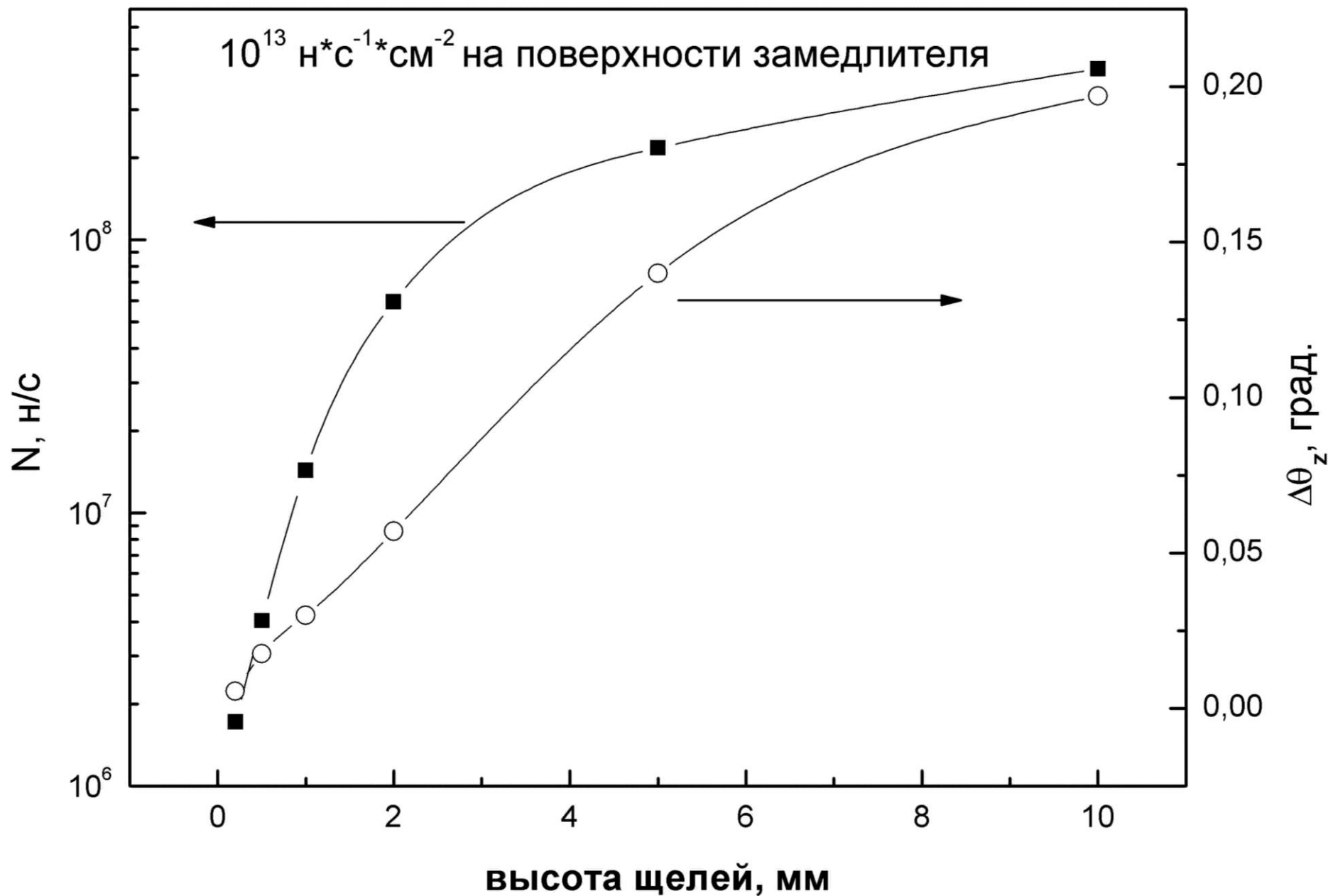


# Уловное распределение нейтронов

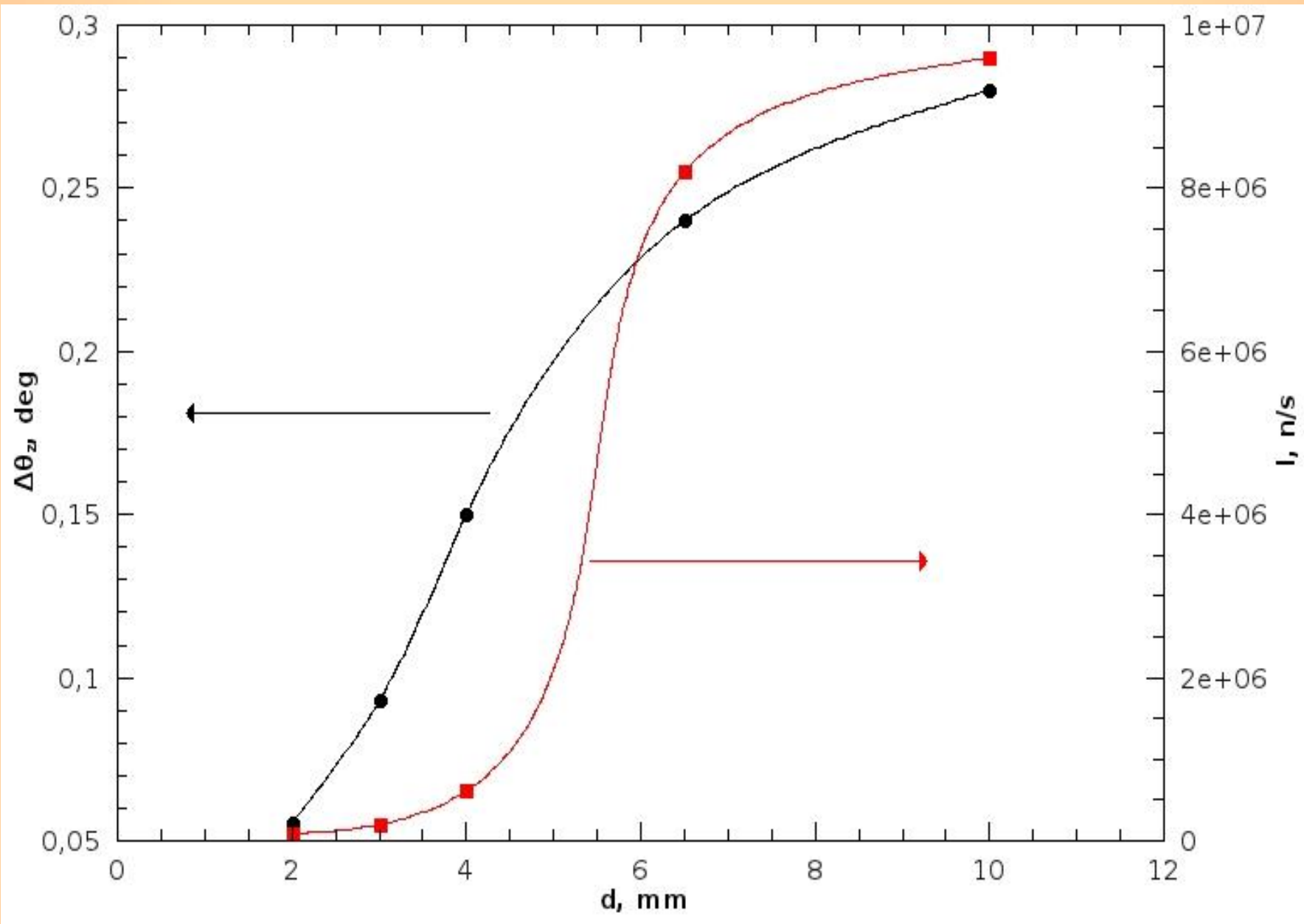
расходимость пучка в вертикальной плоскости при различной высоте щелей



# Расходимость пучка, падающего на образец в режиме рефлектометра

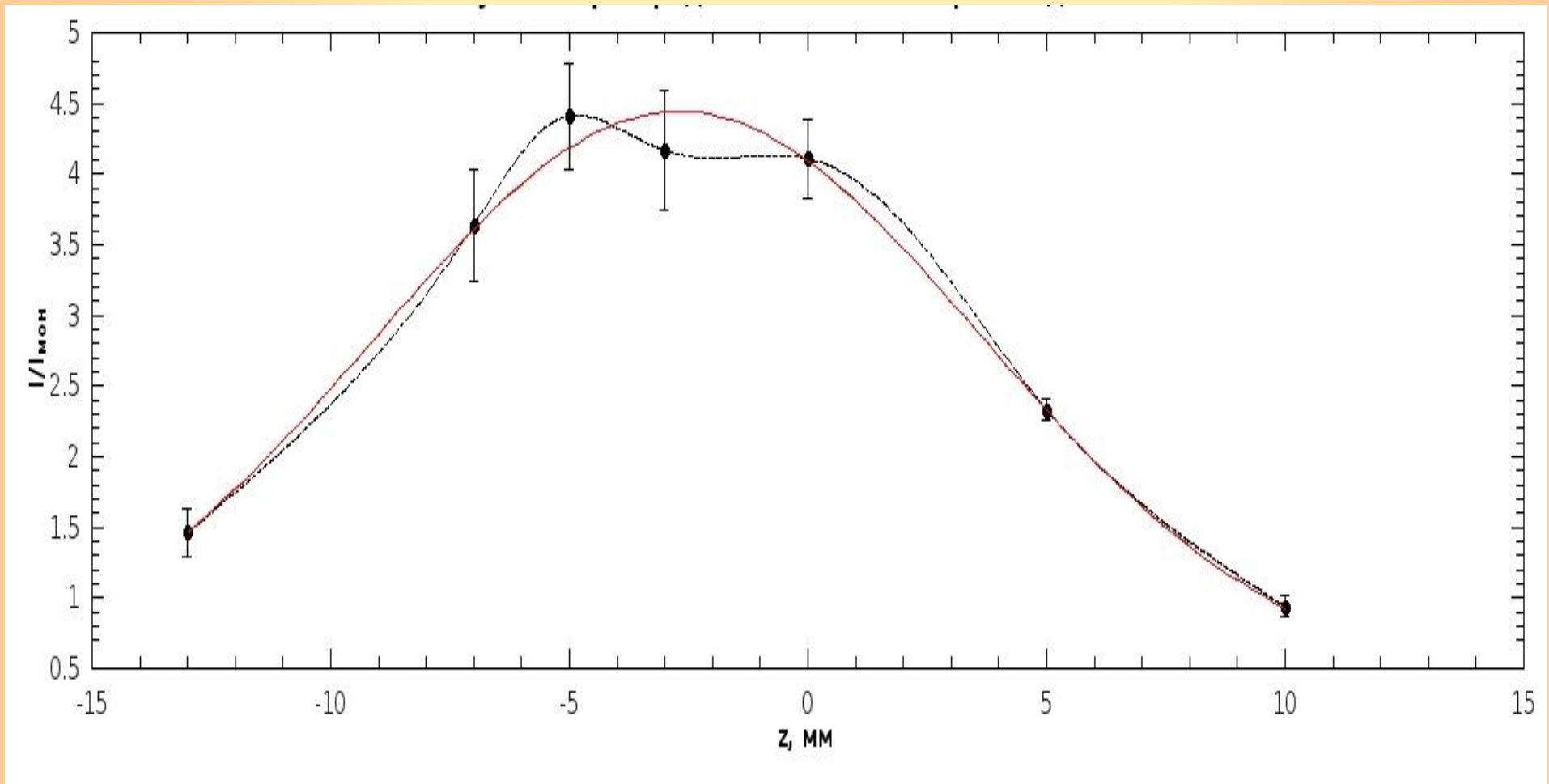


# Расходимость пучка, падающего на образец в режиме МУРН (модель)



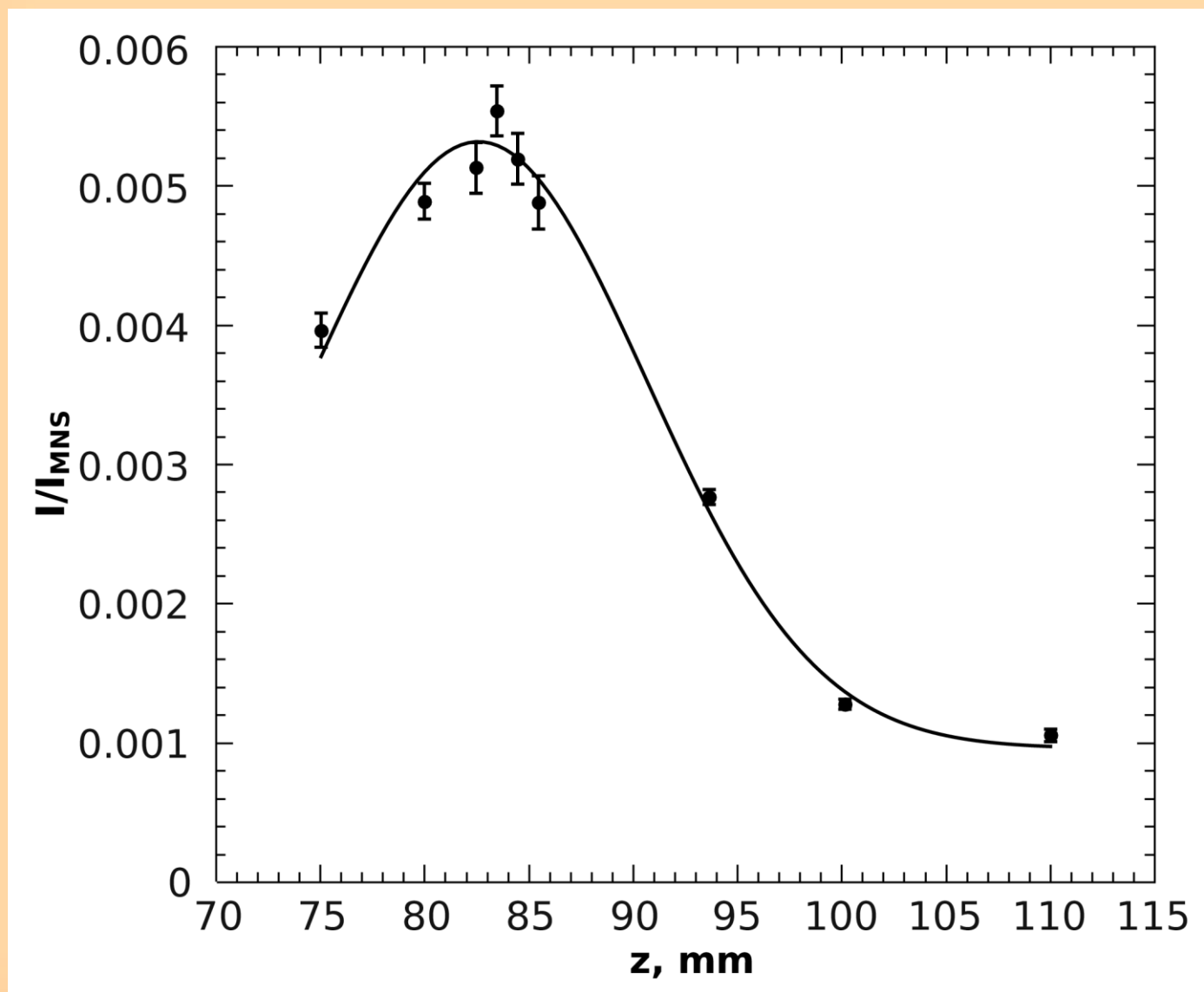


# Профиль пучка нейтронов на выходе из нейтроновода (экспериментальный)



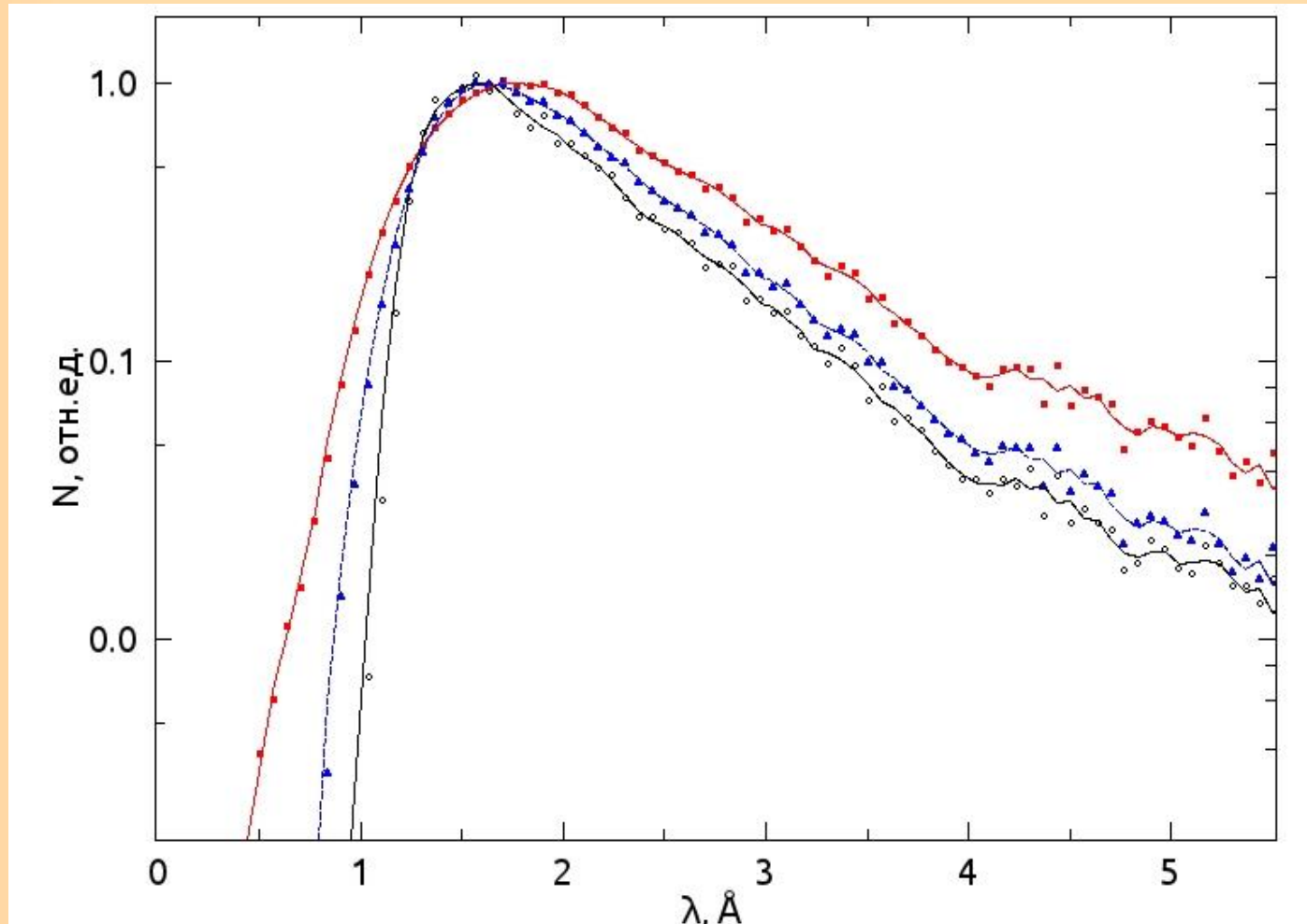
Расходимость  $0.5^\circ$

# Профиль пучка, падающего на образец



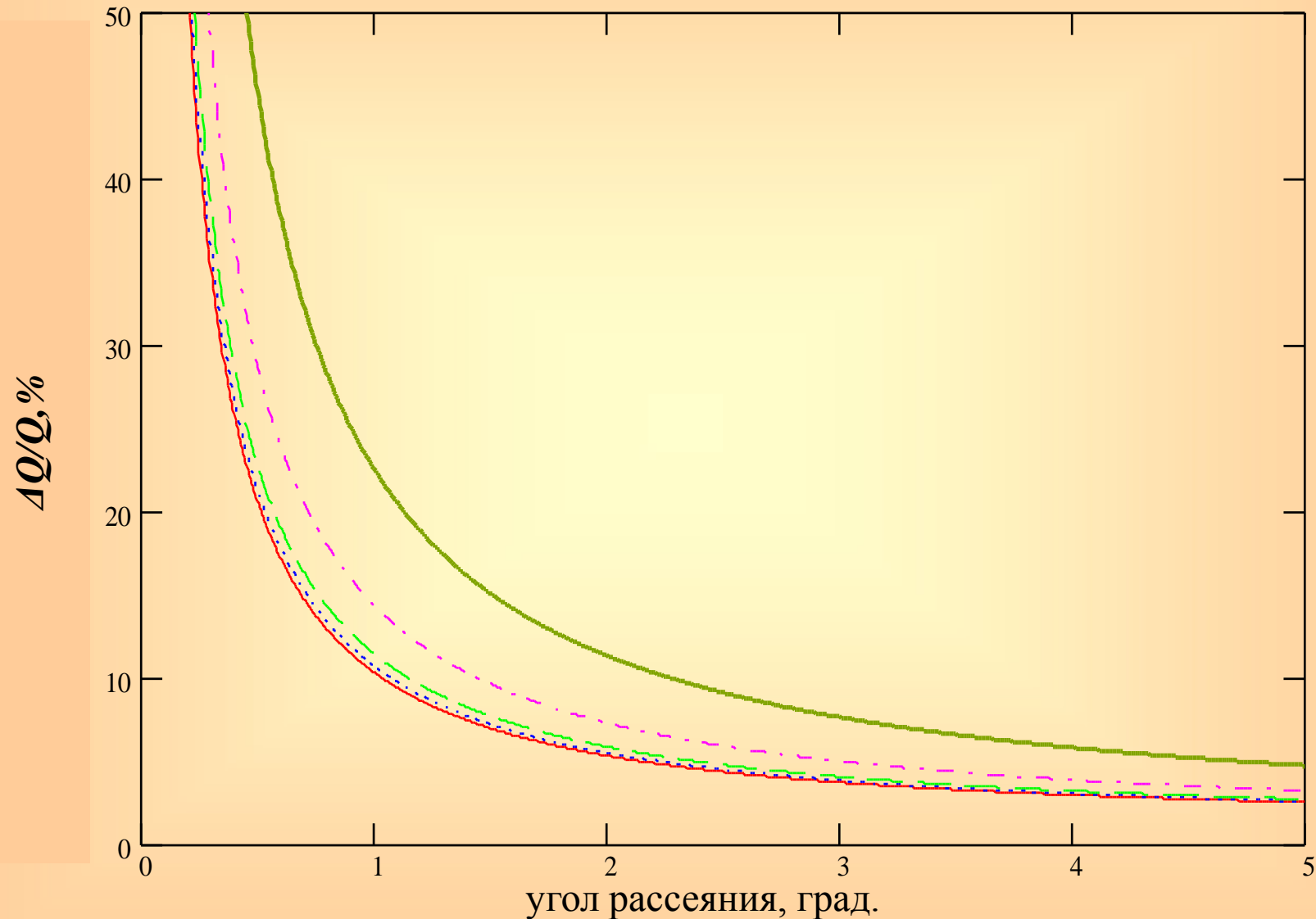
Расходимость первичного пучка по-вертикали щели 10 мм : 0,2 град.

# Влияние коллимации на спектры нейтронов в позиции образца



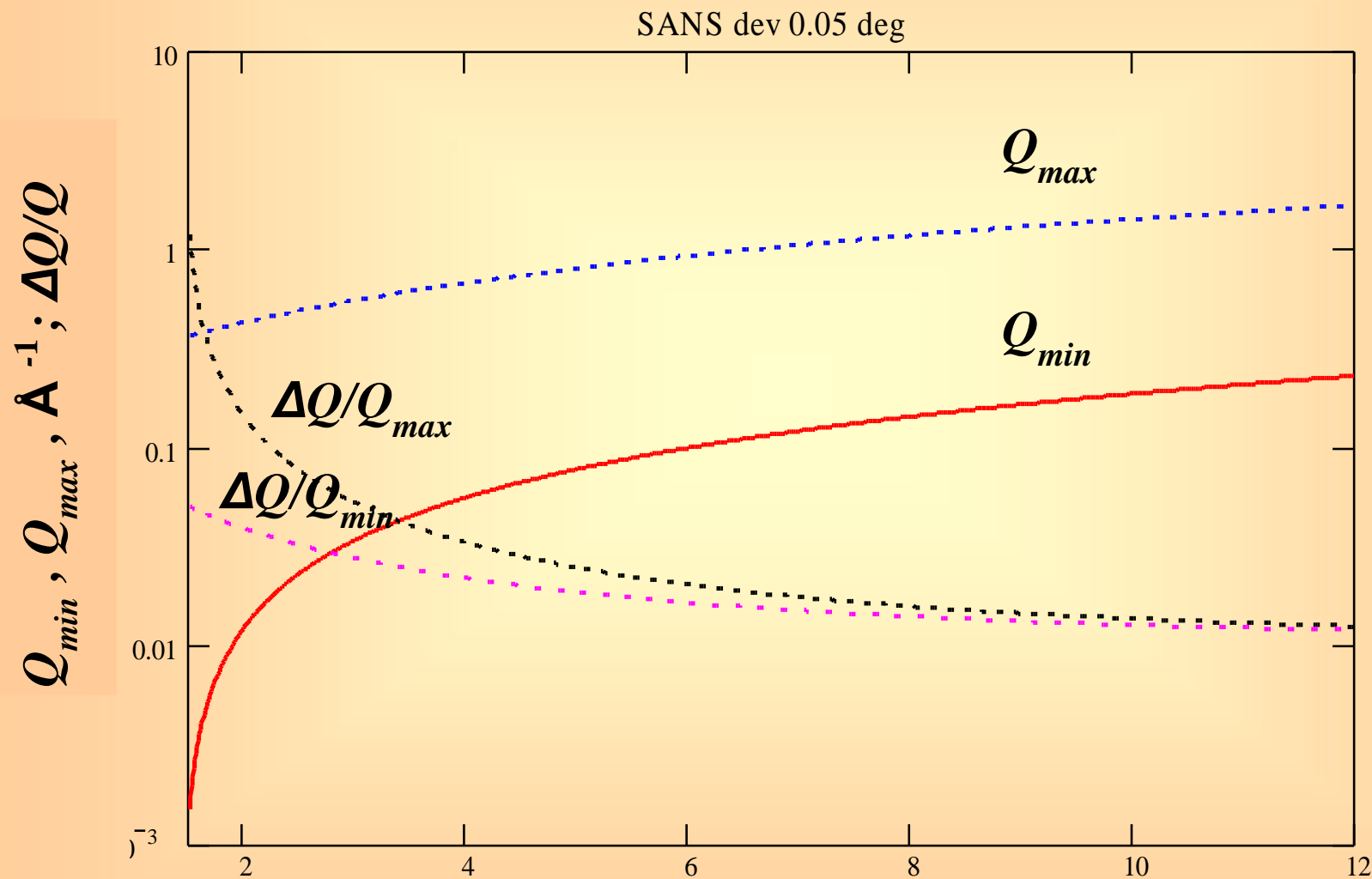
Спектры на выходе нейтронновода, перед коллимирующими щелями (красный), в позиции образца при высоте щелей 2 мм (синий), и 1 мм — черный

# Разрешение установки (МУРН)



Зависимости разрешения установки при расходимостях падающего на образец луча 0,01° (красная сплошная), 0,03° (точки), 0,05° (пунктир), 0,1° (штрихпунктир) и 0,2° (зеленая сплошная). Размер образца 5 мм, координатное разрешение детектора 2 мм

# Рабочий диапазон переданных импульсов и разрешение в режиме МУРН-спектрометра

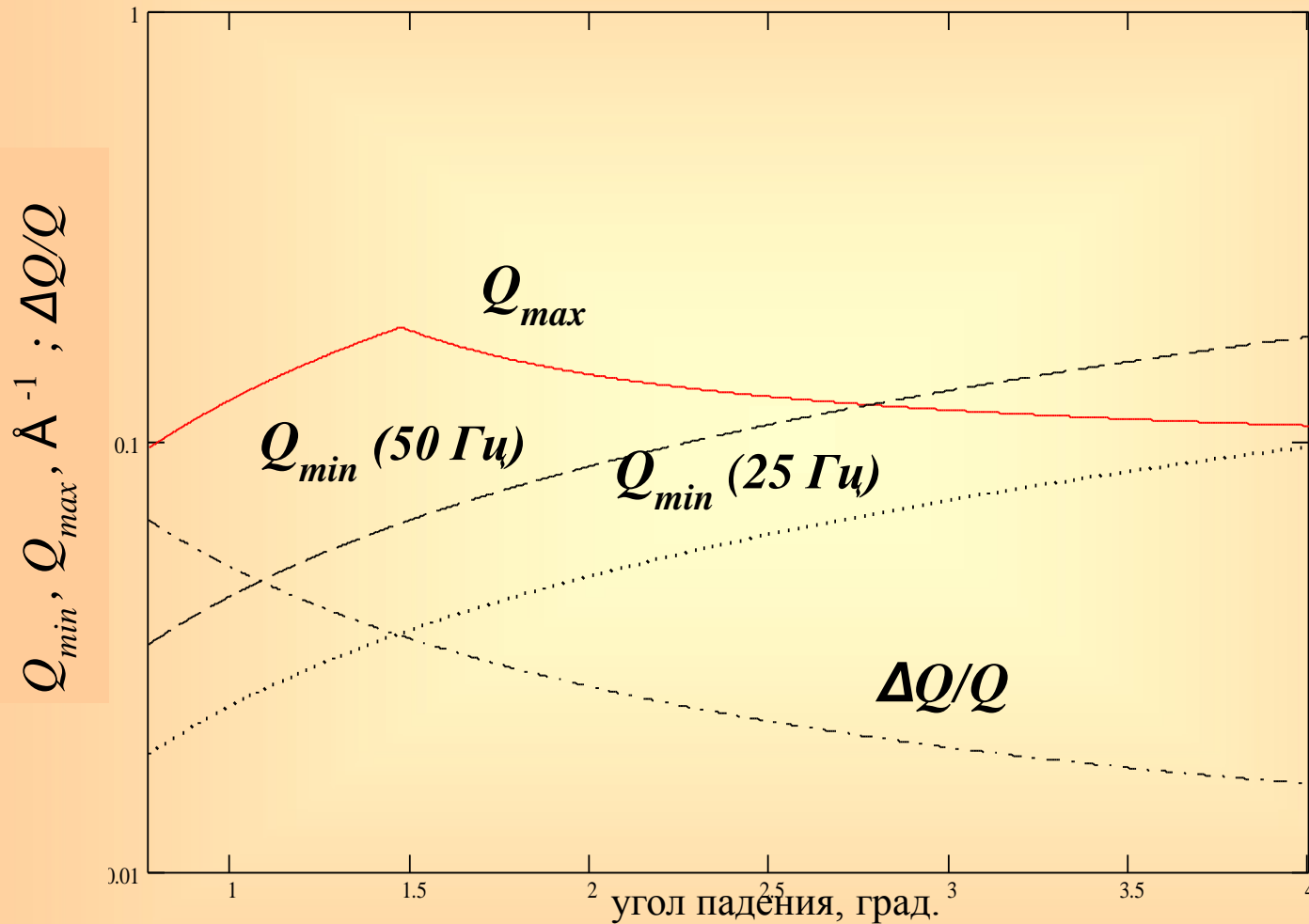


$\lambda = 1,5 - 9 \text{\AA}$

$Q = 0,003 - 0,75 \text{\AA}^{-1}$

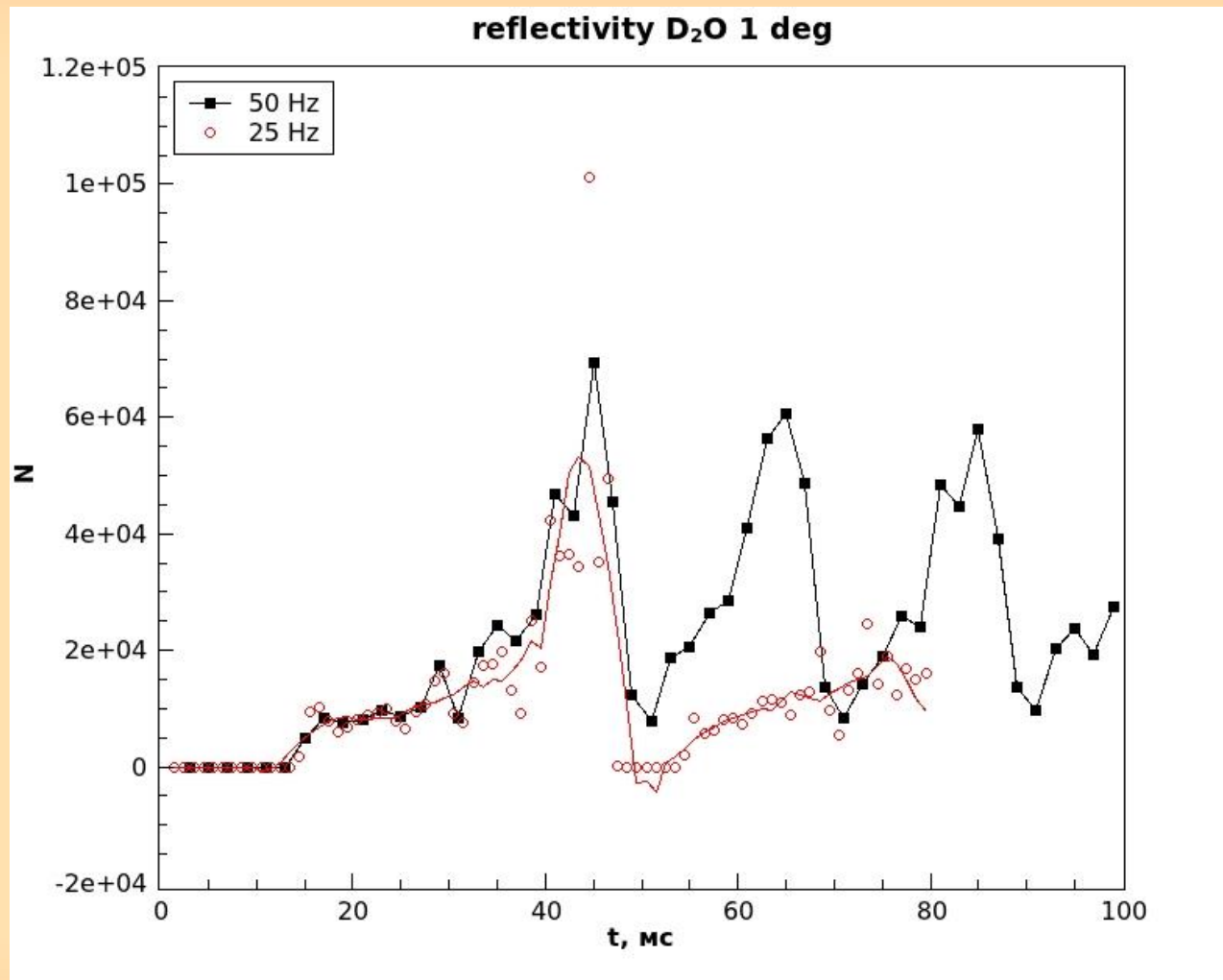
угол обзора детектора, град.

# Разрешение установки в режиме рефлектометра



Рабочий диапазон переданных импульсов (в  $\text{Å}^{-1}$ ) и разрешение установки в режиме рефлектометра в зависимости от угла падения пучка нейтронов на плоскость образца при использовании отклоняющего суперзеркала.

# Моделирование отражения нейтронов поверхностью D<sub>2</sub>O



Вывод : оптимальная частота — 25 Гц,  
при 50 Гц возможны наложения.

## 2D-детектор нейтронов разработки ЛНФ ОИЯИ

1. Чувствительная область,  $\text{мм}^2$  200x200

2. Глубина, мм 33

3. Газовая смесь/давление, бар  $^3\text{He}$  – 3,0 + CF  $_4$  – 2,0

4. Координатное разрешение,  $\text{мм} \leq 2,5$

5. Эффективность регистрации, % — 2 🖱  $\geq 65\%$

*С учетом поглощения нейтронов во входном окне*

6. *Материал окна AMG6 Al(92,0 %) Mg(6,0 %)*

7. Толщина окна,  $\text{мм}$  7 8. Скорость счета,  $1/\text{с}$  —  $5 \cdot 10^5$

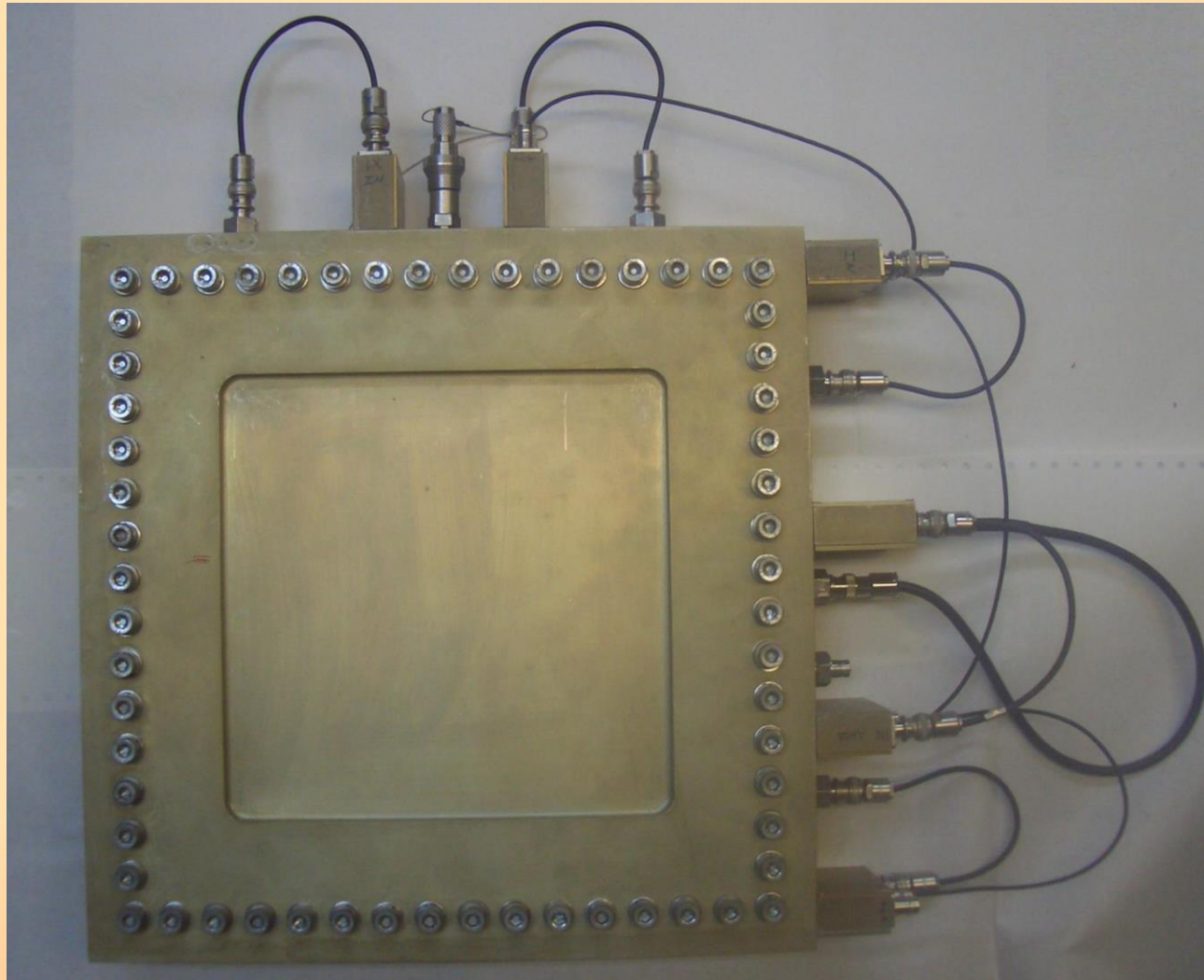
*Ограничивается системой сбора и накопления данных*

9. Дифференциальная нелинейность, %  $\pm 15\%$

10. Эффективность регистрации  $\gamma$ - КВАНТОВ  $\leq 10^{-5}$  (E ~ 1 MeV)



# Внешний вид детектора



# ЗАКЛЮЧЕНИЕ

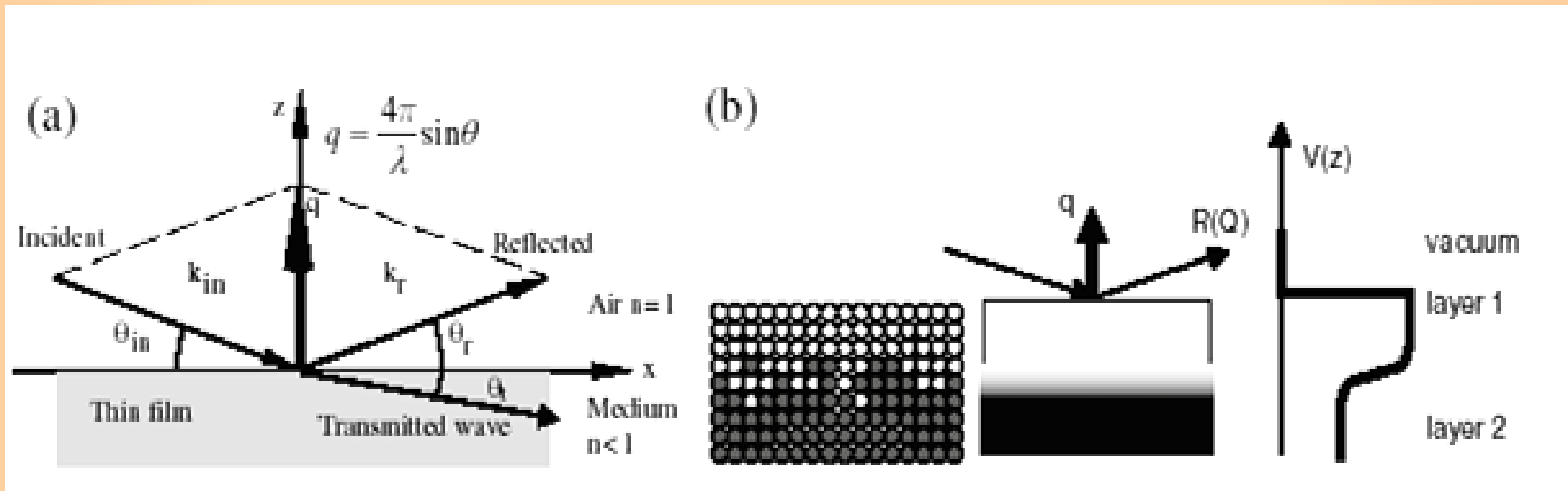
1. Создан времяпролетный рефлектометр-малоугловой спектрометр с вертикальной плоскостью рассеяния - единственный в России на источнике spallation типа
2. Проведено моделирование нейтронно-оптической части установки. Определены основные параметры.
  - Успешно проведены испытания установки.

Диапазон длин волн 1,5 - 9 Å,

Диапазон переданных импульсов 0,003 - 1,5 Å<sup>-1</sup>

**СПАСИБО  
ЗА ВНИМАНИЕ**

# Принцип нейтронной рефлектومتрии



$$\frac{\hbar^2}{2m} \frac{d^2 \psi}{dz^2} + [E - V(z)] \psi = 0$$

$$V(z) = N(z) b_c(z) - \mu_n \mathbf{B}(z)$$

$$R(\lambda, \Theta), \text{ TOF } \Theta = \text{const} \rightarrow R(\lambda) \rightarrow V(z)$$

$$Q = 4\pi \sin(\theta) / \lambda = -2 k_{z \text{ in}}$$

# Спектр нейтронов в позиции образца

