



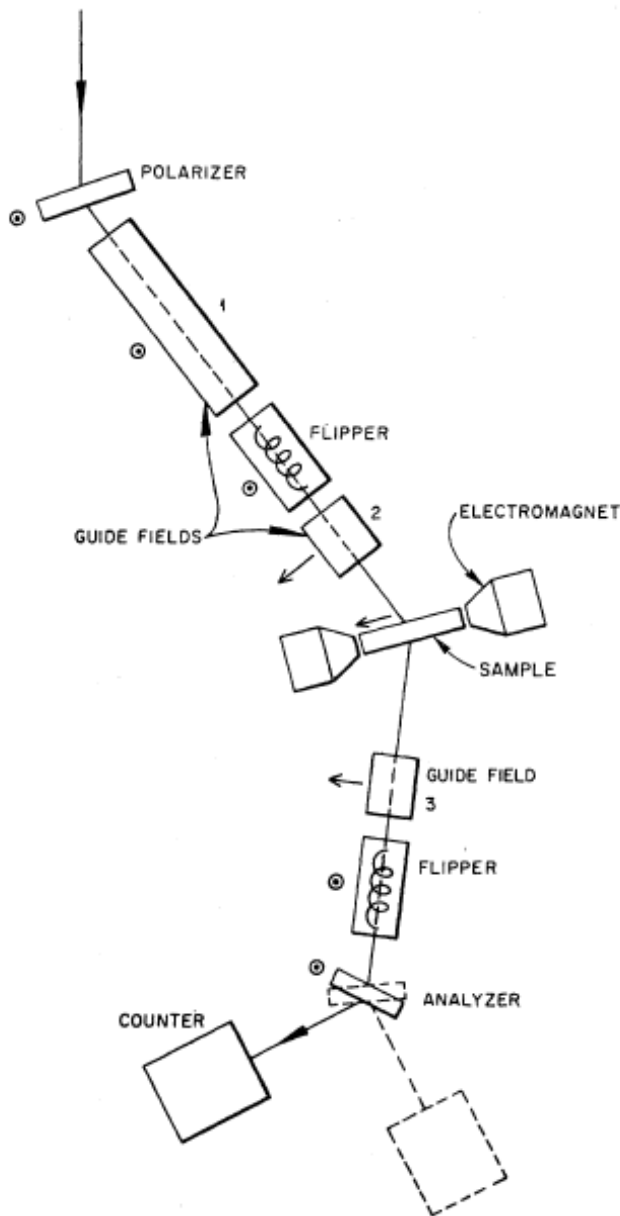
Санкт-Петербургский  
государственный  
университет  
Физический факультет  
Кафедра нейтронной и  
синхротронной физики

**Сыромятников Владислав Генрихович**

*Лекция №8. Нейтронный  
поляризационный анализ.  
Анализаторы.*

# Нейтронный поляризационный анализ

Moon, Riste and Koehler (ORNL, USA) (1969)



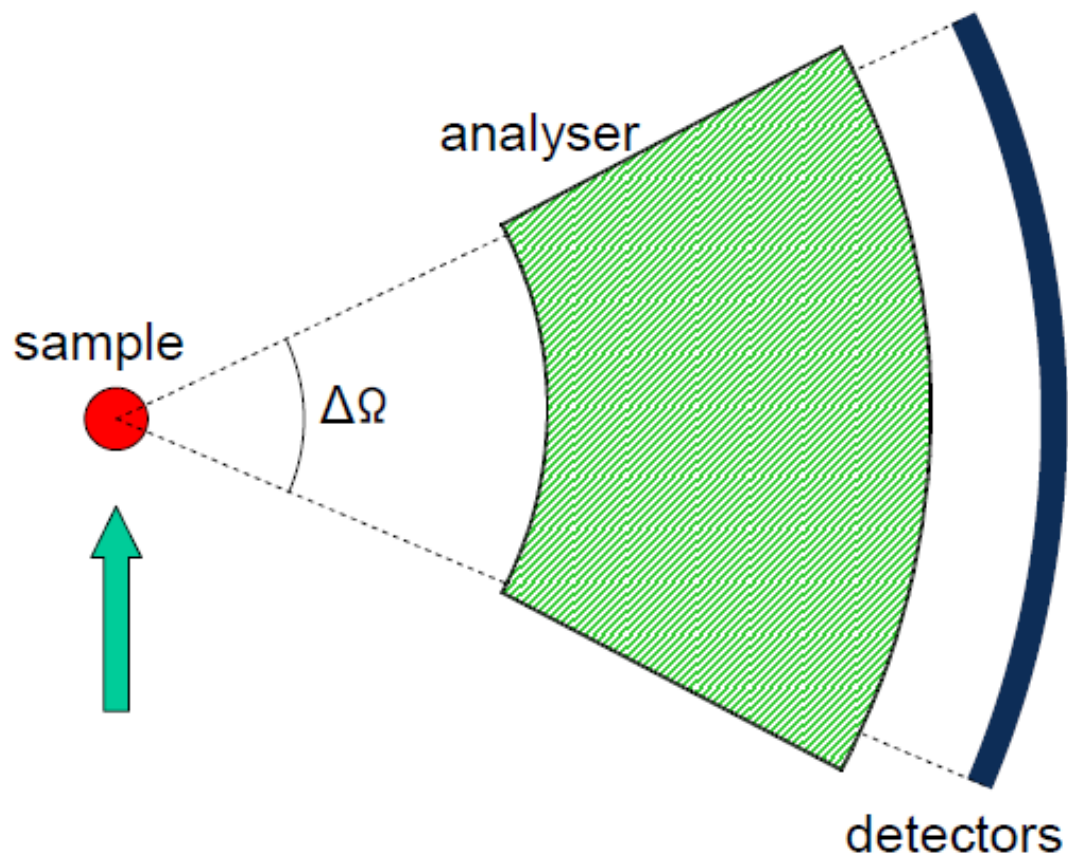
Используя такую (или подобную) схему с использованием поляризатора, анализатора и двух спин-флипперов (до и после образца) можно измерять сечения нейтронного рассеяния на образце, как с переворотом спина нейтрона (**+ - и - +**), так и без переворота спина (**++ и --**). Это позволяет изучать магнитные свойства образца.

$$P(\lambda) = P_p(\lambda) \cdot P_a(\lambda) = \frac{r(\lambda) - 1}{1 - r(\lambda) \cdot [1 - 2 \cdot f_1(\lambda)]}$$

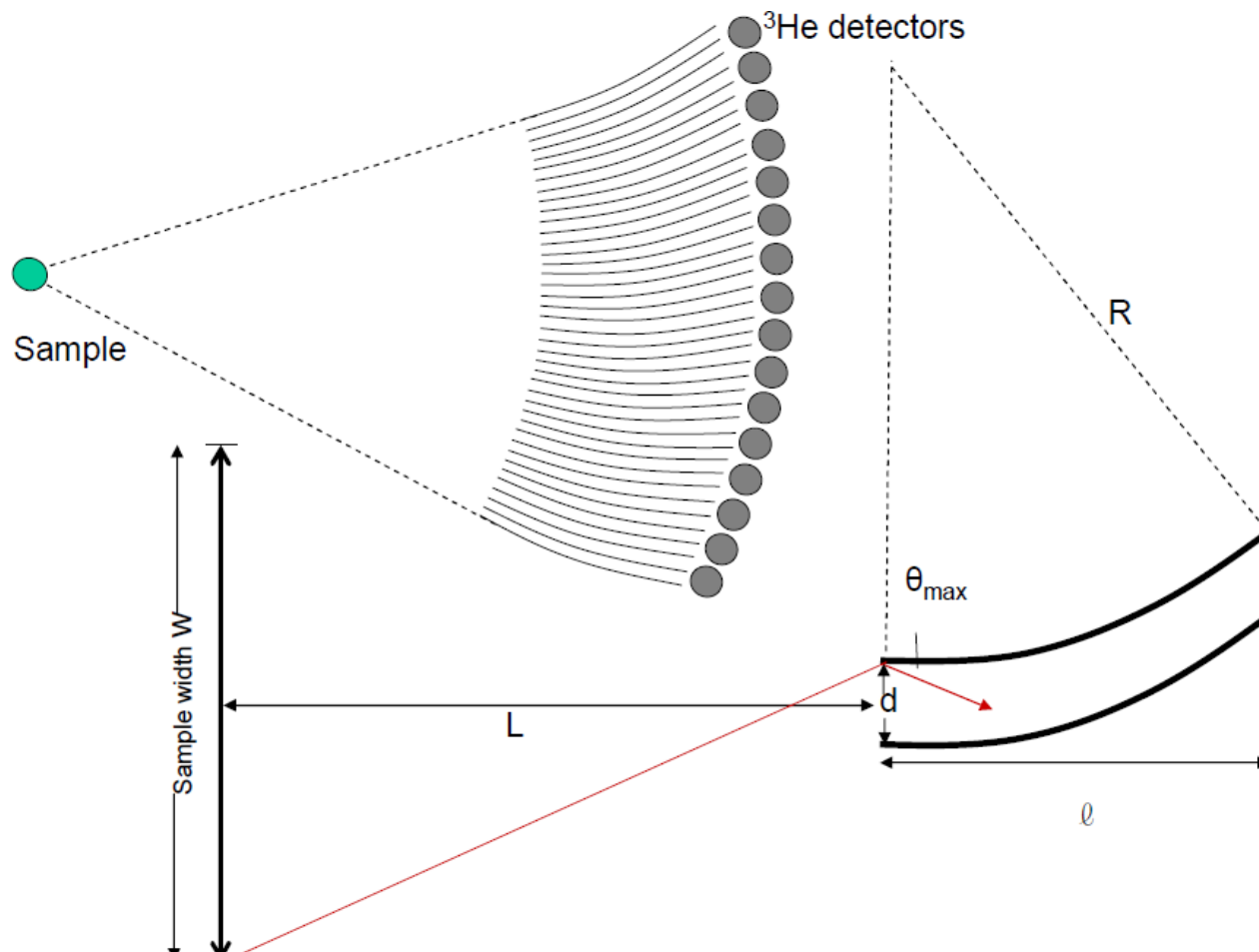
# Нейтронный поляризационный анализ. Анализаторы.

1. Кристаллы-анализаторы.
2. Суперзеркальные анализаторы.
3.  $^3\text{He}$  анализаторы.

# Широкоапертурные анализаторы перед блоком счетчиков или двухкоординатным ПЧД.



# Широкоапертурный анализатор с каналами изогнутыми по окружности перед блоком счетчиков.

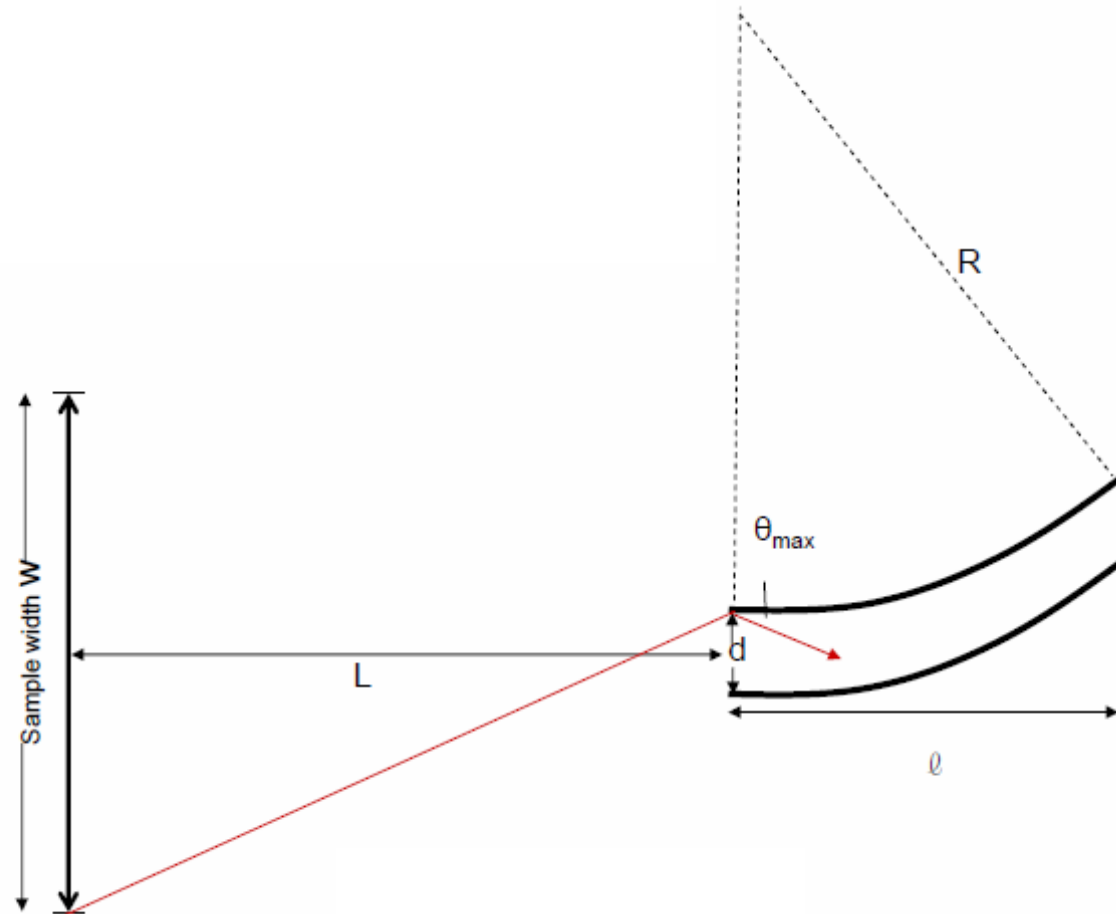


$$\theta_{\max} < \theta_c \Rightarrow \frac{w}{2L} < \frac{m\lambda^*}{600}$$

$$\left. \begin{aligned} l &= \sqrt{8dR} \\ \lambda^* &= \sqrt{2d/R} \frac{600}{m} \end{aligned} \right\} \Rightarrow \frac{d}{l} = \frac{m\lambda^*}{2400}$$

определяет расстояние до анализатора при  
максимальном вертикальном угле

определяет отношение ширины канала нейтроновода к длине



$$\frac{A}{\Delta\Omega} = \frac{2lh}{d \cdot \frac{h}{L(L+l)}}$$

площадь суперзеркала на единицу телесного угла

$$\frac{l}{d} = \frac{2400}{m\lambda^*} \quad \frac{w}{2L} = \frac{m\lambda^*}{600} \quad \Rightarrow \quad \frac{A}{\Delta\Omega} = \left(\frac{756}{m\lambda^*}\right)^3 w(w+8d)$$

Для уменьшения отношения

$$\frac{A}{\Delta\Omega} = \left(\frac{756}{m\lambda^*}\right)^3 w(w+8d)$$

**требуется:**

увеличивать  $m$ , т.к.  $\frac{A}{\Delta\Omega} \sim \frac{1}{m^3}$

увеличивать длину волны, т.к.  $\frac{A}{\Delta\Omega} \sim \frac{1}{\lambda^3}$

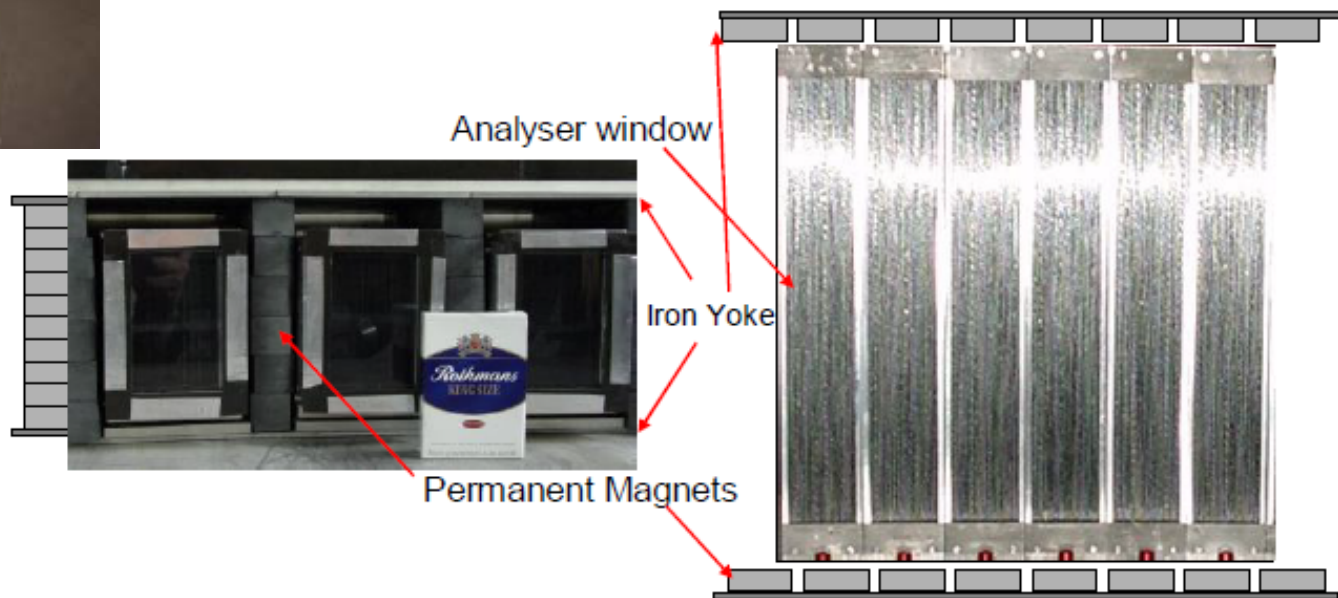
уменьшать размер образца и ширину канала нейтроновода, т.к.  $\frac{A}{\Delta\Omega} \sim w(w+8d)$

# D7 - Diffuse Scattering Spectrometer (ILL, Grenoble)



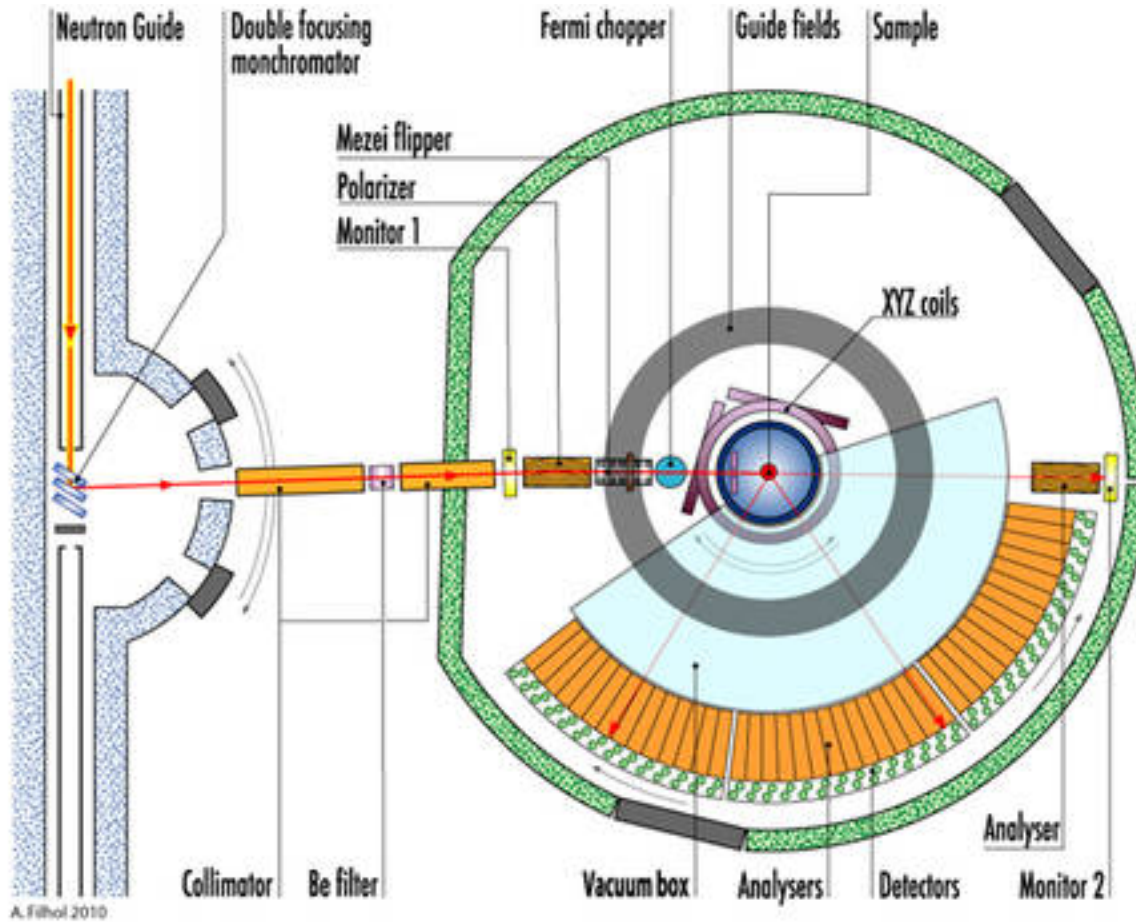
$\Delta\Omega/4\pi$	Supermirror Area	$\lambda^*$ (coating, $w_{\text{sam}}$ )
---------------------	------------------	--

new D7	3.3%	250 m <sup>2</sup>	3 Å ( $m=2.8, 30\text{mm}$ )
--------	------	--------------------	------------------------------





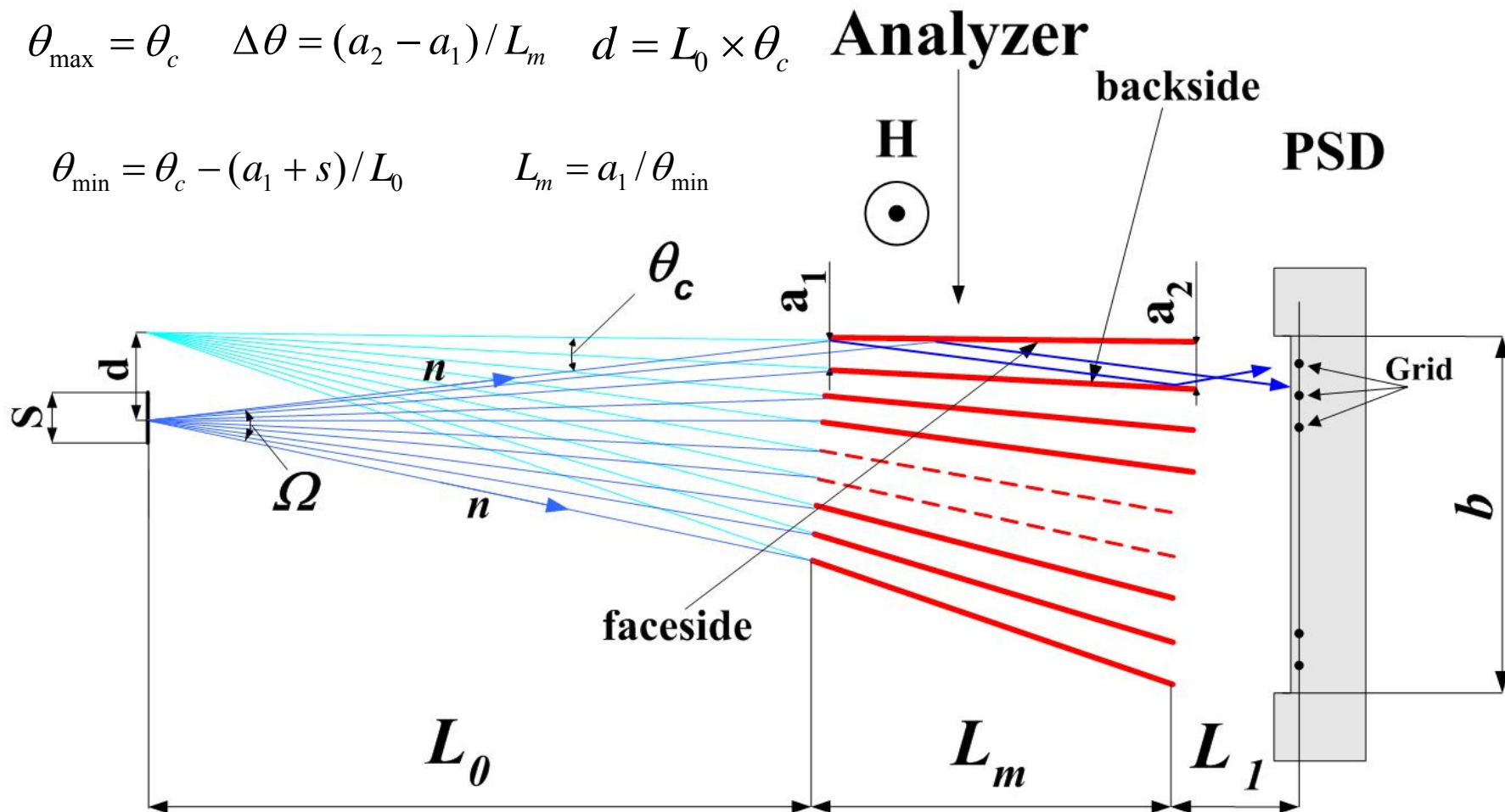
# D7 - Diffuse Scattering Spectrometer (ILL, Grenoble)



# Широкоапертурные веерные суперзеркальные нейтронные анализаторы ПИЯФ

$$\theta_{\max} = \theta_c \quad \Delta\theta = (a_2 - a_1) / L_m \quad d = L_0 \times \theta_c$$

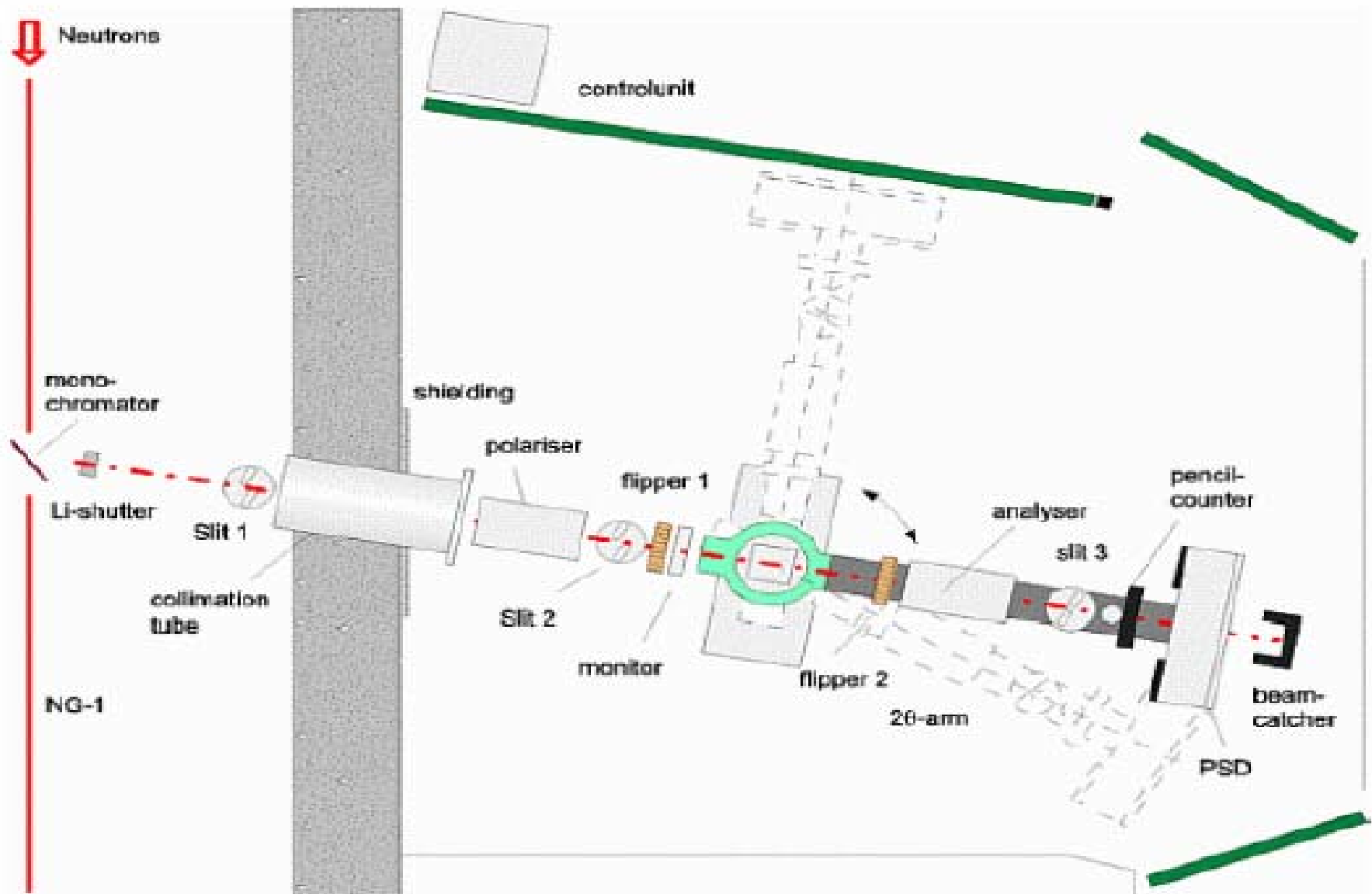
$$\theta_{\min} = \theta_c - (a_1 + s) / L_0 \quad L_m = a_1 / \theta_{\min}$$



# PNPI wide angle fan-type neutron supermirror analyzer of polarization.

*V.G. Syromyatnikov et al.*

A wide angle fan-type neutron supermirror analyzer of polarization is presented. The analyzer has been made in PNPI (Gatchina, Russia) for the neutron reflectometer NeRo in GKSS (Geesthacht, Germany). The analyzer is installed in front of the two coordinate position-sensitive detector with sensitive area  $250 \times 250 \text{ mm}^2$ . The neutron wavelength is 4.35 Å.



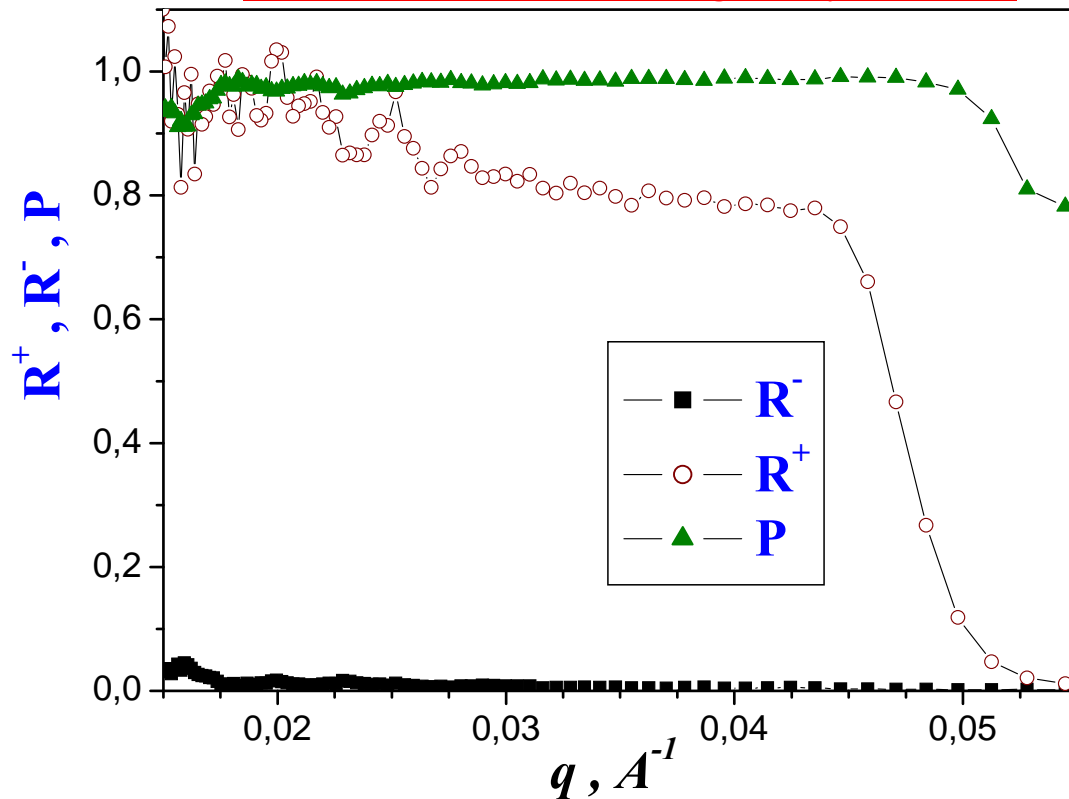
**Fig.** Scheme of neutron reflectometer NeRo (view from above).

Для вычисления параметров канала анализатора  
использовались следующие формулы:

$$\theta_{\max} = \theta_c \quad \Delta\theta = (a_2 - a_1) / L_m \quad d = L_0 \times \theta_c$$

$$\theta_{\min} = \theta_c - (a_1 + s) / L_0 \quad L_m = a_1 / \theta_{\min}$$

PNPI polarizing supermirror CoFeV/TiZr (m=2)  
with antireflective absorbing sublayer TiZrGd



## Parameters of Analyzer:

$\theta_c = 14.4 \text{ mrad}$  – reflecting angle,

$L_0 = 1550 \text{ mm}$  – distance from sample position to the exit of Analyzer,

$L_m = 195 \text{ mm}$  – length of supermirrors,

$a_m = 1.47 \text{ mm}$  – width of the supermirror channel at the entrance of Analyzer,

$h = 90 \text{ mm}$  – height of the supermirror channels,

$b = 180 \text{ mm}$  – width of analyzing area at the exit of Analyzer,

$N = 90$  – number of supermirror channels in Analyzer,

$H = 300 \text{ Oe}$  – strength of magnetized field,

$St = 1.7 \text{ mm}$  – width of the supermirror channel at the exit of Analyzer,

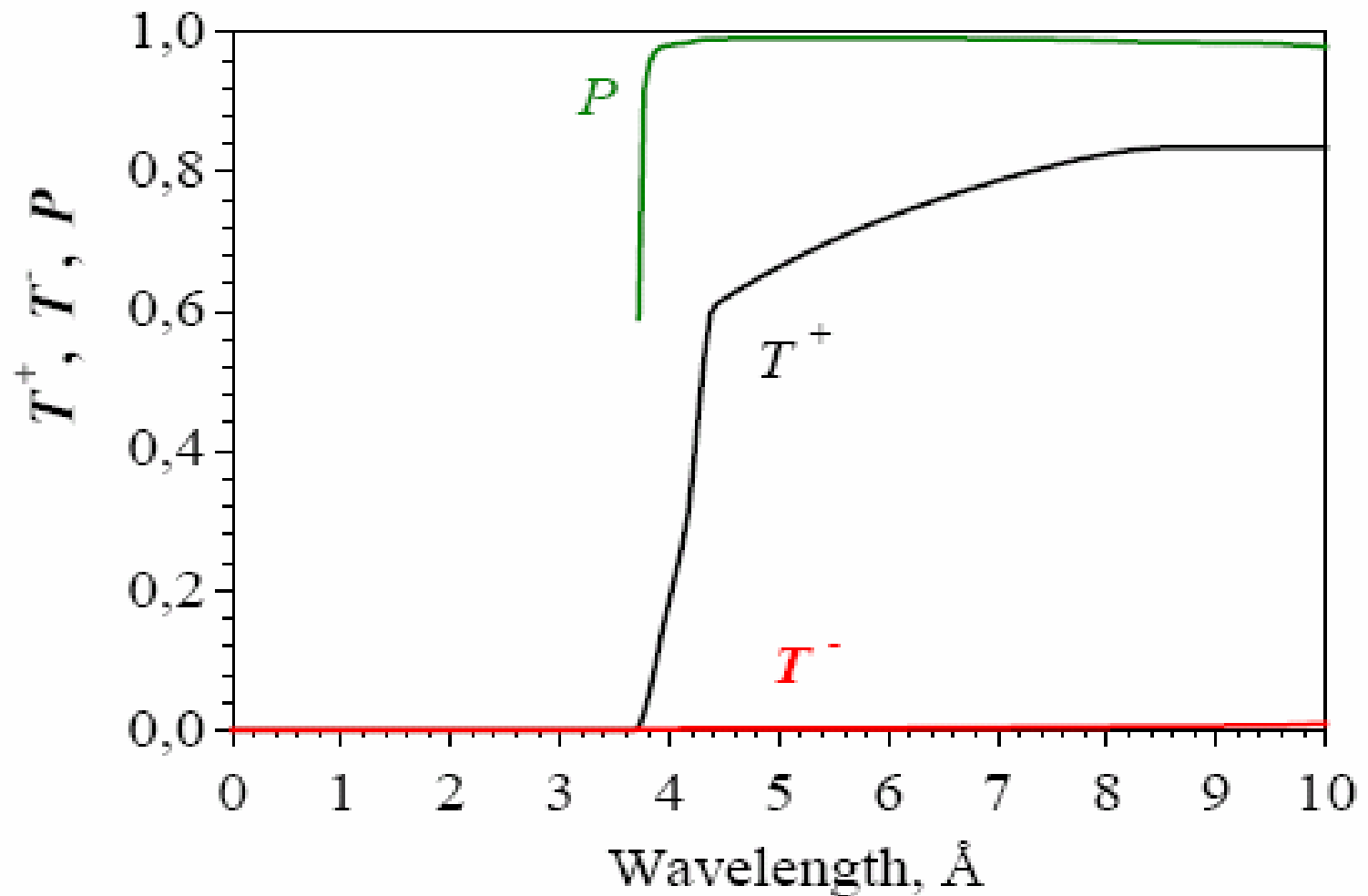
$d = 19.4 \text{ mm}$  – displacement of sample relatively of focus of Analyzer,

$T_g = 0.83$  - geometrical factor of transmittance,

$\Omega = 6.08$  degree - complete acceptance angle of Analyzer.

**The entrance cross-section of Analyzer is  $90 \times 160 \text{ mm}^2$ .**



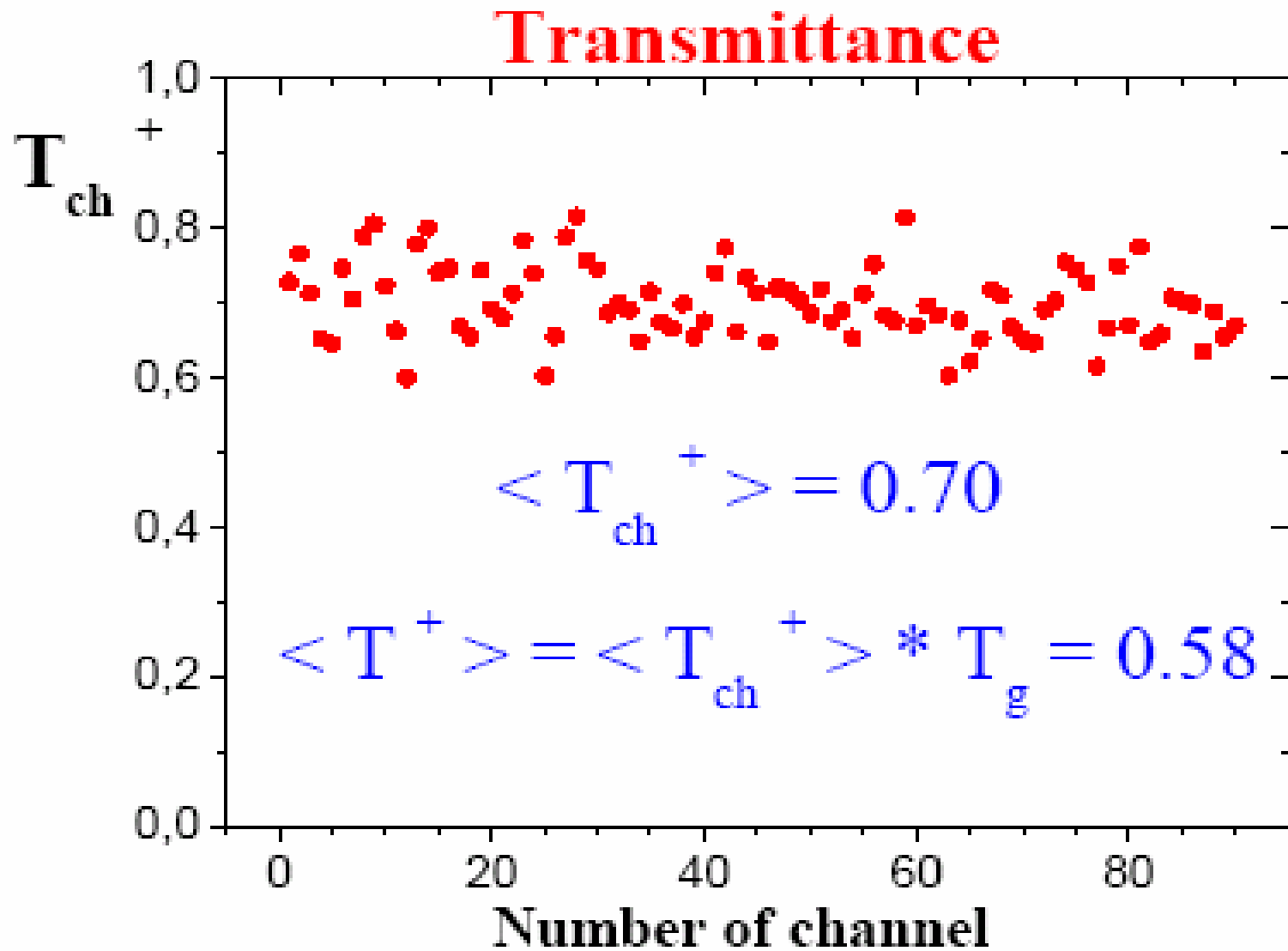


**Fig.3.** The calculated transmittance for both spin components of the beam and polarizing efficiency of single channel of the multi channel Analyzer as a functions of neutron wavelength.

The calculated transmittance is  $T^+ = 0.60$  for  $\lambda = 4.35 \text{ \AA}$ .

The calculated polarizing efficiency is  $P = 0.99$  for  $\lambda = 4.35 \text{ \AA}$ .





**Fig.4.** The measured transmittance for one spin component of the beam for each channel of Analyzer.

## Polarizing efficiency

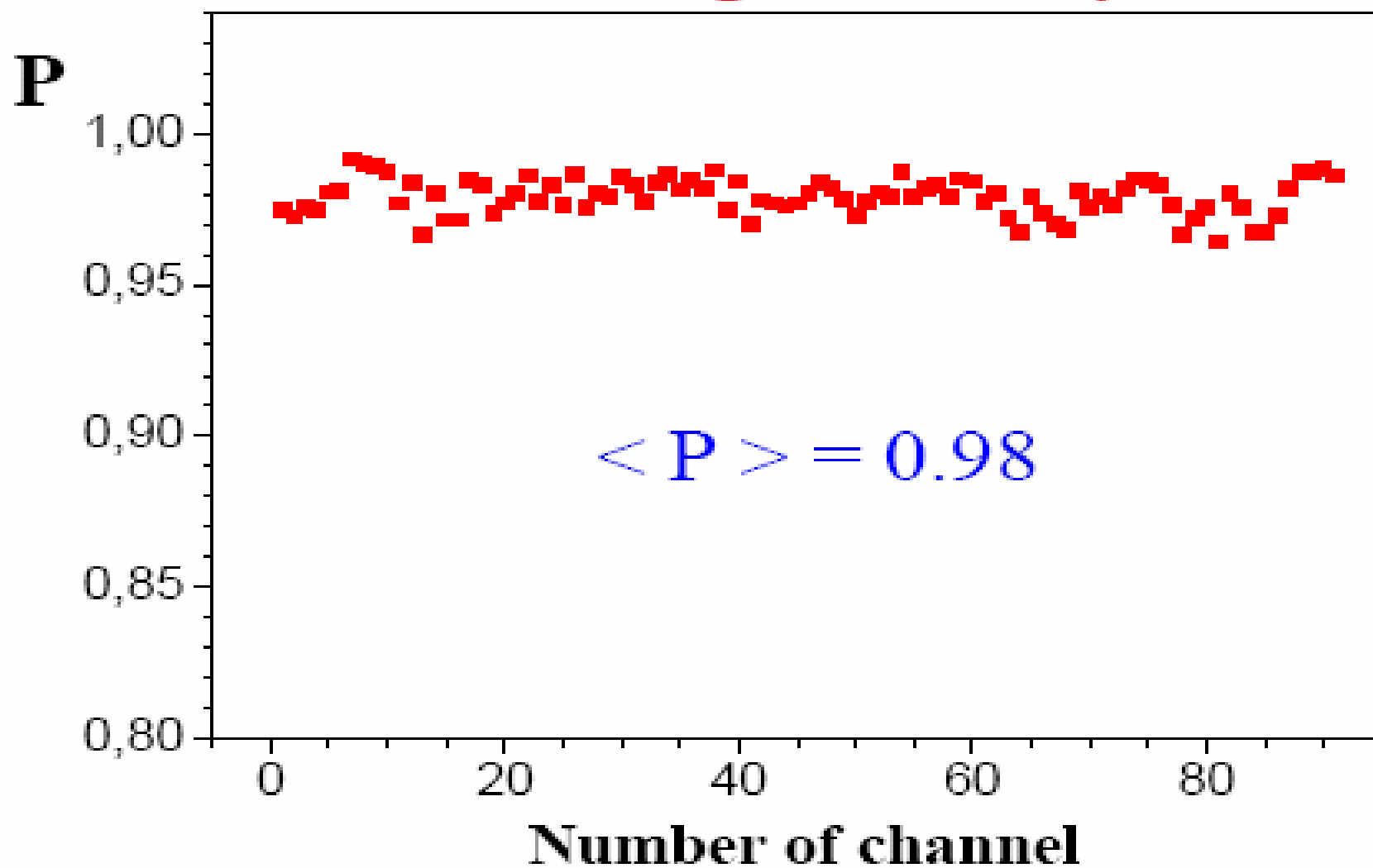
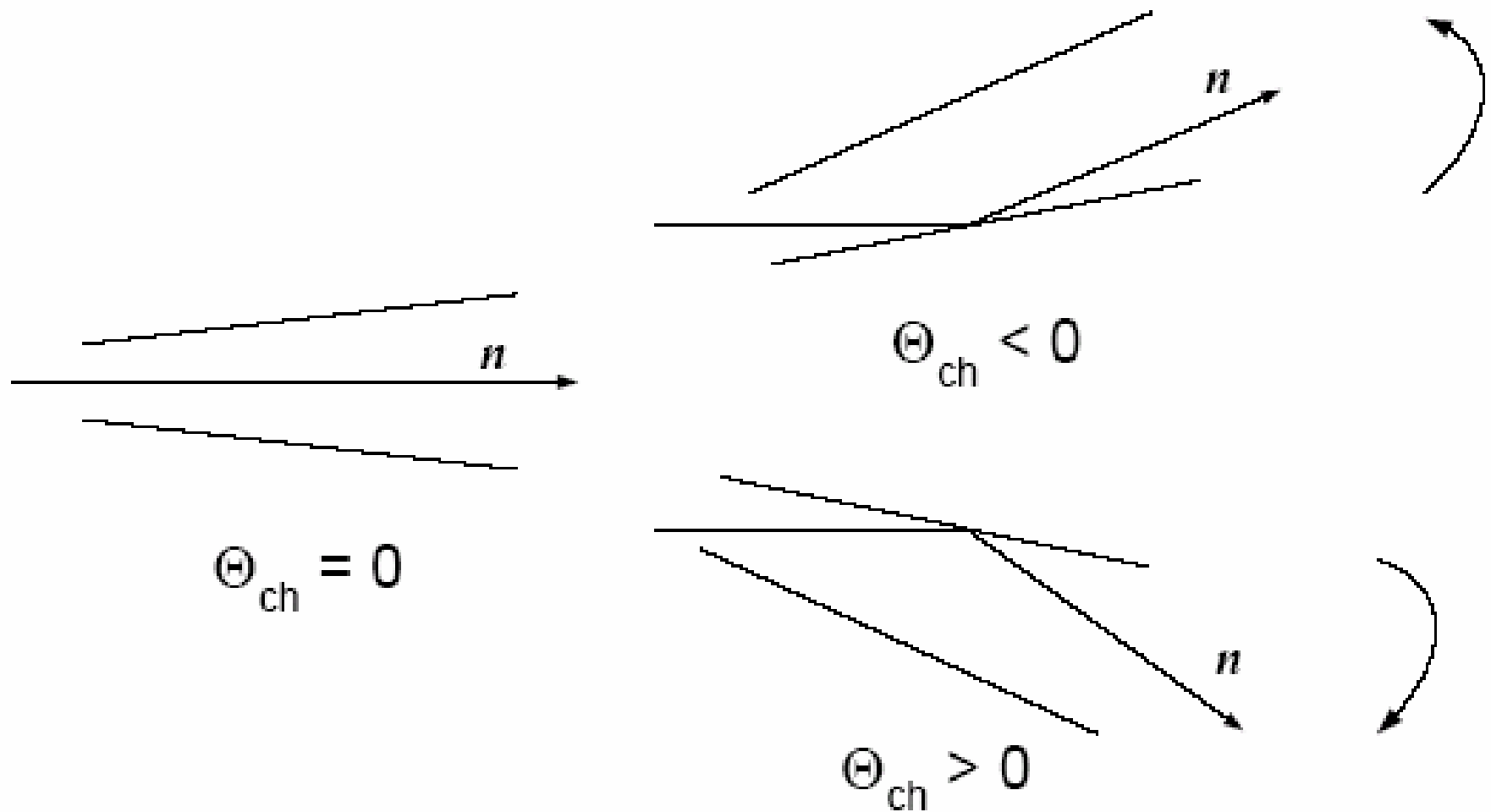


Fig.5. The measured polarizing efficiency (uncorrected for incident beam polarization and flipper efficiency) for each channel of Analyzer.

## Rotation of the channel of the Analyzer



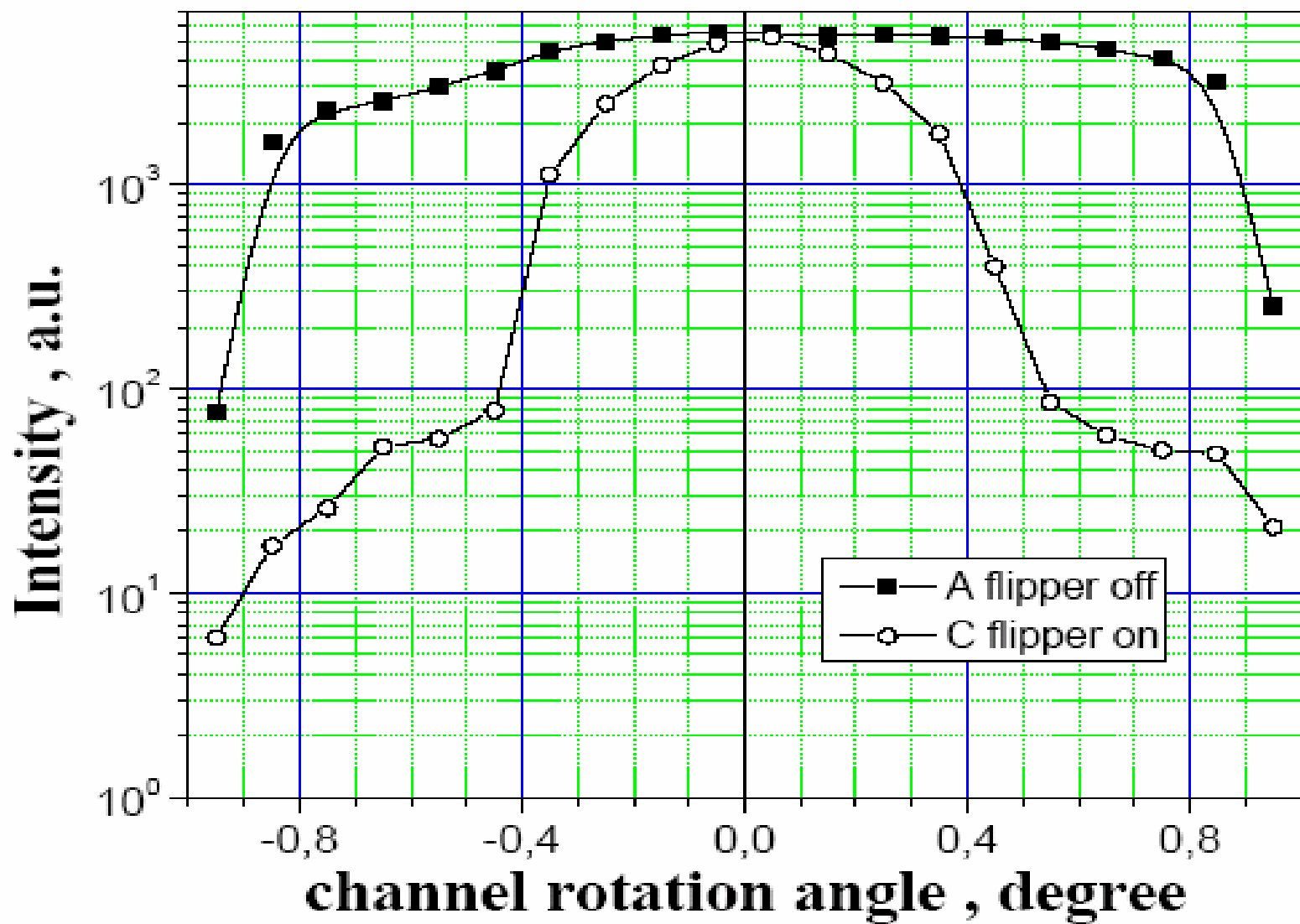


Fig.7. Scan by the channel rotation angle of Analyzer.

# The first off-specular measurements with Analyzer at reflectometer NeRo.

Dr. Th. Saerbeck et al. (Australia). August, 19<sup>th</sup>, 2009.

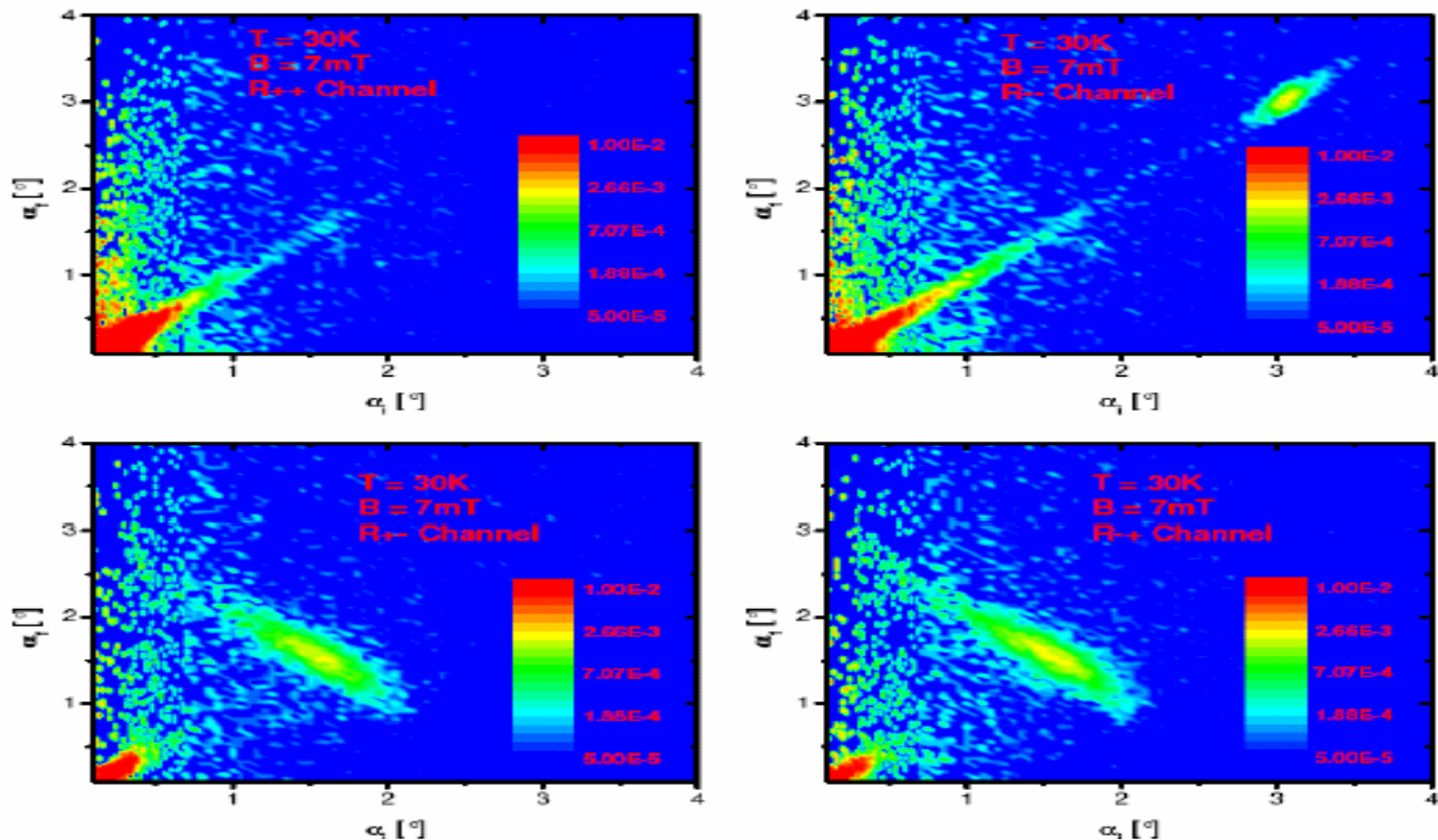


Fig.6. Off-specular reflectivity profile of [Co(21A)/CuMn(19A)] multilayer at 30 K with  $B = 7$  mT external field, recorded in all 4 reflectivity channels.

# Верный нейтронный анализатор для *Magnetism Reflectometer (ORNL, USA)*

$$\lambda = 2.5 - 8 \text{ \AA}$$

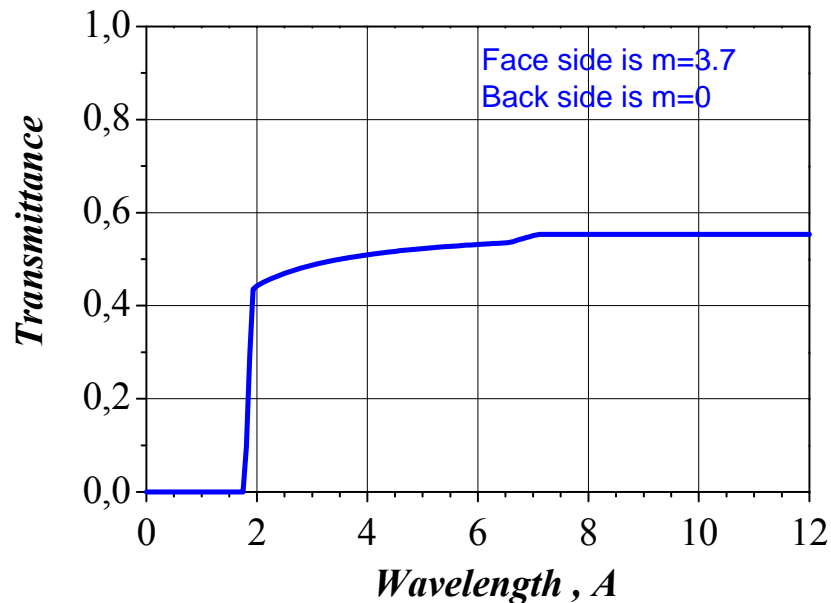
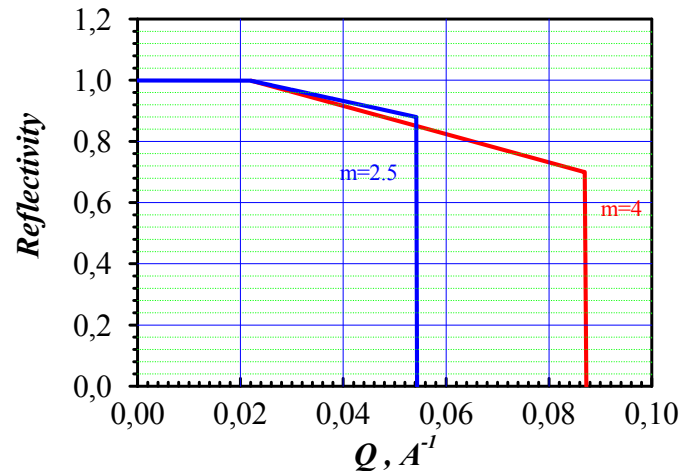
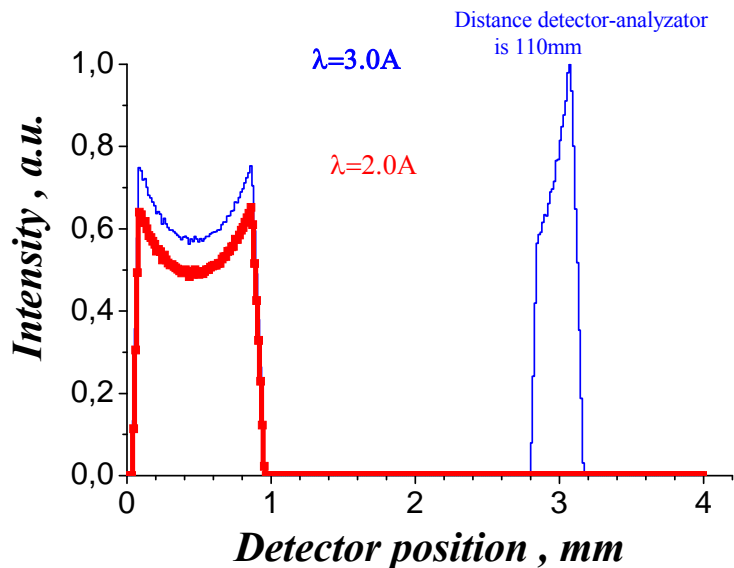
Поляризующее *Fe/Si* суперзеркальное покрытие

*SwissNeutronics*:

*face side*  $m_1 = 4.0$ , *back side*  $m_2 = 2.5$

Перемешивание пучков соседних каналов!

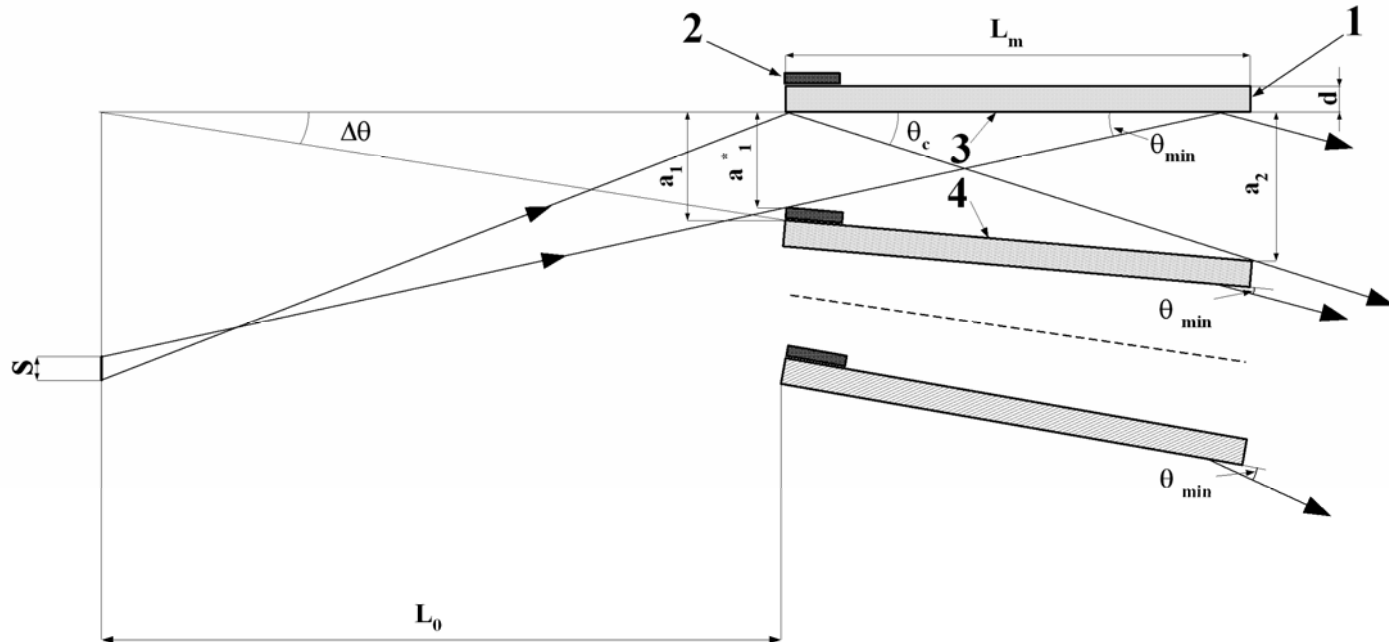
Требуется «зачернить» *backside*.



# Верный нейтронный анализатор с поглощающей нейтроны маской на входе

В.Г. Сыромятников

Здесь нет перемешивания пучков соседних каналов!



Для вычисления параметров канала анализатора с маской  
использовались следующие формулы:

$$a_2 = L_m \cdot \theta_c \quad a_1 = L_m \cdot (\theta_c - d / L_0) / (1 + L_m / L_0)$$

$$\Delta\theta = (a_2 - a_1) / L_m \quad a_{11} = L_{m2} \cdot (\theta_c - s / L_0) / (1 + L_{m2} / L_0) \quad L_{m2} < L_m$$

$$\theta_{c \min} = a_{11} / L_{m2} \quad \Delta a = a_1 - a_{11} \quad \gamma = a_{11} / (a_1 + d)$$

**Параметры канала анализатора с поглощающей нейтроны маской следующие:**

Длина суперзеркала -  $L_m = 100$  мм,

покрытие: *face side* -  $m_1 = 3.7$ , *back side*  $m_2 = 0$ ,

расстояние от образца до входа в анализатор -  $L_0 = 2260$  мм,

максимальный угол скольжения в канале -  $\theta_c = 12.5$  мрад,

количество суперзеркал в анализаторе -  $N = 159$ ,

толщина стеклянной подложки суперзеркала -  $d = 0.4$  мм,

ширина пучка, перекрываемая образцом -  $s = 2$  мм,

ширина канала на выходе -  $a_2 = 1.25$  мм,

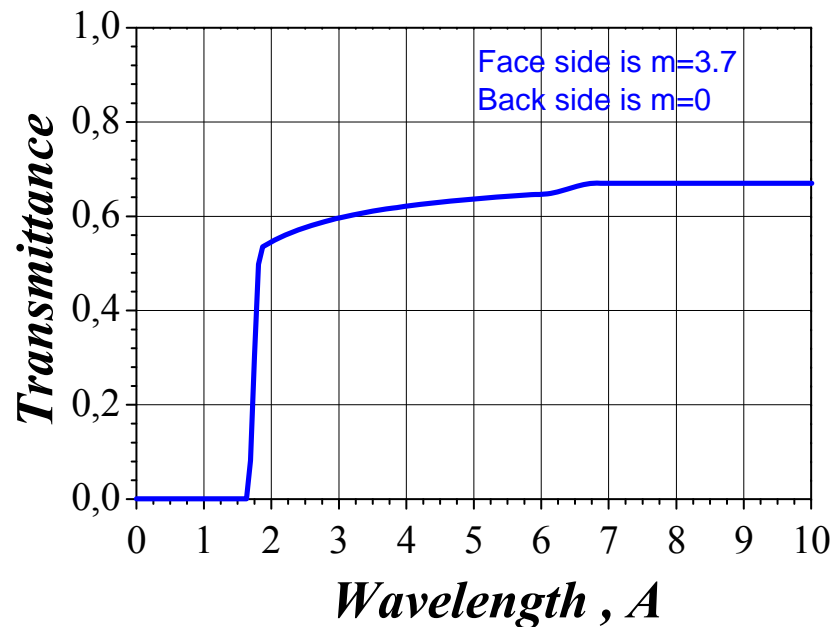
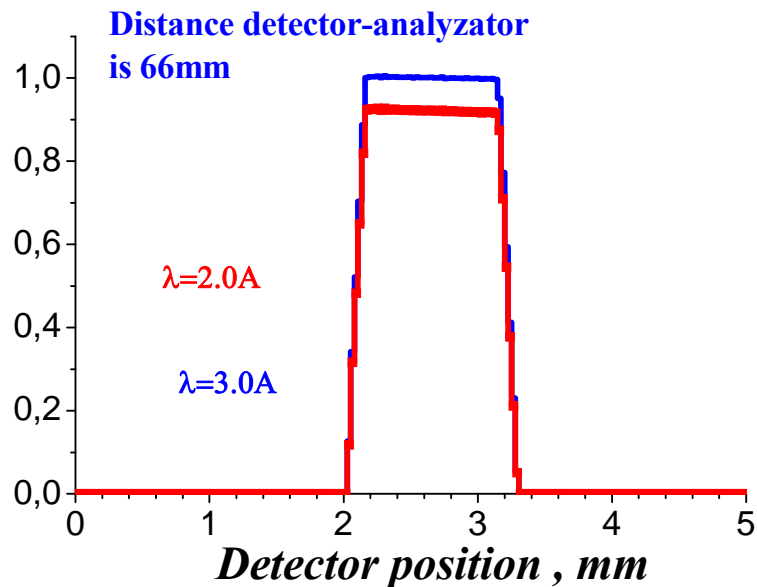
ширина канала на входе по прокладке -  $a_1 = 1.180$  мм,

фактическая ширина канала на входе с учетом маски -  $a_{11} = 1.059$  мм.

2 – Маска на входе анализатора. Это полоска лавсана толщиной 5-10 мкм с нанесенным на нее покрытием на основе гадолия. Общая толщина полоски  $\Delta a = 0.121$  мм, ее ширина – 15 мм, ее длина равна 120 мм - высоте зеркального канала анализатора. Такая полоска-маска наклеивается (устанавливается) на вход каждого канала анализатора.



*Intensity, a.u.*

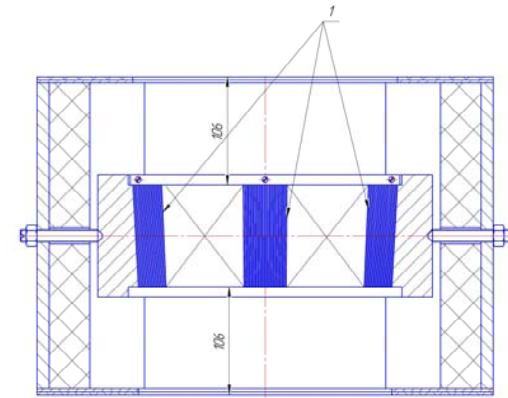
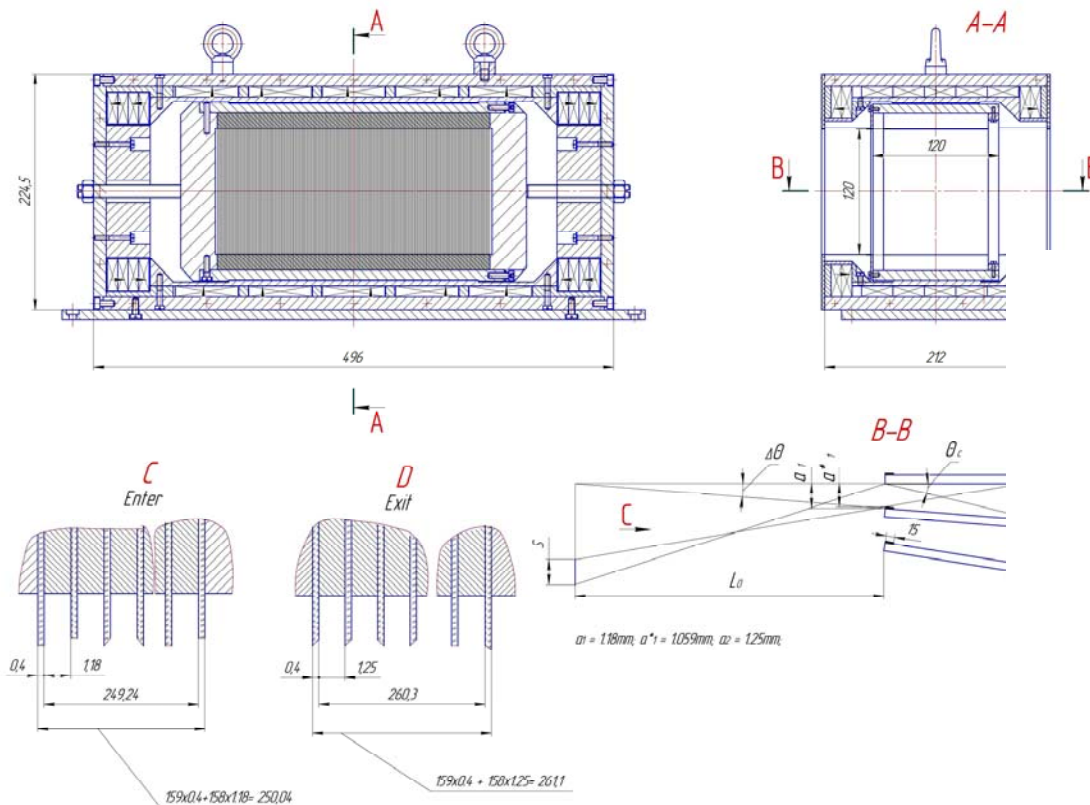
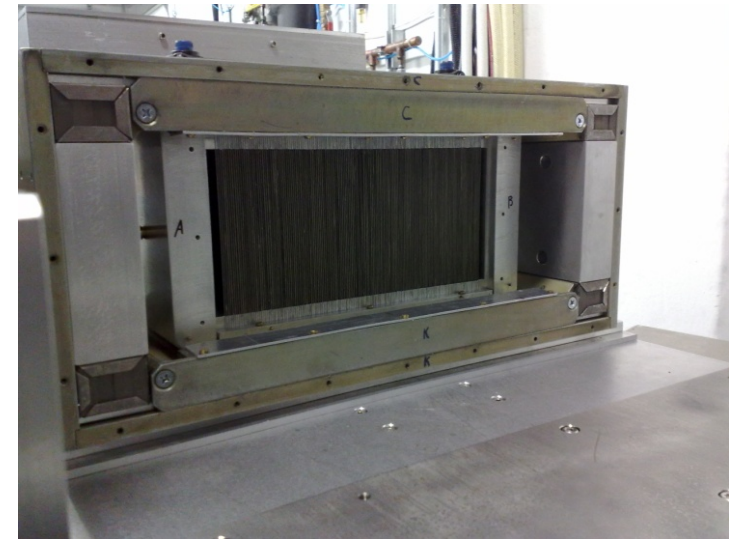


Вариант веерного анализатора с поглощающей нейтроны маской на входе существенно предпочтительнее традиционного варианта веерного анализатора в связи с тем что:

1. Пропускание нейтронного потока выше во всем диапазоне используемых длин волн. Так, в области насыщения пропускание потока для анализатора с маской выше, чем для стандартного веерного анализатора на 22%.
2. Для анализа нейтронного пучка одного сечения в анализаторе с маской требуется меньшее (на 16%) количество поляризующих суперзеркал, по сравнению со стандартным веерным анализатором.

**Широкоапертурный веерный  
нейтронный анализатор поляризации  
с поглощающей маской на входе  
для Magnetism Reflectometer (ORNL,  
USA).**

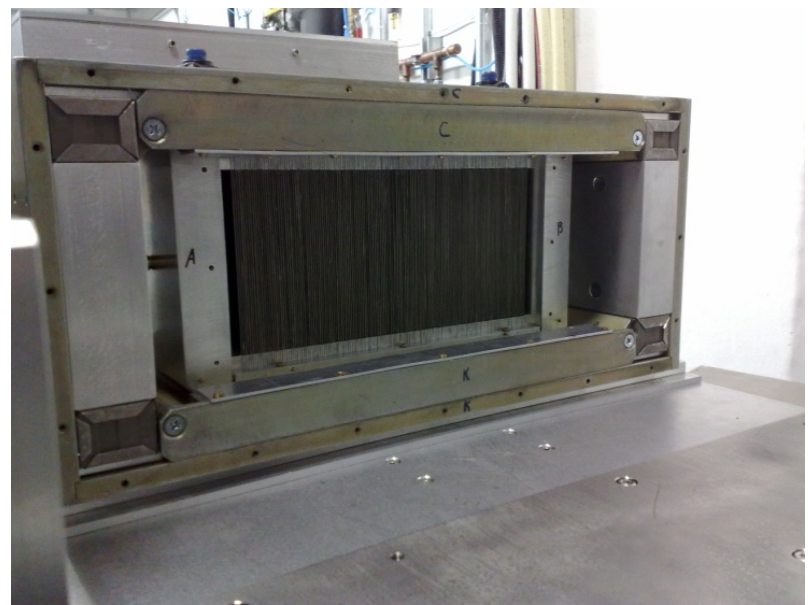
*V.G.Syromyatnikov et al.*



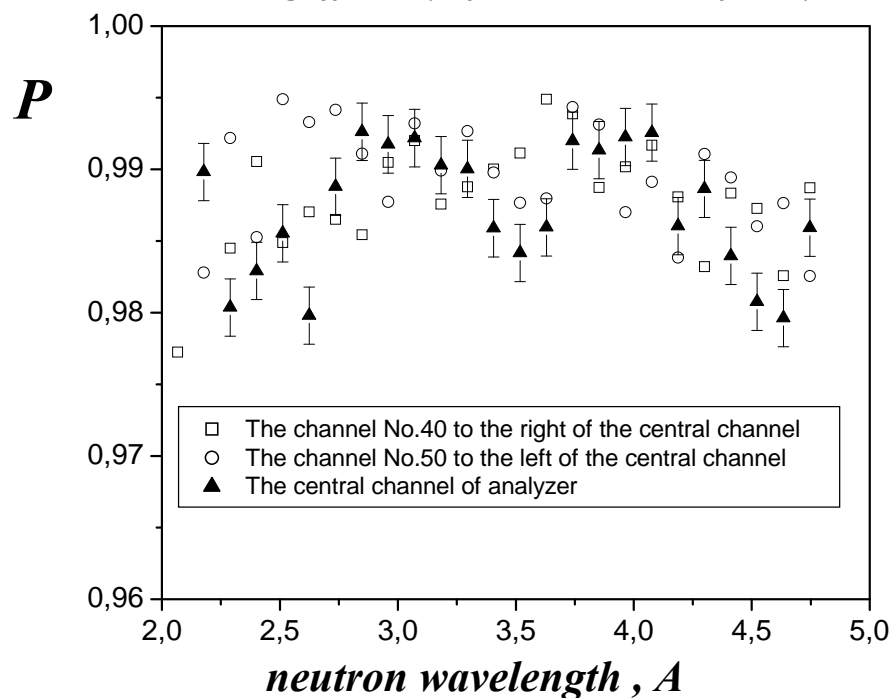
**Широкоапертурный верный нейтронный анализатор поляризации с маской на входе для Magnetism Reflectometer (ORNL, USA).**

*V.G.Syromyatnikov et al.*

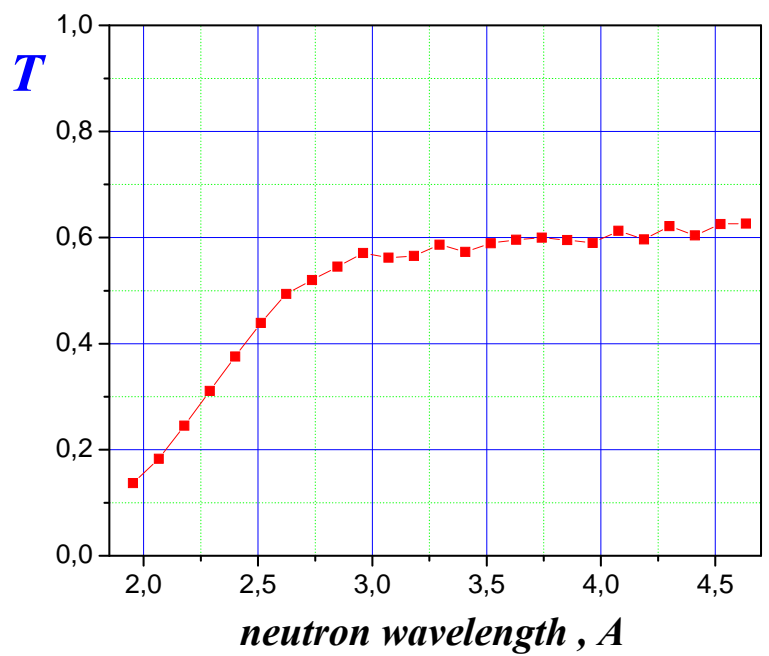
**Первые измерения с анализатором на Magnetism Reflectometer**



*Polarizing efficiency of three channels of analyzer*



*Transmission via the central channel of analyzer*



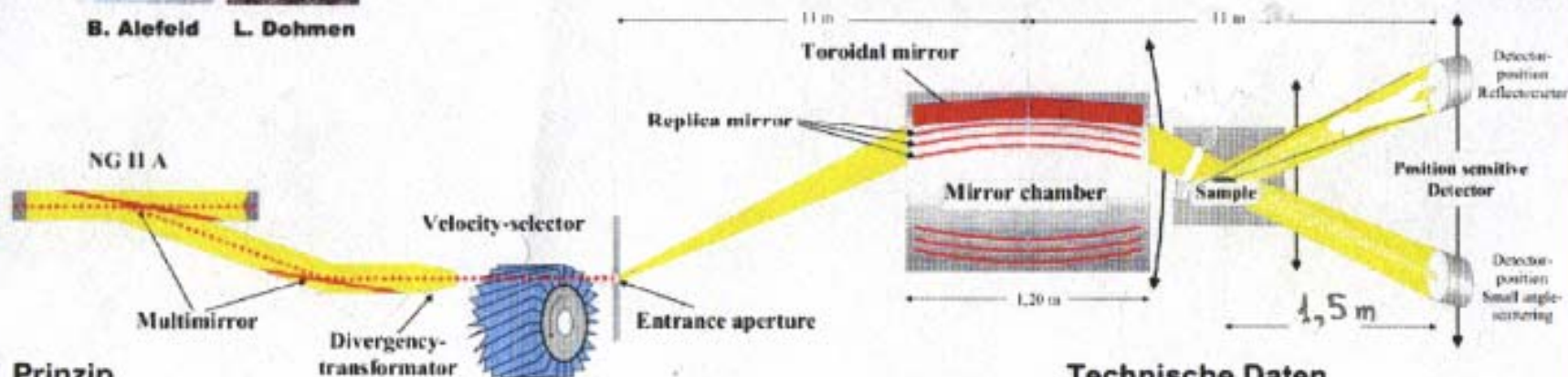


B. Alefeld L. Dohmen

# Hochauflösendes Reflektometer und Kleinwinkelstreuanlage mit fokussierendem Spiegel (KWS 3)



Institut für Streumethoden



## Prinzip

- Mit gekrümmten Toroid- und Ellipsoidspiegeln
- Probe hinter der Spiegelkammer in Reflexion oder Transmission
- Intensität ist proportional zur Fläche der Eintrittsblende
- Auflösung gegeben durch  $\Delta Q = k \cdot \lambda / L_e = k \cdot r_c / L_e$
- Besonders geeignet für gute Auflösung
- Angestrebte Auflösung:  $\Delta Q = 10^{-2} \text{ \AA}^{-1}$

**Option** Polarisierete Neutronen

## Anwendungen

- Für alle Probleme mit einer Q-Auflösung zwischen  $10^{-1} \text{ \AA}^{-1}$  und  $10^{-4} \text{ \AA}^{-1}$   
z.B. Polymere, Flüssigkeiten, dünne Schichtsysteme

## Instrumentenbeschreibung

- Neutronen werden aus NL II A durch einen Supermirror abgezweigt und vormonochromatisiert
- Geschwindigkeitselektor zur Monochromatisierung
- Einstellbare Eintrittsblende zwischen  $1 \text{ mm}^2$  und  $100 \text{ mm}^2$
- Evakuierte Flugwege zwischen Eintrittsblende, Spiegel und Detektor
- 1:1 Abbildung der Eintrittsblende auf den Detektor durch doppeltgekrümmte Spiegel mit extrem glatt-poliereten Oberflächen
- Änderung des Q-Übertrags bei Reflexion wird durch Variation der Höhe des Spiegels erreicht
- Verwendung eines ortsauflösenden Detektors mit  $1,5 \times 1,5 \text{ mm}$  Auflösung

## Technische Daten

- Wellenlänge  $\lambda = 12,5 \pm 1,25 \text{ \AA}$  (20% FWHM)
  - Selektor: Umdrehungszahl 15000 /min
  - Spiegel:
    - 2 Toroidspiegel innerer  $\varnothing$  in der Mitte 448 mm
    - 2 Replikaspiegel innerer  $\varnothing$  in der Mitte 400 mm
    - 2 Replikaspiegel innerer  $\varnothing$  in der Mitte 357 mm
    - 2 Replikaspiegel innerer  $\varnothing$  in der Mitte 318 mm
- Die Spiegel sind konzentrisch zueinander justiert.
- Die gesamte Spiegelkammer mit 8 Spiegel kann für den Reflektometerbetrieb in der Höhe um  $\pm 0,5 \text{ m}$  verstellt werden.
- Für den KWS-Betrieb wird die Höhe nicht verstellt.
- Die Spiegel stehen mit der reflektierenden Ebene horizontal und werden von unten angestrahlt, um die Gravitationsverbreiterung zu minimieren (Monte Carlo-Rechnungen).

# Analyzer for neutron reflectometer KWS 3 at Juelich

## Proposal from PNPI

*A.F.Schebetov, V.G.Syromyatnikov et al.*

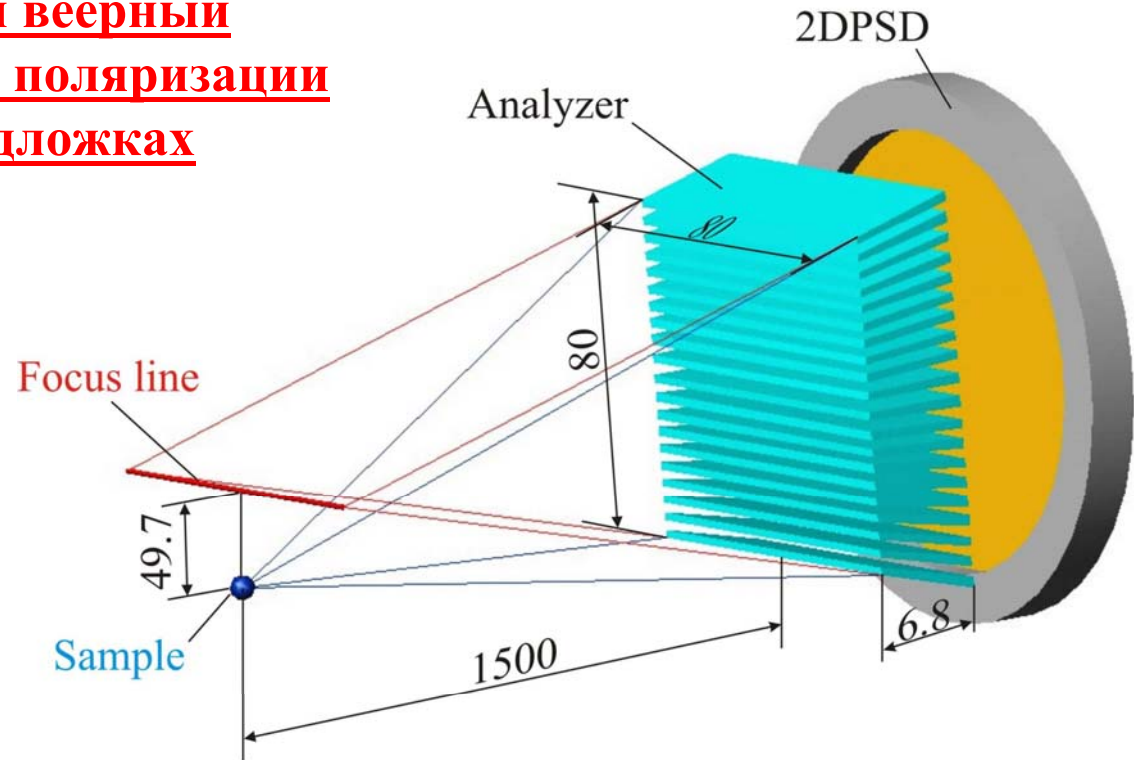
The proposed compact analyzer is placed in front of 2-coordinate position-sensitive detector (2DPSD). It is a system of microchannels with a polarizing coating that intercepts a beam of cross section  $80 \times 80 \text{ mm}^2$ . In Fig.1 is given a general view of the analyzer and its position with respect to the sample. Neutrons scattered by the sample are incident at the channel walls at averaged glancing angle  $33 \text{ mrad}$ . It provides the effective transmission of neutrons of required wavelengths  $\lambda = 12.5 \pm 1.25 \text{ \AA}$ . The length and the width of the channels exclude the direct view of the detector from any point of the sample. The channels of this analyzer are formed by the CoFe/TiZr supermirror with an antireflective absorbing TiZrGd layer on the silicon substrate with sizes  $0.2 \times 6.8 \times 80 \text{ mm}^3$ . Thus, the walls of a microchannel are parallel and, in the side view, have the following dimensions:

channel width -  $0.2 \text{ mm}$ ;

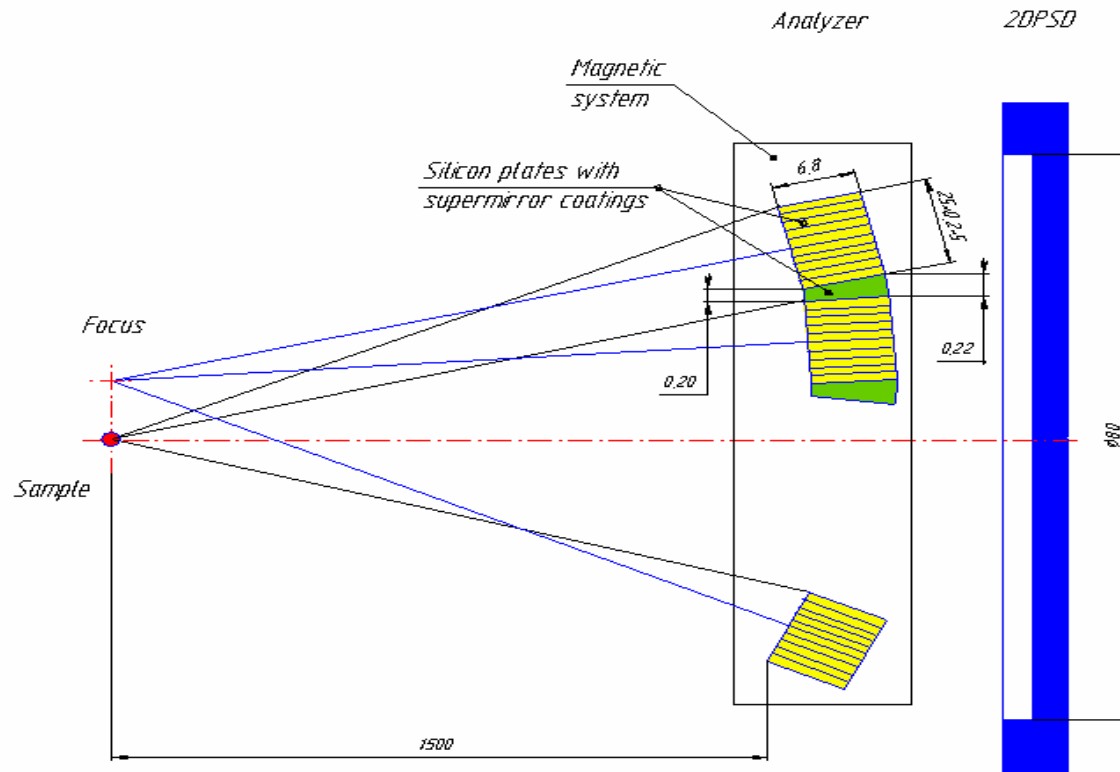
channel length -  $6.8 \text{ mm}$ .

25 glued silicon wafers with reflecting coating form a block of the analyzer with height  $5 \text{ mm}$ . The lowermost wafer of the block has a wedge, which provides the direction of the blocks into one point with parallel channels under assembling of the analyzer from 16 blocks. In Fig.2 are represented the details of the analyzer.

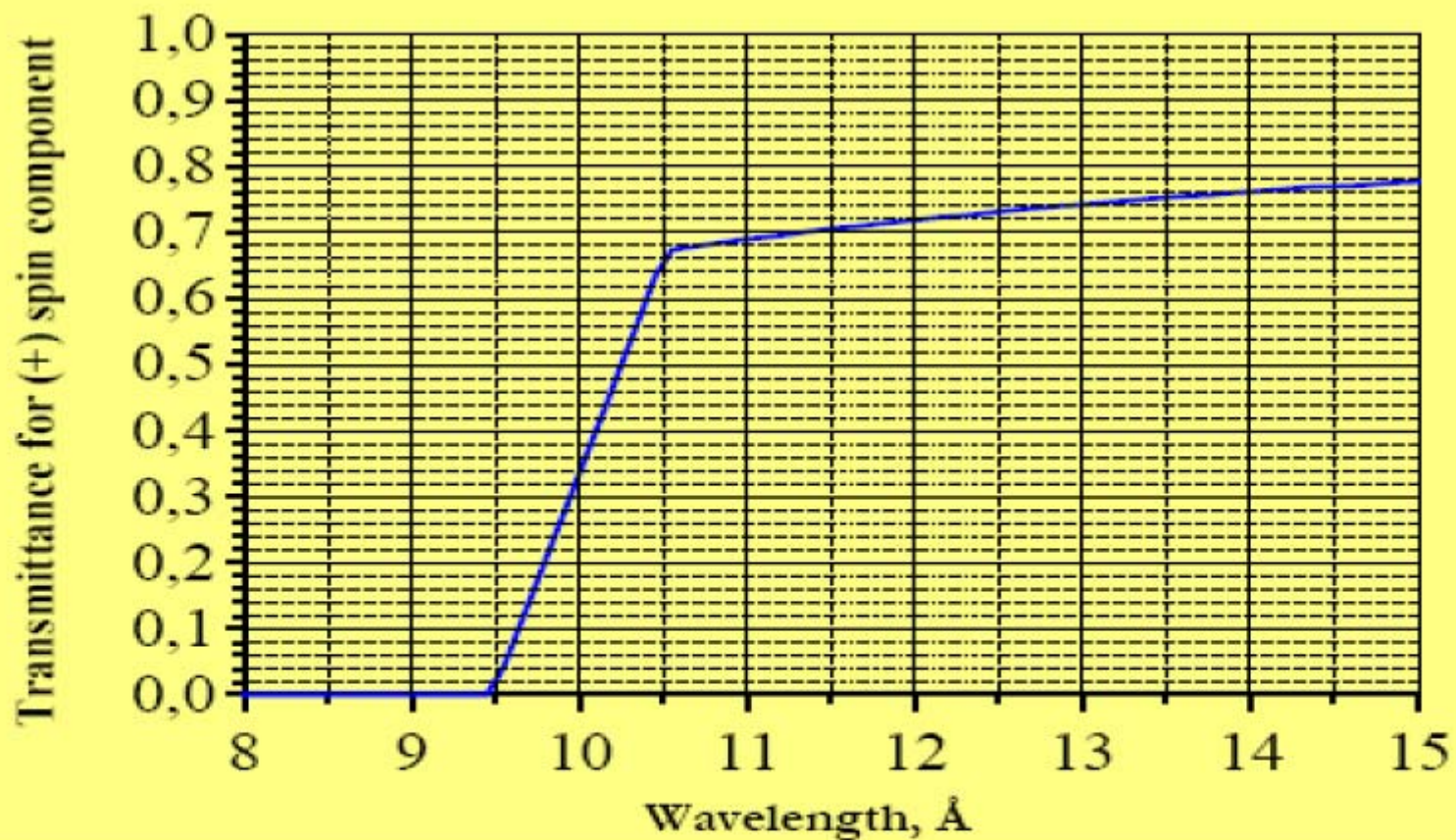
**Широкоапертурный веерный  
нейтронный анализатор поляризации  
на кремниевых подложках**



The proposed compact analyzer is placed in front of 2-coordinate position-sensitive detector (2DPSD). It is a system of microchannels with a polarizing coating that intercepts a beam of cross section  $80 \times 80 \text{ mm}^2$ . The range of required wavelengths is  $\lambda = 12.5 \pm 1.25 \text{ \AA}$ . The length and the width of the channels exclude the direct view of the detector from any point of the sample. The channels of this analyzer are formed by the CoFe/TiZr supermirror with an antireflective absorbing TiZrGd layer on the silicon substrate with sizes  $0.2 \times 6.8 \times 80 \text{ mm}^3$ .



The walls of a microchannel are parallel and, in the side view, have the following dimensions: channel width - 0.2 mm; channel length - 6.8 mm. 25 glued silicon wafers with reflecting coating form a block of the analyzer with height 5 mm. The lowermost wafer of the block has a wedge, which provides the direction of the blocks into one point with parallel channels under assembling of the analyzer from 16 blocks. The analyzer provides transmission near 73 %. The analyzing efficiency of the proposed device in the required range of wavelengths will be no worse than 98%.



**Fig.3.** The calculated transmittance as a function of wavelength for neutrons with the (+) spin component .

The analyzing efficiency of the proposed device in the required range of wavelengths will be no worse than 98%.