



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

Сыромятников Владислав Генрихович

Лекция №6. Нейтроноводы.

$$I \sim \frac{1}{r^2}$$

Проблемы при работе с нейтронными пучками на реакторе:

$$I \sim \frac{1}{r^2}$$

**Ослабление потока нейтронов при удалении
от активной зоны**

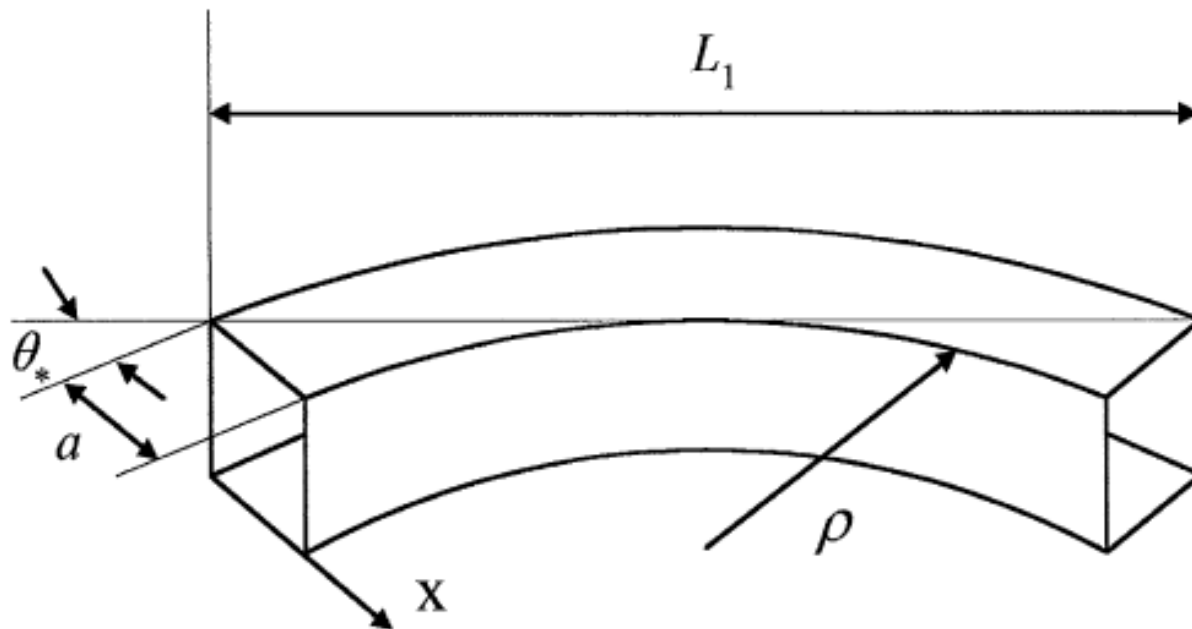
Фон быстрых нейтронов и гамма-квантов.

Нейтронороды.

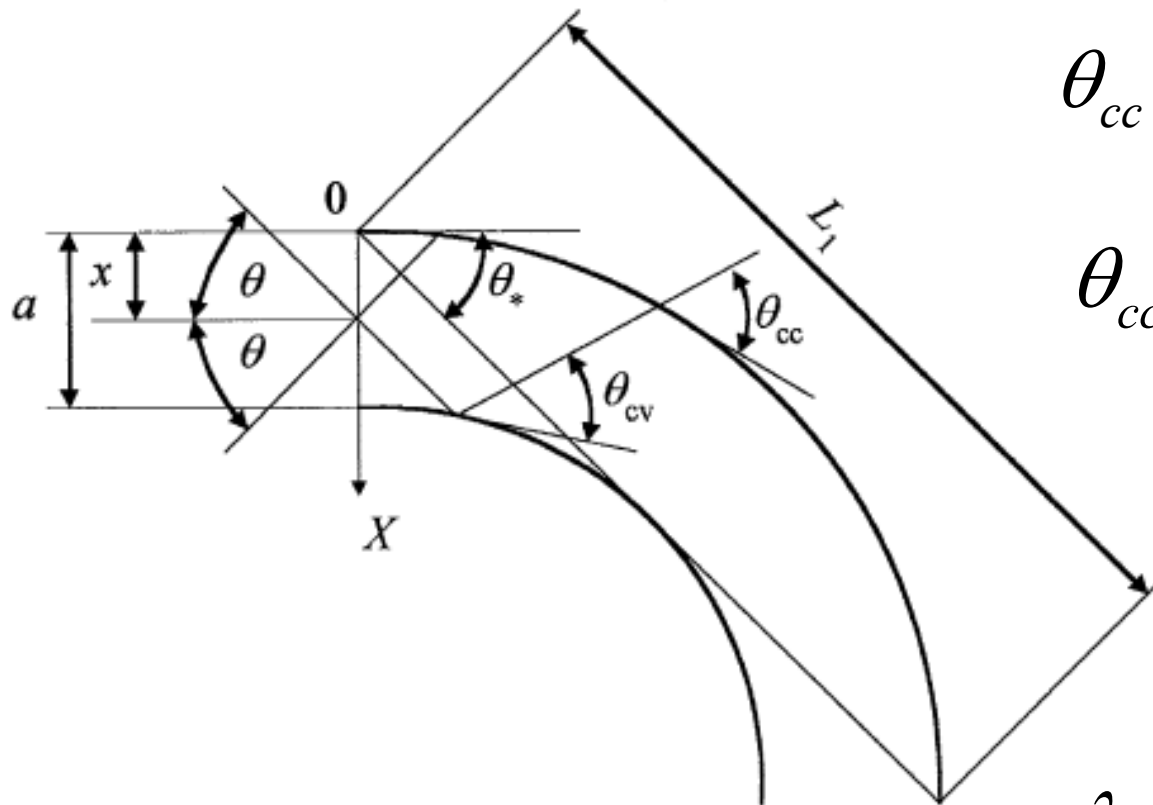
Транспортировка потока нейтронов от активной зоны до установки.

Уменьшение фона быстрых нейтронов и гамма-квантов.

Н. Maier-Leibnitz, T. Springer (1963).



$$\rho \sim 1 \div 3 \text{ км}$$



$$\theta_{cc} \geq \theta_{cv}$$

$$\theta_{cc} \leq \alpha \cdot \lambda$$

θ_* - характерный угол

λ_* - характерная длина волны

$$a = \frac{L_1 \cdot \theta_*}{4}$$

$$\lambda_* = \frac{\theta_*}{\alpha}$$

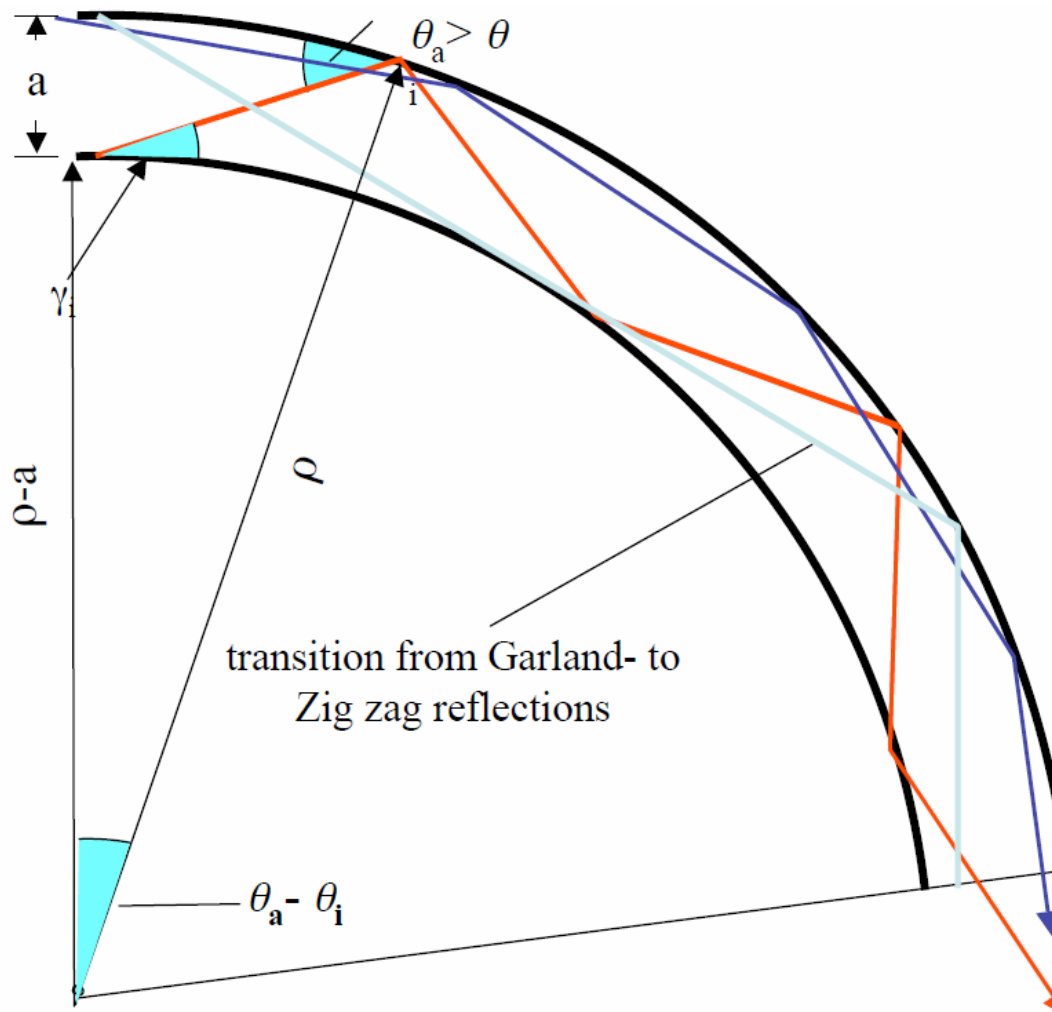
$$\rho = \frac{L_1}{2\theta_*} = \frac{L_1^2}{8a}$$

$$\theta_* = \sqrt{\frac{2a}{\rho}}$$

$$\theta_{cc} = \theta_* \sqrt{(\theta / \theta_*)^2 + x / a}$$

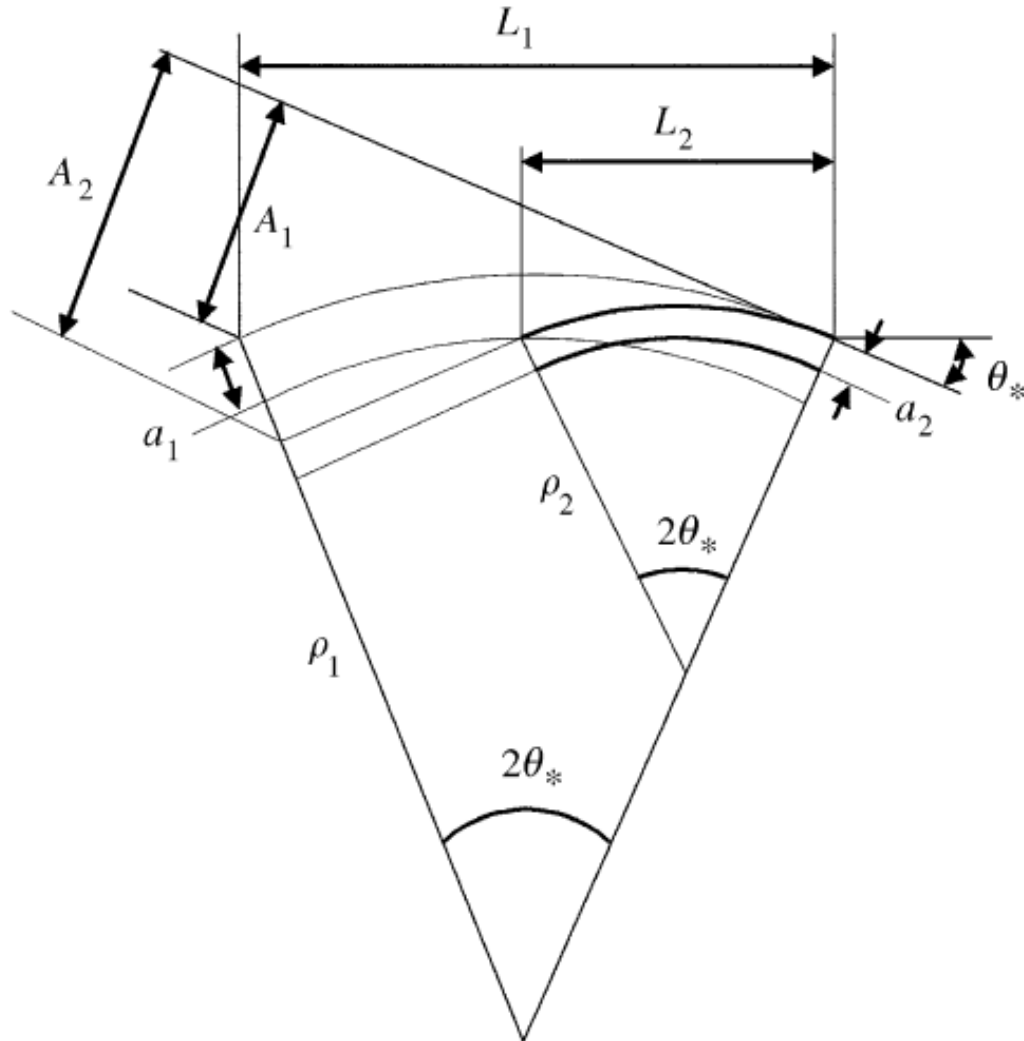
$$\theta_{cv} = \theta_* \sqrt{(\theta / \theta_*)^2 + x / a - 1}$$

Траектории нейтронов внутри нейтроновода



Нейтронотводы с одинаковым характерным углом

θ_*



$$\frac{a_1}{a_2} = \frac{L_1}{L_2} = \frac{\rho_1}{\rho_2}$$

$$\theta_1 = \theta_* \sqrt{(\lambda / \lambda_*)^2 - x / a}$$

$$T(\lambda, \lambda_*, D, \alpha) = I_{ex} / I_{in} = \frac{2}{aD} \int_0^a \theta dx$$

$\theta = \theta_1$ для $D/2 \geq \theta_1$ $\theta = \theta_1/2$ для $D/2 < \theta_1$ D - расходимость падающего пучка

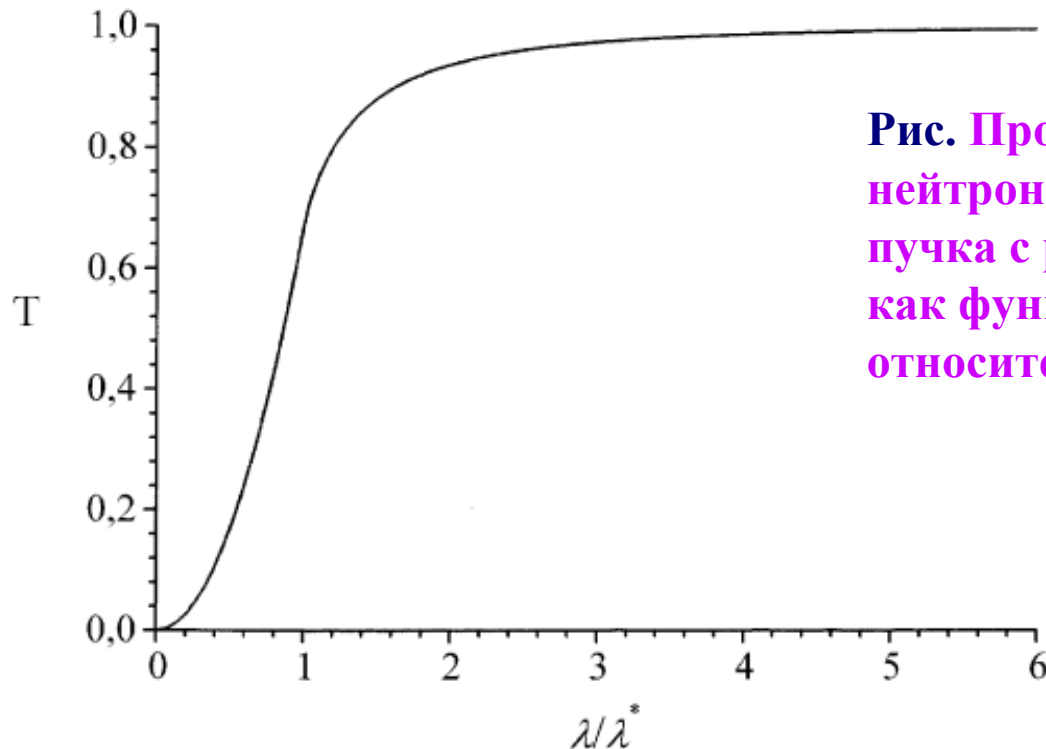
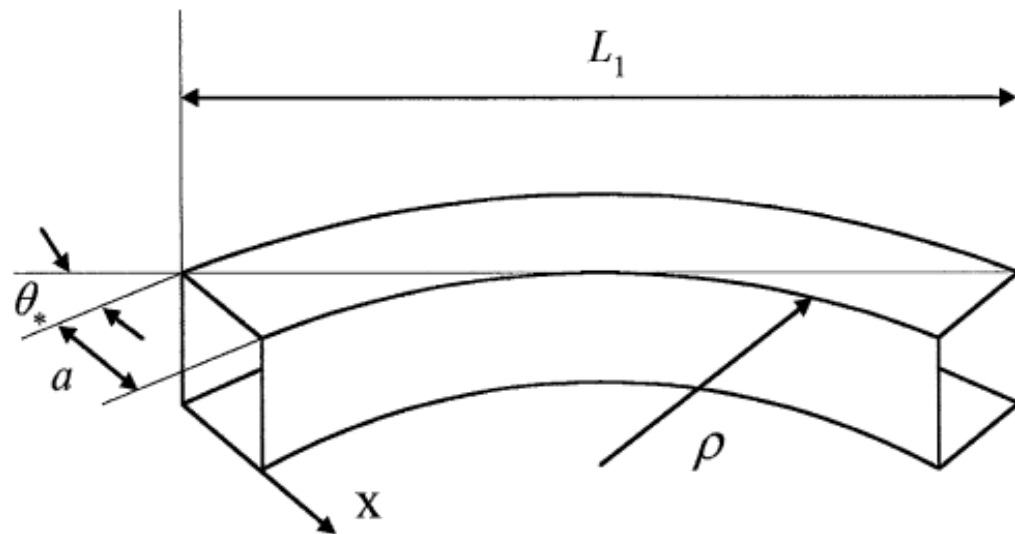
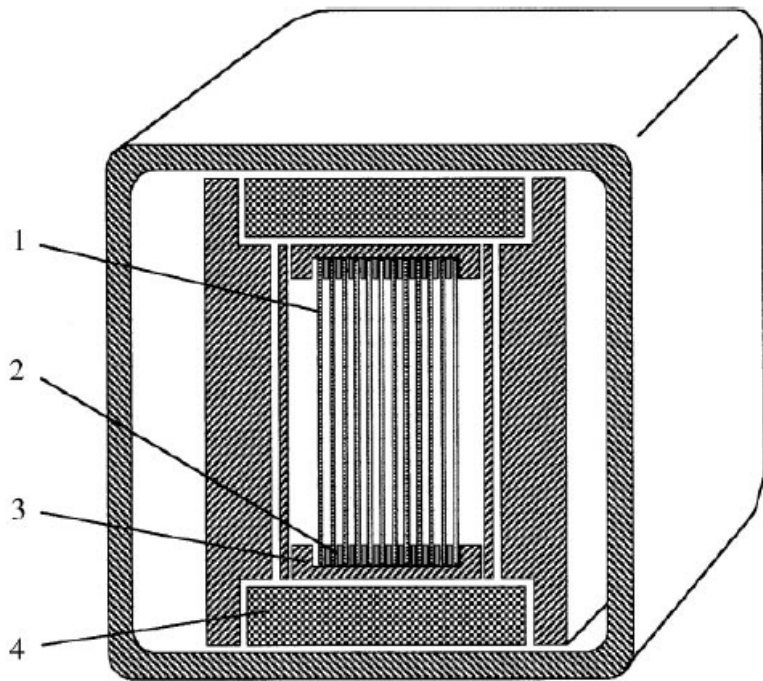


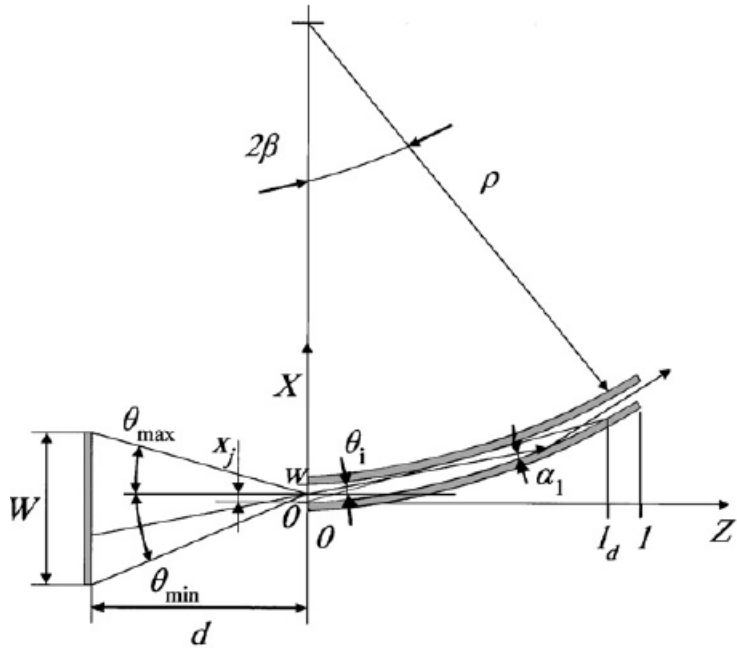
Рис. Пропускание T идеального нейтронвода для падающего пучка с расходимостью $D = 2\theta_* \cdot \lambda / \lambda^*$ как функция относительной длины волны λ / λ^*

Многоканальные нейтронотводы - бендеры



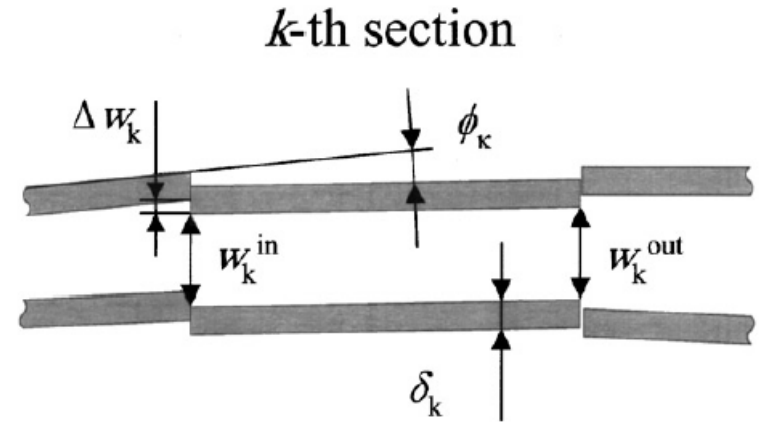
Расчет сложных нейтроноводных систем

“short section approximation” В.М. Пусенков (2002)



$$H(\lambda) = \frac{1}{W} \int_0^W \int_{\theta_{\min}(x)}^{\theta_{\max}(x)} t(\theta, x, \lambda) dx d\theta$$

$$V(\lambda) = \frac{1}{h} \int_0^h \int_{\theta_{\min}(y)}^{\theta_{\max}(y)} t(\theta, y, \lambda) dy d\theta$$



$$\Phi = \int_0^{\infty} T(\lambda) F_M(\lambda) d\lambda$$

$$F_M(\lambda) = 2F_0(\lambda_T)^4 (\lambda)^{-5} \exp(-(\lambda_T / \lambda)^2)$$

$$T(\lambda) = \frac{1}{4\pi} H(\lambda) \cdot V(\lambda)$$

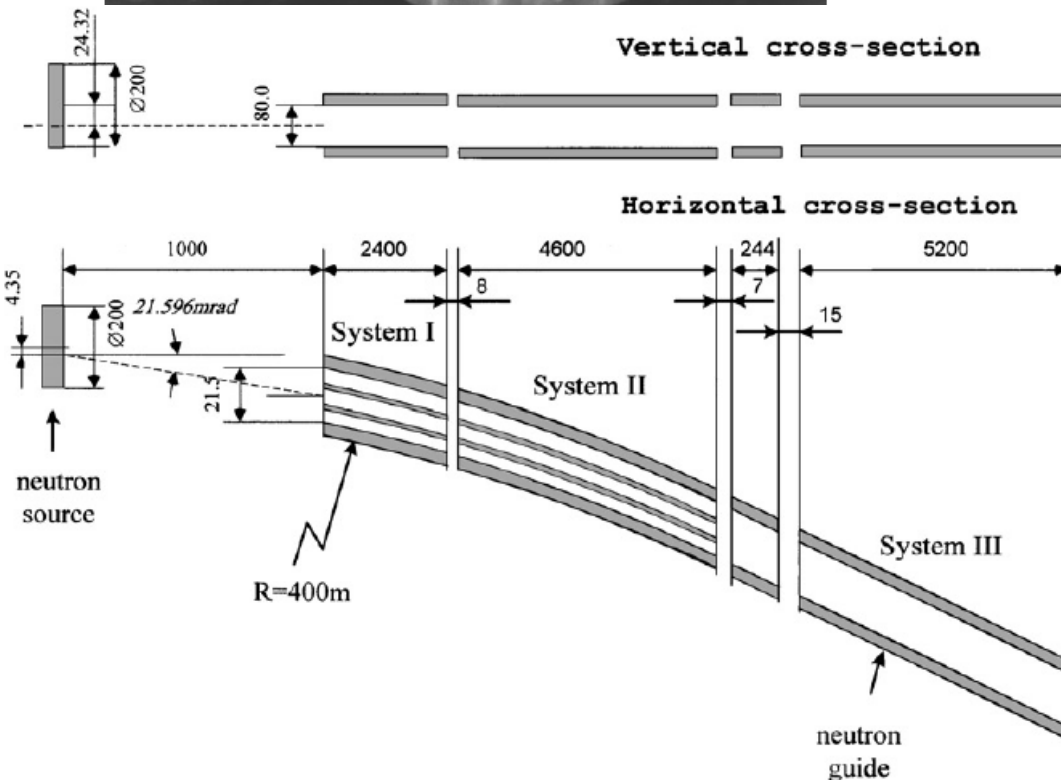
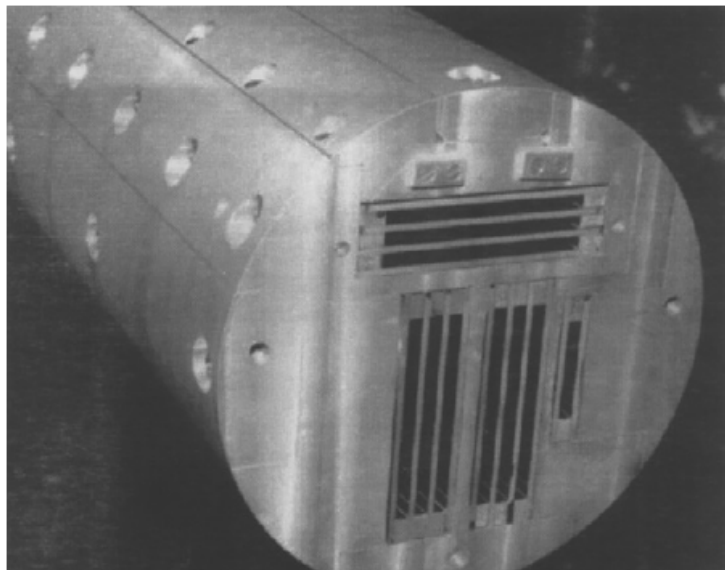


Table 1
Neutron-guide parameters

| Parameters | Large guides | Small guide |
|---|--------------|-------------|
| <i>Curved neutron guide part (systems I and II)</i> | | |
| Microchannel width (w) | 5.5 mm | 5.5 mm |
| Microchannel height (h) | 80 mm | 40 mm |
| Number of microchannels | 3 | 1 |
| Glass thickness | 2.5 mm | 2.5 mm |
| Radius (ρ) | 400 m | 400 m |
| Length (l) | 7008 mm | 7008 mm |
| Section length ^a | 400 mm | 400 mm |
| Direct view length (l_d) | 4195 mm | 4195 mm |
| Characteristic wavelength (λ^*) | 1.57 Å | 1.57 Å |
| Number of sections (S_b) | 18 | 18 |
| <i>Straight neutron guide part (system III)</i> | | |
| Microchannel width (w) | 21.5 mm | 5.5 mm |
| Microchannel height (h) | 80 mm | 40 mm |
| Number of microchannels | 1 | 1 |
| Glass thickness | 2.5 mm | 2.5 mm |
| Radius (ρ) | ∞ | ∞ |
| Length (l) | 5459 mm | 4459 mm |
| Section length ^a | 400 mm | 400 mm |
| Number of sections (S_S) | 13 | 11 |

Table 2

Calculated and measured integral fluxes at the exit of large and small guides for $F_0 = 1.4 \times 10^{13} \text{ n (cm}^2 \text{ s)}^{-1}$

| NG | Calculated intensity at the exit of System III in $10^7 \text{ n (cm}^2 \text{ s)}^{-1}$ | Measured intensity at the exit of System III in $10^7 \text{ n (cm}^2 \text{ s)}^{-1}$ |
|----------------|--|--|
| Large guide | 3.9 | 3.6 |
| Small guide | 4.0 | 3.5 |

Недостатки классических нейтроноводов:

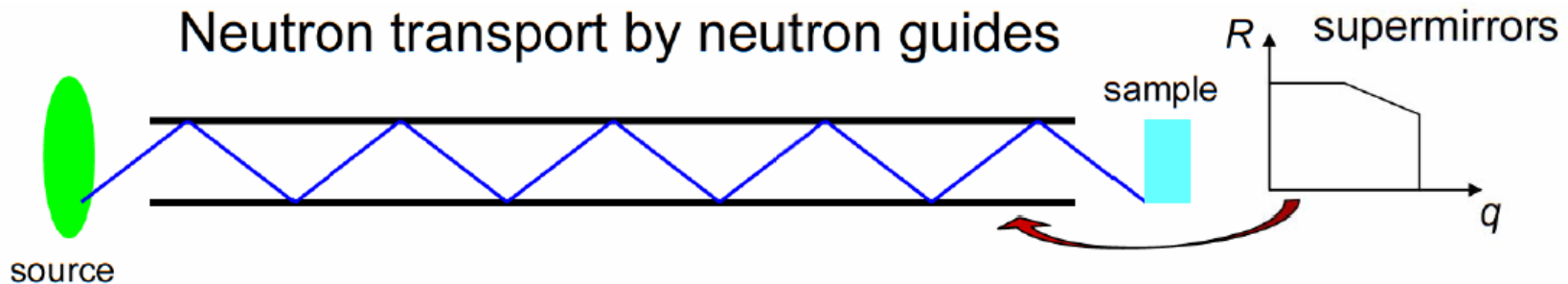
1. Неоднородное фазовое пространство,
2. Интенсивность уменьшается при удалении от выхода нейтронОВОДА.

$$V_{ph} = \alpha \cdot \beta \cdot F \cdot \delta v \quad \text{Объем фазового пространства}$$

α β - расходимости в горизонтальной и в вертикальной плоскостях,

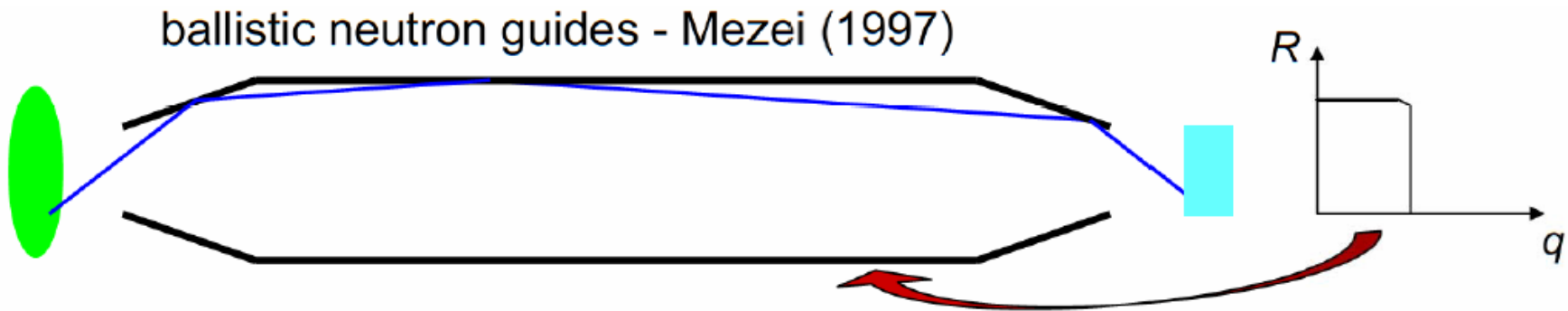
F - сечение пучка,

δv - распределение скоростей нейтронов в пучке.



Баллистические нейтронотоды.

В 1997 г. Мезей ввел концепцию баллистических нейтронотодов, т.е. систем где начальный участок линейно сужается таким образом, чтобы увеличить сечение последующего прямого нейтронотода. Окончательно нейтронный пучок концентрируется к его начальному или даже меньшему размеру с помощью линейно конически сужающейся фокусирующей секции. Таким путем потери нейтронов уменьшаются т.к. число отражений уменьшится и покрытие с меньшим m и большим коэффициентом отражения может быть использовано на большом расстоянии.



Объем фазового пространства

$$V_{ph} = \alpha \cdot \beta \cdot F \cdot \delta v$$

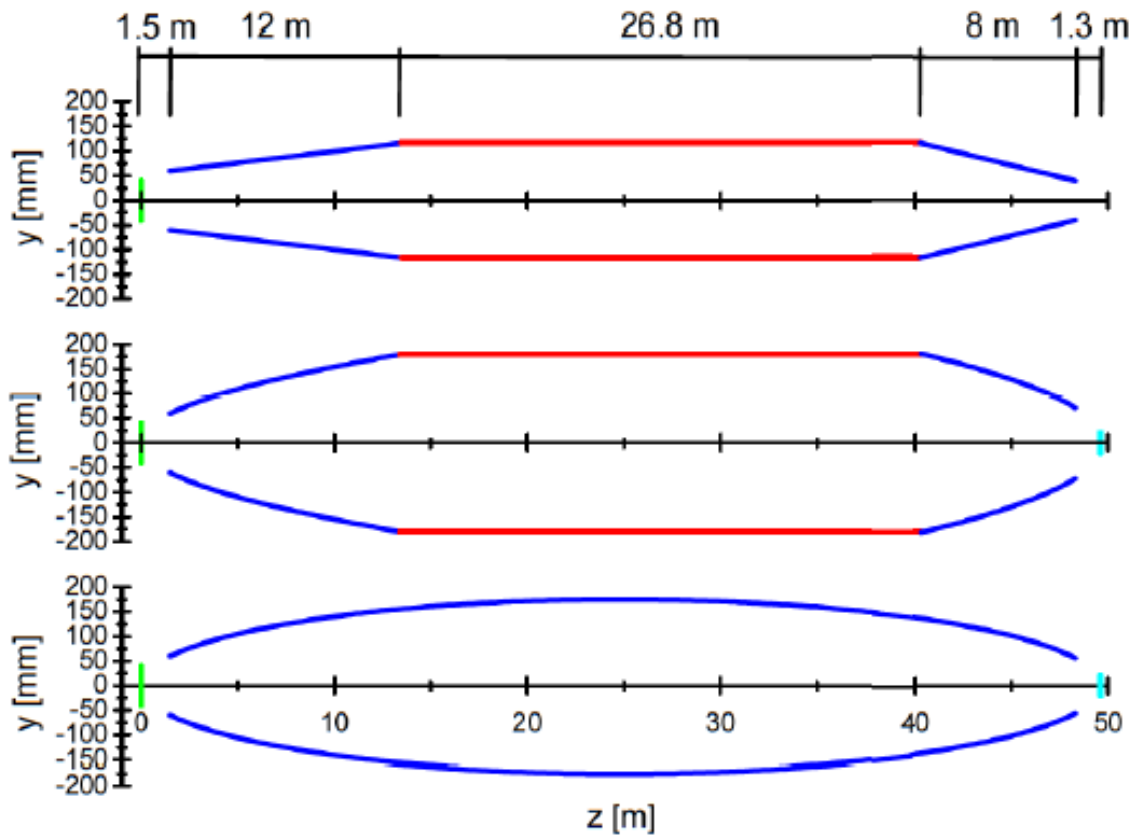
α β - расходимости в горизонтальной и в вертикальной плоскостях,

F - сечение пучка,

δv - распределение скоростей нейтронов в пучке.

Параболические и эллиптические нейтронотводы.

Schanzer, Boni (2004)



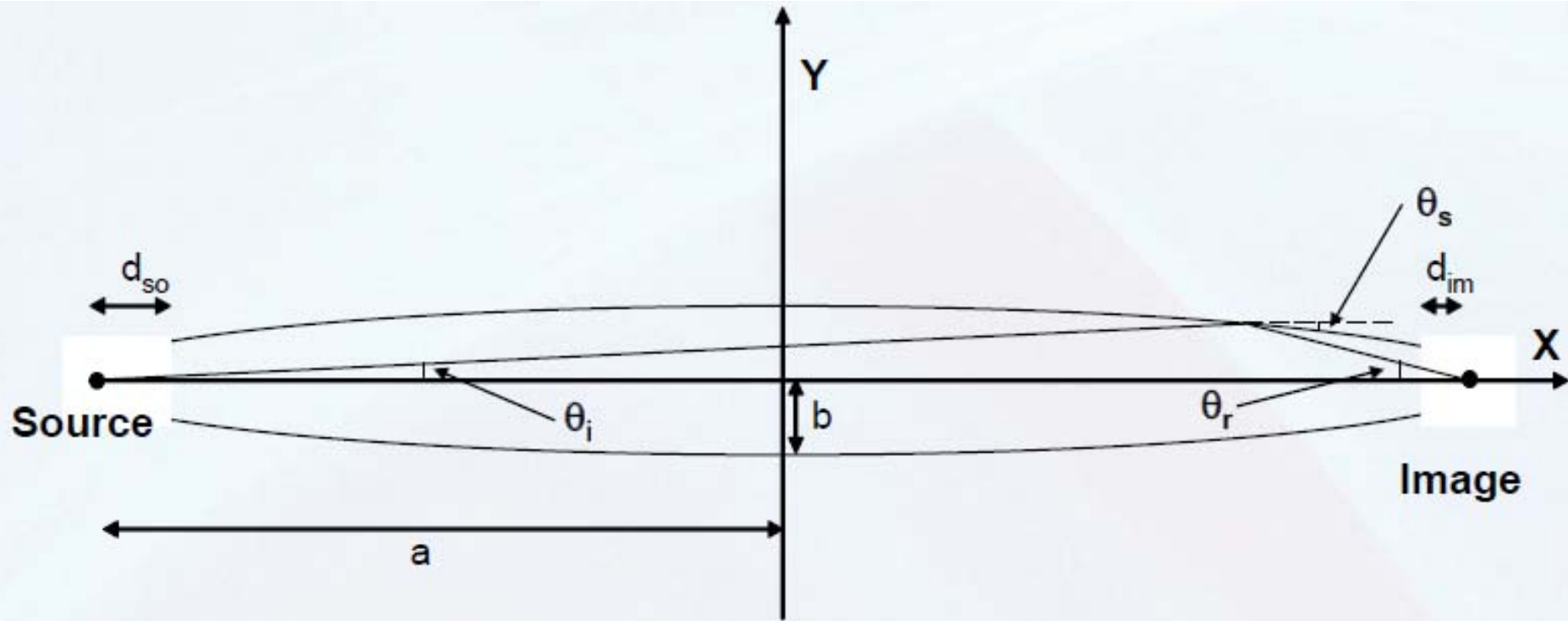
Ballistic neutron guide with linearly tapered div./conv. sections

Ballistic neutron guide with parabolic div./conv. sections

Elliptical guide

— supermirror $m = 3$ — source
— nat. Ni — focal point

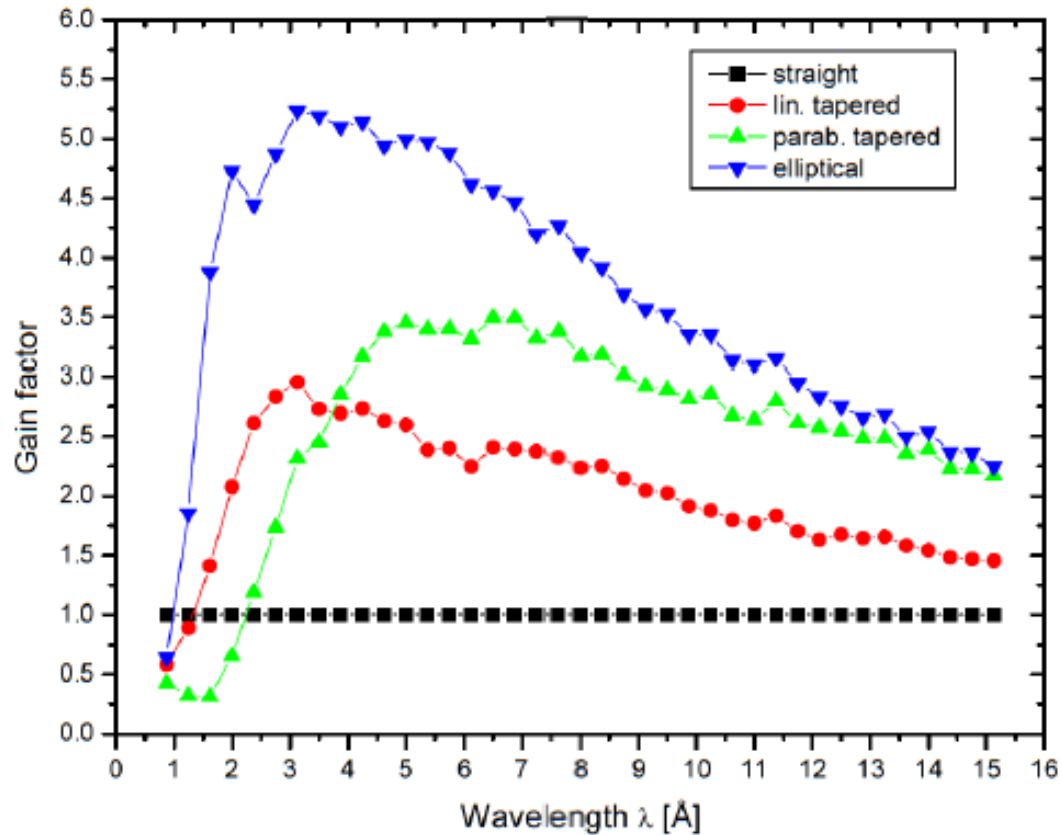
Эллиптический нейтроновод



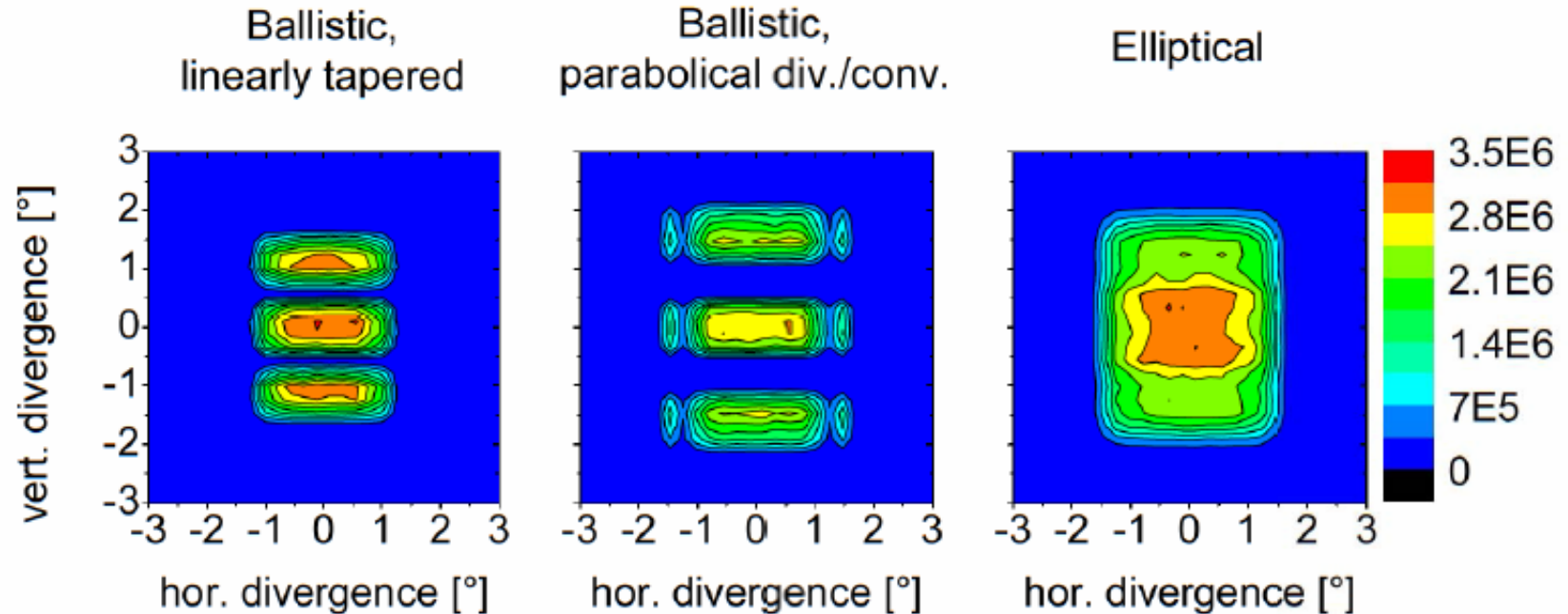
$$\theta_{r,so} = \frac{b \sqrt{1 - \frac{(d_{so} - a)^2}{a^2}}}{d_{so}} + 2 \frac{b(d_{so} - a)}{a^2 \sqrt{1 - \frac{(d_{so} - a)^2}{a^2}}}$$

$$\theta_{r,im} = \frac{b \sqrt{1 - \frac{(a - d_{im})^2}{a^2}}}{2a - d_{sa}} + 2 \frac{b(a - d_{im})}{a^2 \sqrt{1 - \frac{(a - d_{im})^2}{a^2}}}$$

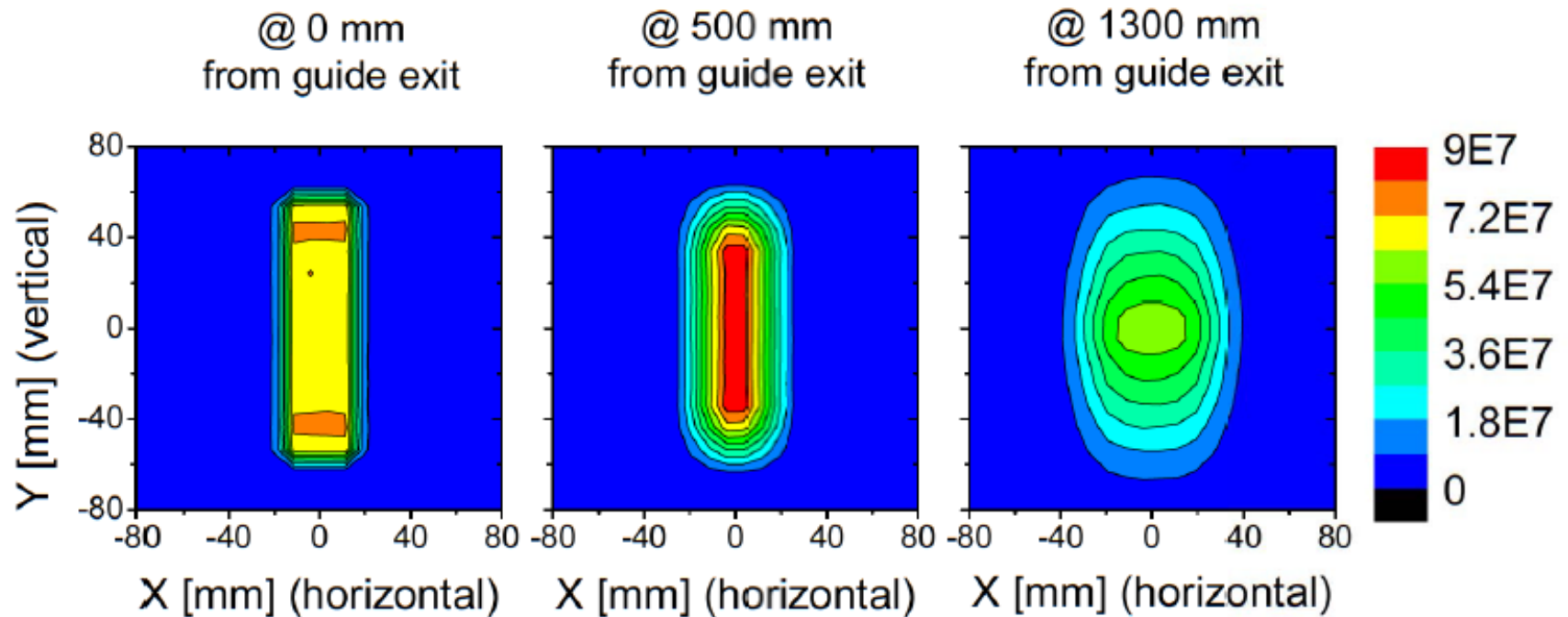
Gain factors @ 0.5 m from guide exit



Divergence distribution @ $l = 4 \text{ \AA}$



Elliptical guide: spatial distribution @ $l = 4 \text{ \AA}$



Elliptical guide: Spatial distribution for different entrance heights

