

Новый метод прецизионной структурной интроскопии кристаллов большого размера

Семенухин С.Ю.¹⁾, Воронин В.В.¹⁾, Федоров В.В.^{1,2)}, Кузнецов И.А.¹⁾, Лапин Е.Г.¹⁾, Вежлев Е.О.^{1,2)}

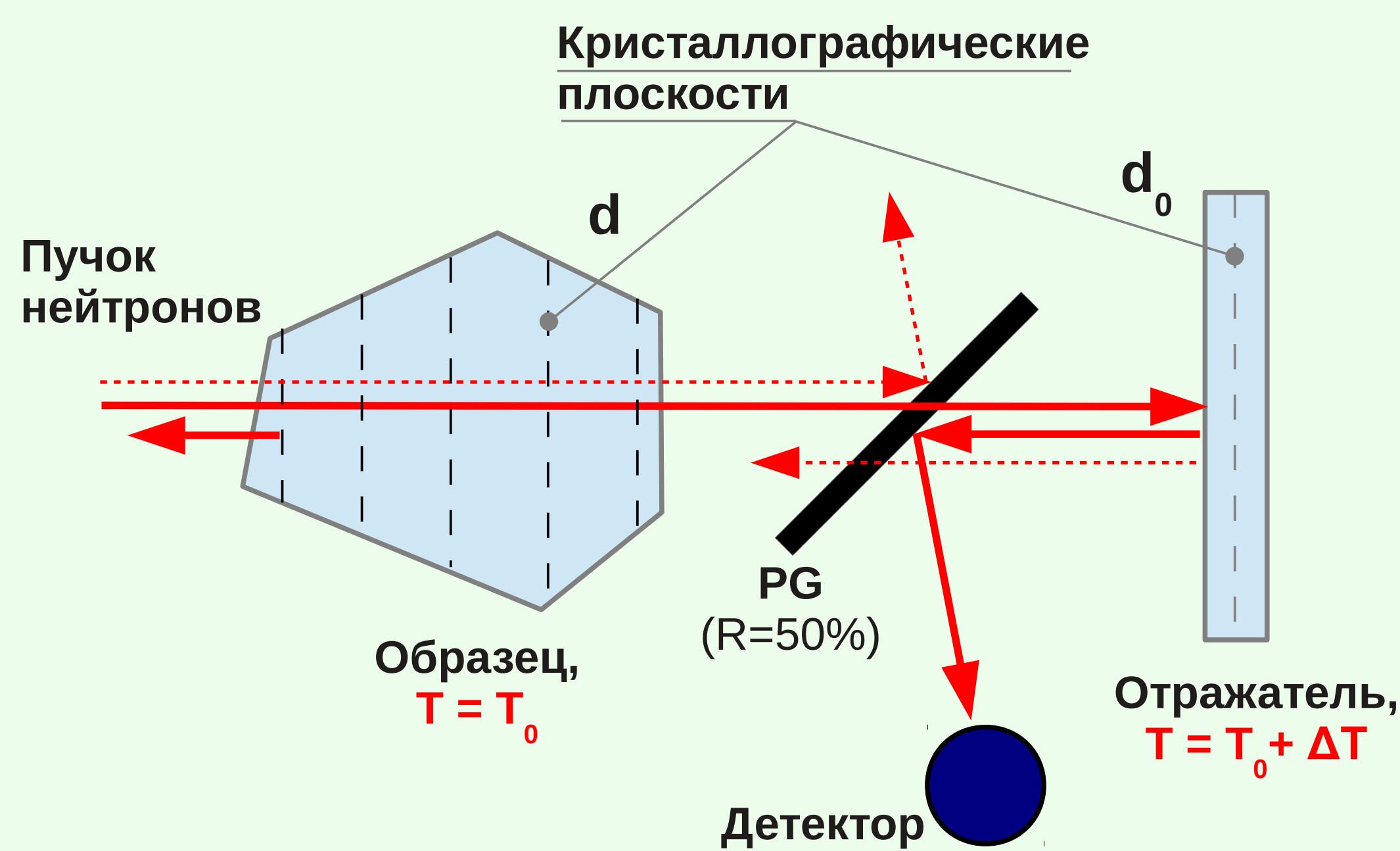
1) Федеральное государственное бюджетное учреждение Петербургский институт ядерной физики им. Б.П.Константинова
2) Санкт-Петербургский государственный политехнический университет

Аннотация

Разработан новый метод относительного измерения межплоскостных расстояний монокристаллов, обладающий следующими достоинствами:

- 1) Относительная точность измерения может превосходить $\Delta d/d \sim 10^{-7}$.
- 2) Измерение по всему объему монокристалла. Размер исследуемого образца ограничен лишь длиной поглощения нейтрона (для кремния ~50 см).
- 3) Не требуется предварительная подготовка кристалла. Можно исследовать готовые изделия любой формы и огранки.
- 4) Не требуется высокая точность предварительной угловой юстировки кристаллов.

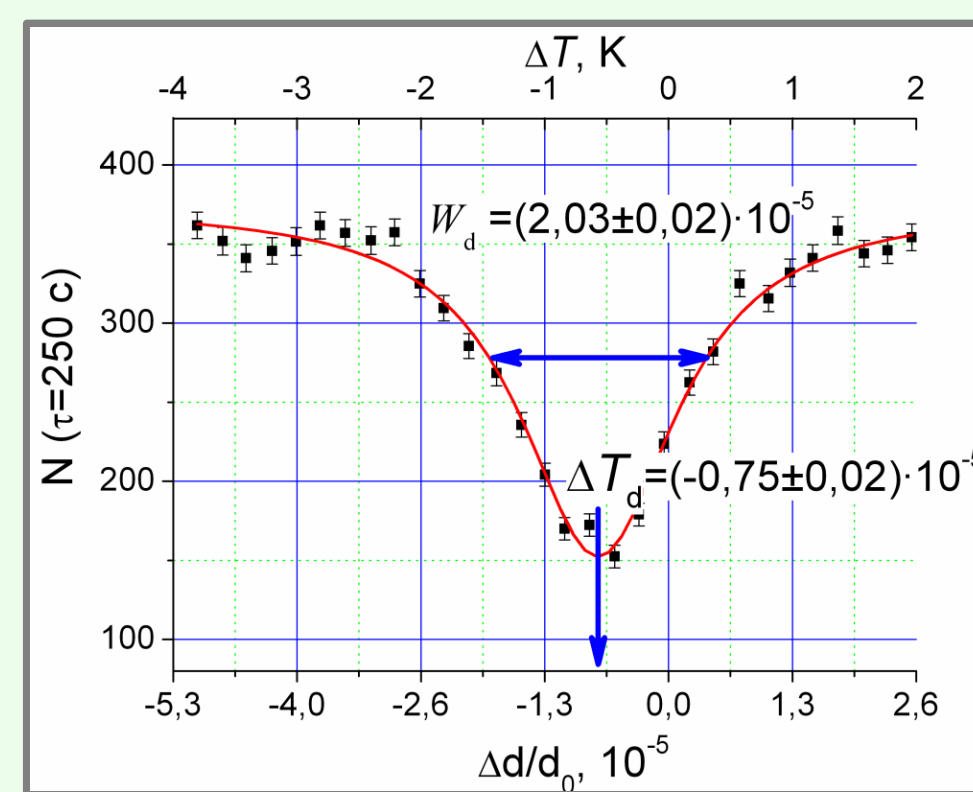
Схема метода



Изменение температуры кристалла-отражателя приводит к изменению d_2 и, следовательно, длины волны рефлекса

$$\frac{\Delta d}{d_0} = \xi \cdot \Delta T$$

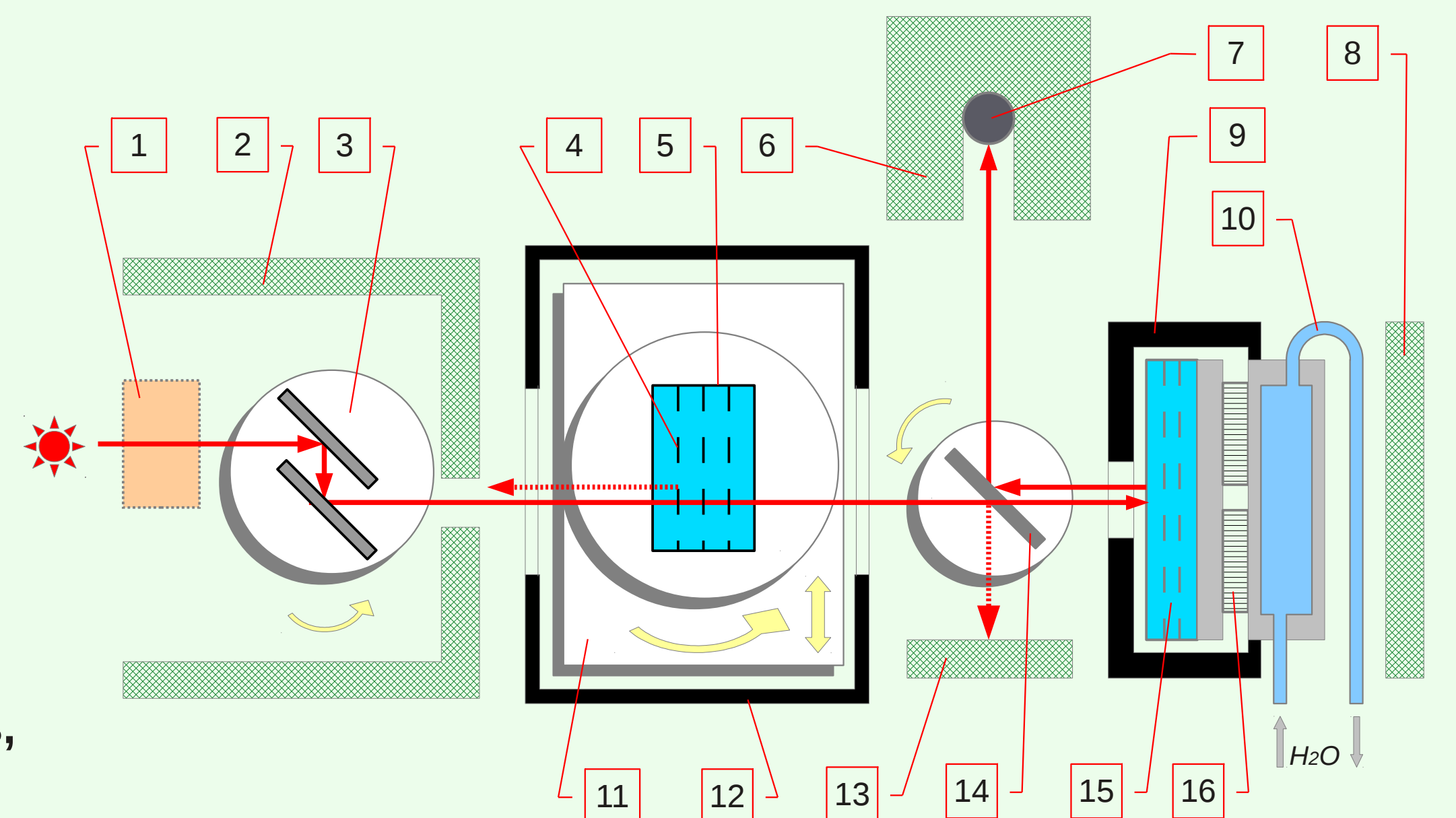
где ξ — коэффициент теплового расширения кристалла-отражателя



Характерные величины $\Delta \lambda_B / \lambda \sim (10^{-6} \div 10^{-5})$
 $\xi \sim (10^{-6} \div 10^{-5})$ 1/K

1 K - соответствует смещению кривой на одну брэгговскую ширину

Экспериментальная установка



1 - поликристаллический фильтр для подавления высших порядков отражения (Be, BeO), 2 - защита, 3 - монохроматор, 4 - кристаллографические плоскости, 5 - образец, 6 - защита детектора, 7 - детектор, 8/13 - ловушки нейтронных пучков, 9 - термостат отражателя, 10 - система охлаждения, 11 - платформа горизонтального перемещения образца, 12 - термостат образца, 14 - PG (002) с $R \sim 50\%$, 15 - кристалл-отражатель, 16 - элементы Пельтье.

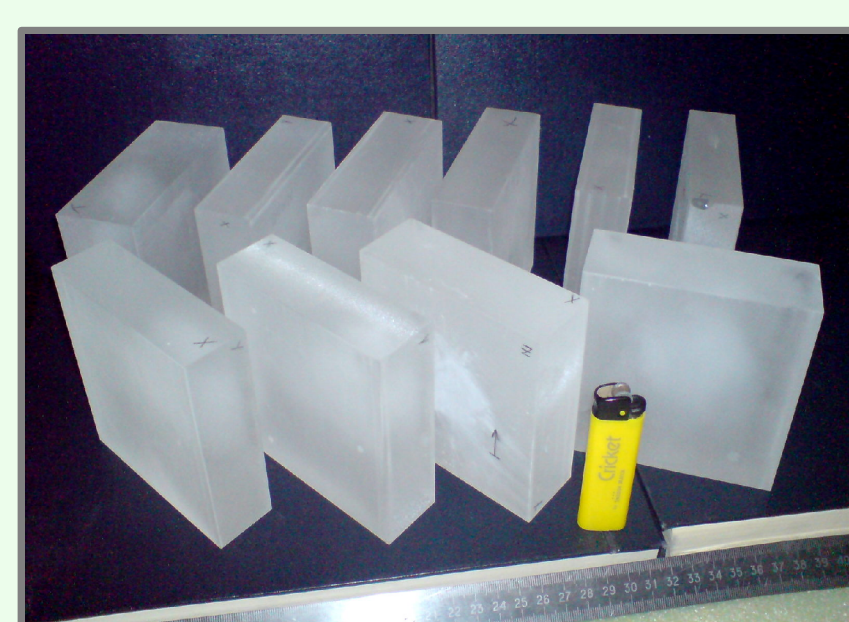
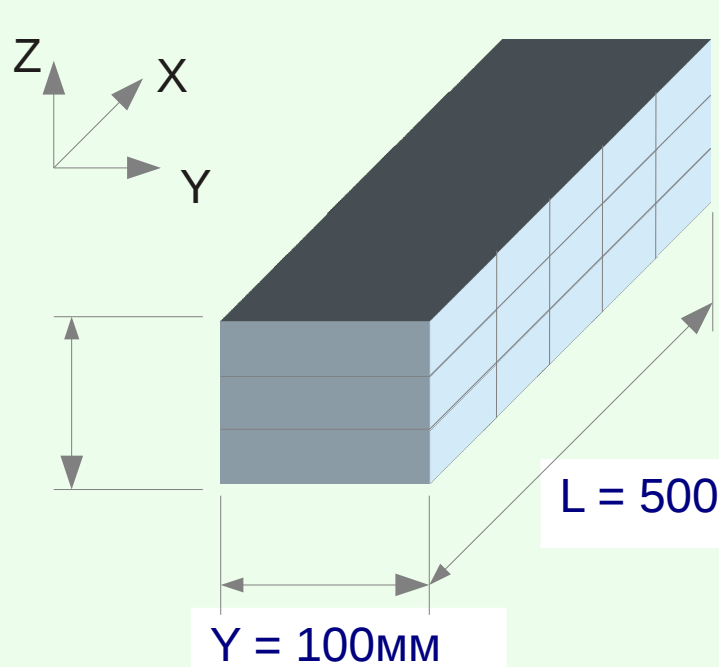
Кристалл-дифракционная спектроскопия высокого разрешения

Например, для поиска ЭДМ нейтрона кристалл-дифракционным методом необходимы большие кристаллы без центра симметрии, с малым поглощением нейтронов и разбросом межплоскостных расстояний на уровне $\Delta d/d < 10^{-5}$ по всему объему.

Поле действующее на нейтрон:

$$E_m = E_0 \cdot \frac{\Delta_B}{\sqrt{\Delta_B^2 + \Delta_d^2}}$$

где $\Delta_d = \Delta d/d$ - разброс межплоскостных расстояний, E_0 - поле в идеальном кристалле ($10^8 - 10^9$ В/см), $\Delta_B = \Delta \lambda_B / \lambda \sim 10^{-5}$ - брэгговская ширина отражения.



Общий вид составного кристалла кварца размерами 100 x 100 x 500 мм³, предполагаемого к использованию в эксперименте, и максимальным разбросом межплоскостных расстояний $\Delta d/d \leq 5 \cdot 10^{-6}$. X, Y и Z кристаллофизические оси.

Использование кристалла таких размеров в установке для поиска ЭДМ нейтрона позволит получить точность:

$$\sigma_d \sim (2 \div 3) \cdot 10^{-26} \text{ е.см}$$

(за 100 суток измерений)

Исследование легирующих примесей в полупроводниковых кристаллических материалах

Изменение параметра решетки в зависимости от концентрации примесей:

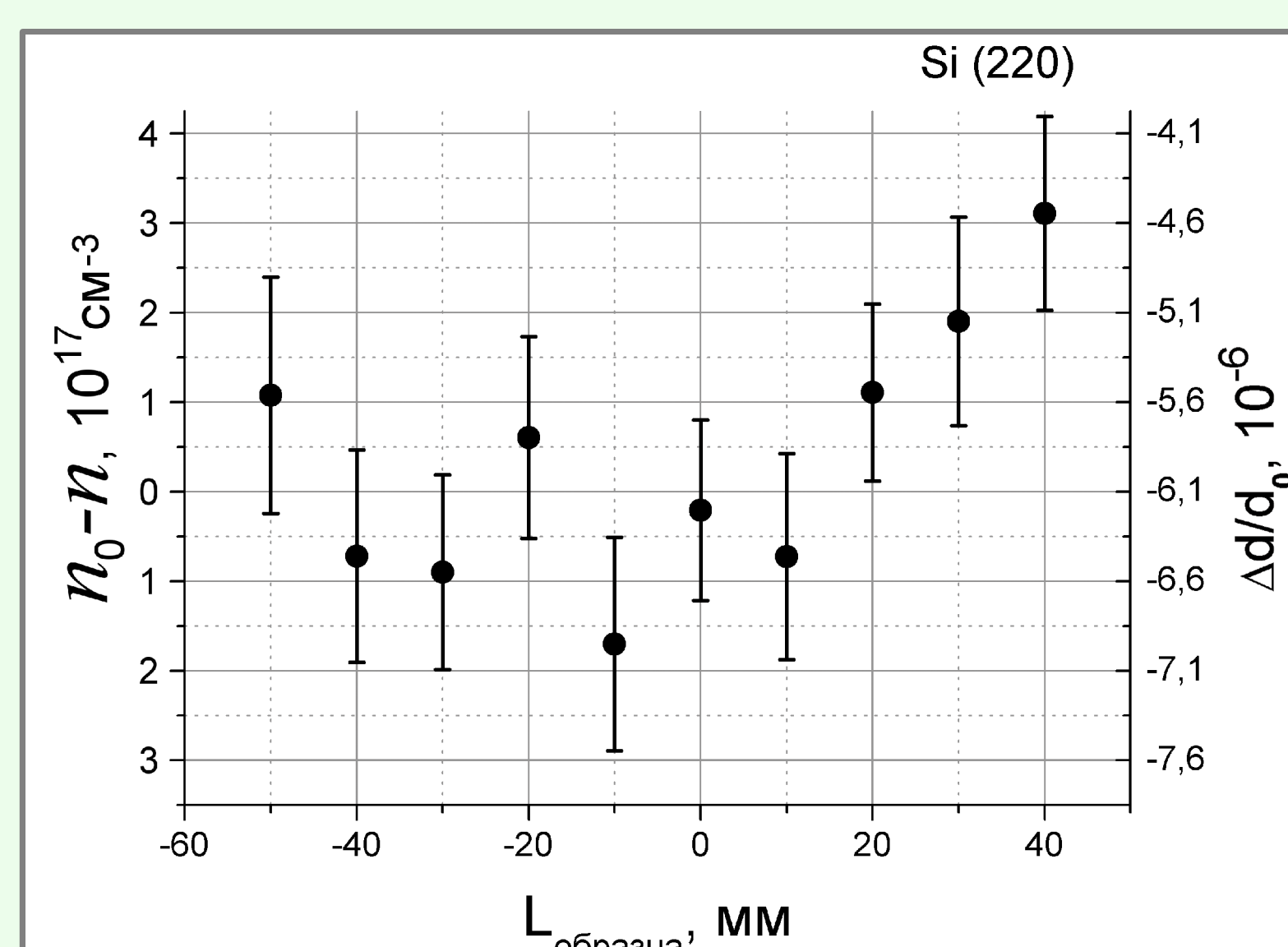
$$(\Delta d/d)_{im} = k_{im} \cdot n_{im}$$

где n_{im} - концентрация примесей [1/см³], k_{im} - коэффициент влияния конкретной примеси на параметр решетки.

Слева монокристалл Si, Ø100 мм, длина 140 мм, полупроводник p-типа, $\rho = 6 \cdot 10^{-2}$ Ом·см, что соответствует примеси бора $n_B = 10^{18}$ см⁻³.



При легировании кристалла кремния бором $k_{im} = -4,8 \cdot 10^{-24}$ см³.



Относительная концентрация бора $n_0 - n$ в различных точках исследуемого образца монокристалла кремния. Правая ось - относительное изменение межплоскостных расстояний в следствии легирования.

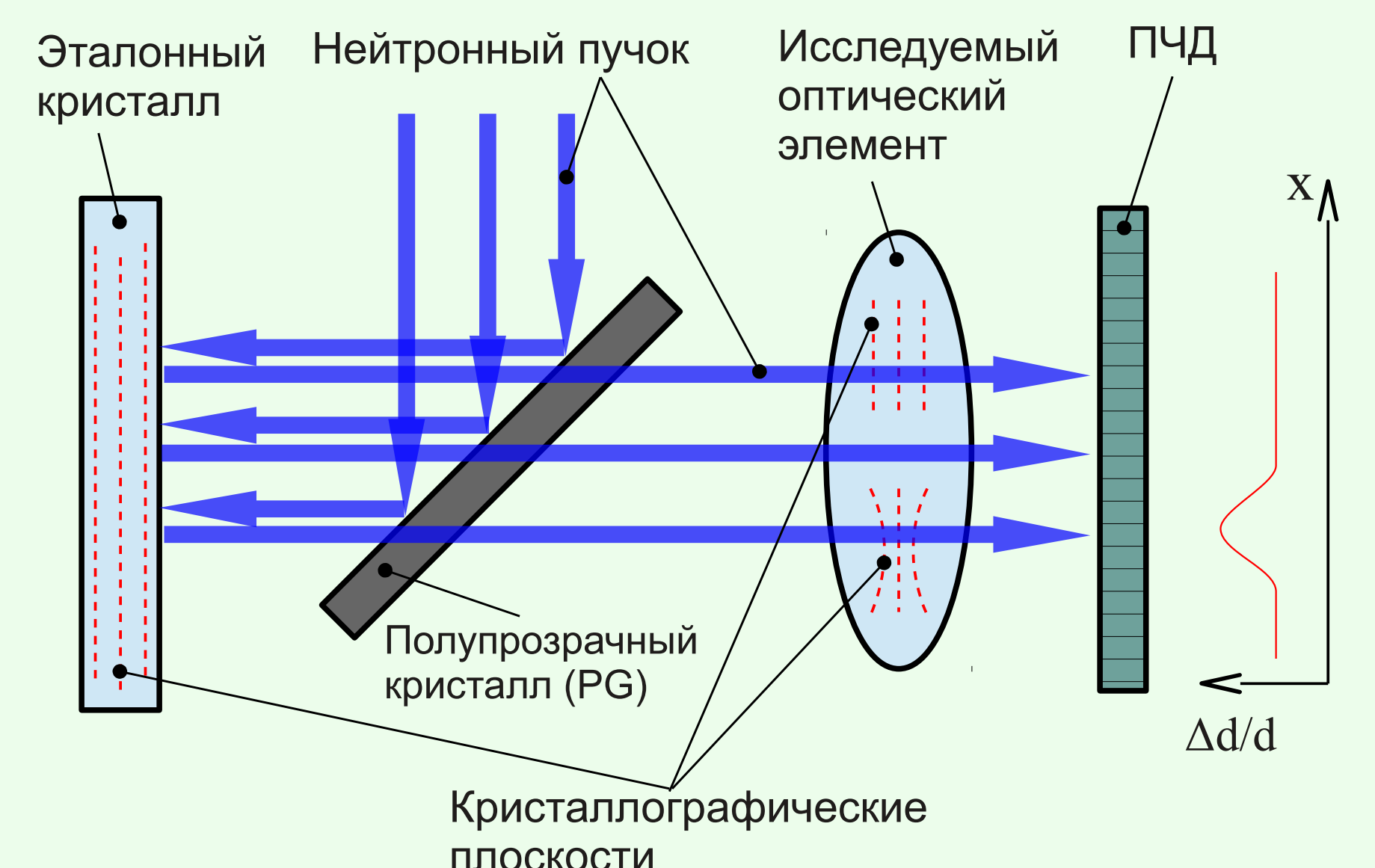
Неразрушающий метод анализа внутренних напряжений готовых оптических изделий

Оптический кварц

Линзы, полученные из кварца, обладают рядом дополнительных ценных оптических свойств, необходимых для специальных, прецизионных оптических систем, т.к. обладают светопропусканием в электромагнитными излучениями в зоне от 380 до 760 нм видимого спектра излучения и в зоне УФ-лучей от 10 до 380 нм.

Оптический кремний

Линзы изготовленные из однородного кремния используют для инфракрасного и рентгеновского излучения. Обладают самой низкой дисперсией при максимальном коэффициенте преломления электромагнитного излучения $n=3,4$.



$$\frac{\delta f}{f} = -\frac{\delta n}{n-1}$$

Изменение показателя преломления (n) приводит к смещению фокуса линзы в следствии чего ухудшается разрешающая сила оптических элементов.

Разрешающая сила линзы (размер дифракционного пятна):

$$R = 1,2 \cdot f \cdot (\lambda / D),$$

где f - фокусное расстояние, λ - длина волны, D - диаметр линзы.

При $f/D \approx 30$ в видимой области ($\lambda = 500$ нм) размер пятна

$$R \approx 2 \cdot 10^{-5} \text{ м.}$$

Аналогичное размытие фокусного расстояния дает относительное изменение межплоскостного расстояния в кристалле на уровне:

$$\Delta d/d \sim 10^{-6}$$