

РАСЧЕТ ХАРАКТЕРИСТИК МИКРОКАПИЛЛЯРНОЙ АДИАБАТИЧЕСКОЙ ЛИНЗЫ

Д. В. Новиков, П. В. Петров, Н. Н. Кольчевский

Возможности управлять рентгеновским излучением с помощью той же техники, что и для видимой области спектра, ограничиваются особенностями взаимодействия рентгеновского излучения с веществом и техническими возможностями изготовления стабильных высокоточных микроструктур. В отличие от оптического диапазона, преломляющей линзой для рентгеновского излучения является двояковогнутая линза. Для сокращения фокусного расстояния такой линзы в 1996 г. было предложено использовать не одну, а большое количество (от 10 до 500) линз. Было выяснено, что диаметр линз не должен превышать сотен микрометров. В качестве материала для линзы должны использоваться слабопоглощающие рентгеновское излучение вещества, так как достижимые значения радиусов линз в основном зависят от коэффициента поглощения вещества. Для сокращения фокусного расстояния в составных линзах предлагалось использовать не одну, а большое количество (от 10 до 500) линз переменного радиуса. Такая линза, изготовленная на основе микрокапилляра, называется микрокапиллярной адиабатической рентгеновской линзой.

Целью данной работы является следующее: выяснить, при каких входных параметрах, составная преломляющая линза является адиабатической преломляющей линзой, а также найти оптимальные параметры адиабатической линзы. Критерием оптимальности будем считать минимальное фокусное расстояние F линзы. Расчеты выполнены с по

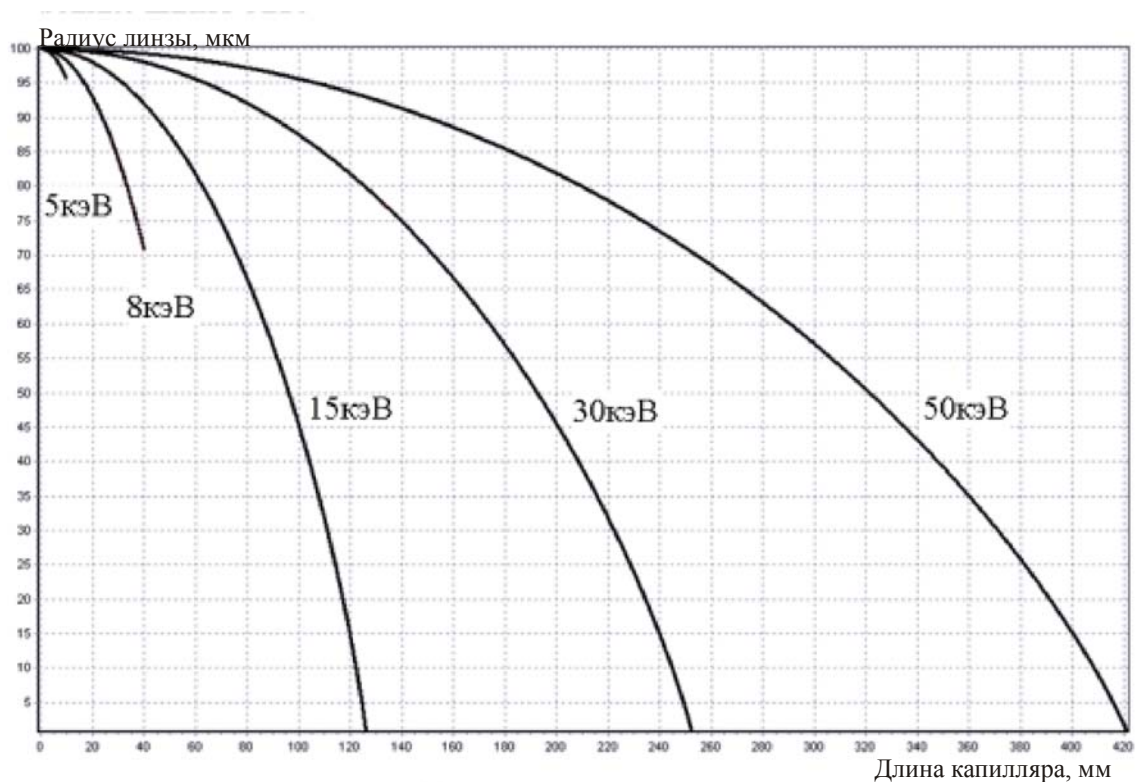


Рис. 1. Зависимости радиуса отдельной микролинзы от длины капилляра для рентгеновских фотонов с энергией 5-50 кэВ и начальным радиусом 100мкм (H/R=0.3)

мощью разработанной программы “X-ray - AMRXL”, моделирующей распространение рентгеновского излучения в приближении геометрической оптики. Геометрия линзы и коэффициент поглощения вещества ограничивают длину пути рентгеновского луча в веществе линзы. Максимально возможная длина пути луча в веществе линзы X рассчитывалась из условия, что интенсивность рентгеновского луча уменьшается в e раз, по сравнению с начальным:

$$I = I_0 e^{-\mu X} \quad (1)$$

где μ – коэффициент поглощения, X – длина пути луча в веществе.

Используя формулу (1) найдем максимальную длину пути луча в веществе линзы X для различных энергий рентгеновских фотонов E_f и соответствующих им линейных коэффициентов поглощения μ (табл.1).

Таблица 1.

Результаты расчета максимальной длины пути луча в веществе линзы.

$E_f(\text{кэВ})$	5	8	15	30	50
$\mu(\text{см}^{-1})$	21	5	0,82	0,32	0,24
$X(\text{мкм})$	48	200	1220	3125	4167

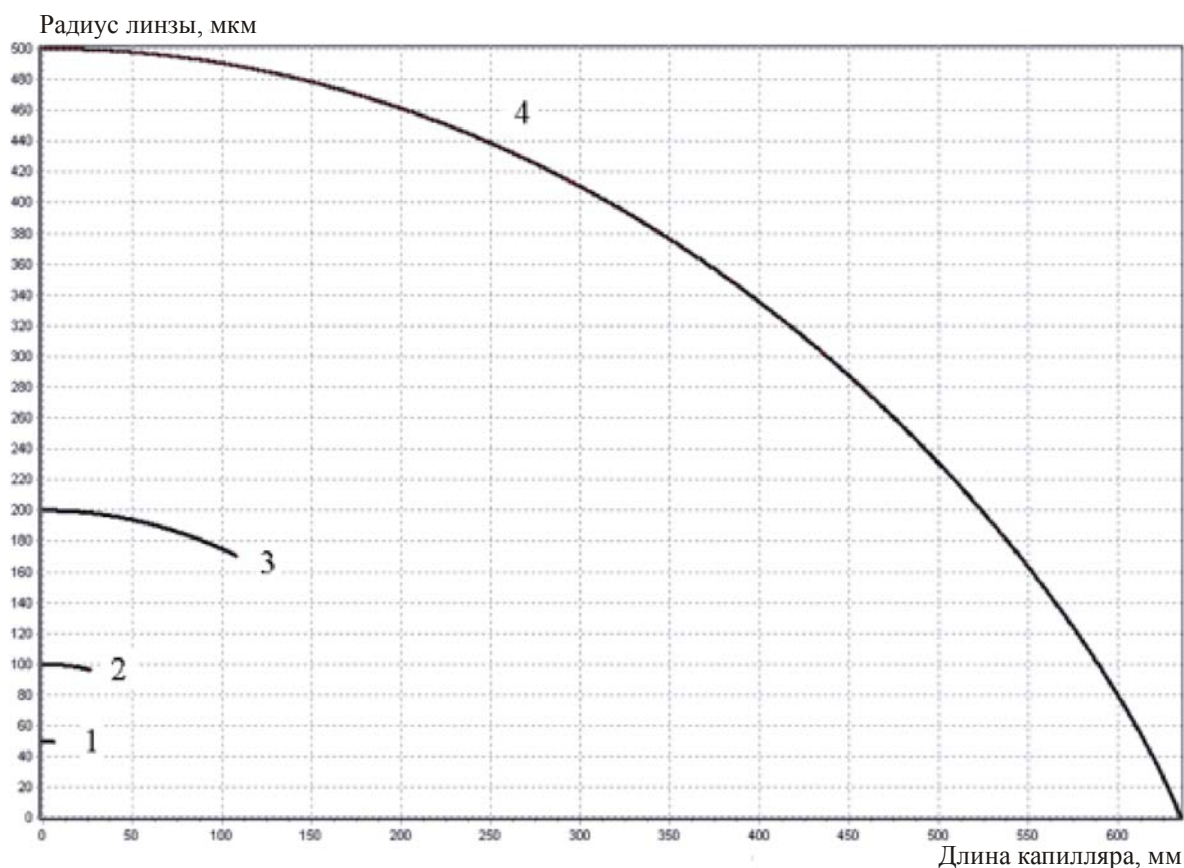


Рис. 2. Графики зависимости радиуса отдельной микролинзы от длины капилляра для рентгеновских фотонов с энергией 15 кэВ и $H/R=0.3$.
Начальные радиусы микролинз: 1- 50мкм, 2 – 100 мкм, 3 – 200 мкм, 4 – 500 мкм.

Для расчета функции изменения радиусов отдельных микролинз принимались постоянство отношения высоты заданного луча над оптической осью к радиусу текущей линзы H/R . Расчёты выполнены для рентгеновских фотонов с энергией 5-50 кэВ и для адиабатической микрокапиллярной преломляющей линзы с входными радиусами 100мкм. Точечный источник рентгеновского излучения расположен на бесконечности. Рассчитывались графики зависимости радиуса отдельной микролинзы от длины капилляра (рис.1.) и фокусные расстояния адиабатической микрокапиллярной линзы.

Расчеты показали, что наименьшее фокусное расстояние F наблюдается при энергии рентгеновских фотонов $E_f=15$. Установлено, что функция описывающая зависимости радиуса отдельной микролинзы от длины капилляра профиля адиабатической микрокапиллярной линзы зависит от геометрии эксперимента и энергии рентгеновских фотонов.

Результаты расчета зависимости радиуса отдельной микролинзы от длины капилляра и фокусные расстояния адиабатической микрокапиллярной линзы при энергии рентгеновских фотонов равной E_f равной 15 КэВ,

изменяющихся начальных радиусах линзы R и $H/R=0.3$ показаны на рис.2.

Установлено, что при значении H/R более 0.5 для энергии рентгеновских фотонов 15 кэВ и случая бесконечного источника рентгеновские линзы не являются адиабатическими. Фокусное расстояние адиабатических микрокапиллярных линз уменьшается с уменьшением радиуса первой линзы и ограничивается максимальной длиной пути луча в веществе линзы и дифракцией. Расчеты показывают, что возможно изготовить адиабатическую микрокапиллярную линзу, характеризующуюся фокусным расстоянием менее 10 см.

Разработанное программное обеспечение “X-ray - AMRXL” позволяет рассчитывать геометрические размеры адиабатических микрокапиллярных рентгеновских линз и их рентгенооптические характеристики. Установлено, что адиабатическая микрокапиллярная линза имеет минимальное фокусное расстояние для энергий рентгеновских фотонов 15 кэВ.

Литература

1. *Schroer C. G., Lengeler B.* Focusing Hard X Rays to Nanometer Dimensions by Adiabatically Focusing Lenses., Hamburg, Germany. 2005.