

Резонатор для рентгеновского излучения с грушевидными отражателями

В.А. Чуриков

Предложена схема рентгеновского резонатора, оптическими элементами которого служат отражатели своеобразной грушевидной формы, являющиеся рентгеновскими оптическими зеркалами скользящего падения. Особенности данного резонатора заключаются в сравнительно высокой эффективности отражателей и в аксиальной симметрии формируемого излучения.

Ключевые слова: зеркала скользящего падения, коэффициент проводимости.

Проблемы конструкции рентгеновских резонаторов обсуждаются в литературе главным образом в связи с созданием рентгеновских лазеров. В настоящее время предложено несколько различных типов рентгеновских резонаторов [1–3].

Предлагаемый резонатор (рис.1) состоит из двух отражателей грушевидной формы 1 и 2, поверхности которых являются рентгеновскими зеркалами скользящего падения. Вдоль этих поверхностей распространяются рентгеновские кванты путем многократных отражений под малыми углами скольжения θ , не превышающими критического угла θ_{cr} : $\theta \leq \theta_{cr} = \sqrt{2\delta}$ (δ – декремент показателя преломления материала отражателя). Отражатели расположены вдоль общей оптической оси входными отверстиями 3 друг к другу. В одном из отражателей (2) есть отверстие 4 для вывода части излучения из рабочего тела. Между зеркалами резонатора находится рабочее тело резонатора лазера 5.

Каждый отражатель резонатора состоит из двух секций, представляющих собой поверхности, получаемые вращением двух образующих линий вокруг оптической оси резонатора, геометрия которых может быть разной (рис.2). Пучок рентгеновского излучения 1, падающий на входное отверстие отражателя, делится на два потока – внутренний (2) и внешний (3). Внутренний пучок распространяется в большей секции отражателя 4 и, падая на «конус» резонатора 5, радиально расходится по ее внутренней поверхности, вдоль которой рентгеновские кванты транспортируются до щели резонатора 6, где «перескакивают» на зеркало внешней транспортировки 7 и, распространяясь вдоль его поверхности, возвращаются в рабочее тело с той же стороны. Очевидно, что для распространения рентгеновских квантов вдоль поверхностей зеркала внешней транспортировки и «конуса» возвратного зеркала эти поверхности должны быть вогнутыми в сечении, содержащем оптическую ось резонатора, и выпуклыми в сечении, перпендикулярном направлению распространения. Поэтому распространение пуч-

ка здесь будет неустойчивым. Из-за этой неустойчивости часть квантов может «соскальзывать» в сторону и теряться, что будет понижать эффективность резонатора. Доля потерь рентгеновских квантов из-за этой неустойчивости будет тем меньше, чем выше качество изготовления резонатора.

Внешний поток после разделения падающего пучка, очевидно, проходит тот же путь, что и внутренний, только в обратном направлении. Различие двух отражателей резонатора заключается только в том, что в одном из них имеется отверстие для отвода части излучения, которое

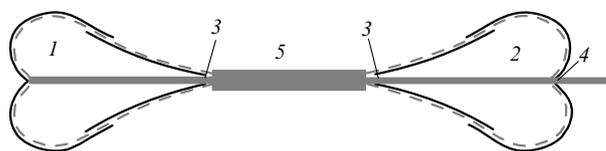


Рис.1. Схема резонатора с грушевидными отражателями (штриховые кривые – траектории распространения рентгеновских лучей вдоль поверхностей отражателей); 1, 2 – отражатели грушевидной формы; 3 – входные отверстия; 4 – выходное отверстие; 5 – рабочее тело лазера.

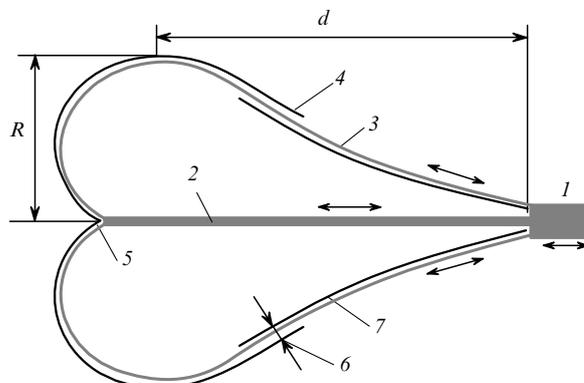


Рис.2. Схема грушевидного отражателя: 1 – пучок рентгеновского излучения; 2, 3 – внутренний и внешний потоки излучения; 4 – секция отражателя; 5 – «конус» резонатора; 6 – щель резонатора; 7 – зеркало внешней транспортировки.

В.А. Чуриков. Томский государственный университет, Россия, 634050 Томск, просп. Ленина, 36; e-mail: vachurikov@list.ru

Поступила в редакцию 15 апреля 2003 г.

получается «срезанием» верхней части конуса (рис.1). Идея грушевидного отражателя, по сути, является расширением идеи плоской возвратной петли кольцевого рентгеновского резонатора, предложенного в [3], на объемный случай. Оценим эффективность работы предлагаемого резонатора.

Выражение для коэффициента проводимости поверхности отражателей K в соответствии с [4, 5] будет иметь вид

$$K \approx \exp(-\psi\gamma\delta^{-3/2}),$$

$$\delta = (2\pi)^{-1} N_a r_e \lambda^2 f_1, \quad \gamma = (2\pi)^{-1} N_a r_e \lambda^2 f_2,$$

где ψ – полный угол поворота в отражателях, связанный с коэффициентом преломления $n = 1 - \delta$ (в рентгеновском диапазоне $\delta \ll 0$); γ – показатель поглощения вещества ($\gamma \ll \delta$); δ и γ определяются через атомные факторы рассеяния f_1 и f_2 , затабулированные в [6]; N_a – плотность атомов; $r_e = e^2 m^{-1} c^{-2}$ – классический радиус электрона; λ – длина волны рентгеновского излучения.

Полный угол поворота рентгеновских лучей ψ в отражателях зависит от конкретной геометрии зеркал, лежит в пределах $360^\circ > \psi > 180^\circ$ и определяется выражением

$$\psi = 180^\circ + 2\alpha,$$

где

$$\alpha = \arctan \frac{R-r}{d};$$

R – радиус отражателя; r – радиус входного отверстия отражателя; d – продольное расстояние от входа до плоскости, проходящей через сечение отражателя с максимальной площадью; α – угол отклонения в отражателе. Предполагая, что $R \gg r$, получаем упрощенное выражение для угла отклонения:

$$\alpha \approx \arctan \frac{R}{d}.$$

Отношение $(R-r)/d \approx R/d$ будем называть фактором удлинения отражателя.

Реально можно создавать грушевидные отражатели с полным углом поворота $\psi = 210^\circ - 270^\circ$, который мень-

Табл.1. Коэффициенты проводимости K для разных веществ, длин волн и углов поворота.

Материал	λ (Å)	K	
		$\psi = 270^\circ (R/d = 1)$	$\psi = 210^\circ (R/d \approx 0.27)$
Ru	120	0.51	0.60
Ag	100–125	0.31	0.41
In	76	0.16	0.24

ше угла поворота ($\psi = 360^\circ$) в кольцевых резонаторах [2, 3], а значит эти отражатели должны иметь в отличие от кольцевых резонаторов меньшие потери и формировать радиально-симметричный рентгеновский пучок. Для различных веществ и длин волн, а также поверхностей разного качества коэффициент проводимости K для отражателей будет принимать разные значения. Оценки коэффициентов проводимости для некоторых веществ, длин волн и факторов удлинения (табл.1) проведены на основе экспериментальных данных работы [2].

Более вытянутые отражатели имеют больший коэффициент проводимости и формируют пучок с меньшей расходимостью, но время прохождения по ним рентгеновского кванта несколько больше, что может быть существенно для рентгеновских лазеров, в которых в качестве рабочего тела используется короткоживущая плазма. Добротность резонатора при таких коэффициентах проводимости будет невысокой, но достаточной для обеспечения обратной связи в рентгеновских лазерах.

Резонаторы на основе рентгеновской оптики скользящего падения могут создаваться для достаточно широкого спектрального диапазона (от нескольких десятков до нескольких сотен ангстрем), который можно менять подбором материала проводящей поверхности зеркал.

В заключение автор выражает благодарность Е.Н. Тельмину за полезные замечания по данной статье.

1. Элтон Р. *Рентгеновские лазеры* (М.: Мир, 1994).
2. Виноградов А.В., Ковалев В.Ф., Кожевников И.В., Пустовалов В.В. *ЖТФ*, **55**, 567 (1985).
3. Чуриков В.А. *Вестник Томского гос. пед. ун-та*, № 5, 56 (1988).
4. Кожевников И.В. *Труды ФИАН*, **196**, 143 (1989).
5. Андервуд Дж.Х., Аттвуд Д.Т. *УФН*, **151**, 106 (1987).
6. Henke B.L., Lee P., Tanaka T.L., Simabukuro R.L., Fujikawa B.K. *At. Data and Nucl. Data Tabs*, **27**, 1 (1982).