

4. Dewar M.J.S., Stewart J.J.P. // QCPE Bull. 1986. V. 6. No. 3. P. 506–570.
5. Уэллс А. Структурная неорганическая химия. Т. 3. М., 1988.
6. Доленко Г.Н., Полещук О.Х., Елин В.П. и др. // Изв. РАН. Сер. хим. 1996. № 6. С. 1465–1470.
7. Жарский И.М., Новиков Г.И. Физические методы исследования в неорганической химии. М., 1988.
8. Хьюи Дж. Неорганическая химия. Строение вещества и реакционная способность. М., 1987.
9. Gutmann V. // Coord. Chem. Rev. 1975. V. 15. No. 1. P. 207–245.
10. Гурьянова Е.Н. и др. Донорно-акцепторная связь. М., 1973.
11. Klorman G., Hudson R.F. // Theor. Chim. Acta. 1967. V. 8. No. 2. P. 165–180.
12. Басоло Ф., Пирсон Р. Механизмы неорганических реакций. М., 1971.
13. Нефедов В.И., Вовна В.И. Электронная структура химических соединений. М., 1987.
14. Яцимирский К.Б. Введение в бионеорганическую химию. Киев, 1976.

УДК 535.8: 537.531: 535.31;681.7;53.082.5: 543.422.6

В.А. Чуриков

КОНЦЕНТРАТОР РЕНТГЕНОВСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

Томский государственный университет

На основе рентгеновской оптики скользящего падения, которая основана на эффекте полного отражения под малыми углами падения, меньшими угла Брюстера, возможно создание устройств, предназначенных для улавливания, транспортировки и концентрации рентгеновского излучения (РИ). Подобные системы уже предлагались, но их эффективность должна быть меньше предполагаемого в данной работе [1, 2, 3].

Предлагаемый концентратор служит для сбора и фокусировки рентгеновского излучения от источников достаточно малого размера. Ряд предлагаемых технических решений позволит собирать излучение с телесного угла, близкого к 4π , с достаточно высокой эффективностью, и фокусировать его на площади, близкой по размерам или даже меньшей, чем площадь излучающей плазмы.

Концентратор рентгеновского излучения (КРИ) состоит из двух основных частей (рис. 1): 1 – рентгеновское зеркало, 2 – система, выводящая рентгеновское излучение.

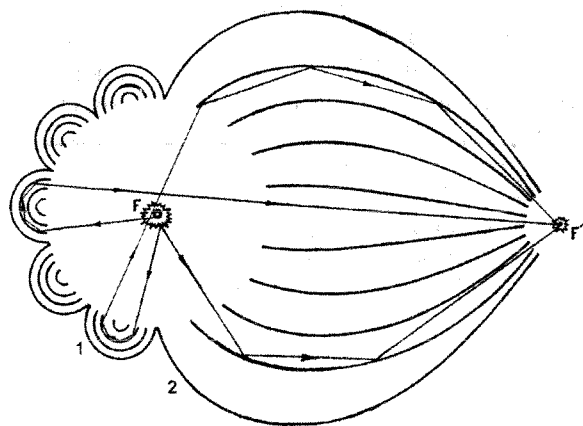


Рис. 1. Принципиальная схема концентратора рентгеновского излучения

Зеркало представляет из себя совокупность малых зеркал, покрывающих полусферу радиуса R . Малые зеркала представляют из себя, в свою очередь, систему вложенных друг в друга вогнутых поверхностей, близких к полусферам. Внешняя поверхность на входе ограничена правильным пятиугольником (рис. 2а и 2б), что дает возможность закрыть ими полусферу. Все поверхности малых зеркал ориентированы полостью в сторону источника РИ, который должен располагаться в фокусе полусферы F .

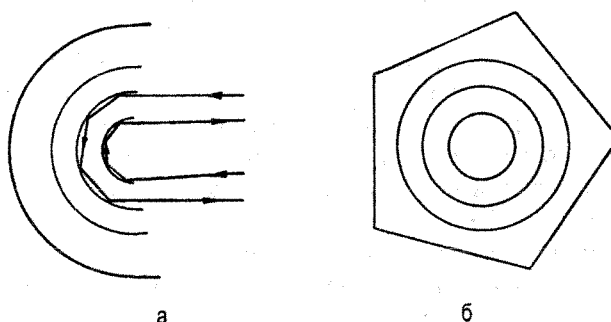


Рис. 2. Малые зеркала. Вид сбоку (а) и вид спереди (б)

Отражение рентгеновских лучей в зеркале осуществляется путем их поворота на 180° при многократных отражениях от поверхностей малых зеркал на малых углах скольжения $\theta \leq d/2R$, где d – поперечный размер малых зеркал. Угол скольжения не должен превосходить критический угол скольжения θ_c :

$$\theta \leq d/2R \leq \theta_c = \sqrt{\delta}, \quad (1)$$

где δ – показатель преломления вещества поверхностей.

«Коэффициент отражения» рентгеновских лучей в зеркале можно выразить через коэффициенты прохождения РИ вдоль вогнутой поверхности путем многократных отражений (1):

$$k = (1 - s/S) \exp\left(-\psi\gamma\delta^{-3/2}\right), \quad \gamma \ll \delta, \quad \theta \leq \theta_c, \quad (2)$$

где S – площадь зеркала, s – сумма площадей участков зеркала, не участвующих в отражении, ψ – угол поворота лучей в зеркале равный 180° , γ – показатель поглощения вещества поверхностей.

Сопряженная к зеркалу полусфера служит для вывода и концентрации излучения с помощью системы поверхностей. Рентгеновские лучи транспортируются вдоль поверхностей также путем многократных отражений при малых углах скольжения. Поверхности должны быть ориентированы перпендикулярно поверхности сферы на входе рентгеновских лучей, что позволит сделать углы скольжения лучей достаточно малыми. Предполагается, что радиус кривизны линии, описывающей поверхность в направлении проведения лучей, увеличивается по мере приближения к фокусу (на выходе), где он обращается в бесконечность. Это делает систему более компактной, нежели при неизменном радиусе кривизны. С другой стороны, с уменьшением расстояния между проводящими поверхностями уменьшается фокусное расстояние f , что будет способствовать лучшей фокусировке рентгеновских лучей. На поверхностях с увеличивающимся радиусом кривизны углы скольжения будут уменьшаться по мере приближения к фокусу F' . Это видно из того, что между двумя отражениями рентгеновского кванта от поверхности кривизна успевает несколько «распрямиться» за счет увеличения радиуса кривизны. При этом каждое последующее отражение будет проходить под меньшим углом скольжения, чем предыдущее. За счет уменьшения угла скольжения будут уменьшаться потери по мере продвижения квантов вдоль поверхности и расходимость рентгеновских лучей, что будет способствовать лучшей фокусировке.

Принцип работы КРИ заключается в том, что половина РИ из источника в систему проходящих поверхностей концентрируется в фокусе F' . Вторая половина излучения, падая на зеркало, частично «отражается» с коэффициентом отражения k (1) и также направляется в систему выводных поверхностей.

Оценим, какую часть рентгеновского излучения можно вывести с помощью подобного концентратора. Коэффициент прохождения рентгеновских лучей через систему поверхностей k' можно выразить через коэффициент прохождения РИ вдоль поверхности при многократных отражениях (1).

$$1/4\pi(1 - s'/S) \sum_i \Omega_i \exp\left(\psi_i\gamma\delta^{-3/2}\right), \quad (3)$$

где N – число проводящих поверхностей, s' – суммарная площадь, полностью поглощающая излучение; S – площадь полусферы, с которой выводится излучение; Ω_i – телесный угол, с которого собирается излучение i -той поверхностью; ψ_i – угол поворота в i -той поверхности.

Из (2) и (3) можно найти долю выводимого из концентратора излучения

$$K = 0,5(k' + k) = 0,5k'(1 + k). \quad (4)$$

Если размер источника p удовлетворяет условию $p \ll R$, то коэффициент K можно довести до 0,2–0,3. В области мягкого рентгена (с энергией до 1 кэВ).

Оценим, на какой площади a можно сконцентрировать выводимое излучение. При этом не будем учитывать уменьшение расходимости рентгеновских лучей, т.е. угол скольжения Θ предполагается постоянным:

$$a \approx p'^2 \approx (f\theta)^2 \approx p^2 (f/R)^2, \quad (5)$$

здесь p' – размеры облучаемой площади. Из (5) следует, что уменьшение площади a возможно за счет уменьшения отношения f/R . Плотность энергии на облучаемой площади ϵ по отношению к плотности энергии излучающего тела ϵ_0 будет

$$\frac{\epsilon}{\epsilon_0} \approx K \frac{p^2}{p'^2} \approx K \left(\frac{R}{f}\right)^2. \quad (6)$$

Из (6) видно, что с помощью предлагаемого концентратора, в рамках сделанных предположений, можно получать на выходе плотности энергии превосходящие плотности энергии источника, если

$$K \left(\frac{R}{f}\right)^2 > 1.$$

В заключение можно сказать, что изготовление описанного концентратора технологически может оказаться не намного сложнее, чем описанные концентраторы [2, 3].

Литература

1. Кожевников И.В. Системы скользкого падения с большим числом отражений // Труды ФИАН. Т. 196. Рентгеновская оптика. М., 1989. С. 143–167.
2. Аркадьев В.А., Колосов А.И., Кумахов М.А. и др. Широкополосная рентгеновская оптика с большой угловой апертурой // УФН. 1989. Т. 157. № 3. С. 529–537.
3. Виноградов А.В., Толстихин О.И. Концентраторы мягкого рентгеновского излучения // Труды ФИАН. Т. 196. Рентгеновская оптика. М., 1989. С. 168–181.