

- [1] Конников С.Г., Коваленков О.В., Погребницкий К.Ю., Синицын М.А., Фалеев Н.Н., Флакс Л.И., Явич Б.С. - ФТП, 1987, т. 21, в. 10, с. 1745-1747.
- [2] Жмакин А.И., Ипатова И.П., Макаров Ю.Н., Синицын М.А., Фурсенко А.А., Явич Б.С. - Письма в ЖТФ, 1986, т. 12, в. 8, с. 506-509.
- [3] Okamoto H. - J. Jap. Appl. Phys., 1987, v. 26, N 3, p. 315-330.

Физико-технический
институт им. А.Ф. Иоффе
АН СССР, Ленинград

Поступило в Редакцию
5 ноября 1987 г.

Письма в ЖТФ, том 14, вып. 3

12 февраля 1988 г.

ПРИНЦИПИАЛЬНЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ РЕНТГЕНОВСКОЙ ОПТИКИ СКОЛЬЗЯЩЕГО ПАДЕНИЯ

В.А. Аркадьев, М.А. Кумахов,
Р.Ф. Фаязов

Одно из возможных направлений развития рентгеновской оптики основано на явлении полного внешнего отражения рентгеновских лучей при скользющем падении. Работающие на этом принципе приборы (рентгеновские телескопы и микроскопы [1]) используют 1-2 отражения от поверхности зеркал. Поскольку угол θ_c полного внешнего отражения рентгеновских лучей мал, то и угловой захват излучения этими системами невелик. В то же время существует ряд прикладных задач, в которых не предъявляется жестких требований к формируемому изображению, но необходимо обеспечить большой угловой захват или повернуть излучение на значительный угол. Для решения таких задач был предложен специальный вариант рентгеновской оптики, основанный на большом числе отражений γ -квантов от изогнутых поверхностей [2]. Основными элементами такой оптики с многократными последовательными отражениями могут служить вогнутые поворотные зеркала [3] и полые капилляры, деформированные специальным образом [2, 4].

Целью настоящей работы является демонстрация принципиальных возможностей рентгеновской оптики многократного отражения. Для этого при различных энергиях вычислены коэффициенты ослабления узкого рентгеновского пучка, поворачиваемого на заданный угол вогнутым цилиндрическим зеркалом, изготовленным из заданного материала. Некоторые оценки были получены в работе [3] для мягкого рентгеновского излучения $E \lesssim 0.2$ кэВ. Нас интересует более жесткий диапазон излучения с энергиями $E \gtrsim 1$ кэВ.

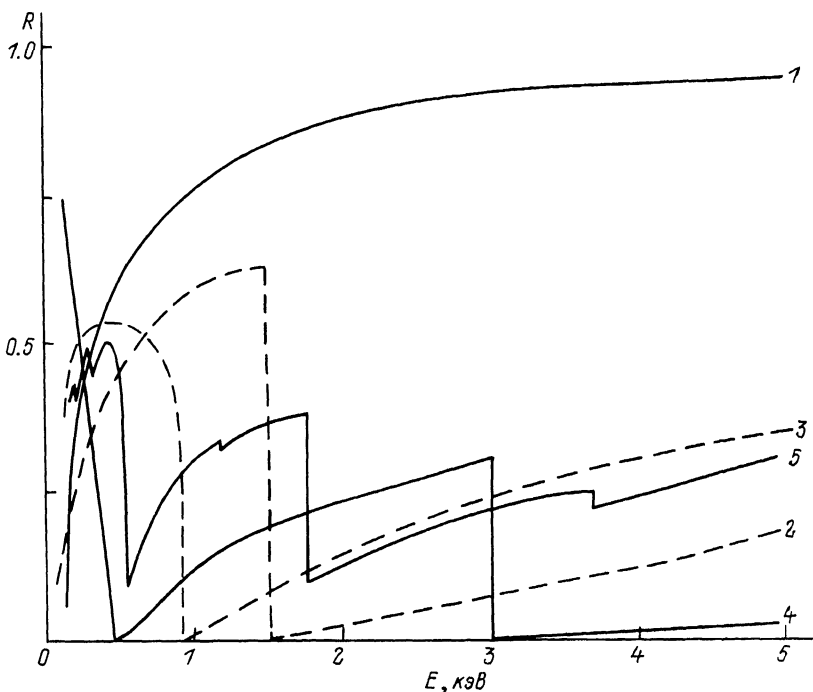


Рис. 1. Коэффициенты ослабления мягкого рентгеновского излучения при повороте на угол $\varphi = 0.25$ рад вогнутой цилиндрической поверхностью (1 - Be, 2 - Al, 3 - Cu, 4 - Ag, 5 - стекло С-52).

Хорошо известно, что взаимодействие рентгеновского излучения с веществом описывается показателем преломления:

$$n = 1 - \frac{N r \lambda^2}{2\pi} (f_1 + i f_2) \cong 1 - \frac{\alpha}{2} + i \frac{\beta}{2} \quad (0 < \alpha, \beta \ll 1), \quad (1)$$

где N - концентрация атомов, r - классический радиус электрона, λ - длина волны, $f_1 + i f_2$ - амплитуда рассеяния вперед y -кванта на атоме. При угле скольжения $\theta \ll \theta_c \cong \sqrt{\alpha}$ френелевский коэффициент однократного отражения может быть представлен в виде

$$R_1(\theta) \approx 1 - 2\beta\alpha^{-3/2}\varphi.$$

Для поворота луча на угол φ вогнутым цилиндрическим зеркалом требуется $\sim \varphi/2\theta$ отражений, а соответствующий коэффициент многократного отражения равен [3]:

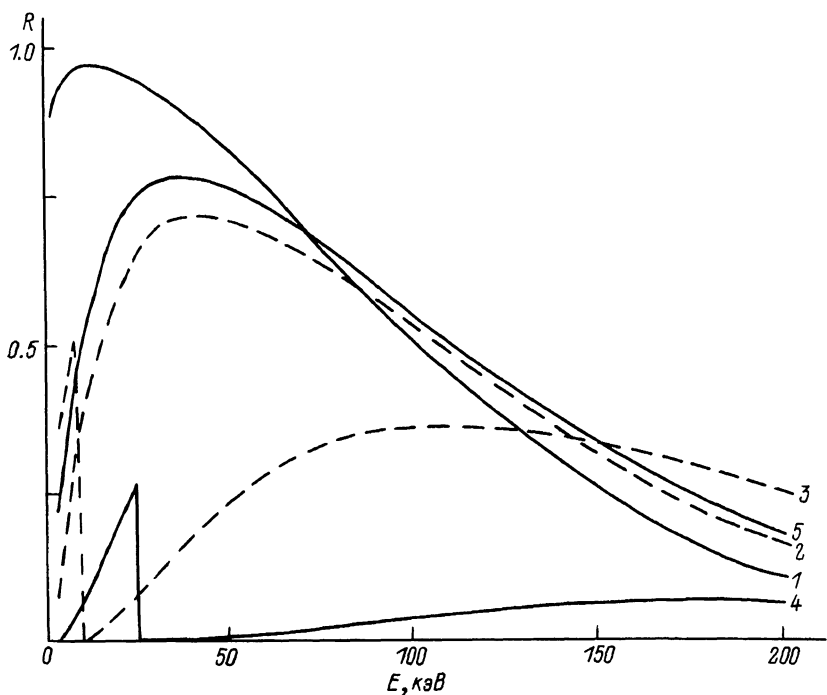


Рис. 2. Коэффициенты ослабления жесткого рентгеновского излучения при повороте на угол $\Phi = 0.25$ рад вогнутой цилиндрической поверхностью (1 - Be, 2 - Al, 3 - Cu, 4 - Ag, 5 - стекло С-52).

$$R \approx (1 - 2\beta\alpha^{-3/2}\theta)^{\Phi/2\theta} \approx \exp(-\beta\alpha^{-3/2}\Phi). \quad (2)$$

Значения R были вычислены по формуле (2) для различных веществ и энергий γ -квантов при фиксированном угле поворота $\Phi = 0.25$ рад. Величины α и β определялись, согласно (1), по атомным факторам рассеяния $f_1 + i'f_2$ [5, 6]. Результаты вычислений представлены на рис. 1 и 2. Резкие провалы на графиках соответствуют линиям поглощения. Полученные результаты позволяют сделать следующие выводы.

1. В области низких энергий $0.2 \text{ кэВ} \lesssim E \lesssim 5 \text{ кэВ}$ отражательные способности R зеркал сильно зависят от выбора материала и от энергии γ -квантов из-за наличия линий поглощения. Наилучшими являются легкие элементы (Be, B), т.к. их K -линии поглощения лежат при еще более низких энергиях.

2. Справа от K -линии поглощения отражательные способности всех веществ сначала монотонно растут, достигают максимума, а затем начинают убывать. Таким образом, для каждого вещества существует естественный диапазон энергий, в котором его отражательная способность максимальна. Отмеченная закономерность может быть объяснена следующим образом. Из соотношения (1) и оптической теоремы следует: $\alpha \sim E^{-2}$, $\beta \sim E^{-1/2}(E)$, так что

$$\beta\alpha^{-3/2} \sim E^2\sigma(E), \quad (3)$$

где $\sigma(E)$ - полное сечение взаимодействия γ -кванта с атомом. Справа от K -линии поглощения основной вклад в сечение $\sigma(E)$ дает фотоэффект. Однако сечение фотоэффекта $\sigma_F(E)$ быстро убывает с увеличением энергии: $\sigma_F(E) \sim E^{-7/2}$ [7]. Поэтому в этой области $\beta\alpha^{-3/2}$ убывает как $E^{-3/2}$, а величина R растет согласно (2). При еще больших энергиях $\sigma(E)$ практически сводится к сечению Клейна-Нишины-Тамма, и величина $\beta\alpha^{-3/2}$ начинает увеличиваться за счет множителя E^2 (см. (3)), что приводит к уменьшению R (2).

3. С увеличением порядкового номера элемента положение максимума отражательной способности R смещается в сторону высоких энергий, а его величина уменьшается. Таким образом, легкие элементы (Be, B) имеют неоспоримые преимущества при $E \lesssim 20$ кэВ, но с увеличением энергии необходимо использовать более тяжелые элементы или соединения. Так, в диапазоне 20-80 кэВ вполне приемлемым является стекло С-52.

Полученные результаты показывают принципиальную возможность эффективного поворота на большие углы рентгеновского излучения в широком диапазоне энергий методом многократных последовательных отражений от изогнутых поверхностей при скользящем падении.

Л и т е р а т у р а

- [1] Андервуд Дж.Х., Атвуд Д.Т. - УФН, 1987, т. 151, в. 1, с. 105-117.
- [2] Кумахов М.А. Излучение каналированных частиц в кристаллах, М.: Энергоатомиздат, 1986. 160 с.
- [3] Виноградов А.В., Ковалев В.Ф., Кожевников И.В., Пустовалов В.В. - ЖТФ, 1985, т. 55, № 2, с. 244-250.
- [4] Аркадьев В.А., Коломийцев А.И., Кумахов М.А., Лабузов В.В., Чертов Ю.П., Шапаронов И.М. - Поверхность. Физика, химия, механика, 1987, № 2, с. 44-47.
- [5] Henke B.L., Lee P., Tanaka T.J., Shimabukuro R.L., Fujikawa B.K. - Atomic Data and Nuclear Data Tables, 1982, v. 27, N 1, p. 1-144.

[6] С т о р м Э., И с р а э л ь Х. Сечения взаимодействия гамма-излучения, М.: Атомиздат, 1973. 253 с.

[7] А х и е з е р А.И., Б е р е с т е ц к и й В.Б. Квантовая электродинамика, М.: Наука, 1969. 624 с.

Институт атомной энергии
им. И.В. Курчатова

Поступило в Редакцию
26 октября 1987 г.

Письма в ЖТФ, том 14, вып. 3

12 февраля 1988 г.

МОДУЛЯЦИОННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ХИРАЛЬНОЙ СМЕКТИКИ* С В ИК ОБЛАСТИ

П.В. А д о м е н а с, О.К. А д о м е н е н е,
В.В. Д а н и л о в, И.Е. М о р и ч е в, А.П. О н о х о в,
Д.А. С а в е л ь е в, А.И. Х р е б т о в

Скоростные характеристики электрооптического эффекта в хиральных смектиках C^X выгодно отличают их среди других жидких кристаллов (ЖК). Наилучшие результаты получены в случае изменения двулучепреломления, вызванного переориентацией раскрученной структуры [1]. Для получения таких эффектов требуются тонкие ячейки (несколько микрон) и высокие требования к ориентации. Согласно работе [2] в сравнительно толстых ячейках (десятки микрон), для которых практически невозможно создание гомогенной ориентации, также возможны быстрые электрооптические эффекты.

Однако изучение свойств и электрооптических характеристик хиральных смектиков ограничено лишь видимой и ближней ИК областью спектра [3]. В настоящей работе впервые сообщается о модуляционных характеристиках смектических жидких кристаллов в области среднего ИК диапазона.

Изготовленные нами ячейки состояли из двух пластин BaF_2 или Ge , в первом случае на внутреннюю поверхность пластин наносились электроды из $SnO_2 + In_2O_3$. Планарная ориентация ЖК достигалась за счет нанесения покрытия из GeO методом косоугольного напыления. Диаметр пластин ~ 35 мм. Толщина зазора > 20 мкм задавалась фторопластовыми прокладками. Все измерения проводились при комнатной температуре. Модулирующей средой является ЖК композиция на основе соединений класса сложных эфиров, в которых хиральность обусловлена наличием оптически активной 2-октильной группы, с температурой фазовых переходов $K^o 15$ См $C^* 74^o$ С См $A 76.5^o$ Н 87^o И и значением спонтанной поляризации $p=42$ нКл/см². В качестве источника линейно-поляризованного ИК-излучения с $\lambda=10.6$ мкм использовался лазер ЛГ-74. Приемник ИК-излучения - МГ-30. Основная экспериментальная особенность наших опытов - это отсутствие анализатора в измерительной схеме. Изучались скоростные и контрастные (глубина модуляции)