

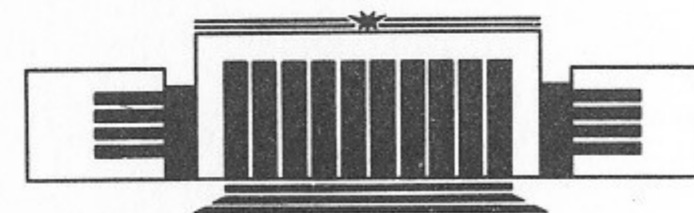


40
ИНСТИТУТ ЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ СО АН СССР

И.П. Долбня, Б.А. Князев,
В.П. Симонов, Г.Г. Фельдман

**ИССЛЕДОВАНИЕ АБСОЛЮТНОЙ
ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ РЕНТГЕНОВСКОГО ЭОП
В ДИАПАЗОНЕ 7—20 кэВ ПРИ
ПОМОЩИ СИНХРОТРОННОГО ИЗЛУЧЕНИЯ**

ПРЕПРИНТ 89-66



НОВОСИБИРСК

Исследование абсолютной чувствительности
рентгеновского ЭОП в диапазоне 7—20 кэВ
при помощи синхротронного излучения

*И.П. Долбня, Б.А. Князев,
В.П. Симонов, Г.Г. Фельдман*

Институт ядерной физики
630090, Новосибирск 90, СССР

АННОТАЦИЯ

Экспериментально измерена абсолютная спектральная чувствительность рентгеновского электронно-оптического преобразователя (РЭОП) с бериллиевым окном и микроканальной пластиной в качестве конвертирующего и усиливающего элемента в диапазоне энергий квантов рентгеновского излучения от 7 до 20 кэВ. Измерения проведены на канале синхротронного излучения накопителя ВЭПП-3М Института ядерной физики СО АН СССР. Показано, что в указанном диапазоне энергий величина κ , представляющая собой отношение числа фотонов синей области спектра на выходе РЭОП к числу квантов рентгеновского излучения на входе, растет от 1200 до 2200 фотонов на квант. Исследовано изменение чувствительности вдоль рабочего поля РЭОП.

Measuring the Absolute Sensitivity of
an X-Ray Electron-Optical Image Converter
Using 7—20 keV Synchrotron Radiation

*I.P. Dolbnya, B.A. Knyazev,
V.P. Simonov, G.G. Feldman*

Institute of Nuclear Physics
630090, Novosibirsk-90, USSR

АБСТРАКТ

The absolute sensitivity of an X-ray electron-optical image converter with a MCP used as both photocathode and amplifier has been investigated using synchrotron radiation in the energy range from 7 to 20 keV. The experiments have been carried out on a synchrotron radiation channel of VEPP-3M storage ring in Novosibirsk Institute of Nuclear Physics. In this spectral range the response of the converter increases from 1200 to 2200 blue photons at the output per one incident X-ray quantum. The distribution of the sensitivity along image field has been also studied.

© Институт ядерной физики СО АН СССР

1. ВВЕДЕНИЕ

Регистрация изображений в относительно мягком (до 20 кэВ) рентгеновском излучении представляет значительный интерес в самых разных приложениях. В последние годы для конверсии рентгеновского излучения в видимое с одновременным электронным усилением изображения используются рентгеновские электронно-оптические преобразователи (РЭОП) с микроканальными пластинами (МКП). В частности, отпаянные РЭОП, разработанные во ВНИИ ОФИ [1], используются в экспериментах с мощными пучками релятивистских электронов [2, 3], а РЭОП на основе МКП с открытым входом — в термоядерных исследованиях (см., например, [4]). Несмотря на относительно широкое использование рентгеновских ЭОП в экспериментальной практике, их метрологические характеристики изучены еще недостаточно.

Рентгеновский ЭОП устроен следующим образом. Рентгеновское излучение через бериллиевое окно толщиной 300 мкм и диаметром 38 мм попадает на входную поверхность МКП, играющую роль фотокатода. Фотоэлектроны размножаются в каналах МКП, а затем после выхода из МКП ускоряются в плоско-параллельном промежутке до 4—5 кВ и падают на люминесцентный экран из катодолюминофора К-71, нанесенный на внутреннюю поверхность волоконно-оптического диска. К внешней стороне этого диска для регистрации изображения может прижиматься фотопленка или другой позиционно-чувствительный детектор.

При планировании экспериментов, проводимых с помощью

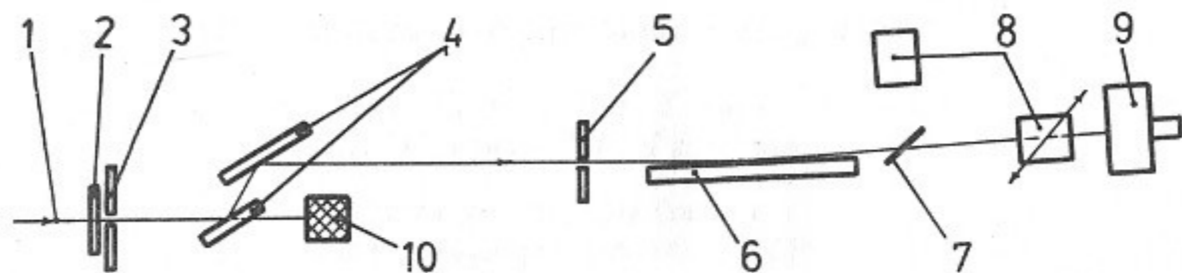


Рис. 1. Схема экспериментальной установки:

1—пучок СИ; 2—горизонтальный коллиматор; 3—вертикальный коллиматор, 4—кристалл монохроматора; 5—вертикальная коллимационная щель; 6—зеркало; 7—рассеиватель; 8—сцинтилляционные детекторы; 9—РЭОП; 10—заглушка «белого» пучка.

РЭОП, представляют интерес данные об абсолютной величине чувствительности этого прибора к рентгеновскому излучению в различных спектральных диапазонах. В литературе имеются некоторые сведения о коэффициентах конверсии рентгеновского излучения в электроны для микроканальных пластин (см. работы [5—7] и библиографию в них), однако, какие-либо данные о коэффициентах преобразования рентген/свет для РЭОП, как прибора, в литературе отсутствуют. Лишь в работе [8] приведены данные о пороговой чувствительности РЭОП к жесткому тормозному излучению с характерной энергией 1 МэВ при регистрации изображения на фотопленку.

В настоящей работе экспериментально исследована абсолютная спектральная чувствительность отпаянного рентгеновского ЭОП с бериллиевым входным окном по отношению к рентгеновскому излучению в диапазоне энергий от 7 до 20 кэВ, который определялся возможностями монохроматора и канала синхротронного излучения (СИ), на котором проводились эксперименты. Длинноволновая граница чувствительности собственно РЭОП определяется пропусканием бериллиевого окна и составляет 3 кэВ, коротковолновая — спадом эффективности регистрации жестких фотонов микроканальной пластиной и превышает 1 МэВ. В качестве меры абсолютной спектральной чувствительности мы примем коэффициент конверсии κ , представляющий собой число фотонов видимого света, выходящих из стекловолоконной шайбы, в расчете на один квант рентгеновского излучения на входе РЭОП.

2. ЭКСПЕРИМЕНТ

Эксперименты проводились на накопителе ВЭПП-3М. Энергия электронов в накопителе 2 ГэВ, ток в кольце обычно составляет 100—150 мА. Схема экспериментов показана на рис. 1. Для монохроматизации излучения применялся двухкристальный монохроматор типа «бабочка», в котором использовались монокристаллы (Si(220)), вырезанные из монолита кремния. Для того, чтобы подавить отражения высших порядков, после монохроматора ставилось рентгеновское зеркало скользящего падения (кварцевое стекло с золотым покрытием).

Поток падающих квантов контролировался при помощи двух сцинтилляционных детекторов на ФЭУ-130 с кристаллом NaI(Tl), включенных в счетном режиме, причем один из них в процессе измерения регистрировал рассеянное излучение и использовался в качестве монитора для нормировки на падающий пучок. Рассеивателем служили пластинка из алюминия толщиной 1 мм с прорезью для прохождения излучения, либо набор пластинок из бериллия, толщиной по 200 мкм каждая. Излучение попадало на входное бериллиевое окно рентгеновского ЭОП, который был установлен на координатной подвижке, позволявшей перемещать РЭОП поперек пучка (при измерениях вариации чувствительности по рабочему полю ЭОП). При измерениях абсолютной чувствительности положение РЭОП не менялось. Детектор, непосредственно регистрирующий падающий поток, был установлен на координатной подвижке перед входным окном РЭОП и позволял проводить оперативные абсолютные измерения входного потока. На время измерений с РЭОП он выводился из пучка. Во всех экспериментах к МКП было приложено напряжение 0.9 кВ, а к ускоряющему промежутку — 4 кВ.

Измерение потока фотонов на выходе РЭОП осуществлялось с помощью ФЭУ-60 с известной абсолютной спектральной чувствительностью на длине волны 570 нм, прижатого вплотную к выходной волоконно-оптической шайбе и работавшего в токовом режиме. Используя стандартные кривые спектральной чувствительности фотокатода С-6 и люминофора К-71, можно было вычислить число фотонов на входе ФЭУ, соответствующее измеряемому току. Вследствие некоторой неопределенности положения максимума кривой для С-6 систематическая погрешность измерений абсолютных значений может достигать 50—70%. Контрольные измерения относительной спектральной чувствительности РЭОП были прове-

дены также с ФЭУ-143 (вместо ФЭУ-60), размеры фотокатода которого полностью покрывали апертуру РЭОП. Ход кривой относительной чувствительности полностью совпадал с полученной с помощью ФЭУ-60. С тем же ФЭУ-143 проводилось и измерение распределения относительной чувствительности поперек рабочего поля РЭОП.

Сканирование по энергии осуществлялось с шагом 1 или 2 кэВ. Управление монохроматором, зеркалом, коллимационными щелями, а также измерение и обработка сигналов с ФЭУ (счетчиками и измерителями токов) проводилось при помощи микро-ЭВМ.

3. РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТА

На рис. 2 приведена зависимость коэффициента конверсии κ от энергии рентгеновских квантов. Вертикальные линии указывают максимальный статистический разброс экспериментальных точек. Видно, что чувствительность растет с увеличением энергии квантов

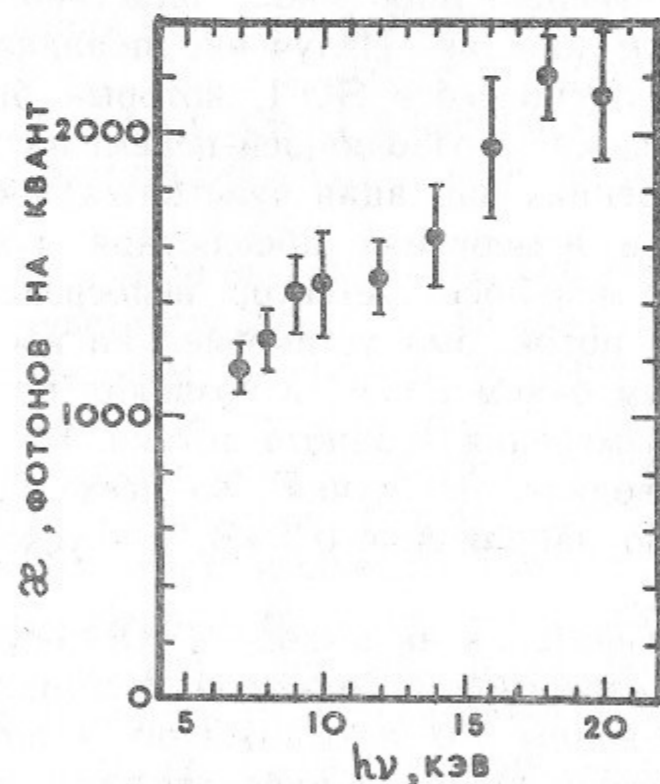


Рис. 2. Абсолютная спектральная чувствительность κ рентгеновского ЭОП в зависимости от энергии рентгеновских квантов.

и достигает значения 2200 фотонов на рентгеновский квант при энергии квантов 18 кэВ. Относительная величина этого роста находится в хорошем согласии с ростом относительной чувствительности МКП в том же диапазоне энергий, измеренной в [6].

Сканирование потока вдоль рабочего поля РЭОП проводилось при энергии квантов на основной гармонике монохроматора 18 кэВ (зеркало при этом убиралось, и спектр содержал некоторое количество фотонов второй (36 кэВ) и высших гармоник). Пучок формировался щелью размером 200 или 50 мкм, соответствовавшим шагу перемещения РЭОП. Результаты сканирования приведены на рис. 3 (кривая *a*). Видно, что на правом краю кривой чувствительность прибора повышается на 10% на интервале между координатами, указанными стрелками 3 и 2. Однако, между стрелками 1 и 3

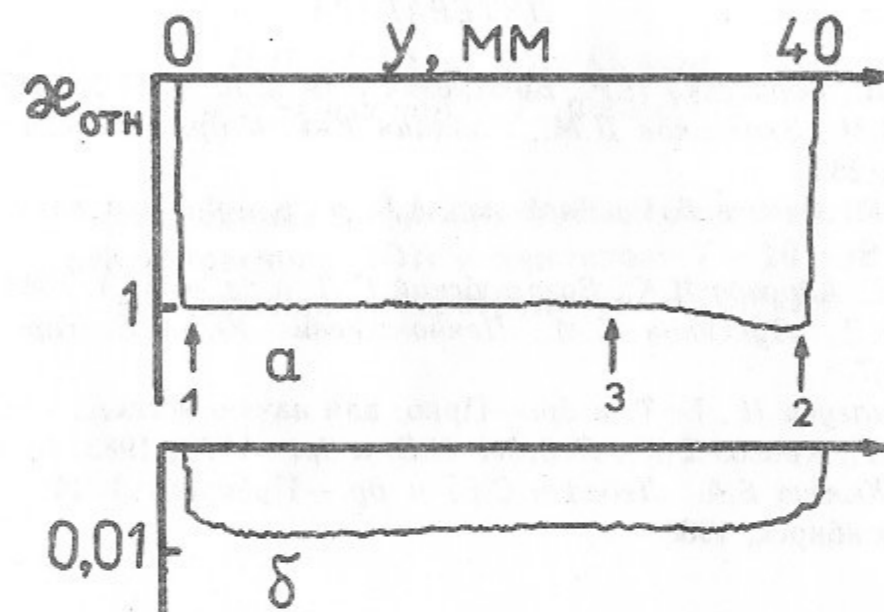


Рис. 3. Относительная величина изменения чувствительности при сканировании исходного пучка вдоль рабочего поля РЭОП: *a* — напряжение на МКП — 0.9 кВ; *b* — без напряжения на МКП.

ками 1 и 3 имеется достаточно однородная область. Если вычислить среднеквадратичное отклонение точек в этом диапазоне, то относительная величина вариаций чувствительности составляет лишь 0.5%.

Для того, чтобы выяснить, не связана ли наблюдаемая неоднородность с неоднородностями люминофора, волоконной шайбы или неоднородностью фотокатода ФЭУ-143, было проведено сканирование при выключенном напряжении на МКП. В этом случае часть квантов высших гармоник проходила через МКП и вызывала свечение сцинтиллятора (интенсивность которого, однако, была в 50 раз ниже, чем в режиме с поданным на МКП напряжением, и практически не влияла на измерения коэффициента конверсии). Результат показан на кривой *b*. Видно, что сколь-нибудь заметной асимметрии кривой не наблюдается. «Завалы» на краях обусловлены поглощением рентгеновского излучения в элементах кон-

струкции прибора. Таким образом, подъем кривой рис. 3,а связан, вероятно, с неоднородностями МКП, причем его величина не превышает допустимых паспортных значений.

Авторы благодарят Л.А. Мироненко за изготовление бериллиевых окон РЭОП, В.В.Анашина, Г.Н. Кулипанова, С.В. Лебедева, Н.А. Мезенцева, В.Ф. Пиндюрина и М.А. Шеромова за содействие и полезные обсуждения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Баскаков Н.В., Борисенко И.Р., Брюхневич Г.И. и др.—ПТЭ, 1987, № 1, с.220.
2. Горбулин Ю.М., Злотников Д.М., Калинин Ю.Г. и др.—Физика плазмы, 1984, т.10, вып.2, с.282.
3. Воробаев С.Г., Князев Б.А., Ларионов А.В. и др.—Физика плазмы, 1989, т.15, вып.3, с.307.
4. Аранчук Л.Е., Айвазов И.К., Боголюбский С.Л. и др.—ПТЭ, 1983, № 1, с.157.
5. Дмитриев В.Д., Лукьянов С.М., Пенионжкевич Ю.Э., Саттаров Д.К.—ПТЭ, 1982, № 2, с.7.
6. Кондо Т., Ямагучи Н., Те Т. и др.—Приб. для научн. исслед., 1988, № 2, с.39.
7. Алтынцев А.Т., Красов В.И., Лебедев Н.В. и др.—ПТЭ, 1983, № 6, с.177.
8. Вейс М.Э., Князев Б.А., Лебедев С.В. и др.—Препринт ИЯФ СО АН СССР 88-159, Новосибирск, 1988.

*И.П. Долбня, Б.А. Князев,
В.П. Симонов, Г.Г. Фельдман*

**Исследование абсолютной чувствительности
рентгеновского ЭОП в диапазоне 7—20 кэВ
при помощи синхротронного излучения**

Ответственный за выпуск С.Г.Попов

Работа поступила 27 апреля 1989 г.
Подписано в печать 18.05. 198. г. МН 02158
Формат бумаги 60×90 1/16 Объем 0,9 печ.л., 0,8 уч.-изд.л.
Тираж 250 экз. Бесплатно. Заказ № 66

*Набрано в автоматизированной системе на базе фото-
наборного автомата ФА1000 и ЭВМ «Электроника» и
отпечатано на ротапринтере Института ядерной физики
СО АН СССР,
Новосибирск, 630090, пр. академика Лаврентьева, 11.*