

АТОМНАЯ И ЯДЕРНАЯ ФИЗИКА

УДК 539.17

ИСТОЧНИКИ ГАММА-ИЗЛУЧЕНИЯ С ШИРОКОУГОЛЬНЫМ ПОЛЕМ ОБЛУЧЕНИЯ

В. К. Гришин, Б. С. Ишханов, С. П. Лихачев, В. И. Шведун

(НИИЯФ)

E-mail: grishin@depni.npi.msu.su

Рассматриваются системы, обеспечивающие создание однородного фотонного поля для облучения объектов больших угловых размеров. Показано, что подобные системы могут быть созданы на базе тормозного излучения пучка электронов с определенным угловым распределением.

Введение

Создание источников, обеспечивающих равномерное поле γ -излучения, является насущной потребностью для многих приложений в промышленности, медицине и т.п. Одно из актуальных приложений, рассматриваемое далее в качестве примера, — использование широких равномерных полей жесткого γ -излучения для быстрого бесконтактного контроля грузовых и морских контейнеров на таможенных терминалах [1]. В работе рассматривается возможность создания компактного высокоинтенсивного источника γ -излучения, обеспечивающего получение широкоугольного однородного поля с использованием тормозного излучения электронов с энергией $E \leq 10$ МэВ.

На рис. 1 представлено схематическое изображение прототипа подобной установки, предназначенной для радиационного контроля с полем облучения 3×0.2 м²; там же представлен вид коллиматора со стороны детектора. Входное окно коллиматора имеет размеры 6×6 мм², а выходное — такие, что обеспечивают выход излучения в угол $\pm 1.5^\circ$ и $\pm 20^\circ$ по осям X и Y соответственно. Расстояние между

мишенью-радиатором и детектором 4 м. Начальная энергия электронов выбрана равной 7 МэВ.

Традиционный способ генерации тормозного γ -излучения заключается в облучении пучком ускоренных электронов мишени определенной толщины из вещества тяжелых металлов (W, Pt и т.п.). Излучение фотонов в случае тонкой мишени происходит преимущественно в конус с раствором $\vartheta_{em} \approx 1/\gamma_e$, где γ_e — релятивистский фактор электрона. Хотя в реальных источниках излучение фотонов происходит в больший угол, поскольку при прохождении через мишень электроны дополнительно рассеиваются, применение традиционной схемы возможно лишь при увеличении расстояния между источником и объектом до величины около 20 м [1]. Это приводит к существенному увеличению размеров установки и резкому снижению интенсивности γ -излучения на облучаемом объекте.

Отметим, что наиболее употребительные в настоящее время способы управления пространственным распределением тормозного γ -излучения [2] — сканирование узким пучком электронов мишени-радиатора и применение фильтров, выравнивающих

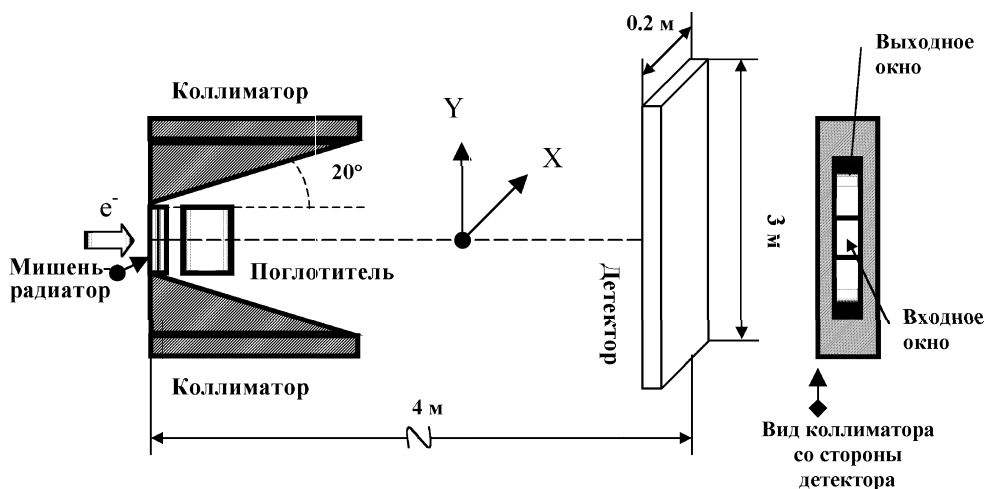


Рис. 1. Схематическое изображение геометрии установки

поле γ -излучения, — не позволяют решить поставленную задачу полностью. При реализации первого из упомянутых способов возникают значительные технические трудности при анализе движущихся объектов (например, морских и ж/д контейнеров на таможенных терминалах) и интерпретации результатов измерений.

Использование выравнивающих фильтров, с помощью которых «срезается» интенсивность излучения в приосевой области конуса излучения и повышается доля излучения при больших углах, также не приводит к удовлетворительному результату, поскольку процесс перераспределения γ -квантов сопровождается их сильным поглощением (см. далее).

Возможность создания источника жесткого излучения с равномерным полем излучения в большом диапазоне углов ($\theta \leq 20^\circ$) была показана путем использования для генерации γ -квантов пучков электронов с определенным угловым распределением.

Результаты исследования

Исследование проводилось методом компьютерного моделирования с помощью программного кода, созданного на основе библиотеки GEANT [3].

Для анализа пространственного и энергетического распределения фотонов, падающих на поверхность детектора, данные представлялись в следующем виде. Детектор был разделен на площадки размером 10×10 см, в каждой из которых считались полное число падающих фотонов и их средняя энергия. Во всех расчетах количество упавших на мишень электронов составляло $N = 10^6$.

С целью исследования влияния коллиматора на формирование поля облучения при использовании остронаправленного потока фотонов была выбрана «тонкая» для энергии электронов 7 МэВ мишень толщиной 0.1 мм, соответствующая примерно 0.04 длины пробега электронов в вольфраме.

На рис. 2 приведены пространственное и энергетическое распределения фотонов на поверхности детектора вдоль линий, проходящих через геометрический центр детектора горизонтально и вертикально (соответственно вдоль осей X и Y , см. рис. 1). Из рис. 2 видно, что интенсивность излучения монотонно падает, уменьшаясь в два раза уже под углом примерно $\pm 10^\circ$, что соответствует расстоянию ± 40 см от центра детектора в координатах рис. 2.

Для анализа возможности выравнивания распределения потока γ -квантов с помощью специальных

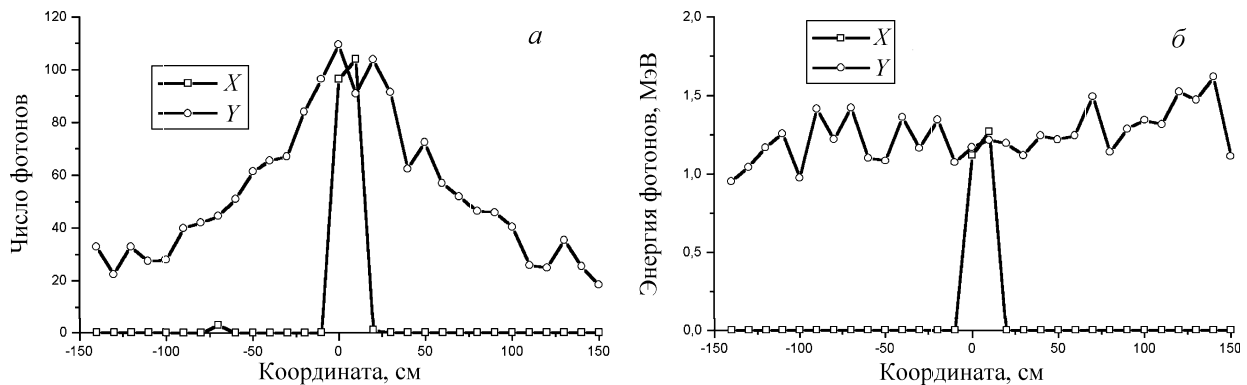


Рис. 2. Числа фотонов (а) и средние энергии фотонов (б) для случая вольфрамовой мишени-радиатора толщиной 0.1 мм. Кривые X и Y соответствуют данным, взятым вдоль горизонтальной и вертикальной осей, проходящих через геометрический центр детектора. $E = 7$ МэВ. Количество упавших на мишень электронов $N = 10^6$

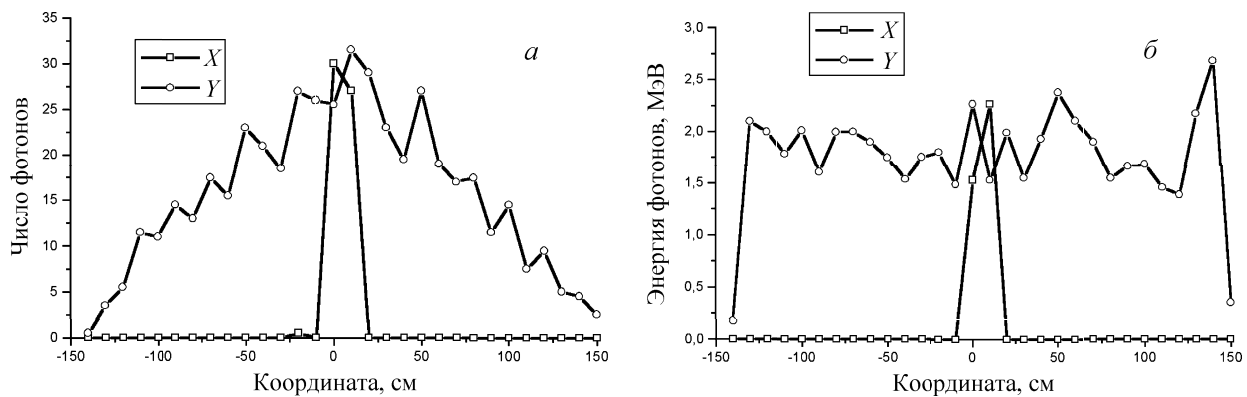


Рис. 3. Числа фотонов (а) и средние энергии фотонов (б) для случая вольфрамовой мишени-радиатора толщиной 2.5 мм. Кривые X и Y соответствуют данным, взятым вдоль горизонтальной и вертикальной осей, проходящих через геометрический центр детектора. $E = 7$ МэВ. Количество упавших на мишень электронов $N = 10^6$

фильтров была выполнена серия расчетов с использованием «толстых» радиаторов. Так, на рис. 3 представлены кривые, аналогичные рис. 2, для толщины мишени-радиатора 2.5 мм, равной длине пробега электронов с энергией 7 МэВ. Из рис. 3 видно, что область, в которой интенсивность γ -фотонов уменьшается в два раза, расширяется и достигает примерно ± 80 см (в координатах рисунка) по поверхности детектора, что соответствует угловому раствору $\pm 10^\circ$. Однако при этом интенсивность излучения существенно (в несколько раз) падает. Средняя энергия фотонов возрастает примерно в 1.5 раза.

Анализ полей излучения в источниках с использованием радиаторов различных толщин, форм и материалов показал, что наиболее эффективным методом получения пространственного распределения фотонов с заданными характеристиками является метод, когда заранее (перед столкновением с мишенью-радиатором) формируется определенное угловое распределение электронного пучка вдоль оси Y . Избегая потери заметной доли излучения, эту задачу

можно решить путем применения системы магнитных линз.

При моделировании этого случая электронный пучок с диаметром 1 см разворачивался вдоль оси Y , так что падающие на мишень электроны оказывались равномерно распределенными в интервале углов $\pm 30^\circ$ вдоль оси Y . На рис. 4 приведены данные для вольфрамового радиатора толщиной 0.5 мм. Как следует из рис. 4, формируя пространственное распределение электронного пучка и используя коллиматор, вырезающий нужную часть пространственного распределения фотонов, можно получить однородное широкоугольное (в пределах $\pm 20^\circ$) поле жесткого излучения и постоянную (в пределах $\pm 10\%$) энергию фотонов во всей заданной области облучения.

Было проведено исследование зависимости числа фотонов и средней энергии излучения для равномерного распределения электронов в угол $\pm 30^\circ$ для различных толщин мишени-радиатора (рис. 5). Видно, что, варьируя толщину мишени, можно получить источник с однородным полем облучения в заданной геометрической области и с «регулируемой»

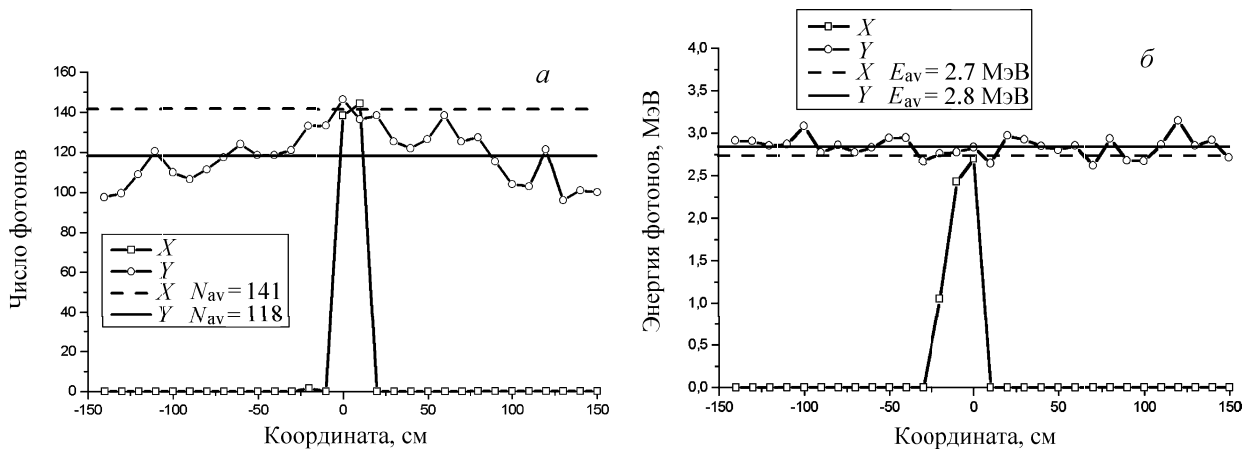


Рис. 4. Числа фотонов (а) и средние энергии фотонов (б) для случая вольфрамовой мишени-радиатора толщиной 0.5 мм. Падающие на мишень электроны распределены в интервале углов $\pm 30^\circ$ вдоль оси Y . $E = 7$ МэВ. Количество упавших на мишень электронов $N = 10^6$

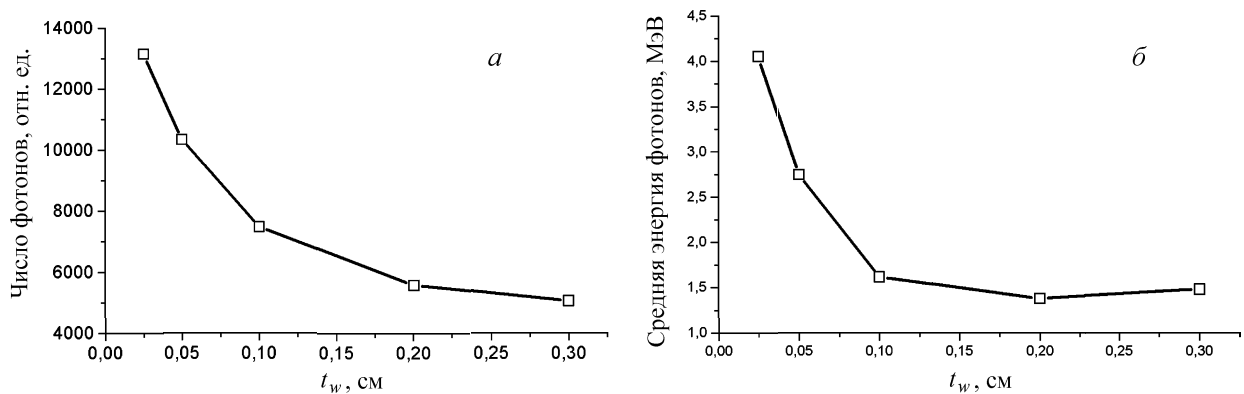


Рис. 5. Зависимость числа фотонов (а) и средней энергии фотонов (б) от толщины вольфрамовой мишени-радиатора. Падающие на мишень электроны распределены в интервале углов $\pm 30^\circ$ вдоль оси Y . $E = 7$ МэВ. Количество упавших на мишень электронов $N = 10^6$

энергией излучения. Это открывает дополнительные возможности для анализа структуры облучаемого изделия.

Заключение

Показана возможность создания компактного высокоинтенсивного источника, формирующего однородное широкоугольное поле излучения с пространственными и энергетическими характеристиками, требуемыми для облучения движущихся объектов.

Литература

1. *Dönges G., Geus G., Henkel R.* et al. // Nucl. Instr. and Meth. in Phys. Res. 1992. **B68**. P. 68.
2. *Ковалев В.П.* Вторичные излучения ускорителей электронов. М., 1979.
3. *Brun R., Bruyant F., Maire M.* et al. GEANT3.21 (User's Guide). Geneva, CERN, 1993.

Поступила в редакцию
18.09.03