

УДК 539.1.074

ФОРМИРОВАНИЕ СЛАБОРАСХОДЯЩИХСЯ ПУЧКОВ ТОРМОЗНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ЭЛЕКТРОНОВ СИСТЕМОЙ ДВУХ ЩЕЛЕВЫХ КОЛЛИМАТОРОВ

Жумабаева Г.К., Опаева С.Ж., Азатов А.А., Хожаниязов Ж.Т., Базарбаева О.Ж.

Каракалпакский государственный университет имени Бердаха

Введение. Обнаруженное в 2011 г в экспериментах на базе микротрона МТ-22С ЯФЛ СамГУ, с примыкающим к нему 300-метровым пролётным каналом, явление зеркального отражения жесткого γ -излучения [1] открывает перспективы создания гамма-оптических систем, которые могут осуществить мощный технологический прорыв в различных областях науки и техники.

Зеркальное отражение γ -излучения происходит при их падении на макроскопический гладкую поверхность под сверхмалыми ($\alpha = 10^{-6} - 10^{-5} \text{ рад}$) углами скольжения, и для его исследования необходимы тонкие ($\Delta X_g < 100 \text{ мкм}$), слаборасходящиеся ($\delta_\gamma < 100 \text{ мкрад}$) и интенсивные ($I_\gamma > 100 \text{ квант/с}$) пучки γ -квантов.

В данной работе представлены результаты методических исследований по формированию пучков тормозного излучения электронов (ТИЭ) с энергией $E_\gamma = 6.5 \text{ МэВ}$ с помощью двух, осево-разделенных, щелевых коллиматоров (систем ШК).

Экспериментальная установка. Эксперименты проведены на установке для исследования рассеяния γ -квантов на сверхмалые углы [2] с использованием 120-метровой пролетной базы (Рис.1).

Выведенный горизонтально из микротрона МТ-22С пучок электронов ($E_e = 6.5 \text{ МэВ}$, $I_e < 5 \text{ мкА}$, $\tau = 2.5 \text{ мкс}$, $f = 386 \text{ Гц}$) генерирует в тормозной мишени (ТМ) ТИЭ, которое, после его очистки от заряженных частиц и техногенного фона (магнитами (М1, М2) и вспомогательными канальными коллиматорами (К1-К3)), с помощью системы 2ШК формируется в вертикальной плоскости в тонкий ($\Delta X_g \sim 50$ или 100 мкм), слаборасходящийся ($\delta_\gamma \leq \delta_g$) ленточный (горизонтальная расходимость $\delta_T \leq \frac{m_e c^2}{E_g} = 79 \text{ мкрад}$) пучок.

Отметим, что проникающая способность γ -излучения несравнимо больше, чем светового и мягкого рентгеновского, и его формируют в пучок, не с помощью тонких диафрагм, а с помощью толстых (длинных) щелевых коллиматоров (ЩК) из тяжелых металлов. При этом сформированный пучок, помимо “прямых” γ -квантов, пролетевших в зазоре ЩК, включает в себя “краевые” (прошедшие через края) и “рассеянные” (на стенках зазора ЩК) γ -кванты, уширяющих расходимость (ширина на полувысоте углового распределения) пучка, относительно угловой апертуры щелевого коллиматора:

$$\delta_g = \frac{\Delta X_g}{\Delta Z_g}$$

где ΔX_g - высота щели, ΔZ_g - длина ЩК.

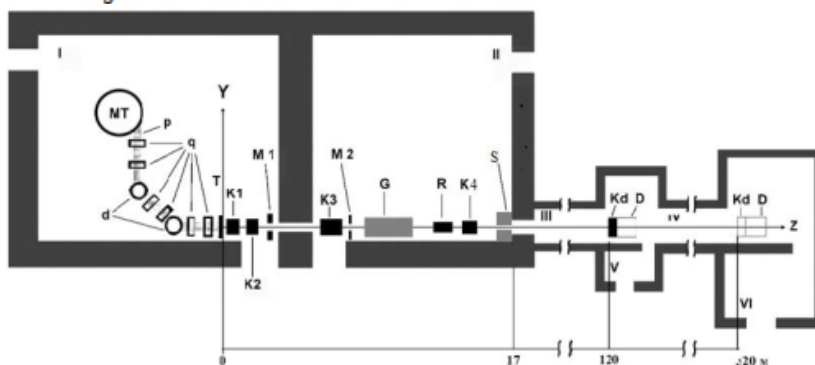


Рис. 1. Общая схема эксперимента в плане. МТ - 22С – микротрон, р – электроновод, q – дублирующие линзы, d – дипольные поворотные магниты, Т – тормозная мишень, К1 – К4 – цилиндрические свинцовые коллиматоры, М1 и М2 – очищающие постоянные магниты, G – щелевой коллиматор, R – рефлектор, Kd – детекторный коллиматор, D – детектор, I и II – ускорительный и экспериментальный залы, III и IV – 100 и 200-метровые участки пролётного канала, V и VI – измерительные павильоны. S – бетонные блоки с амбразурой.

Апертура ЩК определяет расходимость (зависимость обратная), высота его щели – интенсивность (зависимостью прямая) углового распределения пучка ТИЭ. Очевидно, что уменьшение апертуры ЩК целесообразно осуществлять удлинением ЩК, а не сужением его зазора. Но удлинение ЩК сопровождается возрастанием интенсивности “рассеянных” γ -квантов и, соответственно уширяющих расходимость сформированного пучка.

Но, если вместо одного ЩК, длиной ΔZ_g , использовать систему двух коротких ЩК, соосно разнесенных на длину ΔZ_g , то площадь рассеяния γ -квантов значительно сократится, относительно длинного ЩК, тем самым

сократиться интенсивность “рассеянных” γ -квантов, и соответственно уменьшится и расходимость сформированного пучка.

Формирование пучка системой двух щелевых коллиматоров. В эксперименте использована система 2 ЦК, собранная из двух пар свинцовых пластин, размерами $X \times Y \times Z = 20 \times 50 \times 100 \text{ мм}^3$ (Рис.2).

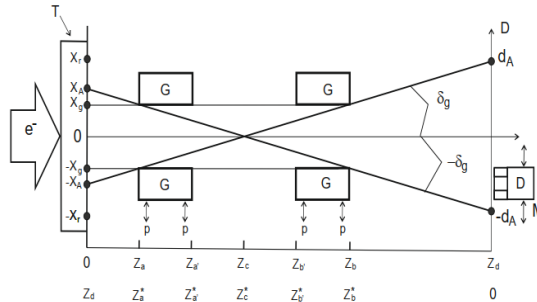


Рис 2. Схема постановки эксперимента. Введение обозначения e^- – пучок электронов; Т – тормозная мишень; G – пластины щелевого коллиматора; D – детектор с коллиматорами; P – микроподъемные устройства; M – микроподъемное устройство; r – радиус рабочей части ТМ; $\Delta X_g = 2g$, ΔZ_g и $\delta_g = \Delta X_g / \Delta Z_g$ – зазор, длина и апертура ЦК, $Z_0 = 6.5 \text{ м}$, $Z_{a1} = 6.6 \text{ м}$, $Z_c = Z_0 + \Delta Z_g / 2$, $Z_b = Z_0 + \Delta Z_g$, $Z_{b1} = Z_b - 0.1 \text{ м}$, $Z_d = 120 \text{ м}$ – расстояния до ТМ; Z_{a1}^* , Z_{a2}^* , Z_b^* , Z_{b1}^* , Z_c^* , Z_d^* – расстояния от D.

Между пластинами в парах проложены полоски металлических фольг, калиброванных по толщине, образующих зазоры ЦК. Каждая пара пластин установлена на платформе, снабженной тремя микроподъемными устройствами (Р), позволяющими осуществлять ее юстированные по высоте и наклону в плоскостях XZ и XY. Регулирование устройств осуществляется дистанционно с пульта управления микротрона, в процессе его работы. Они позволяют, с приемлемыми временными затратами, осуществить юстированные зазоры системы 2ЦК по оси OZ проходящей через центр ТМ. Суммарная толщина пластин системы 2ЦК $Z = 200 \text{ мкм}$ подавляет интенсивность γ -излучения, в наиболее проникающем энергетическом диапазоне $E_\gamma = 2 - 4 \text{ МэВ}$, более, чем в 10^3 раз (Рис.3,4).

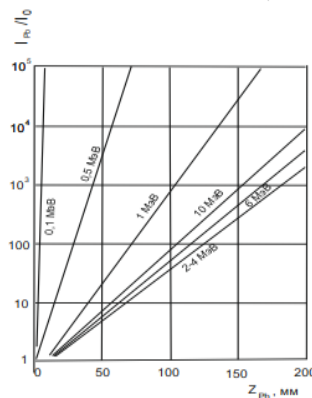


Рис 3. Ослабление интенсивности пучков γ – излучения с энергиями $E_\gamma = 0.1 - 10 \text{ МэВ}$, в свинце [4]

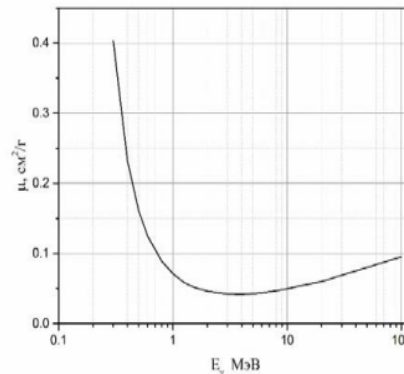


Рис.4. Энергетическая зависимость массового коэффициента ослабления пучка γ -излучения свинца [4].

На расстоянии $Z_d = 120 \text{ м}$ установлен сцинтилляционный детектор (РОРО), с коллиматором с целью размерами $X \times Y \times Z = 1 \times 63 \times 100 \text{ мм}^3$, и миллиподъемным (М), дистанционно управляемым, устройством, позволяющим сканировать пучок с шагом $\Delta X_d \geq 1 \text{ мм}$ [3, 4].

Закключение. Проведённые исследования показали эффективность формирования тонких и слабодиффундирующих пучков тормозного излучения электронов с использованием системы двух соосно разнесённых щелевых коллиматоров. Установлено, что применение двух коротких коллиматоров вместо одного длинного позволяет уменьшить вклад рассеянного γ -излучения и снизить угловую расходимость пучка. Разработанная конструкция и методика юстировки обеспечивают формирование интенсивных пучков с параметрами, необходимыми для исследований в области гамма-оптики и экспериментов со сверхмалыми углами рассеяния.

ЛИТЕРАТУРА

1. А.Т. Муминов, Т.М. Муминов, У.С. Салихбаев, В.В. Скворцов. Зеркальное отражение гамма-излучения. Возможность. Поиск. Обнаружение. Перспектива использования. “ФАН” АН РУз, Т. 2015.
2. Alimov G.R., Kumakhov M.A., Muminov A.T., Muminov T.M., Osmanov B.S., Salikhbaev U.S., Safarov A.N., Skvortsov V.V., Usmanov R.R., Yuldashev B.S. A setup for studies of ultra-small angle scattering of had gamma-quanta. Nucl.Instr and Meth. B. V.222, 2004 P681-685.
3. Schiff L.I. Energy angle distribution of thin target bremsstrahlung. Phys.Rev. V.83, 1951, N2.
4. Физические величины. Справочник. М., Энергоатомиздат, 1991.

Аннотация. В работе исследованы методические особенности формирования тонких и слаборасходящихся пучков тормозного излучения электронов микротрона МТ-22С с использованием системы двух соосно разнесённых щелевых коллиматоров. Описана экспериментальная установка и конструкция коллимационной системы. Проанализировано влияние геометрических параметров коллиматоров на интенсивность и угловую расходимость пучка. Показано, что применение двух коротких коллиматоров позволяет уменьшить вклад рассеянного излучения и повысить качество формируемого γ -пучка.

Ключевые слова: микротрон, тормозное излучение, γ -кванты, щелевой коллиматор, двухщелевая система.

Abstract. The work investigated the methodological features of forming thin and weakly converging beams of electron bremsstrahlung of the MT-22C microtron using a system of two axially separated slit collimators. The experimental setup and design of the collimation system are described. The influence of the geometric parameters of the collimator on the intensity and angular divergence of the beam was analyzed. It has been shown that the use of two short collimators reduces the contribution of scattered radiation and improves the quality of the formed γ -ray beam.

Keywords: microtron, bremsstrahlung, γ -quanta, slit collimator, two-slit system.

Annotaciya. Jumista MK-22S mikrotronı elektronlarınıń tormozlanıw nurlanıwınıń jıńışke hám ázzi jıynalatuǵın dástelerin eki kósherge ajratılǵan sańlaqlı kollimatorlar sistemasınan paydalanǵan halda qalıplestiriwdiń metodikalıq ózgeshelikleri izertlendi. Kollimaciyalıq sistemaniń eksperimentallıq qurılısı hám konstrukciyası táriyiplengen. Kollimatorlardıń geometriyalıq parametrleriniń dásteniń intensivligine hám múeshlik uzaqlasıwına tásiiri tallandı. Eki qısqa kollimatordı qollanıw shashıraǵan nurlanıw úlesin azaytıw hám payda bolatuǵın γ -dásteniń sapasın artırıw múmkinshiligin beretuǵınlıǵı kórsetilgen.

Tayanish sózler: mikrotron, tormozlanıw nurlanıwı, γ -kvantlar, sańlaqlı kollimator, eki sańlaqlı Sistema.
