

УДК 537.591:621.384.6

Л. З. Джилаван
 Е. А. Замчалова
 А. В. Лелеков
 И. В. Ракобольская
 Н. В. Сокольская

КРИВАЯ ПОЧЕРНЕНИЯ
 РЕНТГЕНОВСКОЙ ПЛЕНКИ,
 ИСПОЛЬЗУЕМОЙ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЙ
 КОСМИЧЕСКИХ ЛУЧЕЙ,
 ПРИ ОБЛУЧЕНИИ ЕЕ ПОЗИТРОНАМИ
 С ЭНЕРГИЕЙ 30 МэВ

Измерена кривая почернения рентгеновской пленки РТ-6М при облучении ее позитронным пучком с энергией 30 МэВ на линейном ускорителе электронов в диапазоне плотностей облучения от 0,01 до 4 мкм⁻². Предлагается совместное использование рентгеновской пленки и ядерной эмульсии для абсолютной калибровки мониторов слабых токов пучков релятивистских заряженных частиц.

В настоящее время для регистрации электронов, γ -квантов и адронов космического излучения с энергиями больше 10^{12} эВ широко применяются рентгено-эмульсионные камеры, представляющие собой слой свинцового поглотителя и слой рентгеновской пленки [1]. При использовании рентгеновской пленки для определения энергии электронно-фотонного каскада, развивающегося в свинцовой камере, необходимо знать так называемую кривую почернения — связь между плотностью облучения n (числом частиц на единицу площади) и величиной оптического потемнения D в рентгеновской пленке.

Для используемой в Советском Союзе пленки РТ-6М, выпускаемой Шосткинским химзаводом, кривая почернения была впервые получена в работе [2] при облучении электронами от β -активного препарата $\text{Sr}^{90} + \text{Y}^{90}$ с максимальными энергиями электронов 0,61 и 2,19 МэВ, пучками π -мезонов с энергиями 540 МэВ и 60 ГэВ и для электронно-фотонных каскадов с энергиями от 1,5 ТэВ до 20 ТэВ. Было показано, что зависимость $D(n)$ для радиоактивного препарата описывается законом $D = D_{\infty}(1 - e^{-ns})$, где $D_{\infty} = 4$, $s = 8,3$ мкм² (данные здесь и далее приводятся для одного слоя эмульсии РТ-6М, при этом второй слой смывает). Также было установлено, что кривая различается для электронов от радиоактивного препарата и частиц высокой энергии в π -мезонных пучках ускорителя и в электронно-фотонных каскадах. Максимальная плотность облучения для высокоэнергичных частиц составляла $\sim 0,1$ мкм⁻² и поэтому в этих опытах был определен только наклон кривой $D(n)$ в линейной части ($D_{\infty}s$). Оказалось, что $D_{\infty}s = (12,8 \pm \pm 0,7)$ мкм² как для π -мезонов, так и для электронно-фотонных каскадов. Взяв значение $D_{\infty} = 4$ из опыта с радиоактивным препаратом, авторы [2] описали зависимость $D(n)$ законом $D = 4(1 - e^{-3,20n})$ (n измеряется в мкм⁻²). Для получения значений s и D_{∞} в одном опыте следует измерить кривую почернения на электронных или позитронных пучках высоких энергий в широком диапазоне плотностей от 0,01 до нескольких частиц на квадратный микрон.

В настоящей статье описан опыт проведения подобного калибровочного эксперимента на линейном ускорителе электронов (ЛУЭ) Ин-

ститута ядерных исследований АН СССР для рентгеновской пленки РТ-6М, изготовленной Шосткинским химкомбинатом¹.

Для выполнения поставленной задачи требовалось ослабление плотности пучка ЛУЭ \sim в 10^8 раз от номинальной плотности. Для этой цели была использована система генерации позитронов, разработанная для получения квазимонохроматических γ -квантов от аннигиляции

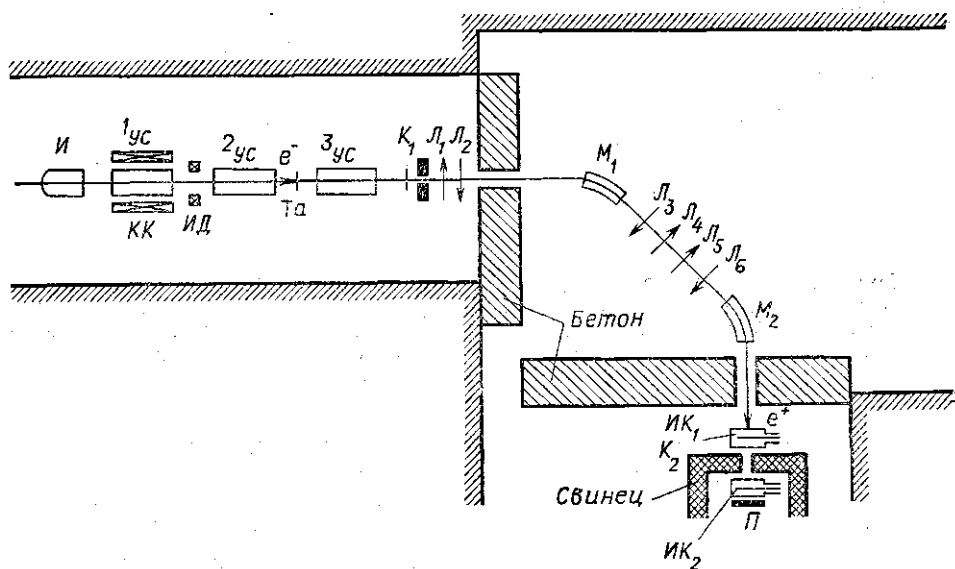


Рис. 1. Схематическое изображение системы формирования пучка для проведения облучения. И — инжектор ЛУЭ, 1ус, 2ус, 3ус — первая, вторая, третья ускоряющие секции ЛУЭ, КК — корректирующие катушки, ИД — индукционный датчик, Та — танталовая конверторная мишень, Ф — рассеивающая алюминиевая фольга, К₁, К₂ — коллиматоры, Л₁, Л₂, Л₃, Л₄, Л₅, Л₆ — квадрупольные магнитные линзы, М₁, М₂ — секторные отклоняющие магниты, ИК₁, ИК₂ — ионизационные камеры, П — облучаемые пакеты

позитронов на лету [3]. При этом пришлось принять специальные меры для добавочного ослабления пучка позитронов, описанные ниже.

Схематическое изображение системы формирования пучка позитронов, использованной для проведения требуемых облучений, приведено на рис. 1. Электронный пучок из инжектора ЛУЭ, пройдя первую и вторую ускоряющие секции ЛУЭ, бомбардирует танталовую конверторную мишень, в которой генерируются позитроны. Позитроны, пройдя через третью ускоряющую секцию ЛУЭ, настроенную на их ускорение, поступают на вход системы транспортировки и анализа, состоящей из шести магнитных квадрупольных линз и двух секторных магнитов (угол поворота $2 \times 45^\circ$). Система транспортировки и анализа при проведении всех облучений выделяла позитроны с $E_+ = 30$ МэВ с энергетическим разбросом $\delta E_+ = 1\%$. Для задания требуемых экспозиций использовались корректирующие катушки на первой ускоряющей секции ЛУЭ.

Время минимальной экспозиции (~ 10 с) выбиралось таким, чтобы заведомо исключить влияние процедуры включения и выключения пучка. Длительность экспозиции контролировалась по числу импульсов

¹ Эмульсия № 12712, чувствительностью $S_{D_0+0,85} = 70$ обратных рентген; ко времени эксперимента «возраст» эмульсии был 6 мес.

индукционного датчика (ЛУЭ работает при частоте посылок 50 Гц). Система формирования пучка была настроена так, чтобы на входе коллиматора (диаметром 15 мм) в свинцовом домике дополнительной защиты диаметр пучка был ~ 50 мм, что позволило выделить центральную более однородную часть пучка. Указанная настройка проверялась как по электронному пучку (с помощью люминесцентного экрана и телевизионной камеры), так и непосредственно по позитронному пучку (с помощью рентгеновских пленок).

Использование внутриускорительной мишени особенно существенно для получения стабильного ослабленного малофонового пучка. С од-

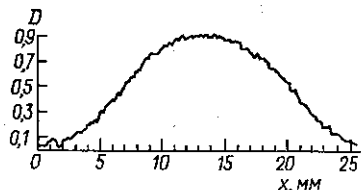


Рис. 2. Профиль пятна на рентгеновской пленке при облучении пучком позитронов

ной стороны, основная часть ЛУЭ работает в номинальном стабильном режиме, с другой стороны, основной источник фона максимально удален от зоны облучения, в системе транспортировки пучок позитронов проходит толстые бетонные стены защиты, одна из которых почти наглухо закрывает зал ЛУЭ. Для получения дополнительного ослабления и очищения пучка, а также для достижения более однородной плотности облучения использовались рассеивающая алюминиевая фольга и коллиматор K_1 , также расположенные в зале ЛУЭ. Профиль полученного пятна на рентгеновской пленке для плотностей облучения, соответствующих линейной части зависимости D от n , показан на рис. 2.

Полный заряд позитронов за время облучения измерялся тонкостенной ионизационной камерой, чувствительность которой была измерена с помощью цилиндра Фарадея. Основная ионизационная камера была расположена после свинцового коллиматора K_2 диаметром 15 мм внутри свинцового защитного домика непосредственно перед пакетом, состоящим из исследуемой рентгеновской пленки и релятивистской ядерной эмульсии. Еще одна ионизационная камера размещалась перед коллиматором K_2 и использовалась для дополнительного контроля. При малых экспозициях производилось измерение как плотности облучения n в ядерной эмульсии в центре пятна, так и измерение полного заряда Q с помощью ионизационной камеры. Оказалось, что с точностью $\sim 7\%$ отношение n/Q постоянно, что позволило при больших экспозициях рассчитать плотность облучения по показаниям ионизационной камеры.

Сравнение показаний ионизационной камеры с результатами измерений в ядерной эмульсии и в рентгеновской пленке по всей площади пятна позволило произвести дополнительную проверку чувствительности ионизационной камеры, что представляет самостоятельный интерес, так как она является одним из основных мониторов слабых токов электронов и позитронов на упомянутой выше системе генерации квазимонохроматических пучков γ -квантов на ЛУЭ ИЯИ АН СССР. Такой способ можно использовать для абсолютной калибровки и других мониторов слабых токов пучков релятивистских заряженных частиц.

Описанная методика позволила на позитронном пучке ЛУЭ при $E_+ = 30$ МэВ провести измерение калибровочной кривой во всем тре-

буемом интервале плотностей облучения. Было проведено три серии облучения (серии 1, 2, 3 рис. 3 и 4). Счет позитронов в ядерной эмульсии и измерения потемнений для построения кривой $D(n)$ проводился в области 2×2 мм в центре пятна. Из рис. 2 видно, что пятно в этой области достаточно однородно и сопоставление соответствующих значений D и n проводится с хорошей точностью.

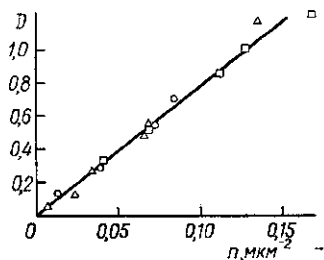


Рис. 3. Кривая почернения. Область малых плотностей облучения, \square — серия 1, \circ — серия 2, \triangle — серия 3

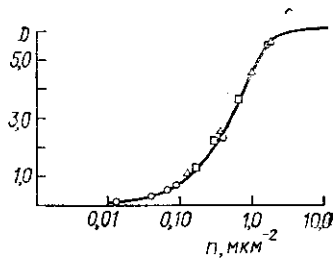


Рис. 4. Полная кривая почернения. Обозначения те же, что и на рис. 3

Пленки каждой серии проявлялись одновременно по методике, описанной в работе [1] и являющейся стандартной при работе с рентгено-эмульсионными камерами. Контроль за проявлением осуществлялся с помощью метки от радиоактивного источника. На измеренные значения потемнения была введена соответствующая поправка, причем ее величина не превышала 10%. Полученная зависимость $D(n)$ приведена на рис. 3 и 4. Все значения n на рис. 3 получены счетом треков в ядерной эмульсии. Значения параметров при описании этой зависимости формулой $D = D_{\infty}(1 - e^{-ns})$ получились равными $D_{\infty} = 6,0 \pm 0,5$, $s = (1,28 \pm 0,13)$ мкм². Наклон кривой в начальной части $D_{\infty} \cdot s = (7,7 \pm 0,15)$ мкм². Нужно отметить, что максимальное потемнение, измеряемое на используемом фотометре МФ-4, составляет $\sim 6,5$, и в этой области приведенные значения потемнений имеют большую ошибку. Таким образом, полученные значения D_{∞} и s отличаются от принятых при работе с рентгено-эмульсионными камерами на основании работы [2]. Для того, чтобы понять причины этого отличия, требуется продолжение работы по снятию кривой почернения.

В заключение выражаем благодарность Л. Е. Лазаревой за постоянный интерес к работе, группе эксплуатации ЛУЭ ИЯИ АН СССР и особенно ее руководителю В. Н. Пономареву за обеспечение работы ускорителя и помощь в проведении измерений, а также старшему научному сотруднику ГосНИИХИМФОТОПРОЕКТА И. Ф. Разореновой за помощь в проявлении ядерной эмульсии.

ЛИТЕРАТУРА

1. Сб. Исследование мюонов сверхвысоких энергий. Метод рентгено-эмульсионных камер. М., 1975.
2. Барадзей Л. Т., Каневская Е. А., Смородин Ю. А. Труды ФИАН, 1970, 46, 200; Каневская Е. А. Канд. дис. ФИАН, 1976.
3. Векслер Г. Г., Вербицкий С. С., Джилаван Л. З., Обозный В. А. В сб.: «Вопросы атомной науки и техники», вып. 1(2). Харьков, 1976, с. 66.

Поступила в редакцию
18.1 1977 г.
НИИЯФ