

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Рузер Л. С. Докт. дис. М., ВНИИФТРИ, 1970.
2. Рузер Л. С. Авт. свид. № 165250. «Бюл. изобрет.», 1964, № 18.
3. Урусов С. А. Канд. дис. М., Ин-т биофизики Минздрава СССР, 1972.
4. Антипин Н. И. и др. В кн.: Материалы физико-химической, промышленной и приборной секции

- III Всесоюзной конференции по аэрозолям. М., «Наука», с. 193.
5. Антипин Н. И., Кузнецов Ю. В., Рузер Л. С. «Атомная энергия», 1976, т. 40, вып. 3, с. 247.
6. Рузер Л. С., Лабушкин В. Г. Авт. свид. № 171478. «Бюл. изобрет.», 1966, № 11.
7. Васин В. А., Кузнецов Ю. В., Рузер Л. С. В кн.: Труды ВНИИФТРИ «Методы и аппаратура для точных измерений параметров ионизирующих излучений». Вып. 22 (52). М., изд. ВНИИФТРИ, 1975, с. 44.

УДК 539.121.17:518

## Распределение поглощенной энергии и выход тормозного излучения при облучении меди и тантала электронами ускорителя РИУС-5

ЗАВАДА Н. И., ЗЛОБИН А. М., ДОНСКОЙ Е. Н., ПИЛИПЕНКО А. В., ХИЖНЯКОВ В. В.

В настоящее время электронные пучки находят все более широкое применение как инструмент для исследования уравнения состояния твердых тел, радиационных эффектов и как источник тормозного излучения (ТИ). Одним из важных требований, предъявляемых к эксперименту на ускорителях электронов, является контроль энергетических характеристик пучка (потока энергии  $W_0$ , спектра электронов) и, если необходимо, получение информации о ТИ. При электронном облучении создание невозмущающих поле методик контроля встречает известные трудности. Как правило, ускорители снабжены системами регистрации тока и ускорения

пучка напряжения либо спектрометрами электронов. В связи с этим выяснение степени корректности расчетов по току и напряжению для конкретного ускорителя является важной задачей.

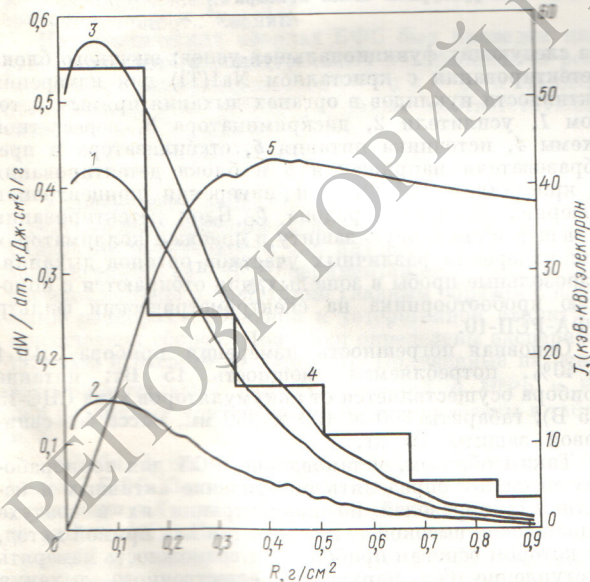
В настоящей работе приведены результаты измерений распределения поглощенной энергии электронов ускорителя РИУС-5 [1] в образцах меди и тантала, выход ТИ  $J$  и сопоставлены полученные результаты с расчетами по методике Монте-Карло, развитой в работах [2, 3] с учетом ТИ; обнаружено хорошее согласие теории и эксперимента.

Система для измерения профиля энерговыделения представляла собой набор тонких фольг из тантала и меди толщиной 100—200 мкм. Для уменьшения теплообмена отдельные слои сборки изолировали тонкими кольцами пьезоласта. Оценки показывают, что погрешности измерения, обусловленные теплообменом, ниже погрешности прибора. Удельную поглощенную энергию  $dW/dm$  измеряли калориметрами двух типов: системой микрокалориметров волюбого поглощения для изучения распределения  $W_0$  по сечению пучка и устройством для измерения профиля  $dW/dm$ . Термодатчиками для обоих типов калориметров являлись тонкие медь-константановые термомпары. Регистрацию сигналов проводили на 12-канальном магнитоэлектрическом осциллографе К-12-22. Распределение плотности потока энергии по сечению в сборке контролировали в тормозном излучении камерой-обскурой.

Параметры ТИ регистрировали интегральными термомлюминесцентными дозиметрами ИКС-А и детекторами формы импульса ( $p-i-n$ -диод). Информация о параметрах электронного пучка получена с пояса Роговского и емкостного делителя напряжения. Для тщательной калибровки емкостного делителя использовали фотоядерные реакции на  $^9\text{Be}$  и  $\text{D}_2\text{O}$  (с порогами 1,76 и 2,23 МэВ соответственно). Расчеты проводили по методике [2, 3], расширенной с целью учета ТИ. Модифицированная методика позволяет рассчитывать не только распространение электронов в веществе, но и угловое спектральное распределение ТИ.

На шаге  $\Delta s_i$  электрон теряет на излучение энергию

$$\Delta \epsilon_{\text{рад}}^i = N_0 \Delta s_i \int_0^{k_{\text{макс}}} k \frac{d\delta(\epsilon_i, k)}{dk} dk, \quad (1)$$



Р и с. 1. Распределение удельной поглощенной энергии и выход ТИ из Та-мишени:

1 — расчет  $dW/dm$  без учета ТИ; 2 — расчет  $dW/dm$ , обусловленный ТИ; 3 — полная поглощенная энергия (расчет); 4 — эксперимент; 5 — выход ТИ

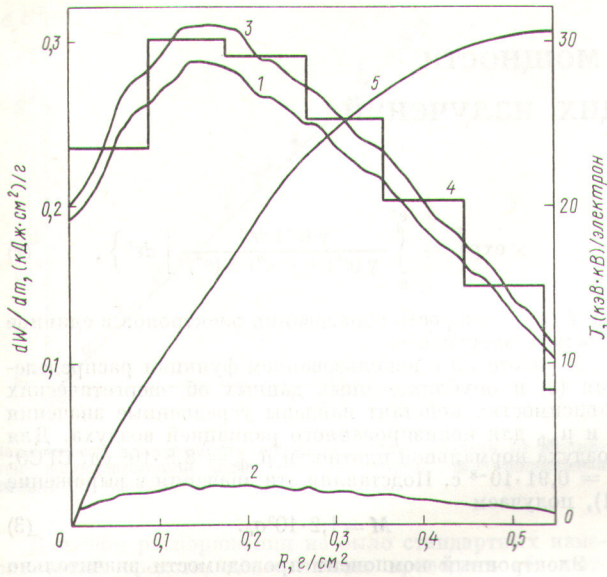


Рис. 2. Распределение удельной поглощенной энергии и выход ТИ из Си-мишени (обозначения, как на рис. 1)

где  $N_0$  — число атомов среды в единицу объема;  $ds(\epsilon_i, k)/dk$  — дифференциальное сечение излучения кванта с энергией  $k$  к электронам  $\epsilon_i$  [4]. Средний косинус угла вылета тормозного кванта на шаге  $\langle \cos(\epsilon_i, k) \rangle$ , как показывают расчеты, слабо зависит от энергии фотонов и определяется в основном энергией электрона. В соответствии с вычисляемой вероятностью излучения квантов на каждом шаге  $\Delta s_i$  и с учетом коэффициентов поглощения, зависящих от энергии квантов, рассчитывается поток энергии ТИ на заданной глубине и произвольном угле к нормали. С целью обеспечения слабой зависимости точности расчета от порядкового номера вещества  $Z$  шаг выбирался следующим образом:

$$\Delta S = AR_G \epsilon_0^{1,75} / C \rho Z (Z+1), \quad (2)$$

где  $R_G = 4 \cdot 10^{-6}$  г/см<sup>2</sup>;  $\epsilon_0$  — энергия электрона, кэВ;  $\rho$  — плотность вещества;  $A$  — массовое число;  $C$  — постоянная ( $C \geq 1$ ).

На рис. 1 и 2 сравниваются расчеты удельной поглощенной энергии  $dW/dm$  и выход ТИ для мишеней из меди и тантала. На рис. 3 представлены зависимости выхода ТИ от времени для РИУС-5 из мишени тантала толщиной 1 г/см<sup>2</sup>. Расхождение теории и эксперимента при времени  $> 45$  нс, по-видимому, связано с особенно-

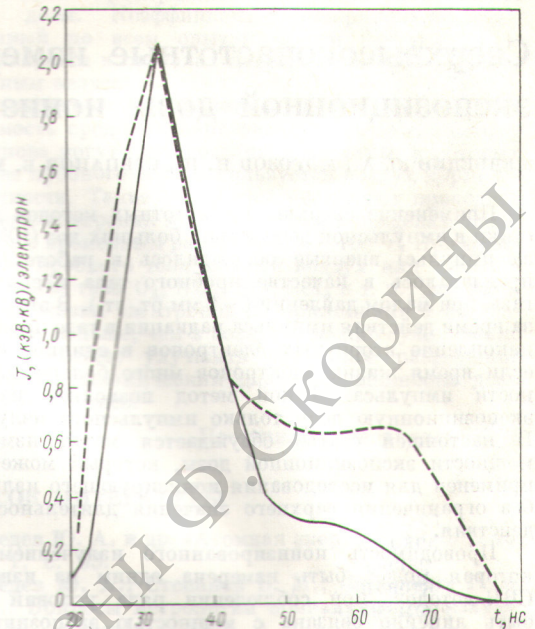


Рис. 3. Выход тормозного излучения из Та-мишени (--- — эксперимент, — — — расчет)

стями развития вакуумного пробоя в диоде, отмеченными в работе [5].

Обнаруженное хорошее согласие теории и эксперимента дает основание считать корректным использование тока и ускоряющего напряжения электронного пучка РИУС-5 для характеристики электронного потока.

Поступило в Редакцию 5.1.78

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Абрамян Е. А. и др. «Докл. АН СССР», 1970, т. 192, № 1, с. 76.
2. Злобин А. М., Донской Е. Н., Хижняков В. В. «Атомная энергия», 1975, т. 38, вып. 1, с. 36.
3. Злобин А. М., Донской Е. Н., Хижняков В. В. В кн.: Вопросы дозиметрии и защиты от излучений. Вып. 15. М., Атомиздат, 1976, с. 58, 61.
4. Koch H., Motz J. «Rev. Mod. Phys.», 1959, v. 31, p. 920.
5. Дубовой Л. В. и др. «Письма в ЖТФ», 1976, т. 2, вып. 10, с. 433.