

01;10  
©1994

## ЗАВИСИМОСТЬ ЭФФЕКТИВНОСТИ КРИСТАЛЛИЧЕСКОГО ИСТОЧНИКА ПОЗИТРОНОВ ОТ МАТЕРИАЛА РАДИАТОРА

*В.П.Лапко, И.Н.Мондрус, Н.Н.Насонов*

1. Использование кристаллического радиатора для преобразования энергии релятивистского электронного пучка в энергию  $\gamma$ -излучения позволяет существенно повысить эффективность позитронных источников, основанных на каскадном процессе  $e^- \rightarrow \gamma \rightarrow e^\pm$  [1,2].

Важнейшим вопросом этого актуального направления развития ускорительной техники является выбор материала радиатора. Указанный вопрос не решен до настоящего времени, хотя в последних исследованиях предпочтение отдается материалам с большим атомным номером  $Z$  [3,4].

Цель настоящей работы состоит в теоретическом исследовании  $Z$ -зависимости выхода позитронов в источнике с кристаллическим радиатором при различных энергиях пучка электронов.

2. В работе рассмотрен вариант источника с отдельными кристаллическим радиатором и аморфным конвертером, в котором излученные в радиаторе  $\gamma$ -кванты трансформируются в  $e^+$ -пары. Толщина конвертера выбрана достаточно малой, так что развитие ливня в нем можно не учитывать.

Для расчета такого конвертера была специально разработана численно-аналитическая модель процесса генерации позитронов, учитывающая поглощение фотонов в среде, многократное рассеяние и энергетические потери рождающихся позитронов. Созданная на основе этой модели программа отличается весьма малым временем счета и, как показала специальная проверка, дает результаты, близкие к получаемым с помощью программы EGS4, обычно используемой для расчета позитронных источников [5].

Основной трудностью в расчете взаимодействия первичного электронного пучка с кристаллическим радиатором является корректное описание процесса когерентного излучения электронов в реальном потенциале атомных цепочек ориентированного кристалла. В настоящей работе применялся разработанный нами ранее подход, позволяющий эффективно рассчитывать характеристики излучения релятивистской частицы во внешнем поле при произвольной степени недипольности процесса излучения [6]. Эффективность

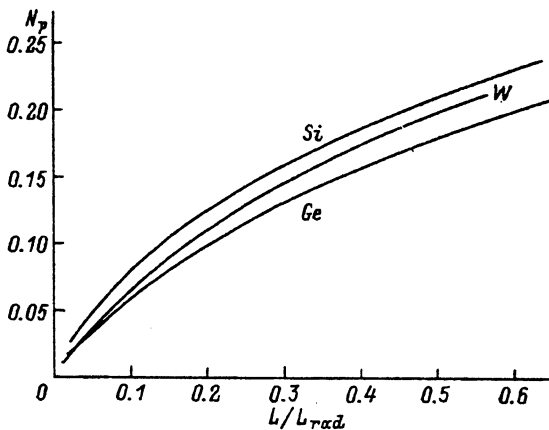


Рис. 1. Зависимость выхода позитронов от толщины радиатора. Энергия первичного пучка  $E = 2 \text{ ГэВ}$ , вольфрамовый конвертер толщиной  $0.5 L_R$ .

подхода была подтверждена расчетом новых интерференционных и поляризационных эффектов в излучении ультрарелятивистских электронов [6,7] и сравнением теории с экспериментальными результатами [8].

Спектр фотонов на выходе радиатора рассчитывался в настоящей работе с учетом квантовой отдачи при излучении, поглощении фотонов, многократного рассеяния и энергетических потерь излучающих электронов.

3. В работе исследовался выход позитронов в зависимости от толщины радиатора для двух значений энергии первичных электронов:  $E = 2 \text{ ГэВ}$  и  $E = 20 \text{ ГэВ}$ . В качестве материала радиатора рассматривались кристаллы Si, Ge, ориентированные осью  $\langle 111 \rangle$  вдоль импульса электронного пучка, а также кристалл W, ориентированный осью  $\langle 100 \rangle$ .

Проведенный анализ показал слабую зависимость выхода позитронов от материала конвертера, поэтому в расчетах использовалась модель вольфрамового конвертера с толщиной, равной половине радиационной длины.

На рис. 1 и 2 представлены результаты расчета зависимости выхода позитронов на один первичный электрон от толщины радиатора  $L$ , выраженной в единицах радиационной длины соответствующего материала радиатора  $L_R$ . Кривые иллюстрируют выход позитронов с энергиями от 5 до 20 МэВ, вылетающих из конвертера под углом  $\vartheta$  к импульсу первичного пучка в пределах  $\vartheta \leq 10^\circ$ .

Приведенные результаты демонстрируют эффект резкого изменения характера  $Z$ -зависимости эффективности рассматриваемого позитронного источника при изменении

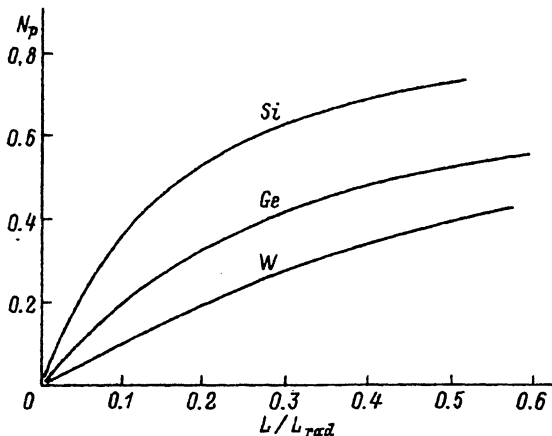


Рис. 2. Зависимость выхода позитронов от толщины радиатора. Энергия первичного пучка  $E = 20$  ГэВ, вольфрамовый конвертер толщиной  $0.5L_R$ .

энергии первичных электронов от двух до двадцати ГэВ. Для объяснения этого эффекта заметим, что в области энергий  $E \approx 20$  ГэВ процесс когерентного излучения электронов является существенно недипольным для всех трех кристаллов. При этом спектр излучаемой энергии  $\frac{dW}{d\omega}$  является весьма широким. Его ширина  $\Delta\omega$  пропорциональна характерной частоте излучения  $\omega_x$ , определяемой градиентом усредненного потенциала атомной цепочки кристалла, т.е.  $\Delta\omega \sim \omega_x \sim E^2 \cdot Z^{4/3}$ . Благодаря указанному обстоятельству, с ростом  $Z$  происходит уширение спектра  $\frac{dW}{d\omega}$  в сторону более высоких значений  $\omega$ . С другой стороны, пропорциональность  $Z^2$  интенсивности излучения и среднего квадрата угла многократного рассеяния электронов компенсируется в рассматриваемых условиях пропорциональностью толщины кристалла  $Z$  соответствующей радиационной длине  $L_R \sim Z^{-2}$ . Учтем теперь, что количество рождающихся позитронов пропорционально интегралу  $\int d\omega \sigma(\omega) \frac{dN}{d\omega}$ , где  $\sigma$  — сечение образования  $e^\pm$ -пары фотоном с энергией  $\omega$ ,  $\frac{dN}{d\omega} \sim \frac{1}{\omega} \cdot \frac{dW}{d\omega}$  — спектральная плотность фотонов. Легко видеть, что обрезаящий множитель  $\frac{1}{\omega}$  подавляет вклад процессов с высоким значением  $\omega$ . Поэтому причиной уменьшения в области достаточно больших значений  $E$  эффективности кристаллического радиатора с ростом  $Z$  является отмеченный выше эффект уширения спектра недипольного излучения.

С другой стороны, в области энергий  $E \approx 2$  ГэВ излучение в Si и Ge, а также в W в области углов ориентации импульса электронов относительно оси атомной цепочки  $\Psi \geq \Psi_c$  ( $\Psi_c$  — критический угол осевого каналирования) является дипольным со сравнительно узким спектром  $\frac{dW}{d\omega}$ , сосредоточенным в области малых  $\omega \ll E$ . В этих условиях уменьшается различие в проявлении обрезającego множителя  $\frac{1}{\omega}$  в интеграле  $\int d\omega \sigma(\omega) \frac{1}{\omega} \cdot \frac{dW}{d\omega}$ , определяющем выход позитронов.

Таким образом, проведенный анализ показывает, что эффективность кристаллического радиатора слабо зависит от атомного номера материала радиатора  $Z$  в области небольших значений энергии первичного электронного пучка, когда когерентное излучение является дипольным.

В области больших энергий первичного пучка электронов, когда когерентное излучение является недипольным, эффективность кристаллического радиатора возрастает с уменьшением  $Z$ , вопреки распространенному мнению.

#### Список литературы

- [1] *Chehab R. et al.* // Preprint LAL-RT 89-01. 1989.
- [2] *Decker F.-J.* // Preprint SLAC-PUB-5482. 1991.
- [3] *Baier V.N., Chehab R.* // Proposal for an Experiment at Orsay. May, 1990. Orsay, France.
- [4] *Artru X. et al.* // Preprint LAL-RT 91-07. 1991.
- [5] *Nelson W., Hirayama H., Rogers D.* // Preprint SLAC-PUB-265. 1985.
- [6] *Барц Б.И., Лапко В.П., Насонов Н.Н., Шляхов Н.А.* // ДАН УССР. 1991. В. 12. С. 34-38.
- [7] *Лапко В.П., Насонов Н.Н., Санин В.М.* // ЯФ. 1993. Т. 55. С. 3183-3187.
- [8] *Блажневич С.В., Бочек Г.Л. и др.* // ЖТФ. 1993. Т. 63. С. 9-15.

Национальный научный центр  
"Харьковский физико-технический  
институт"

Поступило в Редакцию  
23 марта 1994 г.