

ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА

Д13-85-694

УЛУЧШЕНИЕ ТОЧНОСТИ
ОПРЕДЕЛЕНИЯ КООРДИНАТ
ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ЛИВНЕЙ
С ПОМОЩЬЮ ШИРОКОЗАБОРНОЙ
ДРЕЙФОВОЙ КАМЕРЫ

Направлено в журнал "Nuclear Instruments and Methods"

1985

Г.С.Бицадзе, Ю.А.Будагов, В.В.Глаголев, В.М.Королев,
А.А.Омельяненко, А.А.Семенов, С.В.Сергеев
Объединенный институт ядерных исследований, Дубна

В.Глинка, Б.Ситар
Университет им. Я.А.Коменского, Братислава

Э.Кладива, Й.Шпалек
Институт экспериментальной физики Словацкой академии наук,
Кошице

А.М.Блик, А.С.Соловьев
Институт физики высоких энергий, Серпухов

А.Б.Йорданов, Р.В.Ценов
Софийский университет, НРБ

И.А.Минашвили
Институт физики высоких энергий, Тбилиси

А.М.Артыков
Самаркандский университет, СССР

Введение

Для улучшения пространственного разрешения гомогенных электромагнитных калориметров можно использовать дополнительный координатный детектор, размещенный за конвертором гамма-квантов^{/1-3/}. Возможно более точное определение координаты электромагнитного (э.м.) ливня необходимо во многих экспериментах, прежде всего при высоких энергиях, где угол разлета гамма-квантов небольшой. Улучшением пространственного разрешения электромагнитных калориметров занимаются многие группы (например,^{/1-4/}).

Оказывается, что наиболее высокое пространственное разрешение можно получить с помощью широкоазорных дрейфовых камер (ЩДК) в качестве координатного детектора^{/1,4/}. Поэтому для большого черенковского ливневого детектора (ЛД) с апертурой $1 \times 2 \text{ м}^2$, составленного из блоков свинцового стекла $100 \times 100 \times 350 \text{ мм}^3$ и входящего в состав спектрометрического комплекса ОИЯИ-ИФВЭ "Гиперон"^{/5/}, нами создается дополнительная система - активный конвертор с размерами $1 \times 2 \text{ м}^2$ и большие широкоазорные дрейфовые камеры с чувствительной площадью 1 м^2 , перекрывающие апертуру ЛД.

В данной статье описаны результаты исследований, которые были проведены на установленном в пучке позитронов 3 ГэВ ЛД уменьшенного размера (прототип с апертурой $0,2 \text{ м}^2$) при использовании двух весьма различающихся типов электронной аппаратуры для регистрации сигналов от ЩДК: а) на основе модуля квантования сигналов с быстродействующим амплитудно-цифровым преобразователем (АЦП)^{/6/}, б) на основе время-цифрового преобразователя (ВЦП) с малым мертвым временем^{/9/}. Ниже они для краткости именуются как "Метод АЦП" и "Метод ВЦП".

В данной статье сравниваются пространственные разрешения, достигнутые методом ВЦП и различными алгоритмами обработки информации в методе АЦП.

Кроме этого, в статье приведены формы поперечного распределения заряда в э.м. ливне при разных глубинах его развития в свинцовом стекле, полученные с помощью ЩДК.

1. Экспериментальная установка

Эксперимент проводился на 18-м канале ускорителя ИФВЭ (Серпухов) по схеме, приведенной на рис. 1. В триггер включены три сцинтилляционных счетчика S_1 S_2 S_3 и пороговые черенковские счетчики C_1 , C_2 , C_3 , выделяющие позитроны с импульсом 3 ГэВ/с. Два дополнительных сцинтилляционных счетчика S_4 и S_5 шириной 1 мм каждый формируют узкий пучок. Они устанавливались с точностью 0,1 мм.

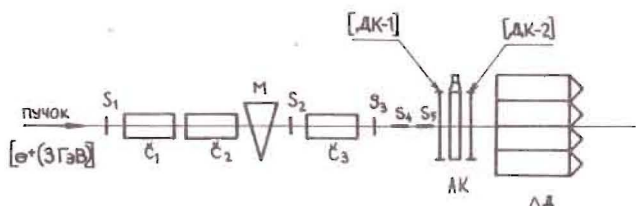


Рис. 1. Схема установки. М - электромагнит, S и \check{C} - сцинтилляционные и черенковские счетчики, АК и ЛД - активный конвертор и ливневый детектор, ДК - дрейфовые камеры.

Экспериментальная система включает: "безэлектродную" дрейфовую камеру^{7/} (ДК-2), размещенную непосредственно (в 1 см) за активным конвертором (АК) из свинцового стекла ТФ-1-000 (радиационная длина $X_0 = 2,5$ см); электромагнитный калориметр (ЛД) из того же свинцового стекла, состоящий из 12 элементов с размерами каждый $10 \times 10 \times 35$ см³; электродную дрейфовую камеру^{8/} (ДК-1) с размерами $20 \times 30 \times 2$ см³ и с одной провололочкой диаметром 0,02 мм (длина дрейфа 10 см), которая использовалась для определения координаты падающего позитрона. Толщина конвертора менялась при измерениях в пределах 1, 2, 3 и 4 радиационных длин. Информация об энерговыделении в ЛД, а также в АК использовалась при определении энергии падающей частицы. При обработке накладывалось условие, чтобы энерговыделение $E_{ЛД} + E_{АК}$ совпадало (в пределах разрешения ливневого детектора $\Delta E/E \sim 6\%$) с начальной энергией позитрона ~ 3 ГэВ.

"Безэлектродная" дрейфовая камера ДК-2, имеющая одну провололочку диаметром 0,03 мм и размеры $20 \times 30 \times 2$ см³ (длина дрейфа 10 см), использовалась для определения координаты оси э.м. ливня. Ливневый детектор помогал также устранить лево-правую неоднозначность координат, измеренных дрейфовыми камерами. Проволочки дрейфовых камер ДК-1 и ДК-2 устанавливались вертикально одна за другой напротив границы блоков ливневого детектора. Знак координаты ("+" вправо, "-" влево от проволоочки) определяется по признаку большего энерговыделения в правом или левом стекле ЛД.

В ходе эксперимента ДК-1 и ДК-2 продувались смесью 82% аргона и 18% изобутана при атмосферном давлении. В такой смеси насыщение скорости дрейфа обеспечивается при напряженности поля 500-700 В/см. На провололочку ДК-2 подавалось напряжение $U = 7$ кВ (длина дрейфа 10 см). В электродной дрейфовой камере ДК-1 провололочка находилась под напряжением +1,5 кВ и на катод подавалось 6 кВ.

На рис. 2 показана блок-схема электронной аппаратуры для съема информации с ДК-2. При каждом прохождении э.м. ливня с анодной проволоочки поступают сигналы в течение ~ 2 мкс на усилитель (У) (усиление 0,16 В/п.кулон). Затем производится формирование сигналов с помощью "гауссовского" фильтра (ГФ) с постоянной времени $\tau \sim 70$ нс. Таким образом, близко расположенные сигналы от электронов и позитронов внутри ливня интегрируются в один сигнал с большей амплитудой. Далее обработка проводится параллельно двумя способами.

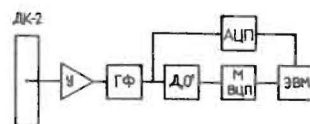
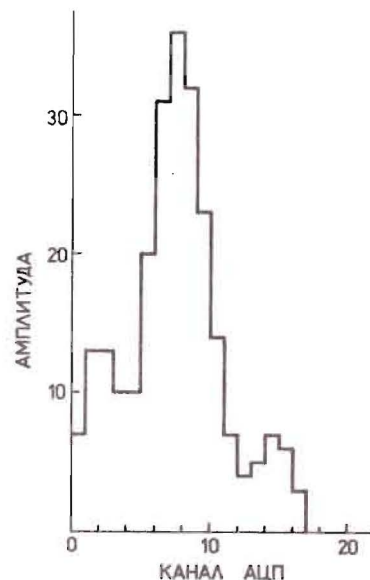


Рис. 2. Блок-схема электронной аппаратуры. У - усилитель, ГФ - формирователь (гауссовский фильтр). Д"0" - детектор нуля.

Рис. 3. Спектр типичного поперечного распределения заряда при развитии одного э.м. ливня, полученный на выходе АЦП.



Способ первый. Сигналы с ГФ поступают на модуль квантования сигналов (АЦП)^{9/}. Данный модуль производит оцифровку и запись во внутреннюю буферную память величины заряда, поступающего на вход каждые 64 нс. Таким образом получаем гистограмму распределения заряда от ливня в ДК-2, шаг которой составляет 64 нс (что соответствует 3 мм в пространстве). Типичный случай такого распределения заряда ("поперек ливня"), полученного с помощью модуля квантования, представлен на рис. 3. Здесь позитрон пролетел в $\sim 2,5$ см от проволоочки ДК-2. Видна центральная часть э.м. ливня, образованная плотной струей конверсионных электронов, и периферийные компоненты ливня.

Способ второй^{1/}. Сигналы ГФ поступают на "детектор нуля" (Д0). Д0 дает временную привязку к максимуму входного сигнала. Далее время-цифровой преобразователь (ВЦП)^{9/} с малым мертвым временем (64 нс) оцифровывает положения этих максимумов с точностью ~ 1 нс (~ 50 мкм в пространстве).

2. Пространственное разрешение

Пространственное разрешение при измерении координаты оси э.м. ливня определялось из распределений величин $\Delta X = X_1 - X_2$, где X_1 - координата падающего позитрона, полученная с помощью ДК-1, X_2 - координата оси э.м. ливня, восстановленная по спектру заряда с ДК-2.

Остановимся подробнее на способе определения X_2 . Большинство авторов (например, Кокс и др. из ЦЕРН^{12/}, Рамейка и др. из Батавии^{3/}, Аюпджанов и др. из ИФВУ^{10/}) принимают за координату э.м. ливня положение центра тяжести поперечного энерговыделения. Другие^{10/}, учитывая экспоненциальный спад поперечного энерговыделения, проводят аппроксимацию профиля ливня экспонентой и в качестве координаты берут положение максимума энерговыделения.

В нашем случае X_2 выделялась по четырем разным методам.

Метод ВЦП^{1/}. Информация о развитии ливня поступила с ВЦП (см. предыдущий раздел, способ 2). В случае, когда с ВЦП поступал только один сигнал, то им и определялась координата оси э.м. ливня. Если же с ВЦП поступали два или более сигналов, за координату оси принималась координата, ближайшая к координате, определенной по энерговыделению в ЛД.

Метод АЦП - центр тяжести. Информация о развитии ливня поступала с АЦП (см. предыдущий раздел, способ первый). За координату э.м. ливня принималось значение координаты центра тяжести спектра АЦП:

$$X_2 = \sum_1 A_1 X_1 / \sum_1 A_1, \quad (I)$$

где A_1 - оцифрованное значение величины сигнала, выданное в i -ом отрезке времени АЦП ($i = 1, 2, \dots, 256$), X_1 - координата, определяющая положение A_1 в камере ДК-2 в направлении дрейфа.

Метод АЦП - максимум. Информация о развитии ливня поступала с АЦП. За координату э.м. ливня принималась координата, соответствующая каналу АЦП с максимальным значением A_1 .

Метод АЦП - взвешенный максимум. Информация о развитии ливня поступала с АЦП. Сначала находился максимум спектра АЦП. За координату э.м. ливня принималось значение координаты, полученной путем взвешивания части сигнала. Эта часть содержала канал с максимальным значением амплитуды и по два соседних канала слева и справа от него.

Пространственные разрешения, полученные по всей площади камеры, находились из распределений $\Delta X = X_1 - X_2$. На рис. 4 показаны такие распределения для вышеперечисленных методов, полученные при толщине конвертора $4X_0$. Каждое распределение аппроксимировано гауссовским с шириной на полувысоте, равной ее экспериментальной величине, указанной около соответствующей кривой. Отметим, что принципы построения распределений методами АЦП-в.м., АЦП-макс., ВЦП имеют много общего, так как эти методы основаны на определении координаты, соответствующей максимальному значению в спектре поперечного энерговыделения ливня в ШДК. Разрешения, которые приводятся в этой работе, даны без учета угловой расходимости лучка, а также без учета собственного разрешения ДК-1 и ДК-2 ($\epsilon \sim 0,3$ мм для одиночных частиц^{7,8/}).

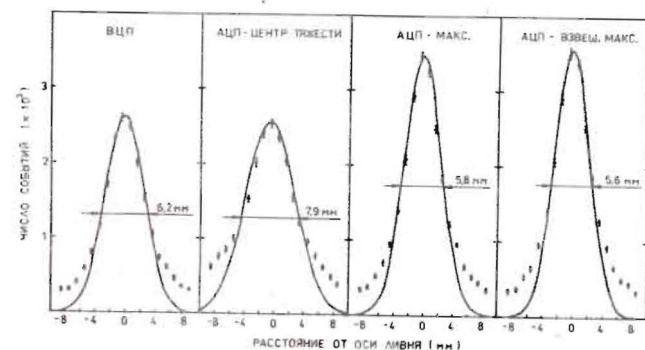


Рис. 4. Распределения $\Delta X = X_1 - X_2$, полученные разными методами при толщине конвертора $4X_0$.

На рис. 5 представлены пространственные разрешения δ (ширина на половине высоты распределений величин ΔX), полученные методом ВЦП, АЦП-ц.т., АЦП-макс. на сантиметровых участках камеры ДК-2. При измерениях использовался широкий пучок позитронов (~ 15 см). Несмотря на некоторые флуктуации, можно отметить, что наилучшие разрешения достигаются методом АЦП-макс., а наименьшие - с помощью метода АЦП-ц.т.

Разрешения (δ) (см. рис. 5) на участках, расположенных вблизи проволочек камер, хуже, чем средние разрешения по камере. Особенно сильно этот эффект проявляется для метода АЦП-ц.т. Природа этого эффекта заключается в неверном определении знака координат частиц, проходящих вблизи проволочек. Этот знак (указание слева или справа от проволочки камеры прошла частица) определяется в ЛД по области максимального энерговыделения. Таким образом, если пучковый позитрон

пролетел вблизи проволоочки камеры ДК-1, то составляющие э.м. ливень частицы с большой вероятностью будут проходить как слева, так и справа от проволоочки ДК-2, однако ЛД "перенесет" все треки по одну сторону от проволоочки ДК-2. При обработке это приведет к сдвигу X_0 .

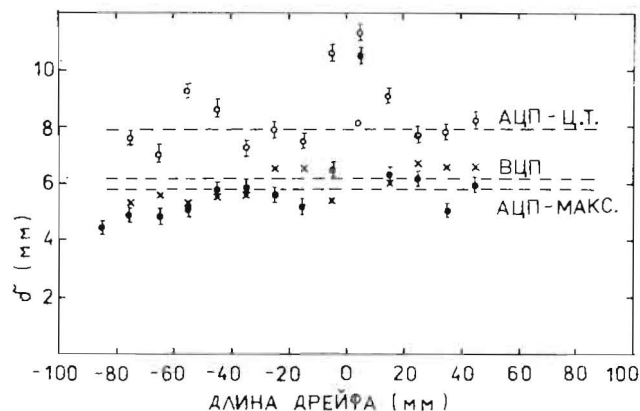


Рис. 5. Пространственное разрешение δ для э.м. ливней, достигнутое на сантиметровых участках ДК-2:

- - метод АЦП-ц.т.,
- × - " ВЦП,
- - " АЦП-макс.

Пунктирные линии показывают средние разрешения, достигнутые по всей площади камер (см. рис. 4).

Разрешения $\delta = \delta' / 2,36$, полученные по всей площади камер, исключая интервал вблизи проволоочки (-5, 15 мм), в зависимости от толщины конвертора, приводятся на рис. 6. Исключение указанного интервала вводится для того, чтобы устранить ошибки определения знаков координат (асимметрия интервала связана со сдвигом проволоочек камер ДК-1 и ДК-2).

Из рис. 6 видно, что разрешения, достигнутые методами АЦП-в.м., АЦП-макс., ВЦП, имеют довольно близкие значения, заметно отличающиеся от разрешения, полученного методом АЦП-ц.т. Следовательно, эксперимент показывает, что определение координаты оси ливня по максимальному значению энерговыделения точнее, чем по центру тяжести. Подобные результаты имеются и у группы из ИФВЭ^{10/}, которая по методу центра тяжести получила разрешение $\delta \sim 3$ мм, а с учетом экспоненциального спада заряда поперек э.м. ливня - $\delta \sim 2$ мм при энергии электронов

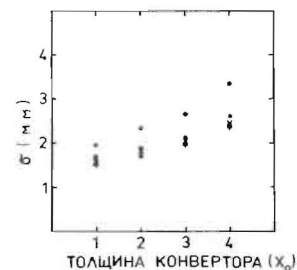


Рис. 6. Зависимость пространственного разрешения δ от толщины конвертора:

- - метод АЦП-ц.т.,
- - " ВЦП,
- × - " АЦП-макс.,
- + - " АЦП-в.м.

~ 25 ГэВ. Такие данные указывают на сильные корреляции между направлением движения первичной частицы и направлением движения центральной струи конверсионных электронов и позитронов, имеющей наибольшую плотность частиц.

Наши результаты по разрешению, достигнутые при толщине конвертора $3X_0$, составляют:

Метод	Разрешение δ , мм
АЦП-в.м.	$1,9 \pm 0,1$
АЦП-макс.	$2,0 \pm 0,1$
ВЦП	$2,1 \pm 0,1$
АЦП-ц.т.	$2,6 \pm 0,1$

Повторим, что приведенные величины δ не учитывают угловой расходимости пучка, внесение соответствующей поправки улучшит значение δ , по нашей оценке, на 0,2-0,3 мм.

Видно, что более простым методом, использующим ВЦП, достигается разрешение, практически не уступающее разрешению, полученному с помощью АЦП. Подчеркнем, однако, что методы на основе АЦП не требуют дополнительного определения координаты в ЛД, а также позволяют определить координаты двух близких ливней, регистрируемых одной проволоочкой дрейфовой камеры. По нашей оценке, пространственная сепарация двух близких ливней не хуже 3 см.

3. Поперечное распределение заряда на разных глубинах развития ливня

Рисунок 7 представляет поперечные распределения заряда э.м. ливня для толщин конвертора $1X_0$, $2X_0$, $3X_0$ и $4X_0$, полученные с помощью ДК-2 (по всей площади камеры). Видно, что профили кривых можно описать суммой двух экспонент:

$$Y(x, t) = C_1 \exp[-|x - X_2|/\lambda_1(t)] + C_2 \exp[-|x - X_2|/\lambda_2(t)], \quad (2)$$

где X_2 — координата оси э.м. ливня, λ_1, λ_2 — постоянные спада для центральной и периферийной частей э.м. ливня, t — глубина развития ливня в радиационных длинах X_0 .

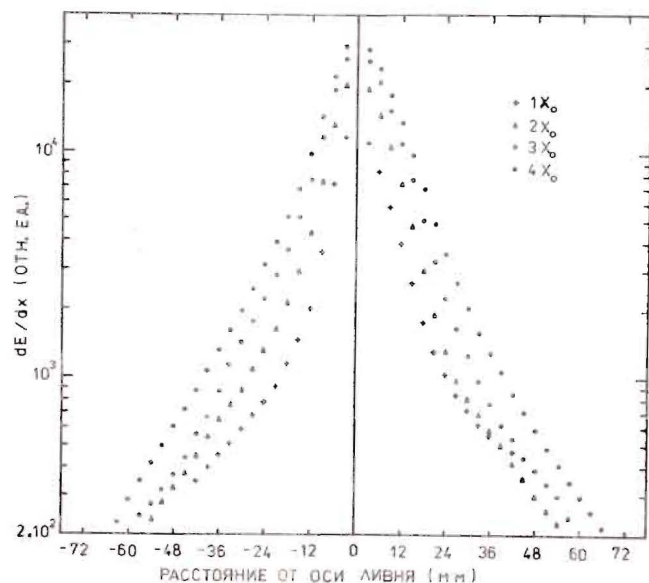


Рис. 7. Интегральное поперечное распределение заряда от э.м. ливней.

Описание поперечного энерговыделения э.м. ливней с помощью экспонент можно найти у разных авторов. Так, например, Iwata^{/11/} и Аюнджанов^{/10/} утверждают, что профиль э.м. ливня может быть представлен в виде суммы двух экспонент (см. формулу 2), причем постоянная спада λ_1 (для центральной компоненты э.м. ливня) обусловлена главным образом угловым распределением и последующим многократным рассеянием электронов и позитронов, а λ_2 (для периферийной компоненты) — изотропным распространением фотонов с минимальным сечением захвата. С другой стороны, группы из ИТЭЭ^{/12/} и из Батавии^{/3/} описывали профиль э.м. ливня одной экспонентой.

Выше уже шла речь об искажениях сигналов от конверсионных электронов в районе проволоочки ДК-2. Чтобы свести к минимуму влияние

таких искажений, можно исключить при обработке интервал около проволоочки. Поэтому мы не использовали данные из интервала / -40, 40 / мм. Кроме того, необходимо исключить из рассмотрения ливни, зарегистрированные на краях камеры, — часть таких ливней попадает за пределы камеры. Для аппроксимации профиля поперечного энерговыделения э.м. ливня зависимостью (2) выбирались ливни, попавшие в интервал координат (40-75) мм.

Отметим, что распределения, представленные на рис. 7, асимметричны, что связано с формой выходного сигнала использованного усилителя, фронт которого был более крутой, чем спад. Такой эффект также наблюдался группой из ЦЕРНа^{/4/}.

Таким образом, левую часть распределения заряда (см. рис. 7) будем считать неискаженной систематическими ошибками, и с ее помощью определим константы в выражении (2). Левые части поперечных распределений заряда в э.м. ливне в ДК-2 на статистике, набранной в интервале / 40, 75 / мм, приведены на рис. 8. Сплошными линиями обозначены результаты аппроксимации формулой (2). Значения параметров $\lambda_1(t)$ и $\lambda_2(t)$ представлены в таблице II.

Таблица II

$t(X_0)$	λ_1 (мм)	λ_2 (мм)
1	$4,4 \pm 0,3$	218 ± 36
2	$5,6 \pm 0,3$	177 ± 77
3	$6,2 \pm 0,5$	44 ± 5
4	$6,9 \pm 0,5$	48 ± 3

Зависимость $\lambda_1(t)$ представлена на рис. 9, где она сравнивается с зависимостью $\lambda_1(t)$, полученной в работе /12/ для ливней от электронов с энергией 32 ГэВ в свинце, и с величинами λ_1 и λ_2 из работы /10/ (для ливней от электронов с энергией 25 ГэВ в свинцовом стекле ТМ-1).

Из рис. 8 и из табл. I видно, что двухэкспонентное описание распределения поперечного энерговыделения ливня эволюционирует к одноэкспонентному при увеличении толщины конвертора.

Заключение

I. С помощью широкоазимутной дрейфовой камеры достигнуты высокие пространственные разрешения δ в определении координат точек конверсии позитронов, для позитронов при энергии 3 ГэВ и толщине конвертора $3X_0$ без учета угловой расходимости пучка величины δ составляют:

$\zeta = 1,9 \pm 0,1$ мм
 $\zeta = 2,1 \pm 0,1$ мм

при использовании АЦП,
 при использовании ВЦП.

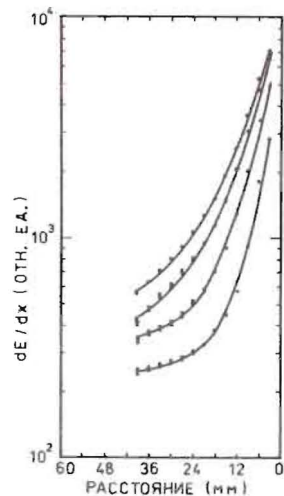


Рис. 8. Поперечные распределения заряда э.м. ливней в свинцовом стекле при толщинах конвертора 1, 2, 3 и 4 X_0 (на рисунке снизу вверх).

2. Разрешения, достигнутые по методу определения координат максимумов э.м. ливней, превосходят разрешения ζ , достигнутые по методу определения координат центров тяжести э.м. ливней.

3. С помощью ШДК получены поперечные распределения зарядов э.м. ливней для толщин конвертора из свинцового стекла от одной до четырех радиационных длин, описывающиеся двумя экспонентами.

Авторы благодарят В.П. Дзельцова, В.М. Кутьина, Ю.Ф. Ломакина, Н.А. Русаковича, В.Б. Флягина за поддержку работы, обсуждения и критические советы.

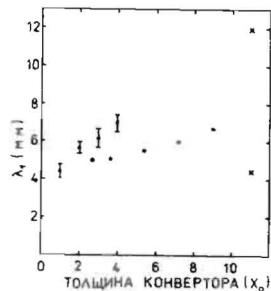


Рис. 9. Зависимость λ_1 от толщины конвертора:

• - данная работа,
 ○ - Бушнин /I2/,
 × - Акопджанов /I0/, верхняя точка - λ_2 , нижняя - λ_1 .

Литература

1. Будагов Ю.А. и др. Препринт ОИЯИ, I3-84-757, Дубна, 1984.
2. Cox V. et al. Nucl.Instr.and Meth., 1984, 219, p. 491.
3. Rameika R. et al. IEEE Trans.Nucl.Sci., 1984, NS-31, p. 60.
4. Berggren M. et al. Nucl.Instr. and Meth., 1984, 225, p. 477.
5. Антыхов В.А. и др. ОИЯИ, PI3-84-562, Дубна, 1984.
6. Будагов Ю.А. и др. Препринт ОИЯИ, I3-85-585, Дубна, 1985.
7. Будагов Ю.А. и др. Препринт ОИЯИ I3-84-394, Дубна, 1984.
8. Будагов Ю.А. и др. ОИЯИ PI-84-546, Дубна, 1984.
9. Budagov Yu.A. et al. Nucl.Instr. and Meth., 1985, A234, p.302.
10. Akopdjanov G.A. et al. Nucl.Instr.and Meth., 1977, 140, p.441.
11. Iwata S., Preprint DENU-13-80 (1980).
12. Bushnin Yu.B. et al. Nucl.Instr.and Meth., 1973, 106, p. 493.

Рукопись поступила в Издательский отдел
 26 сентября 1985 года.