

ԵՐԵՎԱՆԻ ՖԻԶԻԿԱՅԻ ԻՆՍՏԻՏՈՒՏ
ЕРЕВАНСКИЙ ФИЗИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

ЕФИ-407(14)-80

Р.А.АСТАБАТЯН, М.П.ЛОРИКЯН, Г.А.МАНУКЯН,
Г.Ж.МАРКАРЯН

СПОСОБ РАЗДЕЛЕНИЯ ЛОКАЛЬНОЙ И
РАСПРЕДЕЛЕННОЙ В ПРОСТРАНСТВЕ ИОНИЗАЦИЙ

ԵՐԵՎԱՆ 1980 ԵՐԵՎԱՆ

EDM-407(I4)-80

R.A.ASTABATYAN, M.P.LORIKYAN, G.A.MANUKYAN,
G.Zh.MARKARYAN

MEANS OF SEPARATION OF LOCAL AND SPACE-DISTRIBUTED
IONIZATION

A method of separation of local ionization on the background of the uniformly distributed one, using a proportional chamber as a radiation detector, is given. The calculations are given, on which basis one can estimate under appropriate detection conditions the efficiency of separation of local ionization from the uniformly distributed one. The results of experimental investigations at irradiation of the chamber with electrons, photons from radioactive sources, as well as at detection of X-ray transition radiation, are given.

Yerevan Physics Institute

Yerevan 1980

ЕФИ-407(14)-80

УДК.539.074.22:621.3.017

Р.А.АСТАБАТЯН, М.П.ЛОРИКЯН, Г.А.МАНУКЯН,
К.Ж.МАРКАРЯН

СПОСОБ РАЗДЕЛЕНИЯ ЛОКАЛЬНОЙ И РАСПРЕДЕЛЕННОЙ В ПРОСТРАНСТВЕ ИОНИЗАЦИИ

Излагается метод разделения локальной ионизации на фоне равномерно распределенной при использовании в качестве детектора излучений пропорциональной камеры. Приводятся расчеты, на основе которых можно при создании соответствующих условий регистрации оценить эффективность разделения локальной ионизации от равномерно распределенной. Приводятся результаты экспериментальных исследований при облучении камеры электронами, фотонами от радиоактивных источников и при регистрации рентгеновского переходного излучения.

Ереванский физический институт

Ереван 1980

ЕРЕВАНСКИЙ ФИЗИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

ЕФИ-407(14)-80

Р.А. АСТАБАТЯН, М.П. ЛОФЖЯН, Г.А. МАНУКЯН,
К.Ж. МАРКАРЯН

СПОСОБ РАЗДЕЛЕНИЯ ЛОКАЛЬНОЙ И РАСПРЕДЕЛЕННОЙ В
ПРОСТРАНСТВЕ ИОНИЗАЦИЙ.

Ереван 1980

© *Ереванский физический институт, 1980*

Введение

Перспективность использования переходного излучения в рентгеновском диапазоне частот для идентификации частиц высоких энергий в настоящее время не вызывает сомнения [1,2]. Однако для широкого применения этого уникального метода еще необходимо преодолеть определенные трудности, в основном связанные с малостью интенсивности и угла излучения. Сказанное в большей мере относится к детекторам рентгеновского переходного излучения (РПИ), в которых одновременно регистрируется излучение и частица. При этом, относительно большие ионизационные потери энергии падающей частицы создают серьезные трудности при регистрации фотонов РПИ. В работах [3] было предложено методом регистрации РПИ по отдельным небольшим отсекам уменьшить вклад ионизации от первичной частицы.

В данной работе мы предлагаем иной метод уменьшения вклада ионизационных потерь энергий первичной частицы при регистрации фотонов РПИ пропорциональной камерой.

Сущность метода

Рассмотрим зависимость формы импульса, образованного на чувствительной нити пропорциональной камеры, от величины временного интервала между движущимися к области газового усиления электронами, образованными падающим излучением.

Используя [4,5] легко получим выражение для формы импульса от одного электрона ионизации

$$V(t) = \frac{q}{V_0} \frac{Me}{c} \frac{1}{2\beta} \exp\left(-\frac{t}{RC}\right) \int_0^t \exp\left(\frac{t}{RC}\right) \frac{dt}{\exp\left(\frac{t+t_0}{2\beta}\right)-1}, \quad (I)$$

где: $\beta = 2q\pi^2 W/\epsilon^2$; $t_0 = \frac{1}{\beta} \ln ch \pi d/2S$

q - заряд, приходящийся на единицу длины проволоочки

V_0 - поданное на камеру напряжение

W - подвижность положительных ионов

π - коэффициент газового усиления

S - шаг между сигнальными проволочками

d - межэлектродное расстояние

RC - постоянная времени формирования импульса.

Если имеется N_0 электронов и все достигают области газового усиления одновременно, то форма импульса задается выражением (I), умноженным на N_0 .

$$V'(t) = N_0 V(t) \quad (2)$$

Очевидно, что в случае, когда первичные электроны достигают области газового усиления неодновременно, форма импульса, а следовательно, амплитуда не будет, вообще говоря, пропорциональна N_0 . Если известна зависимость $N(T)$, где T - время

дрейфа, удовлетворяющее условию нормировки $N_0 = \int_0^{\infty} N(T) dT$, то форму импульса в общем виде можно задать следующим выражением:

$$V'(t) = \int_0^t V(t-T) N(T) dT \quad (3)$$

Из последнего легко получить (2) в случае, когда $N(T)$ представляет собой δ -функцию, что соответствует одновременному сбору первичных электронов. В частном случае равномерной задержки Δt между первичными электронами форму импульса можно представить в следующем виде:

$$V'(t) = \sum_{j=1}^{N_0} V(t-j\Delta t) \quad (4)$$

где $V(t-j\Delta t)$ представляет собой выражение (1) при замене t на $(t - j\Delta t)$, а $j\Delta t$ - время задержки j -го электрона относительно первого.

На рис.1 приведены рассчитанные по формулам (2) и (4) (пунктирная кривая) формы импульсов в относительных единицах при $RC = 20$ нсек. Аналогичные кривые представлены на рис.2 при $RC = 200$ нсек. Расчеты производились при неизменных значениях остальных величин, численные значения которых таковы:

$$\Delta t = 2 \text{ нсек} \quad N_0 = 100 \quad \frac{qM}{V_0 C} = \text{const.}$$

Из сравнения рисунков видно, что в случае неодновременного сбора первичных электронов в области газового усиления, амплитуда импульса уменьшается и это уменьшение тем значительнее, чем меньше RC . Это обстоятельство можно использовать для уменьшения фона от ионизационных потерь энергий падающего излучения при детектировании РИИ пропорциональными камерами. Будущим сравнением по энерговыделению, ионизации от поглощения фотонов РИИ и проходящей частицы отличны по их распределению в простран-

стве, являясь соответственно локальной и равномерно распределенной вдоль направления падающего излучения. Если создать условия, обеспечивающие разброс времени сбора первичных электронов ионизации в область газовой усилки, направленный вдоль падающего излучения, то можно существенно подавить амплитуду сигнала от ионизационных потерь энергии проходящей частицы. Вследствие локального характера ионизации от фотонов РПИ, амплитуда сигнала от последних при этом существенно не изменится.

В приведенных формулах и расчетах не учитывался вклад электронной, наиболее быстрой компоненты в импульсе. Очевидно, что учет последнего приведет к еще большей разнице между амплитудами сигналов от локальной и непрерывной ионизации.

Ниже приводятся описания некоторых возможностей создания вышеуказанных условий и результаты экспериментальных исследований при облучении камеры электронами, фотонами от радиоактивных источников и при регистрации рентгеновского переходного излучения.

Экспериментальная установка и результаты

В качестве детектора излучения выбрана пропорциональная камера с дрейфовым отсеком [6], схематически изображенная на рис.3. Ионизация от излучения происходит в дрейфовом отсеке, а регистрация электронов ионизации производится в пропорциональной камере. Такая методика позволяет изменять условия дрейфа электронов без изменения режима работы пропорциональной камеры. Электроны ионизации направляются в пропорциональную камеру электрическим полем, приложенным между плоско-параллельными электродами 1,2, выполненными в виде сетки из натянутых про-

волок диаметром $100 \mu\text{м}$. Расстояние между электродами 1,2-
 -10 см. Межелектродный зазор пропорциональной камеры равен
 3 мм; анодные нити диаметром $20 \mu\text{м}$ натянуты с шагом 2 см.
 Камера продувалась смесью $\text{Ar} + (5 \div 7)\% \text{CH}_4$ при нормальной атмос-
 ферном давлении. Нити пропорциональной камеры объединялись на
 общую нагрузку 5 ком. Сигнал с камеры после усиления подавался
 на схему ворот, далее на анализатор DIDAC -4000. Линейность
 всего измерительного тракта тщательно контролировалась в интер-
 вале энергий γ -квантов (3-26) кэв с помощью радиоактивных
 γ -изотопов Am^{241} и Co^{57} . Разброс времени дрейфа электронов,
 образованный излучением, создавался двумя способами.

Если излучение падает под углом $\theta = 0$ к электродам на-
 меры, то разброс возникает из-за разности путей прохождения
 электронов от места их рождения до входа в пропорциональную
 камеру. При этом, с увеличением угла падения θ , Δt будет
 расти, достигая максимального значения при $\theta = 90^\circ$. Очевидно,
 что, если частица проходит через детектор параллельно плоско-
 сти анодных нитей, т.е. $\theta = 0$, то $\Delta t = 0$ при условии дрей-
 фа электронов происходит в однородном электрическом поле. Если
 же дрейф электронов происходит в поле, неоднородном вдоль
 направления падающего излучения, то, вследствие разности путей
 прохождения излучения параллельно плоскости анодных нитей в
 зависимости от угла. На рис. 1 при распределении потенциалов напряже-
 ния на выходе пропорциональной камеры от U^0 измеренная в ре-
 гистре электронов (1 и 2) кэв. Единичная фотография соответ-
 ствует случаю, когда электроны проходят перпендикулярно плоско-
 сти электродов ($\theta = 90^\circ$). По мере угла обзора на рисунке
 увеличивается $T = 2,5 \text{ нсек}$, а следовательно разброс времени дрейфа

держки $\Delta t = 3,5$ нсек. Сплошная гистограмма соответствует случаю, когда электроны проходят параллельно плоскости электродов ($\Theta = 0^\circ$). В обоих случаях чувствительная длина трека в дрейфовом отсеке составляла 10 см, а дрейф электронов ионизации проходил в однородном электрическом поле со скоростью дрейфа $V_{др} = 4$ см/мсек. Из рисунка видно, что распределение при $\Theta = 90^\circ$ расположено левее от распределения при $\Theta = 0^\circ$, а ширина на полувысоте равна 2,8 кэв, 8,4 кэв, соответственно. Измерения проводились при объединении 5- и нитей на один усилитель.

Для осуществления разброса времени сбора электронов ионизации применялся также метод неоднородного электрического поля. Известно, что скорости дрейфа электронов в определенной области значений напряженности поля зависят от последнего. Поэтому в неоднородном электрическом поле скорость дрейфа электронов может зависеть от координаты образования электронов ионизации. В нашем случае частица проходила параллельно плоскости анодных нитей в направлении, перпендикулярном этим нитям, и электрическое поле в дрейфовом отсеке изменялось вдоль направления движения частицы с периодом, равным расстоянию между анодными нитями. Таким образом создавался разброс между временами сбора электронов, образованных на разных участках траектории частицы. Для создания неоднородного электрического поля между электродами 1,2 на проволочки электрода 1 подавалось распределенное напряжение с шагом $\Delta V = 260$ в и с периодом, равным 2 см. Минимальное и максимальное значения поданных напряжений равны 1,8 кв и 4 кв.

Исследовалось влияние неоднородного поля на амплитудное распределение импульсов при регистрации фотонов от радиоактив-

ных источников. На рис.5 приведены эти распределения в случае однородного поля (кривая 1) и неоднородного (кривая 2), при регистрации фотонов с энергиями 6,4 кэв и 14,4 кэв от изотопа Co^{57} . Как видно из сравнения кривых 1 и 2, не наблюдаются заметные изменения центров тяжести и формы распределений, т.е. неоднородное электрическое поле в дрейфовом отсеке не влияет на процессы формирования импульсов в случае регистрации фотонов. Это объясняется тем, что пробег электронов в аргоне при энергиях $E_{\gamma} \lesssim 20$ кэв локализован в пространстве с линейными размерами, составляющими доли миллиметра, а изменение напряженности электрического поля в пределах этой области ионизации незначительное, т.е. временной разброс $\Delta t = 0$. Интерес представляют предварительные результаты измерения переходного излучения. Проводились две серии измерений. В первой — посредством неоднородного поля создавался разброс времени сбора электронов ионизации от падающего излучения. Во второй — электрическое поле между электродами 1 и 2 было однородным и сбор электронов ионизации проводился одновременно от всех участков трека. Экспериментальная установка была полностью идентична в обеих сериях измерений. Для образования РПИ перед дрейфовым отсеком устанавливался брусок пенопласта толщиной 25 см и плотностью $\rho = 0,04$ г/см². Измерялось также распределение ионизационных потерь энергий электронов в газе камеры, для чего на месте радиатора РПИ устанавливалась пластина из оргстекла с толщиной, эквивалентной количеству вещества пенопласта. Измерения проводились на электронном пучке с энергией 3,0 Гэв. На рис.6а приведены результаты измерений с радиатором РПИ (пунктирная линия) и с эквивалентным радиатором в случае неоднородного

поля дрейфа, а аналогичные распределения в случае применения однородного поля показаны на рис.6в. Сравнивая кривые на рисунках видим, что как центр, так и абсолютная ширина распределений импульсов от ионизационных потерь энергий падающей частицы в случае применения неоднородного поля в ~ 2 раза меньше соответствующего распределения на рис.6в. Для определения области РИИ выделялась область, где число событий с радиатором РИИ превосходит число событий без радиатора и вычислялись разности площадей под распределениями ΔN , приведенные к одному запуску, а также отношение этой разности к площади под кривой ионизационных потерь энергий R . Границы этой области отмечены стрелками на гистограммах. Имеем: $\Delta N = 0,17$ $R = 1,05$ для гистограмм на рис.6в и $\Delta N = 0,19$ $R = 1,45$ для гистограмм на рис.6а. Статистические ошибки вышеприведенных цифр не превышают 2%.

Заключение

Авторы считают, что полученные экспериментальные результаты далеко не исчерпывают всех возможностей предлагаемого метода. Более оптимальный выбор геометрии и неоднородности электрических полей, состава газа, возможность дальнейшего уменьшения постоянной времени формирования импульса $R_{\text{ср}}$, а также использование детектора с малым временем полета электрона вместо пропорциональной камеры позволяет еще более эффективно выделить локальную ионизацию на фоне непрерывной.

Авторы выражают благодарность А.Ц.Амадули, Г.А.Будякову за постоянный интерес и поддержку работы, А.И.Аравадзе, А.С.Александряну, Ю.Л.Маргарянц, Н.И.Берлянту за полезные обсуждения, М.Р.Маргарянц за помощь при расчетах, К.Р.Григоряну за участие в трех измерениях.

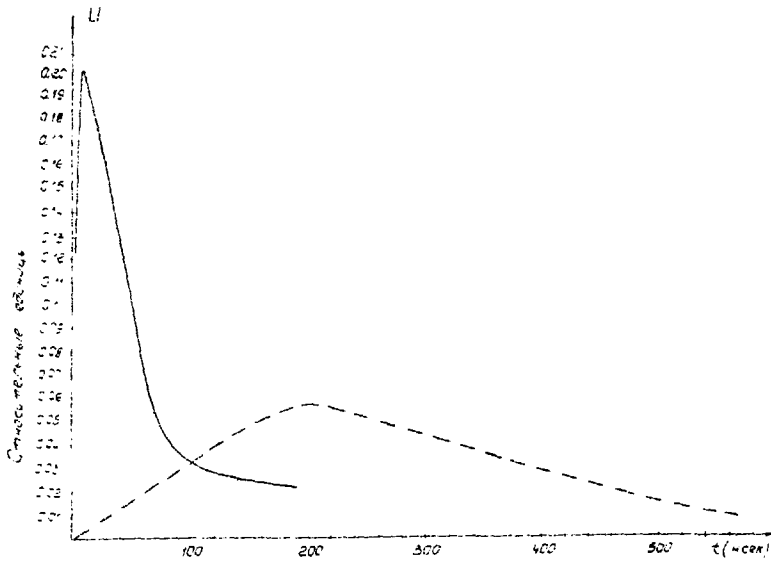


Рис. I

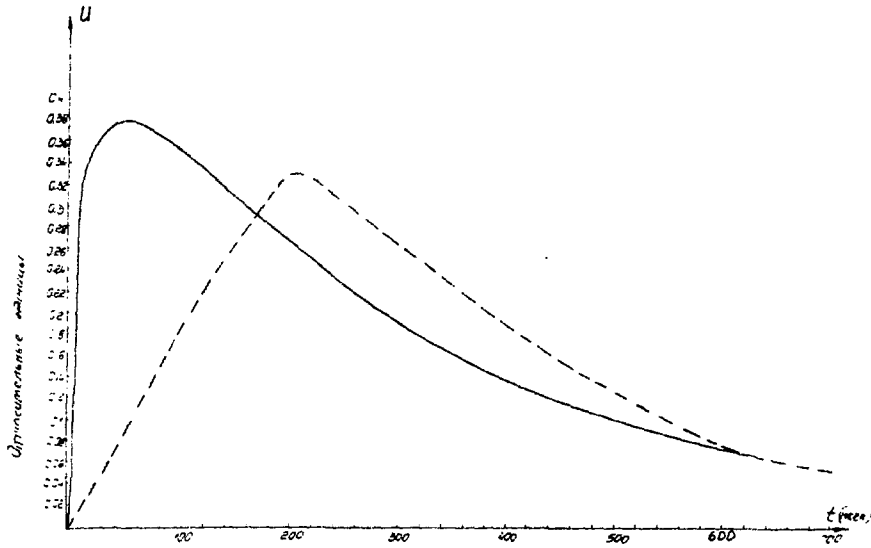
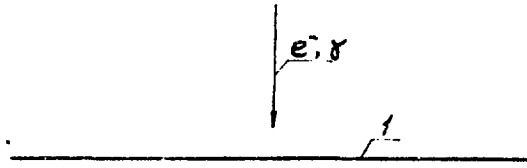


Рис. 2



e, γ

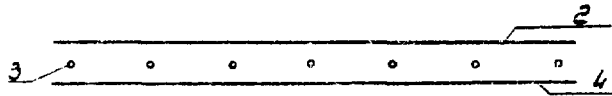


Рис.3

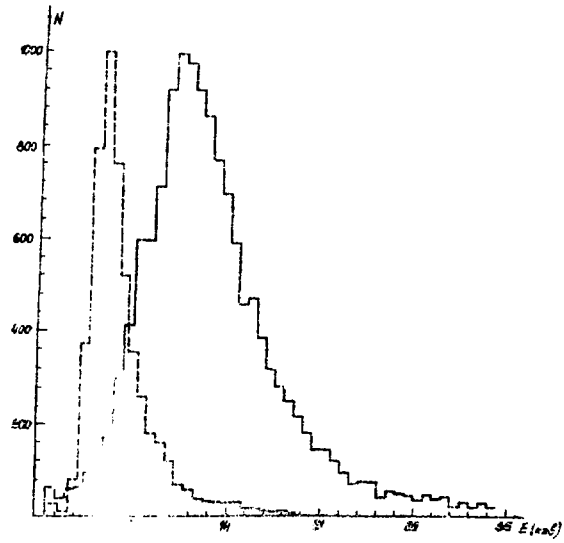


Рис.4

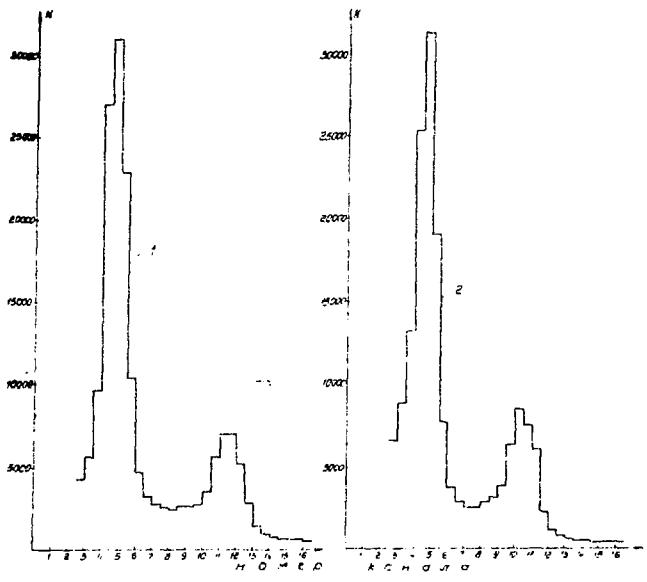


Рис.5

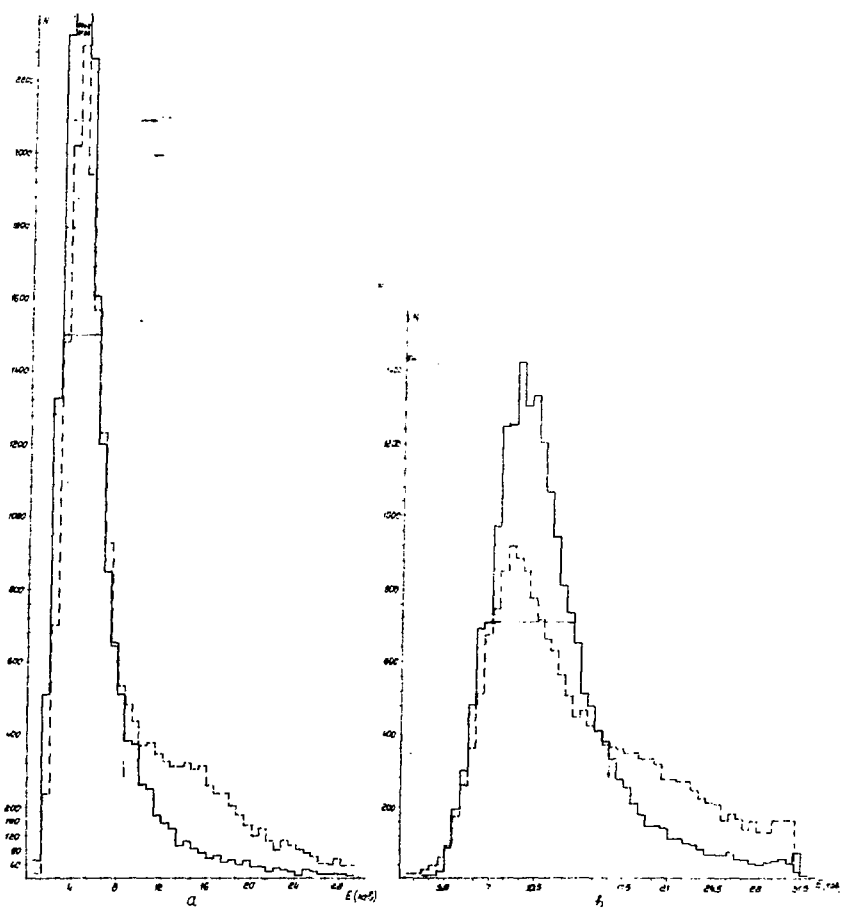


Рис.6

ПОДПИСИ К РИСУНКАМ

- Рис.1 - Рассчитанные формы импульсов в относительных единицах при $RC = 20$ нсек в случае, когда первичные электроны достигают области газового усиления одновременно (сплошная кривая) и с задержкой $\Delta t = 2$ нсек (пунктирная кривая).
- Рис.2 - Рассчитанные формы импульсов в относительных единицах при $RC = 200$ нсек в случае, когда первичные электроны достигают области газового усиления одновременно (сплошная кривая) и с задержкой $\Delta t = 2$ нсек (пунктирная кривая)
- Рис.3 - Схематическое изображение детектора.
- Рис.4 - Распределение амплитуд импульсов на выходе пропорциональной камеры от β -источника. Сплошная линия - частица проходит параллельно плоскости электродов, перпендикулярно сигнальным нитям. Пунктирная линия - частица проходит перпендикулярно плоскости электродов.
- Рис.5 - Распределение амплитуд импульсов при регистрации фотонов от изотопа Co^{57} .
- 1 - случай однородного поля дрейфа.
2 - случай неоднородного поля дрейфа.
- Рис.6 - Распределение амплитуд импульсов на выходе пропорциональной камеры при прохождении электронов с энергией $E = 3,0$ Гэв через детектор. Сплошная линия - результаты измерений с эквивалентной пластиной из оргстекла. Пунктирная линия - результаты измерений с радматором РПД.
- а) случай неоднородного поля дрейфа
в) случай однородного поля дрейфа.

ЛИТЕРАТУРА

1. Л.С.Юань. "Обзор экспериментальных работ". Труды Международного симпозиума по переходному излучению частиц высоких энергий, 81, Ереван, 12-17 мая 1977г
2. В.В.Авакян и др. "Установка для исследования взаимодействия космических адронов с энергией выше 500 кэв". Труды Международного симпозиума по переходному излучению частиц высоких энергий; 277, Ереван, 12-17 мая 1977г.
3. К.А.Испирян и др. "Оптимальные детекторы РПИ для идентификации П, К и Р при импульсах частиц 60 Гэв/с". Труды Международного симпозиума по переходному излучению частиц высоких энергий, 209, Ереван, 12-17 мая 1977.
А.Г.Оганесян и др. "Необычный детектор переходного излучения". Труды Международного симпозиума по переходному излучению частиц высоких энергий, 269, Ереван, 12-17 мая 1977.
4. В.И.Калашникова, М.С.Козодаев. "Детекторы элементарных частиц" Издательство "Наука", 62, Москва 1966.
5. Ж.Шарпак. "Эволюция автоматических искровых камер", УФН, 363, 108, 2 октябрь 1972.
6. G.Charpak et al. "Some Developments in the Operation of Multiwire Proportional Chambers" Nuclear Instruments and Methods, 80, 13, 1970.

Рукопись поступила 13-го марта 1980



Редактор Л.П.Мукаян
Тех.редактор А.С.Абрамян

Заказ 625

ВФ- 05177

Тираж 299

Препринт

Формат издания 60x84/16

Подписано к печати 28/У-80

1уч.изд.л.Ц. 7 к.

Издано Отделом научно-технической информации
Ереванского физического института, Ереван-36, пер.Маркварта 2

индекс 3624