

ԵՐԵՎԱՆԻ ՖԻԶԻԿԱՅԻ ԻՆՍՏԻՏՈՒՏ
ЕРЕВАНСКИЙ ФИЗИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

ЕФИ-25(32)-80

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

О НЕКОТОРЫХ ВОЗМОЖНОСТЯХ ВЫДЕЛЕНИЯ
ЛОКАЛЬНОЙ ИОНИЗАЦИИ НА ФОНЕ НЕПРЕРЫВНО
РАСПРЕДЕЛЕННОЙ ИОНИЗАЦИИ В ДЕТЕКТОРАХ
ИЗЛУЧЕНИЙ

ԵՐԵՎԱՆ 1980 ԵՐԵՎԱՆ

УДК.539.1.074

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

О НЕКОТОРЫХ ВОЗМОЖНОСТЯХ ВЫДЕЛЕНИЯ ЛОКАЛЬНОЙ
ИОНИЗАЦИИ НА ФОНЕ НЕПРЕРЫВНО РАСПРЕДЕЛЕННОЙ
ИОНИЗАЦИИ В ДЕТЕКТОРАХ ИЗЛУЧЕНИЙ

Приводятся формулы, позволяющие оценить зависимость формы и амплитуды импульса на выходе детектора излучения от пространственного распределения ионизации, образованной излучением. Приводятся расчеты, на основе которых можно при создании соответствующих условий регистрации оценить эффективность разделения локальной ионизации от непрерывно распределенной при использовании в качестве детектора излучения пропорциональной камеры. Излагается возможность практического использования детектора излучения на основе пропорциональной камеры для разделения ионизаций от фотонов РПИ и проходящей частицы. Даны результаты экспериментальных исследований.

Ереванский физический институт

Ереван 1980

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

ON SOME POSSIBILITIES OF EXTRACTION OF LOCAL
IONIZATION ON THE BACKGROUND OF CONTINUOUSLY
DISTRIBUTED ONE IN RADIATION DETECTORS

Formulae are given allowing to estimate the dependence of the pulse shape and amplitude at the radiation detector output on the spatial distribution of ionization produced by the radiation. The calculations are presented, which make it possible to estimate the efficiency of separation of local ionization from the continuously distributed one under appropriate detection conditions using a proportional chamber as a radiation detector. The possibility of practical utilization of the radiation detector to separate the ionizations from the XTR photons and the incident particle is described. The results of experimental investigations are reported.

Yerevan Physics Institute

Yerevan 1980

ЕФИ-425(32)-80

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

О НЕКОТОРЫХ ВОЗМОЖНОСТЯХ ВЫДЕЛЕНИЯ ЛОКАЛЬНОЙ
ИОНИЗАЦИИ НА ФОНЕ НЕПРЕРЫВНО РАСПРЕДЕЛЕННОЙ
ИОНИЗАЦИИ В ДЕТЕКТОРАХ ИЗЛУЧЕНИЙ.

Ереван 1980

® © *Ереванский физический институт, 1980*

Введение

В ряде методических задач физики высоких энергий может возникнуть необходимость выделения локальной ионизации на фоне непрерывной. Важным примером является регистрация рентгеновского переходного излучения (РПИ). Малость интенсивности и угла излучения РПИ и относительно большие ионизационные потери энергий падающей частицы, на фоне которой ведется регистрация фотонов РПИ, создают определенные трудности при использовании РПИ для идентификации частиц высоких энергий. Однако, различие в пространственном распределении ионизаций от РПИ и частицы может позволить при соответствующих условиях регистрации эффективнее выделять фотоны РПИ на фоне ионизационных потерь энергий падающей частицы. В работах [1,2] предложен детектор, составленный чередованием радиатора РПИ и многопроволочной пропорциональной камеры, где использован тот факт, что из-за локального характера поглощения фотонов РПИ в газе камеры посредством регистрации РПИ по отдельным отсекам можно уменьшить вклад ионизации от частицы.

В данной работе мы предлагаем иной метод уменьшения вклада

ионизационных потерь энергий первичной частицы при регистрации фотонов РПИ.

Рассмотрим камеру, содержащую область дрейфа и регистрирующий детектор. Излучение проходит через дрейфовый отсек, образованные электроны ионизации под действием электрического поля движутся к детектору и регистрируются. Такой тип камеры позволяет изменять условия дрейфа электронов ионизации без существенного изменения режима работы регистрирующего детектора.

Форма и амплитуда образованного импульса, помимо других факторов, зависят от разброса во времени прихода электронов ионизации в чувствительную область детектора. Рассмотрим эту зависимость. Форма импульса, образованного единичным электроном ионизации задается следующим выражением [3] :

$$V(t) = \frac{1}{C} \exp\left(-\frac{t}{RC}\right) \int_0^t \exp\left(\frac{t}{RC}\right) I(t) dt ; \quad (I)$$

где :

$I(t)$ - ток в регистрирующем детекторе, образованный единичным электроном ионизации;

C - эквивалентная ёмкость входа ;

RC - постоянная времени формирования импульса .

Если число первичных электронов больше единицы, то импульс, образованный на выходе детектора, представляет собой суперпозицию импульсов, образованных каждым электроном ионизации. Обозначим через T время сбора электронов ионизации в чувствительную область детектора (время дрейфа) и начало отсчета

этого времени будем вести с момента попадания первого электрона ионизации в эту область. Тогда импульс от j -го электрона будет смещен на время T_j относительно импульса от первого электрона, а форма импульса будет задаваться тем же выражением (1) при замене t на $t - T_j$. Если число первичных электронов ионизации - N_0 и известен дифференциальный закон распределения этих электронов во времени сбора в чувствительную область регистрирующего детектора - $N(T)$, удовлетворяющий условию нормировки $N_0 = \int_0^{\infty} N(T) dT$, то суммарный импульс на выходе детектора выражается в следующем виде:

$$U(t) = \frac{1}{C} \int_0^t \exp\left(-\frac{t-T}{RC}\right) N(T) \left[\int_0^t \exp\left(\frac{t-T}{RC}\right) I(t-T) dt \right] dT, \quad (2)$$

В частном случае одновременного сбора электронов ионизации в чувствительную область детектора $N(T)$ представляет из себя δ -функцию и выражение (2) принимает вид:

$$U(t) = \frac{1}{C} N_0 \exp\left(-\frac{t}{RC}\right) \int_0^t \exp\left(\frac{t}{RC}\right) I(t) dt = N_0 v(t), \quad (3)$$

т.е. получаем хорошо известную пропорциональную зависимость импульса от числа первичных электронов. В общем же случае амплитуда образованного импульса, вообще говоря, не будет пропорциональна числу первичных электронов N_0 , так как условие $N(T) = \delta(T)$ может не выполняться.

Рассмотрим случай, когда электроны ионизации задержаны друг относительно друга на время $\Delta t = \frac{T_0}{N_0} = const$, где T_0 - полное время сбора. Тогда функция $N(T)$ имеет вид:

$$N(T) = \frac{N_0}{T_0} \quad \text{при } T \leq T_0$$

$$N(T) = 0 \quad \text{при } T > T_0$$

и интеграл (2) можно представить в виде суммы:

$$U(t) = \sum_{j=1}^{N_0} \varphi(t - j\Delta t), \quad (4)$$

$$\text{где } \varphi(t - j\Delta t) = v(t - j\Delta t) \quad \text{при } t \geq j\Delta t$$

$$\varphi(t - j\Delta t) = 0 \quad \text{при } t < j\Delta t$$

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

На примере пропорциональной камеры в качестве регистрирующего детектора проиллюстрируем отличие в форме и амплитуде импульса, рассчитанного по формулам (3) и (4). Конструктивные параметры камеры и поперечный разрез приводятся ниже.

Функцию $I(t)$ для пропорциональной камеры можно получить из [4], продифференцировав выражение для индуцированного на аноде заряда по времени.

$$I(t) = \frac{dQ}{dt} = \frac{qMe}{V_0} \frac{1}{2\beta} \frac{1}{\exp\left(\frac{t+t_0}{2\beta}\right) - 1}, \quad (5)$$

$$\text{где: } \beta = 2q\pi^2 \omega / S^2; \quad t_0 = \frac{1}{\beta} \ln ch \pi d / 2s;$$

q - заряд, приходящийся на единицу длины проволоочки;

V_0 - поданное на камеру напряжение;

W - подвижность положительных ионов;

M - коэффициент газового усиления;

S - шаг между сигнальными проволоочками;

d - межэлектродное расстояние.

На рис. 1 приведены рассчитанные по формулам (3) и (4) (пунктирная кривая) формы импульсов в единицах $\frac{qM}{V_0 C}$ при $RC = 2$ нсек. Аналогичные кривые представлены на рис. 2 при $RC = 200$ нсек. Расчеты производились при $N_0 = 100$, $\Delta t = 2$ нсек. На рис. 3 дана зависимость амплитуды импульсов в единицах $\frac{qM}{V_0 C}$ от числа первичных электронов N_0 , рассчитанных по формулам (3) (кривая 1) и (4) (кривая 2) при $RC = 30$ нсек, $\Delta t = 1$ нсек.

При достаточно больших N_0 дальнейшее увеличение числа первичных электронов ионизации не ведет к увеличению амплитуды сигнала, рассчитанной по формуле (4), т.е. зависимость амплитуды от числа первичных электронов выходит на плато. Это объясняется тем, что доля импульса, образованного единичным электроном, компенсируется вследствие процесса разряда эквивалентной ёмкости на сопротивлении нагрузки.

Из рисунков 1-3 следует, что в случае одновременного сбора первичных электронов в области газового усиления, амплитуда импульса уменьшается и это уменьшение тем значительнее, чем меньше RC и больше Δt и N_0 . Это обстоятельство можно использовать для уменьшения фона от ионизационных потерь энергии падающего излучения при детектировании РПИ пропорциональными камерами. Будучи сравнимы по энерговыделению ионизации от поглощения фотонов РПИ и проходящей частицы отличны по их распределению в пространстве, являясь соответственно локальной и непрерывной вдоль направления падающего излучения. Если создать условия, обеспечивающие разброс времени сбора первичных электронов ионизации в область газового усиления, направленный вдоль падающего излучения, то можно существенно подавить ам-

плитуду сигнала от ионизационных потерь энергии проходящей частицы. Вследствие локального характера ионизации от фотонов РПИ амплитуда сигнала от последних при этом существенно не изменяется.

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 [5], поперечный разрез которой показан на рис. 4.

Детектор работает следующим образом: при прохождении излучения через дрейфовый отсек образованные электроны ионизации под действием электрического поля движутся к пропорциональной камере и, проходя через проволочную сетку катода, регистрируются.

Вкратце опишем конструкцию детектора. Пропорциональный отсек состоит из четырех диэлектрических рам, (1 и 3 - проволочные катоды, 2-сигнальный электрод, 5-дрейфовый электрод), изготовленных из стеклотекстолита, стягиваемых по углам болтами 7. Уплотнением служит пористая резина 8. Каждая рама имеет наклеенный печатный электрод, выполненный на фольгированном стеклотекстолите. На печатные электроды распаиваются проволочки высоковольтных и сигнальных плоскостей. Шаг намотки

высоковольтных плоскостей 2 мм. Нити сигнальной плоскости диаметром 20 мкм натянуты с шагом 20 мм. Расстояние между любой парой плоскостей пропорционального отсека 6 мм, а между дрейфовой плоскостью, стягиваемой с пропорциональным отсеком шпильками из тефлона 6, и ближайшим катодом 100 мм. Газовый объем изолировался майларом 4 толщиной 60 мкм. Рабочим газом детектора служила смесь $Ar + (5 + 7)\% CH_4$ при нормальном атмосферном давлении. Нити пропорциональной камеры объединялись на общую нагрузку 5 ком. На высоковольтные плоскости пропорциональной камеры подавалось напряжение 1,38 кв.

Сигнал с камеры после усиления подавался на схему ворот, далее на анализатор *DIDAS* - 4000. Линейность всего измерительного тракта контролировалась в интервале энергий γ - квантов (3 + 26) кэв с помощью радиоактивных γ -изотопов Am^{241} и Co^{57} . Разброс времени дрейфа электронов, образованных излучением, создавался двумя способами.

Если излучение падает под углом $\Theta \neq 0$ к электродам камеры, 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 плоскости анодных нитей, т.е. $\Theta = 0$, то $\Delta t = 0$ при условии дрейфа электронов ионизации в однородном электрическом поле. Если же дрейф электронов происходит в поле, неоднородном вдоль направления падающего излучения, то, вообще говоря, и в случае прохождения излучения параллельно плоскости анодных нитей Δt отличен от нуля. На рис.5 даны распределения амплитуд импульсов

на выходе пропорциональной камеры от β^- - источника с энергиями электронов (1+2) Мэв. Пунктирная гистограмма соответствует случаю, когда электроны проходят перпендикулярно плоскости электродов ($\theta = 90^\circ$). 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/мкс. Из рисунка видно, что распределение при $\theta = 90^\circ$ расположено левее от распределения при $\theta = 0^\circ$, а ширина на подвысоте равна 2,8 кэв., 8,4 кэв, соответственно. Измерения проводились при объединении 5-ти 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 этого на дрейфовую плоскость подавалось распределенное напряжение с шагом 2мм и периодом, равным шагу между сигнальными

нитями 20мм. На рис. 6а, в, с, d, e сплошными линиями представлены амплитудные распределения ионизационных потерь энергий электронов с энергиями $E = (1 \div 2) \text{ МэВ}$, проходящими детектор параллельно электродам камеры, перпендикулярно анодным нитям. Для сравнения пунктирными линиями даны распределения от γ -изотопа Co^{57} с энергиями 6,4 кэв и 14,4 кэв. Гистограммы, изображенные на рис. 6 а, соответствуют измерениям с постоянным электрическим полем в дрейфовом отсеке. Для этого на дрейфовый электрод подавалось постоянное напряжение 4,0 кв, обеспечивающее скорость дрейфа электронов, равную 4 см/мкс. Гистограммы на рис. 6 в, с, d, e получены при неоднородных полях в дрейфовом отсеке, соответствующих единичному шагу распределенного напряжения $\Delta U_g = 280 \text{ в}$, $\Delta U_c = 360 \text{ в}$, $\Delta U_d = 420 \text{ в}$ и $\Delta U_e = 480 \text{ в}$. Во всех пяти сериях измерений экспериментальная установка была полностью идентичной, а сбор ионизации производился с четырех сигнальных нитей, объединенных на один усилитель.

Вероятные значения амплитудных распределений ионизационных потерь энергий проходящего электрона, как видно из рис. 6, непрерывно уменьшаются с увеличением неоднородности поля. Однако, при больших неоднородностях поля (рис. 6 d, e) наблюдается ухудшение разрешения, которое объясняется увеличением времени дрейфа электронов ионизации от места их рождения до чувствительной области пропорциональной камеры. По-видимому, выбор более оптимальной геометрии камеры, при которой шаг между сигнальными нитями больше дрейфового зазора, позволит уменьшить сигнал ионизационных потерь без существенного ухудшения разрешения от γ -лучей. Интерес представляют предвари -

тельные результаты измерения переходного излучения. Проводились две серии измерений. В первой - посредством неоднородного поля $\Delta U = 260$ в создавался разброс времени сбора электронов ионизации от падающего излучения. Во второй - электрическое поле между электродами 1 и 2 было однородным и сбор электронов ионизации производился 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.7 а 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.7 в. 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.7 в. Для определения вклада РПИ выделялась область, где число событий с радиатором РПИ превосходит число событий без радиатора и вычислялись разности площадей под распределениями ΔN , приведенными 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.7 в и $\Delta N = 0,19$ $R = 1,45$ для гистограмм на рис.7 а . Статистические ошибки вышеприведенных цифр не превышают 3%.

Авторы выражают благодарность А.Ц.Аматуни, Г.А.Вартапетяну за постоянный интерес и поддержку работы, А.Н.Арванову, А.Г.Ахперджяну, Ю.Л.Маргаряну, Л.Г.Парлакиану за полезные обсуждения, Э.Р.Маркарян за помощь при расчетах, К.Р.Григоряну за участие в измерениях.

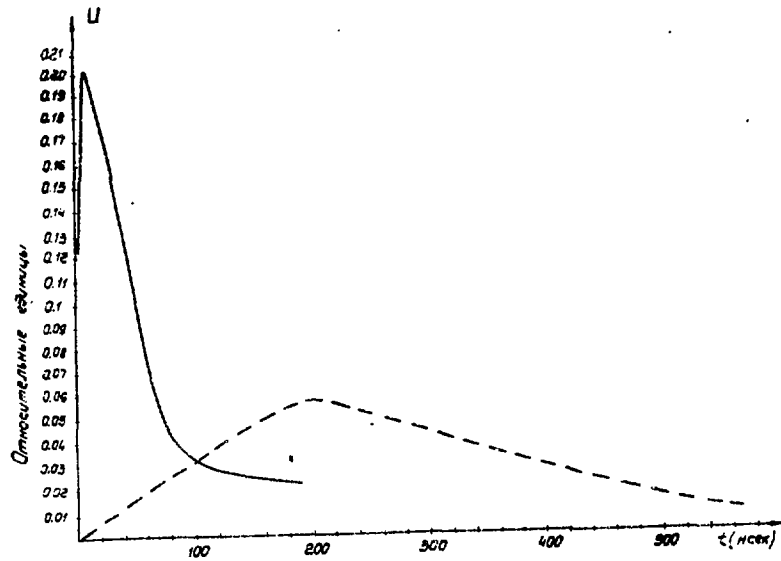


Рис. I

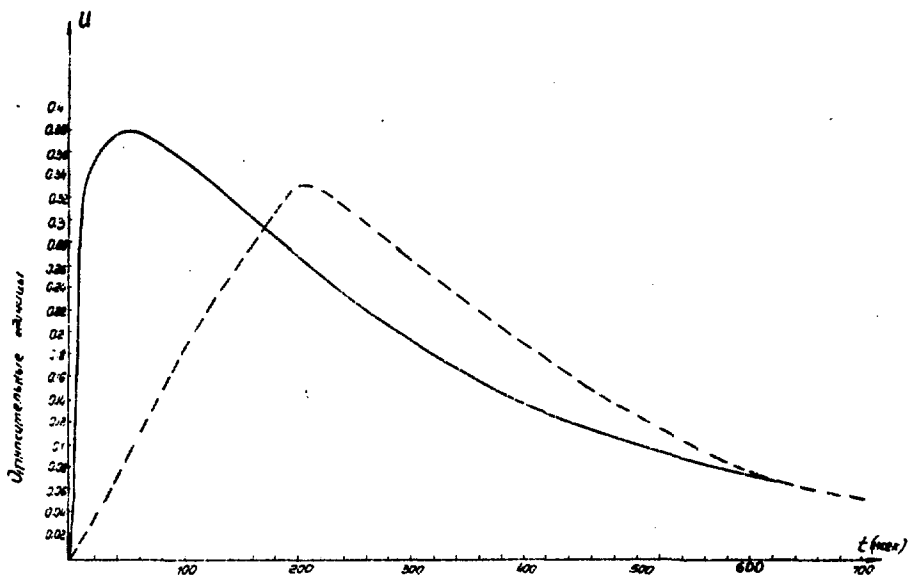


Рис. 2

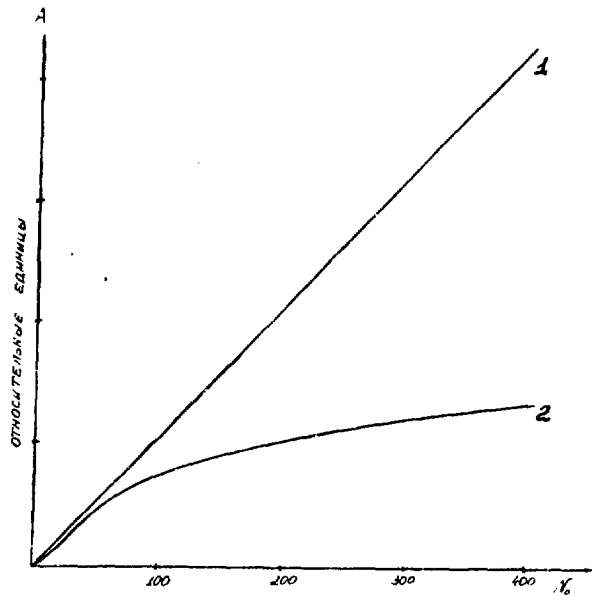


Рис.3

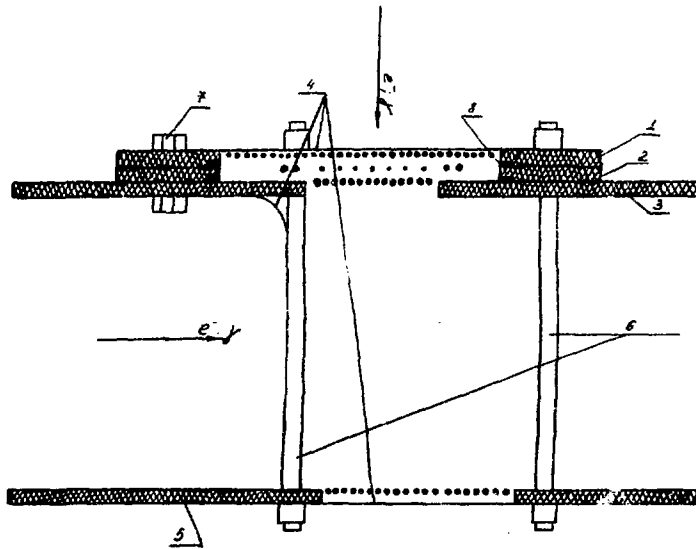


Рис4

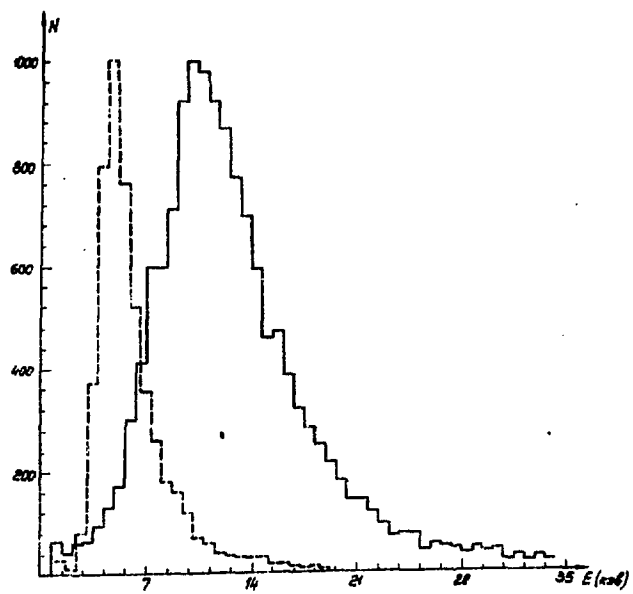


Рис.5

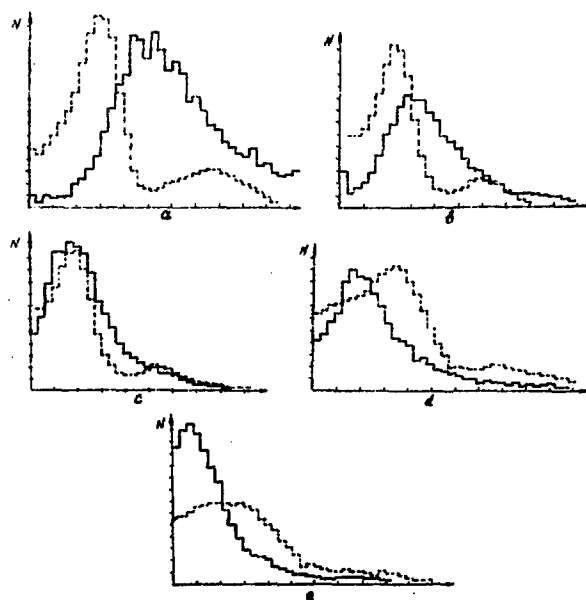


Рис.6

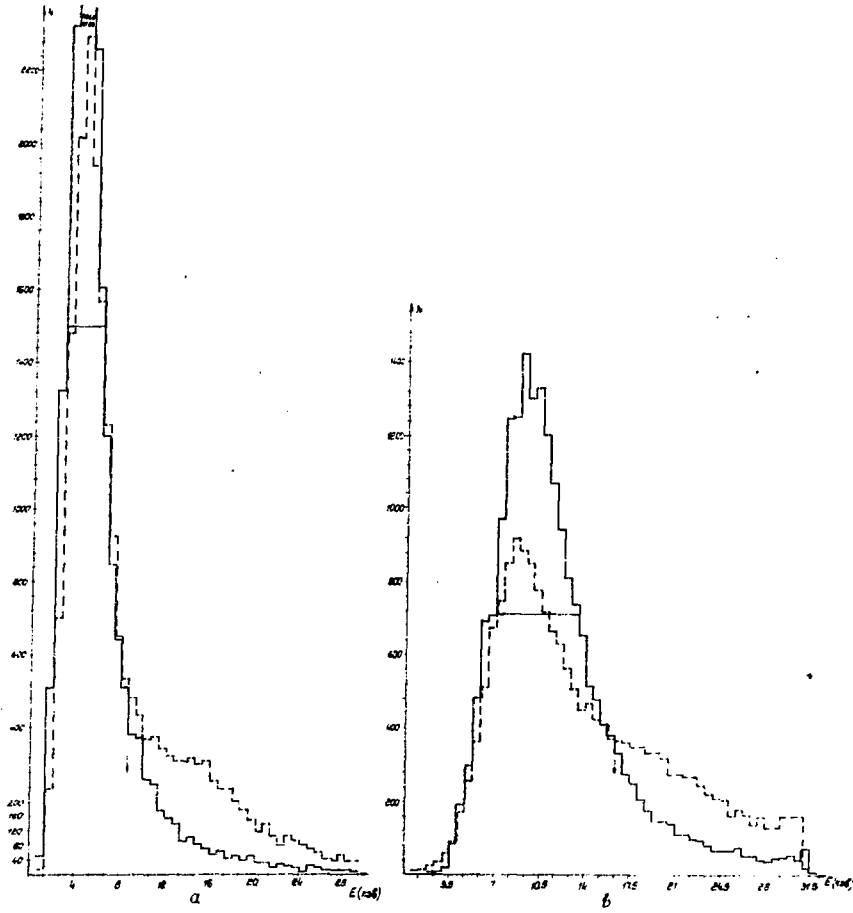


Рис.7

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.- Зависимость амплитуды сигнала в единицах $\frac{qM}{V_0 C}$ от числа первичных электронов ионизации N_0 при $RC = 30$ нсек.
Кривая 1- Расчет, производился по формуле (4) при $\Delta t = 1$ нсек.
Кривая 2- Расчет производился по формуле (3) при одновременном сборе первичных электронов ионизации в чувствительную область анода.
- Рис.4- Схематическое изображение детектора.
- Рис.5.- 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.6.- Распределение амплитуд импульсов при регистрации фотонов от изотопа Co^{57} (пунктирная линия) и при прохождении электронов с энергиями $(1+2)$ Мэв (сплошная линия),

- а) случай однородного электрического поля в дрейфовом отсеке,
- в) случай неоднородного электрического поля в дрейфовом отсеке при подаче на дрейфовый электрод распределенного потенциала с шагом $\Delta U = 280$ в.
- с) случай неоднородного электрического поля в дрейфовом отсеке при подаче на дрейфовый электрод распределенного потенциала с шагом $\Delta U = 360$ в.
- д) случай неоднородного электрического поля в дрейфовом отсеке при подаче на дрейфовый электрод распределенного потенциала с шагом $\Delta U = 420$ в.
- е) случай неоднородного электрического поля в дрейфовом отсеке при подаче на дрейфовый электрод распределенного потенциала с шагом $\Delta U = 480$.

Рис.7. - 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 радиатором РПИ.

- а) случай неоднородного поля дрейфа.
- б) случай однородного поля дрейфа.

ЛИТЕРАТУРА

1. К.А.Испирян и др. "Оптимальные детекторы РПИ для идентификации \bar{N} , K и P при импульсах частиц ≈ 60 Гэв/с", Труды Международного симпозиума по переходному излучению частиц высоких энергий, Ереван, 209, 12-17 мая 1977.
2. А.Г.Оганесян и др. "Необычный детектор переходного излучения". Труды Международного симпозиума по переходному излучению частиц высоких энергий, Ереван, 269, 12-17 мая, 1977.
3. В.И.Калашникова, М.С.Козодаев. "Детекторы элементарных частиц", Изд. "Наука", Москва, 62, 1966.
4. Ж.Шарпак. "Эволюция автоматических искровых камер", УФН, 108, 2, 363, 1972.
5. G. Charpak et al. "Some developments in the operation of Multivire proportional Chambers". Nucl. Instr. & Methods 80, 13, 1970.

Рукопись поступила 8-го мая 1980 г.

Редактор Л.П.Мукаян

Тех. редактор А.С.Абрамян

Заказ 706

ВФ-05292

Тираж 299

Препринт ЕФИ

Формат издания 60x84/16

Подписано к печати II/УШ-80г. I, 5уч. изд. л. Ц. 10 к.

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



индекс 3624