

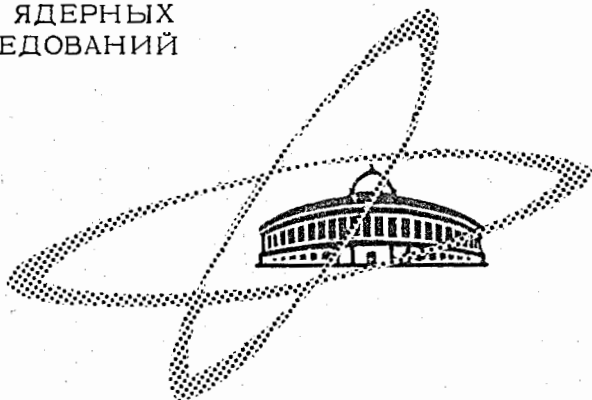
1695 1695

Экз. чит. зала

ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ

Дубна

P-1695



Ю.К. Акимов, А.И. Калинин,
Е.И. Розанов, А.И. Сидоров

ПРИМЕНЕНИЕ ФОТОЧУВСТВИТЕЛЬНОГО
ПОЛУПРОВОДНИКОВОГО СЧЕТЧИКА
ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ИНТЕНСИВНОСТИ
И ВРЕМЕННОЙ МАКРОСТРУКТУРЫ ПУЧКОВ
ЧАСТИЦ, ВЫВЕДЕННЫХ ИЗ УСКОРИТЕЛЯ

ЛАБОРАТОРИЯ ЯДЕРНЫХ ПРОБЛЕМ

1964

P-1695

Ю.К. Акимов, А.И. Калинин,
Е.И. Розанов, А.И. Сидоров

ПРИМЕНЕНИЕ ФОТОЧУВСТВИТЕЛЬНОГО
ПОЛУПРОВОДНИКОВОГО СЧЕТЧИКА
ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ИНТЕНСИВНОСТИ
И ВРЕМЕННОЙ МАКРОСТРУКТУРЫ ПУЧКОВ
ЧАСТИЦ, ВЫВЕДЕННЫХ ИЗ УСКОРИТЕЛЯ

ОИЯИ
БИБЛИОТЕКА

В последнее время все большее внимание привлекает к себе использование полупроводникового счетчика в качестве фотодиода вместо фотоумножителя для регистрации сцинтилляционных вспышек света, возбуждаемых ядерными частицами ^{/1-4/}. Это связано с наличием у фоточувствительного полупроводникового счетчика таких ценных качеств как большой квантовый выход, высокая стабильность, строгая линейность, стойкость к перегрузкам, нечувствительность к магнитным полям, быстрое действие, компактность, отсутствие высоковольтного напряжения питания. Основным недостатком полупроводникового, как и любого другого фотодиода, является сравнительно малая амплитуда вырабатываемого им сигнала. Только при потерях энергии частицы в сцинтилляторе около 50 Мэв отношение сигнала к шуму фотодиода и усилителя становится достаточно высоким и оказывается возможным получить примерно такое же амплитудное разрешение, что и на фотоумножителе. По этой причине полупроводниковые фотодиоды больше подходят для регистрации не отдельных, а суммарных сцинтилляционных вспышек, обусловленных импульсными потоками частиц.

Конечно, импульсные потоки частиц могут быть измерены в ряде случаев только одним полупроводниковым счетчиком, без сцинтиллятора. Например, если достаточно толстый (≥ 1 мм) полупроводниковый счетчик помещен непосредственно в поток заряженных частиц, то добавление сцинтиллятора не дает существенного выигрыша в амплитуде сигнала. Дело в том, что полупроводниковый счетчик является сам по себе наиболее чувствительным из известных детекторов ядерных частиц, так как на образование одной электронно-дырочной пары в нем расходуется всего лишь 3,6 эв (в кремнии). Чувствительность же системы сцинтиллятор-фотодиод на один-два порядка хуже даже в лучших случаях, когда используются кристаллы типа CsI(Tl) или NaI(Tl). Тем не менее добавление сцинтиллятора к фоточувствительному полупроводниковому счетчику часто оказывается целесообразным по ряду причин. Сцинтилляторы, особенно пластические, могут быть изготовлены довольно больших размеров, что необходимо, например, для эффективной регистрации потока нейтральных частиц. В данном случае сцинтиллятор выполняет одновременно функции конвертера. Сцинтиллятор более стоек к радиации, чем полупроводниковый счетчик. Допустимая для пластического сцинтиллятора доза составляет $\sim 10^{18} \frac{1}{\text{М}^2}$, а для полупроводникового счетчика - около $10^{17} \frac{1}{\text{М}^2}$ высокоэнергетических частиц ^{/5,6/}. Поэтому для того, чтобы увеличить срок службы прибора, в зоне с высокой радиацией предпочтительнее оставлять лишь один сцинтиллятор, сочленив его с фотодиодом соответствующим светопроводом. Благодаря компакт-

ности устройства нетрудно ввести дополнительную защиту фотодиода от радиации. Кроме того, используя сцинтиллятор, можно обойтись более тонкими полупроводниковыми счетчиками, которые проще в изготовлении и меньше повреждаются радиацией.

В описываемых ниже устройствах применялись литиево-кремниевые фотодиоды большой площади со слоем объемного заряда $p-n$ -перехода около 0,5 мм. Амплитуда импульса фотодиода практически не зависела от напряжения питания в диапазоне 20 - 40 в. Рабочее напряжение устанавливалось равным 30 в. Сцинтиллятор изготавливался из стирола с однопроцентной добавкой тетрафенилбутадиена, сдвигавшей спектр люминесценции в область с максимумом при 430 нм. Сдвиг спектра в длинноволновую область был полезен, поскольку при этом улучшалась светопередача и чувствительность фотодиода. Основные потери света, поступавшего на фотодиод, происходили вследствие отражений от его поверхности. Небольшая доля света терялась дополнительно при прохождении через тонкий поверхностный слой золота толщиной 5-10 нм. В результате этих потерь только около половины фотонов проникало в слой объемного заряда, где каждый фотон образовывал электронно-дырочную пару^{17/}. Более подробно фотоэлектрические характеристики описаны в^{13/}.

Использовались два цилиндрических сцинтиллятора, заключенных вместе с фотодиодами в защитные медные экраны. Один из сцинтилляторов имел размеры $\phi 20 \times 40$ мм и соединялся с фотодиодом соответствующей площади через плексигласовый световод длиной 400 мм. Это устройство было предназначено для регистрации импульсных потоков частиц большой интенсивности. Другой сцинтиллятор размером $\phi 55 \times 430$ мм соединялся с двумя параллельно включенными фотодиодами, суммарная площадь которых составляла половину площади торца сцинтиллятора. С целью улучшения светосбора цилиндрическая поверхность сцинтилляторов покрывалась ватманской бумагой, а противоположные фотодиодам торцы находились в оптическом контакте с алюминиевой фольгой. Учитывая потери света в процессе передачи к фоточувствительному слою счетчика, можно было ориентировочно считать коэффициент преобразования фотонов сцинтилляционной вспышки в электронно-дырочные пары равным 0,1. В частности, в результате прохождения заряженной релятивистской частицей одного сантиметра сцинтиллятора образовывался на выходе фотодиода заряд $Q_1 = 1,5 \cdot 10^3 e^-$ ($e^- = 1,6 \cdot 10^{19}$ кулона).

Постоянная времени нагрузочной цепи $\tau = RC$ выбиралась значительно меньшей длительности импульсного потока частиц T , но заметно превышающей средний интервал между моментами появления отдельных частиц $\Delta t = \frac{T}{N}$, где N - число частиц в импульсе. В случае постоянной импульсной интенсивности, составляющей $\lambda = \frac{1}{\Delta t}$, за время $\sim 3\tau$ устанавливался режим стационарного тока через сопротивление R , т.е. напряжение возрастало до

$$u = Q n R. \quad (1)$$

Допустимое значение R ограничивалось условием $r \ll T$. Если $r = \text{const}$, то $R = \frac{1}{C}$.

В описываемых устройствах было выбрано $R = 5_k$ и $C = 1300$ пкф. Значение емкости определялось в основном радиочастотным кабелем, по которому осуществлялась передача сигнала в безрадиационную зону, где помещался усилитель и источники питания. По этому же кабелю поступало на фотодиоды напряжение смещения. Хотя введение передающего кабеля приводило к значительному уменьшению R - в 20 и 7 раз, соответственно, для малого и большого детекторов, оно оправдывалось благодаря эксплуатационным удобствам.

Пользуясь формулой (1), нетрудно найти, что в случае заряженных релятивистских частиц для получения $U = 1$ мв необходима импульсная интенсивность $n = 5 \cdot 10^{11} \frac{1}{\text{сек м}^2}$ если используется малый сцинтиллятор и $n = 2 \cdot 10^{10} \frac{1}{\text{сек м}^2}$, когда в пучок частиц помещен большой сцинтиллятор. Кроме того, в последнем случае сам полупроводниковый счетчик, находящийся также в пучке, вырабатывает дополнительно примерно такой же по амплитуде сигнал. Как уже отмечалось раньше, при этом заметный выигрыш от введения сцинтиллятора имеет место лишь в пучках нейтральных частиц.

В реальных условиях амплитуда сигнала изменялась в пределах 1-100 мв. Сигнал с амплитудой $U \geq 1$ мв существенно превышал уровень шумов и помех в усилителе, выполненном по трехкаскадной схеме с отрицательной обратной связью (см. рис. 1). Переходные цепи в усилительных каскадах выбраны с достаточно большими постоянными времени, чтобы пропустить без существенных искажений сигнал длительностью около миллисекунды. Большими постоянными времени характеризуются также развязывающие фильтры, что необходимо для подавления сетевых помех. В зависимости от величины сопротивления в цепи обратной связи коэффициент усиления усилителя составляет 100 или 30. Коэффициент усиления остается практически постоянным при изменении напряжения питания в пределах 100-300 вольт. Через катодный повторитель сигналы поступают на передающий кабель, имеющий длину 500 м и подведенный к осциллографу, расположенному на пульте управления ускорителя. Максимальная амплитуда линейно усиливаемого сигнала на выходе усилителя составляет 10 вольт. С помощью милливольтметра может быть измерено также среднее напряжение, пропорциональное амплитуде и длительности сигналов, следующих через интервалы времени 9 мсек. Это напряжение характеризует интегральную интенсивность пучков частиц, выведенных из ускорителя.

На рис. 2(а,б) приведены фотографии с экрана осциллографа, когда большой детектор был помещен в пучок нейтронов. Цена меток на рисунке составляет 100 мсек.

Амплитуда импульса равнялась 6в, а среднее напряжение, измеренное милливольтметром, 400 мв. Отношение этих значений, равное 15, являлось так называемой скажностью циклов ускорения. Наличие и величина предимпульса зависели от режима работы ускорителя. Размытость изображения на снимках обусловлена тем, что на один кадр попадало несколько импульсов, отличающихся немного по форме, а также вследствие более тонкой структуры внутри каждого импульса. Необходимо отметить, что микроструктура импульсов сильно сглаживалась из-за сравнительно большой постоянной времени входной цепи устройства.

Рис. 2(в) был получен при регистрации фоновых частиц вблизи ускорителя из которого выводился пучок π^+ -мезонов. Амплитуда на выходе усилителя составляла около 200 мв.

Снимок, изображенный на рис. 2 (г), относится к детектору с малыми сцинтиллятором, который помещался вблизи протонного пучка. Видно, в частности, что длительность импульсов этого пучка примерно вдвое меньше, чем нейтронного или мезонного. Было замечено также, что форма импульса практически не зависит от места расположения детектора в зале.

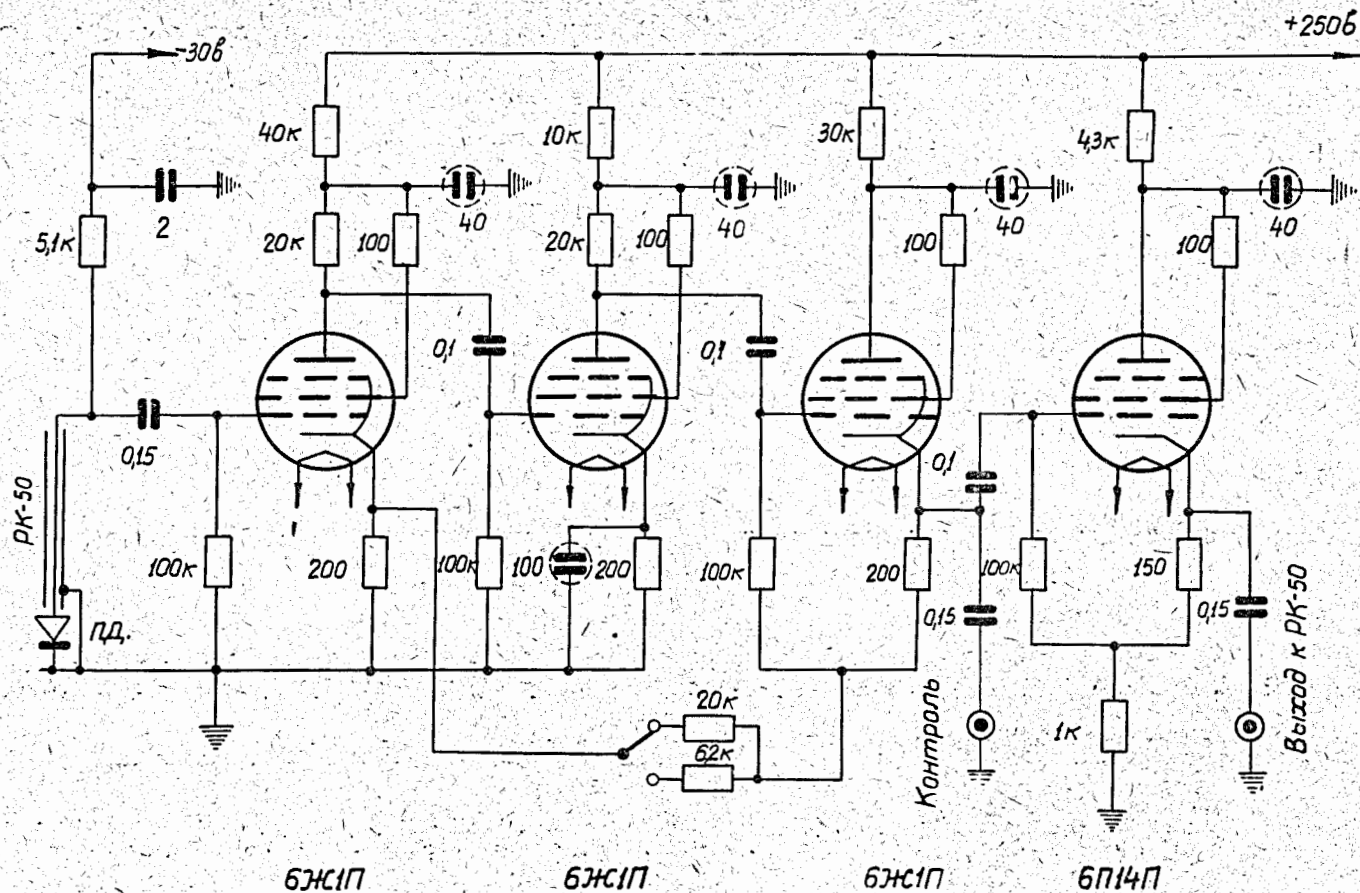
В заключение следует отметить, что вышеописанное устройство может найти также применение в измерениях абсолютной интенсивности пучков частиц от ускорителя, если произвести соответствующую калибровку аппаратуры. В настоящее время данное устройство используется в качестве монитора для наблюдения за относительной интенсивностью и временной макроструктурой пучков протонов, нейтронов и π -мезонов при текущей эксплуатации синхроциклотрона, а также в поисковых работах, направленных на исследование и усовершенствование этого ускорителя. Такой монитор более прост, чем устройства, связанные с использованием фотоумножителя, а благодаря своей высокой чувствительности и быстрдействию обладает существенными преимуществами по сравнению с ионизационными камерами.

Авторы выражают благодарность В.Ф. Борейко, Л.П. Сидоровой, С.Л. Смирновой, Н.П. Кузнецову и В.В. Чересову за помощь при изготовлении аппаратуры.

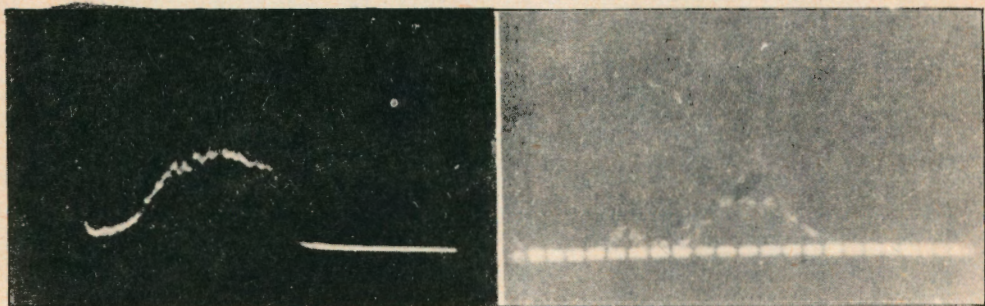
Л и т е р а т у р а

1. A.J. Tuzolino, E.L. Hubbard, M.A. Perkins, C.Y. Fan, J. Appl. Phys. 33, 148, 1962.
2. Miss, N.G. Blamires, Nucl. Instr. and Meth. 24, 441, 1963.
3. Ю.К. Акимов, А.И. Калинин, А.И. Сидоров, Препринт ОИЯИ, Р-1528, 1964.
4. C.Y. Fan, Rev. Sci. Instr. 35, 158, 1964.
5. И.М. Розман, К.Г. Циммер, Атомная энергия, II, 54, 1957 г.
6. Л.С. Брыкина, Б.М. Головин, А.П. Ландсман, Б.П. Осипенко, О.П. Федосеева, Препринт ОИЯИ, Р-1516, 1964.
7. В.С. Вавилов, Журнал физ. химии, 8, 223, 1959.

Рукопись поступила в издательский отдел 3 июня 1964 г.

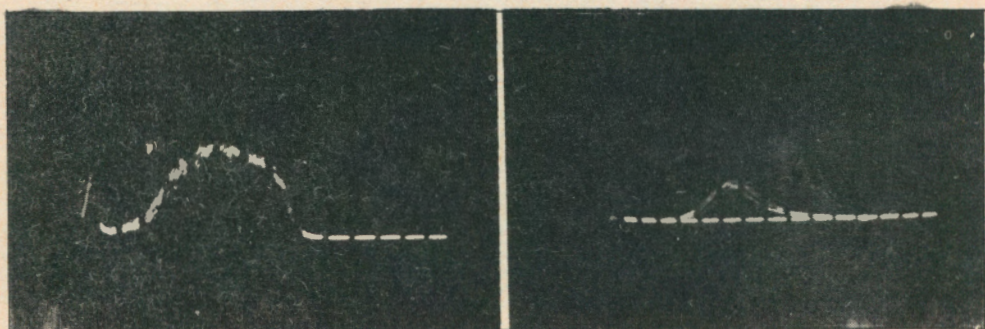


Р и с. 1. Усилитель



а

б



в

г

Р и с. 2. Временная макроструктура пучков частиц:
 а, б - нейтронов, в - π^+ -мезонов,
 г - протонов. Цена меток - 100 мксек.