

**Временная резистивная плоскопараллельная  
камера  
с высокой грузочной способностью**

*С. И. Поташев, А. И. Драчев, М. В. Мордовской,  
Ю. М. Бурмистров, В. Н. Марин,  
Е. С. Конобеевский, С. Х. Караевский*

# Физические принципы и подклассы РПК

РПК — это газовый плоскопараллельный детектор с резистивным слоем между анодом и катодом, временное разрешение  $\sim < 1$  нс, сравнимое с разрешением сцинтилляционного детектора  
RPC2012 Conf. Italy, D.F.Anderson,S.Kwan,V.Peskov. NIM, A348, (1994) 324–328

Применяются для измерения времени пролета, для формирования триггера

Загрузочная способность до  $10^5 \text{ см}^{-2} \text{ с}^{-1}$ , A.Blanco,R.FerreiraMarques,Ch.Finck,P.Fonte et al. Development of large area and of position-sensitive timing RPCs NIMA478(2002)170-175

## Типы РПК

1. Координатные РПК , разрешение до 0,05 мм

2. Временные РПК , разрешение до 0,07 нс

а. Работающие в ограниченном стриммерном режиме

б. Работающие в лавинном режиме

А. С низкой нагрузочной способностью/канал  $\sim 1 \text{ кГц см}^{-2}$  ,  $\rho \sim 10^{10} - 10^{13} \Omega \text{ см}$

Б. Со средней нагрузочной способностью/канал  $\sim 10 \text{ кГц см}^{-2}$  ,  $\rho \sim 10^7 - 10^9 \Omega \text{ см}$

В. С высокой нагрузочной способностью/канал  $> \sim 100 \text{ кГц см}^{-2}$  ,  $\rho \sim 10^4 - 10^6 \Omega \text{ см}$

## Условия работы ВРПК:

Резистивный слой между анодом и катодом (бакелитовый лак, стекло, керамика, SiC)

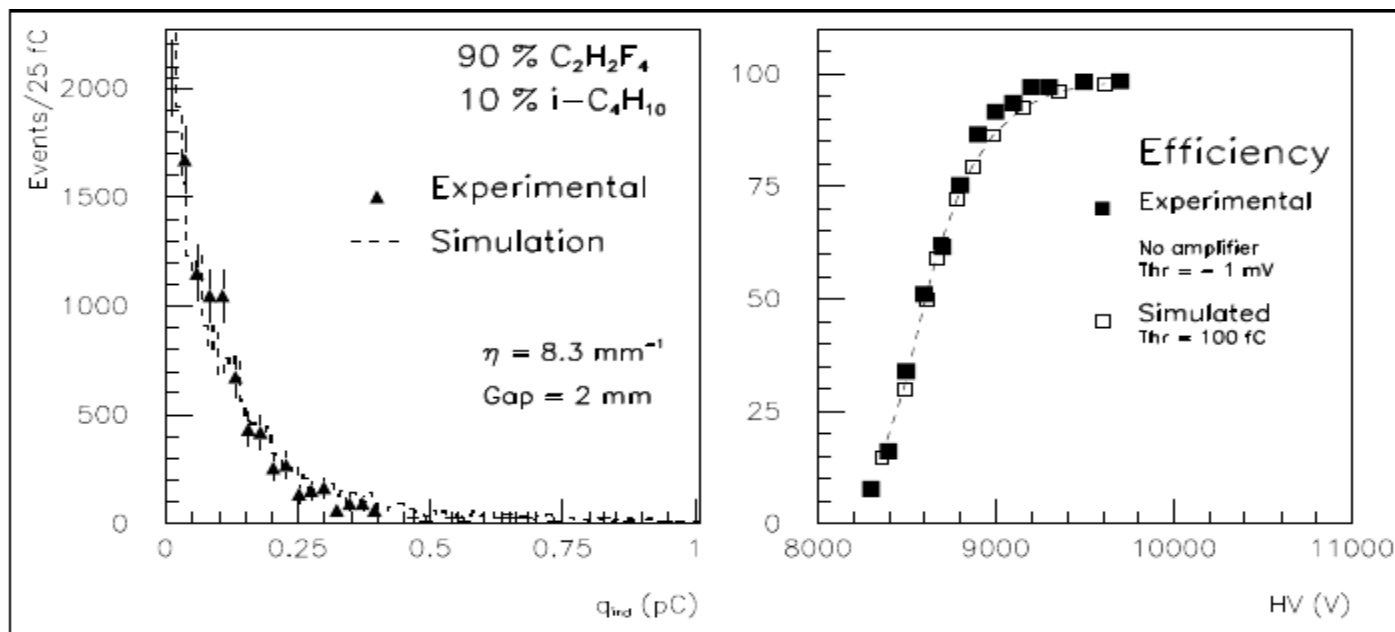
Регистрируется электронная составляющая лавины

Локализация лавины в пространстве между электродами —  $\text{C}_2\text{H}_2\text{F}_4$  (фреон R134A)

Ограничение лавины во времени —  $\text{SF}_6$  (элегаз)

Узкий зазор между электродами 0,2 — 2 мм

## Ожидаемые величины заряда и константы времени, плато



### Симулированный и экспериментальный спектр заряда и эффективность

M. Abbrescia et al., "A model for the simulation of RPCs in avalanche mode", in Proc. of the 4th Int. Workshop on RPC ..., Napoli, 1997. M. Abbrescia et al., "RPC in avalanche mode: a comparison between model predictions and experimental results", in Proc. of the 7th Meet on Advanced Detectors, La Biodola, 1997

Плато 9000 — 10000 В при зазоре 2 мм

Постоянная времени  $\tau = \epsilon_0(\epsilon + 2)\rho$  где:  $\rho = 10^{10} \text{ } \Omega \text{ см}$ ,  $\epsilon = 3$ ,  $\tau = 4,4 \cdot 10^{-3} \text{ с}$ .

Падение эфф. напряжения  $dV \sim 2\langle Q_e \rangle r s \rho$ , где  $r$  — загрузка в  $\text{см}^{-2} \text{ с}^{-1}$

$\langle Q_e \rangle = 25 \text{ пК}$ ,  $r = 10^3 \text{ см}^{-2} \text{ с}^{-1}$ ,  $\rho = 10^{10} \text{ } \Omega \text{ см}$ .  $s = 0,2 \text{ см}$ .  $dV \sim 100 \text{ В}$ .

# Особенности ВРПК с высокой загрузочной способностью

## Короткие сигналы высокой амплитуды

A.V.Golovine,A.Martemianov,V.Petrov,et al Dielectric Resistive Plate Chamber as a detector for time of flight measurements Preprint ITEP 45-98 (1998). A.Akindinov, V.Golovin, A.Martemianov, et al. 100 psec Time-of-Flight resolution of DRPC Preprint ITEP 20-99 (1999)

## ВРПК с высокой загрузочной способностью

Керамический катод и анод с напылением алюминием,

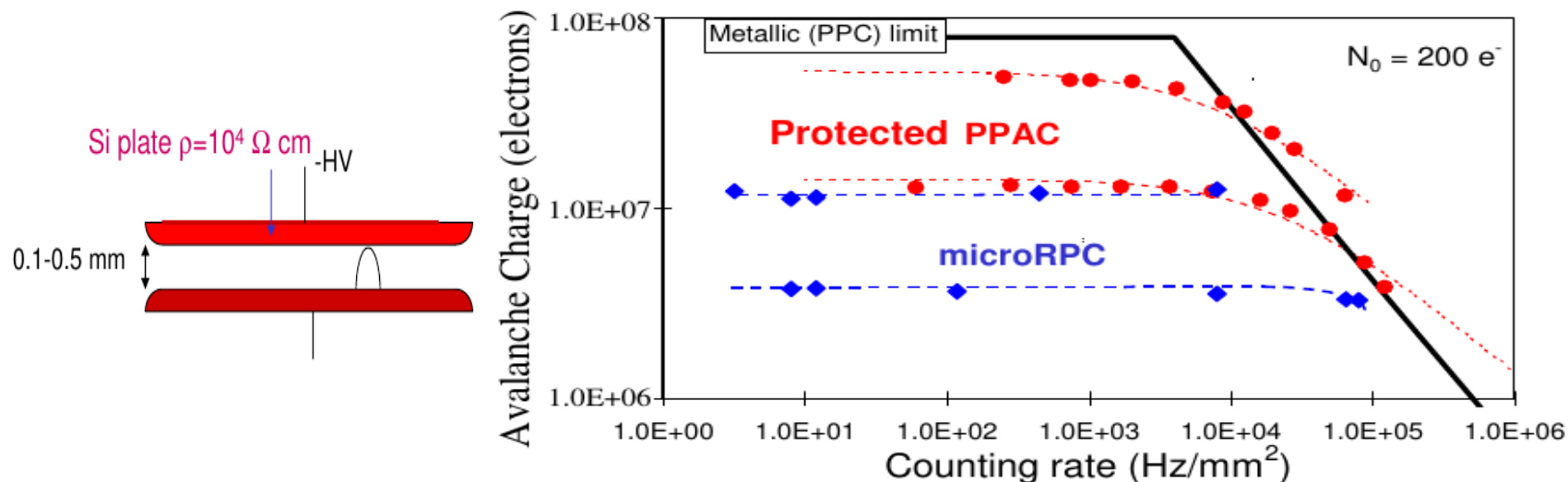
Анод с напылением полупроводящего слоя из  $SiC$  имеет сопротивление, которое во время развития разряда в газе препятствует развитию стримерного разряда. 85%  $C_2H_2F_4$  + 5%  $C_4H_{10}$  + 10%  $SF_6$

Электроды на основе кремниевых пластин P.Fonte NIM A431 (1999) 154

Alejandro Laso Garcia RPC 2016 - THE XIII WORKSHOP ON RESISTIVE PLATE CHAMBERS

AND RELATED DETECTORS Investigation of Ceramic based Resistive Plate Chambers

for high rate beam environments



# Ограничения загрузочной способности ВРПК

Причины ограничения загрузочной способности

1. Падение эффективного напряжения за счет большого заряда лавины
2. Переход в стриммерный режим
3. Гибель электродов за счет химической реакции полимеризации радикалов из распада молекул рабочего газа  $C_2H_2F_4$ ,  $i-C_4H_{10}$  и  $SF_6$

RPC21012-050 T. Greci, F. Felli, G. Saviano et al

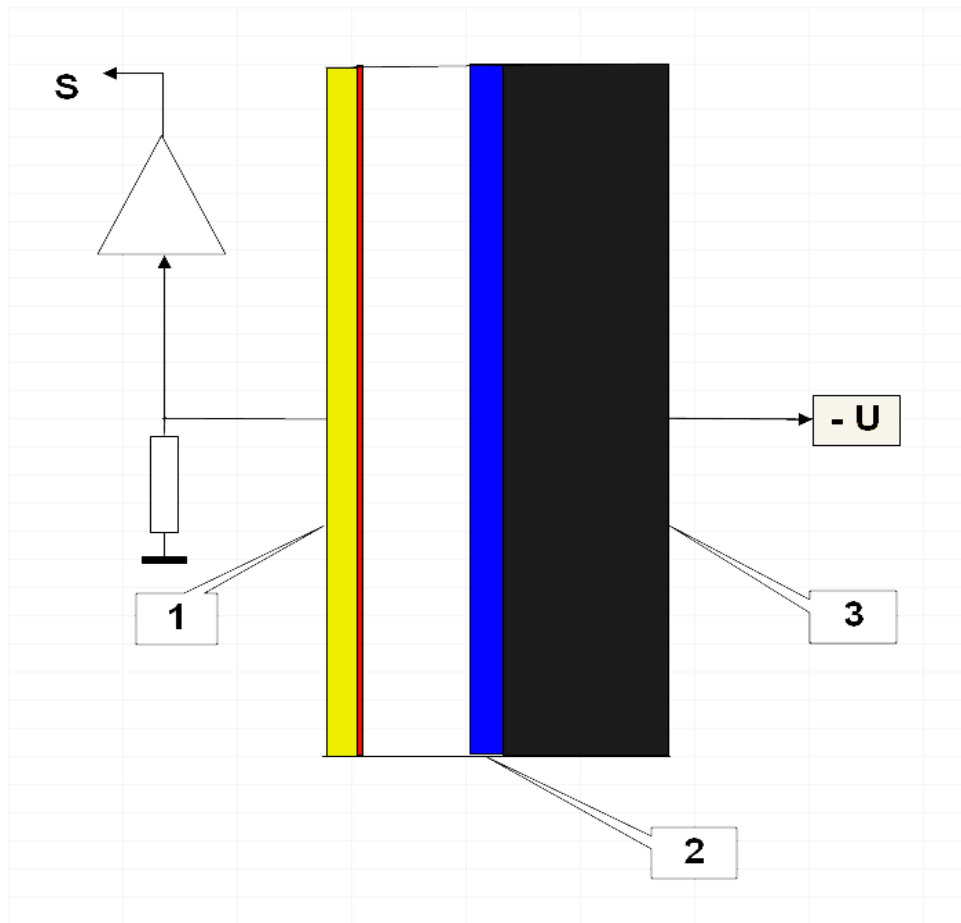
A model for the chemistry of defects in bakelite plates exposed to high-radiation environment

RPC21012-050 S.Kalmani Preliminary results on optimization of gas flow rate for RPCs

$C_2H_2F_4$ (95,2%) Isobutan (4,5%)  $SF_6$ (0,3%) в остаточном газе обнаружены ионы

$CH_2F^+$ ,  $CF_3^+$ ,  $CH_2F_3^+$ ,  $CH_2F_2^+$ ,  $CHF^+$ ,  $CH_2F_4^+$

# Устройство временной резистивной плоскопараллельной камеры



- 1 - анод на основе полиимида толщиной 5 мкм со слоем меди и золота;
- 2 - алмазная пленка на поверхности SiC;
- 3 - кристалл Si толщиной 330 мкм, являющийся катодом.

## Временная резистивная плоскопараллельная камера

### Отличие от существующих аналогов:

1. Покрытие из **алмазоподобной пленки** на поверхности кремниевой пластины, покрытой SiC (катод)
2. **Полиимидная** пленка толщиной **5 мкм** с напылением **медью и золотом** (анод)
3. Зазор **0,2 мм**
4. Быстрая кругооборотная смена газа через форсунки за счет малого объема **20 мм<sup>3</sup>**
5. Система фильтров, включая ядерный фильтр

### Преимущества:

1. Малое количество вещества по пучку **70 мг/см<sup>2</sup>**
2. Полупроводящее высокотемпературное покрытие **10<sup>4</sup> Ω см**
3. Однородная структура с характерным размером кристаллов в десятки *нм*
4. Алмазная поверхность обладает высокой термо- и радиационной стойкостью
5. Алмазная поверхность имеет низкую поверхностную энергию.
6. Быстрая смена газа с фильтрацией с ядерной мембраной препятствует образованию кластеров на поверхности электродов. Это процесс который приводит к полимеризации.

# Технические характеристики детектора, газовая система

Зазор 0,2 мм

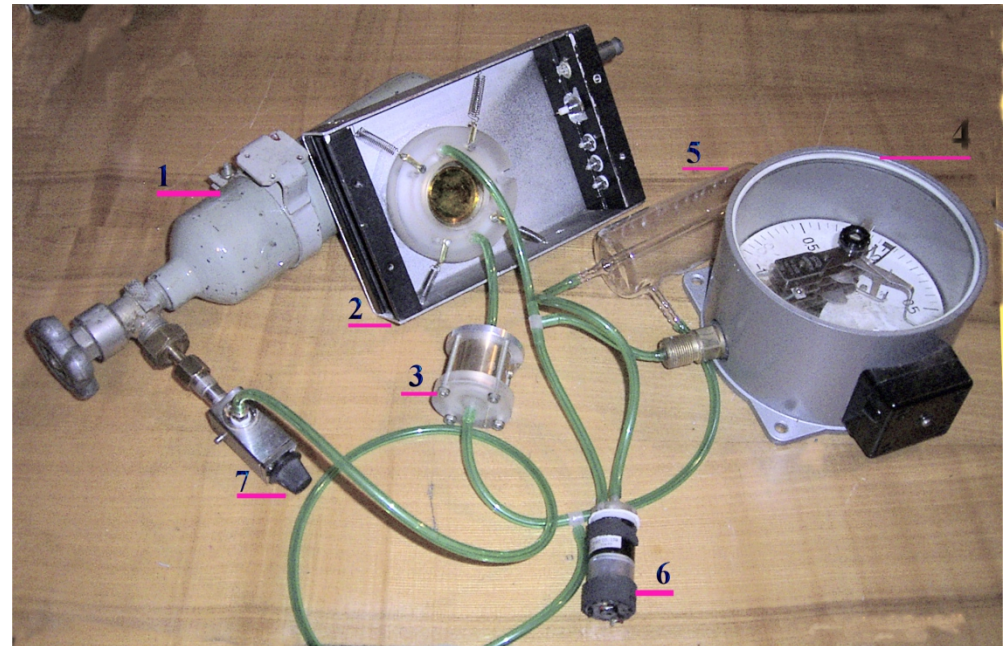
Количество вещества по пучку 70  
мг/см<sup>2</sup>

Объемное сопротивление  
полупроводящего слоя  
 $10^4 \text{ } \Omega \text{ см}$

Газовая смесь 73%  $C_2H_2F_4$ ,  
20% Ar, 5%  $CO_2$  и 2%  $SF_6$

Постоянная времени  
 $\tau = 4,4 \cdot 10^{-9} \text{ с}$

Применена система циркуляции газа  
для предотвращения накопления  
заряда и отложений в камере,  
которые вызывают старение и  
гибель электродов и падение  
газового усиления.

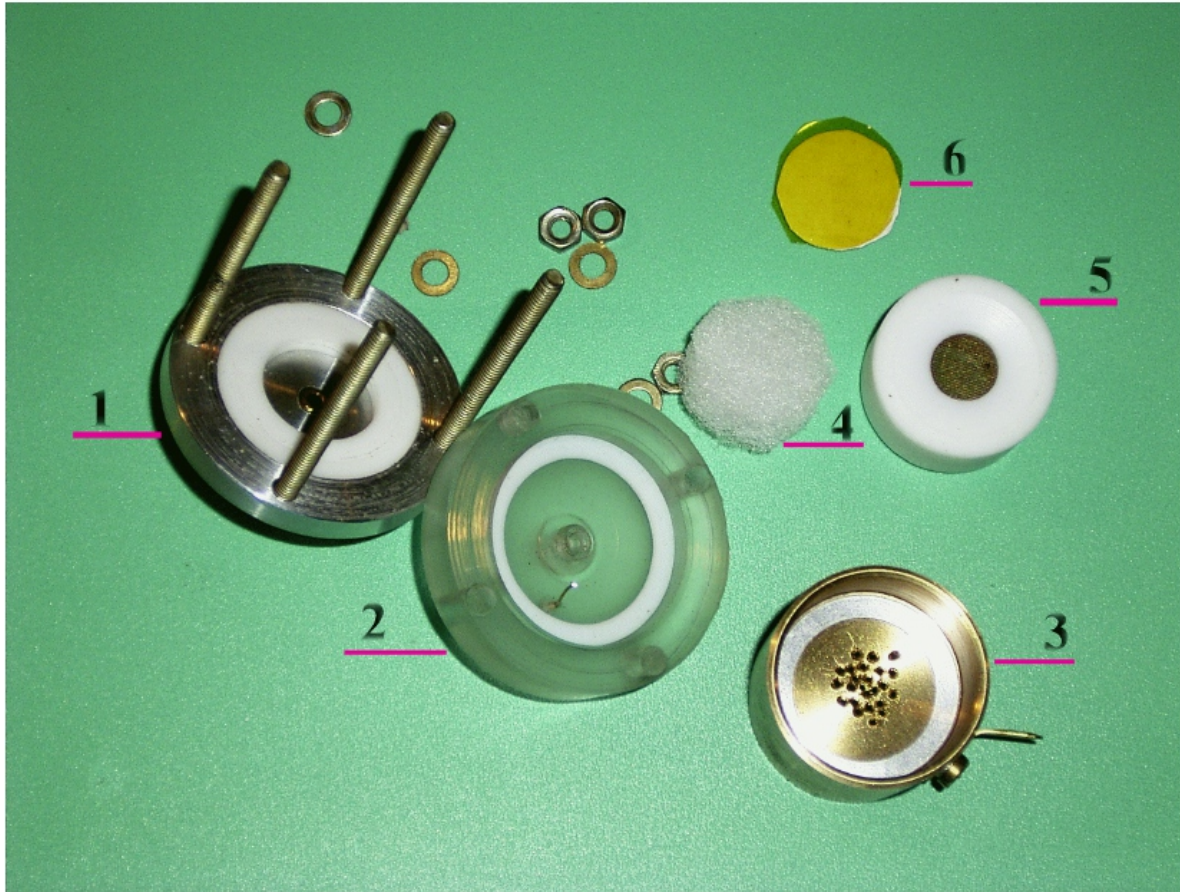


**Плоскопараллельная резистивная камера**

3 - Система фильтров; 4 — Мановакуумметр;  
5 — Ресивер; 6 — Насос; 7 - Вентиль.



# Система фильтров



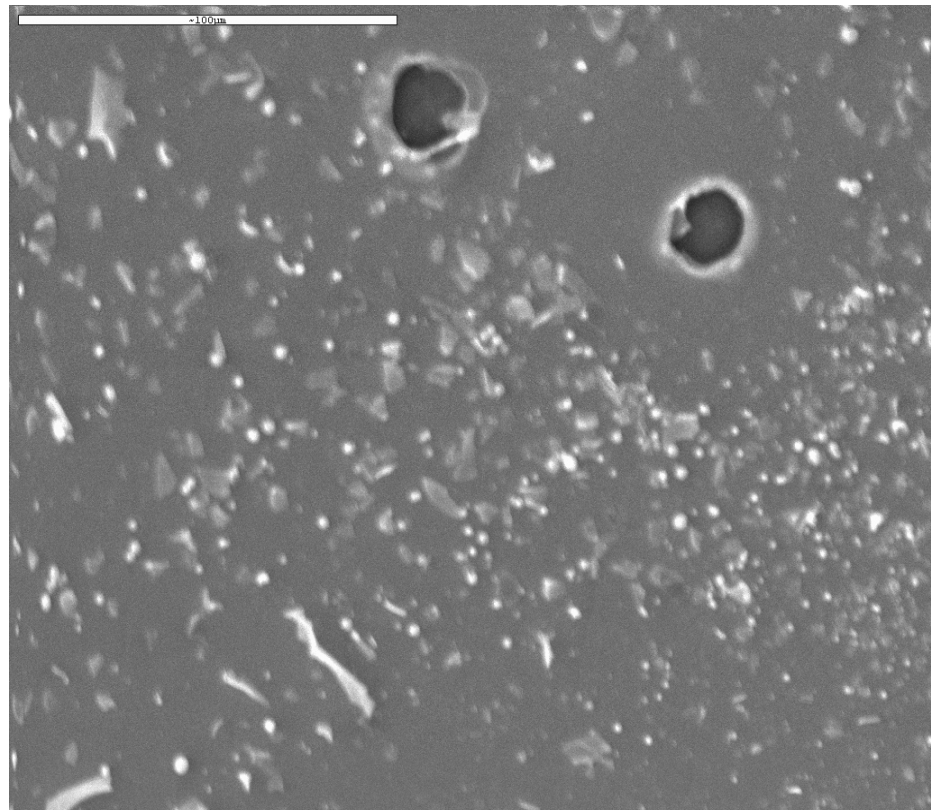
- 1 - Выходной фланец с креплением для ядерной мембраны; 2 - Входной диэлектрический фланец с контактом анода ионизационной камеры;
- 3 - Катод ионизационной камеры;
- 4 — Наночеловек; 5 - Анод ионизационной камеры; 6 - Ядерная мембрана.

# Старение и гибель электродов при высокой плотности ионизации

Прекращение циркуляции газовой смеси

при плотности ионизации в камере  $>10^{10} \text{ см}^{-3} \text{ с}^{-1}$  приводит к катастрофическим отложениям на электродах и выходом из строя детектора.

На изображении под микроскопом, виден слой фтор-углеродного полимера, образовавшийся на поверхности электрода, размер линейки вверху снимка 100 мкм



# Система регистрации и сбора данных

## Параметры усилителя

Загрузочная способность не менее  
40МГц;

Коэффициент преобразования  $2\text{В}/10^6\text{е}^-$ ;

Коэффициент усиления по напряжению  
100;

Собственный шум 3500 е<sup>-</sup>;

Полоса частот 30МГц;

Температурный дрейф нулевой линии  
 $0.2\text{мВ}/1^\circ\text{К}$ ;

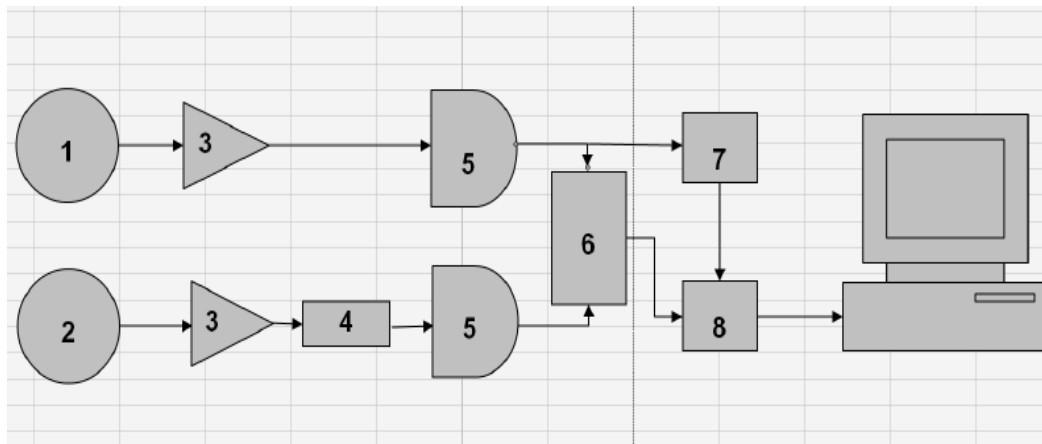
Входное сопротивление 50 Ом;

## Параметры формирователя с следящим порогом

Точность временной привязки 20пс.

Диапазон входных амплитуд 30мВ - 1.5В;

Неопределенность во времени задержки  
20пс.



1 - сцинтилляционный детектор,

2 - временная резистивная плоскопараллельная камера,

3 — усилитель,

4 - линия задержки,

5 - формирователи со следящим порогом,

6 - амплитудно-временной преобразователь 1701A Polon\$,

7 - линейные ворота TA22 Intertechnique,

8 - амплитудно-цифровой преобразователь БПА2-97 Вектор

Сигнал NIM с формирователя поступает на вход Стоп АВП 1701A Polon

Сигнал от сцинтилляционного детектора поступает на вход Старт АВП

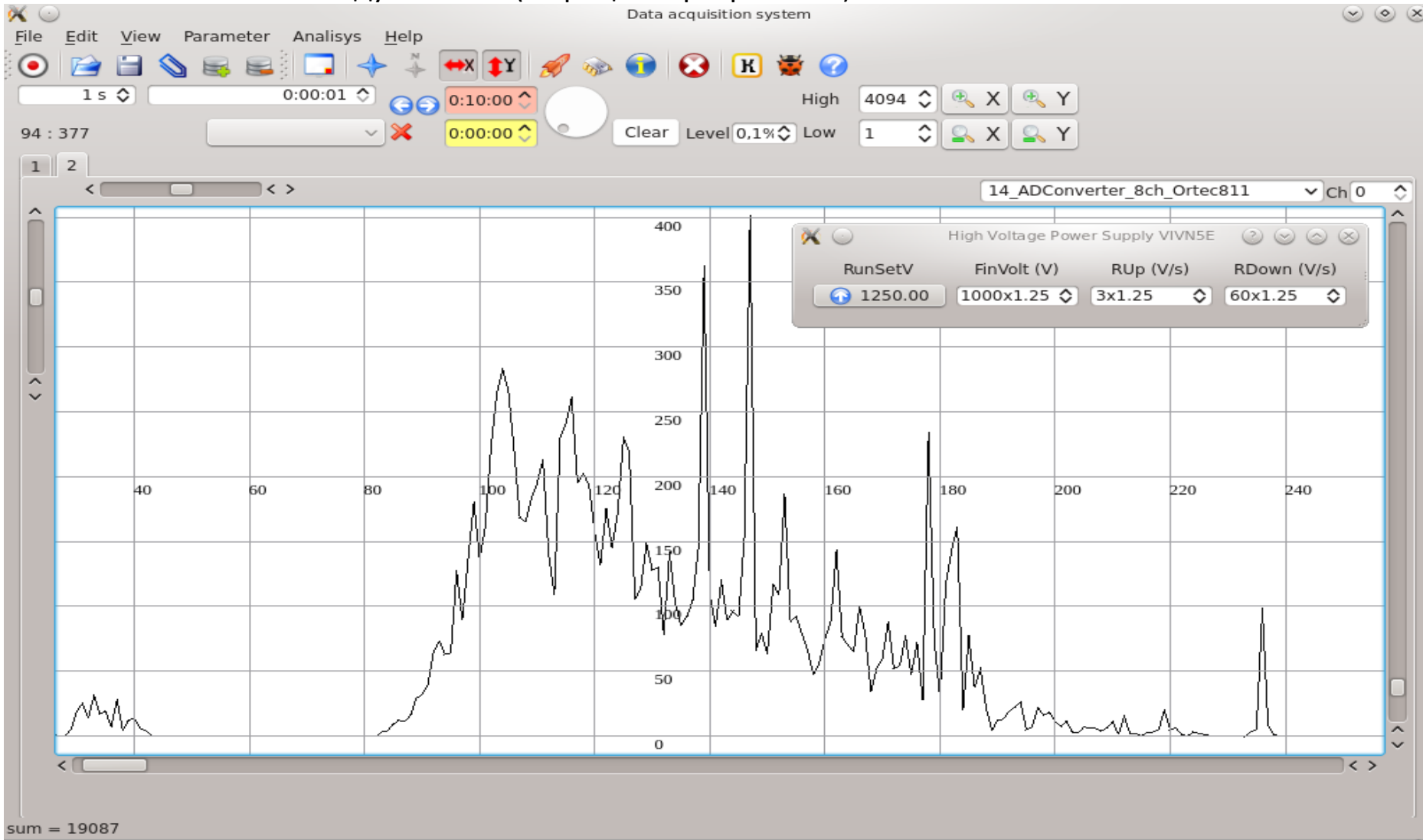
Сигнал от ВРПК поступает на вход Стоп АВП

Сигнал с АВП поступает на 8192-х уровневый АЦП БПА2-97, квантом времени 20пс. Формирователь линейных ворот TA22 запускается сигналом сцинтилляционного детектора и выделяет временное окно 5нс для срабатывания АЦП.

Компьютер, ОС DOS, Контроллер КАМАК КК009.

# Новые системы сбора данных

1. Универсальная система на основе КАМАК, программа PAFDASC
2. Система на основе сигнальных процессоров DT5720,DT5742
3. Система на основе модулей VME (в процессе разработки)



# Результаты испытаний детектора

Источник электронов  $^{90}\text{Sr}(^{90}\text{Y})$  мощностью  $F=10^8 \text{ e}^-/\text{c}$  со средней энергией  $E_e=1,05\text{МэВ}$ .

Детектор с диаметром активной области  $D=36\text{мм}$  на расстоянии  $L=10\text{мм}$  от источника.

Эффективный поток электронов, падающих на ВРПК и определяющий фоновую нагрузку:

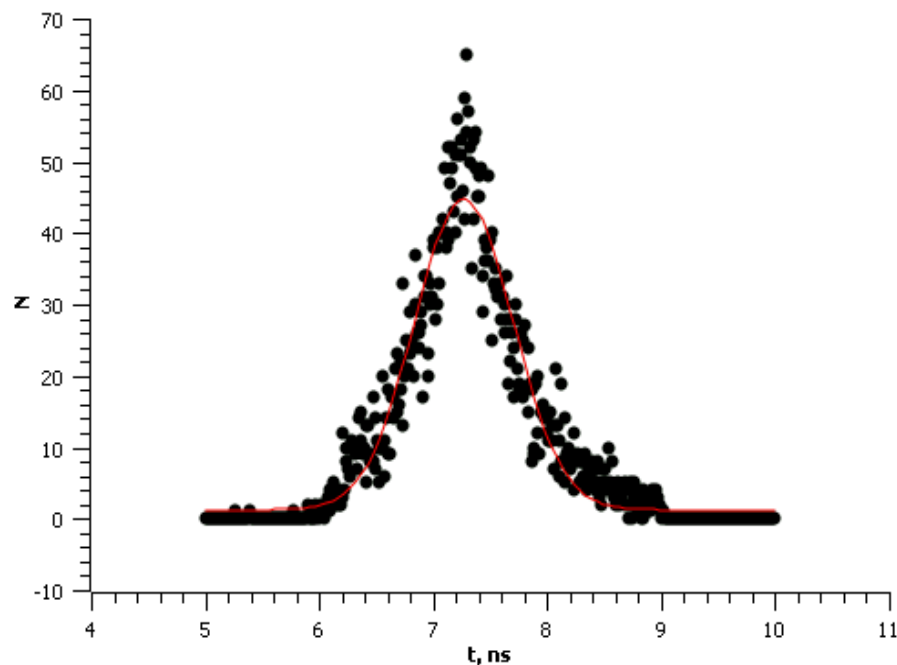
Квадратный пластмассовый детектор размером  $D_1=40\text{мм}$  на расстоянии  $L_1=100\text{мм}$ .

Эффективный поток электронов, падающих на пластмассовый детектор:

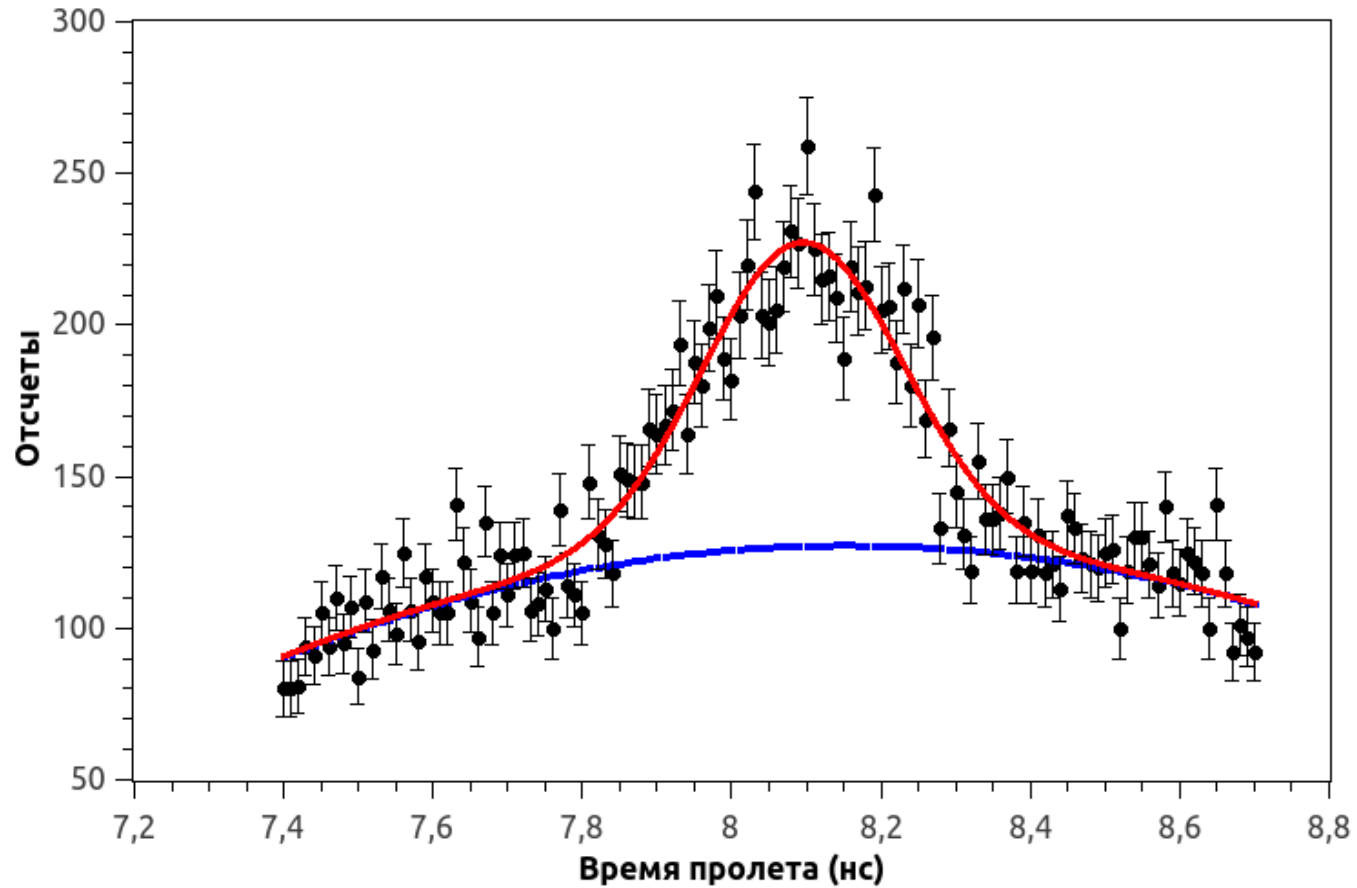
$$f = \frac{F}{\pi^2} \cdot \text{Arctg}^2 \frac{D}{2L} = 3,3 \cdot 10^7 \frac{\text{e}^-}{\text{c}}$$

$$f_1 = \frac{F}{4\pi} \cdot \frac{D_1^2}{L_1^2} \sim 10^6 \frac{\text{e}^-}{\text{c}}$$

Спектр времени пролета при  
напряжении 900В



## Результаты при напряжении 1000В



№	Напряжение, В	Врем.разрешение, нс	Сигнал/шум
1	900	0,73	9,6
2	1000	0,27	3,8

## Выводы

Создана временная резистивная плоскопараллельная камера, работающая при фоновой загрузке до  $3,3 \cdot 10^7 \text{ см}^{-2} \text{ с}^{-1}$

Получено временное разрешение детектора  $270 \text{ пс}$  при фоновой загрузке  $3,3 \cdot 10^7 \text{ см}^{-2} \text{ с}^{-1}$  ;

Создана система продувки газовой смесью с фильтрацией для предотвращения быстрого старения электродов при предельно высоких загрузках;

Толщина по пучку  $70 \text{ мг/см}^2$ ;

Площадь чувствительной области детектора составляет  $10 \text{ см}^2$ ;

Создан предусилитель-формирователь с точностью временной привязки  $20 \text{ пс}$ .

# Планируемые работы и измерения

Получение спектров заряда

Получение кривой эффективности

Получение спектров времени пролета

Получение корреляционных данных времени и заряда

Исследование на ускорителе ЛУЭ-8

Использование в эксперименте

по квазиупругому  $nn$  — рассеянию и «звездному» рассеянию на Линейном ускорителе ИЯИ