

# ПЛОСКОПАРАЛЛЕЛЬНЫЙ ЛАВИННЫЙ СЧЁТЧИК КАК АКТИВНАЯ МИШЕНЬ ДЛЯ «ПОВЕРХНОСТНЫХ» МЮОНОВ

С.И. Воробьев<sup>1</sup>, С.В. Косьяненко<sup>2</sup>

## THE PLANE PARALLEL CHAMBER AS THE ACTIVE TARGET FOR THE «SURFACE» MUONS

S.I. Vorobyev<sup>1</sup>, S.V. Kosianenko<sup>2</sup>  
<sup>1</sup> [vsiloa@pnpi.spb.ru](mailto:vsiloa@pnpi.spb.ru), <sup>2</sup> [vosk@pnpi.spb.ru](mailto:vosk@pnpi.spb.ru)

### Abstract

The investigations results of the Plane Parallel Chamber on the  $\beta$ -source's electrons, positrons and «surface» muons are presented. The amplitude spectra and the registration efficiency for electrons, positrons and muons with momentum 20–27 MeV/c were measured. The registration efficiency of 99% for the muons has been obtained, using the PPC with the gas gap 1 mm and CO<sub>2</sub> (100 %) at 1 atm as a work gas. The PPC with gas gap 0.4 mm and Ar(30%)+CO<sub>2</sub>(70%) at 1 atm as work gas has the registration efficiency 88%. This result together with other properties of PPC allows to use Plane Parallel Chamber in the experiments with the high intensity “surface” muon's beams of the modern meson factories.

### Аннотация

В данной работе представлены результаты исследования рабочих характеристик плоскопараллельной камеры (РРС) на электронах, а также на пучках позитронов и «поверхностных» мюонов. В качестве газовой среды использовался СО<sub>2</sub>(100%) и Ar(30%)+СО<sub>2</sub>(70%), находящийся при атмосферном давлении. Измерены амплитудные спектры и эффективность регистрации заряженных частиц для электронов  $\beta$ - источника, а также для позитронов и мюонов с импульсом 20–27 МэВ/с. Установлено, что в РРС с газовым промежутком 1 мм и рабочем газом СО<sub>2</sub>(100%) можно достичь 99% эффективности регистрации «поверхностных» мюонов, а в РРС с газовым промежутком 400 мкм и рабочем газом Ar(30%)+СО<sub>2</sub>(70%) 88%. Этот результат, наряду с высоким быстродействием детектора, позволяет использовать РРС в экспериментах на интенсивных пучках «поверхностных» мюонов современных мезонных фабрик.

## Введение

Эта работа стимулирована идеей использовать плоскопараллельную камеру как активную мишень в эксперименте по поиску безнейтринного распада мюона с вылетом скалярного голдстоуновского бозона – фамилона [1-6], проект которого был предложен коллективом физиков из ПИЯФ, ОИЯИ, РНЦ "Курчатовский институт" и ИТЭФ. Для этого в ПИЯФ разработан детектор остановок мюонов, в котором плоскопараллельная камера является основным компонентом. Исследования проводятся на пучке «поверхностных» мюонов фазотрона ОИЯИ.

С точки зрения эксперимента, основными требованиями к активной мишени мюонных остановок являются хорошие временное ( $< 1$  нс.) и пространственное разрешения ( $\sim 1$  мм), а также отсутствие деполяризации «поверхностных» мюонов в материале мишени. Этим требованиям может удовлетворить комбинация РРС (Plane Parallel Chamber) и пропорциональных камер, позволяющая одновременно, с хорошей точностью осуществлять пространственные и временные измерения. При этом большая часть мюонов пучка останавливается в электродах РРС, выполненных целиком из алюминиевой фольги, что позволяет свести деполяризацию мюонов в активной мишени к минимуму.

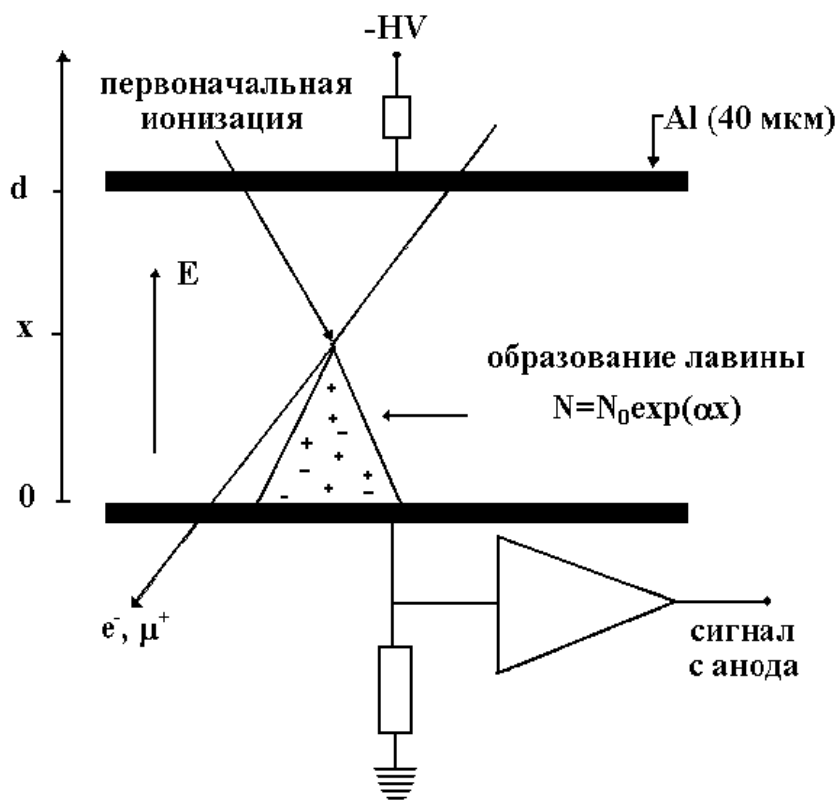


Рис.1. Принцип работы РРС.

Плоскопараллельная камера является газовым детектором, который успешно используется в измерениях в физике низких и высоких энергий [7–9]. Основу конструкции РРС составляют два параллельных металлических электрода, разделённых газовым промежутком. В нашем

случае ширина газового промежутка между электродами составляет 1 мм, 0,4мм; в промежутке находится рабочий газ при атмосферном давлении. К электродам камеры подводят высокое напряжение, образующее интенсивное однородное электрическое поле внутри чувствительного объёма детектора, которое создаёт условия для развития лавины при прохождении заряженных частиц.

Принцип действия РРС демонстрируется на рисунке 1. В отличие от пропорциональной камеры, электронная лавина в РРС развивается сразу же из точки взаимодействия заряженной частицы с газовой средой чувствительного объёма детектора. По этой причине РРС характеризуется высоким временным разрешением (FWHM ~ 0.2÷1 нс.), что позволяет использовать детектор в прецизионных временных измерениях.

После того, как электроны лавины собираются на аноде, облако положительных ионов медленно (несколько микросекунд) дрейфует по направлению к катоду. Количество электронов, собранных на аноде, определяется выражением:

$$n=n_0 \cdot e^{\alpha x}, \quad (1)$$

где  $n_0$  – количество первоначальных электронов на данном расстоянии  $x$  от анода и  $\alpha$  – первый коэффициент Таунсенда он характеризует среднее число ионизирующих столкновений электрона на единице длины.

В результате в детекторе по сравнению с первоначальной ионизацией достигается газовое усиление:

$$G=e^{\alpha x}. \quad (2)$$

Газовое усиление, как следует из (2), в случае РРС сильно зависит от расстояния между анодом и точкой, где в результате прохождения заряженной частицы образовался первый заряженный кластер, вызвавший лавину. По этой причине количество собранного заряда зависит не только от величины начальной ионизации, но и от того, на каком расстоянии от анода лавина начала развиваться. Более подробно принцип работы и рабочие характеристики плоскопараллельных камер обсуждаются в [10—15].

## Конструкция активной мишени

Активная мишень представляет собой телескоп из RPC и пропорциональных камер, размещённых в герметичном боксе, который

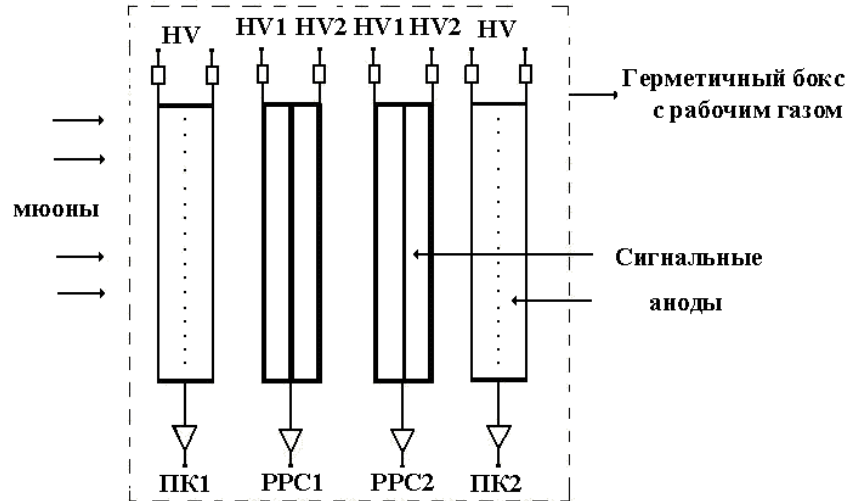


Рис.2. Принципиальная схема прототипа детектора остановок.

заполнен рабочим газом (рис.2). При этом значительная часть остановок мюонов происходит в анодах и катодах плоскопараллельных камер, которые фиксируют момент времени остановки мюона. Пропорциональная камера ПК1 служит для регистрации координат мюонов и разделения позитронов и мюонов пучка по амплитуде сигнала. Камера ПК2 режет позитроны пучка в режиме антисовпадений.

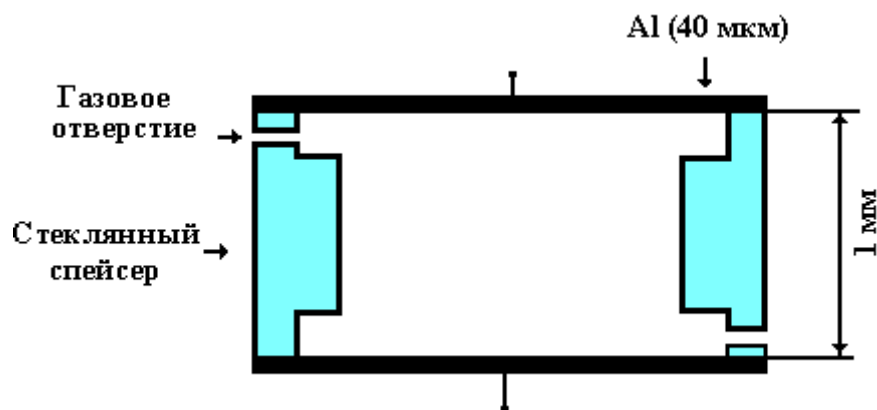


Рис.3. Конструкция плоскопараллельной камеры.

Толщина катодов и анодов RPC1 и RPC2 рассчитывалась таким образом, чтобы обеспечить максимальную эффективность остановок «поверхностных» мюонов с импульсом  $\lambda = -27 \pm 1.9$  МэВ/с. В этих целях

для изготовления электродов использовалась алюминиевая фольга толщиной 40 микрон. Размеры электродов 60х60 мм; толщина газового промежутка равна 1 мм и 0,4 мм.

Для того чтобы обеспечить необходимое натяжение алюминиевой фольги и увеличить электрическую прочность конструкции, электроды РРС разделены стеклянными изоляторами. На стеклянных изоляторах имеются прямоугольные выступы (рис.3), которые используются для «сглаживания» сильного неоднородного электрического поля на границе диэлектрик – металл. Это, в свою очередь, приводит к устойчивой работе детектора при значении рабочего напряжения (~5 кВ для зазора 1 мм и ~2,5 кВ для зазора 0,4 мм).

РРС с двумя газовыми промежутками была спроектирована таким образом, что электронные лавины, возникающие около внешних катодов, регистрируются на аноде, находящимся под нулевым потенциалом (рис.4). Такая конструкция обладает надёжностью в работе и позволяет более точно измерять время остановки мюонов.

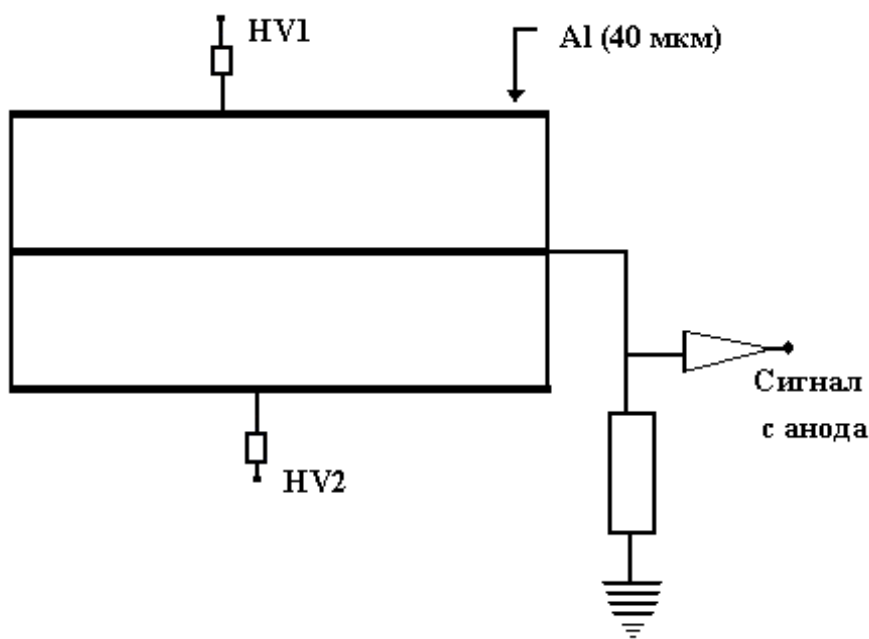


Рис.4. Принципиальная электрическая схема РРС с двумя газовыми промежутками.

## Амплитудные спектры и эффективность регистрации заряженных частиц

На электронах  $\beta$  - источника ( $^{106}\text{Ru}$ ) и пучке «поверхностных» мюонов измерены амплитудные спектры и эффективность регистрации заряженных частиц для РРС, имеющей один и два газовых промежутка (рис. 5,8,9). Полученные максимальные значения эффективности для электронов и позитронов имеют величину порядка 60% для РРС с одним газовым промежутком шириной 1 мм и рабочим газом  $\text{CO}_2$  (100%) при атмосферном давлении. Значение эффективности 60% достигалось при рабочем напряжении около 5 кВ, а далее располагалась зона искрообразования. Для РРС, имеющей два газовых промежутка (2 x 1 мм) и

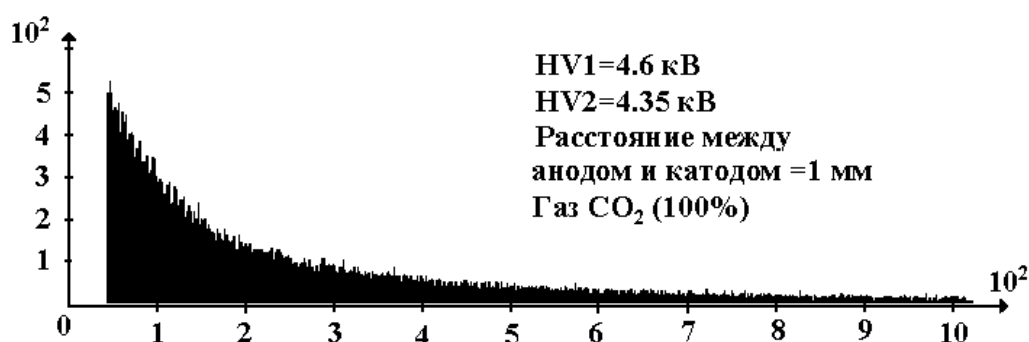


Рис.5. Амплитудный спектр электронов для РРС, имеющей два газовых промежутка.

тот же рабочий газ, была получена эффективность 8%. Для этого же детектора была измерена эффективность регистрации «поверхностных» мюонов [16]. Величина эффективности регистрации «поверхностных» мюонов — 99%, получена при рабочем напряжении 4.55 кВ, ширина плато ~400 В (рис.9).

Для того чтобы достоверно вычислить эффективность регистрации мюонов на амплитудных спектрах (рис.8), выделялась область, которая соответствует большим амплитудам. На обоих спектрах хорошо видны две области: первая относится к позитронам (малые амплитуды), вторая — к мюонам (пик справа при больших амплитудах). Поскольку спектр позитронов (электронов) в РРС (рис.5) экспоненциально спадает с увеличением амплитуды сигнала, одновременная постановка нижних границ по амплитуде сигнала в ПК1, и РРС2 позволяет отличить сигналы «поверхностных» мюонов в активной мишени от сигналов позитронов.

При вычислении эффективности регистрации позитронов и электронов нижняя граница амплитуд регистрируемых сигналов в исследуемой РРС совпадала с верхней границей шумов электроники и детектора. Это позволило оценить максимальную величину эффективности регистрации позитронов и электронов, которой можно достичь для плоскопараллельного лавинного счётчика с  $\text{CO}_2$  в качестве рабочего газа и

расстоянием между катодом и анодом равным 1 мм. Для получения пучка позитронов на мюонный канал устанавливался металлический фильтр, который полностью поглощал мюоны пучка. Данные (рис.9) для позитронов и электронов были получены при одном атмосферном давлении. Небольшое различие в величине эффективности регистрации электронов и позитронов объясняется существенной геометрической неэффективностью при детектировании электронов  $\beta$ -источника. Более мягкий спектр электронов по сравнению со спектром позитронов пучка приводит к тому, что электроны испытывают сильное многократное рассеяние на веществе катодов и анодов пропорциональной камеры ПК1. При этом электроны могут быть зарегистрированы в ПК1 и PPS2, но не пересечь рабочую область исследуемого детектора PPS1.

Также были изготовлены PPS с газовыми промежутками между анодом и катодом 100 мкм (изучение которой ведется), 200 мкм, 400 мкм. Для PPS с такими газовыми промежутками были измерены амплитудные спектры, которые представлены на рис.6,7. Была измерена эффективность регистрации мюонов. Она составляет для PPS с 200 мкм газовым зазором 72.7% на газовой смеси Ar(30%)+CO<sub>2</sub>(70%), а на чистом CO<sub>2</sub> 33%. Для PPS с газовым зазором =400 мкм была получена эффективность 88.4% при напряжении 2.45 кВ и газовой смеси Ar(30%)+CO<sub>2</sub>(70%) (рис.10).

Временное разрешение активной мишени было исследовано для мюонов и составило для PPS с газовым промежутком 1 мм величину 1 нс. (FWHM) (рис.11).

Используя PPS, с газовым промежутком 400 мкм, проведены  $\mu$ SR-измерения. Получен  $\mu$ SR-спектр (рис. 12).

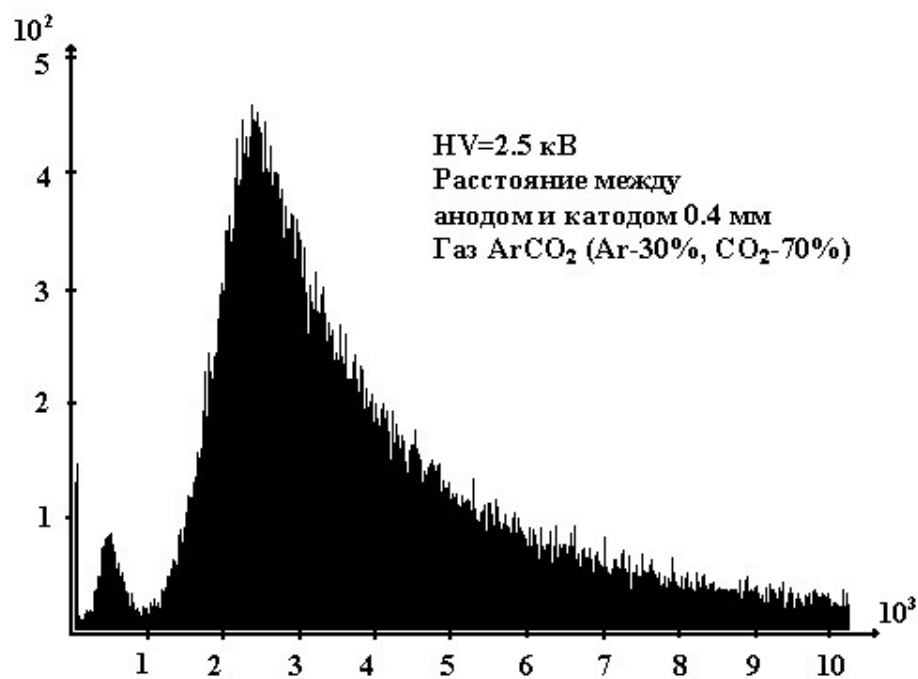


Рис.7. Амплитудный спектр электронов для PPC.

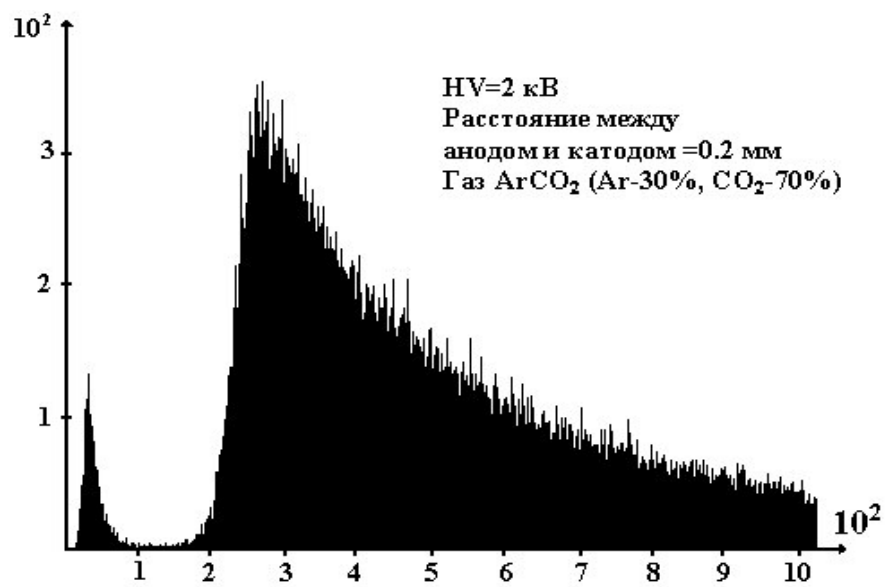


Рис. 6 Амплитудный спектр электронов для PPC.



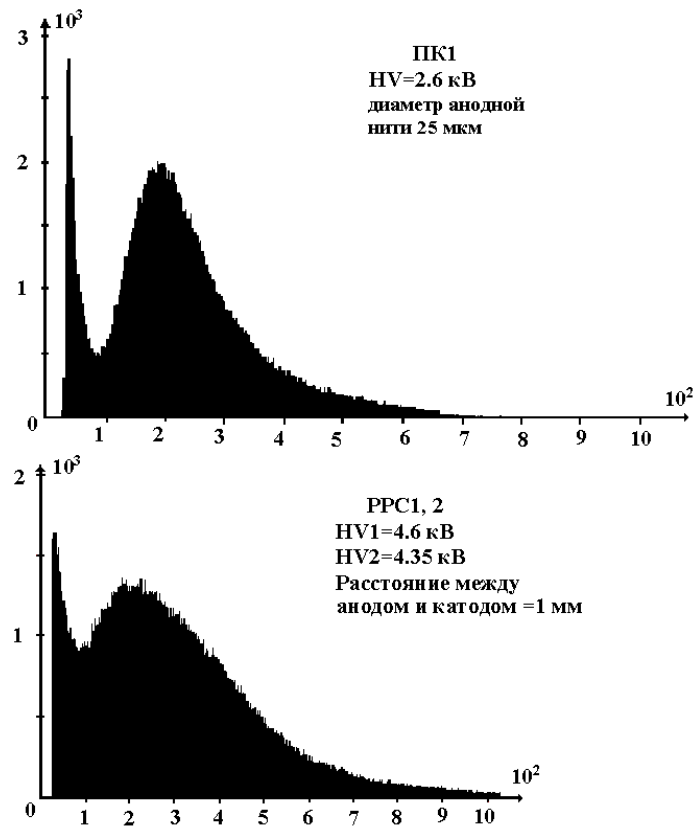


Рис.8. Амплитудные спектры позитронов и мюонов для телескопа, состоящего из пропорциональной камеры и RPC с двумя газовыми промежутками.

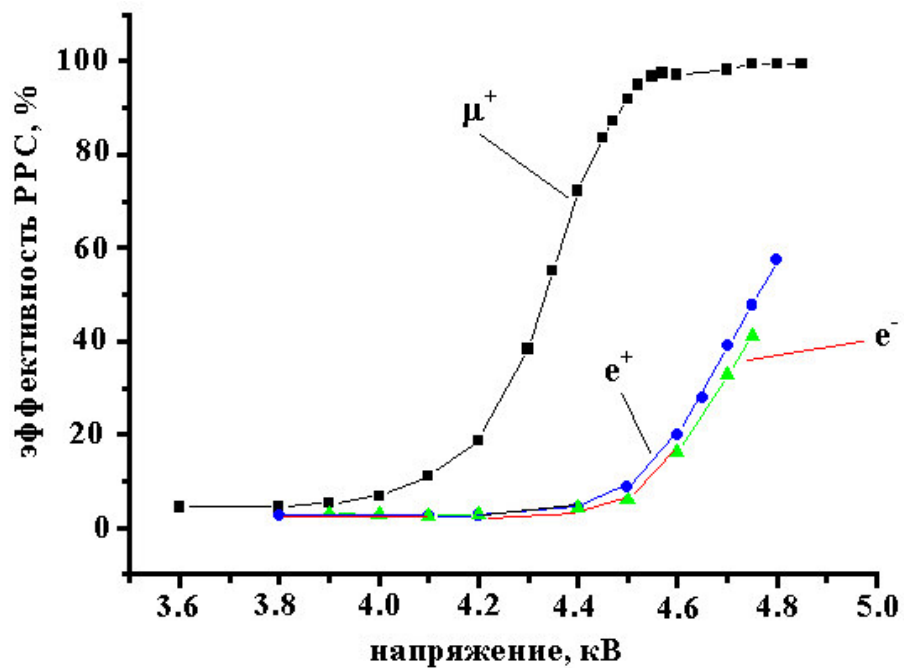


Рис.9. Эффективность регистрации мюонов, позитронов и электронов для RPC с одним газовым промежутком 1 мм; рабочий газ CO<sub>2</sub> (100%) при атмосферном давлении.

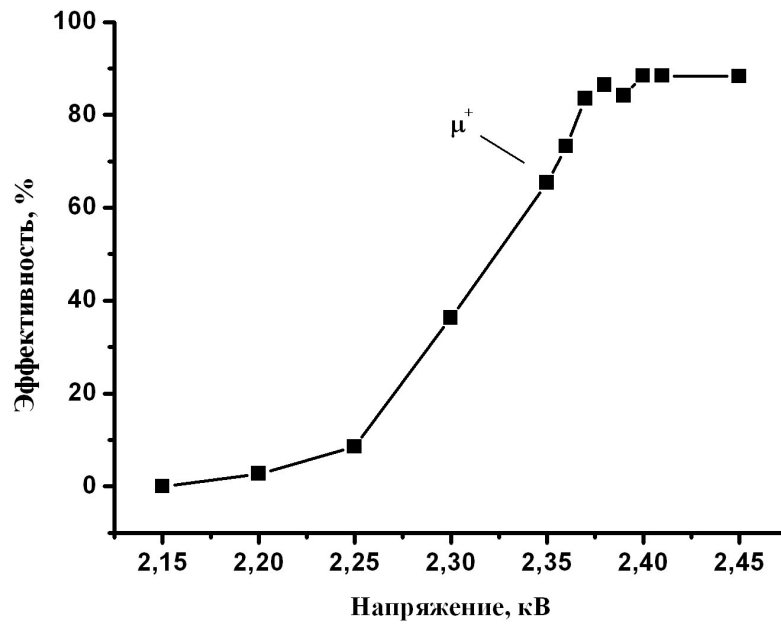


Рис.10. Эффективность регистрации мюонов для РРС с одним газовым промежутком 40 мкм; рабочий газ Ar(30%)+CO<sub>2</sub>(70%) при атмосферном давлении.

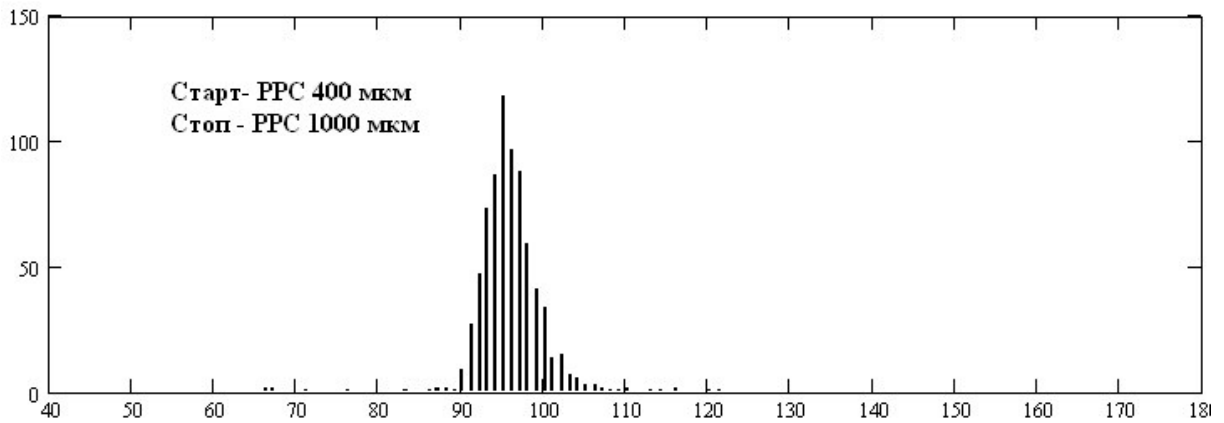


Рис.11. Временное разрешение РРС (в одном канале гистограммы 0,2 нс.).

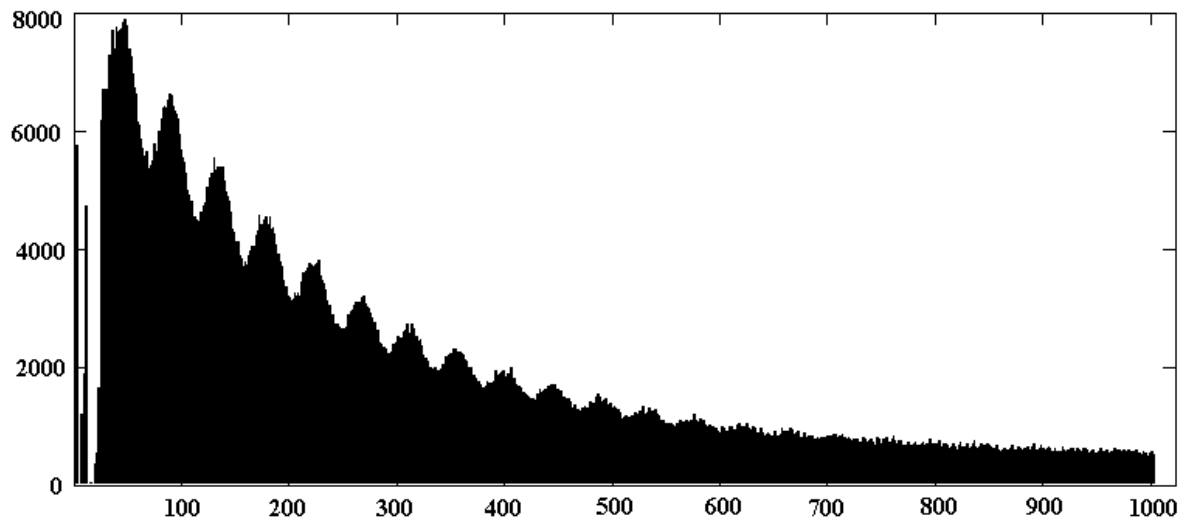


Рис.12.  $\mu$  SR- спектр.

## Заключение

Создана активная мишень для регистрации «поверхностных» мюонов, которую планируется использовать в эксперименте по поиску безнейтринного распада мюона. Измерена эффективность регистрации заряженных частиц плоскопараллельным лавинным счётчиком для электронов  $\beta$ -источника, а также позитронов и мюонов с импульсом  $\sim 27$  МэВ/с. Впервые показано, что эффективность работы RPC с газовым промежутком 1 мм для «поверхностных» мюонов достигает 99%, а с газовыми промежутками 0,4 мм и 0,2 мм достигает 88% и 73% соответственно, а амплитудное разрешение детектора позволяет отличать мюоны от позитронов. Прибор демонстрирует хорошую стабильность в работе и может быть использован в любых экспериментах, связанных с получением  $\mu$ SR-спектров и измерением времени жизни мюона.

## Литература

- [1] V.A. Gordeev et al. The search of the neutrino less muon decay. Project of the experiment. Preprint PNPI -2380, Gatchina- 2000, 37p.
- [2] Yu.A. Scheglov et al. Search for Two-Particle Muon Decay to Positron and Goldstone Massless Boson- Familon. Project Experiment (Continuation). Preprint PNPI- 2405, Gatchina - 2001.
- [3] В.А. Гордеев. Препринт ЛИЯФ-1077, Ленинград, 1985, р.14. В сб.: Мезоны и пионы в веществе, Дубна, 1987, Д14-87-799, с.442.
- [4] В.А. Гордеев и др. Ядерная физика, 1997, вып.7, с.1291.
- [5] В.А. Гордеев, Д.В. Гордеев, С.А. Густов и др. Краткие сообщения ОИЯИ, 1996, №4[78]-96, с.15—22.
- [6] <http://www.isis.rl.ac.uk./muons/>
- [7] Yu. Galaktionov et al. Nucl. Instr. And Methods A 317 (1992) 116.
- [8] A. Arefief et al. Nuclear Instrument and Method in Physics. A 348 (1994) 318.
- [9] A. Arefief et al. Nucl. Phys. B (Proc. Suppl.) 32 (1993) 223.
- [10] A. Ferrando et al., CMS Technical Note TN/92-23 (1992).
- [11] A. Arefief et al. RD5 Technical Note TN/92-04 (1992).
- [12] V. Akimov et al. Nucl. Instr. And Methods A 334 (1994) 120.
- [13] A. Arefief et al. CERN PPE/93-82 (1993).
- [14] The Parallel Plate Chambers Collaboration, CMS Technical Note TN/94-159 (1994).
- [15] A. Arefief et al. Nuclear Instrument and Method in Physics. Res. A 376 (1996) 163-173.
- [16] В.Г. Ивочкин, С.И. Воробьев, С.В. Косьяненко. Создание активной мишени для «поверхностных» мюонов на основе плоскопараллельной камеры. Препринт ПИЯФ-2507, Гатчина-2003.