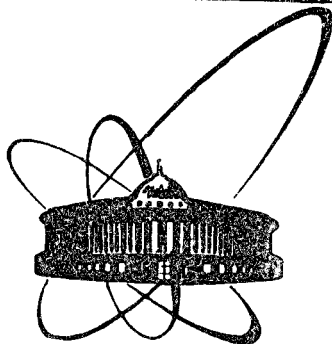


82-634



ОБЪЕДИНЕННЫЙ  
ИНСТИТУТ  
ЯДЕРНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ  
ДУБНА

57/83

3/1-83

P13-82-634

А.Д.Конин

БЫСТРЫЕ МНОГОПРОВОЛОЧНЫЕ  
ПРОПОРЦИОНАЛЬНЫЕ КАМЕРЫ  
ДЛЯ МАЛОФОНОВОГО ВЫДЕЛЕНИЯ  
ОСТАНОВОК МЮОНОВ  
В ЖИДКОТРИТИЕВОЙ МИШЕНИ

Направлено на Международное совещание  
по применению многопроволочных детекторов  
/Прага, сентябрь 1982 г./

1982

При изучении взаимодействия остановившихся частиц с веществом мишени возникает необходимость определения числа остановок для нормировки. Эта задача решается просто с помощью сцинтилляционных счетчиков при изучении, например, мезорентгеновских переходов в атомном захвате <sup>1/1</sup> или гамма-излучения в ядерном захвате <sup>2/2</sup> мюонов, остановившихся в относительно толстой мишени: входной счетчик, расположенный перед мишенью /по направлению пучка/, в совпадениях с мониторными счетчиками регистрирует число частиц, вошедших в мишень, а счетчик антисовпадений, расположенный за мишенью, исключает частицы, не остановившиеся в мишени. Однако и в этом случае входной счетчик делают возможно тоньше для уменьшения числа фоновых остановок, т.е. остановок вне мишени.

## 1. ВЫБОР ДЕТЕКТОРОВ ДЛЯ "ТОНКИХ" МИШЕНЕЙ

Если по условиям эксперимента используются тонкие /около 100 мг·см<sup>-2</sup>/ <sup>3/3</sup> или газовые мишени <sup>4/4</sup>, или доступно малое количество вещества мишени /тритий/ <sup>5/5</sup>, то для регистрации остановок желательно иметь детектор с меньшим количеством вещества. Но уже при толщине сцинтиллятора меньше миллиметра затрудняется светосбор и без того малого количества световых квантов, что приводит к неполной эффективности счета.

Такие типы газовых детекторов с малым количеством вещества, как многопроволочные камеры в самогасящемся стримерном режиме <sup>6/6</sup>, многопроволочные пропорциональные камеры с малым давлением наполняющего газа <sup>7/7</sup> обладают хорошим временным разрешением. Но они не дают информации о плотности ионизации, необходимой для входного счетчика, а главное, нет стопроцентной эффективности регистрации, что особенно важно для счетчика антисовпадений, так как при работе с тонкими мишенями число пролетных частиц, как правило, много больше числа остановившихся в мишени. Кроме того, существенной является стабильность характеристик.

Заманчивым выглядит использование для поставленной задачи лавинных детекторов /см., например, <sup>8/8</sup>/, имеющих минимальное количество вещества и прекрасное временное разрешение. Но не имея достаточных сведений об их стабильной работе в многосуточных и многократных экспозициях, а также встретившись с техническими трудностями, мы пока на их разработку не решились.

В наших работах по измерению энергетических спектров и асимметрии вылета заряженных частиц при захвате отрицательных мюонов ядрами <sup>3/3</sup>, для выделения остановок мюонов в тонких мишенях, хорошо зарекомендовали себя специальные плоские многопроволочные пропорциональные камеры /МПК/. Выбор МПК определился их достоинствами: неограниченная площадь, малое количество вещества, высокая эффективность регистрации заряженных частиц, возможность измерения ионизационных потерь, высокое быстродействие, неограниченный ресурс стабильной работы. Единственное, в чем обычные МПК <sup>9/9</sup> уступают другим упомянутым детекторам - временное разрешение. Поэтому при разработке принят ряд мер по повышению временного разрешения и быстродействия /п.2/, позволяющих называть описываемые МПК быстрыми. По аналогичному принципу, но с более высокими требованиями, разработаны цилиндрические МПК для выделения остановок  $\mu^-$  в малом количестве /2,5 г/ жидкого трития при исследовании мезоатомных и мезомолекулярных процессов в тритии и в его смесях с другими изотопами водорода.

## 2. МЕРЫ ПО ПОВЫШЕНИЮ ВРЕМЕННОГО РАЗРЕШЕНИЯ

### 2.1. Расположение анодных проволок в двух плоскостях, симметричных центральной

При обычном расположении проволок, если частица пролетает вблизи границы рабочей области /тонкие линии на рис. 1а/, электроны ионизации, дрейфуя по силовым линиям, попадают в слабое электрическое поле между проволоками /точно по середине - нулевое/ и вначале медленно дрейфуют к проволоке /"думают"/. Этим и объясняется характерный длинный "хвост" до 100 и более нс

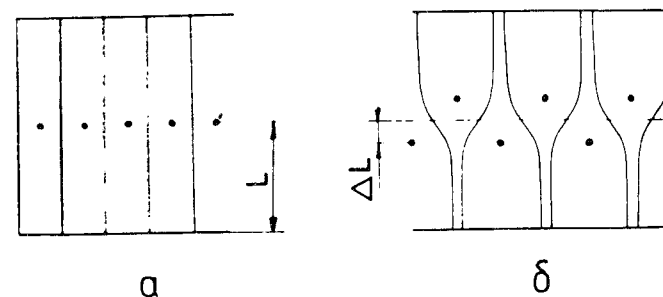


Рис. 1. Расположение анодных проволок в плоских МПК: а - обычное, в середине зазора; б - анодные проволоки попеременно смещены на  $\Delta L$  в разные стороны от середины зазора.

в разбросе времени срабатывания формирователя относительно момента пролета частицы /9/.

При расположении же проволок по рис. 1б уменьшается разброс прихода первых электронов в область газового усиления, т.к. при любом пролете заряженной частицы часть электронов ионизации окажется в сильном электрическом поле. Рассуждения аналогичны и для цилиндрических МПК. В случае выполнения условия расположения проволок  $R_{01} \cdot R_{02} = R_1 \cdot R_2$  /обозначения по рис. 2/ напряженность вблизи проволок в обоих рядах цилиндрической МПК будет одинакова /12/, а значит, одинаковым будет и газовое усиление. Здесь следует отметить, что при натяжении проволок в 2 ряда возможность амплитудных измерений в пропорциональном режиме сохраняется.

Проверка плоских МПК с помощью конвертора время-амплитуда, для расстояний  $2\Delta L$  по рис. 1б 2 мм и 2,6 мм с одинаковым результатом, показала, что "хвост" исчезает, но ширина на полувысоте временного распределения остается такой же, как и при расположении проволок в 1 ряд /рис. 1а/, а именно 12 нс. Параметры камер приведены в п. 3, а условия испытаний в п.5.

## 2.2. Предельно-возможное сокращение всех межэлектродных размеров $x_i$

Это при сохранении скорости дрейфа  $v$  сократит все временные характеристики импульса  $t_i$ , т.к.  $t_i = x_i/v$ . Для сохранения статистической обеспеченности надо увеличить давление, тогда и

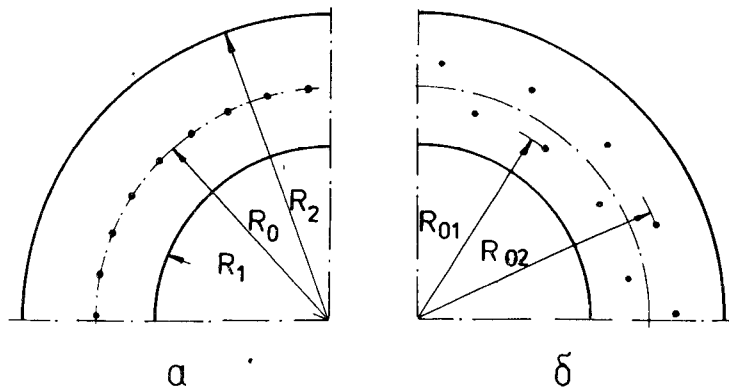


Рис. 2. Расположение анодных проволок в цилиндрической МПК: а - в равновесной поверхности с радиусом  $R_0^2 = R_1 R_2$  /12/; б - проволоки попеременно смещены на радиусы  $R_{01}$  и  $R_{02}$ .

разброс времен от флуктуаций ионизации сократится. Как увидим /п.3/, все межэлектродные размеры в цилиндрической МПК по сравнению с плоской сокращены в 1,25 раза, а давление увеличено.

## 2.3. Выбор рабочего газа с максимальной скоростью дрейфа электронов

Мы выбрали метан, имеющий скорость дрейфа при насыщении  $v = 1,5 \cdot 10^7$  см.с<sup>-1</sup>.

## 2.4. Использование токовых предусилителей

При запараллеливании многих проволок в один счетчик получается значительная нагрузочная емкость: около 100 пФ для входного и 200 пФ для счетчика антисовпадений. Для уменьшения влияния емкости в формировании короткого импульса тока /10/ использованы токовые предусилители с низкоомным входом.

## 2.5. Срабатывание формирователя логических сигналов на низком уровне входного сигнала.

Это так называемое срабатывание по первым электронам. Результаты должны быть лучше при срабатывании формирователя на одинаковом уровне от высоты импульса и рекордными на монохроматическом пучке частиц.

## 3. ОСОБЕННОСТИ КОНСТРУКЦИИ

Плоские МПК /рис. 3/ сделаны в форме тонких дисков с зазором  $2L = 12$  мм. Поскольку анодные проволочки /вольфрам диаметром 12,5 мкм/ объединяются в один счетчик, они наматывались на кольца из нержавеющей стали с внутренним диаметром 100 мм для вход-

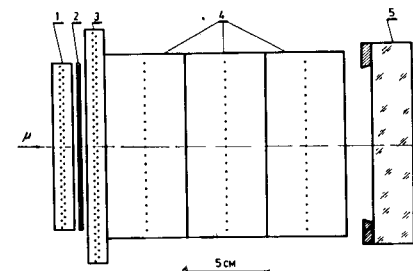


Рис. 3. Схема использования плоских МПК для выделения остатков мюонов в работе /8/. 1 - входной счетчик - тонкая МПК; 2 - сменная мишень; 3 - счетчик антисовпадений - тонкая МПК; 4 - три идентичные МПК для измерения ионизационных потерь /11/; 5 - кристалл CsI спектрометра полной энергии заряженных частиц.

ного счетчика и 140 мм - для счетчика антисовпадений. Толщина колец 2 мм фиксировала расстояние  $2\Delta L$  между рядами анодных проволок, а угловые прорезы, сделанные по внешнему диаметру колец параллельным смещением на точном фрезерном станке через 4 мм с той и другой стороны, фиксировали шаг намотки  $v = 2$  мм. Кольца зажимаются между фторопластовыми изоляторами. Для уменьшения фона заряженных частиц от захвата мюонов вне мишени, катодные электроды делались из алюминизированного лавсана толщиной 12 мкм, т.е. из материала с малым  $Z$ . Обе МПК /1 и 3 на рис. 3/ помещались в общий объем вместе со спектрометром 4 по измерению ионизационных потерь <sup>11/</sup>. В том же объеме, наполненном метаном до 1 атм, размещались сменные мишени и геттер для очистки газа <sup>15/</sup>.

В цилиндрических МПК для работы с жидким тритием, наоборот, выгоднее, чтобы фоновые остановки мюонов происходили в материале с большим  $Z$ , где время жизни отрицательных мюонов мало. Тогда влияние фона можно уменьшить, если сдвинуть время регистрации продуктов /нейтронов/ от захвата мюонов. Поскольку оболочки мишени сделаны из нержавеющей стали /3 и 4 на рис. 4/, то из нее же сделаны и катоды камеры: внутренний катод - цилиндр 5 диаметром 43 мм и толщиной стенки 0,1 мм; внешним катодом служит цилиндрический корпус 7. Зазор между катодами 9,5 мм.

Намотка анодной проволоки из золоченого вольфрама диаметром 10 мкм делалась на внутренние фторопластовые кольца-изоляторы 1 и 8, закрепленные на цилиндре 5. Для фиксации проволок по азимуту, на кольцах с помощью делительной головки через  $9^\circ$  сделана глубокая насечка до уступа по радиусу  $R_{01} = 25$  мм и мелкая

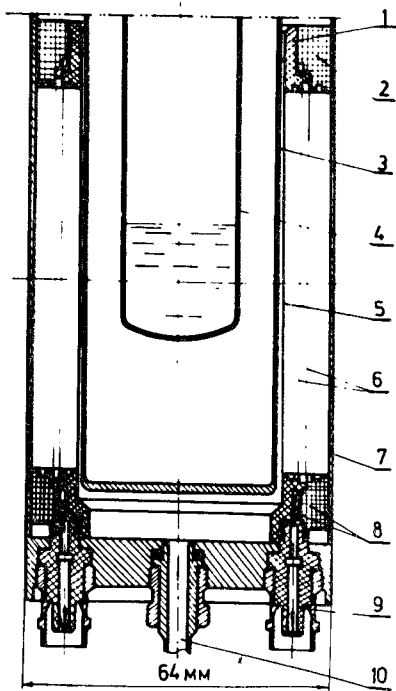


Рис. 4. Разрез цилиндрической МПК, установленной в рабочее положение на жидкотритиевой мишени <sup>15/</sup>. 1 - внутреннее фторопластовое кольцо-изолятор; 2 - наружное фторопластовое кольцо-изолятор; 3 - вакуумный кожух криогенной мишени; 4 - корпус жидкотритиевой мишени; 5 - катодный цилиндр; 6 - анодные проволоки; 7 - корпус МПК; 8 - нижняя пара изоляторов; 9 - высоковакуумный разъем; 10 - газовый ввод.

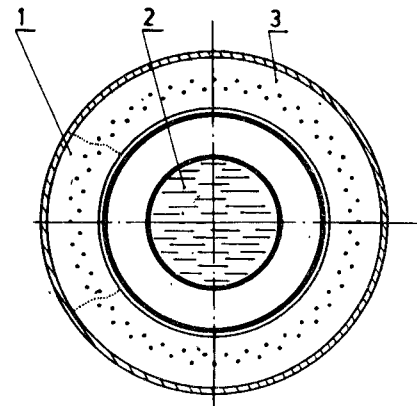


Рис. 5. Поперечное сечение цилиндрической МПК. 1 - входной счетчик, его рабочая область отделена пунктирными линиями; 2 - мишень из жидкого трития; 3 - счетчик антисовпадений.

насечка, тоже через  $9^\circ$ , но посередине между глубокой, до уступа по радиусу  $R_{02} = 26,6$  мм. Концентрические уступы таким образом фиксируют положение проволок по радиусу. Расстояние между рядами анодных проволок  $R_{02} - R_{01} = 1,6$  мм. Рабочая высота /между изоляторами/ цилиндрической МПК - 80 мм. 15 анодных проволочек объединены во входной счетчик, 65 - в счетчик антисовпадений /рис. 5/. Как видно, все электродные размеры в цилиндрической МПК уменьшены в 1,25 раза по сравнению с плоской МПК. Это значит, что при давлении в 1,25 атм мы получили одинаковые амплитудные характеристики по напряжению, а все временные характеристики /п.2/ импульса тока сократятся в 1,25 раза.

#### 4. О НАТЯЖЕНИИ ПРОВОЛОК

Если анодные проволоки натянуты с равномерным шагом посередине зазора с плоской МПК /рис. 1а/ или параллельно образующей цилиндра с радиусом  $R_0^2 = R_1 \cdot R_2^{12/}$  в цилиндрической МПК /рис. 2а/, то электростатические силы, действующие на проволоку, в сумме равны нулю, и проволоки находятся в состоянии неустойчивого равновесия. Неизбежные погрешности в расположении или электрические возмущения смещают проволоки, максимально на середине, в положение, подобное показанному на рис. 1б и на рис. 2б. Для удержания проволок в устойчивом состоянии необходимо определенное натяжение  $T_0^{13/}$ . Расчет величины натяжения в плоских МПК с учетом погрешностей расположения электродов и допустимых смещений сделан в работе Г.Д.Алексеева и др. <sup>14/</sup>, а расчет устойчивости проволок в цилиндрической МПК для произвольного  $R_0$  /по рис. 2/ и величины смещений произведен Б.И.Хазиным <sup>12/</sup>.

В нашем варианте при расположении проволок в 2 ряда уже заданы большие "погрешности" расположения проволок, и они будут отклоняться в сторону ближайших катодов при любой величине натяжения. Для достижения допустимой кривизны /т.е. максимального смещения середины проволок/ натяжение должно быть значительно больше, чем необходимо для устойчивого равновесия.

Натяжение проволок диаметром 12,5 мкм в плоских МПК производилось на предварительно упруго деформированное кольцо. Сила натяжения, подогнанная по относительному удлинению для средних проволок, была около 0,25 Н для счетчика антисовпадений и около 0,13 Н - для входного счетчика при рабочем напряжении до 4 кВ. Камеры испытывались на напряжение до 5,2 кВ без нарушения работоспособности.

Натяжение проволок в цилиндрической МПК производилось рычажными пружинами, которые одновременно отгибаются при надевании на них наружного кольца-изолятора /2 на рис.4/, обеспечивая равномерное натяжение силой около 0,12 Н проволоку диаметром 10 мкм при рабочем напряжении также до 4 кВ.

## 5. РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПЫТАНИЙ

Равномерность газового усиления плоских МПК проверялась перемещением альфа-источника параллельно диаметру камеры, перпендикулярному проволокам. Средние амплитуды импульсов с точностью до 5% оказались одинаковыми вдоль диаметра, вплоть до 10 мм от краев. Вблизи колец, фиксирующих анодные проволоки, газового усиления нет из-за низкой напряженности электрического поля, поэтому чувствительный размер камер на 10 мм меньше внутреннего диаметра колец /15/.

Проверка временного разрешения делалась в рабочих условиях на пучке мюонов при большом динамическом диапазоне амплитуд импульсов: ионизационные потери от 2 кэВ для минимально ионизирующих частиц /в пучке есть и электроны/ до 300 кэВ для мюонов, останавливающихся в объеме счетчиков. Газовое усиление при напряжении 4 кВ на анодных проволоках достигало величины  $2 \cdot 10^4$ .

На рис. 6 показаны кривые задержанных совпадений, характеризующие качество работы МПК при выделении остановок мюонов. Кривая *a* есть счет совпадений входного счетчика со сцинтилляционными счетчиками пучка и дает представление о временном разрешении входного счетчика. Порог срабатывания формирователя импульсов с входного счетчика установлен относительно большим, но так, чтобы не было влияния на счет остановок в мишени, т.е. срабатывание формирователя происходит на разной высоте импульса с МПК, вплоть до вершины. Тем не менее видно, что временное разрешение в этих условиях не хуже 30 нс. Кривая *b* есть антисовпадение счета в максимуме кривой *a* при изменении времени прихода импульса со счетчика антисовпадений, и характеризует эффективность выделения остановок при совместной работе двух МПК. Порог формирователя импульсов счетчика антисовпадений установлен при этом низко, так, чтобы эффективность выключения пролетных мюонов в минимуме кривой *b* перестала меняться /выход на плато/. Кривая *b* снята без мишени. Как оказалось из сравнения счета с мишенью, фон остановок обусловлен остановками мюонов в газе и электродах между камерами,

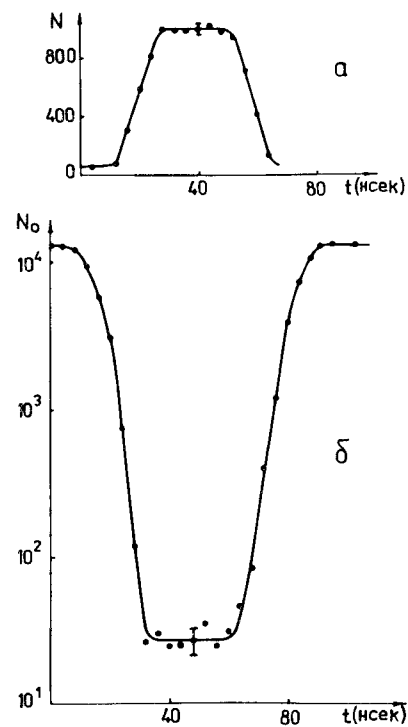


Рис. 6. Кривые задержанных совпадений плоских МПК, снятые в рабочих условиях на пучке мюонов. *a* - совпадения входного счетчика со сцинтилляционным монитором пучка, *t* - задержка сигнала входного счетчика; *b* - изменение счета  $N_0$  в максимуме кривой *a* при задержке сигнала со счетчика за мишенью, включенного на антисовпадения. Минимум счета  $N_0$  соответствует числу остановок без мишени.

что свидетельствует о близкой к 100% эффективности МПК.

В течение двух лет эксплуатации плоских МПК /8/, при использовании медного геттера для очистки от электроотрицательных примесей в замкнутом объеме наполняющего газа /11/, нами не было замечено изменения характеристик. Сохраняется и стабильность в течение многодневной непрерывной работы МПК. Все это, с учетом использования возможностей, изложенных в п.2, позволяет рассчитывать на неограниченное по времени использование разработанных цилиндрических МПК с лучшими временными характеристиками.

Автор благодарит В.Г.Зинова за инициирование работы и помощь в проведении испытаний, М.М.Петровского за помощь в изготовлении ответственных деталей.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Зинов В.Г. и др. ОИЯИ, Р14-8050, Дубна, 1974.
2. Будяшов Ю.Г. и др. ЖЭТФ, 1970, 58, с.1211.
3. Баландин М.П. и др. ЯФ, 1978, 28, с.582.
4. Быстрицкий В.М. и др. ЖЭТФ, 1981, 80, с.1700.
5. Быстрицкий В.М. и др. ОИЯИ, 13-82-378, Дубна, 1982.
6. Alekseev G.D. et al. NIM, 1980, 177, p.385.
7. Binon F. et al. NIM, 1971, 94, p.27.
8. Stelzer H. NIM, 1976, 133, p.197.
9. Charpak G. et al. NIM, 1970, 80, p.13.
10. Borer K. et al. NIM, 1971, 95, p.285.

11. Конин А.Д. В сб.: Прикладная ядерная спектроскопия, вып.8, Атомиздат, М., 1978, с.134.
12. Хазин Б.И. ПТЭ, 1982, №1, с.64.
13. Тельнов В.И. ПТЭ, 1974, №5, с.46; Поправка в ПТЭ, 1975, №5.
14. Алексеев Г.Д. и др. ПТЭ, 1978, №4, с.47.
15. Баландин М.П. и др. ОИЯИ, P13-10874, Дубна, 1977.

Рукопись поступила в издательский отдел  
19 августа 1982 года.

Конин А.Д. P13-82-634  
Быстрые многопроволочные пропорциональные камеры для малофонового выделения остановок мюонов в жидкотритиевой мишени

Изложены решения проблем, связанных с разработкой многопроволочных камер /МПК/, пригодных для выделения мюонов, остановившихся в "тонкой" мишени, при работе на интенсивных пучках. Разработаны плоские МПК в форме дисков для работы с мишенями малой толщины и МПК в форме цилиндрической трубы для работы с объемными мишенями малой плотности. Описываемая цилиндрическая МПК предназначена для выделения остановок мюонов в жидкотритиевой мишени при исследовании мезоатомных и мезомолекулярных процессов в тритии и в его смесях с другими изотопами водорода. Главное внимание уделено повышению временного разрешения МПК. Испытания в рабочих условиях плоской МПК с зазором 12 мм, заполненной метаном до 1 атм, при газовом усилении  $2 \cdot 10^4$  показали стопроцентную эффективность с временным разрешением 30 нс. Показана надежная и стабильная работа МПК в многосуточных экспозициях.

Работа выполнена в Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ.

Препринт Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1982

Konin A.D. P13-82-634  
Fast Multiwire Proportional Chambers for Low Background Separation of Muon Stops in Liquid Tritium Target

Solutions of some problems connected with the development of multiwire proportional chambers (MWPC) suitable for separation of muons stopped in a "thin" target, when working on intense beams, are described. MWPC are developed which have the shape of discs and are intended for work with targets of small thickness, and MWPC having the form of a cylindrical tube for work with volume targets of low density. The cylindrical MWPC is intended for separation of muon stops in liquid tritium target when studying mesoatomic and mesomolecular processes in tritium and in its mixtures with other hydrogen isotopes. Specific attention is paid to increasing the time resolution of MWPC. A plane MWPC with 12 mm gap, filled with methane upto 1 atm, at  $2 \cdot 10^4$  gas multiplication was tested under working conditions, and 100% efficiency with 30 ns time resolution was achieved. Reliable and stable operation of MWPC in many days experiments is shown.

The investigation has been performed at the Laboratory of Nuclear Problems, JINR.

Preprint of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1982

Перевод О.С.Виноградовой.