

национальный исследовательский центр «КУРЧАТОВСКИЙ ИНСТИТУТ»

Институт физики высоких энергий имени А.А. Логунова Национального исследовательского центра «Курчатовский институт»

Препринт 2018-4

Н.И. Божко, А.А. Борисов, А.С. Кожин, Р.М. Фахрутдинов

Трековые камеры из дрейфовых трубок в лавсановом корпусе для экспериментов на ускорительном комплексе НИЦ "Курчатовский институт"– ИФВЭ

Направлено в журнал Ядерная физика и инжиниринг

Протвино 2018

Аннотация

Божко Н.И. и др. Трековые камеры из дрейфовых трубок в лавсановом корпусе для экспериментов на ускорительном комплексе НИЦ "Курчатовский институт" – ИФВЭ: Препринт НИЦ «Курчатовский институт» – ИФВЭ 2018–4. – Протвино, 2018. – 11 с., 8 рис., библиогр.: 10.

Представлены конструкция, процедура сборки и испытаний дрейфовых трубок диаметром 15 и 30 мм в корпусе из лавсановой пленки толщиной 125 мкм с двухсторонним алюминиевым покрытием. Описана технология сборки трехслойных камер из этих трубок и приведены некоторые результаты, иллюстрирующие технические характеристики камер.

Abstract

Bozhko N.I. at al. Tracking chambers made of mylar drift tubes for experiments at accelerator complex of National Research Center "Kurchatov institute"–IHEP: NRC «Kurchatov Institute» – IHEP Preprint 2018-4. – Protvino, 2018. – p. 11, figs. 8, refs.: 10.

Design, procedure of assembling and tests of drift tubes with diameter 30 and 15 mm made of mylar film 125 micrometers thick covered with aluminium from the both sides are presented. Assembly technology of three-layers chambers of such tubes is described and some results showing technical performance of the chambers are given.

© НИЦ "Курчатовский институт"- ИФВЭ, 2018

Введение

При участии в создании детектора АТЛАС[1] для экспериментов на Большом адроном коллайдере (ЦЕРН) в ИФВЭ была разработана оригинальная конструкция прецизионных дрейфовых трубок для трековых камер мюонного спектрометра АТЛАС. Корпусом и катодом этих дрейфовых трубок служит алюминиевая труба с внешним диаметром 30 мм и толщиной стенки 0.4 мм. Конструкция и технология изготовления этих трубок, сборки их в камеры описана в работах [2,3]. Для детектора АТЛАС в ИФВЭ было изготовлено 76 тысяч таких трубок, из которых было собрано 254 камеры. Высокая точность, надежность в эксплуатации вызвали интерес к таким камерам со стороны экспериментов на 70-ГэВ ускорителе ИФВЭ [4]. Для них по этой технологии было изготовлено 36 камер, включающих около 3 тысяч трубок. Так как в ряде экспериментов было поставлено условие — уменьшить количество вещества в трековом детекторе, то конструкция дрейфовой трубки была переработана, алюминиевый корпус заменен на лавсановый с толщиной стенки 125 мкм. При этом сохранены все достоинства конструкции алюминиевых дрейфовых трубок АТЛАСа, используется существующая технологическая оснастка для сборки трубок и камер, методы контроля и тестирования. Первоначально были разработаны лавсановые трубки с внешним диаметром 30 мм [5], на их основе изготовлены трековые камеры для экспериментов ОКА, ВЕС, СПАС-ЧАРМ [6]. Затем, с целью повышения загрузочной способности, были созданы дрейфовой трубки вдвое уменьшенного диаметра (15 мм) и начато изготовление трековых камер на их основе [7].

Конструкция трубок и их проверка

Схема дрейфовой трубки показана на рис. 1, ее основные элементы: корпус (8), внутренняя поверхность которого является катодом; в центре натянута сигнальная проволока (7); с обеих сторон дрейфовая трубка закрывается торцевыми элементами (заглушками).



Рис. 1. Схема дрейфовой трубки с концевым элементом.

Сигнальная (анодная) проволока изготовлена из вольфрам-рениевого сплава с содержанием рения 3.1-3.4%. Диаметр проволоки 50 мкм, поверхность покрыта золотом. Натяжение 350 г.

Торцевой элемент — очень важная часть трубки. Его основные функции: 1) позиционирование проволоки относительно внешней поверхности с точностью не хуже 10 мкм; 2) обеспечение крепления проволоки, натянутой с силой 350 г; 3) герметизация

газового объема трубки и одновременная возможность прокачки рабочей газовой смеси; 4) электрическая изоляция проволоки относительно корпуса трубки, при потенциале проволоки несколько киловольт; 5) обеспечение, за счет точной внешней поверхности, позиционирования трубки при сборке камеры; 6) обеспечение электрических контактов внутренней поверхности трубки ("земля") и сигнальной проволоки ("сигнал") с электроникой. Для 30-миллиметровых трубок изолятор торцевого элемента (6) изготавливается из пластмассы (NORYL GFN3¹) методом горячего прессования под давлением. Конструкцией пресс-формы предусматривается, что при прессовании в центральную часть торцевого элемента внедряется центральная латунная вставка, а во внешнюю часть — толстостенный алюминиевый цилиндр (4). Этот цилиндр обрабатывается после прессования, при этом создается точная ("референсная") внешняя поверхность (9) Ø30.01±0.01 мм. С внутренней стороны в центральной вставке закрепляется латунная пластина (5) толщиной 0.5 мм, в которой лазером пробивается отверстие диаметром 60±10 мкм, служащее для позиционирования сигнальной проволоки. С противоположной стороны во вставку запрессовывается медная капиллярная трубка (2). Сигнальная проволока фиксируется при обжиме (кримпировании) этого капилляра. Штыри (1 и 10) служат для электрических подключений дрейфовой трубки. Торцевой элемент для 15миллиметровой трубки имеет аналогичную центральную часть, внешняя часть не прессуется, а вклеивается. Заземляющий штырь вкручивается не в алюминиевый корпус торцевого элемента, а в промежуток между тремя соседними трубками в склеенной камере.

Корпус изготавливается из лавсановой² пленки толщиной 125 мкм, покрытой с обеих сторон алюминием (0.08 мкм). Материал поставляется в виде рулона шириной 600 мм. Для изготовления труб рулон разрезается на полосы, длина которых (0.6-2.5 м) определяется длиной собираемых трубок. Ширина полосы 100 ± 0.25 мм для трубок Ø30 мм и 55 ± 0.25 мм для трубок Ø15 мм. Полосы оборачиваются вокруг шлифованного стержня диаметром 29.6 (15.0) мм с небольшим перекрытием (около 4 мм) и свариваются ультразвуком. В результате получаются трубы с продольным швом (рис. 2), выдерживающим на разрыв 8-10 кг/см.

¹ NORYL торговая марка фирмы General Electric.

² Полиэтилентерефталат, известен под многими "фирменными" именами, в частности, майлар (mylar) компании DuPont.

Сваренная труба после вакуумной чистки поступает на сборку. На сборочном стенде через трубу и торцевые заглушки протягивается анодная проволока, которая фиксируется в одной из торцевых заглушек. Торцевые заглушки вклеиваются в лавсановую трубу эпоксидным клеем (ARALDITE AW106). После нанесения клея труба устанавливается в специальный стенд, определяющий длину дрейфовой трубки и ориентацию торцевых элементов. Для получения электрического контакта внутренней поверхности трубы с алюминиевым корпусом заглушки при склейке труба над клеем обжимается.



Рис. 2. Лавсановые трубы (слева), собранные дрейфовые трубки (справа, сверху-вниз: алюминий Ø30 мм, лавсан Ø30 мм, лавсан Ø15 мм).

После затвердевания клея труба возвращается на сборочный стенд, где с помощью специального устройства производится натяжение проволоки с усилием 350 г, после чего проволока фиксируется в торцевой заглушке. На рис. 2 показан внешний вид собранных дрейфовых трубок.

В процессе сборки и после трубки подвергаются целому ряду испытаний. Измеряется электрическое сопротивление между корпусами торцевых элементов, контролируя тем самым качество электрических контактов корпусов торцевых элементов с внутренней поверхностью трубы и качество внутреннего алюминиевого покрытия. Натяжение проволоки в собранных трубках измеряется по частоте основной гармоники резонансных колебаний проволоки, которые возбуждаются импульсом тока, а трубка при этом помещается в магнитное поле. Измерение натяжения проволоки и электрического сопротивления проводятся дважды: сразу после сборки трубки и непосредственно перед склейкой камеры. Высоковольтные испытания дрейфовых трубок проводятся на специальном автоматизированном стенде с целью выявления возможных дефектов изоляторов торцевых элементов и проволоки (заусенцы, прилипшие пылинки и т.п.). Эта процедура основана на измерении зависимости тока от напряжения. Высокое напряжение отрицательной полярности подается на корпус трубки, при помощи специального усилителя измеряется ток анодной проволоки с разрешением 0.2 нА. Трубка при этом заполняется воздухом при атмосферном давлении. Сигнатура возможных дефектов алгоритмизирована и выявляется автоматически. Дрейфовые трубки, успешно прошедшие высоковольтные испытания, поступают на стенд по проверке герметичности. Дрейфовая трубка, помещенная в вакуумную камеру (давление ниже 10⁻⁵ мбар), заполняется смесью азота и гелия (10%) до абсолютного давления 2 бар. Герметичность проверяется по скорости потока гелия из трубы в вакуумную камеру, регистрируемую гелиевым течеискателем. Для трубки длиной 2.5 м гелиевая течь не должна превышать 2·10-4 л.мбар/сек. Одновременно, за счет внутреннего давления в трубе, проверяется прочность сварного шва и клеевых соединений. Проверенные трубки складируются на стеллажах до накопления нужного количества, необходимого для данного типа камеры.



Рис. 3. Схема поперечного сечения дрейфовой камеры из лавсановых трубок.

Конструкция и сборка камер

Конструкция камер из лавсановых трубок существенно облегчается тем, что каждая дрейфовая трубка представляет собой "самоподдерживающийся" элемент — сохраняет форму и выдерживает натяжение проволоки без каких-либо дополнительных растягивающих устройств.

Камера состоит из трех слоев дрейфовых трубок (рис. 3), в поперечном сечении проволоки трех любых соседних трубок располагаются в вершинах равносторонних треугольников. Для 30-миллиметровых трубок S=30.035 мм, d=29.6 мм; для 15-миллиметровых S=15.48 мм, d=15.00 мм. В местах наибольшего сближения трубки склеиваются эпоксидным клеем, ширина клеевого слоя около 1 мм.



Рис. 4. Склеенный модуль из лавсановых трубок диаметром 15 мм.

Высокая механическая точность достигается за счет применении при склейке камеры специальных позиционирующих устройств, смонтированных на гранитном столе, размещенном в помещении со стабилизированной температурой (22±0.5°C). Для 30миллиметровых трубок полностью используется технология склейки, разработанная для алюминиевых трубок, слои склеиваются последовательно [3]. В модулях из 15-миллиметровых трубок все слои склеиваются одновременно в специальной кассете.

Пример склеенного модуля показан на рис. 4. Количество трубок в слое 8-56 штук (Ø30 мм) и 8-16 штук (Ø15 мм). Если необходима более широкая камера, то она собирается из отдельных модулей, иногда в камере монтируются взаимно-ортогональные слои трубок.



Рис. 5. Схема электрического подключения дрейфовой трубки.

Подача высокого напряжения и съем сигнала с анодной проволоки осуществляется с разных сторон трубки (рис. 5). Для этого разработаны платы "пассивной" электроники, содержащие только резисторы и конденсаторы (2,3), Rin равно волновому сопротивлению трубки. Каждая плата рассчитана на подключение 24 дрейфовых трубок. В камерах эти платы закрываются электромагнитными экранами. Газовое соединение трубок в камере последовательное и осуществляется при помощи специальных перемычек (рис. 1, (3)).

Некоторые результаты проверки камер

Значительная часть (около 30%) собранных камер перед установкой в экспериментах проходила проверку на космике. Камера устанавливалась на стенде (рис. 6) и заполнялась газовой смесью Ar-CO₂(93-7)³ при избыточном давлении около 0.5 бар, после заполнения смесью газовые магистрали перекрывались и смесь не циркулировала в камере. Проверка проводилась в так называемом "бестриггерном" режиме, порог усилителей около 0.6 мкА, временное разрешение время-цифровых преобразователей 5 нсек [9].



Рис. 6. Камера из лавсановых трубок на стенде для проверки на космике.

³ В принципе камера может работать на любой газовой смеси, безопасной для элементов ее конструкции, например, на установке BEC используется смесь Ar-CH₄(75-25).

Проверка обычно начинается с измерения счетных характеристик (зависимости скорости счета сигналов со всех трубок камеры от величины приложенного напряжения, рис. 7(а)). Набор данных для этих характеристик автоматизирован. Источником радиации является естественный радиационный фон. По результатам определяется рабочее напряжение, выявляются дефекты в отдельных трубках, если они есть. После определения рабочего напряжения проводятся продолжительные, порядка 3-10 часов, экспозиции по набору данных с космическими частицами. Напомним еще раз, что на стенде нет никаких тригтерных счетчиков.



Рис. 7. Счетные характеристики всех трубок (а) и корреляция радиус-время (б) для камеры из 48 15-миллиметровых трубок.

Реконструкция треков космических частиц выполняется только на основе информации с самой камеры. Треки определяются как общая касательная к окружностям (рис. 8 (a)), радиусы которых $R_i=R(t_i)$ вычисляются по измерению времени дрейфа в i-ой трубке. Начальное соотношение R(t) получается из интеграла временного распределения сигналов. Далее оно уточняется методом автокалибровки [10], пример корреляции R(t) показан на рис. 7(б).

О координатной точности камеры можно судить по распределению невязок—разницы R_{fit}-R_{hit,i}, где R_{fit} — расстояние от центра трубки і до прямой (рис. 8(a)), определяющей трек, $R_{hit,i}$ = $R(t_i)$. Для треков, пересекающих большое количество трубок ("длинные" треки), ширина этого распределения (рис. 8(б)) является хорошей оценкой координатной точности трубки в камере. В практике трековых детекторов такие распределения часто фитируют суммой двух нормальных распределений (сплошная кривая на рисунке 8(б)): узкая часть фита представляет собственно разрешение, а более широкая часть приписывается вкладу от δ-электронов. В данном случае для узкой части распределения σ =220 мкм.



Рис. 8. Примеры реконструкции треков космических частиц а) и распределение невязок (residuals).

Подобные результаты (рис. 7, 8) были получены и для других камер. В целом они похожи, меняется только скорость счета на плато в зависимости от длины и диаметра дрейфовых трубок. Максимальное время дрейфа в 30-мм трубках почти 3 раза больше, чем в 15-миллиметровых. Для указанной выше смеси разрешение 30-миллиметровых трубок находится в диапазоне 150-200 мкм, для 15-миллиметровых — 200-250 мкм.

Заключение

В НИЦ "Курчатовский институт"– ИФВЭ разработана конструкция дрейфовых трубок с корпусом из лавсановой пленки толщиной 125 мкм, покрытой с обеих сторон алюминием, диаметр трубок 15 и 30 мм. На основе этих трубок разработана конструкция трехслойных дрейфовых камер.

В настоящий момент в нескольких экспериментах на 70-ГэВ ускорителе НИЦ "Курчатовский институт"– ИФВЭ используется 26 камер с размерами от 1.0x0.8 до 2.5x2.0 м², включающих около 4.5 тысяч дрейфовых трубок диаметром 30 мм. Некоторые из этих камер успешно эксплуатируются уже более 5 лет.

Изготовление камер из трубок диаметром 15 мм находится в начальной стадии, собраны и испытаны 4 камеры длиной 0.6 м и идет сборка трубок длиной 2 и 2.5 м. Тестовая сборка из 2-метровых трубок прошла предварительные испытания на космике и на пучке ускорителя.

Список литературы

- [1] Aad A., Abat E., Abdallah J. et al. // JINST 2008. V. 3. S08003.
- [2] Borisov A.A. et al.// Nucl. Instrum. Methods A, 2002, V. 494, P. 214.
- [3] Bensinger J. et al.// Nucl. Instrum. Methods A, 2002, V. 494, P. 480.
- [4] http://www.ihep.ru/pages/main/6580/6781/index.shtml
- [5] Borisov A.A. et al. // Instrum. Exp. Techniques, 2013, V. 56, P. 134.
- [6] Borisov A.A. et al. // Instrum. Exp. Techniques, 2014, V. 57, P. 410.
- [7] Borisov A.A. et al. //JINST, 2014, V. 9, C06010.
- [8] Kozhin A.S. et al. //JINST, 2017, V. 12, C05005.
- [9] Bogolubskii M.Yu. et al. //Instrum. Exp. Techniques, 2013, V. 56, P. 156.
- [10] Bacci C. et al. //Nucl. Phys. B, 1997, V 54, P. 311.

Рукопись поступила 8 мая 2018 г.

Н.И. Божко и др.

Трековые камеры из дрейфовых трубок в лавсановом корпусе для экспериментов на ускорительном комплексе НИЦ "Курчатовский институт"– ИФВЭ.

Препринт отпечатан с оригинала-макета, подготовленного авторами.

Подписано к печати
10.05.2018.
Формат 60 × 84/16.
Цифровая печать.

Печ.л. 0, 94.
Уч.– изд.л. 1,24.
Тираж 80.
Заказ 6.
Индекс 3649.

НИЦ «Курчатовский институт» – ИФВЭ
142281.
Маликание странение стр

142281, Московская область, г. Протвино, пл. Науки, 1

www.ihep.ru; библиотека http://web.ihep.su/library/pubs/all-w.htm

Индекс 3649

ПРЕПРИНТ 2018-4, НИЦ «Курчатовский институт» – ИФВЭ, 2018