

P13-2001-197

М.И.Госткин, Д.В.Дедович, П.Г.Евтухович,  
А.С.Жемчугов, В.В.Журавлев, Г.Кроа<sup>1</sup>, А.Манз<sup>1</sup>,  
И.Н.Потрап, Р.Рихтер<sup>1</sup>, Е.В.Рогалев, Г.Д.Столетов,  
Р.Строхмер<sup>2</sup>, Т.Трефсгер<sup>2</sup>, Д.В.Харченко, Э.Г.Цхададзе,  
А.В.Чирков, Г.А.Шелков, А.Штауде<sup>2</sup>

**ИЗМЕРЕНИЕ ПОЗИЦИИ СИГНАЛЬНОЙ  
ПРОВОЛОЧКИ В ДРЕЙФОВЫХ ТРУБКАХ  
МЮОННОЙ СИСТЕМЫ УСТАНОВКИ ATLAS  
С ПОМОЩЬЮ РЕНТГЕНОВСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ**

---

<sup>1</sup>MPI, Мюнхен, ФРГ

<sup>2</sup>LMU, Мюнхен, ФРГ

# 1. Введение

Одной из ключевых и самой большой по размерам подсистемой установки ATLAS, создаваемой интернациональной коллаборцией, включая группу ОИЯИ, для проведения исследований на сооружаемом в ЦЕРН крупнейшем протон-протонном коллайдере LHC является мюонная система. Для обеспечения точности измерения импульса мюонов на уровне нескольких процентов, необходимой при выполнении программы физических исследований на установке ATLAS [1], следует обеспечить высокую точность сборки отдельных координатных детекторов – дрейфовых трубок с повышенным давлением рабочего газа. Так требование на допустимое отклонение положения сигнальной проволочки на концах детектора относительно оси опорной поверхности, с помощью которой происходит фиксирование и определение положения детектора в объёме мюонного спектрометра, составляет  $\pm 25$  мкм. Столь высокие требования к точности сборки детекторов в сочетании с почти промышленным масштабом их производства (всего для изготовления мюонных камер ATLAS необходимо произвести и испытать  $\sim 400000$  отдельных дрейфовых трубок, из них в ОИЯИ свыше  $\sim 65000$  детекторов или  $\sim 15\%$  общей потребности) требует не только разработки новой технологии массового производства столь точных детекторов, но и создания специальной процедуры контроля качества производимых детекторов. Ключевой, с точки зрения обеспечения адекватного контроля механической точности детекторов в процессе производства, стало создание и включение в цикл массового производства детекторов специализированного стенда для определения положения сигнальной проволочки в собранном детекторе относительно опорной поверхности с точностью в несколько микрон с помощью рентгеновских лучей.

## 2. Дрейфовый координатный детектор мюонной системы ATLAS

Дрейфовый детектор мюонной системы ATLAS представляет собой (рис. 1) алюминиевую трубку диаметром  $29,970^{+0,015}_{-0,018}$  мм, толщиной стенки, равной  $(0,4 \pm 0,030)$  мм, и длиной до 6241,5 мм (зависит от типоразмера камеры), закрытую с обоих концов концевыми заглушками, или концевиками. Вдоль оси трубки натягивается золоченая вольфрам-рениевая проволочка диаметром 50 мкм, закрепленная в концевиках. С помощью концевика происходит точное позиционирование сигнальной проволочки относительно внешней опорной поверхности концевика и её фиксирование; герметизация внутреннего объёма и обеспечение возможности продува через детектор рабочей газовой смеси ( $Ar : CO_2$  97/3), а также изоляция сигнальной проволочки по высокому напряжению (до 4 кВ) от алюминиевой трубки, являющейся вторым – заземлённым электродом детектора. Точное позиционирование сигнальной проволочки относительно внешней опорной поверхности концевика осуществляется с помощью специальной детали, получившей название твистер (twister) – предложение и разработка коллаборации ATLAS. Изготовленный по принципу винта Архимеда твистер

имеет достаточно большое проходное отверстие, позволяющее легко проводить через тело твистера, а следовательно и концевика, сигнальную проволочку как вручную, так и с помощью потока воздуха. Этот второй способ был реализован при разработке автоматизированной линии для сборки дрейфовых трубок. В то же время после натяжения проволочки твистер обеспечивает (правильнее сказать – должен обеспечивать) её центрирование относительно внешней опорной поверхности концевика с необходимой точностью. Собственное координатное разрешение описываемых дрейфовых детекторов  $\sim 100$  микрон. Как указывалось выше, требования коллаборации ATLAS к точности позиционирования сигнальной проволочки в дрейфовой трубке составляет 25 микрон [1].

### 3. Принцип работы стенда

Для определения положения сигнальной проволочки в собранном дрейфовом детекторе в данном стенде используется тенеграмма, получающаяся после прохождения через тело детектора потока рентгеновских лучей. Сигнальная проволочка, изготовленная из вольфрамового сплава, интенсивно поглощает рентгеновские лучи и хорошо идентифицируется на тенеграмме, получаемой с помощью стандартной ПЗС-матрицы. На рис. 2 приведена принципиальная схема измерения положения сигнальной проволочки внутри дрейфовой трубки.

Для измерения положения проволочки трубка устанавливается упоминавшейся уже выше опорной поверхностью концевика в V-образный блок, в который встроены дополнительные (референсные) вольфрамовые проволочки с известным местоположением. Для восстановления положения сигнальной проволочки в пространстве трубка облучается одновременно двумя источниками рентгеновского излучения, под двумя различными углами (стереопара) в непосредственной близости к телу концевика. Качества получаемой тенеграммы достаточно высокое благодаря большой разнице коэффициентов поглощения рентгеновских лучей в алюминии – материале из которого изготовлена трубка и вольфраме – материале сигнальной и референсных проволочек.

Изображения (тени) как сигнальной так и референсных проволочек проецируются на две ПЗС-матрицы. Примеры получающихся изображений приведены на рис. 3 и рис. 4. Программа автоматической обработки данных в РС, в который поступает информация с двух указанных ПЗС позволяет за короткое время ( $\sim 30$  с) реконструировать координаты  $x$  и  $y$  сигнальной проволочки относительно опорной поверхности концевика с точностью  $\sim 2$  мкм.

### 4. X-ray стенд

Для проверки положения сигнальной проволочки в собранной трубке был создан специальный X-ray стенд.

Общий вид стенда приведен на рис. 5.

Он представляет из себя T-образный стол на котором смонтированы две рентгеновские трубки GX770 [2], применяемые обычно в зубоврачебной медицине.

Детектирующая часть установки – две ПЗС-матрицы, система считывания и записи изображения в РС. Четыре V-блока поддерживают трубку, два по концам и два в точках Бесселя. V-блоки в точках Бесселя установлены для компенсации прогиба трубки. Для фиксации концевиков в V-блоках используются вакуумные присоски. Лифтовая система обеспечивает перемещение трубки в вертикальной плоскости, система пистонов обеспечивает перемещение трубки вдоль оси трубки. Источники рентгеновского излучения окружены свинцовой защитой, имеющей окно для установки труб, закрываемое на время экспозиции свинцовой шторкой. Сигнал на закрытие шторок поступает от двух датчиков положения трубки.

Для уменьшения времени экспозиции расстояние от источников рентгеновского излучения до исследуемой трубки выбрано минимально возможным и составляет 10 см.

## 5. Процедура измерения

1. На концевик трубки со стороны, противоположной измеряемой, одевается специальная фишка, задающая требуемое положение трубки относительно измерительного V-блока.
2. Трубка устанавливается на две площадки, передвигающиеся в вертикальной плоскости (лифт) таким образом, чтобы конец трубки оказался рядом с толкающими пневмоцилиндрами.
3. С пульта управления подается команда установки трубки в положение для измерения. После этого автоматически осуществляются следующие функции:
  - а) трубка опускается в опорные V-блоки;
  - б) два датчика положения контролируют позицию трубки в вертикальной плоскости, в случае неверной установки трубки дальнейшие операции не производятся;
  - в) два пневмоцилиндра перемещают трубку вдоль её оси на несколько мм в направлении рентгеновских трубок и измерительного V-блока, с помощью которого получается стереоизображение сигнальной проволочки ;
  - с) трубка фиксируется вакуумными присосками во всех V-блоках (как в опорных, так и измерительном);
  - г) закрывается окошко свинцовой защиты, и загорается зеленая лампа, сигнализирующая о том, что установка готова к измерению.
3. По команде с пульта управления производится облучение трубки в течение установленного времени экспозиции (0,5–2 с). Считывание информации с обеих ПЗС, оцифровка и обработка данных происходит автоматически после завершения экспозиции. Для возможности визуального контроля качества изображения оператором полученное изображение выводится на экран монитора РС.
4. По команде с пульта автоматически гаснет зеленая лампа, открывается окно в свинцовой защите, прекращается фиксация трубок в вакуумных присосках и лифт поднимает трубку.
5. Трубка поворачивается на 180 градусов вокруг своей оси оператором и измерения повторяются.
6. Аналогично проводятся измерения для другого конца трубки.

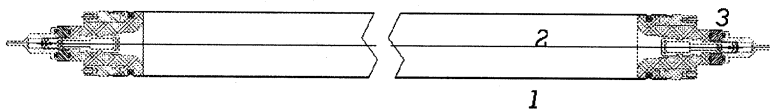


Рис.1. Дрейфовый детектор мюонной системы ATLAS: 1 – алюминиевая трубка, 2 – сигнальная проволочка, 3 – концевик

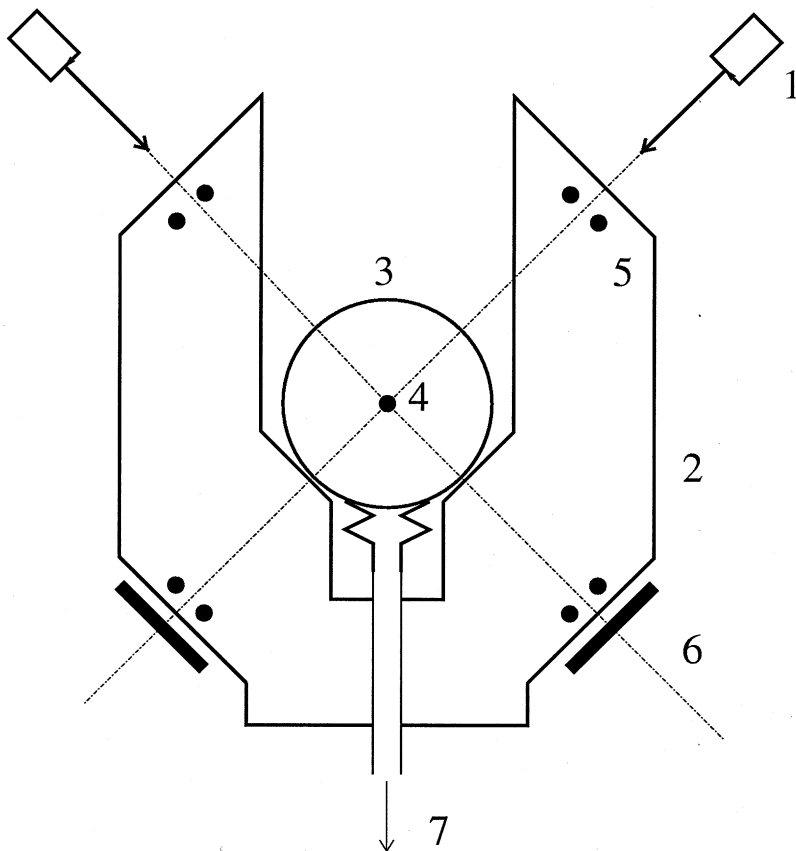


Рис.2. Принципиальная схема измерения положения сигнальной проволочки внутри дрейфовой трубки: 1 – источник рентгеновского излучения, 2 – V-блок, 3 – дрейфовая трубка, 4 – сигнальная проволочка, 5 – реперные проволочки, 6 – ПЗС-матрица, 7 – вакуумная присоска и насос

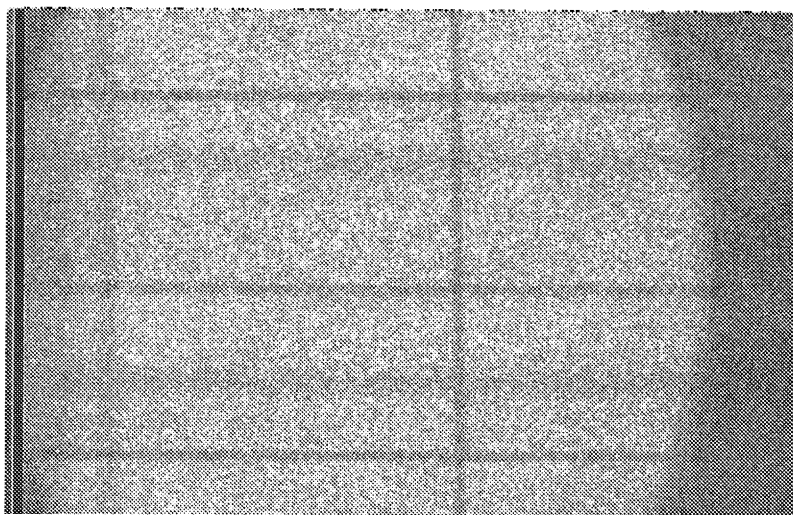


Рис.3. Изображение дрейфовой трубки с сигнальной проволокой и референсных проволочек

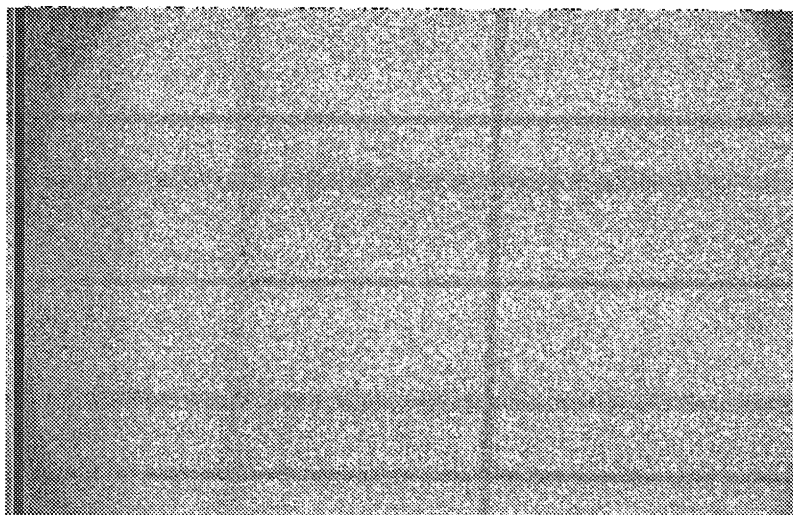


Рис.4. Изображение дрейфовой трубки с сигнальной проволокой и референсных проволочек

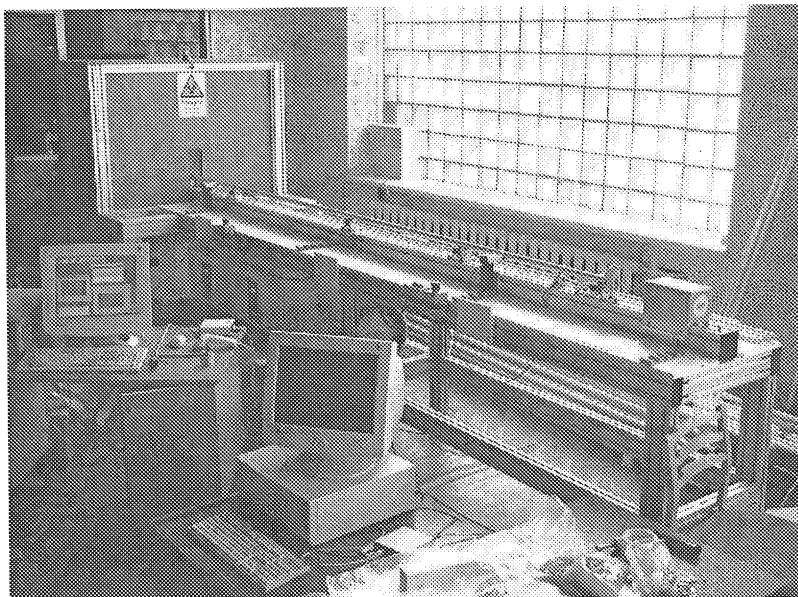


Рис.5. Общий вид X-ray стенда

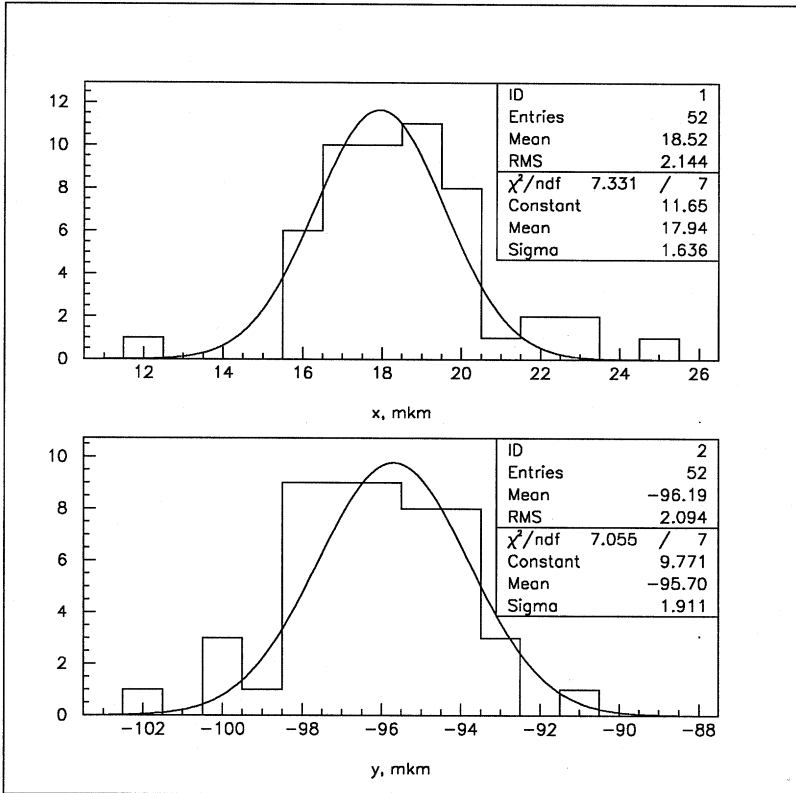


Рис.6. Воспроизводимость измерений позиции сигнальной проволочки



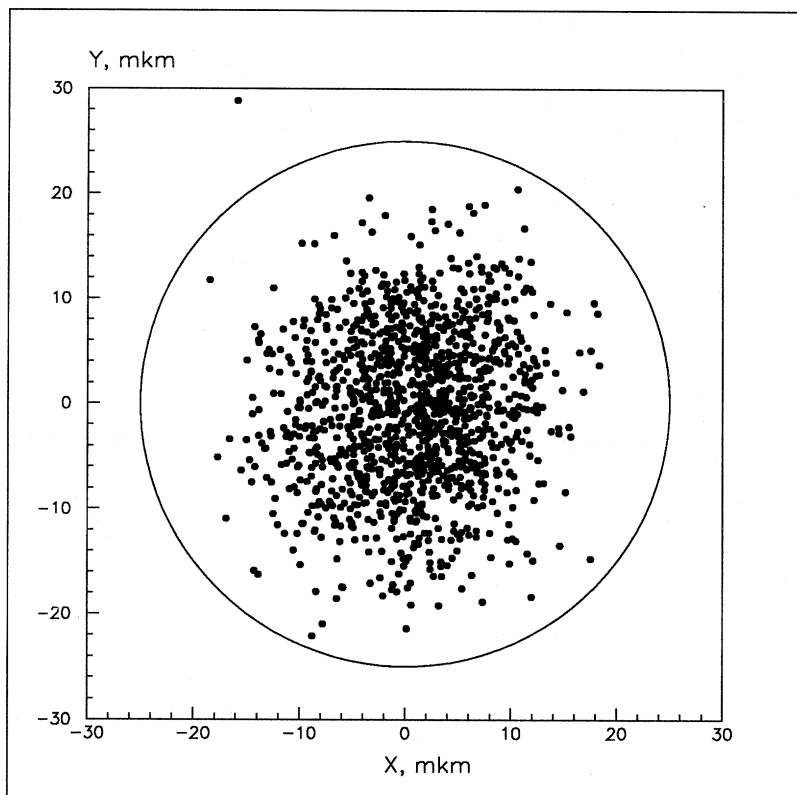


Рис.7. Отклонение позиции сигнальной проволоки от центра трубки. Окружность – критерий выбраковки трубок

## 6. Результаты

Для определения точности и воспроизводимости результатов измерений были проведены серии облучений для зафиксированной трубки (трубка фиксировалась в начале серии и все последующие измерения производились без изменения положения). Результаты представлены на рис. 6. Точность измерения позиции сигнальной проволоочки для взаимноперпендикулярных осей составляет 1,6 и 1,9 микрон.

При определении позиции сигнальной проволоочки в исследуемой дрейфовой трубке для каждой трубки проводится 4 измерения положения проволоочки  $X_0, Y_0, X_{180}, Y_{180}$  соответственно под 0 и 180 градусов для одного конца и 0, 180 градусов для другого. Отклонение проволоочки вычисляется по формуле

$$R = \sqrt{\left(\frac{X_{180} - X_0}{2}\right)^2 + \left(\frac{Y_{180} - Y_0}{2}\right)^2}.$$

На рис. 7 представлены отклонения позиции проволоочки от центра трубки для набора из 650 труб. Только одна трубка не соответствует критерию качества, что говорит о высоком качестве как компонентов, используемых при сборке трубки, так и самой процедуры сборки.

## Список литературы

- [1] ATLAS Technical proposal.
- [2] <http://www.gendexxray.com/770.htm>

---

Рукопись поступила в издательский отдел  
25 сентября 2001 года.

Госткин М.И. и др.

P13-2001-197

Измерение позиции сигнальной проволочки  
в дрейфовых трубках мюонной системы установки ATLAS  
с помощью рентгеновского излучения

Представлено описание стенда для точного определения положения сигнальной проволочки в собранном дрейфовом цилиндрическом детекторе. Точность определения положения  $\sim 2$  мкм.

Работа выполнена в Лаборатории ядерных проблем им. В.П.Джелепова ОИЯИ.

Сообщение Объединенного института ядерных исследований. Дубна, 2001

Перевод авторов

Gostkin M.I. et al.

P13-2001-197

Wire Position Measurement for ATLAS Muon Drift Tubes  
by X-rays

The description of a set-up for the precision measurements of the signal wire location inside the drift cylinder detector is presented. The precision is approximately equal to  $2 \mu\text{m}$ .

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

Communication of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna, 2001

Редактор М.И.Зарубина. Макет Н.А.Киселевой

Подписано в печать 05.10.2001  
Формат 60 × 90/16. Офсетная печать. Уч.-изд. л. 0,85  
Тираж 335. Заказ 52887. Цена 85 к.

Издательский отдел Объединенного института ядерных исследований  
Дубна Московской области