Определение пространственного положения сигнальных нитей в дрейфовых трубках с помощью пучка рентгеновских квантов

Бойко И.Р., Додонов В.И., Журавлев В.В.
Игнатенко М.А., Николенко М.Ю., Шелков Г.А.

Объединенный институт ядерных исследований, Дубна, Россия

Аннотация

Исследованы два метода определения пространственного положения сигнальных проволочек в алюминиевых дрейфовых трубках при сканировании их пучком рентгеновских квантов. Показано, что положение проволочки можно определить с точностью лучше 1 мкм по координате ее тени. Другой метод, основанный на нахождении центра тяжести в зависимости скорости счета самой трубки, работающей в режиме пропорционального счетчика, от координаты положения пучка, также дает высокую точность. При сканировании с шагом 50 мкм полученна точность ~ 3 мкм. Существенное улучшение в соотношении сигнал-фон удалось получить путем добавления к углекислому газу 16% O_2.

1. Введение

Одним из важных вопросов производства модулей дрейфовых трубок для универсального детектора АТЛАС /1/ является проверка механической точности установки сигнальных нитей внутри трубок, а также их взаимного расположения внутри модулей. Для этой цели в /2/ было предложено сканировать коллимированным пучков рентгеновских квантов мюонные модули и регистрировать с помощью детектора гамма-квантов положение теней от нитей (пассивный метод). Этот метод основан на различной поглощающей способности алюминиевых стенок трубок и вольфрамовых нитей и, как было показано в /3/, может обеспечить высокую точность определения пространственного расположения нитей. Однако пассивный метод имеет существенный недостаток. При сканировании модулей больших размеров необходимо контролировать с высокой точностью пространственное положение пучка, которое задается взаимным расположением коллиматоров находящихся впереди и позади тестируемого модуля, на протяжении всей длины сканирования, что является достаточно сложной технической задачей.

Другой способ нахождения положения проволочек внутри трубок базируется на различной фотопоглощающей способности проволочки и газа внутри трубки (активный метод). Когда пучок рентгеновских квантов попадает на нить, большое количество рождающихся в ните фотоэлектронов выходит в газовый объем трубки и может быть зарегистрировано при условии, если трубка работает как, например, обычный пропорциональный счетчик. В /4/ путем нахождения центра тяжести в зависимости скорости счета трубки от положения пучка рентгеновских квантов удалось востановить с высокой точностью координаты проволочек в лавсановых трубках, наполненных смесью $Ar + Xe + CO_2$.

2. Аппаратура

Схема измерений положения проволочек внутри дрейфовых трубок приведена на рис.1. В пассивном методе три слоя алюминиевых трубок с внешним диаметром 3 см и с толщиной стенок 0,5 мм с натянутыми внутри них вольфрамовыми нитями диаметром 50 мкм были помещены между двух танталовых коллиматоров, расположенных на расстоянии 20 см. Ширина щелей составляла 50 мкм. Интенсивность прошедшего алюминиевые трубки пучка рентгеновских квантов измерялась с помощью сцинтилляционного счетчика с кристаллом NaJ(Tl) диаметром 15 мм и высотой 30 мм, который размещался непосредственно за вторым коллиматором.

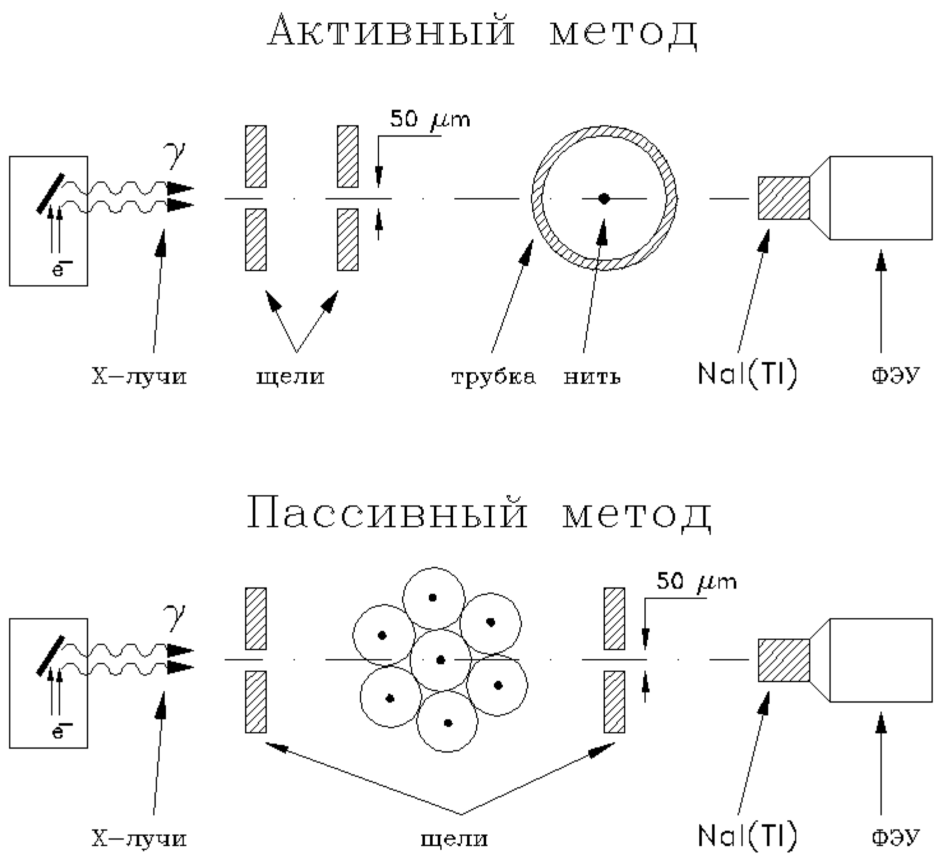

Рис. 1. Схема измерения положения проволочек внутри дрейфовых трубок.

В активном методе пучок рентгеновских квантов также формировался двумя коллиматорами шириной 50 мкм расположенными на растоянии 15 см друг от друга. В этом случае определялось положение сигнальной проволочки только в одной трубке. Сцинтилляционный счетчик при этом использовался как монитор интенсивности прошедшего через дрейфовую трубку пучка. Тестируемые трубки работали в пропорциональном режиме. Сигнал с проволочки усиливался токовым усилителем с коэффициентом усиления 70 и подавался на дискриминатор с порогом 7 мВ/50 Ом.

Дрейфовые трубки располагались на подвижной платформе, которая могла перемещаться поперек пучка на расстояние 18 мм с точностью 5 мкм.

В качестве источника рентгеновских квантов использовалась трубка БСВ-21 с вольфрамовым анодом. Размер электронного пятна на аноде этой трубки 0,2×8

мм^2. Рабоче ... кВ. На рис.2
представлен ... лой алюминия
толщиной 0,5 ... а с кристаллом
NaJ(Tl), ког ... Калибровка
амплитуд си ... а образцовых
гамма источ ... е. Видно, что
основная час ... ниевой стенке
трубки и фак ... энергетическим
разбросом ∼

а) Пас

На рис.3 ... в зависимости
от положени ... шагом 20 мкм
трех слоев д ... я в различных
слоях трубок ... ни при данной
статистике м ... ия. Увеличение
ширины щел ... гнал-фон. Так
для коллима ... коллиматоров
со щелями

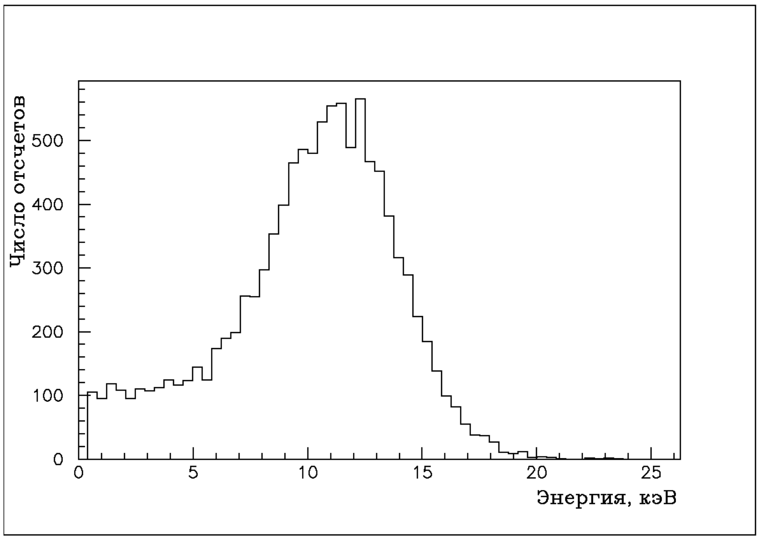

Рис. 2. Энергетический спектр рентгеновского пучка после алюминиевого фильтра толщиной 0,5 мм. Напряжение на рентгеновской трубке 15 кВ.

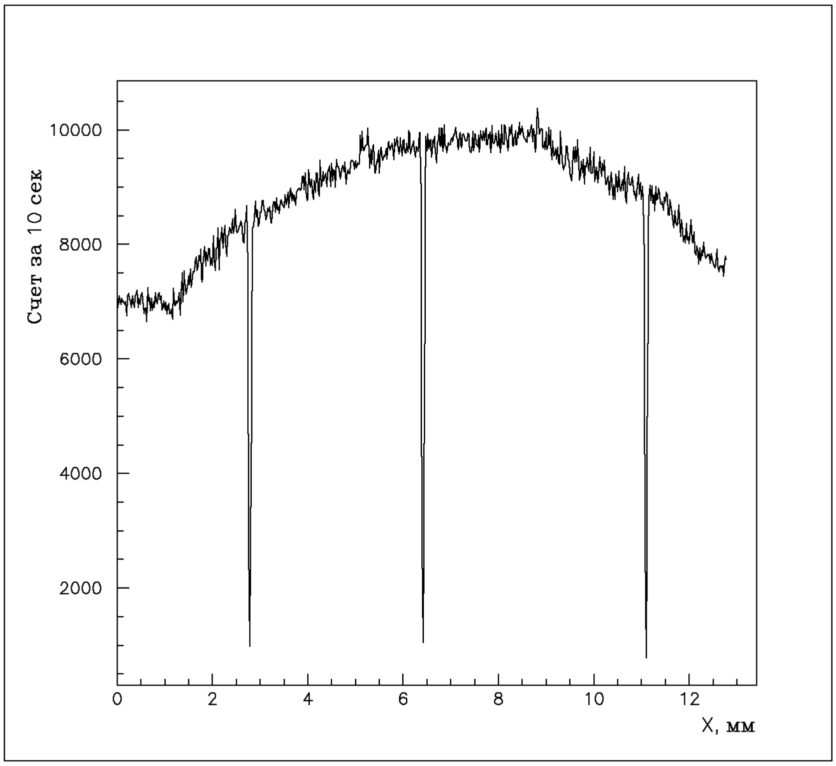

Рис. 3. Зависимость счета сцинтилляционного счетчика от положения рентгеновского пучка

б) Активный метод

Основной задачей выбора рабочих условий в активном методе является усиление отклика трубки на взаимодействие рентгеновского пучка с сигнальной проволочкой, и ослабление счета от взаимодействия пучка со стенками и газом трубки. На рис.4а приведены зависимости скоростей счета монитора и дрейфовой трубки с внутренним диаметром 6 мм и толщиной сигнальной вольфрамовой проволочки 20 мкм, наполненной газовой смесью Ar + 30% CO_2, от положения рентгеновского пучка. Счет трубки непрерывно возрастал пропорционально количеству газа на пути пучка при приближении к центру. Эффектов от взаимодействия пучка с вольфрамовой нитью или с алюминие-

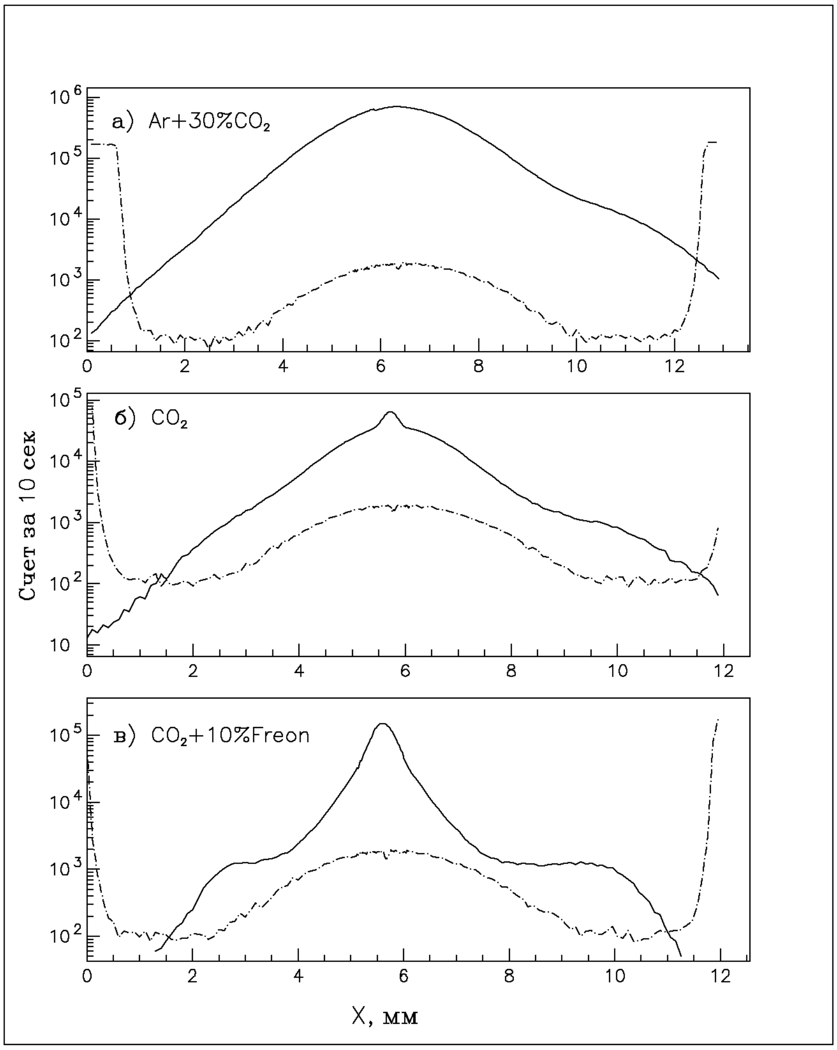

Рис. 4. Счет сцинтилляционного счетчика (пунктир) и дрейфовой трубки (сплошная линия) в зависимости от положения рентгеновского пучка

вой стенкой не было видно. Это объясняется значительным сечением фотопоглощения рентгеновских квантов с энергиями меньше 20 кэВ атомами аргона /5/. Поэтому в дальнейшем использовались только газовые смеси, не содержащие аргона. На рис.4б приведены результаты измерений при наполнении дрейфовой трубки углекислым газом. Видно, что на фоне широкого максимума, связанного с взаимодействием пучка с газом, отчетливо проявляется пик, вызванный взаимодействием пучка с сигнальной проволочкой.

С целью улучшения соотношения сигнал-фон к углекислому газу было добавлено 10% фреона ($13B_1$). Фреон относится к электроотрицательным газам, которые обладают способностью захватывать свободные электроны, образующиеся в результате прохождения ионизирующего излучения. Результаты измерений приведены на рис.4с. Добавка к CO_2 10% фреона привела к существенному уменьшению счета трубки, когда пучок проходит вдали от сигнальной нити. Пики, связанные с взаимодействием пучка с газом и нитью слились в один, ширина которого составила 1,2 мм.

Значительно большим сечением захвата свободных электронов обладает кислород. На рис.5 представлены скорости счета монитора и дрейфовой трубки диаметром 30 мм с вольфрамовой проволокой диаметром 50 мкм в зависимости от положения коллимированного пучка фотонов при наполнении трубки углекислым газом и смесью CO_2 и 16% кислорода. В этих измерениях трубка передвигалась с шагом 0,5 мм, а в области около нити шаг был 50 мкм. Добавление 16% кислорода приводит к почти полной потере эффективности трубкой вдали от анодной нити и только в области радиусом ~ 2 мм вокруг проволочки заметен эффект взаимодействия фотонов в газе. При этом эффект регистрации фотоэлектронов, образовавшихся на проволочке, отчетливо проявляется на фоне эффекта от взаимодействия в газе. Соотношение сигнал-фон улучшилось более чем в 15 раз. Фитирование пиков, вызванных взаимодействием пучка с нитью, распределением Гаусса дало ошибку в определении положения центра тяжести ~ 3 мкм. Варьирование концентрации кислорода в смеси с CO_2 в пределах от 10% до 50% не привело к какому-либо улучшения в соотношении сигнал-фон.

3. Заключение

В заключении сравним преимущества и недостатки обоих методов для X-томографии мюонных модулей. Пассивный метод более прост в реализации сканирования небольших по размеру модулей. Соотношение сигнал-фон в этом методе значительно лучше. Нет необходимости поддерживать системы

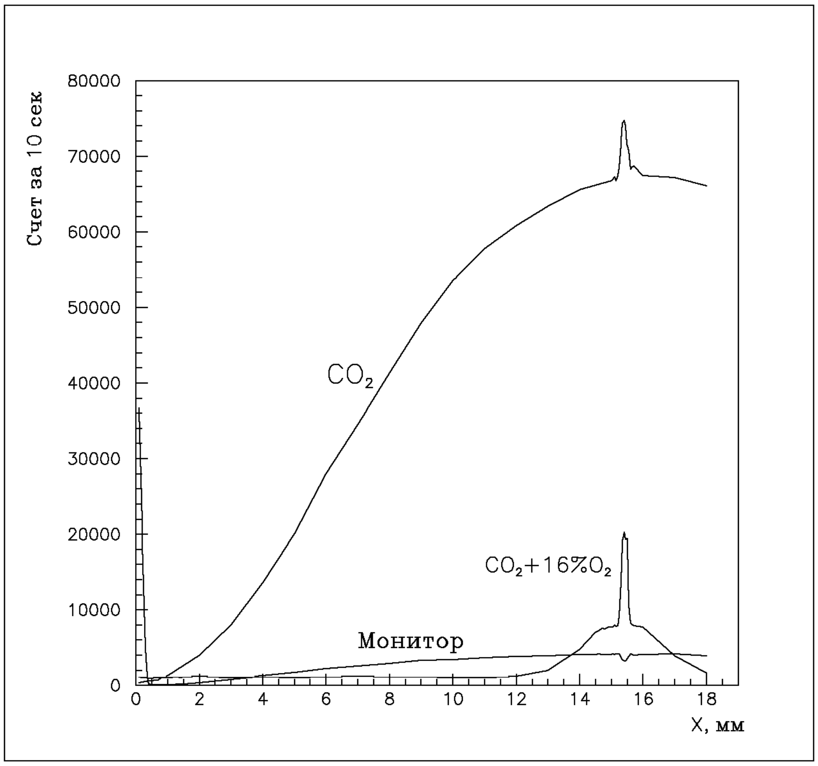

Рис. 5. Счет монитора и дрейфовой трубки при наполнении углекислым газом и смесью CO_2+16%O_2 в зависимости от положения рентгеновского пучка.

считывания информации и газового обеспечения. Однако осуществлять контроль положения узкого пучка с точностью несколько микрон на базе нескольких метров является наиболее сложной технической задачей реализации этого метода. Активный метод сканирования также показал свою эффективность и высокую точность. Он позволяет производить коллимацию рентгеновского пучка более простым способом и, в принципе, не требует перемещения рентгеновского источника (сканирование может осуществляться за счет поворота рентгеновского пучка). Оба исследованных метода могут найти применение для томографии мюонных модулей установки АТЛАС.

Литература

1. ATLAS Technical Proposal for a General-Purpose pp Experiment at the Large Hadron Collider at CERN, CERN/LHC/94-43, LHCC/P2, 15 December 1994.

2. Vertogradov L., ATLAS Internal Note, Muon-No-041, May 1994.

3. Yu.Bonyushkin et al., Proposal for Tomograph Coordinate Calibration of Drift Tube Packages, EMPACT Internal Note - 240, 24 July 1990.

4. Fedin O., Mouraviev S., Smirnov A., The First Results of a TRD Cell Prototype Alignment Test with 36 keV X-ray Beam, Atlas Internal Note, INDET-No-057, 1994.

5. Baranov S.A. et al., Gamma Sensitivity of Pressurized Drift Tubes, ATLAS Internal Note, Muon-No-036, February 1994.