

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное автономное образовательное  
учреждение высшего образования  
«Национальный исследовательский ядерный университет  
МИФИ»  
(НИЯУ МИФИ)

УДК 53-05

ОТЧЁТ  
О НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЕ  
ЭКСПЕРИМЕНТ ПО ИССЛЕДОВАНИЮ ПОТОКА  
МЮОНОВ С ПОМОЩЬЮ СЦИНТИЛЛЯЦИОННОГО  
СЧЕТЧИКА И ДЕТЕКТОРА sTGC

Научный руководитель:

к.ф.-м.н., доцент

\_\_\_\_\_ С. Ю. Смирнов

Выполнил:

\_\_\_\_\_ А. И. Дуров

Москва 2019

# Содержание

Содержание . . . . .	1
1 Обзор литературы . . . . .	2
1.1 Принцип работы sTGC . . . . .	2
1.2 Образование мюонов . . . . .	3
1.3 Взаимодействие мюонов с sTGC . . . . .	4
2 Подготовительная часть . . . . .	5
2.1 Теоретический расчет количества мюонов . . . . .	5
2.2 Изготовление установки . . . . .	5
3 Ход работы . . . . .	8
3.1 Работа со сцинтилляционным счетчиком . . . . .	8
3.2 Работа с sTGC . . . . .	9
4 Вывод . . . . .	10

# Цель работы

Целью моей работы является экспериментальная оценка количества космических мюонов в рамках исследования работы sTGC камеры.

## 1 Обзор литературы

### 1.1 Принцип работы sTGC

Впервые идея TGC (Thin Gap Chambers - что буквально "камера с тонким зазором") была воплощена в жизнь в 1983 году, которая нашла применение в системе поиска мюонов в OPAL и ATLAS. Для повышения устойчивости детектора для режима HL-LHC разработан узкостриповый вариант TGC — sTGC (small TGC), который заменит своего предшественника на Малых Мюонных Колесах по окончании Фазы-1 модернизации эксперимента ATLAS. Структура sTGC изображена на рис. 1:

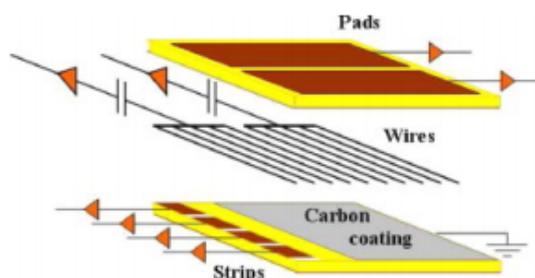


Рисунок 1 – Структура sTGC

Состоит он из сетки вольфрамовых нитей (wires) толщиной 50 мкм с золотым напылением, расположенных с шагом в 1.8 мм. Находятся они между двумя катодными платами на расстоянии 1.4 мм друг от друга. Катодные платы сделаны из G-10 платы, покрытой графит-эпоксидной смесью с поверхностным сопротивлением в 100-200 кОм на единицу площади (такое покрытие было выбрано из-за того, что вследствие высокой облучаемости, которая имела место в HL-LHC, иные резистивные покрытия понижали бы эффективное напряжение вблизи контактов элементов электрических цепей, даже имея ввиду тот факт, что свободные заряды не оказывают большого влияния на детектор. Таким образом, с помощью графит-эпоксидного покрытия удалось добиться хорошего взаимодействия между стрипами (strips) и падами (pads), сохраняя при этом возможность быстрой

передачи сигнала). С одной стороны от неё располагаются прецизионные стрипы, направленные перпендикулярно вольфрамовым нитям, а с другой стороны накрываются падами - большими прямоугольными плоскостями. Стрипы имеют шаг в 3.2 мм, что гораздо меньше соответствующего показателя в TGC - отсюда и появилось название sTGC (small TGC). Пады используются в принципе "3 из 4 совпадений" для обнаружения примерно го трека мюона, а значит и примерной области его взаимодействия. Также, что не менее важно, пады нужны для того, чтобы определить, с каких именно стрипов нужно снимать показания, чтобы получить более точное измерение плоскостных координат. Азимутальные же координаты получают с помощью вольфрамовых нитей. Рабочим газом является смесь, состоящая из 55%  $CO_2$  и 45% n-пентана [1]. Также стоит отметить, что детектор sTGC обладает хорошим пространственным разрешением в 100 мкм.

Итого, можно выделить следующие особенности детектора sTGC:

1. sTGC может работать в штатном режиме при излучении вплоть до  $20 \text{ кГц/см}^2$  с повышенной эффективностью для минимального количества ионизирующих частиц [2] ;
2. При шаге стрипов в 3.2 мм и при считывании сигналов только с нужных стрипов (используя принцип "3 из 4 совпадений") координатное разрешение варьируется от 60 мкм при перпендикулярном угле падения до 150 мкм при угле падения в  $30^\circ$  ;
3. Детектирование космических мюонов при излучении до  $17 \text{ кГц/см}^2$  не вызывает ухудшения работы ни единой части детектора sTGC .

## 1.2 Образование мюонов

Мюон — неустойчивая элементарная частица с отрицательным электрическим зарядом и спином  $1/2$ . На земле На Земле мюоны регистрируются в космических лучах, они возникают в результате распада заряженных пионов. Пионы создаются в верхних слоях атмосферы первичными космическими лучами и имеют очень короткое время распада — несколько наносекунд [3]. Время жизни мюонов достаточно мало —  $t_{\text{жизни}} = 2,2 \text{ мкс}$ .

До поверхности Земли из верхних слоев атмосферы мюоны долетают даже с таким коротким временем жизни из-за эффекта замедления времени специальной теории относительности.

Говоря подробнее о рождении мюонов в атмосфере Земли можно отметить, что мюоны не участвуют в сильном взаимодействии, поэтому они обычно не рождаются напрямую в первичном столкновении, а появляются в космических лучах потом, из распада заряженных пионов (кроме того, мюоны обладают очень большой проникающей способностью по сравнению с другими заряженными частицами). А пионы, в свою очередь, рождаются в столкновении первичных космических лучей с различными молекулами, находящимися в атмосфере.

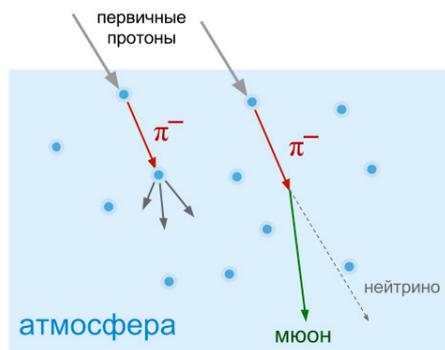


Рисунок 2 – Появление мюонов в атмосфере

### 1.3 Взаимодействие мюонов с sTGC

Когда мюоны пролетают сквозь рабочую плоскость sTGC, они вызывают ионизацию газа, который находится внутри sTGC, и образовавшиеся ионы под действием электрического поля "плывут" до ближайшего стрипа и вызывают электрический импульс, который и регистрируется экспериментатором. Именно благодаря тому, что шаг стрипов 3.2 мм ионы быстро достигают нужного ближайшего стрипа, в результате чего и получается хорошая точность измерения плоскостных координат точки взаимодействия заряженной частицы с молекулой газа.

## 2 Подготовительная часть

### 2.1 Теоретический расчет количества мюонов

Оценим ожидаемое число мюонов, если плотность потока [3] примем равной:

$$J_{\text{теор}} = 1 \frac{1}{\text{мин}} \frac{1}{\text{см}^2} = 0.017 \frac{1}{\text{с}} \frac{1}{\text{см}^2} \quad (1)$$

Тогда за 100 с должно пролететь 60 мюонов (рабочая площадь сцинтилляционного счетчика  $S = 4.8 \text{ см} \times 7.3 \text{ см}$ ):

$$t = 100 \text{ с} \implies N_{\text{теор}} = J \cdot S \cdot t = 60 \quad (2)$$

### 2.2 Изготовление установки

Для этого эксперимента нам был выдан уже готовый детектор sTGC и сцинтилляционный счетчик, однако нам требовалось изготовить установку, на которую мы сможем поставить и sTGC, и счетчик, причем так, чтобы счетчик был расположен над sTGC в устойчивом положении. Нам были выделены деньги на покупку материалов, необходимых для её постройки. Была выбрана и спроектирована в программе T-FLEX конструкция куба. После покупки соответствующих материалов мы полностью собрали нашу установку.



Рисунок 3 – Установка

Далее нами была собрана цепь, включающая в себя сцинтилляционный счетчик и sTGC (также в цепи присутствовали: осциллограф, счетчик триггеров, дискриминатор, блок логических операторов, блок задержки и источник напряжения):



Рисунок 4 – NIM-модули



Рисунок 5 – Составные части установки

Электрическая цепь, включающая в себя NIM-модули и сцинтилляционный счетчик:

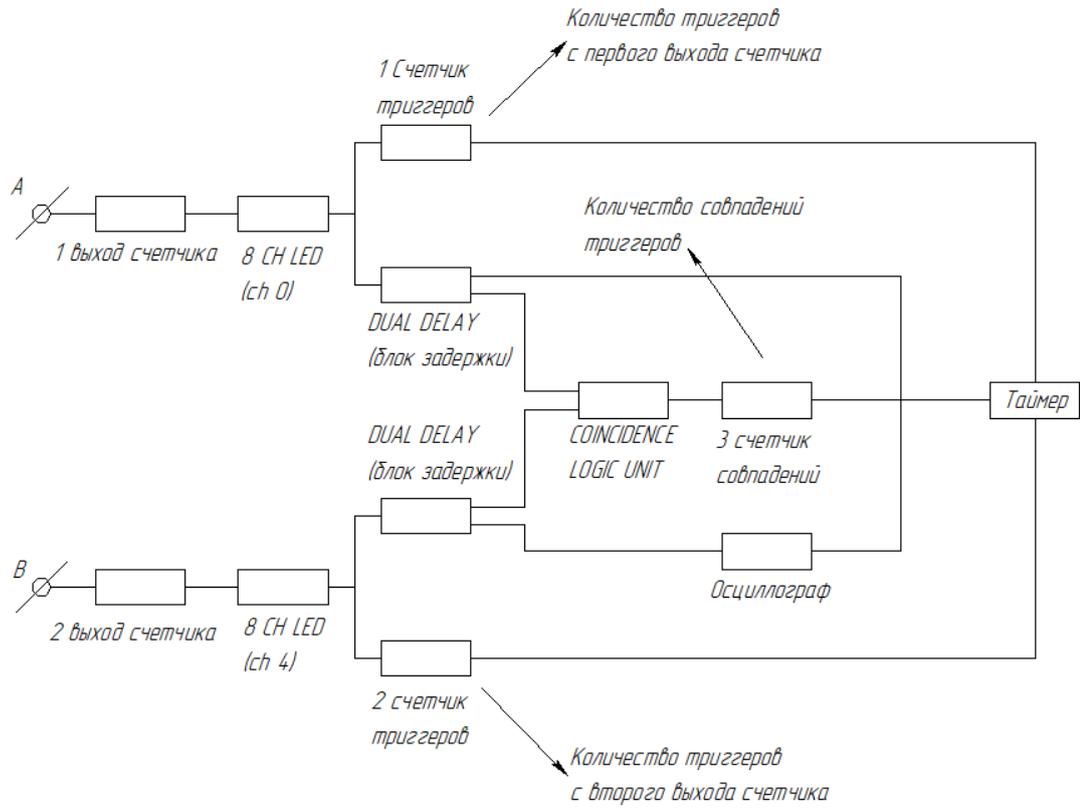


Рисунок 6 – Рабочая схема

## 3 Ход работы

### 3.1 Работа со сцинтилляционным счетчиком

К первому выходу счетчика было подведено напряжение 648 мВ, ко второму - 681 мВ. Пороговое напряжение, при котором засчитывался триггер пролетающей частицы, составляло 60 мВ.

С помощью данной цепи были сняты показания счетчика триггеров с первого выхода сцинтилляционного счетчика, со второго выхода, их совпадения (при наложении осциллограм сигналов с обоих выходов) и их случайных совпадений (при разведении соответствующих осциллограм). Ниже приведена таблица количества триггеров счетчика (а соответственно и количества мюонов, пролетевших через сцинтилляционный счетчик) за 100 с :

Таблица 1 – Количество мюонов

№ эксперимента	N1	N2	N3	<N>
1 выход	75	81	56	71
2 выход	72	88	61	74
Совпадения	56	61	39	52
Случ. совпадения	0	0	0	0

Теоретическое количество случайных совпадений вычисляется по формуле (где  $\Delta t = 10^{-7}$  — ширина ворот):

$$N_{\text{теор. сл. совп.}} = 2 \cdot \Delta t \cdot N_1 \cdot N_2 \approx 0.0011 \quad (3)$$

## 3.2 Работа с sTGC

Для эксперимента уже с детектором sTGC электрическая цепь была модифицирована включением в неё самого детектора sTGC и подключением ещё одного счетчика триггеров. Также к sTGC был подведен газ  $CO_2$  с помощью газовой системы, состоящей из редуктора для понижения давления из баллона (100 атм.) до давления, необходимого для работы sTGC (1 атм.) и флю-метра.

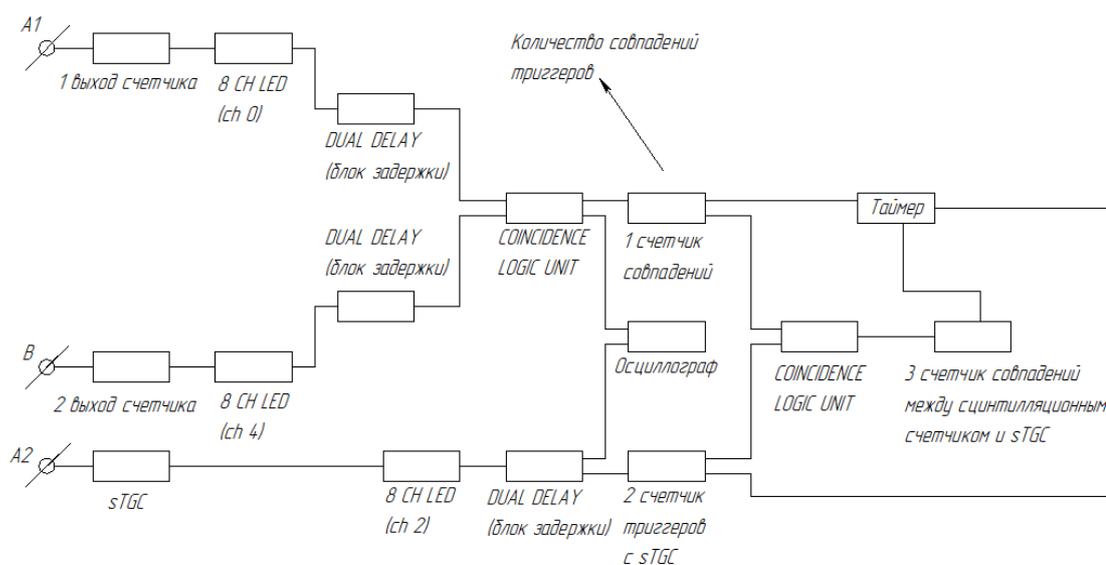


Рисунок 7 – Рабочая схема с sTGC

Однако сам эксперимент по подсчету количества мюонов, регистрируемых sTGC, из-за некоторых проблем с осциллографом еще не был проведен.

## 4 Вывод

Полученное экспериментально с помощью сцинтилляционного счетчика количество мюонов за 100 с составляет:

$$N_{\text{эксп}} = 52 \quad (4)$$

Что соответствует теоретическому в пределах погрешностей приборов:

$$N_{\text{теор}} = 60 \quad (5)$$

После этого была собрана цепь, включающая в себя детектор sTGC, однако ввиду технических проблем эксперимент провести до конца не удалось.

# Список литературы

1. *ATLAS C*. Technical Design Report New Small Wheel : tech. rep. / CERN - LHCC. — 2013.
2. *ATLAS C*. The New Small Wheel Upgrade Project of the ATLAS Experiment : tech. rep. / Simon Fraser University, University Dr. Burnaby. — 2014.
3. *Grupen K*. Particle Detectors. — G. : Cambridge University Press, 1996.