



Утверждаю  
Директор ФГБУ ГНЦ РФ ИТЭФ

Козлов Ю.Ф.

17 сентября 2014 г.

### ОТЗЫВ

Ведущей организации Федеральное Государственное Бюджетное Учреждение "Государственный Научный Центр Российской Федерации Институт Теоретической и Экспериментальной Физики" ФГБУ "ГНЦ РФ ИТЭФ" на диссертационную работу Чирикова—Зорина Игоря Евгеньевича "РАЗВИТИЕ МЕТОДИКИ СЦИНТИЛЛЯЦИОННЫХ И ГАЗОРАЗРЯДНЫХ ТРЕКОВЫХ ДЕТЕКТОРОВ ДЛЯ ФИЗИКИ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ", представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.01 – "Приборы и методы экспериментальной физики".

Диссертационная работа И. Е. Чирикова—Зорина посвящена разработке и развитию методов регистрации заряженных частиц сцинтилляционными и проволочными газоразрядными детекторами. Разработанные детекторы и развитые методы были и будут использованы как в различных ведущих мировых экспериментах физики высоких энергий ATLAS (LHC), COMPASS (CERN), так и в планируемом к постройке эксперименте по релятивистской ядерной физике MPD (NICA).

Диссертационная работа И. Е. Чирикова—Зорина охватывает значительную часть наиболее широко используемых в современных экспериментах детекторных технологий. Что особенно важно, в ней есть как совершенствование хорошо известных ранее методик и приборов, так и развитие наиболее современной и бурно развивающейся методики регистрации света Лавинными Гейгеровскими Фотодиодами (ЛГФД). Несомненное достоинство работы состоит в том, что результаты работы послужили для создания массово производимых детекторов и материалов для них.

Таким образом, тема кандидатской диссертации И. Е. Чирикова—Зорина актуальна и представляет большую практическую ценность для создания детекторов, направленных на исследования различных физических задач в экспериментах ядерной физики и физики высоких энергий.

Во **введении** автор:

- формулирует цель работы;
- обосновывает актуальность диссертации и ее научную новизну;
- перечисляет практические задачи, решенные в ходе выполнения работы;
- перечисляет основные положения, выносимые на защиту;
- описывает структуру диссертации;
- перечисляет публикации, в которых отражено основное содержание работы;

В **первой главе** диссертант описывает новый метод абсолютной калибровки и представляет результаты исследований фотодетекторов этим методом. Данный метод основан на использовании известного приема калибровки при помощи световых импульсов малой интенсивности. Использованная диссертантом параметризация при описании отклика ФЭУ показала надежность



описания зарядовых спектров для различных ФЭУ в большом динамическом диапазоне (~50) световых вспышек и рабочих напряжений. Разработанный метод позволил выяснить особенность в работе новых сверхминиатюрных ФЭУ R5600 и R5900 (Hamamatsu) с компактной диодной системой – «металло-канальный диод». Этой особенностью оказалась значительная фотоэмиссия с первого диода. После внесения поправок в использованную ранее параметризацию функция отклика, которые учитывают фотоэффект на первом диоде, а также пуассоновские флуктуации числа вторичных электронов на первом диоде, удалось получить хорошее описание зарядовых спектров и сверхминиатюрного ФЭУ R5600. Затем диссертант переходит к использованию описанного выше метода калибровки применительно к ЛГФД, предварительно дав его описание и объяснив принцип работы. Диссертантом описаны различные варианты топологии ЛГФД, которые были использованы в данной работе. В результате проведенных измерений для трех типов ЛГФД были определены их основные параметры: емкость пикселя, внутренний коэффициент усиления и эффективность регистрации фотонов. Диссертантом было продемонстрировано, что использование ЛГФД с большим количеством пикселей вполне конкурентоспособно с использованием традиционных ФЭУ даже для гамма-спектрометрии.

Во **второй главе** диссертант описывает результаты разработок и исследований новых сцинтилляционных детекторов и нового пластмассового сцинтиллятора UPS 923A. Результаты тестирования прототипов детекторов на основе известного сцинтиллятора NE 114 на основе поливинилтолуола и разработанного пластмассового сцинтиллятора UPS 923A на основе полистирола (PS) с добавками 2% PTP и 0,03% POPOP показали, что разработанный сцинтиллятор имеет сопоставимую длину поглощения, но его световыход выше, и он предпочтительнее для использования в сцинтилляционных счетчиках большой длины.

Далее описана новая методика съема света с протяженных сцинтилляторов посредством световода из спектросмещающих волокон, расположенного вдоль одной из граней детектора. Приведены данные измерений, демонстрирующие практическую применимость данной конструкции в сочетании с новыми сверхминиатюрными ФЭУ R5600 (Hamamatsu), малочувствительных к воздействию внешних магнитных полей, что позволяет использовать счетчики в магнитных полях без экранировки или с экраном простой конструкции. Также описана оригинальная конструкция счетчика с полосковыми световодами для определения координатной информации. Результаты измерений показали достижимость координатного разрешения на уровне 1,3 мм.

Значительный объем главы посвящен исследованию характеристик нового пластмассового сцинтиллятора на основе полистирола UPS 923A. Диссертантом была детально исследованы такие характеристики как: световыход, ослабление света, долговременная стабильность, а также кинетика радиолуминесценции сцинтиллятора и спектросмещающих волокон. Отмечена важность влияния процесса реадсорбции излучения добавки POPOP для длины поглощения. Детально исследованы временные параметры самого сцинтиллятора (время нарастания импульса света UPS 923A меньше 0,8 нс.) и его комбинации со спектросмещающими волокнами с помощью оригинального временного спектрометра (шагпар=150 пс) созданного автором. Проведены исследования старения нового пластмассового сцинтиллятора и сравнение результатов с известным сцинтиллятором NE 114. Показано, что естественная деградация



сцинтиллятора NE 114 идет более чем в два раза быстрее в сравнении со сцинтиллятором UPS 923A. Дано подробное объяснение причин данного результата и описаны основные причины старения сцинтилляторов на основе полистирола.

В конце главы сделан вывод о преимуществах использования нового сцинтиллятора и новой конструкции детектора, выбранных для создания мюонной системы детектора CDF.

В **третьей главе** диссертант описывает конструкцию, технологию массового производства, методику проверки и результаты работы более 600 крупногабаритных (длиной до 3,2 м.) пластмассовых сцинтилляционных счетчиков нового поколения детектора мюонов установки CDF II со светосбором лентой-световодом из спектросмещающих волокон. Также описана конструкция и результаты исследований сцинтилляционных счетчиков «miniskirt» с плексигласовыми световодами типа «рыбий хвост» и временным разрешением менее 2.2 нс.

В **четвертой главе** кратко дан исторический обзор развития газоразрядных детекторов. Далее подчеркивается необходимость создания прецизионных трековые детекторов, эффективно работающих в пучках высокой интенсивности, для реконструкции топологии сложных событий с участием большого числа частиц, включая короткоживущие, при интенсивности выведенного пучка более  $10^7$  частиц/с. Далее приводятся результаты разработок и исследований новых прецизионных дрейфовых камер. Описывается конструкция мини - дрейфовых камерах (МДК) с дрейфовым промежутком 4 мм. Результаты исследований показывают, что камеры обладают хорошей линейностью дрейфовой характеристики, высокой точностью (в центральной зоне дрейфового промежутка она достигает  $\sigma=45$  мкм.) и надежно работают при нагрузке  $3 \cdot 10^5$  частиц/с  $\text{см}^2$ . Описан метод моделирования, который позволял уменьшить зону нелинейности путем выбора оптимальной конфигурации дрейфовой ячейки.

Далее описаны системы на основе проволочных детекторов в виде набора тонкостенных лавсановых трубок (straw-tubes). Кратко описаны преимущества данных детекторов и технология их изготовления. Приведены результаты сравнительного исследования тонкостенных лавсановых трубок с графитовым и алюминизированным покрытием и показано, что ДК, изготовленные из графитированных лавсановых трубок, показали, что она обладает значительно большей шириной плато счетной характеристики по сравнению с камерой из алюминизированного лавсана, а также имеет более низкий уровень шумов. Диссертант описывает важный и интересный эффект камеры из алюминизированного лавсана – ее фоточувствительность. Далее приведены результаты тестирования при давлении рабочего газа 1 – 4 атм. дрейфовых камер нового типа на основе блоков лавсановых трубок размерами  $0,15 \times 0,1 \text{ м}^2$  и  $0,85 \times 0,7 \text{ м}^2$ . Камеры имеют хорошие счетные характеристики, ширина плато превышает 400 В. во всех случаях, достаточно линейные дрейфовые характеристики и координатную точность  $\sigma_x=100$  мкм. при атмосферном давлении. Для регистрации информации с дрейфовых камер с малыми (1 – 5 мм.) дрейфовыми промежутками (МДК, “straw-tubes”) предложен новый параллельно-последовательный способ съема информации, который в сотни раз уменьшает количество используемых ВЦП.

В **пятой главе**, которая является «методической изюминкой» всей работы, диссертант объясняет фоточувствительность ДК, изготовленных из



алюминизированного лавсана, фотоэффектом на алюминиевом катоде и описывает теорию эффекта, основанную на существенном понижении работы выхода алюминиевого катода счетчика по закону Шоттки сильным электрическим полем ( $E \sim 10^7$  В/см.), созданным поверхностным зарядом положительных ионов, образующихся в газовом разряде и осаждающихся на тонкой диэлектрической оксидной пленке алюминия.

В **заключении** диссертант кратко формулирует основные результаты работы.

Хотя в целом работа выполнена на высоком уровне, в ней имеются отдельные неточности, и текст немного грешит методическим жаргоном:

1. Так в главе, посвященной ЛГФД, приводится шумовой спектр диода, но описание его природы не дается. Хотя далее описывается явление оптической связи между ячейками, но снова не указывается, как этот параметр влияет, например, на энергетическое разрешение калориметра или гамма-спектрометра.
2. Присутствует фраза «Применение массива из больших пластмассовых сцинтилляционных счетчиков для регистрации мюонов является хорошим решением проблемы создания надежного детектора мюонов», которая явно содержит тавтологию. И далее в тексте: «Отметим, что для 100% эффективности регистрации мюонов пластмассовым сцинтиллятором толщиной 2 см с учетом флуктуаций потерь энергии достаточно всего 10 фотоэлектронов» - смысл данной фразы не совсем понятен. Что имел в виду диссертант? Фотостатистику?
3. Присутствует фраза: «светочувствительность растет при увеличении силы газоразрядного тока, т.е. количества электрического заряда, образующегося при работе счетчика». Имелся в виду общий собранный заряд? Что такое «сила газоразрядного тока»?

И множество подобных фраз и выражений в разных главах работы.

Имеются также немногочисленные описки, как например, на странице 9 автореферата вместо слова «оптическим» написано «отическим» и т.д.

Указанные описки и недочеты в целом несколько не снижают достоинств работы. Следует сказать, что диссертантом выполнен большой объем экспериментальных исследований. В результате работ созданы детекторы для ведущих мировых экспериментов. Высока ценность разработанных автором методов калибровки фотоумножителей. Данная работа по глубине проделанной работы, представлению материала и скрупулёзности может являться составной частью нескольких глав учебника по методике современного ядерно-физического эксперимента, а ее объем и глубина значительно превышают уровень типичных кандидатских работ по данной специальности.

Основные результаты диссертации опубликованы в ведущих мировых журналах.

Автореферат соответствует содержанию диссертации.

Диссертация удовлетворяет всем требованиям, предъявляемым к диссертациям на соискание степени кандидата физико-математических наук, а диссертант заслуживает присвоения степени кандидата физико-математических наук.

Отзыв составил:

С.н.с. лаборатории №212

ФГБУ ГНЦ РФ ИТЭФ

кандидат физико-математических наук

117218, Москва

ул. Б. Черемушкинская, 25

тел.: +7(803) 736-11-26

email: Alexander.Akindinov@cern.ch

А.В. Акиндинов  
Акиндинов  
Александр  
Владимирович