

СТЕНОГРАММА

заседания № 17-01 диссертационного совета Д 720.001.02
на базе Международной межправительственной организации
Объединенный институт ядерных исследований
от 13 апреля 2017 г.

ПРЕДСЕДАТЕЛЬ диссертационного совета – доктор физико-математических наук,
профессор Малахов Александр Иванович.

УЧЁНЫЙ СЕКРЕТАРЬ диссертационного совета – кандидат физико-математических
наук Арефьев Валентин Александрович.

На заседании присутствовали члены диссертационного совета:

Специальность 01.04.01 – Приборы и методы экспериментальной физики, физико-
математические науки:

Водопьянов Александр Сергеевич	- доктор физико-математических наук
Глаголев Виктор Викторович	- доктор физико-математических наук
Мелкумов Георгий Левонович	- доктор физико-математических наук
Никитин Владимир Алексеевич	- доктор физико-математических наук
Садовский Сергей Анатольевич	- доктор физико-математических наук
Таратин Александр Михайлович	- доктор физико-математических наук
Тяпкин Игорь Алексеевич	- доктор физико-математических наук
Арефьев Валентин Александрович	- кандидат физико-математических наук.

Специальность 01.04.01 – Приборы и методы экспериментальной физики, технические
науки:

Басиладзе Сергей Геннадьевич	- доктор технических наук
Матюшин Валентин Тарасович	- доктор физико-математических наук
Романов Юрий Иванович	- доктор технических наук
Смирнов Виталий Анатольевич	- доктор технических наук
Тимошенко Геннадий Николаевич	- доктор физико-математических наук
Тютюнников Сергей Иванович	- доктор технических наук

Специальность 01.04.16 – физика атомного ядра и элементарных частиц, физико-
математические науки:

Батюня Борис Владимирович	- доктор физико-математических наук
Золин Леонид Сергеевич	- доктор физико-математических наук
Капишин Михаил Николаевич	- доктор физико-математических наук
Кекелидзе Владимир Димитриевич	- доктор физико-математических наук
Малахов Александр Иванович	- доктор физико-математических наук
Панебратцев Юрий Анатольевич	- доктор физико-математических наук
Ставинский Алексей Валентинович	- доктор физико-математических наук
Строковский Евгений Афанасьевич	- доктор физико-математических наук

Специальность 01.04.20 – физика пучков заряженных частиц и ускорительная техника, технические науки:

Агапов Николай Николаевич	- доктор технических наук
Донец Евгений Денисович	- доктор физико-математических наук
Зайцев Лев Николаевич	- доктор технических наук
Коваленко Александр Дмитриевич	- доктор физико-математических наук

Малахов А.И. На заседании присутствуют 26 членов совета, из них по специальности 6 докторов, поэтому мы правомочны проводить защиту. У нас в повестке два вопроса. Первый вопрос – это принятие к защите диссертации Апарина Алексея Андреевича, представленной на соискание ученой степени кандидата физ.-мат. наук по специальности 01.04.16 – физика ядра и элементарных частиц. Все документы в деле есть. Я предоставляю слово Валентину Александровичу, чтобы он проинформировал, пожалуйста.

Арефьев В.А. Уважаемые коллеги, в совет поступило заявление от Апарина Алексея Андреевича следующего содержания: “Прошу принять к рассмотрению и защите мою работу на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук “Скейлинговые закономерности рождения кумулятивных частиц и частиц с большими поперечными импульсами в протон-ядерных столкновениях при высоких энергиях” по специальности 01.04.16 – физика ядра и элементарных частиц. Подтверждаю, что результаты, представленные в работе, получены лично мною либо при моем непосредственном участии”.

В соответствии с требованиями Положения о порядке присуждения ученых степеней диссертация заблаговременно опубликована на сайте ОИЯИ; документы, требуемые от соискателя, представлены в полном объеме и соответствуют Положению. Была назначена комиссия в составе Строковский Е.А., Батюня Б.В. и Арефьев В.А. для предварительного рассмотрения диссертации. Комиссия ознакомилась с диссертацией и пришла к следующему заключению: диссертация соответствует специальности 01.04.16 – физика ядра и элементарных частиц и отрасли – физико-математические науки, по которым диссертационный совет имеет право проведения защиты диссертаций. Второе – материал диссертации достаточно полно изложен в опубликованных соискателем работах в соответствии с рекомендациями ВАК. Третье – документы, представленные соискателем в Совет соответствуют требованиям Положения о порядке присуждения ученых степеней. Таким образом, формальные требования к соискателю и его документам выполнены полностью. Комиссия рекомендует диссертационному совету:

1. Принять к защите диссертацию Апарина А.А., представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук;
2. Назачить в качестве ведущей организации по диссертации Научно-исследовательский ядерный университет МИФИ (г.Москва);
3. Утвердить в качестве официальных оппонентов по диссертации доктора физико-математических наук Пантуева Владислава Сергеевича (сотрудника ИЯИ РАН

г.Москва) и кандидата физико-математических наук Михайлова Константина Руслановича (сотрудника Института теоретической и экспериментальной физики);

4. Разрешить Апарину А.А. опубликовать автореферат диссертации в Издательском отделе ОИЯИ;

5. Назначить ориентировочную дату защиты конец сентября - начало октября текущего года, точная дата будет определена после публикации объявления, автореферата, рассылки автореферата.

Малахов А.И. Спасибо, Валентин Александрович. Апарин А.А. присутствует здесь (представляет). Если есть вопросы к нему или по документам, то прошу, пожалуйста. Я думаю, что мы можем принять решение. Мы это делаем открытым голосованием, просьба проголосовать, кто за?

(голосование: единогласно, против и воздержавшихся нет).

С первым вопросом мы закончили.

Теперь переходим ко второму вопросу. Вторым вопросом у нас это – защита диссертации Кашуком Анатолием Петровичем: “Мюонный детектор ЛНСб-спектрометра. Разработка, исследование, оптимизация параметров и режима работы камер с падовой структурой различной гранулярности”. Специальность 01.04.01 – приборы и методы экспериментальной физики, технические науки. Официальные оппоненты: Бару Семен Ефимович – доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник, институт ядерной физики им. Г.И.Будкера СО РАН (г.Новосибирск). Он отсутствует по уважительной причине, его положительный отзыв имеется. Вторым оппонентом Болоздыня Александр Иванович, присутствует, доктор физико-математических наук профессор кафедры экспериментальной ядерной физики и космофизики, главный научный сотрудник лаборатории экспериментальной ядерной физики, Национальный ядерный университет МИФИ (г.Москва). Третьим официальным оппонентом – Голутвин Игорь Анатольевич, тоже присутствует, Вы все его знаете, доктор физ.-мат. наук, профессор из нашего Объединенного института (г.Дубна), главный научный сотрудник. Ведущее научно-исследовательское учреждение Федеральное государственное бюджетное учреждение Государственный научный центр Российской Федерации Институт физики высоких энергий (г.Протвино). Теперь мы можем познакомиться с документами.

Арефьев В.А. знакомит членов совета с документами соискателя, представленными в совет. Сообщает, что документы оформлены в соответствии с требованиями Положения о порядке присуждения ученых степеней.

Малахов А.И. Вопросы есть? Все ясно? Если нет вопросов, Анатолий Петрович, Вам предоставляется слово.

Кашук А.П. Уважаемые товарищи, коллеги, добрый день и здравствуйте. Я немножко волнуюсь, но мое Отделение физики высоких энергий лет 40 называлось ЛФВЭ, поэтому я себя чувствую, как дома. Работа была выполнена в Отделении физики высоких энергий Петербургского института ядерной физики в Гатчине. Я работал более 10 лет в центральной группе в ЦЕРНе по созданию мюонного детектора, а также в четырех университетах Италии по этой же тематике, поэтому я представляю этот

детектор всесторонне. Название работы «Мюонный детектор LHCb-спектрометра. Разработка, исследование, оптимизация параметров и режима работы камер с падовой структурой различной гранулярности» написано на экране (слайд 1), подчеркнутое в названии слово «оптимизация» – ключевое, которое по всему моему докладу будет повторяться многократно. Поскольку ОИЯИ не участник LHCb-эксперимента, но вы прекрасно осведомлены, что это – один из четырех крупнейших экспериментов на Большом адронном коллайдере (БАК), поэтому я несколько слайдов покажу. Это – форвардный спектрометр, особенность его в том, что рождение пар кварк-антикварк, соответственно и В-мезонов, в *pp*-соударениях происходит в узком конусе углов, как показано на слайде 2. Поэтому достаточно усеченной геометрии, не 4π как ATLAS и CMS, при которой достаточно хорошо представлен оптимальный интервал псевдобыстрот 2-5. Особенность установки еще также в том, что магнитное поле переключается вверх и вниз, для исключения возможных систематических ошибок. Конечно, этот спектрометр содержит весь необходимый набор детекторов: от вершинного детектора, черенковских счетчиков, трековой системы, электромагнитного и адронного калориметров, до мюонного детектора, который обозначен зеленым цветом и состоит из пяти мюонных станций M1-M5 (активная площадь 435 кв.м.), которые чередуются с гигантскими железными фильтрами-абсорберами толщиной 0.5 метра. Оптимальная светимость для эксперимента $2 \times 10^{32} \text{ см}^{-2} \text{ с}^{-1}$ достигается небольшой расфокусировкой встречных пучков, и здесь показано, что при этом вероятность одного взаимодействия в банче составляет 0.4. Как видно из названия, логотип LHCb отражает одну из главных задач эксперимента: изучение нарушений CP-симметрии в процессах с участием тяжелых b-кварков в секторе физики В-мезонов (слайд 3) Есть и вторая задача: так называемым «косвенным методом» путем сравнения расчетов, выполненным по Стандартной модели (СМ) и измерений, попытаться найти проявления Новой физики (НФ) за пределами СМ. Величина ожидаемых отклонений невелика, на уровне процентов, поэтому предъявляются повышенные требования ко всем суб-детекторам, в том числе и к мюонным камерам. Научная программа эксперимента LHCb обширная и рассчитана на многие годы. На слайде 4 приведен пример спектра инвариантных масс с двумя мюонами в конечном состоянии. Как видно, из равернутого участка спектра в районе Ипсилон-мезона массовое разрешение великолепное. Эксперимент LHCb работающий, на слайде 5 показано, что он отработал первый трехгодичный цикл (Run 1). В 2010 году светимость была слабая, в 2011 – выше, в 2012 году достигнута номинальная светимость. Сейчас эксперимент отстоял положенное время (плановая длительная остановка LS1), и начался Run 2 – второй цикл. Мы находимся в точке (слайд 6), где заваршился трехлетний Run 1 и начался Run 2, как видно, эксперименту предстоит жить довольно долго – обнародованы планы до 2035 года. К концу Run 2 будет накоплена статистка 10 фбн^{-1} , сегодня уже накоплено 5 фбн^{-1} , обнародованы планы набора 50 фбн^{-1} (слайд 7). Модернизация установки с целью увеличения светимости на порядок будет произведена к сеансу Run 3, возможно, неполная, а частичная. Таким образом, многим камерам мюонного детектора предстоит отработать больше 25 лет при рекордных интенсивностях ($2 \times 10^{33} \text{ см}^{-2} \text{ с}^{-1}$) и энергиях

(с.д.м.14 $T\bar{E}B$), это очень серьезный срок для таких вопросов, как старение и механическая усталость конструкции. Возможно, будет какая-то замена камер внутренних регионов, о которых я сейчас буду говорить. Станция M1 перед калориметрами будет ликвидирована, ибо она “захлебнется”, если будет повышена светимость в 10 раз.

Основные задачи мюонного детектора, их две (слайд 8): 1) идентификация мюона, как частицы и 2) мюонный триггер по поперечному импульсу, начиная с 1 ГэВ/с. Мюонный детектор состоит из массивных раздвигающихся полустаций (извините за такой жаргон – железнодорожный), они чередуются с неподвижными железными фильтрами-абсорберами, их сдвинуть невозможно (слайд 9). В названии камер фигурирует номер станции M и номер региона R, например, M1R1 – станция M1, регион R1 самый ближний к пучку. Размеры регионов от пучка по площади удваиваются, как 1, 2, 4, 8. На слайде 10 приведена фотография раздвинутой станции, на слайде 11 – сдвинутой вокруг пучка, труба – это пучок. На слайде 12 показано, как гранулировано все это. Основные задачи гранулярности – обеспечить вычисление поперечного импульса с погрешностью 20%, начиная с 1 ГэВ/с, а также не допустить загрузку элементов и каналов системы выше 500 $\kappa\Gamma\text{ц}/\text{см}^2$. Как видно, многократное кулоновское рассеяние здесь доминирует и, если гранулярность вносит такой же вклад, как и кулоновское рассеяние, тогда достигается 20% точность вычисления поперечного импульса, как показано на графике. Базовая концепция уже была в 1998 году задана, как только я фактически вступил в коллаборацию. Уже был разработан документ TDR и здесь значились, как базовые, асимметричные камеры (с асимметричным зазором). Они показаны на слайде 13, две камеры, из которых потом собирается четырехслойная структура. Проволочки расположены на расстоянии 1 мм к ближайшему катоду, который сегментирован. Это нужно, чтобы срабатывал чаще один пэд. В этой концепции было уже посчитано для всей системы 236 тысяч физических каналов и 45 тысяч логических, которые строятся из физических путем логического объединения по ИЛИ и которые необходимы для вычисления поперечного импульса. Такими были стартовые условия...

О вкладе автора. На слайде 14 я привожу выдержки из отзывов двух руководителей эксперимента LHCb в ранге *Spokesperson*. Они меняются через два года. Первым руководителем был Голутвин Андрей Игоревич, он работает в калориметрах, я не просил его меня характеризовать, а вот следующий *Spokesperson* был из нашего мюонного детектора Pierluigi Campana. Он меня здесь характеризует, как “one of the key persons...”, поэтому я могу говорить, что мой вклад был существенным. Второй – ныне избранный *Spokesperson* Giovanni Passaleva подробнее рассказывает, употребляя такие эпитеты, как «invaluable, decisive contribution, original ideas, crucial role...» – этого достаточно, чтобы я имел моральное право сформулировать так свои научные положения, как написано: из 12 научных положений, которые я выношу на защиту, в восьми – определяющий вклад, а в четырех, где в основном измерения, – самое активное участие. За 15 лет работы по созданию установки и 3 года сопровождения камер в сеансах Run 1 мною лично накоплен богатый опыт и огромный

фактический материал, пришлось осмысливать все это, что и представлено в рукописи. Область научных исследований, если ее сформулировать, будет выглядеть следующим образом (слайд 16): разработка концепций и принципов, обеспечивающих создание высокоэффективных камер с высоким временным разрешением и быстродействием, с падовой структурой различной гранулярности для мюонного детектора эксперимента LHCb; исследование на пучках прототипов и опытных образцов камер окончательной конструкции; разработка и создание детекторной электроники; разработка методов ускорения и улучшения качества тренировки камер; разработка методик и результаты тестирования камер окончательной конструкции до их установки в шахту и в шахте; оптимизация режима работы камер мюонного детектора в эксперименте LHCb в период 2010–2012 г.г. (Run I). Содержание диссертации (слайд 17): 6 глав, 372 страницы (323 – собственно диссертация, остальные – Приложения из известных материалов, которые необходимы для обоснования тех или иных решений). В главе 1 рассмотрены основные теоретические положения построения высокоэффективных быстродействующих мюонных камер. В главе 2 приведены результаты исследования на пучках прототипов и опытных образцов многослойных камер с падовой структурой различной гранулярности. В главе 3 – массовое производство камер мюонного детектора, аппаратура и методы контроля качества производства. В главе 4 – разработка электроники, обеспечивающей высокое временное разрешение камер и близкую к 100% эффективность на временном интервале 25 нс. В главе 5 приведены результаты предустановочных тестов мюонных камер и оптимизации режима работы мюонного детектора в шахте. В главе 6 приведены характеристики мюонного детектора, полученные на встречных протонных пучках с энергией в с.д.м. $\sqrt{s}=7-8$ ТэВ, и основные выводы первой сессии эксперимента LHCb.

Принципы построения камер с падовой структурой различной гранулярности, принятые в LHCb, показаны на слайде 18. Это – WPC (Wire Pad Chamber), камеры с проволочным падами, когда пэд образуется соединением проволочек: высота камеры – один размер пэда, а ширина стрипа – второй. Стрипы разделены резисторами. CPC (Cathode Pad Chamber), камеры с сегментированными катодами. Понятно, что здесь можно сегментировать катоды, как угодно, но особенность такая: пэд имеет такую же ширину, как проволочный стрип. Стрипы также разделены резисторами, это – независимые каналы. Наконец, комбинированные камеры (CWPC – Cathode-Wire Pad Chamber). Это новый принцип, который выносится на защиту, хотя все приведенные принципы новые в том плане, что во всех камерах применено концептуально новое объединение слоев. Я эту концепцию тоже выношу на защиту. Камер 20 типов (слайд 19), это 20 регионов – 5 станций и 4 региона. Во внешних регионах это WPC, в центральных CPC, потом идут комбинированные CWPC и совсем вблизи пучка камеры M1R1 – Triple-GEM детекторы.

Положения, вынесенные на защиту, я начну сейчас формулировать. Из общих положений я выношу следующее (слайд 21): в сеансах эксперимента LHCb 2010-2012 г.г. (Run 1) получены новые научные результаты, которые вывели эксперимент LHCb на уровень мирового лидера в области изучения В- и D-мезонов *на многие годы, началась*

«эра LHC». В активе эксперимента LHCb уже несколько открытий и более 300 публикаций с новыми научными результатами, столько же докладов на международных конференциях. В качестве примера успешной работы эксперимента LHCb, где наиболее ярко проявился мюонный детектор, в Приложении к Главе 6 диссертации представлены результаты открытия редкого распада B_s и B_0 мезонов на два мюона $\mu^+\mu^-$ – одного из наиболее чувствительных каналов для поиска НФ. Напомню, что 30-летний период поиска этого распада на Тэватроне (США) давал сильное превышение вероятности распада над расчетным по СМ, что могло обозначать существование Новой физики. На самом деле эксперимент LHCb этот вопрос закрыл – пока все очень хорошо приближается к Стандартной модели, но тем не менее канал этот остается наиболее интересным для дальнейшего. На слайде 22 показано, как выглядит событие распада, когда рождается два мюона $\mu^+\mu^-$ в конечном состоянии, показаны импульсы двух мюонов. И вот 14 июня 2011 года был впервые показан на уровне 3.5 сигм небольшой пик, но на сегодня уже есть согласие с экспериментом CMS и совместный результат, а также есть уже улучшенный результат LHCb до уровня 7.8 сигм и посмотрите, какой прекрасный пик уже просматривается. Что будет на накопленной статистике 50 fb^{-1} ? Конечно, что-то будет интересное.

Первый пункт положения, которое я защищаю, звучит так (слайды 23, 24): созданы радиационно-стойкие высокоэффективные быстродействующие двух- и четырехслойные проволочные камеры с симметричными зазорами с падовой структурой различной гранулярности для внутренних регионов наиболее загруженных (где я фактически работа): M1R2, M2R1, M2R2, M3R1, M3R2, M4R1, M5R1. Здесь больше 30 тысяч каналов из 122 тысяч.

Новизна камер в уникальной совокупности следующих характеристик: высокое временное разрешение, обеспечивающее близкую к 100% эффективность регистрации мюонов на временном интервале $\Delta t=25$ нс (характеристика введена впервые, где 25 нс – период банчей БАК), что позволило надежно фиксировать принадлежность регистрируемых мюонов высоких энергий к данному банчу коллайдера, что, в свою очередь, важно для мюонного триггера; Координаты треков (X,Y) определяются независимо от числа треков в событии по номерам сработавших падов при преимущественном срабатывании одного пада в кластере, последнее свойство характеризуется специальной нормой – средней шириной кластера 1.2, что также важно для мюонного триггера; камеры обладают высоким быстродействием в том смысле, что электроны гарантированно удаляются из рабочего зазора за время $t<25$ нс; мертвое время каналов регистрации удовлетворяет требованиям, предъявляемым к просчетам не хуже 1% (даже при повышенных светимостях); пространственный заряд положительных ионов, накапливаемый в окрестности проволочек при высоких нагрузках, не оказывает влияния на усиление и эффективность камер до нагрузок 500 $\mu\text{Гц}/\text{см}^2$, превышающих проектную норму в 5 раз. Я должен сказать здесь, что мюонные камеры эксперимента LHCb конструктивно похожи на мюонные камеры экспериментов CMS, ATLAS, Totem. Они выполнены на панелях, это не камеры Шарпака, если вы помните, с майларовыми окнами и алюминиевыми рамами. Это панели, на которые

намотаны проволоочки. Этого достаточно для мюонных камер, здесь не критично многократное кулоновское рассеяние. Я приведу несколько иллюстраций, как производились камеры, производилось все – панели, на которые наматывались проволоочки (слайд 25), лазером паялись концы проволоочек, дозировался автоматически эпоксидный клей при склеивании (слайд 26), герметизация осуществлялась склеиванием, т.е. камеры – неразборные, часть камер – разборные, показаны справа (слайд 27). Автоматизированный контроль качества производства показан на слайде 28, здесь измерялись шаг и натяжение проволоочек. В частности, справа показана моя установка, я ее предложил, майларовая полоска бьет соленоидом по проволоочкам, последние колеблются на своих характерных частотах, лазер и фотоприемник измеряют частоту колебаний. Натяжение связано с частотой колебаний. Этот прибор не выносится на защиту, это техническая работа.

Новый принцип организации падовой структуры (следующее положение, пункт 2, слайд 29) с гранулярностью меньше 1 см в горизонтальной или отклоняющей плоскости ЛНСб-спектрометра, что необходимо для отбора мюонов, начиная с поперечного импульса $P_T=1$ ГэВ/с, в камерах комбинированного типа CWPC (Cathode-Wire Pad Chamber) с симметричным зазором. Здесь пад образуется логической операцией И сигналов с “узкого” проволоочного стрипа и относительно “широкого” катодного пада (предельный случай: одна проволоочка совпадает с неким пэдом); новый принцип, увеличив гранулярность, позволил уменьшить число каналов для триггерных целей с 45 тыс. (если помните, TDR 1998 г.) до 26 во внутренних областях мюонного детектора (существенное уменьшение числа каналов).

Новый принцип позволил отказаться от асимметричных камер с меньшим индукционным зазором в пользу симметричных камер с бóльшим зазором, но с меньшим мертвым временем и более простых в изготовлении и эксплуатации. Я повторил рисунок (слайд 30), как выглядит образование эффективного пада совпадением. Распределение Гатти, которое описывает наведение зарядов с проволоочки на катоды (слайд 31), имеет довольно широкие “хвосты” в сравнении с Гауссом. В этом случае, если зазор между проволоочками и катодами 2.5 мм, то при пороге регистрации 1 н.эл. допустимая ширина пада получится 4 см; при пороге 4 н.эл. (наш случай) – 3 см, меньше нельзя, иначе будут срабатывать два пэда одновременно. Чтобы достичь 1 см, нужен порог 8 н.эл. К этому вопросу я еще вернусь позже.

На защиту выносится новая концепция построения высокоэффективных камер (слайд 32), основанная на удвоении среднего числа кластеров первичной ионизации в рабочем зазоре объединением слоев проводным ИЛИ (элементов слоев), позволившая существенно улучшить временное разрешение камер по сравнению с известным объединением слоев логическим ИЛИ.

Новая концепция привела к отказу от концепции, ранее утвержденной TDR 1998 г., т. к. эффективность регистрации мюонов на временном интервале $\Delta t=25$ нс достигает 100% при меньшем мертвом времени; концепция позволила уменьшить в 2 раза число каналов электроники (сейчас я объясню все более подробно, с 236 тысяч до 122), что существенно, потому что стоимость мюонного детектора составляет 11 млн.

швейц. франков; концепция внедрена во всех четырехслойных камерах станций M2–M5 мюонного детектора – 1104 шт.

Прежде чем показать эффект улучшения временного разрешения несколько слов о том, сколько рождается первичных кластеров в зазоре при прохождении мюонов высоких энергий. На слайде 33 показан расчет программой HEED, моделирующей процесс, и видно, что в интервале энергий 0.1-1 ГэВ в минимуме образуется $n_{min}=13$ первичных кластеров на длине 5 мм, начиная с 2 ГэВ, $n=15$, ну а на плато и того выше (наша газовая смесь $Ar/CO_2/CF_4=40/50/10$ – белые круглые точки). В кластере, как правило, один электрон, но есть и хвосты. Как видно, в кластере один электрон в 80% случаев, может быть и много с малой вероятностью (слайд 34). Добавка CF_4 в газовой смеси “съедает” много электронов особенно в слабых полях. На слайде 35 сверху показано, что есть максимум прилипания, а внизу показано, как начинается усиление (α – первый коэффициент Таунсенда). Итак, между проволочками в слабых полях электроны устраниаются прилипанием, вокруг проволочек образуются концентрические счетчики (“ковер” пропорциональных счетчиков, термин В.Зинова). Даже при больших наклонах треков в этой области сохраняется примерно одинаковое число первичных электронов. Это свойство электроотрицательной добавки давно известно. На слайде цитируется работа 1970 г. с этил-бромидом, формируются концентрические активные области вокруг проволочек и устраняется показанный на рисунке “хвост” во временном спектре от медленных электронов. Подчеркиваю еще раз, сигналы от электронов должны попасть в банч, выход за пределы банча – потеря эффективности. А теперь, если мы представим, что сигнал образуется потоком кластеров (13 кластеров в среднем в зазоре, $n=13$), то Пуассон с распределением, как показано на слайде 36, если считать, что $n=13$, а k – порог (кажем 1, 2 и т.д.), то получим распределения, как показано слева сверху или интегральные распределения, как показано внизу. Горизонтальная шкала это фактически интервал h , нормированный к единице (дистанция анод-катод), т. е. hx – это переменная, и относительно этой переменной построены распределения. Как только мы объединили проволочки на входе усилителя таким образом, как показано сверху справа для двух слоев, то, как видно, все распределения сузились в 2 раза. Проводное ИЛИ лучше логического ИЛИ, временное разрешение лучше в $\sqrt{2}$ раз, а число каналов электроником в 2 раза меньше. На слайде 37 показано проводное объединение и соответствующие распределения, на интегральном распределении выход на эффективность 100% происходит за время меньше 25 нс с запасом. Для логического объединения разрешение было бы в $\sqrt{2}$ раз шире и выход на эффективность – позже; что касается одного слоя, то здесь – просто двойка. Исторически (1972 г.) G.Charpak – изобретатель проволочных камер, Нобелевский лауреат уже показывал зависимость временного разрешения от напряжения. Но он ничего не сказал, почему они такие, как приведено на слайде 38, в частности, здесь довольно хорошо видна точка “перелома” и выход на насыщение. На рисунке также показаны средне-квадратичные значения распределений, довольно большие, мы будем иметь меньшие значения почти на порядок, и мертвое время у Шарпака – несколько сттен наносекунд, у нас будет много лучше. Итак, Шарпак не объясняет выполаживание

зависимостей, а что выполаживание должно быть было видно из предыдущих слайдов. На слайде 36 показано, что если $k=0$, т.е. порог 1 первичный электрон, то распределение Пуассона переходит в экспоненту и меньше этого разрешения уже не получить, т.е. уменьшение порога или увеличение напряжения (что одно и то же) приводит к выполаживанию. А теперь наша интерпретация экспериментально... Первая камера, которую ПИЯФ представил в 1998 году была двухслойная WPC с проводным ИЛИ (слайд). Вверху амплитудный спектр, внизу – временной спектр, время справа налево. Показана аппроксимация Гауссом, видно разрешение $\sigma_T=2.2$ нс, газовая смесь Ar(40)CO₂(45)CF₄(15) содержит CF₄. Временное разрешение от напряжения ведет себя, как показано внизу справа. Зависимость, как видно, стремится к выполаживанию, причем практически не зависит от углов 0, 100 и 200 мрад. Показаны спектры при большем напряжении, временной спектр больше похож на экспоненту (Пуассон вырождается в экспоненту), $\sigma_T=1.8$ нс. И вот наша интерпретация (слайд 40), важную дополнительную информацию можно извлечь из рисунка, который я приводил раньше из работы Шарнака. Как видно, зависимость эффективности на интервале 20 нс от напряжения выходит на плато, при этом временное разрешение изменяется таким образом, как показано внизу слева, и выполаживается и мы говорим: «здесь порог 1 п.э.», зависимость выполаживается в точке 1 п.э. Так ведет себя камера-прототи СРС. Справа – камера M2R1 (комбинированная, CWPC) окончательной конструкции. Справа показаны зависимости временного разрешения от напряжения для однослойной камеры и двухслойной. Мы можем аппроксимировать эти зависимости, например, прямыми линиями. Мы видим, что точки выполаживания отличаются по напряжению на 100 В, наклоны прямых отличаются в 4 раза, это говорит о том, что электрическое поле между катодом и анодом довольно однородно на первом участке, а ближе к проволочкам становится неоднородным, это – отражается наклоном линий. Мы знаем скорость дрейфа электронов у катода 90 мкм/нс при напряженности поля 6 кВ/см. Тогда, если это – 90, то ближе к проволочка в 4 раза больше, т.е. 360 мкм/нс. Теперь мы можем нанести на этот график и расположение зазора. Там, где порог 1 п.э. – уже проволочка, начало участка h , а там, где порог настолько высокий, что загибается зависимость, ближе к катоду – конец участка h . Мы можем связать геометрические размеры и скорости и вычислить, что на первом участке время собирания первичных электронов 13.9 нс, на втором – 3.5 нс, в сумме 17.4 нс, можем также оценить мертвое время канала регистрации по ширине импульса 54.8 нс. Я потом покажу результаты измерения, они близко ложатся к этим значениям. Таким образом, много дополнительной информации можно извлечь из этой зависимости. Аналогично ведет себя GEM-детектор (слайд 41). Обратите внимание, выполаживание зависимости временного разрешения от усиления более выражено, потому что скорость дрейфа электронов в зазоре GEM-детектора постоянная, в данном случае 125 мкм/нс. Как видно, GEM-детектор обладает большим мертвым временем, видите 70 нс, а в проволочных камерах было 50 нс.

Концепция удвоения среднего числа кластеров первичной ионизации в рабочем зазоре объединением слоев проводным ИЛИ не была запатентована для проволочных камер, но потом была защищена двумя патентами РФ применительно к газовому

электронному умножителю, что свидетельствует об универсальности подхода. Такой детектор с рабочими зазорами 1 мм и мертвым временем меньше 25 нс с проводным объединением слоев предложен мною для работы при светимости, превышающей нынешнюю в 10 раз (LHCb-апгрейд). Не знаю, пройдет или нет это предложение, во всяком случае, мною предложено.

Положение 4: результаты исследования на пучках камер-прототипов и опытных образцов двух- и четырехслойных камер с симметричными и асимметричными зазорами, созданных для различных регионов мюонного детектора с различной гранулярностью (WPC, CPC, CWPC). Определены условия и найдены технические решения, при которых камеры указанных типов удовлетворяют требованиям эксперимента. Экспериментально показано, что асимметричные камеры с катодными падами, которые рассматривались, как основные, в ранних проектах эксперимента LHCb не имеют преимуществ перед симметричными камерами. В индукционных камерах типа CPC обнаружены паразитные резонансы, найдены способы их подавления. Тщательно исследовалось радиационное старение камер в радиационных полях и дозах, ожидаемых в эксперименте. На основании этих измерений камеры окончательной конструкции были выполнены с золочеными катодами, чтобы воспрепятствовать образованию окислов меди на поверхности катодов под воздействием радиации, что, в свою очередь, могло привести к возникновению эмиссии с катода типа эффекта Мальтера, которая сопровождается спонтанными отключениями питания камер. Обнаружено травление стеклотекстолита при 20% концентрации тетрафторида CF_4 , при наличии воды образуется кислота HF, что было принято во внимание и привело к выбору окончательной газовой смеси с уменьшенной добавкой CF_4 – 5%. Совсем ее ликвидировать нельзя. Для снижения напряжения с целью повышения надежности увеличен шаг проволок с 1.5 до 2 мм, что позволило уменьшить рабочее и напряжен.

Я хочу защитить также п.5 (слайд 45), где сказано следующее: впервые показано на альфа-частицах, специально введенных в газовую смесь, что в трехкаскадном Triple-GEM детекторе – микроструктурном детекторе (новом на 1998 г., буквально через год, как F.Sauli запатентовал новый детектор) нет пробоев до усиления $4 \cdot 10^4$. Одновременно показано, что в двухкаскадном Double-GEM детекторе (который в то время готовился для эксперимента COMPASS в количестве 20 камер) пробой в отверстиях происходит при усилении 1000. Таким образом, мы сделали вывод, что такой детектор, очевидно, ненадежный и его применение в спектрометрах высоких энергий проблематично и F.Sauli был осведомлен первым. Эта работа была выполнена на 3 года раньше тех публикаций, на которые сегодня все ссылаются. Защищается приоритет (ПИЯФ 1998 г., F.Sauli, CERN 2001 г.), у нас были опубликованы препринт ПИЯФ и нота LHCb, а не статья в нереферируемом журнале. Правильность выводов, полученных еще в 1998 г. в рамках подготовки к эксперименту LHCb, подтверждается последующим успешным применением Triple-GEM детекторов в эксперименте COMPASS (2001 г.), затем в LHCb и TOTEM, а в настоящее время именно Triple-GEM детектор активно внедряется в мюонную систему эксперимента CMS-апгрейд. А вот полученный результат: на слайде 46 показано, что Double-детектор имеет пробой в отверстиях при усилении 1000,

а в Triple-детекторе нет пробоев до усиления 40 тысяч, закончилось напряжение питания 3 кВ, а пробои только начались. Альфа-частицы имели энергию 6.4 МэВ; белый порошок соли $\text{Th}(\text{CO}_3)_2$ радиоактивного тория был помещен в газовый поток; рабочий газ обогащался радиоактивным радоном, последний там распадался с образованием альфа-частицы с энергией 6.4 МэВ, производящей в зазоре гигантское количество первичных носителей заряда, 20-200 тысяч.

Положение 6 (слайд 47): разработан и успешно применен новый метод ускоренной тренировки проволочных камер (непосредственно после сборки) с целью уверенного вывода их в область рабочих и предельных напряжений. Предельным считается то напряжение, при котором порог становится равным 1 п.э. Новизна – в использовании обратного напряжения (это многие делали), но и интенсивного облучения камеры гамма-квантами на установке GIF (Cs-137, 30 кГц/см²). Время тренировки камер сократилось с 48 ч до 5 ч в 10 раз, что важно при массовом производстве большого количества камер. Для мюонного детектора ЛНСб производилось 1380 камер, требовался ритм производства, включая тренировку: “камера в день”, понятно, что полученный результат важен. Я подавал для интереса после такой тренировки положительное напряжение со скоростью нарастания 500 В/с без проблем, что говорит о высоком качестве подготовки поверхности проволочек. После такой обработки проволочки абсолютно чистые, на проволочках расчетные напряженности. Вот как это происходило: на слайде 48 приведены вольт-амперные характеристики; справа приведена характеристика для отрицательного напряжения, показанный “нарост”, сопровождавшийся большими скачками тока, в итоге исчезал; характеристика стабилизировалась через 5 ч бомбардировки поверхности проволочек положительными ионами. Стабилизированная характеристика при отрицательном напряжении повторена слева, где показана и характеристика при положительном напряжении вплоть до предельного напряжения 2800 В.

Применение GIF и высокоинтенсивного облучения камер позволило обнаружить и неприятные явления. На катодах в некоторых камерах возникала эмиссия, тот самый эффект Мальтера, но в новых камерах. Откуда взялся? Оказывается причиной стала несовершенная дозировка эпоксидного клея при приклеивании спейсеров. Клей растекался по металлической поверхности, образуя тонкую пленку, на которой накапливались положительные ионы, образуя аномально высокую напряженность электрического поля, вызывающую туннелирование электронов из металла через пленку в газ. Появлялись токи эмиссии, превышающие темновые токи в 1000 и более раз. Такие токи возникают до сегодняшнего дня в эксперименте, но они не страшны, они исчезают сами. Мною было показано, почему они исчезают, эмиттеры разрушаются, был предложен метод подавления эмиссии разрушением эмиттеров. Камеры с подавленной эмиссией (250 камер внутренних областей) успешно работают в эксперименте. Защищается новый метод контроля качества поверхности катодов (п.7), основанный на использовании облучения камеры интенсивным потоком гамма-квантов (Cs-137, 30 кГц/см²), слайд 49.

Я перехожу к электронике, слайд 50. Разработана и создана новая малошумящая радиационно-стойкая детекторная электроника с высокой степенью интеграции с коротким пиковым временем 8-10 нс, допускающая подключение больших по площади пиков с емкостью до 250 пФ, обеспечивающая при этом минимальный шум, высокое временное разрешение камер при малом мертвом времени. Впервые в каждый канал электроники введены цифро-аналоговый преобразователь для отдельной установки порогов, а не объединенного, которое как правило очень часто делается, а также «пересчетка» (я позже расскажу, для чего). Это позволило проводить дистанционно мониторинг как параметров шумовых распределений, так и мертвого времени каналов регистрации с высокой точностью (122112 каналов). Как выглядит электроника, установленная на камерах по периметру, показано на слайде 51. Разработано два чипа: CARIOCA и DIALOG по радиационно-стойкой технологии CMOS 0.25 мкм фирмы IBM. 8-канальные чипы CARIOCA имеют пиковое время $T_p=10$ нс (8 нс у ASDQ чипа), изготовлено 8000 плат CARDIAC=CARIOCA+DIALOG, особенность: компенсация ионного «хвоста» с другими параметрами, чем это обычно было принято. Новизна в том, что пиковое время минимизирует шумы, а также временное «гуляние» практически по одинаковой формуле. На слайде 52 указано, что пиковое время 10 нс минимизирует шумы в интервале емкостей детектора от 50 до 300 пФ (наша область). На слайде 53 показана другая новизна в том, что описанием сигнала тремя экспонентами (тремя полюсами в частотной области) и надлежащим выбором параметра t_0 можно уменьшить мертвое время канала регистрации. Если предположить, что скорость дрейфа положительных ионов пропорциональна E – напряженности поля, то получится $t_0=1.5$ нс. Так было принято в чипе ASDQ американской разработки для детектора CDF в Фермилабе. В чипе CARIOCA мы предположили что скорость дрейфа положительных ионов пропорциональна \sqrt{E} , тогда получается $t_0=3.0$ нс. Аппроксимация сигнала тремя экспонентами с $t_0=3.0$ нс и компенсация двух полюсов соответствующими нулями фильтра дали меньшее мертвое время, как показано на рисунке, где камера облучалась 60 кэВ-квантами от источника ^{241}Am : мертвое время чипа CARIOCA меньше чем ASDQ.

Положение 9 (слайд 54). Разработан и внедрен новый метод реконструкции шумовых распределений, построенный на сканировании «шумовой дорожки» порогом дискриминатора. При этом измеряются параметры одновременно двух важных шумовых распределений: на входе предусилителя – эквивалентный шумовой заряд и нулевой порог и среднеквадратичное значение шумового счета на выходе дискриминатора. Это нужно для установки порогов мюонных камер. Предложена удобная характеристика усилителя-фильтра – частота Райса. Этот термин я ввожу впервые, так проще. Она в учебниках по статистической радиотехнике называется квазичастота стационарного гауссова процесса, как то это очень длинно. Американский ученый O.Rice еще в 40-х годах вывел соответствующую формулу эвристически, а советские математики в 60-х годах строго доказали эту формулу. Она очень важна во многих приложениях. По мнению автора диссертации частота Райса является фундаментальной характеристикой усилителя-фильтра. Она обозначает шумовой счет при нулевом пороге, другими словами, она указывает, где нулевой порог. Терма звучит

так: это среднее число пересечений нулевого уровня случайным сигналом в секунду. Частота Райса может быть найдена по шумовой полосе частот, но, как правило, такую характеристику разработчики не приводят и пользователю приходится самому измерять эту частоту. На слайде 55 я покажу, когда мы меняем емкость на входе усилителя, то получаем разные шумы, описываемые прямыми линиями, но все показанные прямые устремляются в одну точку. Эта точка и есть частота Райса. Все знают, что с увеличением порога, интенсивность шумового счета уменьшается, а вот что в нуле? Это – формула Райса, это отношение второй производной автокорреляционной функции случайного сигнала в нулевой момент времени и самой функции в нуле. В частотной области эта формула может быть записана, как показано внизу, через отношение интегралов спектральной функции. Если, например, последовательный шум, связанный с емкостью, доминирует (наш случай) или наоборот параллельный шум, связанный с током, доминирует, тогда член, связанный со случайным сигналом, сокращается и получается частота фильтра, где ее определяют только постоянные времени. Получается частота, а не квазичастота. На слайде 56 показано, как частота Райса помогает фитировать шумовые данные. Если мы просканировали шумовую дорожку и получили некоторые шумовые точки, то, добавив еще одну точку – частоту Райса, находим, где нуль и чему равна сигма. Теперь можно выставить порог относительно нулевого, равный $n\sigma$. На рисунках показаны другие способы фитирования.

Положение 10 (слайд 57): впервые предложен и применяется новый метод диагностики системы – дистанционный мониторинг эквивалентного шумового заряда (ENC – Equivalent Noise Charge) в каждом канале мюонного детектора в течение времени жизни эксперимента LHCb. Если помните, 25 лет будет работать эксперимент и 25 лет мы будем измерять этот параметр и следить, как ведет себя система. Это делается с целью обнаружения на ранней стадии развития таких нежелательных явлений и эффектов, как радиационное старение и механическая усталость конструкции мюонных камер. Я повторю, что могут быть и “вспучивание” панелей (это уже наблюдалось), и ослабление натяжения проволочек (это уже наблюдалось), и может быть травление стеклотекстолита (CF4 работает)... Автор считает, что ENC – наиболее чувствительный параметр для обнаружения малейших нежелательных изменений состояния камер с целью своевременного реагирования для снижения рисков.

Положение 11 (слайды 58 и 59). Предложен и внедрен новый метод оптимизации режима работы камер мюонного детектора, основанный на минимизации газового усиления, что можно сделать, выполнив следующие условия: минимальный шумовой порог электроники; максимально допустимый порог регистрации в первичных электронах, при котором выполняется заданная норма эффективности регистрации мюонов высоких энергий на временном интервале $\Delta t = 25$ нс. Напомню, если газовое усиление есть отношение вторичного числа электронов к первичному числу, то это справедливо на уровне порога, и формула усиления будет выглядеть просто: шумовой порог электроники, выраженный в электронах, отнесенный к некоторому априори заданному порогу в первичных электронах. Если мы минимизируем газовое усиление, то автоматически мы минимизируем очень много других нежелательных вещей и

явлений: минимальные кросстоки (все виды кросстоков); минимальную ширину пространственного кластера; минимальное мертвое время канала регистрации; минимальный пространственный заряд, что должно уменьшить влияние загрузки на газовое усиление (в итоге – на эффективность); минимальное интегральное накопление заряда в камерах в течение эксперимента, что должно уменьшить эффекты радиационного старения и продлить время жизни детектора. Мы уже знаем, что если увеличивать напряжение, то мы найдем точку с порогом 1 *п.эл.* по выполаживанию зависимости временного разрешения от напряжения. Это будет метод абсолютной калибровки порогов (в первичных электронах). Далее я приведу результаты расчета оптимального режима работы камер с различной гранулярностью (слайд 60) по этой простой формуле, и покажу, что они хорошо согласуются с тем, что было установлено в сеансах Run 1.

Напоминаю, что необходимо для расчета оптимального режима (ингредиенты). Камеры с различной гранулярностью, это – камеры с различными емкостями детектора, емкости эти известны, записаны в базу данных. Мы можем построить классическую зависимость ENC как функцию C (слайд 61), по вертикальной оси – измеренный сканированием шум, по горизонтальной оси – известная емкость. Теория представлена линией. Здесь учтены пиковое время 10 *нс*, форм-факторы, характеризующие форму импульсного отклика, и даже повышенная температура 320K из-за рассеиваемой мощности (электроника нагревается). Баллистический дефицит измерен, как показано на слайде 62. По определению, это – фракция заряда, собираемого за пиковое время. Она измерена и составляет 0.085 или 8.5%, расчет для $t_0=3.0$ *нс* дает 0.105, что-то близкое. Мы знаем усиление от напряжения и имеем счетную характеристику, измеренную от источника ^{55}Fe , создающего точечную ионизацию, мы знаем точку, соответствующую энергии 5.9 *кэВ*, она соответствует заряду 220 *п.эл.* Сопоставив напряжения, определим чему равно усиление и баллистический дефицит. Зависимость газового усиления от напряжения приведено на слайде 63. Показан интервал изменения для региона Женевы по наблюдениям за много лет атмосферного давления $\pm 2.5\%$. Видно, что на каждые 100 *В* газовое усиление удваивается (1.96).

Возвращаясь к таблице оптимального режима (слайд 60), я посчитал, что для тех напряжений, которые были установлены на мюонных камерах в сеансах Run 1, GEM-детекторы работают при пороге 1 *п.эл.*, проволочные камеры от 4, 5 до 8 *п.эл.* – такой разброс. На этом основании была издана работа и доклад, где я предложил уменьшить этот разброс и увеличить пороги до 8 *п.эл.*, мною это было предложено, но коллаборация отказалась, решили и дальше работать так, как работали в Run 1. Таким образом, мы знаем, что мы имеем пороги, как показано в таблице на слайде 60.

Положение 12 (слайд 64): результаты измерения основных характеристик камер мюонного детектора на космических мюонах высоких энергий, проникающих в шахту на глубину 100 м; показано, что система готова к эксперименту (2009 г.), и результаты измерения основных характеристик камер мюонного детектора, полученные впервые при энергиях встречных протонных пучков в с.ц.м. $\sqrt{s}=7$ и 8 *ТэВ* при светимости $4 \cdot 10^{32}$ $\text{см}^{-2}\text{с}^{-1}$, превышающей проектную в 2 раза, и светимости 10^{33} $\text{см}^{-2}\text{с}^{-1}$, превышающей

проектную в 5 раз. На слайде 65 приведены примеры измерения временного разрешения всех типов камер: $\sigma_t=2.6-3.2$ нс. Есть встроенные время-цифровые преобразователи, которые за этим следят. На слайде 66 приведены эффективности двухслойных камер всех типов, измеренные при повышенной светимости в 5 раз. Красной линией показан допустимый уровень эффективности 0.95 (этот уровень для четырехслойной камеры даст 0.997). Как видно, здесь наиболее узкое место – камера M2R1. Внизу показано, что площадь проволочных стрипов больше, чем площадь катодных падов, и провал эффективности больше. Но это – повышенная светимость в 5 раз, при номинальной светимости мы удовлетворяем всем требованиям. На следующем слайде 67 показана неэффективность мюонных камер для всех типов камер, измеренная при проектной светимости. Хорошо виден эффект мертвого времени в неэффективности камер внутренних регионов. Красной линией показан уровень неэффективности 0.1%. Видно, что неэффективность не превышает 1 % даже в случае мертвого времени 80 нс (результат моделирования). Я сейчас покажу (слайд 68), что измеренное мертвое время равно 50 нс. У нас есть встроенные средства для измерения мертвого времени каналов регистрации – в каждом канале пересчетка. Здесь показано, как мы это делаем. По горизонтальной оси отложена разность счетов при различных светимостях – специально набираются данные при различных светимостях, мы знаем светимости, измеренные другими средствами. По вертикальной оси отложены отношения счетов. Наклон прямой линии, построенной в отрезках на осях, дает величину мертвого времени. Пример измерений для камеры M2R1 приведен в таблице на слайде 69. Смотрите, для разных интервалов светимостей 4 и 6, 4 и 8, шесть раз измерялось мертвое время катодных каналов, получено в среднем мертвое время 48 нс с точностью ± 1.5 нс. Найдено, что в анодных каналах мертвое время меньше приблизительно на 20% чем в катодных, что объясняется просто разными емкостями на входе предусилителей: 75 пФ в анодном канале и 131 пФ – в катодном, происходит интегрирование сигналов.

Наконец, эффективность камер, как функция импульса мюона в широком интервале импульсов показана на слайде 70, для разных триггеров: 0.995, 0.99 по всем 20 типам мюонных камер. А эффективность и неэффективности идентификации мюона как частицы представлены на последнем слайде 71. Как видно, неэффективность зависит от импульса и не превышает проектных норм, проценты.

Слайды сопровождалась ссылками на публикации по диссертации с участием автора: 20 публикаций в рецензируемых журналах и сборниках трудов международных конференций с учетом 2-х патентов на правах публикаций, 33 препринта CERN и ПИЯФ показывают, кто фактически эту работу выполнял (в журнальных статьях, как правло много авторов), написанных на основании докладов автора диссертации, сделанных на собраниях коллаборации LHCb в период 1997-2016 г.г.

Спасибо за внимание.

Малахов А.И. Спасибо, Анатолий Петрович. Сейчас время задать вопросы, если таковые имеются. Пожалуйста, Евгений Денисович.

Донец Е.Д.

Вопрос: Уточните, пожалуйста, Triple-GEM детектор вами предложен?

Ответ: “В том смысле предложен, что мы исследовали первыми поведение такого детектора на альфа-частицах.

Вопрос: Тогда другой вопрос, он был известен?

Ответ: Нет, в тот момент он никем не был опубликован (термин “Triple-GEM” отсутствовал). Были общие слова у Саули, что каскадировать можно, но Double-GEM уже шел, 20 камер шло уже для эксперимента COMPASS, вот в этот момент мы внесли коррективы, сказали, что Double-GEM это опасно, и COMPASS применил Triple-GEM.

Вопрос: Triple-GEM был известен?

Ответ: Нет, мы были первыми.

Малахов А.И. Спасибо, еще вопросы.

Золин Л.С.

Вопрос: Triple-GEM вроде бы просто объясняется, при усилении 1000 пробой в двухслойном; получается на одну плоскость ~ 30 предельное усиление, после которого – пробой, три плоскости получается 4×10^4 . Вроде бы есть предельное усиление, если вы его превышаете, то начинаются пробои, а плоскостей вы сколько хотите можете городить – 3, 4, 5... Вы сами отметили, что этот усложняет конструкцию и потом это, наверное, наращивание портит сильно координатное разрешение?

Ответ: По GEM-детекторам в России защищено две докторских диссертации: А.Ф.Бузулуцков по тематике двухфазных детекторов и Л.И.Шехтманом (обе – Новосибирск). У Шехтмана получено разрешение несколько десятков микрон – замечательный прибор в этом смысле.

Вопрос: В зависимости от числа плоскостей?”

Ответ: У Шехтмана Triple-GEM... Надо сказать, что Triple-GEM довольно часто применяется, но я отметил это только потому, что мы были пионерами в исследовании его на надежность. Потом я внес в него еще одно предложение, очень большие кросстоки через GEM-электрод на пэды, доходящие до 100%. Приходится ставить блокирующие емкости на нижний электрод, а постановка таких емкостей “взрывает” систему, она становится неустойчивой, появляются резонансы, и приходится ставить демпфирующие резисторы. Эту проблему я также решил, у нас в ЛНСб применены блокирующие конденсаторы и демпфирующие резисторы.

Малахов А.И. Спасибо. Пожалуйста, Лев Николаевич.

Зайцев Л.Н.

Вопрос: Скажите, пожалуйста, по какому параметру определяется радиационное старение?

Ответ: Интегральный заряд на длину проволоочки, 1 Кл/см .

Вопрос: Вы меня не поняли. Что изменяется, какие свойства изменяются?

Ответ: Какие свойства? Ну, здесь чисто эмпирически, при накоплении такого заряда на длину проволоочки (1 Кл/см – это вся жизнь детектора), что мы обнаружили: при этом были обрывы проволоочек, это фиксируется, как факт. CF_4 тоже “работает”, вызывая травление стеклотекстолита, а в GEM-детекторе отверстия увеличивались в полтора раза, вытравливался каптон; это показано у нас, но 20 В достаточно, чтобы скомпенсировать это изменение. Радикалы на проволоочках при золочении катодов не

обнаружены, CF_4 хорошо “чистит” поверхность проволочек – это тоже факт, но он травит стеклотекстолит.

Вопрос: А при каких дозах? Старение характеризуется какими-то дозами.

Ответ: Порядка 1 *Мрад*, для гамма, там много частиц проходит другого типа.

Малахов А.И. Пожалуйста, Михаил Николаевич.

Капишин М.Н.

Вопрос: На одном из первых слайдов было сказано, что восстановление X, Y координат не зависит от числа треков. А как в случае попадания двух треков в один пэд, какова вероятность, что две частицы попадают в один пэд? При этом информация теряется.

Ответ: Как ответить на этот вопрос, я не знаю, но мы видим, что эффективность высокая, а образование другого хита даст фактически фоновое событие. Я показал, что неэффективность на уровне долей процента для мюонов или даже процента – это отличный результат. Потом у нас многослойная структура, куда пришелся “чужой” хит, в системе есть переопределение.

Вопрос: Но вы сказали, что не зависит от числа треков.

Ответ: Это я строго сказал, согласен. Но если бы не было пэдовой структуры, то было бы совсем плохо.

Тяпкин И.А. А какова осцирапсу, скажите, тогда будет ясно. Когда вы говорите эффективность, то нужно говорить, что такое “эффективность”.

Ответ: “На тестовых пучках эффективность камер измерялась относительно годоскопов. Если загрузка 500 кГц/см^2 при 40 *нс* периоде банчей, получим вероятность наложения 2 %, а реально – доли процента, значит загрузка меньше, указана завышенная величина. Здесь я привел довольно высокую эффективность мюонов с известным импульсом. Получается другое дело с наложениями.

Малахов А.И. Ну, ладно, вопрос был, ответ был. Дискуссия будет позже. Владимир Алексеевич, хочет задать вопрос.

Никитин В.А.

Вопрос: Не совсем по теме диссертации, но все же хорошо, если бы вы прокомментировали, какие главные результаты получены за 15-20 лет работы этой установки?

Ответ: Установка это отработала первые 3 года, 15 лет создавалась.

Вопрос: Ну, 3 года, все равно приличное время. Вы упомянули обнаружение редких распадов B-мезонов.

Ответ: Я ссылаюсь только на один распад B_s -мезона на два мюона, где я соавтор, но там масса других распадов и многие из этих распадов тоже кандидаты на обнаружение Новой физики.

Вопрос: Вы могли бы привести пару результатов, полученных на этой установке?

Ответ: Нет, не смог бы, я привожу физические результаты как приложение к своей методической работе.

Вопрос: Вы говорите 25 лет работы впереди. Неужели на 25 лет возможно написать физическую программу, когда все меняется в течение года?

Ответ: “Программа исследований обнародована, там записано: широкая область исследований. Сейчас на 50 фбн^{-1} это будет распад B_s -мезона на два мюона – один из интереснейших распадов, нужно уменьшать статистическую погрешность. А также много чего еще... А дальше я уже слышал и 200 фбн^{-1} , я не знаю, когда это будет. Во всяком случае установка будет работать до тех пор, скорее всего, пока будет работать ЛНС. Меня лично беспокоит надежность, может ведь “посыпаться” все, уже наблюдаются явления, когда что-то выходит из строя. Как это будет развиваться? Так и будет по одной камере или пойдут групповые проблемы.

Тяпкин И.А. Очень хорошо, быстрее “посыплется”, будет больше людей вовлечено для решения проблем, будут диссертации...”

Малахов А.И. “Игорь Алексеевич, дискуссии потом, сейчас вопросы. Леонид Сергеевич, пожалуйста.

Золин Л.С. Вопрос на эту тему, у вас шумовой параметр старения канала...

Кащук А.П. Шумовой параметр, который следит за старением.

Золин Л.С. Вот вы 3 года отработали, у вас 100 тысяч каналов...

Ответ: Нет эффектов, в тестах никаких эффектов не обнаружено.

Золин Л.С. То есть, по этому критерию все в норме?

Ответ: Все впереди.

Голутвин И.А. Не набрали еще дозу...

Малахов А.И. Так, спасибо. Сергей Геннадьевич Басиладзе, пожалуйста, вопрос.

Басиладзе С.Г. “У меня 2 вопроса, но маленьких. 9-й слайд покажите, наверху – положение 9. Частота, как она связана с шумом, поясните, пожалуйста”.

Ответ: Не частота, а интенсивность счета. Здесь «частота» это – число, среднее число срабатываний на нулевом пороге. Среднее число пересечений случайным сигналом нулевого уровня.

Басиладзе С.Г. Положение 11. Кросстоки это, что – перекрестные токи?

Ответ: Кросстоки – это, когда срабатывают два пзда, например, один правильно, а второй – через емкостную связь.

Басиладзе С.Г. Перекрестные токи или перекрестные наводки?

Ответ: Согласен, можно назвать и так – перекрестные наводки, но мы называем кросстоки по-английски. Может быть по-русски, это нужно называть наводками. Но наводки могут быть и другой природы, например, когда рядом работает какая-то электромагнитная система.

Малахов А.И. Ну, еще есть вопросы? Более-менее ясно. Тогда, Анатолий Петрович, можете присесть. Теперь мы можем заслушать материалы, которые есть у Ученого секретаря.

Арефьев В.А. зачитывает заключение организации, где выполнена диссертация - это Петербургский институт ядерной физики им. Б.П.Константинова (заключение прилагается). Малахов А.И. Так, что там еще?

Арефьев В.А. зачитывает отзыв от ведущей организации – Института физики высоких энергий, Протвино, на диссертацию (отзыв прилагается).

Малахов А.И. Тут был ряд замечаний. Анатолий Петрович, предоставляю вам слово для ответов, пожалуйста.

Кацук А.П. По поводу В-фабрик полностью согласен, это устоявшийся термин. Слабовзаимодействующая частица – мюон, там был контекст, слабо взаимодействующая с веществом детектора, а не в смысле сил. Что касается измерения импульса мюона в экспериментах ATLAS и CMS, конечно, там есть трековая система, которая также отслеживает трек мюона, согласен с замечанием. Релятивистская скорость, конечно, нужно умножить на гамма-фактор. Насчет газа отвечаю так: смесь изобутана (20%) с CF_4 (80%) – и пожароопасна и дорогая. Насчет рисунков, я обнаружил сбой в рисунках, когда рассматривал замечания, номера рисунков в диссертации в главе 6 повторяются в пяти рисунках. Насчет главы 6 я не согласен, глава 5 в основном построена на предустановочных тестах, а 6 – в шахте, это сначала космика, а потом пучки. Мне так показалось, будет лучше.”

Малахов А.И. Так, хорошо, спасибо, Анатолий Петрович, что еще?.

Арефьев В.А. Есть отзыв на автореферат от начальника сектора ЛФВЭ ОИЯИ кандидата физико-математических наук Мовчана Сергея Александровича. Он присутствует здесь.

Мовчан С.А. Анатолий Петрович внес большой вклад в развитие газоразрядных детекторов. Что хотелось бы отметить дополнительно к написанному отзыву? Интересен способ исследования с введением альфа-частиц в газ, что было сделано при исследовании GEM. Использование узкозачерных камер с проводным объединением слоев для получения высокого быстродействия и временного разрешения. По электронике был сделан большой вклад, как в разработку схем с малым пиковым временем, так и в методику измерения шумов сканированием порога, что позволяет не только устанавливать пороги, но и контролировать качество работы системы. Соискатель заслуживает присвоения ему искомой ученой степени доктора технических наук.

Арефьев В.А. Еще в распоряжении Совета имеется ряд писем от коллаборации LHCb. В письмах подчеркивается неоценимый личный вклад соискателя. Я просто перечислю имена: Бурхард Шмидт, заместитель Spokesperson, Пьерлуиджи Кампана (Фраскати) – Spokesperson, Аллесандро Кардини – лидер мюонного проекта, Мауро Саврие – ответственный за производство мюонных камер, Джиованни Пассалева – лидер мюонного проекта, Джиованни Карбони – предыдущий лидер мюонного проекта. Всеми подчеркивается, что соискатель внес очень большой вклад в создание мюонного детектора.

Малахов А.И. Спасибо, Валентин Александрович. Время для выступления официальных оппонентов. Сначала зачитывается отзыв отсутствующего оппонента. Бару Семен Ефимович, доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник Института ядерной физики им. Г.И.Будкера СО РАН. Валентин Александрович, пожалуйста, познакомте.

Арефьев В.А. зачитывает отзыв доктора технических наук, профессором, главного научного сотрудника Института ядерной физики им. Г.И.Будкера СО РАН Семена Ефимовича Бару (отзыв прилагается).

Малахов А.И. Анатолий Петрович, если есть желание прокомментировать, пожалуйста.

Кашук А.П. Там действительно пропущен множитель 2π , круговая частота $\omega=2\pi f$, вот откуда 2π , переход от ω к f , это – описка.

Малахов А.И. Спасибо. Теперь отзывы присутствующих оппонентов. Следующий оппонент Болоздыня Александр Иванович, доктор физ.-мат. наук, профессор кафедры ядерной физики и космофизики, главный научный сотрудник лаборатории экспериментальной ядерной физики Национального исследовательского ядерного университета МИФИ, пожалуйста.

Болоздыня А.И. У меня отзыв на 5 страницах. Если собрание не возражает, я приведу отзыв с сокращениями.

Малахов А.И. Не настаиваете? Нет.

Болоздыня А.И. Во-первых, актуальность работы подтверждается тем, что LHCb – один из ключевых экспериментов на Большом адронном коллайдере, который играет колоссальную роль для современной физики. Целью эксперимента является проверка границ применимости Стандартной модели. Уже есть ряд открытий, это – ключевая установка. По существу, перед нами – фундаментальный труд, который относится к одной из существенных частей установки, и мы здесь являемся свидетелями защиты не какого-то абстрактного исследования, а исследования, которое реально реализует на наших глазах получение данных на LHC. Всего 3 года установка дает физические результаты, но уже накоплена огромная статистика 3 фбн^{-1} , что позволило открыть новые частицы и каналы распада, и при этом существуют реальные планы увеличить статистику на порядок и больше. Поэтому представленные в диссертации результаты и положения можно квалифицировать, как существенный вклад в развитие методики пропорциональных камер и свидетельствуют о большом вкладе автора в этой области, о чем свидетельствуют публикации и патенты, полученные в России. Я тоже отмечаю опечатки, которые уже отмечались. На мой взгляд, это выдающаяся работа. Она оформлена в соответствии с существующими требованиями. Автореферат правильно отражает основное содержание диссертации. Автор корректно ссылается в диссертационной работе на результаты, полученные другими исследователями. Тема диссертации полностью соответствует требованиям ВАК и специальности 01.04.01 – приборы и методы экспериментальной физики, а ее автор – Кашук Анатолий Петрович заслуживает присуждения ему искомой степени доктора технических наук.

Малахов А.И. Спасибо, Александр Иванович.

Кашук А.П. Я хочу заметить, что уже 1.5 фбн^{-1} добавлено к тем 3 фбн^{-1} .

Малахов А.И. Ну, и наконец, Игорь Анатольевич Голутвин, пожалуйста, вам слово. Объединенный институт ядерных исследований, доктор физ.-мат. наук, профессор, главный научный сотрудник.

Голутвин И. А. Официальный отзыв находится у руководства диссертационного совета, поэтому, если разрешите, я купюрами зачитаю.

Малахов А.И. Разрешим? Пожалуйста.

Голутвин И.А. Во-первых, актуальность, это важно... Диссертация связана с созданием мюонного детектора LHCb и проверена многократно на различных форумах ученых. Эта установка работает на Большом адронном коллайдере. Общей задачей этого ускорителя является определение границ применимости современной теории физики микромира – Стандартной модели, а также поиска проявлений Новой физики за пределами СМ. То, что уже цитировалось неоднократно, упоминавшееся открытие распада Bs-мезонов на два мюона это – фундаментальное явление, яркая попытка проверки Стандартной модели, *отвечая на вопрос Владимира Алексеевича*. После LHCb этот распад обнаружен в эксперименте CMS. Пока нарушений СМ нет. Мюонный детектор является одним из ключевых элементов установки LHCb потому, что практически все модели Новой физики предсказывают существование новых частиц и явлений, которые могут быть обнаружены в процессах с мюонами в конечном состоянии. Специфика эксперимента LHCb выдвинула новые требования к составляющим ее детекторам, в частности, к мюонному детектору. И собственно в диссертации представлены новые методические решения и принципы построения быстродействующих высокоэффективных камер, включая электронику. В этой диссертации сформулированы и решены вопросы оптимизации параметров и режимы работы мюонного детектора установки в период проведения Run 1 в 2010-12 г.г. В этот период были произведены измерения характеристик камер в реальных условиях, по моему мнению, это совершенно правильно. На защиту вынесено 12 положений или 14, как считать, но это не так важно, потому что значительно меньше положений было бы достаточно. При этом в восьми из этих научных положений роль автора диссертации была определяющей, а в четырех остальных он принимал активное участие. Об этом свидетельствуют положительные отзывы со стороны участников международной коллаборации, в которой работал диссертант. Одной из ключевых находок диссертанта можно считать предложенную автором и реализованную в мюонном детекторе LHCb-спектрометра концепцию построения быстродействующих камер, основанную на удвоении среднего числа кластеров первичной ионизации в рабочем зазоре. В принципе, это достигнуто очень простым способом – проводным ИЛИ (*реплика – проводным соединением*). Это привело к существенному улучшению временного разрешения проволочных камер. Это особенно важно сейчас, светимость будет повышена, и улучшение временных характеристик камер очень важно. Однако самым большим достижением является создание большого числа быстродействующих высокоэффективных двух- и четырехслойных проволочных камер, которые составляют основу мюонного детектора LHCb-спектрометра. Особенно важной проблемой является поведение камер и десятков тысяч каналов регистрации в зоне с большой фоновой интенсивностью. Вообще говоря, этот параметр наиболее трудный, здесь уже говорилось, что расстояние между банчами 25 нс (частота столкновения пучков 40 МГц) и очень важно иметь уверенность в том, что то взаимодействие, что мы

измеряем происходит из одного банча. Это требование ко временному разрешению является ключевым. В диссертационной работе показано, что пространственный заряд положительных ионов, накопленный вокруг анодных проволочек, не оказывает существенного влияния на эффективность камер до нагрузок 0.5 МГц/см^2 . Это – высокий показатель и превышает то, что требуется для эксперимента. В диссертации предложен и реализован новый принцип реализации камер с падовой структурой. Он тоже достаточно простым образом реализуется, просто делается совпадением сигналов от узкого проволочного стрипа с катодным пэдом, поэтому в принципе для измерения момента (это нужно для мюонного триггера на высокоэнергетичные мюоны) улучшается пространственная точность. Это хорошая находка, это сделано и работает. Выполнен огромный, я бы сказал, комплекс работ по исследованию прототипов, опытных образцов и камер окончательной конструкции. Тут задавался вопрос, насчет Triple-GEM. Мы когда пробовали Double-GEM, то оказалось, что опасность представляют высокоионизирующие частицы, это многие отмечают. Автор применил кардинальный способ изучения этого вопроса, простой, но оригинальный способ – ввести альфа-частицы в газ, произошло обогащение срабатываний детектора от альфа-частиц и было найдено решение. Было показано, что для безопасной работы в таких условиях нужен третий слой. И практика это показала, что в Triple-GEM детекторе можно получить (я не помню насколько, но в десятки раз), большее усиление чем в Double-GEM без проблем. Это позволило реализовать те красивые картинки, которые здесь показывались с повышением порогов, мне кажется, что это – очень хороший результат. Эта работа защищена патентами РФ применительно к газовому электронному умножителю. Теперь практическая ценность. Практическое значение важно, поскольку этим могут воспользоваться другие. В новых камерах может образоваться Мальтер-эффект, требуется особая тренировка этих камер. Тренировка, которую проводил автор, очень эффективна. Для уверенности и отделения указанного эффекта от разрядов с анодных проволочек, для тренировки проволочек подавалось обратное напряжение и при этом камера облучалась интенсивным мощным гамма-источником. В результате такой тренировки получен порядок по времени и улучшено качество подготовки поверхности проволочек. То, что я знаю, ссылки на это уже были до этой диссертации. Но далее и в этом – новизна подавлялись разряды, обусловленные Мальтер-эффектом с катодов, если он был. Это – хороший практический результат проверки катодов. Тут много говорилось о контроле системы с помощью шумовых распределений. Это очень хороший метод, конечно, он требует аппаратуры, предлагается вести контроль системы по шуму (можно взять такой параметр распределений, как сигма шума), и этот шум прослеживается за всю историю установки. Этот параметр наиболее чувствительный к тому, что происходит в камере. Такой контроль помогает быть уверенным, что система в порядке. Это все было очень хорошо изложено в докладе, солидный доклад получился. Поэтому я не хочу повторять. А я бы уже перешел к заключению. Прежде чем прочитать важные строчки, которые нужны для ВАКа, так уж получилось, что в диссертационном Совете ЛВТА, где я работал под руководством М.Г.Мещерякова, Анатолий Петрович защищал

кандидатскую диссертацию. Это была диссертация по результатам кропотливой работы в экспериментах WA9 и NA8 в ЦЕРНе на SPS-ускорителе по рассеянию адронов на малые углы (руководили там Воробьев Алексей и Tord Ekelof). Получены важные физические результаты, и я помню, на этом Совете люди говорили, что это – докторская диссертация. Это было по-моему в 1979 году, много лет назад. И еще я хотел бы сказать, что Анатолий Петрович принадлежит, к сожалению, к не очень многочисленной плеяде физиков-исследователей чей вклад в экспериментальную физику на ускорителях неоспорим”.

Малахов А.И. Недостатков у вас не будет?

Голутвин И.А. Недостатки. Вообще-то, как правило, я в докторских диссертациях стараюсь недостатки не искать. Я объясню, почему. По сравнению с тем, что представлено здесь, то, что сделано, о недостатках говорить смешно, мне это не нравится. Поэтому в силу сказанного, о чем я говорил долго, представленные Анатолием Петровичем результаты могут быть квалифицированы (и это уже прозвучало в других отзывах) как существенный вклад в развитие методики многопроводочных камер. Основное содержание опубликовано в реферируемых журналах, а ведущая роль автора в вопросах, вынесенных на защиту, высоко отзываются руководители эксперимента и руководители мюонного проекта (имеются 6 положительных отзывов), и я разговаривал с людьми, которые не писали отзывов, но давали очень высокую оценку вклада Анатолия Петровича. Есть патенты, изобретения, все, как надо. К недостаткам можно было бы отнести, хотя я не уверен, что я прав, небольшую перегрузку приложениями. Но с другой стороны это позволяет тем, кто не хочет читать лишнего, он может пропустить приложения, будут вопросы туда можно заглянуть. На мой взгляд это лишнее, но не буду возражать. Есть, как всегда, грамматические ошибки. Я даже не хотел бы об этом говорить, когда я перечитывал свой отзыв, я нашел в нем грамматические ошибки. То, что я сказал о недостатках, ни в коей мере не затрагивают основные положения диссертации.

Диссертация оформлена в соответствии с существующими требованиями. Автореферат правильно отражает основное содержание диссертации. Автор корректно ссылается в диссертационной работе на результаты, полученные другими исследователями, в том числе коллегами. Тема диссертации полностью соответствует требованиям ВАК и специальности 01.04.01 – приборы и методы экспериментальной физики, а ее автор – Кашук Анатолий Петрович заслуживает присуждения ему искомой степени доктора технических наук.

Малахов А.И. Спасибо, Игорь Анатольевич. Так, (*обращается к соискателю*) отвечать вроде бы нечего?

Кашук А.П. Эксперимент действительно был WA9 до энергии 150 ГэВ и NA8 до энергии 400 ГэВ. Ведущая роль в экспериментах по рассеянию адронов на малые углы была Никитина В.А. Никитин В.А. подал на Государственную премию и наш Воробьев А.А. вместе с ним ее разделил, мы были работниками. У меня был спецпроцессор – стойка с логикой, поэтому я защищался в ЛВТА, сегодня это то, что называется FPGA – микросхема (чип, а у меня была стойка).

Малахов А.И. Сейчас дискуссия, она уже началась, есть желающие? Не только члены совета, все присутствующие, пожалуйста. Пользуясь правом председателя, я два слова скажу. На меня диссертация произвела очень сильное впечатление. Действительно, очень много материала, наверное, можно было и раньше провести защиту, материала бы вполне хватило. Что приятно, вообще-то говоря, что результаты нашли практическое применение. Есть диссертации, где результаты не очень применимы. Здесь все применено и эффективно применено. Когда мы задавали вопросы, было видно, что много задано вопросов. Это показывает интерес. То, что сделано диссертантом, это важно, актуально и полезно. Лично у меня сложилось мнение, как голосовать. Игорь Алексеевич, скажет, что это давление на членов совета, но я буду голосовать за.

Тяпкин А.И. Мы здесь обсуждаем, нужно покритиковать. А привести ценных отзывов 10 штук, каждый из нас может 100 привести, понимаете? Вот в этом мое замечание. Я не против. Ведь ценнейшая диссертация.

Малахов А.И. Так.

Тяпкин И.А. Ведь мы тут компетентны сказать что-то без этих отзывов. Ясно же, что заслуживает. Зачем обкладывать себя дополнительными письмами. Поэтому, вот в чем мое замечание, а не по качеству результатов. Оппоненты, само собой.

Голутвин И.А. Процедура устарела (*речь о международной коллаборации*).

Малахов А.И. Еще есть желающие? По-моему, все было очень хорошо доложено, очень хорошее изложение, очень детальное, вопросы были, всем все понятно, оппоненты все сказали. Я предлагаю заключительное слово Анатолию Петровичу, пожалуйста.

Кащук А.П. Во-первых, я хочу поблагодарить всех своих оппонентов, отсутствующего здесь Семена Ефимовича Бару, он по состоянию здоровья не смог приехать из Новосибирска; Александра Ивановича Болоздыню, спасибо большое за положительный отзыв; Игоря Анатольевича также я благодарю, спасибо. Сергей Александрович, спасибо за положительный отзыв по автореферату. Вот я не сказал еще про эксперимент NA62, где мы с тобой применили метод реконструкции шумовых распределений сканированием шумовой дорожки в строу-трекере NA62. Стоило только сказать Дмитрию Мадигожину, добавь еще точку 40 МГц – частоту Райса, как он немедленно зафитировал шумовые данные и поставил пороги. Теперь строу-трекер, содержащий 7000 трубок работает, каналы в прекрасном состоянии работают на эксперимент NA62. Но эти распределения показали кое-что новое, мы пишем статью на эту тему, мы обнаружили некоторые отклонения от нормы и хотим это все описать. В целом метод применен в другом эксперименте, положительно. Наверное Сергей Алексеевич подтвердит. Мадигожин написал В.Д.Кекелидзе, что Анатолий подсказал, и буквально через день все стало в норму, а без этого они ставили пороги долго. Я благодарю в диссертации очень многих своих коллег, но это в диссертации. Вас благодарю за внимание.

Малахов А.И. Спасибо большое. Теперь у нас по нашему регламенту избрание счетной комиссии. Мы посоветовались и вносим предложение: избрать в комиссию

Строковского Е.А., Тяпкина И.А. и Арефьева В.А. Есть ли какие-то другие предложения? Согласны. Тогда счетная комиссия может приступить к работе. А тем временем просьба ко всем ознакомиться с проектом заключения, которое мы должны будем принять. Я должен объявить всем, что иногда члены совета голосуют невнимательно, бывает. Либо позабудут что-то зачеркнуть, либо какими-то непонятными знаками пользуются. Поэтому не надо ничего лишнего.

Перерыв на голосование.

После перерыва.

Тяпкин И.А. (*председатель счетной комиссии*) “Потокол №1. Присутствовало на заседании 26 членов Совета, в том числе по профилю диссертации 6. Роздано бюллетеней 26, оказалось в урне 26, За 23, Против нет, недействительных 3.”

Малахов А.И. Нам надо утвердить протокол. Кто за то, чтобы утвердить, прошу проголосовать. Против нет? Воздержавшихся нет? Утверждается. Поздравлять еще рано, т.к. у нас еще обсуждение проекта решения. У Игоря Алексеевича есть замечания.

Тяпкин И.А. “Первый пункт *«Впервые созданы»*. У меня вопрос, что *«впервые»* высокоэффективные, быстродействующие, четырехслойные. Предлагается *«созданы»*, а впервые можно добавить какие-то модификации.”

Кащук А.П. Впервые с таким сочетанием свойств.

Тяпкин И.А. Вот, видите, вы уточняете... в проекте решения этого нет.

Арефьев В.А. В автореферате *«Впервые созданы»*.

Тяпкин И.А. Напишите, уникально качество. Но это мое личное мнение...

Малахов А.И. Будем отмечать *«впервые»*?

Зайцев Л.Н. Оставить.

Малахов А.И. Мнения разделились. Давайте проголосуем. Кто за то, чтобы это оставить, прошу проголосовать. Кто за то чтобы убрать? Один. Принято большинством.

Тяпкин И.А. Пункт 5, *«новый тип детектора – Triple-GEM»*. Саули отмечал, что можно каскадировать, он, наверное, понимал зачем. Детектор-то не новый. Новая модификация.

Кащук А.П. Можно ответить? Я не то имел в виду. Мы первыми ввели альфа-частицы и показали...

Тяпкин И.А. Но тут-же не так написано. Дальше все правильно вы пишете, что с помощью этих частиц вы показали, что это намного лучше..

Тяпкин И.А. В актуальности. *«...и минимизировать ошибку регистрации немюонов»* Не понятно. Нужно подредактировать. Это по существу, а не по существу, я бы подредактировал все. Термин *«регионы»* мне режит слух. Тестирование на пучках камер-прототипов... возможно *«пучки»* нужно перенести в конец предложения. Далее п.6 – вообще одно предложение и в этом предложении трижды открываются и закрываются скобки. Ну, это трудно читаемо, хотя все правильно. Я предлагаю подредактировать.

Малахов А.И. Понятно, хорошо.

Басиладзе С.Г. И вы говорите, что наше обсуждение не нужно? Вы высказали неудовольствие, что мы тут сидим и что-то долго обсуждаем.

Тяпкин И.А. Доклад-то сделан хорошо, нет длинных предложений. А диссертация изобилует предложениями по 7-8 строк.

Малахов А.И. Замечания приняты. У других товарищей тоже есть предложения, пожалуйста, Сергей Геннадьевич”.

Басиладзе С.Г. На 2-й странице 8-й пункт, тоже про «впервые». «Впервые создана радиационно-стойкая детекторная электроника...» Я хочу сказать, что в ЦЕРНе работает целый отдел, где занимаются такими разработками. Это значит, что автор превзошел этот отдел электроники или как понимать?

Малахов А.И. Я вношу предложение слово «впервые» убрать.

Басиладзе С.Г. Слишком сильное утверждение. Его надо сделать либо скромнее, либо более точным, что именно, конкретно, примерно в том же духе, что мы обсуждали с камерами.

Кащук А.П. Опять – уникальный набор свойств.

Басиладзе С.Г. Вы сделали фактически микросхему, перечислите ее свойства и тогда вы можете написать «впервые», нужно конкретизировать микросхему, которая идеально подходит для эксперимента, а не всю Землю охватывает.

Кащук А.П. Так оно и есть.

Малахов А.И. Возражений нет, еще есть замечания?.

Басиладзе С.Г. Извините, я не закончил: «электроника, допускающая минимальный шум», меня это смущает, я не знаю, что это такое.

Кащук А.П. Пиковое время, соответствующее минимуму шума. Произведена минимизация шума пиковым временем.

Басиладзе С.Г. Что значит электроника, допускающая минимальный шум.

Кащук А.П. Неудачная формулировка, я согласен, лучше сказать, минимизирующая шум.

Малахов А.И. Хорошо, значит давайте подкорректируем, нужно привести в соответствие с учетом замечаний.

Кащук А.П. В стенограмме?

Малахов А.И. Нет, в заключении Совета, мы его еще не приняли.

Строковский Е.А. У меня тоже иредакционное замечание, часть уже сказали с «немоонами», а вот «ширина пространственного кластера 1.2»

Кащук А.П. Среднее значение случайной величины.

Строковский Е.А. Ну, вот 1.2 пада...

Кащук А.П. Совершенно верно.

Малахов А.И. Хорошо, замечание принято.

Строковский Е.А. в разделе Актуальность и новизна после $t < 25$ нс написать камеры.

Малахов А.И. Возражений нет, да? Хорошо, еще какие замечания?

Арефьев В.А. Тут многие высказывались, но не обратили внимание на пункты, напечатанные курсивом, эти пункты обозначают, что они выполнены при активном участии автора в отличие от определяющего вклада.

Малахов А.И. Хорошо, еще замечаний я не вижу больше, тогда мы должны принять заключение, но с учетом замечаний, которые были сделаны (с редактированием), так? Кто за это прошу проголосовать. Кто против? Против и воздержавшихся нет. Принято единогласно. А теперь переходим к главному вопросу: поздравляем (*аплодисменты*). Разрешите пожать руку. Заседание объявляю закрытым.

Председатель диссертационного совета,
доктор физико-математических наук
профессор



Малахов Александр Иванович

Ученый секретарь диссертационного совета
кандидат физико-математических наук,
старший научный сотрудник



Артефьев Валентин Александрович

« 3 » мая 2017 года