

## СТЕНОГРАММА

заседания № 16-03 диссертационного совета Д 720.001.02  
на базе Международной межправительственной организации  
Объединенный институт ядерных исследований  
от 8 декабря 2016 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
Садовский Сергей Анатольевич	- доктор физико-математических наук
Никитин Владимир Алексеевич	- доктор физико-математических наук
Таратин Александр Михайлович	- доктор физико-математических наук
Тяпкин Игорь Алексеевич	- доктор физико-математических наук
Ужинский Владимир Витальевич	- 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

Зайцев Лев Николаевич - доктор технических наук

Коваленко Александр Дмитриевич - доктор физико-математических наук

Ширков Григорий Дмитриевич - доктор физико-математических наук

**Малахов А.И.** Уважаемые коллеги, на заседании присутствуют 27 членов совета, по специальности защищаемой диссертации присутствуют 8 докторов наук, совет полномочен. Можно приступить к защите. Сегодня у нас защита диссертации на соискание ученой степени доктора физико-математических наук по специальности физика атомного ядра и элементарных частиц Литова Леандра Борисова. Официальные оппоненты: Зайцев Александр Михайлович, доктор физико-математических наук, профессор, ФГБУ ГНЦ РФ Институт физики высоких энергии, Протвино, заместитель директора по научной работе и Красников Николай Валерьевич, доктор физико-математических наук, ФГБУН Институт ядерных исследований РАН, заведующий Отделом теоретической физики присутствуют на заседании. КИМ Виктор Тимофеевич, доктор физико-математических наук, профессор, Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, ведущий научный сотрудник отсутствует по уважительной причине, его положительный отзыв имеется. Ведущее научное учреждение - МГУ им. Ломоносова. Дальше мы переходим к тому, чтобы ознакомиться с документами, которые у нас имеются в деле. Слово предоставляется нашему секретарю Арефьеву Валентину Александровичу.

**Арефьев В.А.:** В совет поступило заявление от Литова Леандра Борисова: «Прошу принять к рассмотрению и защите мою диссертацию на тему «Исследование полуплеетонных распадов каонов» на соискание ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 01.04.16 - физика ядра и элементарных частиц. Защита проводится впервые. Согласен на включение моих персональных данных в аттестационное дело и их дальнейшую обработку. Подтверждаю, что все представляемые к защите данные и результаты являются подлинными и оригинальными и, кроме специально оговоренных случаев, получены мной лично».

Была назначена комиссия по предварительному рассмотрению диссертации Литова в составе докторов А.С.Водопьянова, Ю.А.Панебратцева и меня. Комиссия ознакомилась с диссертацией и пришла к следующему выводу. Диссертация соответствует специальности 01.04.16 – физика атомного ядра и элементарных частиц, по которой совет имеет право проводить защиты. Материал диссертации достаточно полно изложен в опубликованных соискателем работах в соответствии с рекомендациями ВАКа. Документы, представленные соискателем в совет, соответствуют требованиям положения о порядке присуждения ученых степеней. На основании такого заключения диссертация была принята к защите в ноябре 2015 года и сегодня предлагается вашему вниманию.

Литов, Леандр Борисов родился 11 сентября 1955 г. Место рождения - София, Болгария, гражданство болгарское. Образование высшее, закончил Софийский университет, физический факультет по специальности «Физика ядра и элементарных частиц». Владеет русским и английским языками, кандидат физико-математических наук, диссертацию защитил в Объединённом институте в 1990 году на тему «Исследование эффектов экранирования цвета в адрон-ядерных взаимодействиях». имеет ученое звание доцент, обширный список опубликованных работ. Тут приводится список мест его работы. Он до 90-го года работал в Дубне, в настоящее время работает в качестве доцента в Софийском университете. Приложена копия диплома кандидата наук, приложена распечатка с сайта ОИЯИ публикации предварительной диссертации, далее приложены поступившие в совет отзывы на диссертацию от ведущей организаций МГУ, от организации где была выполнена работа - ОИЯИ, от официальных оппонентов и дополнительные отзывы от проф. Ю.А.Будагова и проф. В.Д.Кекелидзе. Представленные документы соответствуют положению о порядке присуждении ученых степеней.

**Малахов А.И.:** Есть по документам вопросы?

**Ужинский В.В.:** Вы гражданин Болгарии, указывается или нет в Вашем паспорте имя и отчество?

**Арефьев В.А.:** Указываются.

**Малахов А.И.:** Предоставляем слово Литову Леандру Борисову

**Литов Л.Б.:** Я попробую ознакомить вас с содержанием диссертации. Вы видите её название „Исследование полуплеотонных распадов каонов». Здесь показан план моего выступления, который на самом деле соответствует содержанию диссертации. Я начну со Стандартной модели. Как хорошо известно, она базируется на калибровочной группе  $SU(3) \times SU(2) \times SU(1)$  и хорошо описывает сильные и электрослабые взаимодействия. Она проверена экспериментально с высокой точностью, но, тем не менее, есть и проблемы. Во-первых, не всегда можно рассчитать всё в рамках этой модели. Во-вторых, в наше время хорошо известно, что её надо рассматривать либо как некую феноменологическую модель, либо как некое низкоэнергетическое приближение более общей модели. Поэтому очень важно сейчас искать такие явления и физику вне Стандартной модели, которые указали бы путь к этой более общей модели.

Я начну с квантовой хромодинамики. Она хорошо описывает сильные взаимодействия при больших переданных импульсах. Однако, из-за ультрафиолетовых расходимостей, приходится перенормировать константу взаимодействия. Она становится функцией квадрата переданного 4-импульса. При маленьких значениях переданного импульса она приближается к единице и поэтому теория возмущений в этом случае не работает. В этой ситуации, чтобы сделать предсказание, приходится строить эффективные низкоэнергетические модели. Есть довольно большое количество таких моделей, но я хочу выделить среди них Киральную теорию возмущений (КТВ), так как за последние годы она стала самой популярной и работает довольно хорошо. Однако тут есть проблема. Во всех этих моделях есть большое число параметров, которые определяются экспериментально. Поэтому надо проводить измерения этих параметров.

Конечно, надо отметить непертурбативные вычисления на решетках, поскольку здесь за последние годы наблюдается заметный прогресс. Тем не менее, в литературе можно увидеть некое сочетание вычислений в рамках КТВ совместно с вычислениями на решетках.

Вторая особенность Стандартной модели — это так называемое смешивание кварков. Дело в том, что собственные состояния слабых взаимодействия не являются собственными состояниями массового оператора. Поэтому приходится диагонализировать массовую матрицу, в результате чего в Лагранжиане заряженных токов появляется матрица  $V_{ij}$  - это так называемая матрица Каббиво - Кобаяши - Маскавы (СКМ). Это матрица приводит к смешиванию кварков. Это означает, что в изначальном Лагранжиане разрешены переходы только внутри одного поколения. В результате смешивания кварков разрешаются также переходы между поколениями. Эта матрица появляется в каждой вершине показанного на слайде типа, когда мы начинаем делать расчеты.

Матрица СКМ параметризуется при помощи трех вещественных параметров и одной фазы. параметры надо определять экспериментально.

Лучший способ делать это, - использовать процесс, показанный на этой диаграмме. Дело в том, что вероятность этих процессов пропорциональна квадрату соответствующих матричных элементов. Если у нас есть некоторая частица – адрон, который распадается на адрон и лептонную пару, то вероятность можно записать следующим образом, где  $V_{ij}$  это матрица СКМ,  $f^+(0)$  это некий форм-фактор, о котором я скажу чуть позже, и это фазовый интеграл, который является функцией форм-факторов, которые со своей стороны является функцией  $t$ , где  $t$  - квадрат переданного 4-импульса лептонной паре.

Поскольку матрица СКМ унитарна, это накладывает некоторые связи на её элементы, в частности, для первой строки мы имеем соотношение, показанное на этом слайде. Если посмотреть на это соотношение, то его первый элемент определяется очень хорошо из измерения вероятности суперразрешенных бета-распадов и времени жизни нейтрона. Третий элемент в этом соотношении маленький – его квадрат порядка  $10^{-5}$ , поэтому им можно пренебречь. Тогда из этого соотношения можно определить значение элемента  $V_{us}$ . Это и будет предсказанием Стандартной модели для его значения.

Здесь показаны результаты к началу наших исследований, приведённые в PDG 2004 года. Как видно, есть разница между измеренным значением и предсказанием Стандартной модели. Это разница на уровне больше 2,2 сигма. Чтобы решить эту проблему, нам надо измерить значение  $V_{us}$  с точностью лучше 1%, причём это ограничение определяется теорией, а не экспериментом. Самые подходящие процессы для измерения  $V_{us}$  - так называемые  $Ke3$  распады - распады, когда каон распадается на пион, лептон и соответствующее нейтрино. В общем случае матричный элемент этого распада можно записать следующим образом, где  $G_F$  это константа Ферми  $M_K$  масса каона,  $I$  - фазовый интеграл, который является функцией параметров адронных форм-факторов. Тут есть поправки, которые связаны с нарушением изоспиновой симметрии, и электромагнитные поправки. Их значения приведены в таблице. Поэтому если мы хотим измерить значение  $V_{us}$ , у нас следующая экспериментальная программа: сначала надо измерить матричные элементы и их форм-факторы чтобы вычислить фазовый интеграл, потом можно измерить

относительную вероятность  $K_{e3}$  распадов и определить  $V_{us}$  из этого соотношения. Однако оказалось, что очень существенную роль играют радиационные поправки. Поэтому пришлось также измерить и относительную вероятность  $K_{e3}$ +гамма распада.

Я начну с полуплептонных распадов. В общем случае распределение плотности Далитц-плота как функции энергии лептона и пиона в системе покоя каона можно записать следующим образом. Здесь у нас есть два адронных форм-фактора  $f_+$  и  $f_-$ , которые являются функциями квадрата 4-импульса лептонной пары. Часто вместо  $f_-$  вводится формфактор  $f_0$ , который выражается через  $f_+$  и  $f_-$ , поэтому обычно измеряется форм-фактор  $f_0$ . Когда в конечном состоянии распада есть электрон, вклад форм-фактора  $f_-$  незначительный, потому что он умножается на квадрат массы лептона. Это не так в случае, когда в конечном состоянии рождается мюон. Тогда можно измерить значение формфактора  $f_-$  или  $f_0$ . Существуют разные параметризации формфакторов. Самая простая - предположить, что зависимость от  $t$  линейная. Тогда нам надо определить коэффициент перед линейным членом. Здесь перед скобкой стоит формфактор  $f_+(0)$  в точке  $t=0$ . Конечно можно предположить и более сложную зависимость, например, квадратичную. Тогда надо определить два параметра перед линейным и квадратичным членом. Очень популярная параметризация — так называемая полюсная параметризация, в которой здесь входят массы адронных резонансов. Обычно это  $K^*$ , и так далее.

Я скажу несколько слов об экспериментальных установках, на которых проводились все эти исследования. Я начну с ГИПЕРОНа. ГИПЕРОН располагался на 18 канале Серпуховского ускорителя в сепарированном положительном пучке с импульсом 5 - 15 ГэВ. Мы обычно работали при импульсе 10 ГэВ. У него были две части. Первая – это пучковой спектрометр, который был построен вокруг магнита СП 129. У нас была система пропорциональных камер перед магнитом и за магнитом, при помощи которой измерялся импульс пучковых частиц с точностью 0,5%. В неё входили и черенковские счетчики, при помощи которых определялся тип пучковой частицы.

Вторичный спектрометр выглядит следующим образом. Он построен вокруг модифицированного магнита МС12. Снова есть система пропорциональных камер перед и за магнитом, при помощи которой импульс заряженной частицы определялся с точностью полтора процента при энергии 10 ГэВ. У нас были еще и электромагнитные калориметры, первый располагался перед магнитом, а второй - за ним. В переднем калориметре была оставлена дырка 50 на 50 сантиметров, через которую проходили заряженные частицы. Электроны и фотоны регистрировались вторым калориметром. Здесь показано разрешение этих двух калориметров. Они были построены из свинцового стекла.

**Ужинский В.В.:** А мишень где?

**Литов Л.Б.:** Мишень далеко в ускорителе. Мы изучали распады, и у нас распадный объем находился между первичным и вторичным спектрометрами.

Большинство результатов были получены на установке NA48. Этот эксперимент располагался на ускорителе SPS в ЦЕРНе. Основной задачей этого эксперимента было изучение CP нарушения в редких распадах каона. Поэтому в этом эксперименте были сделаны одновременные пучки  $K_s$  и  $K_L$  мезонов с импульсом в диапазоне 20 - 200 ГэВ. Здесь

показан пучковый спектрометр. Протоны из ускорителя выводились на мишень. При помощи магнитов и коллиматоров заряженные частицы отклонялись так, что в пучке оставались только нейтральные частицы. Протоны, не давшие взаимодействия в мишени, при помощи изогнутого кристалла выводились на вторую мишень, расположенную в 127 метрах от первой. Это была  $K_S$  мишень. Заряженные частицы устранялись, и формировался нейтральный пучок с высоким содержанием  $K_S$  мезонов. Работали мы и только с  $K_S$  мишенью. Тогда пучок из ускорителя наводился прямо на  $K_S$  мишень и формировался интенсивный  $K_S$  пучок.

Часть исследований была проведена в заряженных пучках. В этом случае при помощи ахромата формировались два пучка  $K^+$  и  $K^-$  с импульсами (60 +/- 3) ГэВ. Во втором ахромате была расположена система трековых детекторов. Это были камеры типа MICROMEGAS. При их помощи измерялся импульс пучковых частиц с точностью 1%. После пучкового спектрометра располагался распадный объем, а за ним – сам детектор NA48.

Основные компоненты детектора NA48 следующие: магнитный спектрометр, который состоит из двух дрейфовых камер перед магнитом и двух за магнитом. Разрешение этого спектрометра - 1% для частиц с импульсом 20 ГэВ. За ним расположен сцинтилляционный годоскоп с очень хорошим разрешением по времени порядка 200 пс, далее электромагнитный калориметр с жидким криптоном – здесь показано его разрешение. За ним следуют адронный калориметр и мюонное вето, составленное из железного поглотителя и сцинтилляционных счётчиков. Мы проводили исследования, используя  $K_S$ ,  $K_L$ ,  $K^+$  и  $K^-$  пучки.

При исследовании разных каналов распадов очень важно иметь хорошую идентификацию частиц. В принципе, в распадах каонов рождаются пионы, электроны, фотоны и нейтрино. С фотонами всё понятно. Проблема разделить вот эти три заряженные частицы. Легче всего выделяется мюон. Мы использовали вот такое отношение: когда заряженная частица переходит через спектрометр, мы измеряем её импульс  $p$ , когда она попадает в электромагнитный калориметр - мы измеряем энергию  $E$ , выделенную в калориметре. Тогда, если отношение этих двух величин  $E/p$  меньше 0,1 - это мюон. Для его выделения мы дополнительно требовали сигнал от мюонного вето.

Задача разделить электроны и пионы значительно сложнее. Обычно мы делали обрезание по  $E/p$ . Если  $E/p$  меньше 0,8 - это пион, если  $E/p$  больше 0,9 - это электрон. Здесь показаны синим цветом сигналы от пионов и красным - от электронов. Как видно, есть некий район, где мы ошибаемся в идентификации частиц. В большинстве наших исследований это обрезание, этот критерий, работает довольно хорошо. Однако иногда приходится очень сильно подавлять фоны и тогда надо разобраться в этом районе. Для решения этой проблемы мы разработали методику с использованием нейронной сети.

Мы использовали всю информацию с детектора, которая была доступна нам. При помощи нейронных сетей вероятность ошибочного распознавания пиона как электрона уменьшилась примерно в 30 раз по сравнению с обрезанием по  $E/p$ , причем эффективность распознавания электронов сохранялась на уровне 96%. Это было критично для измерения  $Ke4$ . Сначала мы планировали включить в состав установки детектор переходного излучения, при помощи которого осуществлялась бы распознавание пионов и электронов. Этот детектор

стоил примерно 1 миллион долларов. Оказалось, что нельзя его построить, и денег на это дело нет. Мы показали, что при помощи нейронных сетей можно достичь такой же эффективности распознавания пионов и электронов. Это было исключительно важно для утверждения эксперимента NA48/2, поскольку исследование  $K^0$  распадов являлось существенной частью его программы.

Я приведу здесь пример. Когда исследовали  $K^0 e^4$  распады, фактор подавления ошибочного распознавания пионов и электронов с использованием нейронной сети был примерно 38, причем сохранялась эффективность регистрации электронов на уровне 95%.

Я перехожу сейчас к измерению  $K^0 e^3$  форм-факторов. Это первый шаг реализации нашей программы. Исследовали распады, которые здесь показаны. У нас был специальный набор данных в чистом  $K^0_L$  пучке. Было набрано примерно 80 миллионов событий. Когда  $K^0$  распадается, пион и электрон - заряженные частицы. Поэтому в этом анализе мы ожидаем увидеть следы 2 заряженных частиц. Мы выделили из этой выборки 12,6 миллиона таких событий. Дальше требовали, чтобы одна из частиц была пионом, а вторая - электроном. Для выполнения этого требования накладывались условия, чтобы для одной из двух частиц  $E/p$  было больше 0,93, т.е. это был электрон. В результате было выделено 5,6 миллиона событий. Здесь показано распределение  $E/p$  для этих событий.

Мы фитировали распределение плотности событий в Далиц-плоте. В результате измерили коэффициент  $\lambda^+$  в линейной параметризации форм-фактора  $f_+$  с рекордной точностью. В принципе, в слабых взаимодействиях может существовать вклад от скалярных и тензорных взаимодействий. В этой гипотезе мы попробовали измерить скалярный и тензорный форм-факторы. В результате сделали очень жесткие ограничения на вклад таких взаимодействий в этот процесс.

Дальше были сделаны измерения, в предположении квадратичной параметризации форм-факторов, т.е. мы измерили значение  $\lambda^+$  и  $\lambda^0$ .

Также был исследован распад  $K^0 \mu^3$ . Было восстановлено 2,3 миллиона таких событий. Как уже было отмечено, здесь появляется чувствительность к форм-фактору  $f_0$ . Поэтому мы смогли измерить значение не только  $\lambda^+$ , но и  $\lambda^0$ . Допустив квадратичную зависимость форм-факторов, получили значения соответствующих коэффициентов разложения форм-факторов. Здесь показано сравнение результатов наших измерений с результатами других экспериментов. Как видно, в пределах ошибок наблюдается хорошее согласие.

За много лет до этого, примерно лет за 15, на HYPERON'e был нами измерен наклон векторного форм-фактора  $f_+$ , используя 30000 восстановленных  $K^+ e^3$  распадов.

Следующим шагом было измерение относительных вероятностей  $K^0_L \mu^3$  распадов. Использовались те же самые данные. Обычно, когда измеряется относительная вероятность распада, для нормировки используется другой распад, похожий на исследуемый. В этом случае мы решили нормироваться на большое количество каналов, используя максимально упрощенную селекцию. Поэтому измеряли отношение вероятностей распадов  $K^0_L e^3$  и всех распадов, у которых в конечном состоянии есть две заряженные частицы. Относительная вероятность этих распадов вычисляется довольно точно и равняется примерно единице

минус относительная вероятность распада  $K_L \rightarrow 3 \pi^0$ . После селекции было выделено 12,6 миллиона нормировочных событий и восстановлено 6,7 миллиона  $K^0_L \rightarrow 3 \pi^0$  распадов. Здесь показаны результаты для отношения и для относительной вероятности. Чуть позже я дам комментарии насчет этого результата.

Дальше мы сделали то же самое, но на этот раз мы исследовали  $K \rightarrow 3 \pi$  распады заряженных каонов. В этом случае мы измеряли отношения относительных вероятностей  $K \rightarrow 3 \pi$  и  $K \rightarrow 2 \pi$  распадов к относительной вероятности распада  $K$  на 2 пиона. Также измерили отношение относительных вероятностей  $K \rightarrow 3 \pi$  к  $K \rightarrow 2 \pi$  распадов. Здесь существенно то, что везде в эти результаты входит относительная вероятность распада  $K$  плюс минус на 2 пиона. Вот значение этой относительной вероятности, которое мы использовали – это результат из PDG 2006 года. В результате наших исследований были восстановлены примерно 80000  $K \rightarrow 3 \pi$  распадов и 70000  $K \rightarrow 2 \pi$  распадов. В нормировочном канале у нас было восстановлено более 700000 событий. Селекция такая, что практически эти распады восстанавливаются без фона. Так что все ошибки в результатах идут за счёт систематики. Основные источники систематических ошибок, это определение эффективности детектора, точность измерения относительной вероятности распада  $K$  на  $2\pi$  и статистика Монте-Карло событий. Здесь показаны результаты этих измерений. На базе измеренных отношений, мы определили относительные вероятности распадов  $K \rightarrow 3 \pi$  и  $K \rightarrow 2 \pi$ .

На следующем слайде показано графическое изображение этих результатов. Я начну с заряженных распадов. Желтая полоса – это результаты измерений, опубликованных в PDG 2006 года, а точки – это наши измерения. Как видите, появились довольно серьезные расхождения с тем, что было измерено до нас. Только отношение вероятностей  $K \rightarrow 3 \pi$  и  $K \rightarrow 2 \pi$  распадов находится в хорошем согласии с предыдущими измерениями. Вот это отличие почти на 3 сигма. На самом деле эти измерения привели к пересмотру относительных вероятностей всех каонных распадов. Что означает пересмотр? Это означает, что мы стали измерять заново относительные вероятности практически всех основных мод каонных распадов.

Дальше, следующий шаг - определить  $V_{us}$ . Для этого мы используем вот это соотношение. Что здесь новое – здесь появился фактор  $S_{EW}$  - электрослабая поправка, которая вычисляется точно в рамках Стандартной модели. У нас есть уже формфакторы, поэтому мы можем вычислить фазовый интеграл. То, чего нам не хватает, это  $f_+(0)$ . Для определения его значения мы использовали теоретические расчеты, сделанные в рамках киральной теории возмущений, где учтены электромагнитные поправки, поправки учитывающие нарушение изоспиновой симметрии и поправки  $O(p^6)$ . Вот значения, которые были использованы для получения значений  $V_{us}$ . Потом, беря из теорий значения  $f_+(0)$ , определили значения элемента  $V_{us}$ .

То, что показано здесь, это сравнение наших измерений с результатами других экспериментов. Здесь распады нейтральных каонов, а здесь - заряженных. Вот значения PDG, которые были до нашего измерения. Наш результат — это красные точки. Как видите, все значения довольно сильно сдвинулись вправо в обоих случаях. Тут приведены результаты двух экспериментов, которые работали вместе с нами – KTeV и KLOE. Как видите,



измерения довольно хорошо согласуются. На самом деле, эти результаты позволили решить проблему унитарности матрицы СКМ.

Как я уже отмечал, радиационные поправки играют существенную роль при определении форм-факторов и относительных вероятностей  $K_{e3}$  распадов. Поэтому мы взяли измерить относительную вероятность распада  $K_{e3}\gamma$  т. е. когда у нас есть и реальный фотон. В чём проблема? На этой фигуре показаны теоретические предсказания для относительной вероятности этого распада. Было приведено одно измерение коллаборации NA31 и потом появился вот этот результат коллаборации KTeV. Как вы видите, он сильно расходится с теоретическими вычислениями. Поэтому мы взяли и измерили относительную вероятность этого распада, используя те же самые данные, из которых мы определяли относительную вероятность распада  $K_{e3}$ . Наш результат показан здесь – красная точка. Он находится в очень хорошем согласии с теорией. После нашего измерения коллаборация KTeV провела новый анализ своих данных и получила результат, который полностью совместим с нашим.

Чтобы подвести некий итог, что произошло за последние годы в физике каонных распадов, здесь показаны результаты PDG 2004 года, PDG 2009 года и сейчас. Здесь приведены относительные вероятности для распадов  $K_{e3}$ ,  $K_{\mu 3}$ ,  $K3\pi^0$  и  $K2\pi$  для нейтральных каонов и те же самые относительные вероятности для  $K_{e3}$ ,  $K_{\mu 3}$  и так далее, для заряженных каонов. Как видно, все эти относительные вероятности довольно сильно изменились по сравнению с тем, что было, когда мы начинали все эти исследования. Здесь для распадов заряженных каонов такая же картина, хотя тут эффект не такой большой. На этой фигуре приведена ситуация с  $V_{us}$ . Видно, что экспериментальное значение  $V_{us}$  хорошо согласуется с предсказаниями Стандартной модели.

Следующая задача – исследование  $K_{e4}$  распадов. Это распады, в которых в конечном состоянии есть два пиона, лептон и нейтрино. Поскольку это 4-частичный распад, для его описания используются пять независимых кинематических переменных, при помощи которых описывается матричный элемент. Это - квадрат эффективной массы пионной пары, квадрат эффективной массы лептонной пары и три угла. В общем случае адронный матричный элемент можно представить в следующем виде, где  $F$ ,  $G$ ,  $R$  аксиальные форм-факторы, а  $H$  это векторный формфактор. Задача определить значения этих формфакторов. Формфактором  $R$  можно пренебречь, потому что он умножен на квадрат массы электрона и его вклад пренебрежимо мал. Поэтому мы измеряли  $F$ ,  $G$  и  $H$ . Эти формфакторы можно разложить по парциальным волнам и, если пренебречь вкладом  $D$ -волн, разложение принимает следующий вид. Здесь мы сделали еще одну гипотезу, что фаза  $P$ -волны одна и та же для трех формфакторов. Тогда нам надо измерить значение вот этих параметров и разницу фаз  $S$  и  $P$  волн.

У этих формфакторов есть некая зависимость от кинематических переменных. Их можно параметризовать следующим образом.  $F_s$  зависит от  $q^2$  и  $S_e$ . Для остальных формфакторов мы приняли, что есть линейная зависимость от  $q^2$ .

Первое, что мы сделали, это измерили относительную вероятность и формфакторы распада  $K_{L^0}e4$ . Для этого измерения использовались данные, набранные в чистом  $K_{L^0}$  пучке.

Мы измерили относительную вероятность и формфакторы этого распада с рекордной точностью. Здесь приведена относительная вероятность этого распада. Как видно, мы в несколько раз улучшили точность измерения формфакторов и относительной вероятности.

Провели и измерение формфакторов и относительной вероятности заряженных  $Ke_4$  распадов. В этом случае было восстановлено больше 1 миллиона таких распадов, причем фон был на уровне 10000 событий, т.е. меньше 1%. Для измерения относительной вероятностью  $Ke_4$  распада мы использовали как нормировочный канал распад  $K_3\pi$ . Было восстановлено примерно 18 миллионов таких событий. Для этого исследования мы провели 8 независимых наборов данных. Результат этих измерений для отношения относительных вероятностей  $Ke_4$  и  $K_3\pi$  показан здесь. Отсюда можно определить относительную вероятность  $Ke_4$  распада. Мы смогли измерить форм-факторы, то есть вот эти коэффициенты в разложениях, которые я показывал, с рекордной точностью. У нас есть трехкратное увеличение точности измерения относительной вероятности  $Ke_4$  распада и 2 - 4 кратное улучшение точности измерения параметров форм-факторов. Впервые формфакторы были измерены с точностью, сопоставимой с точностью теоретических вычислений.

Это последняя часть диссертации. Она посвящена измерению распадов  $K$  на пион и два лептона. Относительную вероятность этих распадов можно записать следующим образом. Здесь у нас есть некоторые кинематические факторы и вот этот матричный элемент, который зависит от кинематической переменной  $z$ , которая задается отношением масс лептонной пары и каона, возведённом в квадрат. Что вычисляется обычно в теории – это матричный элемент. Мы сравнили наши результаты его измерения с предсказаниями 4 моделей. Первая самая простая – это линейная параметризация, когда у нас есть два параметра  $f$  и  $\delta$ . Следующая модель – это предсказание в рамках киральной теории возмущений. Здесь снова есть два параметра –  $a$ ,  $b$ .  $W_{\pi\pi}$  – это пионная петля, которая точно вычисляется. Дальше, есть такая модель, где предсказания делаются в рамках киральной теории возмущений плюс некий вклад из квантовой хромодинамике при большом  $N_c$ . В этом случае матричный элемент снова параметризуется при помощи двух параметров, но параметризация выглядит другим образом. Четвертая модель — это параметризация в рамках КТВ при помощи мезонных формфакторов. Здесь, в Дубне, активно этой моделью занимался Виктор Первушин. В этом случае параметрами являются массы адронных резонансов.

Более интересна ситуация, когда у нас есть распады нейтральных каонов. Относительную вероятность распада  $K^0_S \rightarrow \pi\pi$  в рамках киральной теории возмущений можно представить следующим образом. Вот эти два параметра  $a$  и  $b$ . Я хочу обратить ваше внимание на квадратичную зависимость от этих параметров. В рамках модели векторный доминантности эти два параметра связаны, так что в конце концов остается один параметр.

Почему всё это интересно? На самом деле, более интересным является CP нарушающей распад  $K^0_L \rightarrow \pi\pi$ . В его амплитуду входят три члена. Первый, связанный с CP нарушением за счет смешивания, третий, связанный с прямым нарушением CP, и интерференционный член. Дело в том, что  $C_{dir}$  и  $C_{int}$  можно выразить через относительные вероятности  $K^0_S \rightarrow \pi\pi$  распадов. То, что интересно здесь еще, это то, что появляется параметр  $\lambda$ , который представляет произведение двух элементов матрицы СКМ,

связанных с переходами из 3-ого во второе и первое поколения. Дело в том, что до нас никто не наблюдал эти распады. Поэтому мы взялись за эту задачу.

Нам удалось в интенсивном  $K_S^0$  пучке впервые наблюдать распады  $K_S^0 \rightarrow \pi e e$  и  $K_S^0 \rightarrow \pi \mu \mu$ . В первом случае мы наблюдали 7, а во втором – 6 событий. Это позволило нам измерить их относительные вероятности и определить значения параметра  $a$ . Как видите, два измерения этого параметра согласуются хорошо в рамках ошибок. Одновременный анализ двух распадов позволил нам определить также значения  $a$  и  $b$ . Поскольку матричный элемент зависит квадратично от этих параметров, то у нас есть два решения для их значения. Оттуда потом мы сделали предсказание как должен выглядеть распад  $K_L^0 \rightarrow \pi l l$ .

Мы исследовали также распад  $K^{+/-} \rightarrow \pi^{\pm} e e$ . Было восстановлено 7000 кандидатов, фон был меньше 1%. Мы исследовали зависимость его матричного элемента от переменной  $z$ . Здесь показаны результаты этого исследования. В рамках 4 моделей мы определили параметры матричного элемента с рекордной точностью. Тем не менее, точность измерения не позволяет выделить одну из этих моделей.

Я подошел к заключению и просто прочитаю результаты, включенные в диссертацию.

1. Разработана новая методика прецизионного измерения полулептонных распадов нейтральных и заряженных каонов.
2. Измерены с наилучшей точностью параметры матричных элементов полулептонных распадов  $Ke3$  ( $K_L^0 \rightarrow \pi e \nu_e$ ,  $K_L^0 \rightarrow \pi \mu \nu_\mu$ ,  $K^\pm \rightarrow \pi^0 e^\pm \nu$ ). Исследован возможный вклад скалярных и тензорных взаимодействий и получены самые жесткие ограничения на их вклад в слабые процессы. При этом не обнаружены отклонения от  $V-A$  структуры слабых взаимодействий.
3. Измерены с высокой точностью относительные вероятности  $K_{l3}$  ( $K_L^0 \rightarrow \pi e \nu_e$ ,  $K^\pm \rightarrow \pi^0 e^\pm \nu$ ,  $K^\pm \rightarrow \pi^0 \mu^\pm \nu$  и  $K_S^0 \rightarrow \pi^0 e \nu$ ) распадов. Полученные значения отличались существенно от опубликованных в PDG2004 данных, причем отклонения доходили до  $3\sigma$ . В результате этих измерений были пересмотрены значения относительных вероятностей всех основных мод каонных распадов. Их современные значения, приведённые в PDG, в значительной мере определяются полученными нами результатами. Определено значение элемента  $V_{us}$  матрицы Кабиббо--Кобаяши--Маскавы и показано, что условие унитарности выполняется, что решило давно стоявшую проблему.
4. Измерены относительные вероятности и форм-факторы адронного матричного элемента распадов  $K_L^0 \rightarrow \pi^\pm \pi^0 e^{\mp} \nu_e(\bar{\nu}_e)$  и  $K^\pm \rightarrow \pi^+ \pi^- e^\pm \nu_e(\bar{\nu}_e)$  с погрешностью, впервые позволившей достичь точности теоретических предсказаний. Эти результаты внесли существенный вклад в точность определения низкоэнергетических констант киральной теории возмущений и позволили провести наиболее строгую проверку предсказаний низкоэнергетических КХД моделей.
5. Проведено исследование полулептонных распадов  $K \rightarrow \pi l l$ . Впервые наблюдались редкие распады  $K_S^0 \rightarrow \pi^0 e^+ e^-$  и  $K_S^0 \rightarrow \pi^0 \mu^+ \mu^-$  и измерены их относительные вероятности. Выполнено наиболее точное исследование свойств распада  $K^\pm \rightarrow \pi^\pm e^+ e^-$

, причем его относительная вероятность и параметры матричного элемента измерены с рекордной точностью. Впервые исследована возможная CP-нарушающая разница ширины  $K^+$  и  $K^-$  распадов и поставлена соответствующая верхняя граница на 90% уровне достоверности.

6. Впервые для поиска и идентификации редких распадов каонов предложена и реализована методика определения типа частиц, основанная на концепции нейронных сетей и достигнуто 38-кратное уменьшение вероятности ошибочного распознавания пионов как электронов, сохраняя вероятность идентификации электронов выше 95%. Это явилось ключевым условием успешной реализации эксперимента NA48/2.

Диссертация основана на 31 опубликованной работе, из которых 21 была опубликована в журналах с импакт-фактором. На эти работы было более 600 ссылок. 17 из результатов вошли в PDG. По теме диссертации у меня защитились четыре аспиранта.

Спасибо за внимание.

**Малахов А.И.:** Сейчас настало время для вопросов.

**Ужинский В.В.:** Вот у вас первый вывод «Разработана новая методика». Я не экспериментатор и мне как-то трудно понять. Не могли бы Вы сказать, какая у вас основная идея новой методики? Нейронные сети у вас перечисленный в шестом пункте.

**Литов Л.Б.:** На самом деле оказалось, что во всех этих распадах существенную роль играют радиационные поправки. Некорректный учет этих радиационных поправок привел к тому, что все предыдущие измерения были ошибочными. Мы только сейчас научились, как это надо делать корректно. Это не только теоретическая задача вычислить некую коррекцию, которую надо сделать, также надо понять, как корректно учесть наличие реальных фотонов. Эта методика позволила значительно поднять уровень точности измерений и их корректность. Конечно, это комплекс, но я выделил бы радиационные поправки, потому что они сыграли действительно решающую роль. Я могу даже показать, что творится, если идет некорректный учет. Вот, например, когда мы говорим про  $Ke3$  распады. Это сравнение распределений энергии электрона в системе покоя каона для  $Ke3$  распадов – экспериментальные данные и Монте-Карло события. У нас здесь два случая – первый, когда радиационные поправки не учтены, и второй, когда они учтены. Как видите, здесь есть четкий наклон, а вот здесь, уже с учетом этих поправок, все нормально. Наблюдается хорошее совпадение с Монте-Карло событиями. Дело в том, что в определенных областях Далиц-плота эти поправки доходят до 15%. Некорректный учет может существенно изменить конечный результат.

**Малахов А.И.:** Так еще вопросы?

**Никитин В.А.:** Итак, матрица СКМ унитарна. Это вы показали с высокой точностью. А если она была бы не унитарна?

**Литов Л.Б.:** Это будет совершенно четким указанием на существование физики вне Стандартной модели, причём это однозначно. Поэтому такое внимание к этой проблеме. После того как появилась эта расходимость на уровне больше 2 сигма, измерения проводили не только мы, но и коллаборация KTeV практически одновременно с нами, а чуть позже

появились результаты и коллаборации KLOE. Как вы видели, мы стали измерять просто вероятность и вдруг увидели, что она сильно сдвинулась. Сначала, как говорится, сами себе не верили и долго проверяли эти результаты. Как вы сами понимаете, если хотите опубликовать результат, который отличается больше чем на 3 сигма от предыдущих измерений — это проблема. Потом оказалось, что этот сдвиг решает проблему с  $V_{us}$ . Сейчас там согласие довольно хорошее и Стандартная модель стоит хорошо, и это не только в наших экспериментах, тоже самое и на LHC.

**Малахов А.И.:** Следующий вопрос.

**Батуня Б.В.:** У вас уровень фона после применения нейронных сетей для разделения электронов и пионов порядка 1%. Например, для заряженного пучка: в нем есть пионы, которые могут распадаться. Тем более что есть нейтрино, которое уносит энергию. Ну для нейтральных распадов я сейчас не знаю, может быть лучше ситуация. Какой полный уровень фона?

**Литов Л.Б.:** Сейчас я покажу как работает нейронная сеть. Вот это для нейтральных каонов. Основной фон идет в обоих случаях для нейтральных и заряженных распадов из распадов  $K \rightarrow 3\pi$  когда перепутан пион и его зарегистрировали как электрон. Это основной фон в обоих случаях. То, что здесь показано, это распределение событий по переменным  $R$  и  $E/p$ . Что существенно – здесь показано Монте-Карло для  $Ke4$  распадов, а вот как оно выглядит для  $K \rightarrow 3\pi$  распадов. Вот как выглядит распределение экспериментальных событий после наложения всех обрезаний и до использования нейронной сети для идентификации пионов и электронов. Вот результат после применения нейронной сети. У нас выделяется чистый сигнал от  $Ke4$  распадов. В этом случае фон был на уровне 0,3%. Что касается заряженных распадов, там ситуация сложнее. Мы делали по-разному, пользовались нейронной сети, использовали и другие методы, типа нейронных сетей, для разделения пионов и электронов. Там проще определялась систематика. В обоих случаях нам был нужен фон ниже 1% и мы этого добились.

**Ужинский В.В.:** У меня маленький вопрос, надеюсь. Для заряженных пучков Вы можете отобрать каоны по энергии. В нейтральном пучке каоны отобрать нельзя. У вас аппаратура имеет конечную апертуру. Распады надо мерить в  $4\pi$ . Спрашивается, как вы учитывали эту апертуру?

**Литов Л.Б.:** Тут еще был у Александра Михайловича комментарий и вопрос, поэтому я сразу и на его вопрос отвечаю. Вы правильно заметили, что мы не знаем импульс нейтрального каона. Поскольку у нас в распаде, скажем, когда мы исследовали  $Ke3$ , есть нейтрино, мы одну частицу опускаем. Поэтому не можем восстановить энергию этого нейтрино однозначно. Однако можем измерить его поперечный импульс. Далее, мы еще знаем направление каона. Дело в том, что у нас распадный объем начинается примерно в 120 метрах от мишени. Поэтому мы принимали, что  $K_L^0$  рождается в центр мишени (мишень всего несколько сантиметров в диаметре). Кроме того, у нас есть вершина распада и тогда у нас есть направление каона. В этой ситуации мы можем определить импульс пучкового каона, однако для него получается квадратное уравнение и у нас есть два решения. Вопрос был, как определить импульс. Мы использовали три разных способа определения

импульсного распределения. Во-первых, мы использовали  $K\epsilon 3$  распады. Использовались только такие распады, для которых оба решения для импульса каона близки. Это означало, что разница между импульсами меньше ширины бина. Мы также использовали распады каона на два и три пиона. В этих распадах регистрировались все продукты и импульс каона восстанавливался однозначно. Вот это распределение импульса, полученное из экспериментальных данных вместе с Монте-Карло предсказаниями. В Монте-Карло мы использовали усредненный спектр, полученный из  $K\epsilon 3$ ,  $K2\pi$  и  $K3\pi$  распадов. У нас хорошее совпадение, хотя, как вы видите, в определенных областях есть существенные расхожимости между Монте-Карло событиями и экспериментальным распределением. Поэтому во всех наших исследованиях мы работали в области 60 – 180 ГэВ, чтобы быть уверенными, что у нас Монте-Карло хорошо описывает исследуемые распады.

Когда речь идет о  $K\epsilon 3$  распадах, у нас есть два решения для импульса. Чтобы увеличить статистику, мы брали оба решения. Это означает, что у нас Далиц-плот трехмерный. Мы строили распределение зарегистрированных событий как функцию энергии нейтрино в системе покоя каона и двух решений для квадрата переданного лептонной паре 4-импульса. Поэтому мы разработали специальную методику и аппроксимировали распределение Далиц-плота при помощи Монте-Карло событий используя метод максимального правдоподобия. На самом деле, это довольно тонкое исследование. Тут еще надо учесть аккуратно радиационные поправки и тогда можно получит некий разумный и, как мы верим, корректный результат.

**Малахов А.И.:** Вопрос оказался немаленьким. Так, пожалуйста, есть ли у кого еще вопросы? (осматривается). Если нет, переходим к ознакомлению с теми документами, которые еще у нас есть. Это заключение организации, где выполнялась диссертация, отзыв ведущей организации, ну и если есть другие какие-то отзывы на автореферат и диссертацию, то мы их должны заслушать. (дает слово секретарю Совета)

**Арефьев В.А.** зачитывает заключение Научно-технического совета Лаборатории физики высоких энергий им. Векслера и Балдина Объединенного института ядерных исследований (заключение прилагается).

**Малахов А.И.:** замечаний нет. Следующий отзыв, пожалуйста.

**Арефьев В.А.** зачитывает отзыв ведущей организации – Московского государственного университета им. Ломоносова (отзыв прилагается).

«В качестве замечаний к диссертационной работе можно отметить следующее:

1. В разделе 4.1 не отмечено согласие величины найденного полюса с массой  $K^*(892)$ .
2. Ссылки 116-119 в списке литературы в тексте диссертации не упоминаются.
3. Ну, и традиционное замечание относительно опечаток.

**Малахов А.И.:** Спасибо. Так, ну там была некая критика, Вы на нее ответите?

**Л. Литов:** Я согласен с критикой. Я старался оформить все как надо, но так получилось.

**Малахов А.И.:** Спасибо. Так, еще есть какие-то отзывы?

**Арефьев В.А.:** Поступил отзыв от профессора Будагова на диссертацию. Отзыв посвящен в основном отражению личного вклада автора в эти работы.

**Малахов А.И.:** Критика какая-нибудь есть?

**Арефьев В.А.:** Критики нет. А заключение такое: «Ввиду вышесказанного и как руководитель коллаборации ГИПЕРОН подтверждаю ключевой вклад Леандра Борисова Литова во включенные в его докторскую диссертацию исследования каонных распадов  $K_{e3}$  и значимость представленных научных результатов, которые признаны и вошли в престижные мировые таблицы Particle Data Group. Для меня нет сомнения, что он полностью заслуживает степень доктора физико-математических наук.»

**Малахов А.И.:** Дальше у нас что еще есть?

**Арефьев В.А.:** Есть отзыв проф. Кекелидзе, который касается личного вклада – в основном касается личного вклада – соискателя в работы, сделанные на эксперименте NA48.

**Малахов А.И.:** И что там? Каков итог?

**Арефьев В.А.:** Итог такой: «Следует признать диссертационную работу Леандра Литова соответствующей по содержанию и уровню полученных результатов требованиям, предъявляемым к работам на соискание ученой степени доктора физ.-мат. наук по специальности Физика атомного ядра и элементарных частиц, а его вклад в полученные результаты – определяющим. Проф. Кекелидзе»

**Малахов А.И.:** Еще есть?

**Арефьев В.А.:** Других отзывов на автореферат и диссертацию не поступало.

**Малахов А.И.:** Хорошо. Спасибо. Тогда с этим пунктом тоже закончили. Теперь переходим к отзывам официальных оппонентов. По правилам сначала зачитывают отзыв того, кто отсутствует. Нет возражений?

**Голоса:** Нет возражений.

**Малахов А.И.:** У нас отсутствует Ким Виктор Тимофеевич, доктор физ.-мат. наук, профессор, Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, ведущий научный сотрудник. Валентин Александрович, пожалуйста. Ну, опять, наверно, раз были просьбы –

**Голоса:** Читать конец и замечания.

**Арефьев В.А.:** Ким Виктор Тимофеевич составил отзыв на семи страницах. Рассматриваются в отзыве содержание диссертации, результаты, выносимые на защиту, личный вклад автора диссертации в работах, составляющих ее основу, достоверность полученных в диссертации результатов, рекомендации по использованию полученных результатов. В заключение говорится:

«Результаты, полученные в диссертации, с достаточной полнотой опубликованы в реферируемых научных журналах и неоднократно апробировались на международных научных конференциях. Содержание диссертации соответствует опубликованным работам. Автореферат верно отражает содержание диссертации.

Диссертация написана хорошим языком, в кратком, но ясном стиле. Небольшим недостатком диссертации можно считать немного фрагментарное изложение, употребление сленга и

некритичное использование переведенных терминов. Но эти отмеченные недостатки ни в коей мере не меняют общей высокой положительной оценки диссертации.

Диссертационная работа Литова Леандра Борисова, выполненная на высоком уровне, соответствует специальности 01.04.16 и отвечает всем требованиям положения о порядке присуждения ученых степеней. Ее автор Литов Леандр Борисов несомненно заслуживает присуждения ему ученой степени доктора физико-математических наук.»

Т.е., собственно по существу диссертации, замечаний нет.

**Малахов А.И.:** Спасибо. Так, Леандр, Вы хотите ответить?

**Литов Л.Б.:** Нет, спасибо.

**Малахов А.И.:** Да, ну там несерьезные были замечания. Так, переходим теперь к присутствующим оппонентам. Александр Михайлович Зайцев, доктор физ.-мат. наук, профессор института физики высоких энергий, зам. директор по научной работе. Пожалуйста.

**Зайцев А.М.:** Спасибо. Надо сказать, что тема диссертации – полуплептонные распады каонов – в высшей степени актуальна и мы хорошо знаем, что распады каонов являются источником уникальной информации как о Стандартной модели в достаточно тонких её аспектах, так и о физике адронных взаимодействий, и именно эксперимент NA48 сделал здесь, в этих исследованиях распадов каонов, огромный шаг вперед и в значительной степени определял развитие этой области науки, и поэтому можно с уверенностью сказать, что тема диссертации в высшей степени актуальна. И хочу сразу сказать, что вклад диссертанта в эту деятельность – исследование полуплептонных распадов каонов – действительно очень значителен. Анализ того, что было сделано непосредственно Литовым в этих экспериментах, позволяет с уверенностью сказать, что если бы не было Литова, то и результатов этих не было бы тоже. Так что с уверенностью можно утверждать, что тот предмет, который излагается в диссертации, принадлежит Литову и он может защищать эти работы.

Дальше я пойду по текст непосредственно. Во введении представлено детальное обоснование актуальности и продемонстрировано соответствие базовых параметров диссертации высоким требованиям, предъявляемым к таким работам. Надо сказать, производит впечатление изобилие первоклассных результатов. Другой такой диссертации я не помню. Не встречалось на моем пути, чтоб в одной диссертации столько значимых результатов было представлено. Поэтому читать её очень интересно. Я прочитал её с вниманием и поэтому должен сказать – некоторое количество замечаний будет. Диссертация очень хорошая, но поскольку она таковая, пришлось её прочитать детально и некоторые шероховатости я отмечу. Они незначительны на самом деле, но тем более. Значит так, уже во введении утверждается, что в настоящее время не планируются новые эксперименты по измерению полуплептонных распадов. Это неточное утверждение – такие эксперименты проводятся в настоящий момент, они ведутся в основном на ОКЕ прямо сегодня, буквально, и более того, есть публикации по этому поводу. Так что это писалось тогда, когда ОКА еще не заработала, по-видимому, но на сегодняшний день это утверждение уже неточно.



В первой главе диссертации представлено краткое изложение стандартной модели. Ясно, что там каких-то собственных таких мыслей быть не должно. Это изложение стандартной модели и сделано это очень квалифицированно и позволяет убедиться лишним раз в том, что диссертант владеет современным научным арсеналом в полной степени. Если говорить о замечаниях, там есть описка такая, что вклад  $f_{-}$  подавлен для электронных распадов. Так он для части из них подавлен, а для части - не подавлен. Такая там описка.

Дальше изложены некоторые аспекты физики полупертоновых распадов, важные для понимания и постановки задачи, и методы анализа. Сделано это очень грамотно, квалифицированно, однако возникает вопрос: там очень обширное изложение с общим видом взаимодействия на стр. 26, а в дальнейшем нигде эти длинные формулы в диссертации не используются. Непонятно зачем вообще это написано. Написано правильно и как бы возражений нет к тому, что написано, непонятно зачем это написано. Ну, и есть описка там, где-то в формуле. В одной из формул часть слагаемых имеет одну размерность, часть – другую. Такие мелкие технические погрешности.

Дальше, в третьей главе приведено краткое описание экспериментальных комплексов ГИПЕРОН и NA48. Значит, если говорить об установке ГИПЕРОН, то она была одной из очень серьёзных установок на 70-ГэВном ускорителе, и Леандр Литов сделал очень многое для создания этой установки и для набора данных на ней. По тем временам это была в высшей степени передовая, высококачественная установка, и созданием этой установки и результатами, полученными на ней нужно гордиться. Если говорить об установке NA48, то это безусловно выдающаяся экспериментальная установка. Все, кто интересуется физикой высоких энергий, распадами каонов, знает её очень хорошо. Нам всем хорошо известно, какой большой вклад сделал ОИЯИ в создание этой установки и в исследования на ней. И очень приятно, что Леандр, подключившись к ней не на самом раннем этапе – на этапе создания установки – а чуть позже, сделал, тем не менее, огромный вклад в научную программу этой установки. Если говорить непосредственно о методической стороне дела, то в этой главе описывается использование нейронных сетей для дискриминации событий – для разделения пионов и электронов, и сделано это очень квалифицированно и особенно привлекает то, что обучение, тренировка, сделаны на реальных данных. Очень часто, даже, как правило, тренировка делается на Монте-Карло событиях, что вызывает известные проблемы, с чем приходится бороться в какой-то степени, доказывать, что в какой-то степени эти алгоритмы оптимальны. Здесь это сделано на живых событиях и это на самом деле важный результат. Сейчас, на сегодняшний день, нейронные сети очень широко употребляются, а 15 лет назад, когда это было сделано, даже сам подход имел некий элемент существенной новизны, и результаты здесь в высшей степени достойны.

В следующей главе описывается измерение форм-факторов в распадах  $K_{l3}$ . Эти результаты относятся к наиболее точным измерениям форм-факторов, и они безусловно важны, потому как для извлечения матричного элемента  $V_{us}$  там надо знать форм-факторы в том числе. Они важны и с точки зрения собственно физики адронных взаимодействий. Они измерены очень точно и, более того, в этих экспериментах получены наиболее жесткие ограничения на значения скалярного и тензорного форм-факторов. Анализ проведен тщательно и не

вызывает вопросов. Но, тем не менее, во мне возник некий вопрос: как влияет на полученное ограничение возможная зависимость скалярного и тензорного форм-факторов от  $q^2$ ?

Там параметризовано так, что просто константы стоят соответствующие, а вообще говоря, эти форм-факторы зависят, и эту зависимость было бы полезно проанализировать и указать какие-то разумные диапазоны, где вариация форм-факторов в разумных диапазонах не влияет на ответ. Традиционно этим не занимаются, потому, что они маленькие, и говорят, что это вроде как бессмысленно, ну вот эту бессмысленность было бы полезно продемонстрировать. И было замечание, на которое уже есть ответ. Значит, точная формулировка такая: „Чтобы обеспечить хорошее согласие между симулированными методом Монте-Карло событиями и экспериментальными данными, при селекции распадов было наложено условие, чтобы оба решения для импульса каона находились в интервале 60 - 180 ГэВ/с.” А почему – вопрос – Монте-Карло не описывает события вне этого интервала? В комментариях ответа как бы нету. Ну, потому-то установка сложная – ответ такой. Ну, вот это не разобрано как-то, т.е. сформулировано такое утверждение. Если замечена, так сказать, какая-то неловкость, то она обсуждается, мы в неё врезаемся и пытаемся её разобрать. Здесь вот как-то то, что не нравится, то отрезали. Ну, это не очень общепринято, так сказать.

В следующей – пятой – главе особенно много значительных результатов и главный из них, может быть главный, наиболее такой яркий, это извлечение параметра  $V_{us}$  из полупертоновых распадов, а также измерение относительной вероятности распадов  $Ke3\gamma$ , измерение отношения ширины распадов  $Ks$  и  $KL$  в  $\mu e\gamma$  – так довольно деликатная такая штука. Вот, и прежде всего, надо сказать, что в момент проведения этих измерений общая ситуация с матрицей Кобаяши-Маскавы была не вполне удовлетворительной и шевелились и  $V_{ud}$  эти из-за измерения времени жизни нейтрона, и в  $Ks$  были какие-то неясности, так что сумма квадратов там отклонялась от единицы почти на 3 стандартных отклонения. Поэтому потребности в более точных измерениях и  $V_{ud}$ , и  $V_{us}$  были, и очень хорошо, что в этом эксперименте вовремя этот результат был получен, и мы сейчас имеем очень надежную картину в этой части. В целом, благодаря экспериментам на установке NA48, а также буквально паре других экспериментов – KTeV и KLOE – вся картина с распадами каонов радикальным образом изменилась. Не только повысились точности, но и некоторые данные существенно съехали за пределы тех ошибок, которые были. Сейчас вся эта таблица в Particle Data, таблица Розенфельда как её называли, в этой части переписана полностью и можно сказать доминируют результаты NA48. *Так что это действительно очень существенный вклад в науку.* Здесь трудно даже выделить, что наиболее важно – всё одинаково важно, у нас изменился базис, трудно даже сказать какая часть и что более важно, все изменилось, все как-то усовершенствовано.

В следующей главе излагаются результаты исследований  $Ke4$  распадов. В этом эксперименте, благодаря статистике, прежде всего в заряженных каонах, кстати, интересно – удалось существенно повысить точность измерения форм-факторов и в распадах нейтральных каонов, которые существенно лучше изучены. Удалось найти параметр – некий параметр  $L3$  киральной теории возмущений, и есть такое фундаментальное утверждение, что в целом эти исследования позволили определить параметры киральной теории возмущений. Это правильное утверждение и это действительно так, и очень детальное изложение форм-

факторов приведено в диссертации, однако затруднения некие вызывает то, что конкретной технологии извлечения этого параметра – ну,  $p^4$ , первые петлевые поправки, там с десятка параметров, один из них этот L3. Как они конкретно извлекаются непонятно. И в литературе не найдешь, это зарыто где-то в каких-то других работах, и вот в этой диссертации вроде все понятно, и вот раз – параметр L3 с какой-то ошибкой. Как и почему все эти параметры – те другие – не влияют на ошибку или влияют очень мало – все это не раскрыто, просто вот факт этот сообщается. И в целом, если говорить о форм-факторах, то традиционно в Ke4 распадах, там как бы самое горячее место, ну самое популярное лучше сказать, это длины рассеяния – там,  $a_0$ ,  $a_2$ . Именно в длинах рассеяния есть в высшей степени точные результаты и общего характера, к Вайнбергу восходящие, и с поправками  $p^6$  и обычно, когда занимаются этой физикой, сравнивают именно длины рассеяния, а здесь о длинах рассеяния не сказано ни слова. Я думаю, что кто-то другой там защищался на этой теме – ну, да, разделили, и вот поэтому эта глава правильная и очень хорошая, но вот такой кусок оттуда выпал и она немножко такая одноногая.

В седьмой главе представлены результаты поиска распадов  $K^0 \rightarrow \pi^0 e^+e^-$ ,  $K^0 \rightarrow \pi^0 \mu^+\mu^-$  и измерения относительных вероятностей и параметров матричных элементов распадов  $K \rightarrow \pi l^+ l^-$ . И надо сказать, что распады  $K^0 \rightarrow \pi^0 e^+e^-$ ,  $K^0 \rightarrow \pi^0 \mu^+\mu^-$  наблюдаются впервые. Одно это уже говорит об уровне тех исследований, которые проводились на установке NA48 и вошли в эту диссертацию. Детально измерены характеристики распадов заряженных каонов с излучением пары  $e^+e^-$  и здесь по сути замечаний к этой главе у меня нет.

В целом, диссертация является – вот здесь написано – монументальным трудом – я подчеркну, именно так я к ней отношусь, как к учебнику по физике полуплептонных распадов каонов. В качестве недостатка – я не знаю, достоинство или недостаток – можно отметить некую перегруженность первоклассными результатами. Трудно читать, все время приходится сосредотачиваться. Обычно диссертации читаешь лежа на диване. Здесь так не получается. Но эти недостатки не влияют, конечно, на общую очень высокую оценку диссертации. Эти результаты имеют несомненную научную и практическую ценность, они достоверны и заслуживают самой высокой оценки. Содержание диссертации соответствует специальности 01.04.16. Автореферат полностью отражает содержание диссертации. Полученные результаты опубликованы в ведущих научных журналах, доложены на международных и российских конференциях и семинарах.

Диссертация полностью соответствует требованиям ВАК, предъявляемым к докторским диссертациям, а ее автор Леандр Борисов Литов, безусловно заслуживает присвоения ученой степени доктора физико-математических наук.

**Малахов А.И.:** Спасибо, Александр Михайлович за содержательный отзыв. Так, (к Л. Литову) ну что – отвечайте.

**Литов Л.Б.:** Во-первых, я хочу поблагодарить Александра Михайловича за то, что так досконально разобрался в этой диссертации, и во-вторых - за высокую оценку. Но я обязан, конечно, ответить на вопросы

Я начну с Ke4. Совершенно четко хочу сформулировать – конечно, самым интересным результатом этих измерений не было измерение форм-факторов, а было

измерение разности фаз. Из этой разницы фаз получаются длины рассеяния. Это самый интересный параметр, и он вызвал самый большой интерес у теоретиков, потому, что он связан еще и с кварковым конденсатом. Для теоретиков это очень интересный результат. Я его не включил в диссертацию, потому что считаю, что в этом результате я не сделал достаточно существенный вклад. Там довольно сложный анализ и над ним работала другая команда. Я думаю, что в диссертации надо включать результаты, в получении которых автор сам участвовал или, по крайней мере, у него есть некий существенный вклад.

Что касается эксперимента ОКА, я диссертацию писал в прошлом году, и она вообще-то с августа прошлого года лежит и дожидается защиты. Я знал, что готовится этот эксперимент, конечно, очень давно знал, что всякие задержки есть и я должен сейчас сказать, что я очень счастлив, что этот эксперимент заработал. Были опубликованы предварительные результаты по измерению форм-факторов  $Ke3$  распадов. Результаты ОКА хорошо согласуются с нашими результатами. Я очень надеюсь, что это тематика будет продолжена в Серпухове. Так что я очень рад, честно говоря.

Что касается вклада  $f_1$  - конечно полностью согласен. Ну я не знаю, у меня было специальное замечание, что когда у нас в конечном состоянии мюоны, у нас есть чувствительность к  $f_1$  и  $f_0$  соответственно и мы измерили  $\square\square$ . Поэтому можно считать, что это опечатка.

Насчет этих длинных сложных формул, я сам колебался писать или не писать, потому что они вообще-то появились после наших исследований. Дело в том, что была сформирована коллаборация в рамках европейского проекта FLAVIANet. Она занималась физикой ароматов, это довольно большая команда, она обобщила все наличные результаты, включительно ввела некий стандарт. После некоторого колебания я взял и выписал все эти формулы по стандарту. Можно было – я полностью согласен – и не писать. Здесь указано место, откуда всё это я брал.

Был вопрос насчет опечатки в одной формуле. Я здесь не показывал всё чтобы сэкономить время. Речь идет об исследовании отношения вероятностей распадов  $K_S^0 \rightarrow \text{лев}$  и  $K_L^0 \rightarrow \text{лев}$ . В общем случае можно записать число событий, которое наблюдается, как функцию времени, времени жизни  $K_S^0$ , времени жизни  $K_L^0$  мезонов и коэффициента  $\square\square$ . У меня была описка вот в этой формуле, пропала вторая часть.  $x_L$  является отношением вероятностей. Вторая часть этой формулы просто выпала и это просто опечатка. Однако, что касается соотношением  $\Delta Q = -\Delta S$ , это не ошибка и не опечатка. Дело в том, что этот член существует только в случае если условие  $\Delta Q = \Delta S$  не выполняется. Поэтому измерение этого параметра не только тест CP нарушения, но является тестом о выполнении условия  $\Delta Q = \Delta S$ . Как видите, у нас результат такой, что это значение совместимо с единицей, так что это совпадает с предсказанием Стандартной модели. Если  $\Delta Q = \Delta S$  выполняется, этот член просто ноль.

Еще был вопрос о зависимости от  $q^2$  скалярных и тензорных форм-факторов. Здесь показана параметризация плотности Далиц-плота, которая использовалась в наших исследованиях. Здесь  $f_s$  и  $f_t$  не зависят от  $q^2$ . Я полностью с вами согласен, что это интересно

проверить, но мы этого не делали, поскольку решили, что они и так маленькие. Конечно, исследовать зависимость от  $q^2$  можно было попробовать, но мы этого не сделали.

Дальше был еще вопрос – Вы сейчас не сказали. Однако в отзыве написано. Мы впервые измерили распады  $K^+ \rightarrow \pi l l$  и  $K^- \rightarrow \pi l l$  и посмотрели еще есть ли разница вероятностей этих распадов. Если такая разница наблюдается, то это будет сигнал для СР нарушения. Мы поставили очень мягкое ограничение на эту разницу. Такое ограничение впервые ставится. Наш результат находится довольно далеко от всех теоретических предсказаний. Поэтому мы не делали специальных комментариев насчет этого результата.

Я думаю, что на все вопросы ответил.

**Малахов А.И.:** Спасибо. Тогда мы переходим к отзыву второго оппонента: Красников Николай Валерьевич, доктор физ.-мат. наук, Институт ядерной физики РАН, заведующий отделом теоретической физики.

**Красников Н.В.:** По сути здесь уже достаточно много говорили. Я несколько фрагментарно хочу сказать. Первые три главы с моей точки зрения несут вспомогательный характер, а вот то, что меня очень заинтересовало и я считаю это действительно центральное место – это четвертая и пятая главы. Это точное измерение полуплептонных  $K_{l3}$  распадов,  $K_L$  и  $K^+$  мезонов.

Для меня, как человека, который в данный момент занимается некими вопросами, связанными с поиском легкой темной материи, очень большой интерес вызвали полученные сильные ограничения на скалярный и тензорный форм-факторы, которые, в общем-то, позволяют очень существенно ограничивать модели, ряд моделей. Также очень интересно и очень важно с точки зрения возможных поисков новой физики то, что достигнута рекордная точность в полуплептонных распадах, потому что в принципе в различных расширениях Стандартной модели существует помимо стандартного  $W$ , там скалярный обмен и вот эта точность в данном случае, она очень важна. Позволяет, соответственно ограничить ряд моделей.

Ну, собственно, все результаты хорошие, но особенно я должен выделить очень интересный распад, который впервые был обнаружен -  $K_s^0 \rightarrow \pi e^+ e^-$ . Опять-же, отсюда, из этого распада, возможно – ну, с моей точки зрения, изучение всех этих распадов. Конечно, хорошо, что подтверждается Стандартную модель, но точность здесь важна потому, что в ряде случаев можно рекордно ограничить многие расширения Стандартной Модели – с дополнительными скалярными бозонами, соответственно векторным бозоном и т. д. Т.е., с моей точки зрения, это очень важно, что получены такие очень хорошие точности, важно в аспектах, связанных с поиском новой физики.

У меня, собственно, замечание такое. Честно говоря, все было для меня очень интересно читать, но я общую оценку работы сейчас скажу. Работа написана достаточно кратко. Разумно структурирована. Выводы и заключения достаточно обоснованы и не вызывают сомнений. Ну как говорится, достоинства – это продолжение наших недостатков и наоборот. К недостаткам диссертации следует отнести слишком краткое описание полученных результатов и методов обработки данных, что сильно затрудняет понимание способов и методов, примененных при получении предоставленных результатов.

Заключение: Отмеченные недостатки не влияют на общую положительную оценку диссертационной работы, содержащей ряд важных результатов по физике К-мезонов, которые имеют большую практическую ценность. Результаты диссертации могут быть использованы в исследованиях, проводимых в ИЯИ РАН, ИФВЭ, ИТЭФ и в других организациях.

Рассмотренная диссертация является законченной научно-исследовательской работой. Она выполнена лично автором и характеризуется высоким научным уровнем. Работы, вошедшие в диссертацию, являются достоверными и оригинальными. Автореферат диссертации адекватно и достаточно полно отражает ее содержание. Тема диссертации соответствует паспорту научной специальности 01.04.16.

Считаю, что диссертационная работа Литова Леандра Борисова отвечает всем требованиям, предъявляемым ВАК к диссертациям на соискание ученой степени доктора физ.-мат. наук, а её автор заслуживает присуждения ему ученой степени доктора физ.-мат. наук по специальности 01.04.16.

**Малахов А.И.:** Спасибо, Николай Валерьевич. (к Л. Литову) Слово Вам, для ответа на критику.

**Литов Л.Б.:** Я согласен с критикой. Наверное, можно было бы поподробнее все написать.

**Малахов А.И.:** Тогда была бы критика, что слишком подробно. Надо писать точно – ни больше, ни меньше.

Так, с этим вопросом тоже закончено. Спасибо еще раз оппонентам. Сейчас начинается общая дискуссия, в которой имеют право участвовать все присутствующие.

Пожалуйста, Владимир Дмитриевич.

**Кекелидзе В. Д.:** Я уже написал отзыв, но хотелось бы тоже сказать несколько слов по части эксперимента NA48/2, где на самом деле получена большая часть результатов. Это было начало 2000-ых годов, было непростое время в ЦЕРНе. Коллайдер не был запущен – большой адронный, и пробить новый эксперимент было очень и очень тяжело. Коллаборация была у нас достаточно сплоченной, и когда было принято решение идти на эксперимент с заряженными каонами – это новые пучки, модернизация установки – была поставлена такая задача. Вы знаете процедуру в ЦЕРНе: нужно ходить на SPS комитет, на слушания, и на мою долю выпало все это проводить. Там довольно жесткие поставили условия, принимать новый эксперимент не хотели. Какие точности по выделению – подавлению – фона под электронами? Для одной из главных задач – отношение вероятностей распада  $K$  в  $3\pi$ , это не имело принципиального значения, но вторая задача – исследование именно полуплептонных  $Ke4$  распадов – конечно, главная задача определять длины рассеяния – это базовый параметр киральной модели, для них принципиальное значение имел фон под электронами. И тогда несколько институтов пытались войти в коллаборацию и предлагали свои условия. В частности, и ИТ из Чикаго, и Фермилаб предлагали даже детекторы и делали какие-то новые детекторы переходного излучения, чтобы войти в коллаборацию, но те предложения, которые делались, коллаборация сочла недостаточно адекватными, недостаточно подтвержденными. И вот Леандр, со своей идеей, предложил ввести нейронные сети. Это

был его входной билет в эту коллаборацию. И коллаборация, приобретя в его лице нового члена, очень активного и очень креативного, на самом деле очень много выиграла. Вы это видите по тем работам, которые выполнены частично по его инициативе, а частично он очень активно включился в уже намеченные исследования. Надо сказать, что коллаборация к приему относилась очень жестко. Это уже не для протокола, но скажу, что даже один Нобелевский лауреат просился в нашу коллаборацию и мы имели закрытое заседание Steering Committee, с закрытым голосованием. Сказали – нет. А Леандру сказали – да. И всей своей дальнейшей активной работой – он был очень активным участником всех дискуссий и за ним пришла молодая болгарская группа – все это внесло очень существенный вклад в те результаты, которые были получены и о которых вы здесь слушали. Призываю всех голосовать «за».

**Малахов А.И.:** Спасибо, Владимир Дмитриевич. Еще есть желающие выступить? Да? Мадигожин, который подготовил отзыв от организации. Пожалуйста.

**Мадигожин Д. Т. :** Я еще чуть-чуть коснусь такого вопроса, что эта тема по исследованию полуплептонных распадов, как-то это в диссертацию прозвучало, что она закрыта навсегда. Вопрос этот живой и даже в той же нашей коллаборации NA48/2 сейчас только-что завершили анализ по измерению полуплептонных форм-факторов для заряженных каонов. Форм-факторы в принципе согласуются с теми, что были получены в работе Леандра, но уже немножко точнее – время идет, мы двигаемся дальше. Т.е. я хочу просто сказать, что на самом деле вся тематика, которая была охвачена в работы в диссертации Леандра – она вся живая, все вопросы. Она интересна и с экспериментальной точки зрения, и с теоретической и актуальность диссертации очень высока.

**Малахов А.И.:** Спасибо, еще желающих? Ну, раз нет, то я скажу только два слова. Я не буду повторять научную часть, прекрасные результаты, довольно их много. Даже можно было меньше включить и пораньше защититься, и не только по этой причине можно было пораньше защититься, были и бюрократические причины. Проблема была с советом, долго проходила замена ушедших от нас членов. И даже на последнем этапе, когда казалось, что все нормально, и мы застряли, не успели ввести – сейчас же общение с ВАКом идет электронным образом, чтобы опубликовать объявление о защите, нам пришлось две недели потратить. Ну, в конце концов, прорвались. Ну, в общем, сейчас все работает. Мы испытали эту систему на Леандре. Гражданство пришлось вводить вручную. Такое лирическое отступление. Тем не менее, диссертация действительно содержательна и читается хорошо, несмотря на то, что он гражданин Болгарии. В прошлый раз у нас была защита молодого сотрудника, который не очень-то выразил хорошо благодарность, допустим, тем, кто ему очень помогал, хотя он об этом упоминал. А вот здесь эту часть можно читать. Вы не возражаете?

**Литов Л.Б.:** Я как раз хотел последнее слово чтобы прочитать эту часть, зачитайте пожалуйста.

**Малахов А.И.:** Я вот за Вас, потому что, наверное, Вам неудобно.

«И в конце, самые важные люди в моей жизни --- моя семья. Мои дети Михаела и Петр, и моя супруга Невена провели много ночей и выходных одни, потому что я участвовал в

сменах по набору данных или проводил их анализ по ночам. Они меняли города, школы, друзей и рабочие места, следуя за моим желанием проводить всегда новые и интересные исследования. Было бы невозможным достичь даже маленькой части всех этих результатов без их постоянной поддержки, без теплой атмосферы вокруг меня, и самое главное, --- без их веры в меня. Просто не знаю, как можно за все это поблагодарить...»

Ну и естественно я призываю членов нашего совета соответствующим образом проголосовать, поддержат, так сказать. Прекрасная защита.

Мы должны сейчас предоставить последнее слово.

**Литов Л.Б.:** Спасибо большое. Исследования в области физики элементарных частиц являются результатом труда больших коллективов. Даже самая блестящая идея не может быть реализована одним человеком. Исследования, представленные в диссертации, проводились с использованием исключительно сложного оборудования. Набор данных занимает длительные периоды времени и в нем принимает участие много людей. Большая часть результатов публикуется только после того, как хотя бы два независимых анализа привели к совместимым результатам. Без усердной и исключительно эффективной работы членов коллабораций HYPERON и NA48 получение представленных в диссертации результатов не было бы возможным. Для меня большая честь быть частью этих коллективов. Поэтому мои благодарности в первую очередь направлены всем членам коллабораций HYPERON и NA48.

Команда моих аспирантов и дипломников сыграла ключевую роль в реализации всех моих идей. Их энтузиазм и непоколебимый оптимизм давали мне энергию и мотивацию для работы. Я хочу поблагодарить Цветана Чешкова, Стояна Стойнева, Венелина Кожухарова, Евелину Маринову, Милену Дюлендарову-Мишеву и Мирену Ивову. Работая над исследованием распадов каонов, я всегда мог рассчитывать на поддержку всех членов группы физики элементарных частиц Софийского Университета. Даже когда работали по другим экспериментам, они всегда были готовы включиться в поддержку команды, занимающейся каонной физикой. Я очень благодарен Бориславу Павлову, Пейчо Петкову, Антону Димитрову, Василу Вергилову, Мартину Макариеву и Николаю Дарменову.

Мои коллеги и друзья из коллаборации HYPERON ввели меня в мир физики элементарных частиц и первыми поддержали предложение для исследования каонных распадов. Я в долгу перед ними всеми. Высказываю свою благодарность Юлиану Арамовичу Будагову, Владимиру Борисовичу Флягину, Николаю Русаковичу, Наде Русакович, Саше Курилину, Юрию Кульчицкому, Володе Виноградову, Виледи Маниеву, Ираклию Минашвили, Сергею Малюкову, Сергею Сергееву, Гоги Бицадзе, Антону Володько, Юрию Харжееву, Сергею Акименко, В.И. Белоусову, А.М Блику и В. Романовскому.

Все эти годы я чувствовал постоянную поддержку болгарской части команды коллаборации HYPERON – Ангела Йорданова, Румена Ценова и Георгия Велева. Вместе мы сформировали ядро группы физики элементарных частиц Софийского Университета.

Мы присоединились к эксперименту NA48 как часть дубненской группы. Это сотрудничество оказалось исключительно плодотворным. Володя Кекелидзе сыграл ключевую роль во введение нашей группы в этот новый для нас эксперимент. Дружеская



атмосфера, созданная Юрием Потребениковым, Евгением Гудзовским, Петром Христовым, Димой Мадигожиним и Наташей Молокановой оказалась существенной для успеха нашей совместной работы. Я очень благодарен им всем.

Говоря о Дубне, нельзя не отметить дирекцию ОИЯИ, оказывающую постоянную поддержку всех моих инициатив. Я благодарен Цветану Вылову, Алексею Сисакяну, Владимиру Георгиевичу Кадышевскому и Виктору Анатольевичу Матвееву.

Большое значение для меня имели многочисленные конструктивные дискуссии с коллегами из коллаборации NA48. Среди них, хотел бы высказать специальные благодарности Augusto Ceccucci, Italo Mannelli, Don Cundy, Hainrich Wahl, Rainer Wanke, Lawrenz Wildham, A. Bizzeti, Marchela Scarpa, Michele Veltri, K. Eppard, Konrad Kleinknecht, Lucia Masetti, Andreas Winhard, Ann Dabrowski, Tereza Fonseka, Mayda Velasko, Luidgy DiLella, Niles Doble, Marko Sozzi, Roberta Arcidiacono, Ivan Mikulec, Ricardo Fantechi, B. Peyaud, B. Vallage, H. Dibon и Manfred Jeitler.

Постоянные контакты и частые дискуссии с теоретиками помогли мне глубже вникнуть в проблемы, искать и находить подходящие решения и получить большинство результатов, включенных в диссертацию. Здесь я хотел бы поблагодарить Nicola Cabibbo, Jurg Gasser, H. Leutwyler, Gerchard Ecker, Antonio Pich, G. Colangelo, Gino Isidori, V. Cirigliano, H. Neufeld, J. Stern, N. Paver, B. Kubis, G. D'Ambrosio, М. Чижова, А. Белькова и В. Н. Первушина.

И наконец, конечно моей семье, но вы уже слышали это.

**Малахов А.И.:** Спасибо. Ну, сейчас у нас такой порядок. Сначала надо Счетную комиссию избрать, потом надо голосовать, а потом надо принять заключение Совета, которое вы все получили.

Так, Счетная комиссия. В состав счетной комиссии предлагается включить нового члена совета Михаила Николаевича Капишина, а также Геннадия Николаевича Тимошенко. Ну, и ученый секретарь совета Валентин Александрович Арефьев. Нет возражений против такого состава комиссии? Нет. Просьба к Счетной комиссии приступить к работе, членам Совета просьба приступить к голосованию, остальные могут немножко покурить.

Перерыв на голосование.

После перерыва.

**Малахов А.И.:** Уважаемые члены Совета и гости Совета, просьба послушать итоги. Геннадий Николаевич, пожалуйста.

**Тимошенко Г.Н.:** (зачитывает протокол Счетной комиссии)

Из списочного состава Совета 31 человек, на сегодняшнем заседании присутствовало 27 членов Совета, в том числе докторов по профилю рассматриваемой диссертации – 8. Было роздано бюллетеней 27. Нерозданные бюллетени соответственно 4. После голосования, в урне для голосования было обнаружено 27 бюллетеней. Результаты голосования по вопросу присуждения ученой степени доктора получились следующим образом:

«за» - 25 (двадцать пять) членов Совета

«против» - нет

недействительных бюллетеней – 2 (два)

**Малахов А.И.:** Спасибо. Давайте утвердим протокол. Кто согласен? Кто против? Нет. Воздержавшиеся? Нет. Принято единогласно.

Нам нужно принять Заключение Совета. Есть замечания или нет замечаний?

**Ужинский В.В.:** У меня два замечания. Первое. Я задавал вопрос относительно того указывается или нет в Болгарии имя и отчество. Ответ был такой, что указывается. В таком случае в тексте надо указывать два инициала, а то встречается и один и два.

**Кекелидзе В.Д.:** Да, надо сделать, чтобы было единообразно.

**Ужинский В.В.:** Второе замечание касается применения нейронных сетей. Говорилось о новизне и важности применения этого метода. Предлагаю дополнить раздел о результатах пунктом о нейронных сетях.

**Малахов А.И.:** Спасибо. Есть еще замечания? Нет. Кто за то, чтобы принять заключение с учетом замечаний доктора Ужинского? Против? Нет. Воздержавшиеся? Нет. Заключение принято единогласно.

Теперь можно уже диссертанта поздравить с успешной защитой.

Всем спасибо, объявляю заседание закрытым

Председатель  
диссертационного совета

Малахов А.И.

Ученый секретарь  
диссертационного совета



Арефьев В.А.

« 23 » декабря 2016 г.