

Стенограмма
заседания Диссертационного совета Д 002.119.01
Федерального государственного бюджетного учреждения науки
Института ядерных исследований Российской академии наук

г. Москва

27 декабря 2018 г.

Председатель заседания	Председатель диссертационного совета академик В.А. Рубаков
Ученый секретарь диссертационного совета	Член-корреспондент РАН С.В. Троицкий

На заседании присутствовали 23 члена совета из 26:

1. Рубаков А.А. председатель	доктор физ.-мат. наук	01.04.02
2. Безруков Л.Б. зам. председателя	доктор физ.-мат. наук	01.04.01
3. Кравчук Л.Б. зам. председателя	доктор тех. наук	01.04.01
4. Либанов М.В. зам. председателя	доктор физ.-мат. наук	01.04.02
5. Троицкий С.В. уч. секретарь	доктор физ.-мат. наук	01.04.02
6. Акулиничев С.В.	доктор физ.-мат. наук	01.04.16
7. Алексеев Е.Н.	доктор физ.-мат. наук	01.04.16
8. Далькаров О.Д.	доктор физ.-мат. наук	01.04.16
9. Домогацкий Г.В.	доктор физ.-мат. наук	01.04.16
10. Докучаев В.И.	доктор физ.-мат. наук	01.04.02
11. Джилкибаев Ж.-А.М.	доктор физ.-мат. наук	01.04.16
12. Коптелов Э.А.	доктор физ.-мат. наук	01.04.01
13. Красников Н.В.	доктор физ.-мат. наук	01.04.02
14. Куденко Ю.Г.	доктор физ.-мат. наук	01.04.01
15. Курепин А.Б.	доктор физ.-мат. наук	01.04.16
16. Лубсандоржиев Б.К.	доктор физ.-мат. наук	01.04.16
17. Недорезов В.Г.	доктор физ.-мат. наук	01.04.01
18. Парамонов В.В.	доктор физ.-мат. наук	01.04.01
19. Пантуев В.С.	доктор физ.-мат. наук	01.04.16
20. Ряжская О.Г.	доктор физ.-мат. наук	01.04.16
21. Соболевский Н.М.	доктор физ.-мат. наук	01.04.01
22. Ткачев И.И.	доктор физ.-мат. наук	01.04.02
23. Фаустов Р.Н.	доктор физ.-мат. наук	01.04.02

Председатель. Здравствуйте дорогие коллеги! У нас сегодня два заседания. Первое заседание начинаем: Алексей Семенович Мальгин защищает диссертацию под названием «Космогенные нейтроны в низкофонных подземных экспериментах» на соискание степени

доктора физ.-мат. наук, по специальности 01.04.16 физика атомного ядра и элементарных частиц. Сергей Вадимович, что у нас с документами?

Учёный секретарь. В совет поступили все необходимые документы и если есть по ним вопросы, то я могу ответить.

Председатель. Подробнее.

Учёный секретарь. Соискатель защитил кандидатскую диссертацию на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук в 1986 году в Диссертационном совете на базе ИЯИ Академии Наук СССР, работает старшим научным сотрудником в ИЯИ. Диссертация выполнена в Лаборатории электронных методов детектирования нейтрино Отдела лептонов высоких энергий и нейтринной астрофизики.

Председатель. Так, ну ладно. Алексея Семеновича мы знаем давным-давно. Если есть какие-либо вопросы, Сергей Вадимович ответит. Нет вопросов? Хорошо, тогда, пожалуйста.

Мальгин А.С. Благодарю. Уважаемые члены диссертационного совета, коллеги, гости, мое диссертационное исследование посвящено, как было сказано, космогенным нейтронам в низкофоновых подземных экспериментах.

Космогенными нейтронами мы называем нейтроны, которые образуются мюонами космических лучей во взаимодействии с веществом. Они являются одним и, пожалуй, самым сложным для устранения источником фона в экспериментах, поскольку имеют большие длины пробега и высокое сечение ядерных взаимодействий. Это приводит к тому, что они могут имитировать практически все редкие процессы, которыми сейчас занимаются люди под землей в низкофоновых экспериментах, включая поиск взаимодействия частиц темной материи, изучение свойств нейтрино, в том числе регистрацию всплесков нейтрино от гравитационных коллапсов звездных ядер. Во всех этих процессах космогенные нейтроны могут имитировать искомое событие. В связи с тем, что нейтроны производятся мюонами, а интенсивность мюонов резко падает с глубиной, эксперименты все глубже и глубже уходят под землю. Здесь приведен список лабораторий, которые находятся на глубине больше 2 километров водного эквивалента. Их количество достигло к настоящему моменту порядка десяти. Следует отметить, что интенсивность космогенных нейтронов примерно на два с половиной - три порядка ниже чем интенсивность нейтронов естественного происхождения. То есть тех нейтронов которые выходят из грунта в экспериментальный зал. Но поскольку нейтроны естественного происхождения от естественной радиоактивности имеют энергетический спектр в районе от нуля до тридцати МэВ и, более того, они изотропно распределены – их достаточно просто устранять пассивной защитой, перехватывающей эти нейтроны. А космогенные нейтроны имеют очень широкий энергетический спектр и это приводит к тем сложностям, с которыми сталкивается экспериментатор. Космогенные нейтроны определяются следующими характеристиками: выходом, с размерностью число нейтронов на мюон на длине грамм на сантиметр квадратный, скоростью образования, потоком, энергетическим спектром, пространственным поперечным распределением, и последнее временным поведением потока космогенных нейтронов, которое стало активно исследоваться последнее время.

Целью диссертации как раз является установление характеристик потока нейтронов в зависимости от средней энергии потока мюонов под землей и массового числа вещества. Собственно, в соответствии с характеристиками и построена диссертация, которая состоит из шести глав. Фактически каждая из глав посвящена одной из характеристик этих нейтронов. Наиболее важной количественной характеристикой является выход космогенных нейтронов. С него, собственно, я и начну. На сегодня известно, что каналов образования нейтронов мюонами насчитывается три. Первый канал образования – это прямое фоторождение

нейтронов полем виртуальных фотонов мюона в веществе. Другие два канала – образование нейтронов в электромагнитных ливнях и адронных ливнях, которые генерируются при прохождении мюоном вещества. Первые два канала образуют нейтроны испарительного характера, которые находятся в интервале до 30 МэВ и изотропно распределены. Первый – это фоторождение виртуальными фотонами поля мюонов. Второй – это фоторождение реальными фотонами в электромагнитных ливнях. Последний канал (самый сильный) – этот канал дает максимальный вклад в количество космогенных нейтронов на больших глубинах – это адронные ливни, которые генерируются мюонами в веществе. Адронные ливни (я не буду детализировать здесь): в глубоконеупругом взаимодействии мюона рождаются пионы высоких энергий, которые в свою очередь также в глубоконеупругих взаимодействиях в столкновении с ядрами производят нейтроны высокой энергии, а также испарительного спектра. Первые работы, которые были выполнены и с которых началось исследование космогенных нейтронов как источника фона, были сделаны у нас в Институте. Это Георгий Тимофеевич Зацепин и Ольга Георгиевна Ряжская, которые опубликовали вот эти две статьи в 1965 году. Здесь уместно показать динамику публикаций по этой тематике. Кстати, инициировалась эта работа экспериментом Дэвиса по исследованию потока нейтрино от Солнца. В связи с этим и были выполнены эти работы. Мы видим, что с 1965 по 1975 годы их вышло некоторое количество. После этого был большой провал порядка 20 лет. И вот, начиная с 1995 года, эти исследования интенсифицировались как в расчетах, так и в измерениях характеристик космогенных нейтронов. Это связано с тем, что люди стали искать новые эффекты, которые предсказывались для поиска новой физики за рамками Стандартной модели. Вот мы тут видим довольно сильное нарастание этих работ. Естественно, это стало интересным и для тех, кто занимается монтекарловскими расчетами. Потому что появились машины с большими возможностями – это, во-первых, а во-вторых – появились установки в соответствии с задачами, которые возникали и были поставлены теоретиками, больших масштабов и на больших глубинах. Итак, я вернусь к выводу: в этой таблице показан набор данных, который существовал до 2017 года. В 2018 добавилось только две работы, и они почти ничего не изменили. Мы видим здесь диапазон глубин, на которых были произведены измерения выхода для потоков мюонов со средней энергией от 10 ГэВ до практически 400 ГэВ (так как самая большая энергия 385 ГэВ). Набор вот этих данных – 38 измерений. На сегодня можно сказать: установлено, что зависимость выхода от энергии выражается степенной функцией с постоянным показателем степени и от массового числа вещества также с постоянным показателем степени. Разброс величин показателей альфа и бета достаточно большой, мы искали коэффициенты, указанные здесь в этих зависимостях, по данным экспериментального характера или расчетным данным. Незначительный набор как расчетных так и экспериментальных данных не позволял точно установить эти показатели и поэтому нужно было найти какой-то другой подход. Мы предложили, опираясь на тот факт, что выход нейтронов завит от энергии и от A , а эти степенные функции не зависят друг от друга, то, следовательно, выход как функцию от E и A можно факторизовать в виде произведения этих функций. Здесь неизвестным остается коэффициент «с» и показатели альфа и бета, которые можно установить, используя данные выхода для сцинтиллятора. Максимальное количество данных было получено в сцинтилляторе для энергий, начиная от 10 ГэВ до 380 ГэВ. Мы определили величину альфа с этой ошибкой, а далее, имея набор данных не очень большой, для трех ядер – это усредненное ядро жидкого сцинтиллятора, железа и свинца, мы смогли бест фитом – лучшей аппроксимацией – найти величины и бета и коэффициента «с», который здесь записан в виде « b_{tot} » и имеет величину 4.4×10^{-7} грамм на $см^2$. Эта величина оказалось близкой к ядерным потерям мюона, что, собственно, и указывает на то, основной

вклад в выход нейтронов дают ядерные взаимодействия мюонов. Таким образом, мы получили выражение, которое мы назвали универсальной формулой, потому что она позволяет с определенными показателями альфа и бета и коэффициентом « b_{tot} » высчитывать величину выхода на любых глубинах в любом веществе.

Следующей характеристикой является энергетический спектр космогенных нейтронов. Их два вида. Основным является спектр нейтронов в источнике – это спектр генерации нейтронов. И второй – спектр изолированных нейтронов, это спектр тех нейтронов, которые вылетают из стенок камеры в экспериментальный зал и падают на детектор. Собственно, он является производным от спектра генерации. Измерений не очень много. Спектр генерации был получен в четырех экспериментах, спектр изолированных только в двух, потому что это довольно сложная экспериментальная задача. Что известно на сегодня об энергетическом спектре? Во-первых, было понятно, что он состоит из двух частей. Первая часть – это низкоэнергетическая, которая образуется испарительными нейтронами с максвелловским спектром со средней энергией от 4 до 7 МэВ в зависимости от вещества. Вторая часть, выше 30 МэВ, образуется в адронных каскадах, и ее наиболее распространенное представление – это кинетическая энергия Tn в степени альфа, причем показатель альфа точно не был определен. И третий факт, который на сегодня был известен, что спектр генерации космогенных нейтронов не изменяется с глубиной, то есть не зависит практически от средней энергии потока мюонов. С появлением сильных хороших программ и вычислительных возможностей – это программы FLUKA и Geant4 – люди пытались получить информацию о том, каким образом соответствует зависимость Tn в степени минус альфа спектру генерации. Если существует перегиб спектра, то при какой энергии и от чего он зависит. Помимо этого возникал вопрос, возможно ли обрезание спектра генерации или он тянется в соответствии со спектром мюонов. Ну, а четвертый пункт – это достаточно технический вопрос, какую долю испарительные нейтроны составляют в полном количестве нейтронов, поскольку было известно, что основную часть составляют именно они. Они не представляют большой опасности с точки зрения эксперимента, потому что имеют энергию не выше 30 МэВ и очень просто исключить потоки этих нейтронов пассивной защитой, поставив туда поглотители в виде жидкого сцинтиллятора или борированного парафина. Стоял вопрос – как величины в перечисленных пунктах 1-4 зависят от энергии мюонов и массового числа вещества. С тем, чтобы ответить на эти вопросы, я использовал аддитивную кварковую модель чтобы понять, какую форму спектр космогенных нейтронов имеет в области выше 30 МэВ. А так как они генерируются в глубоконеупругих столкновениях пи-мезонов с ядрами, мы имеем дело с глубоконеупругим столкновением пи-мезона с внутриядерным нуклоном. А если посмотреть еще глубже, то это – столкновение двух валентных кварков – кварка налетающего пи-мезона и одного из кварков, входящего в состав внутриядерного нуклона. Рассмотрение этого процесса приводит к заключению, что механизмом глубоконеупругого пи-N-рассеяния с множественным рождением пи-мезонов является упругое столкновение двух точечных частиц – валентных кварков. Поскольку они являются заряженными, то рассеяние кварка-мишени должно описываться законом $1/E^2$. Это, собственно, закон для энергетического распределения дельта-частиц. Такое же распределение имеют дельта-электроны, которые генерируются мюоном или любой заряженной частицей в веществе. То есть это – основной закон: $1/E^2$. Я не буду об этом говорить подробно. Этот спектр здесь показан - нуклон отдачи от пи-N –столкновения должен иметь в ядре энергетическое распределение Tn в степени (-2). Дальнейшая судьба этого нейтрона, который образовался внутри ядра, зависит от того, выскочит он из ядра без взаимодействия или провзаимодействует в ядре, потеряв часть энергии. Таким образом, нейтрон может остаться в составе ядра, возбудить его и

инициировать потом процесс испарения нейтронов. За счет этого процесса часть нейтронов низкоэнергетической области, там, где сечение достаточно высокое, «выедаются» при прохождении ядра, в результате получается спектр с характерным перегибом в области до некоторой критической энергии, которая определяется размером ядра, то есть массовым числом A . Далее те нуклоны, дельта-нейтроны, вылетают из ядра свободно, поэтому их спектр имеет форму дельта-частиц, то есть T в степени (-2) . Из этой же аддитивной кварковой модели следует, что в спектре нейтронов должно быть ограничение на уровне 1 ГэВ. (Это одно из замечаний оппонента, на которое я буду отвечать позднее более детально.) Что было получено в измерениях? Вот здесь показаны спектры регистрируемых нейтронов в эксперименте KARMEN и в эксперименте Soudan, из которых можно заключить, что эти спектры в области до 80 МэВ (это в спектре эксперимента KARMEN) и до 60 (Soudan) согласуются. Они описываются зависимостью – экспонента с показателем 60 МэВ в обоих экспериментах. Эта экспонента близка зависимости $1/T$, где T – кинетическая энергия нейтрона. Теперь, область, в которой были проведены исследования была ограничена 80 МэВ’ами, а в более широком энергетическом диапазоне были выполнены измерения в лаборатории Гран Сассо. Одно – это с использованием счетчика объемом полтора куб. метра на жидком сцинтилляторе. Здесь мы видим: в интервале от 20 до 80-90 МэВ спектр неплохо согласуется с зависимостью T в степени (-1) , а далее имеется перегиб и предсказанная форма спектра T в степени (-2) . Наиболее точные измерения спектра были проведены на установке LVD. Был получен спектр, показатель этого спектра в области до 100-120 МэВ имеет величину (-1) , а в области более высоких энергий (-2) . То есть тоже согласуется с представлениями, которые следуют из аддитивной кварковой модели.

Теперь о спектре изолированных нейтронов. Как я уже говорил – это спектр нейтронов, которые «вываливаются» на детектор из грунта, окружающего экспериментальный зал. Этот спектр является производным от спектра генерации. Он формируется областью, из которой эти нейтроны падают на детектор. Мы можем включить в рассмотрение функцию трансформации спектра генерации и в результате приходим к выражению для спектра изолированных нейтронов до перегиба. После перегиба он резко укручается от T в степени (-0.6) до (-2.6) после перегиба, который находится тоже в районе около 100 МэВ. Экспериментов было только два. Это не так много, тем не менее есть возможность сравнения, что же мы имеем до 40 МэВ в эксперименте Бартона, 1985 год. Он не мог выше продвинуться, потому что счетчик был небольших размеров. На Артемовской научной станции спектр был получен до 90 МэВ. Мы видим, что зависимость, которую мы получили в этой области энергии, дает возможность констатировать согласие с рассчитанной зависимостью в этой области измерений. Теперь мы можем сказать следующее: спектр нейтронов в источнике имеет три компоненты, первая – до 30 МэВ, это максвелловское распределение изотропно распределенных в пространстве нейтронов, вторая компонента – это направленные в переднюю полусферу нейтроны с энергией от 30 МэВ до энергии перегиба в районе 100 МэВ, показатель T в степени (-1) , и далее укручение до показателя (-2) – это показатель спектра генерации нейтронов в ядре. Спектр изолированных нейтронов тоже имеет три компоненты. Первая – это также максвелловское распределение, только со средними энергиями несколько меньшими за счет потерь в грунте до того, как нейтрон вылетит из грунта. Вторая компонента имеет показатель (-0.6) , и последняя, самая высокоэнергетическая компонента, имеет показатель (-2.6) . Этот спектр тоже должен быть ограничен при энергии порядка 1 ГэВ. Мы не имеем измерений в этой области энергий, поэтому ничего сказать не можем. В скором будущем мы может быть получим спектр в этой области.

Я перехожу теперь к поперечному распределению космогенных нейтронов. Поперечное распределение характеризует способность космогенных нейтронов уходить далеко от трека и становится изолированным так, что мы не могли бы этот нейтрон приписать какому-либо мюону. Если мы регистрируем мюон, то мы имеет возможность исключить нейтрон, так как считаем, что он произведен мюоном с данным треком. Поперечным распределением является распределение по кратчайшему расстоянию от мюонного трека до места, где нейтрон исчез. Это распределение связано с длинной пробега и угловым распределением дельта-нейтронов относительно мюонного трека. Угловое распределение показывает, под каким углом нейтрон вылетает из ядра при пи-А-взаимодействии. Что можно было бы а-приори сказать о форме поперечного распределения? Первое – это то, что нейтроны низкоэнергетичной части не могут давать серьезного вклада в поперечное распределение, потому что они имеют небольшую энергию и остаются около мюонного трека и, таким образом, мы можем исключать этот нейтрон как связанный с прохождением мюона. С другой стороны, самая высокоэнергичная часть нейтронов выше 100 МэВ; эти нейтроны идут вблизи трека мюона и находятся в области развития адронного каскада. На этом основании мы также можем исключать их из числа нейтронов, которые можно считать изолированными. Самой опасной оказывается вторая компонента, та, что имеет спектр генерации пропорциональный $1/T$. Здесь показана эта величина, которую находят в экспериментах. С другой стороны, рассмотрение процессов генерации и прохождения нейтронов в веществе приводят к выражению для поперечного распределения такого вида: это R в степени (-2.3) . Здесь R в степени (-2) является геометрическим фактором, который учитывает падение плотности нейтронов в соответствии с расстоянием от мюонного трека. Возможность измерять поперечное распределение появилась с созданием установок больших размеров, с характерными размерами, во много раз большими пробегах нейтронов в веществе. Самое детально исследование поперечного распределения было выполнено на установке LVD, одна башня которой имеет указанные на рисунке размеры. При этом использовалась такая методика: отбирались любые мюоны, проходящие через вещество одной башни и в случае, если регистрировался нейтрон в этой же башне измерялось кратчайшее расстояние от центра счетчика, в котором был зарегистрирован нейтрон, до трека мюона. Было получено следующее распределение, обозначенное на рисунке красными точками. Затем было решено сделать измерение на двух башнях. Они обе включались в совпадение. Для любого мюона, который пересекал одну или вторую, или обе башни вместе, фиксировался нейтрон, который мог улететь в одну из башен. Результат был получен такой. Мы видим, что имеются противоречия между первым измерением и вторым, поэтому было сделано еще одно измерение. Конфигурация измерения выбиралась такой, что одна колонна башни из пяти была мишенной. Мы отбирали мюоны, которые проходили только через эту колонну, а потом отмечались колонны со счетчиками, в которых фиксировались нейтроны. Изменялось расстояние между мишенной и этими колоннами. Здесь, на этом графике, видно, что два последних измерений согласуются с зависимостью R в степени (-2.3) , которая была получена расчетом. Следует сказать, что помимо измерений на LVD были сделаны измерения поперечного распределения на установках KamLand, Borexino и Daya Bay. Результаты KamLand можно не учитывать, потому что они исключали из рассмотрения мюоны которые сопровождалась ливнями, а собственно, в адронных ливнях и рождаются нейтроны с большими поперечными расстояниями. Они смотрели только прямое рождение нейтронов полем виртуальных фотонов. Доля этих нейтронов в полном выходе составляет не больше 5 процентов. Поэтому их распределение не влияет на то, что нам интересно. А вот на Borexino и Daya Bay измерения были выполнены для всех космогенных нейтронов, которые рождаются во всех процессах. Но, поскольку в Daya Bay характерные

размеры установки не больше 5 метров, они могли продвинуться до расстояний 4.5 метров, что видно на этом графике. В Bogehino, при диаметре детектирующей сферы 8 метров, они продвинулись до расстояний 6.5 метров. Видно, что в этих экспериментах, так же как и в эксперименте на одной башне LVD, результаты получены под влиянием краевого эффекта. То есть размеров детектирующего объема недостаточно и часть нейтронов с большими пробегами вылетает из установок. Это следует из данного графика, где красные квадраты являются результатами LVD на одной башне, другие – результаты DayaBay и Bogehino.

Теперь я перейду к последней, заключительной главе диссертации, которая связана с исследованием временного поведения потока космогенных нейтронов. Эта задача привлекла внимание людей, которые занимаются фоном в подземных экспериментах, со времени появления результатов эксперимента DAMA в 2008 году, которые говорили о том, что зарегистрированы взаимодействия частиц темной материи по вариациям сигнала, который они регистрируют на глубине около 3 км водного эквивалента в Лаборатории Гран Сассо. Эти вариации вызываются движением Солнечной системы в Галактике и движением Земли вокруг Солнца. При этом расположение эклиптики Земли такое, что относительно Земли скорость частиц темной материи, одним из кандидатов на которые являются WIMP'ы летом больше чем зимой. Амплитуда этих вариаций была получена около 3 % от среднегодового значения. После этого начались измерения вариаций интенсивности мюонов, поскольку высказывалась гипотеза, что это можно объяснить фоном нейтронов от мюонов. Следовательно, надо было знать, какова же амплитуда вариаций потока мюонов. Эти эксперимента были выполнены достаточно давно. Была получена временная зависимость интенсивности мюонов на разных глубинах в разных экспериментах. В Гран Сассо амплитуда вариаций впервые была получена в эксперименте MACRO. Затем вариации были получены по данным LVD за самый большой период – около восьми лет. Мы обнаружили, что амплитуда вариаций интенсивности мюонов полтора процента. Возник, естественно, вопрос, а какова же амплитуда вариаций потока нейтронов, который генерируются потоком мюонов? Установка LVD дает широкую возможность для этого, потому что имеет большой объем и большую массу сцинтиллятора и железа, которое входит в состав конструкции. Измеряется большое количество нейтронов. Визуальная картина демонстрирует, что мы видим сезонные вариации. Летом мы имеем больше нейтронов, чем зимой. Здесь представлены наблюдения за 15 лет. Отсюда мы можем методом наложения эпох, при котором годовые данные накладываются друг на друга, определить достаточно точно амплитуду вариаций и фазу этих вариаций, они составляют 7.7 процента. Для того чтобы удостовериться, насколько точны измерения методом наложением эпох, мы провели обработку данных еще одним методом – разностным. То есть определяли количество нейтронов за зимние и летние месяцы, разница давала относительную амплитуду вариаций нейтронов. Мы получили ту же самую величину – 7.7%. Таким образом, мы можем утверждать, что вариации нейтронов имеют амплитуду гораздо большую, чем амплитуда вариации интенсивности мюонов. Поскольку мы измеряли величину выхода космогенных нейтронов в веществе детектора LVD, а выход зависит от энергии как E в степени 0.78, при постоянной A , можно сказать, что поток нейтронов отражает изменение средней энергии потока мюонов. Таким образом, используя зависимость E в степени 0.78, мы можем получить амплитуду 10 % для вариации средней энергии мюонов на глубине LVD, или, в абсолютной величине, 28 ГэВ. Но это в предположении, что энергия – это единственный аргумент, влияющий на величину потока нейтронов. Далее мы можем определить, как меняется поток нейтронов, который зависит от вариаций интенсивности мюонов на данной глубине и величины выхода. Мы знаем эти величины: 1.5% и 7.7%; получаем в результате амплитуда вариаций потока нейтронов на глубине LVD 3.5 км 9%. Это в три раза превышает амплитуду,

которая была получена в эксперименте DAMA. Но результат эксперимента DAMA, можно сказать, уже закрыт другими измерениями. Это представляет интерес уже для других экспериментов, потому что, в принципе, гармонической функцией вариации космогенных нейтронов описывать нельзя, но я об этом говорить не буду. Заканчивая свой рассказ, я скажу, что вариации средней энергии мюонов – это новый эффект в мюонной физике. Он определяется, главным образом, температурным расширением атмосферы летом, уменьшением плотности верхних слоев атмосферы и за счет этого - увеличением вероятности распадов пионов. В связи с этим увеличивается фракция мюонов более высоких энергий на уровне моря и на уровне наблюдения. Помимо этого, есть еще процессы, которые трансформируют энергетический спектр мюонов на уровне моря в спектр мюонов под землей. Здесь показана качественная картинка, которая демонстрирует, каким образом трансформируется спектр на глубине LVD. Фиолетовая кривая – это среднесезонный спектр мюонов, голубая – летний. Мы видим, что интенсивность в области невысоких энергий уменьшается, а в области высоких энергий увеличивается за счет этого средняя энергия возрастает. Собственно, я заканчиваю на этом. Основные выводы я не буду зачитывать, они написаны. Оглашу только положения, которые выносятся на защиту. Итак, я защищаю:

- выход космогенных нейтронов в виде формулы, которую я назвал универсальной, которая позволяет вычислять выход нейтронов для любых веществ на любой глубине;
- выход заряженных пионов, который был получен при феноменологическом рассмотрении процессов образования космогенных нейтронов;
- я защищаю спектр космогенных нейтронов, спектр генерации в виде трех компонент с такими показателями и критической энергией, которая дает энергию перегиба спектра, а также ограничение спектра, назовем его «обрезанием», на одном ГэВе;
- я защищаю спектр изолированных нейтронов с характеристиками, которые здесь указаны;
- я защищаю поперечное распределение в виде формулы R в степени (-2.3) ;
- положение, что поток космогенных нейтронов под землей испытывает сезонные вариации, превышающие сезонные вариации потока мюонов в шесть раз;
- и последнее, средняя энергия мюонов на больших глубинах изменяется в зависимости от сезона, и, если предполагать, что эти изменения следуют зависимости E в степени 0.78 , то амплитуда вариаций должна составлять 10 процентов.

Собственно, и все. Спасибо за внимание.

Председатель. Спасибо. Так, вопросы, пожалуйста, к докладчику.

Пантуев В.С. Вот у меня касательно первой части... Замечание, скорее всего, относительно массовой зависимости, особенно в легкой, мягкой части, для легких ядер. Там огромный вклад диффузной зоны и плотности маленькие, поэтому зависимости от A в какой-то степени не должны работать. А если вы проецируете A -зависимость при больших значениях A , а потом используете для малых, то это все не так. То есть нельзя универсальной A -зависимостью применять и для легких и для тяжелых ядер. Второе, удивляет, что вы используете такую наивную тривиальную аддитивную кварковую модель в глубоконеупругих процессах, ну, это как-то совсем уж, ни в какие ворота. Мало того, что пионы рождаются не просто в двухчастичных взаимодействиях, – там куча каскадов, куча промежуточных частиц, которые распадаются на пионы. Все это выглядит несколько упрощенно. И третий вопрос по этому пункту, касательно сезонных колебаний, Вы как-то не отметили, кроме Вас, может быть были подходы, которые описывают, насколько оправдано ваше предположение об изменении энергии, были ли другие объяснения.

Мальгин А.С. Я с последнего вопроса начну. Вы имеете в виду, имеются ли измерения?

Пантуев В.С. Нет, объяснения.

Мальгин А.С. Объяснения относительно вариаций нейтронов. Пожалуй, нет. Это новый результат, который получен на LVD.

Пантуев В.С. Десять лет, и никто даже не пытался?

Мальгин А.С. Первые результаты были получены и опубликованы экспериментом DAMA в 2008 году. После этого люди стали измерять вариации мюонов под землей. Мы получили вариации мюонов в 2009 году. После этого, вообще говоря, мы не очень задумывались на эту тему. И только через четыре года мы решили посмотреть, а как же варьируется поток нейтронов. Такой задачи никто не ставил. Публикаций на эту тему нет, только наши. Поэтому, я могу ответить по факту, который есть. Второе, насчет взаимодействия пи-А. Действительно, аддитивную кварковую модель часто называют наивной. Но эта наивная модель, что часто отмечается в литературе, дает исключительно интересные и правильные результаты. Вы говорите, что возникает довольно много промежуточных частиц, резонансов и так далее, когда взаимодействует пи- мезон. Глубоконеупругое взаимодействие адронов имеется ввиду, это не глубоконеупругое взаимодействие лептонов, нейтрино. Взаимодействие адронов идет на уровне валентных кварков, это установлено в области высоких энергий, где доминируют множественные процессы. Мы ведем исследования в области множественных процессов, там, где в одном акте столкновения рождаются больше пяти-десяти-двадцати пи-мезонов. Энергии высокие, мы имеем дело с энергиями выше 40 ГэВ. При этих энергиях механизм рождения протекает следующим образом: валентный кварк налетающего пи-мезона...

Пантуев В.С. При этих энергиях – адрон не адрон. Это структурные функции с множеством глюонов.

Мальгин А.С. Структурные функции адронов отличаются от структурных функций нейтрино, безусловно. Люди иногда говорят, что такого не может быть и все время поминают глубоконеупругие процессы с образованием пи-мезонов в столкновении нейтрино с нуклоном. Там нет прямого взаимодействия кварка с кварком, здесь оно существует. И когда мы говорим, что происходит множественное рождение пи-мезонов, мы имеем безусловно глубоконеупругое взаимодействие. Глубоконеупругое взаимодействие приводит к тому что два кварка, которые находятся в конфайнменте – один в нуклонном, другой в пи-мезонном – разлетаются, на границе конфайнмента происходит разрыв.

Пантуев В.С. Это все очень упрощено.

Мальгин А.С. Эта упрощенная модель дает хорошие результаты. И первый вопрос относительно того, что нельзя зависимость выхода нейтронов в области легких ядер продлить на область тяжелых ядер. Ответ такой – можно. Потому что эксперимент показывает, что это можно. Я кстати, на эту тему буду отвечать на замечание одного из оппонентов. Я покажу кривую, что это возможно.

Пантуев В.С. Но с какой точностью?

Мальгин А.С. Да, конечно. Вот это правильно. Потому что речь идет об основной зависимости. Можно назвать ее генеральной. Безусловно, разброс точек имеется около этой зависимости и если вы хотите посчитать величину выхода для конкретного ядра, то вам нужно будет еще кое-что учитывать помимо энергии в степени 0.78 и массового числа. Эта основная зависимость и ее ищут всегда во всех измерениях. Я могу показать позднее зависимость числа фотонейтронов от A для разных ядер. Там разброс колоссальный, но авторы пишут, что зависимость A в степени $5/3$. То есть это – основная зависимость, я с вами согласен, что при этом необходимо учитывать тонкие эффекты. Здесь мы говорим о той физике в зависимости от энергии и атомного числа. Я могу так ответить.

Председатель. Хорошо. Еще, пожалуйста, вопросы.

Далькаров О.Д. У вас здесь три энергетических режима. В каждом из них временные вариации одинаковы или нет? Вы ищите усредненные, а в каждом энергетическом режиме они одинаковы?

Мальгин А.С. Вы имеете ввиду три компоненты спектра?

Далькаров О.Д. Да.

Мальгин А.С. Во-первых, мы этого не смотрели. Во-вторых, это очень непросто. Определение энергии нейтронов – это сложная экспериментальная задача, тем более, что мы должны разделить их по энергии. Мы меряем полный поток нейтронов.

Далькаров О.Д. Я понимаю, что это средние значения. Хотелось бы понять в каждом диапазоне.

Мальгин А.С. Ну, этого не было сделано.

Председатель. Хорошо. Пожалуйста, Григорий Игоревич.

Рубцов Г.И. Вот вы говорите о взаимодействии мюонов с ядрами. Но в ШАЛ есть также пи-мезоны не распавшиеся, есть какое-то количество протонов, антипротонов. Какой вклад они будут вносить, их взаимодействия с ядрами, в результат Вашей работы.

Мальгин А.С. Минуточку, я не понял.

Рубцов Г.И. Мю-мезон может распасться и провзаимодействовать с ядром.

Мальгин А.С. Вы говорите об адронном каскаде, который генерируется мюоном в веществе? Предположим в грунте?

Рубцов Г.И. Тот каскад, который есть, он может содержать в себе эти частицы.

Мальгин А.С. Да, конечно. Каскад содержит 80% пи-мезонов, около 20% каонов, остальные 0.7 % какие-то частицы. Я говорил только о пи-мезонах, которые являются основной составной частью адронного ливня.

Рубцов Г.И. Но взаимодействуют у Вас мюоны.

Мальгин А.С. Нет. Мюон идет, он взаимодействует посредством глубоконеупругого фотоядерного взаимодействия с множественным рождением пи-мезонов. Мюон летит дальше.

Рубцов Г.И. Вместо мюона может быть пи-мезон или протон?

Председатель. Нет, мюон под землей.

Мальгин А.С. Нет, это под землей, а не в воздухе. Это все рассматривается на уровне наблюдения под землей. Там в основном только пи-мезоны. Каоны дают небольшой вклад и они, практически, не меняют картины.

Председатель. Пожалуйста, Юрий Григорьевич.

Куденко Ю.Г. У меня такой вопрос: нейтроны есть, есть под землей, насколько этот поток, который Вами получен, опасен для поиска темной материи? То есть этот фон уже возможно покажет нижний предел наряду с когерентным рассеянием нейтрино. Можете ли вы что-нибудь сказать по этому поводу? Предел чувствительности фактически, – дальше нейтроны будут создавать фон; в области, скажем, одного-двух ГэВ, нейтроны будут полностью имитировать WIMPy?

Мальгин А.С. Нет, я? наверно, не могу сказать этого. Дело в то, что это зависит от методики эксперимента. Например, DAMA, XENON, и еще пара экспериментов ищут взаимодействие частиц темной материи, WIMPy, по вариациям. А вариации у них уже, в принципе, являются механизмом создания фона вот этим эффектом. Его, скорее всего, (но это не окончательно) можно исключить.

Куденко Ю.Г. Нет, не все. Сейчас большинство экспериментов, скажем XENON и так далее, смотрят не по вариациям. Они используют ядра отдачи.

Мальгин А.С. Конечно, они, и в том числе смотрят по вариациям.

Куденко Ю.Г. По ядрам отдачи, нейтрон создает как раз такое ядро отдачи. Известны эксперименты, LUX, например, и другие, которые используют. Вы в принципе могли бы легко оценить.

Мальгин А.С. Наверно, да. Мы этого не делали.

Председатель. Сами эксперименты это делают, базируются на распределениях потоков мюонов.

Мальгин А.С. Ну да, но нужно сказать, что (я об этом еще скажу в ответах на замечания) расчеты которые используются сегодня? все-таки нуждаются в усовершенствовании, потому что они дают достаточно большое расхождение с экспериментами.

Председатель. Еще пожалуйста.

Лубсандоржиев Б.К. У меня скорее ремарка, а не вопрос. Когда Вы говорили о измерениях мюонов в Гран Сассо, Вы упомянули только LVD и MACRO, но есть измерения наши в эксперименте GERDA.

Мальгин А.С. Замечательный вопрос. Это одно из замечаний одного из оппонентов. Я на него ответ знаю, потому что я к нему подготовился. GERDA получила вариации за 2.7 года всего – это первое. Во-вторых, там нет ничего нового. GERDA просто своей публикацией показала, что ее вето – система работает хорошо. Это побочный результат измерений. Так как точек на графике, который там нарисован, достаточно (это MACRO, LVD, Borexino), я решил точки GERDA на этом графике не показывать.

Председатель. Пожалуйста, еще вопросы.

Синев В.В. Тут у меня вопрос. Гран Сассо как бы не совсем подземная установка. Это горный массив, находится над уровнем моря. Как связать рождение нейтронов в коре и просто в грунте.

Мальгин А.С. Я думаю, что это зависит только от того какой слой грунта между детектором и поверхностью холма или горы, плоской поверхности. Я думаю это совершенно идентично и зависит от толщины грунта и от состава, естественно.

Председатель. Еще вопросы, пожалуйста. Если вопросов нет, спасибо. Присаживайтесь, пожалуйста

Председатель. Теперь у нас отзывы организации и представления.

Учёный секретарь. У нас Диссертация представлена Институтом ядерных исследований Российской академии наук. Имеется заключение нашего института, в котором дана оценка выполненной работы, перечислены положения, выносимые на защиту, отмечены личное участие и персональный вклад автора диссертации, достоверность, научная новизна, практическая значимость. Отмечено, что диссертация выполнена в области фундаментальной науки, включающей экспериментальные и теоретические исследования, посвящена изучению ядерных реакций, что соответствует пункту 6 «теория атомного ядра и ядерных реакций» и пункту 9 «физика космических лучей» паспорта специальности 01.04.16 - Физика атомного ядра и элементарных частиц, по которой диссертация защищается. Полученные по теме работы результаты опубликованы в 17 статьях рецензируемых журналов, рекомендованных ВАК, а также в трудах 7-ми конференций. Материалы представлены в полном объеме. Соискателем был сделан доклад на семинаре им. Г.Т. Зацепина 15 июня 2018 года с участием членов Объединенного Ученого совета ОЛВЭНА, ЛНАВЭ и БНО ИЯИ РАН состоялось обсуждение доклада, на котором были заслушаны отзывы специалистов по теме диссертации. Вывод Объединенного Ученого совета состоит в том, что указанная Диссертация удовлетворяет всем требованиям, предъявляемым к докторским диссертациям и рекомендуется к защите. Заключение принято единогласно, подписано председателем Объединенного Ученого совета Ряжской, секретарем Копысовым, утверждено заместителем

директора ИЯИ Рубцовым. На отзыв Ведущей организации Диссертация посылалась в НИЦ Курчатовский институт. Отзыв положительный. Я по этому могу сказать, что отзыв составил кандидат физико-математических наук, начальник Лаборатории физики нейтрино Отделения физики нейтрино НИЦ Курчатовский институт Литвинович, подписан. Отзыв обсужден и одобрен в Отделении физики нейтрино НИЦ Курчатовский институт 31 октября 2018 года, номер протокола, подписано руководителем Отделения Скорохватовым, главным ученым секретарем Стремоуховым и утвержден заместителем директора по научной работе НИЦ Курчатовский институт (тут печать, к сожалению, стоит – плохо видно) Яцишина, по-моему. Я могу ограничиться зачитанием общих замечаний. Значит, раздел общих замечаний. Впечатляет многосторонность и полнота рассмотрения предмета диссертационного исследования – космогенных нейтронов, а также стройность изложения материала. Очевидно, что взгляд автора на тему исследования, вылившийся в настоящую диссертацию, сложился в результате его многолетней работы в этой области. В то же время, к содержанию диссертации можно сделать следующие комментарии и замечания:

Первое, в работе на основе всестороннего анализа имеющихся экспериментальных данных получена универсальная формула для выхода космогенных нейтронов в зависимости от средней энергии потока мюонов и массового числа среды, при этом утверждается, что точность универсальной формулы не хуже 20%. Точность определяется погрешностями измерений выхода, которые, в свою очередь, зависят от точности установления средней энергии мюонов. Поскольку на разных глубинах и в разных экспериментах эта точность различна, для дальнейших практических применений было бы полезно привести точность универсальной формулы, как функцию средней энергии мюонов (глубины подземной лаборатории).

Второе, в работе обсуждаются измерения энергетического спектра космогенных нейтронов по протонам отдачи при помощи секционированного, жидко-сцинтилляционного детектора LVD. Измерения энергии в жидких сцинтилляторах требуют учета квенчинг-эффекта для протонов. В работе, однако, не сказано, как определялся квенчинг протонов в сцинтилляторе LVD?

Третье, в числе крупномасштабных подземных установок, наблюдавших сезонные вариации потока космических мюонов (стр. 151), можно упомянуть детектор GERDA в лаборатории Гран-Сассо (Италия). Соответствующие результаты были опубликованы. Дана ссылка.

Четвертое, при рассмотрении эффекта сезонных вариаций потока космогенных нейтронов разностным методом для относительной амплитуды вариаций получено $\delta N_p/N_p$. Приведено число со статистической и систематической ошибкой. В оценке точности измерений доминирует систематическая погрешность, однако ее источники в работе не указаны.

Пятое, текст диссертации содержит ряд опечаток. Приведены три опечатки. Помимо этого, имеется несоответствие указанных в тексте интервалов наблюдений вариаций нейтронов в эксперименте LVD: на стр. 154 и рис. 6.4 а, б указан интервал 16 лет, в то время как в выводах к главе 6 на стр. 171 фигурирует интервал 15 лет.

Дальше составители отзыва отмечают, что отмеченные недостатки не снижают достоинств диссертации, которая представляет собой законченное исследование и имеет высокую научную и практическую значимость для физики атомного ядра и элементарных частиц. Отмечается, что диссертация полностью соответствует требованиям Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного Постановлением Правительства Российской Федерации №842, а ее автор безусловно заслуживает присуждения ему искомой ученой степени по данной специальности.

Председатель. Так, Алексей Семенович, у Вас есть возможность ответить на замечания.

Мальгин А.С. Первое замечание. Здесь приведен текст этого замечания. Действительно, в тексте диссертации это не было указано. Я сделал вычисление. К сожалению, Евгений Литвинович не смог присутствовать здесь. Вы видите тут формулу, которую я получил. Относительная ошибка, которую дает универсальная формула в зависимости от средней энергии потока мюонов, имеет такое выражение. И для примера я посчитал, какова же будет ошибка для выхода нейтронов для средней энергии 100 ГэВ (это примерно 0.5 км водного эквивалента) – 15 %, но с увеличением глубины, скажем для глубины установки LSD, которая была под Монбланом, 5.2 км в.э., ошибка составляет 7.6%. Я таким образом ответил на это замечание.

Следующее замечание – каким образом учитывался квэнчинг для того, чтобы определить энергию нейтронов. Энергия нейтронов определяется, в основном, по энергии протона отдачи в жидком сцинтилляторе. Но световыделение протона не такое, как световыделение у релятивистского электрона, к примеру. Оно снижено концентрационным тушением, которое называется в литературе «квэнчингом». Чтобы манипулировать с энергетическими спектрами я использовал статью, которая была опубликована одним из соавторов эксперимента LVD ДжанМарко Бруно. Она была опубликована как «определение светового выхода для протона отдачи в жидком сцинтилляторе». Здесь этот график показан. В области больше 100 МэВ квэнчинг равняется единице, то есть фактически совпадает со световыделением для соотношения светового выхода и энергии для релятивистского электрона. Далее – здесь, на что я уже отвечал – результат эксперимент GERDA. Эта точка GERDA должны сидеть здесь. Они получили согласующийся с MACRO, Bogexino и LVD результат, поэтому я его решил не включать. Далее, какова ошибка, не обговорен источник большой систематической ошибки. Это связано с тем, что количество нейтронов (амплитуду сезонных вариаций) мы находили разностным методом: смотрели разницу между количеством нейтронов за три зимних месяца (декабрь, январь, февраль) и три летних месяца (июнь, июль, август). Здесь – величина, которую мы определяем: количество нейтронов зависит от τ , величину которого мы определяем по экспериментальным данным, и точности определения величины N_0 . А эта величина сильно зависит от статистики, которую мы имеет. Вот эта погрешность в статистике приводит к ошибке определения величины N_0 , которую, в результате получаем порядка 20 %. Более подробная информация есть в этой статье, там об этом рассказывается. И последнее, опечатки, интервал и так далее... Это, просто – буквы рядом находятся на клавиатуре, ну, и невнимание при прочтении, когда нужно было это устранить. Относительно того, что на графике указан интервал 16 лет, а фигурирует 15 лет. На самом деле 15.8 лет, если точно. Округлил так. Вот, собственно, все.

Председатель. Хорошо, спасибо. Так, если по этому поводу нет никаких возражений, то давайте перейдем к выступлению оппонентов. У нас первый – Анатолий Афанасьевич Петрухин. Пожалуйста, Вам слово.

Петрухин А.А. Итак, о том, что эта работа важная – говорить не приходится. Естественно, нейтроны являются основным и, самое главное, трудноустраняемым фоном во многих экспериментах, в том числе и по поиску темной материи. Поэтому, когда мне предложили выступить оппонентом, я без колебаний согласился – просто мне было интересно знать, какое современное состояние дела, потому что Ольга Георгиевна, с незапамятных времен от нее только и слышишь: «А вы учли нейтроны от мюонов или не учли?» Поэтому в целом диссертация, конечно, представляет из себя солидный труд, в котором содержится обзор практически всех современных результатов экспериментов и результатов теоретических расчетов. Поэтому она очень полезная, я с большим интересом ее прочитал.

Теперь, что можно сказать о результатах. Результаты, которые получены в этой диссертации, можно разделить на три части. Первая – это выход, этому вопросу посвящены целых три главы, он с разных сторон там рассматривается, в том числе – с теоретической точки зрения, может быть не совсем несовременно сложно, но тем не менее... Вторая часть – это две главы, четвертая и пятая, – это характеристики потока нейтронов, то есть энергетический спектр и пространственное распределение – тоже актуальные вопросы. И последняя часть – это шестая глава, сезонные вариации.

По первой части что я могу сказать. На мой взгляд, все-таки наиболее таким бросающимся в глаза результатом является получение универсальной формулы. При всех ее недостатках, о которых я скажу несколько позже, она все-таки позволяет быстро оценить реальные условия нейтронного фона для любой лаборатории, в которой вы собираетесь что-то делать или что-то делаете. Точность этой формулы не очень велика, это показало сопоставление с результатами моделирования по Geant'у. Там есть и систематический сдвиг, и разброс и самое главное то, что результаты расчетов для ядер с небольшими отклонениями A друг от друга дают отличающиеся результаты в несколько раз. Это, видно, связано с тем, что если есть нейтроны на внешней оболочке, то их легче выбить, соответственно их получается больше. То есть нужно бы сюда включить структуру ядра, что достаточно усложнило бы ситуацию. Часто мы беседовали с Алексеем, я ему говорил об этом: как правило он все делает правильно, но иногда берет результаты, те, которые получили авторы какой-то работы, их сравнивает со своей формулой, вычисляет по ней тоже самое и сравнивает с результатами измерений. Естественно, получает прекрасное согласие. Так делать нельзя. Независимыми являются только глубина и массовый состав. Все остальное должно быть вычисленным. Вот такое замечание. Более мелкое замечание, которое сюда относится: известно, что средняя энергия мюонов слабо меняется при больших глубинах, но тем не менее имеются всего-навсего два результата, в которых эта энергия была измерена. Один он упоминает, который был в Гран Сассо, а то, что было в эксперименте NUSEX сделано, он почему-то проигнорировал, хотя там результат хороший и подтверждает вторую модель, которая обсуждается.

Теперь, вторая часть – по поводу характеристик потока нейтронов, которые образуются. Прежде всего, это энергетический спектр. Естественно, это очень важная вещь, потому что позволяет сразу оценить, какой нужно поставить порог по энергии, чтобы от нейтронов избавиться. Но почему он все свои рассуждения обрезает одним ГэВ'ом – это не очень понятно. Потому что модельные расчеты не показывают такого образования, а уж если с точки зрения поиска темной материи – тут чем больше энергия, тем больше вероятность сымитировать такие частицы. Это не указано у него.

Теперь относительно функции пространственного распределения. Это очень важная функция, потому что вы можете систему антисовпадения поставить сверху, ну и вас сбоку будут приходить нейтроны, которые в процессы замедления могут пройти достаточно большое расстояние. Эта полученная формула R в степени (-2.3) , – она в общем-то не очень хорошо согласуется с экспериментальными данными, то есть, есть области, где она хорошо согласуется, но как правило на больших расстояниях имеются большие расхождения. Автор объясняет это тем, что влияют краевые эффекты. Интуитивно, на пальцах, это похоже, но соответствующих расчетов я в диссертации не нашел.

Ну, и наконец, по поводу сезонных вариаций. То, что вариации нейтронов оказались выше вариаций родивших их мюонов, это сам по себе экспериментальный факт очень интересный. Он, по-видимому, может объяснить результаты некоторых экспериментов. Но что касается попытки объяснить это за счет флуктуаций средней энергии мюонов, то тут вопрос – есть ли другие объяснения? Я тоже не знаю таких объяснений. Причина здесь очень простая – люди,

которые хорошо разбираются в температурном эффекте, они занимаются как раз небольшими энергиями, потому что используют их для того, чтобы предсказать магнитные бури, атмосферные явления, а там нужна большая статистика. Поэтому ТэВ'ные мюоны для этих целей совершенно не подходят и грамотные люди в этой области такими мюонами не занимаются. Что касается докладчика, то ему, начиная с первых выступлений на конференциях, все время говорим, что нужно посчитать по CORSIK'e. Там можно было закладывать модели атмосферы, посмотреть вариации и так далее, есть ли эти вариации на поверхности Земли, если есть на поверхности, то они могут сохраниться и дальше. Но почему-то эта работа так и не была сделана, хотя на нескольких конференциях на такую возможность указывалось.

Несмотря на высказанные замечания я могу оказать, что все-таки в целом результаты, изложенные в диссертации, мне представляются достаточно достоверными. Причина, в основном то, что слишком много экспериментов и расчетов, которые согласуются с теми моделями и выводами, которые представлены в диссертации. Поэтому, вроде бы, нет оснований думать, что тут что-то недостоверно. По поводу научной новизны. Вообще говоря, честно признаться, первый раз столкнулся с таким – шесть пунктов научной новизны. Четыре из них начинаются с того, что «получено выражение», в одном – «установлена форма» и только в последнем – «обнаружен эффект». Как-то, все-таки, научную новизну, наверно, надо формулировать не совсем таким образом. Но, тем не менее, все-таки на мой взгляд, научная новизна большинства полученных в диссертации результатов не вызывает сомнений, так как они впервые получены автором и подтверждены соответствующими публикациями. Поэтому, что касается и универсальной формулы, и энергетического спектра, до, по крайней мере одного ГэВ'a, и пространственного распределения – это результаты очень важные и новые, самое главное. Если говорить в целом, это у меня написано, то работа представляет собой серьезный научный труд, свидетельствующий о высокой квалификации автора. Диссертация хорошо структурирована и логически выстроена, написана хорошим языком и содержит небольшое количество стилистических погрешностей. Тем не менее, есть некоторые замечания по самой диссертации. То, что на многих рисунках не приводятся погрешности – это, конечно, не украшает будущего доктора наук. На странице 90 утверждается, что формула (3.1) для оценки средней энергии мюонов на некоторой глубине грунта взята из работы такой-то, однако в указанной работе такой формулы нет. На странице 149 увеличение вероятности распада мюонов вследствие летнего расширения атмосферы объясняется барометрическим эффектом, хотя автор ссылается на работу, которая рассматривает влияние температурного эффекта. Иногда в тексте диссертации появляются и такие «шедевры»: «ввиду ортогональности и подобия жидкого сцинтиллятора и контейнера», «взаимодействиями в ядре вещества», «связь характеристик LVD-мюонов». На этом мои замечания закончились. Результаты диссертации хорошо известны, они представлялись на различных конференциях, и российских и международных, опубликованы в большом количестве журнальных статей и хорошо известны научной общественности. И поэтому она удовлетворяет соответствующим квалификационным требованиям, сформулированным в «Положении о присуждении ученых степеней», а ее автор за решение комплекса вопросов, связанных с проблемой нейтронного фона в подземных экспериментах, совокупность которых можно квалифицировать как научное достижение в физике космических лучей, вполне заслуживает присуждения ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 01.04.16.

Председатель. Спасибо. Пожалуйста – ответы.

Мальгин А.С. Анатолий Афанасьевич, я благодарю Вас за детальное рассмотрение моего скромного труда. Я попробую на кое-что ответить, кое с чем согласиться. Итак, смысл первого

замечания заключается в том, что вообще говоря, необходимо получить другой рисунок, а не тот, который я хотел представить. Речь идет об этом рисунке (указывается на рис. 1.7 из диссертации). Этот рисунок не является соотношением аргумента и функции, этот рисунок демонстрирует, каким образом соотносятся измерения и расчеты по универсальной формуле. То есть это практически представляет, насколько она эффективна и точна. Здесь фигурируют все, полученные на 2017 год, измерения. Если же мы перейдем к тому, что Вы хотели бы увидеть то же, что и на рисунке 1.6, тогда мы сразу же ограничиваем статистику, потому что мы должны перейти к зависимости от энергии, например, или от A . Если от энергии, то мы должны работать с одним и тем же A . Это видно прямо на этом графике (указывается на рис. 1.6 из диссертации). Вот зависимость от энергии – для жидкого сцинтиллятора мы имеем только семь точек, такая же ситуация для железа. Таким образом, мы уменьшаем статистику и повышаем сразу же ошибку нашего выражения. А здесь (рис. 1.7) я хотел показать соотношение величин выхода. В одинаковых масштабах (по осям x и y) сразу же можно сказать, что эти точки должны лежать около прямой под углом 45 градусов. Представим себе, что расчет по универсальной формуле превышал бы значения измерений, тогда эта прямая пошла бы не под углом 45 градусов, а таким образом (ниже). Или наоборот, если бы результаты измерений были больше, тогда бы угол был другим (больше 45 градусов). Именно это я хотел показать. А так, как хотели бы Вы – «При этом расчет должен быть независимым, без использования данных эксперимента» (цитата из отзыва оппонента) – я вообще не пользовался другими расчетами кроме своего, потому что я хотел сравнить свою формулу с результатами измерений. Если обойтись без использования данных экспериментов, то это была бы расчетная работа. Я же опирался только на экспериментальные данные. Собственно, на основе экспериментальных данных была получена универсальная формула. Я получал все параметры универсальной формулы, исходя из экспериментов. Это первое.

Второе. Вот здесь хорошо написано, замечание интересное: «В то же время утверждение автора, что полученная универсальная формула позволяет вычислять выход нейтронов для любого вещества на любой глубине с точностью не хуже 20%, противоречит результатам моделирования» (цитата из отзыва оппонента). Хочу заметить, что это результаты моделирования противоречат расчетам универсальной формулы, а не наоборот, потому что универсальная формула получена по экспериментальным данным. Более того, аналитические расчеты выхода с учетом спектра мюонов на данной глубине согласуются с универсальной формулой и с измерениями. Я потом скажу, что все монтекарловские расчеты проводятся для моноэнергии, а это неправильно, потому что есть статьи, которые указали, что если в расчете используется моноэнергия, которая равна средней энергии, то этим завышается величина выхода от 8 % до 12 % в зависимости от A . Здесь (на рис.3.1 диссертации) аналитические расчеты были выполнены для спектра мюонов на данной глубине. Я бы сказал, что мы (на рис.3.1) имеем практически идеальное согласие аналитических расчетов и измерений с универсальной формулой в диапазоне ее погрешности 20%. Теперь касательно монтекарловских расчетов, которые выполнялись по FLUKA и Geant4. Вот это (табл. 3.2 диссертации) набор всех расчетов, которые имеются на сегодня. Посмотрим (демонстрируются рисунки 3.2 и 3.3 диссертации), что мы имеем. Мы видим, что результаты расчетов разбросаны и систематически занижены. Но то, что они занижены, не отражает полной ошибки расчетов. Полная ошибка складывается из разброса результатов, систематического занижения выхода, использования моноэнергии мюонов и не включения в расчет ошибки определения энергии, что содержится в экспериментальных результатах. Если включить в рассмотрение все ошибки, имеющиеся в расчетах, то мы получаем величину сигмы (доверительного интервала 68%) около 38% в отличии от 20%, которые мы имеем для

измерений. То есть точность расчетов в два раза хуже точности измерений. Вывод такой – нужно совершенствовать монтекарловские программы, точнее учитывать все процессы генерации нейтронов, улучшать подбор программ, входящих в программные пакеты, на каждом шаге сравнивать результаты расчетов с измерениями и, в конце концов, с универсальной формулой, которая дает лучшую точность.

Далее отмечается, что я не привел величину средней энергии потока мюонов, которая была экспериментально определена в эксперименте NUSEX. Я знаю об этом измерении величины средней энергии под Монбланом, но не упоминал ее потому, что хотел показать, каковы точности определения средней энергии расчетным образом, потому что почти все измерения выхода приписывались средним энергиям мюонов, которые определялись расчетом.

Следующее – относительно обрезания спектра нейтронов. Я назвал это обрезанием для краткости. На самом деле это не реальное обрезание, это просто резкое укрупнение спектра. В диссертации написано, какие процессы существуют в области выше 1 ГэВ. Я получил величину 1 ГэВ на базе «наивной» аддитивной кварковой модели и формы спектра энергопередач нуклону, который находится в ядре. Спектр энергопередач определяется зависимостью T_p в степени (-2). Из эксперимента мы знаем, какова средняя энергия этих дельта-нуклонов, она – 63 МэВ и соответствует среднему поперечному импульсу 0.35 ГэВ/с для мягких множественных процессов с рождением пи-мезонов. Мы знаем среднюю энергию, знаем минимальную энергию 15 МэВ, которая следует из определения дельта-нуклона вылетающего из ядра, а также форму спектра. Тогда по формуле для среднего находим максимальную величину 1 ГэВ. Помимо этого, есть экспериментальный эффект, называемый «режимом предельной фрагментации» в пи-А-взаимодействиях. Он гласит, что при энергиях выше 5 ГэВ во взаимодействиях пи-мезонов с ядрами количество частиц ядерного расщепления и их средняя энергия не меняется с энергией налетающего пиона. Это говорит о том, что существует ограничение по энергии частицы, которая выходит из ядра. Этот факт был установлен в фотоэмульсиях в конце 60-х годов. И последний аргумент в пользу ограничения энергии нуклонов при 1 ГэВ в пи-А-рассеянии пионов высоких энергий можно найти в монографии В.С. Мурзина «Физика космических лучей» 1970 г. Как отмечается в отзыве, расчеты действительно не демонстрируют резкого укрупнения спектра, но это говорит только о том, что над программами еще нужно работать.

Теперь относительно замечания «в диссертации не приводится сравнение этой аппроксимации с хорошо статистически обеспеченными данными KamLAND». Я уже сказал о том, что в KamLAND'е не измеряют нейтронов высокой энергии, потому что они исключают мюонные события с ливневым сопровождением и смотрят только нейтроны, которые генерируются виртуальными фотонами мюона. Они находятся в области до 30 МэВ и не улетают далеко от трека мюона. Эти нейтроны дают вклад в полный выход не больше 5% и их пространственное распределение не влияет на форму результирующего распределения. Отклонение формы пространственного распределения от зависимости R в степени (-2.3) в экспериментах Bogerino, Daya Bay и в одном измерении LVD объясняется методикой измерений, приводящей к краевому эффекту.

Далее: «утверждение автора диссертации об обнаружении нового эффекта в физике атмосферных мюонов следовало бы подкрепить детальными расчетами» (цитата из отзыва оппонента). Да, следовало бы, конечно. Но мы сейчас хотим получить амплитуду вариаций и потока мюонов и потока нейтронов в околоразном направлении. У нас на LVD есть такая возможность, потому что у нас с одной стороны глубина грунта порядка 6 км, в то время как по вертикали 3.5 км в.э. В этом случае мы можем отобрать мюоны гораздо больших

энергий и посмотреть, какова у них амплитуда вариаций. Мы хотим сделать сначала это, а потом, может быть, и попробовать посчитать.

Далее: «На многих рисунках не указаны погрешности» (цитата из отзыва оппонента). На мой взгляд нельзя сказать – на многих, кое-где – да. Вот первый по тексту замечания рис.1.7, в подписи к нему отмечено: погрешности данных указаны в таблице 1.1. Второе – рис.3.2 и 3.3, так это не ко мне, а к тем, кто считал. Люди, которые занимаются монтекарловскими расчетами очень редко приводят ошибки своих расчетов. Поэтому я и не мог их указать. Теперь – рисунок 3.8. Дело в том, что после этой картинки и текста идет параграф, который посвящен определению погрешности формулы, по которой были получены кривые на рисунке 3.8. Ошибки я, действительно, на рисунке не указал, они составляют около 30%. Согласен, что недостатком рисунка 4.13 является отсутствие погрешностей для расчета зависимости $T\delta$ в степени (-0.3). Графики на рисунке 4.14 взяты мной из авторских публикаций, в которых ошибки измерений не были указаны. О графике на рис.5.11: это иллюстрирующая суммарная картинка, за две страницы до нее на рисунках 5.3, 5.9б, 5.9в указаны ошибки измерений и на LVD, и наorexino и Daya Bay.

Абсолютно правильное замечание об отсутствии формулы (3.1) в работе [76] – она взята из публикации [92]. Согласен с замечанием о неправильном термине – при ссылке на работу Блэкетта, вместо «температурного» употребил «барометрический», а также о лексических и фразеологических шероховатостях.

Председатель. Так, спасибо. Анатолий Афанасьевич, Вы удовлетворены ответами?

Петрухин А.А. В целом удовлетворен.

Председатель. Хорошо. Ну что же, если нет других комментариев, то давайте перейдем к выступлению следующего оппонента.

Петрухин А.А. Ответы диссертанта соответствуют тому, что он вполне созрел уже до уровня доктора.

Ряжская О.Г. Можно я скажу?

Председатель. Подождите, обсуждение общее у нас будет потом, на дискуссии. Так, Просин Василий Владимирович, НИИЯФ МГУ, доктор физ.-мат. наук, Лаборатория наземной гамма-астрономии. Пожалуйста.

Просин В.В. Спасибо.

Председатель. Лаборатория гамма-астрономии, наземной гамма-астрономии.

Просин В.В. От изучения широких атмосферных ливней постепенно переходим к гамма-астрономии, у нас переходный процесс, который длится много лет. Так, что касается диссертации Алексея Семеновича. Конечно читать мне ее было очень интересно, я в ней увидел и актуальность, и новизну, но меня больше волновала личность автора. И поэтому мне очень важно было, найти там личный вклад. Я, как экспериментатор, искал там таких моментов – что экспериментатор сделал, как он проводил эксперимент, какие экспериментальные результаты он получил. И это было, в этой диссертации, я бы сказал – не на переднем плане. Вот такое у меня сложилось впечатление. Очень мне понравилось, что при личном участии автора была предложена новая универсальная формула. Также мне очень понравилось, что в работе описаны измерения энергетического спектра космогенных нейтронов как при личном участии автора в эксперименте LVD, так и в ряде других экспериментов. Сравнение со всеми другими экспериментами проходило при личном участии, хотелось бы немножко больше подчеркнуть роль личности в этой истории. Вы видите, что я не читаю сплошняком текст, а выбираю именно такие моменты. Разве что, вот этот: крайне интересны подытоженные в диссертации Алексея Семеновича Мальгина результаты многолетних подземных наблюдений на установке LVD сезонных вариаций потока

космогенных нейтронов, амплитуда которых оказалась превышающей в шесть раз вариации интенсивности мюонов. Для объяснения этого различия автором предложена гипотеза нового явления – сезонные вариации средней энергии мюонов с амплитудой 10% (это я уже читаю по тексту), что с учетом вариаций интенсивности мюонов приводит к сезонным изменениям потока нейтронов на 9%. Как и при анализе всех остальных характеристик космогенных нейтронов, автор не останавливается на констатации фактов, а дает обоснованное качественное объяснение наблюдаемого эффекта, связанного с сезонными изменениями температуры атмосферы. Вот это и ко всему остальному тексту относится – очень много и обоснованно именно этих качественных объяснений наблюдаемых эффектов. Но экспериментатору хочется больше акцент сделать на получении и измерении этих наблюдаемых эффектов. По-видимому, этот эффект вариаций, гораздо больших вариаций космогенных нейтронов, необходимо добавить к анализу данных эксперимента DAMA/LIBRA, хотя наблюдаемая на установке LVD фаза вариаций нейтронов и отличается от фазы сигнала в указанном эксперименте более, чем на 40 дней. В качестве недостатков работы можно отметить следующие:

К сожалению, автор ничего не пишет (это я уже концентрировано, в виде одной фразы) о своей роли в создании экспериментальных установок и их многолетней эксплуатации.

Нет отдельной главы, отдельного пункта, с описанием методик регистрации характеристик нейтронов, хотя отдельные интересные методические детали разбросаны по тексту (вот я их нашел на страницах 40, 116, 119, 133, 153, 154).

И уже более мелко: в главе шестой не упоминается, насколько условия в подземном зале, конкретно, давление, влажность, температура, которая тоже варьируется, могут влиять на измерения вариаций нейтронов.

Приведенные замечания не умаляют значимости представленной диссертации и ни в коей мере не влияют на результаты и ее общую высокую оценку. Диссертация представляет собой законченный научный труд. Основные защищаемые положения диссертации являются новыми, их достоверность не вызывает сомнений. Основные результаты диссертации крайне важны для продолжения исследований в низкофоновых подземных лабораториях и найдут применение как в проводящихся исследованиях, так и при проектировании новых экспериментов. Автореферат полностью соответствует содержанию диссертации. Диссертация выполнена на высоком научном уровне, представляет собой законченную научно-квалификационную работу и удовлетворяет всем критериям, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени доктора наук, а ее автор, Мальгин Алексей Семенович, заслуживает присуждения ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 01.04.16 "Физика атомного ядра и элементарных частиц".

Председатель. Спасибо. Спасибо, Василий Владимирович. Имеете шанс ответить (*обращается к соискателю*).

Мальгин А.С. Спасибо, Василий Владимирович, за ваши замечания, если бы они были до того, как я написал текст, они бы явно улучшили содержание диссертации.

Итак, это вот первое замечание замечательное. Оно дает широкое поле для воспоминаний о своей деятельности, но я ограничусь только перечнем экспериментов, в которых я участвовал. Вот годы, когда мы строили детекторы, это не годы работы эксперимента. Это Артемовский детектор, 100 тонный, на глубине примерно 0,6 км. Средняя энергия – 125 ГэВ, интенсивность мюонов 600 в час на метр квадратный. Детектор LSD – 79-84 годы, в конце 84 года был запущен, 72 счетчика, глубина 5,2 км, средняя энергия 385 ГэВ, это сильно отличается от предыдущей. Интенсивность мюонов – 0.04 мюонов в час на квадратный метр. Ну, и затем вот эта продолжительная стройка - LVD, из тех же самых счётчиков, 840 сцинтилляционных

счетчиков, с полной массой по одной килотонне железа и сцинтиллятора. Глубина уже поменьше, чем предыдущая – 3.6 км в.э. И средняя энергия 280 ГэВ, интенсивность - один мюон на кв. метр в час. То есть, отсюда видно, что моя трудовая деятельность в основном заключалась в строительстве установок, но на каждой из установок были и калибровка, и эксплуатация, и получение результатов, и обработка. Я, наверно, в этом смысле – типичный представитель «подземной физики», потому что 20 лет я строил, а остальные 20 пытался что-то понять.

Следующее. Относительно того, что не описана методика. Да, я нигде не привел, хотя, конечно, стоило бы, каким образом мы регистрируем нейтроны. Значит – наша электроника регистрирует мюон, 250 наносекунд время по разным причинам было выбрано. Далее, мы смотрим в течение одной миллисекунды, приблизительно, нейтроноподобные импульсы, после этого мы строим временное распределение. Затем вычитаем фон, который является плоским, по предположению, на самом деле он не совсем плоский, но это неважно. Получаем количество нейтронов. Регистрация нейтронов – по захватным гамма-квантам. Нейтрон, образовавшийся внутри, так или иначе замедляется, термализуется, и потом захватывается на железе или на водороде и дает гамма-квант 2,2 МэВ, а на железе около 7 МэВ. Энергию нейтронов определяем по протоном отдачи, я уже говорил об этом, с учетом квантинг-эффекта.

И последнее, действительно не указал влияние условий в подземном зале, хотя это достаточно важный пункт, поскольку в эксперименте LVD константой является только давление. Он находился на высоте приблизительно 1 км, на глубине около километра грунта. Давление следует давлению естественному атмосферному, а вот важность и температура в помещении, они не следуют натуральным, то есть существующим вне экспериментального зала. Потому что влажность летом повышается, зимой понижается. Воздух забирается из долины, закачивается с темпом 8 тыс. кубометров в час в атмосферу подземного зала, с тем чтобы, во-первых, был кислород, во-вторых, чтобы уменьшить концентрацию радона, выходящего из стенок зала. За счет этого летом входит теплый воздух и охлаждается. Температура зала, естественная, 17 градусов. При охлаждении увеличивается влажность воздуха, соответственно. Температура летом несколько выше, чем зимой. Зимой она, фактически, 17 градусов, летом около 20, а если подняться наверх установки, там она до 23 доходит.

Действительно эти эффекты, казалось бы, могли действовать на результаты измерений, особенно на вариации нейтронов, но наша методика, которой мы находили количество нейтронов, исключает, мы уверены – она исключает фоновые вариации. Тем более, что мы фактически знаем, каким образом меняется фон установки – с фазой 8.1 мес. это начало августа, и амплитудой 4 процента. Фаза фона запаздывает относительно и DAMA/LIBRA эксперимента, которая в начале июня, и наших результатов, которая в начале июля. Мы объясняем это тем, что в конце августа - максимальный поток талой воды, который доходит сверху, с горы, до уровня нашего подземного зала и за счет этого увеличивается выход радона. Радон распадается и дает гамма-фон, который мы регистрируем нашими счётчиками. Я попытался объяснить, каким образом могли бы влиять условия эксперимента. Ответ – не влияют.

Председатель. Так, спасибо. Василий Владимирович, пожалуйста.

Просин В.С. Спасибо большое, очень интересные ответы.

Председатель. Спасибо. Так, Старков Николай Иванович, третий оппонент, ФИАН, лаборатория элементарных частиц.

Старков Н.И. Уважаемые коллеги, прежде всего я хотел бы подчеркнуть практическую значимость диссертации. Как-то вскользь упоминалось, что данные могут быть использованы

для оценки фона подземных экспериментов. В частности, в эксперименте NEWSdm, который готовится к реализации, я думаю, что как раз данные этой диссертации помогут нам оценить тот фон, который предстоит нам иметь на этой установке. Так же надеюсь, что Алексей Семенович поможет нам консультацией разобраться в этих делах. Кроме того, обращает на себя внимание детализация, с которой описаны механизмы возникновения космогенных нейтронов. Самые разные, на десятках страниц, что тоже вызывает уважение к тому труду, который был затрачен, чтобы это все описать. Что касается замечаний, то я бы здесь не стал отмечать стилистические какие-то ошибки. Обращаю внимание на то, что спектр мюонов, который используется при оценке выхода нейтронов, начинается где-то с величин энергий несколько ГэВ. И в это случае, как правило, используют модель тонкой мишени, что применимо в данном диапазоне энергии, поскольку ионизационные потери на этом участке, вплоть до самых больших энергий, логарифмически растут, практически постоянные и это действительно применимо. Однако в реальности даже на этой глубине будут мюоны, которые будут иметь энергию меньше одного ГэВ'а и сотни МэВ, и 10 МэВ, и десятки кэВ, поскольку всегда найдутся частицы в этом непрерывном спектре, который охватывает практически все энергии. Найдутся частицы, которые дойдут, почти остановившиеся, до этой глубины, и выйдут уже с совсем маленькими энергиями. Более того, спектр мюонов на этой глубине и на любой другой глубине будет иметь форму, при которой максимум приходится на низкие энергии, почти около нуля. При этом, правда, спектр мюонов с ростом количества вещества выполаживается. Тем не менее, мюоны низких энергий присутствуют, они дадут вклад в те процессы, которые вы описываете. Возможно, неучёт их приводит к тем расхождением между монтекарловскими расчетами и экспериментом, которые приведены в диссертации. Что касается монтекарловских расчетов, в частности Geant'а, то очень многое зависит от того, как эти расчеты делаются. Потому что Geant – это не просто программа, где задаешь энергию и тип частицы, нажимаешь кнопку, получаешь результат. На самом деле – это сложный пакет, и чтобы посчитать грамотно какую-то сложную конфигурацию, надо задавать так называемый физический лист, перечислять процессы, которые входят в этот вариант программы и здесь возможны, действительно, самые большие разногласия, если что-то не учесть или, наоборот, продублировать. Как обычно принято говорить – указанные замечания не снижают в целом высокую научную и практическую ценность диссертации Мальгина и не влияют на положения, выносимые на защиту. Автореферат полностью соответствует содержанию диссертации. Работа выполнена на высоком научном уровне, представляет законченную научную квалификационную работу. Полностью удовлетворяет всем критериям, предъявляемым к диссертации на соискание ученой степени доктора наук. Ее автор Мальгин Алексей Семенович заслуживает присуждения ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 01.04.16 – физика атомного ядра и элементарных частиц.

Председатель. Спасибо, так Алексей Семёнович, хотите что-нибудь ответить?

Мальгин А.С. Да. Спасибо, Николай Иванович. О замечании. Оно касается мюонов низкоэнергетической части спектра мюонов под землей. Тут я нарисовал, чтобы иметь представление, о чем идет речь. Речь идет об участке спектра, который вообще-то дает незначительный вклад в количество нейтронов, которые производятся мюонами под землей. Спектр не меняет своей формы, на разных глубинах форма его примерно постоянна, просто уменьшается интенсивность. Поэтому всегда в спектре присутствуют, действительно, мюоны небольших энергий. Но, во-первых, они дают мало нейтронов. Во-вторых, медленные мюоны можно исключить, это делают мюонные вето-системы – ставятся счетчики, скажем, пластические сцинтилляторы или резистивные камеры, которые фиксируют прохождение

заряженных частиц и таким образом они отсекаются. Поэтому влияния этих мюонов в эксперименте с нормальной защитой фактически нет. Это относительно того, какую роль они могли бы играть. Ну, и последнее – как я уже говорил, выход измеряется для всего спектра мюонов. Относительно того, что возможные расхождения результатов монтекарловских расчетов можно объяснить влиянием этих низкоэнергетических мюонов. Нет, нельзя. Их, во-первых, можно отсечь, во-вторых монтекарловские расчеты, даже если их провести с учетом формы спектра на данной глубине, то выход должен уменьшиться еще, и этот эффект, о котором Вы говорите, вклада большого не даст. Это собственно все.

Председатель. Спасибо. Вы удовлетворены? Да, пожалуйста.

Старков Н.И. Удовлетворяет ли ответ. Во-первых, действительно, их не много по сравнению со всем длинным спектром. Но они-то как раз и дают нейтроны низких энергий. То, что Вы говорите, это частицы в каскадах. Они тоже останутся через какое-то время, и только какая-то часть из них попадет. Но эти точно дают низкоэнергичные нейтроны.

Мальгин А.С. А все мюоны дают низкоэнергетические нейтроны, потому что у спектра нейтронов существуют вот этот низкоэнергетический участок до 30 МэВ и эти нейтроны доминируют в полном выходе. Их 70-80 %, в любом случае, они всегда существуют.

Старков Н.И. Что касается вето-системы, действительно, это справедливо для детекторов, которые работают в режиме ожидания и по времени регистрируют частицу. Но не все детекторы так устроены. Есть интегральные, которые накапливают. Их поставили, они накопили, например, с фотоэмульсией. Поэтому вето-система здесь не подходит. Хотя делаются попытки в эмульсионных детекторах установить устройства, которые отмечали бы по времени приход частицы. Тогда можно было бы применить тоже вето-систему.

Мальгин А.С. Да-да. Согласен. Этот эффект от нейтронов нужно тогда рассчитывать и включать в анализ результата.

Председатель. Так, давайте тогда переходим к общей дискуссии. Пожалуйста, коллеги, кто хотел бы что-то сказать по поводу диссертации. Пожалуйста, Ольга Георгиевна.

Ряжская О.Г. Я хочу сказать, что Алесей Семенович работает в нашей лаборатории с 77 года и все что здесь показывалось, это были наши первые эксперименты под землей. Собственно, тогда создавалась подземная физика. Не только у нас, но и вообще везде. И это как раз было в то время, когда создавался наш институт и, что интересно, во всех экспериментах, о которых здесь шла речь, использовался один и тот же жидкий сцинтиллятор, который за все это время не изменил своих свойств. Что было сделано сначала в Артемовске – до сих пор то же самое. И прозрачность и выход, мы ничего не делали, в отличие от Вогехино, которые все время чистят сцинтиллятор. У нас, что Артемовск, что LSD под Монбланом, что LVD – все то же самое, и благодаря этому данные, о которых Леша рассказывал, достаточно точные, потому что ошибок по измерению практически нет. Ну, а дальше уже все остальное, и что действительно очень важно, что мы работаем больше чем 95 процентов времени на всех детекторах, и здесь опять же всякие сложности, связанные со временем и так далее. Ну, я не говорю о вариациях. Это уже то, что сверху подучается, а под землей – там достаточно хорошие условия, и в связи с этим точности, которые были представлены Алексеем Семеновичем, высоки. Вот, собственно, основные вещи.

Председатель. По поводу диссертации и диссертанта что-нибудь скажите.

Ряжская О.Г. Так я сказала, что Алексей Семенович с 77 года и до сих пор постоянно работает по этим делам. Ну, вопрос об универсальной формуле – это немножко другая вещь, а все остальное, все, что мы здесь увидели, можно сказать, 90 процентов того, что мы умеем. Вполне достоин.

Председатель. Хорошо, спасибо. Кто еще хотел что-то сказать. Пожалуйста, Владимир Георгиевич.

Недорезов В.Г. У меня вопрос по моделированию. Можно показать ту картинку, где FLUKA и Geant. Дело в том, что FLUKA - это библиотека, которая входит частью в пакет Geant. FLUKA – это библиотека ядерных данных. Там нет ничего для моделирования.

Мальгин А.С. Сейчас, минуточку, отвечаю. Я пользуюсь источниками, которые я привожу. В источниках указано: для расчётов, которые дают величины выхода используется пакет программ под названием FLUKA. Я знаю, что FLUKA был создан примерно в начале 70-х годов для того, чтобы рассчитывать в ускорительных экспериментах развитие адронных ливней, каскадов.

Недорезов В.Г. Все пользуются Geant'ом.

Мальгин А.С. Это вполне общепринятая вещь, публикации, наверно, я использовал около десятка. У меня, кстати, в диссертации об этом написано. Называют FLUKA, и все указывают таким образом.

Председатель. Так, пожалуйста.

Соболевский Н.М. Картинку, пожалуйста, не убирайте. Значит, в диссертации обобщены все доступные в настоящее время, все экспериментальные и теоретические данные по образованию фоновых нейтронов в низкофоновых подземных экспериментах под действием мюонов космических лучей. Это, несомненно, достижение диссертанта, предложена также простая универсальная формула для выхода космогенных нейтронов. Задача диссертанта осложнялась тем, что интерпретация подземных экспериментов сложна из-за неопределённости в условиях облучения, геометрии, химического состава окружающей среды. Это же затрудняет постановку задач по расчёту Монте-Карло. Поэтому, возможно, этот сдвиг в монтекарловских расчёта относительно универсальной формулы, возможно тоже объясняется тем, что в расчёте невозможно задать все реальные условия подземного эксперимента. Современные транспортные коды Монте-Карло, имеют высокую точность. FLUKA – это, конечно, программа моделирования методом Монте-Карло. Она появилась давно, как инклюзивная программа. С 92 года, примерно, это полноценная программа. А Geant все знают. Известно, что современные транспортные коды, когда известна точная постановка задачи, условия облучения, конструкция, химический состав помещения, дают очень близкие результаты между собой, и, особенно, в ускорительных экспериментах. Какие-то расхождения, которые здесь видны, это не есть недостаток диссертации, а это скорее специфика данной предметной области, где много неопределенностей и всех их точно учесть трудно. Но, безусловно, диссертация удовлетворяет всем предъявляемым требованиям, и диссертант заслуживает, безусловно, присуждение ему ученой степени доктора наук.

Председатель. Спасибо, так еще кто хотел бы, пожалуйста, Леонид Борисович.

Безруков Л.Б. Коллеги, я когда-то занимался активно в этой области, и мюонами космических лучей, и так же у меня есть работа, которая здесь цитировалась, и нейтронами, генерированные мюонами. Какой-то период времени, я вместе с Алексеем работал. Потом наблюдал его работу постоянно, мы были в контакте с ним, и часто беседовали. И я скажу вам свое впечатление: Алексей давно уже имеет, на мой взгляд, уровень доктора наук, он сильно задержался, он мог бы сделать уже несколько диссертаций, самых разных. У него очень много интересных результатов. И то, что мы видим здесь – обобщение какой-то малой части его работ. На мой взгляд, это сделано с большим искусством, большим пониманием, какие процессы можно учесть, какие откинуть. Получены интереснейшие результаты, которые будут активно использоваться в области подземной физики, и которые давно уже нужны этой области. Поэтому, если проголосуем «за», мы не ошибемся!

Председатель. Спасибо. Так, еще высказывания какие-нибудь есть? Давайте, я сам скажу. Я когда узнал, что Алексей Семенович подает диссертацию в Совет, я был очень удивлен, я думал, что он давным-давно доктор наук. Он давно соответствует этому званию, мне приходилось с ним много взаимодействовать, это качественно высокого уровня физик-экспериментатор, в первую очередь конечно. И у меня нет ни малейшего сомнения, что он давным-давно заслуживает докторской степени. Лучше поздно, чем никогда. Поэтому я считаю, что мы вполне и с открытыми глазами можем проголосовать положительно. Если нет больше высказываний, тогда заключительное слово, пожалуйста.

Мальгин А.С. Я могу сказать, что мне исключительно приятно слушать и слышать такие слова. Я не знал о себе мнения как о физике, хотя меня это интересовало. Никто мне об этом не говорил «прямо в лицо».

Я хотел бы в первую очередь с благодарностью вспомнить Георгия Тимофеевича Зацепина, который был моим руководителем в аспирантуре и потом одним из руководителей мой диссертации. Он фактически, начинал это направление в первых работах с Ольгой Георгиевной, а потом оно развивалось уже экспериментально и теоретически.

Далее, мне, конечно, хотелось бы поблагодарить оппонентов: Николая Ивановича, Василия Владимировича и Анатолия Афанасьевича за их труд, прочтение, время, которое они потратили на это. Особенно я бы хотел поблагодарить Анатолия Афанасьевича за скрупулезный подход к диссертации. Хочу очень кратко рассказать об одном эпизоде, который был при передаче моей диссертации. Когда я привез диссертацию Анатолию Афанасьевичу, он ее взял и сказал: «Ты понимаешь, у меня такая есть особенность. Я открываю диссертацию на любой странице и вижу чушь, сразу же!» Я замешкался и говорю «А на другой странице?» - «Да тоже самое, примерно». Тут я несколько напрягся, а он видимо решил меня несколько успокоить и говорит: «Знаешь что, вообще-то защита состоится даже при отрицательном отзыве». Тут я решил, что рассчитывать на положительный отзыв не стоит. Однако, отзыв получился доброжелательным.

Я хотел бы поблагодарить моих коллег по лаборатории электронных методов детектирования нейтрино. Они содействовали тем, что освободили меня от многих рутинных дел, тем самым дав мне возможность сконцентрироваться на этой деятельности.

Хотелось бы сказать большое спасибо Наташе Агафоновой, с которой мы планировали несколько экспериментов. Не только планировали, но даже носили свинец и железо на установке LVD, когда делали эксперимент для определения выхода в железе и свинце, который еще, правда, не закончен. Потом вместе обрабатывали результаты, и сделали совместно несколько вполне приличных публикаций.

Хотелось бы вспомнить и поблагодарить людей, которых здесь нет. Это наши итальянские коллеги, фамилии я хотел бы привести – это Вальтер Фульджионе, это Джан Марко Бруно, Андреа Молинарио, Карло Вигоритто и Пьеро Гия, с которыми мы регулярно общались и обсуждали результаты и статьи, которые готовились к публикации. У нас с ними был и есть очень хороший контакт, даже дружеский, а не только как коллег.

Мне хотелось бы сказать большое спасибо Леониду Борисовичу Безрукову, который еще будучи замдиректора все время меня инициировал в этой деятельности и давал массу полезных советов самого разного толка: и по науке, и по организации. Поэтому, большое Вам спасибо. Далее, я хотел бы поблагодарить за тот труд, который вложила Наталья Львовна Нольде в производство двух книжек, вовремя и хорошо готовя этот продукт. Одна называется «диссертация», вторая - «автореферат». Хотелось бы поблагодарить Анну Александровну Брееву, за то, что она постоянно держала меня в курсе, когда нужно и что, в какой срок, подготовить.

Я хотел бы сказать спасибо моим друзьям, которые сюда пришли, и которые своим интересом к моей деятельности стимулировали окончание этой работы.

Большое спасибо членам Диссертационного совета, что вы со вниманием и, как мне показалось, с интересом выслушали мой доклад. Спасибо.

Председатель. Спасибо. Нам требуется счетная комиссия.

Ученый секретарь. Если можно, мы попросим Докучаева, может быть, Недорезова и Джилкибаева. Можно? Спасибо.

Председатель. Есть возражения, коллеги? Нет! Тогда приступим к голосованию. И члены счетной комиссии, сюда, пожалуйста.

Председатель. Так. Спасибо. Ну все, тогда переходим к голосованию.

Перерыв на тайное голосование.

(после перерыва)

Председатель: Коллеги, прошу садиться. Слово предоставляется председателю счетной комиссии.

Докучаев В.И. *(зачитывает протокол № 9/46 заседания счётной комиссии от 27 декабря 2018 года, избранной диссертационным советом Д 002.119.01)*

Состав избранной комиссии Докучаев, Недорезов, Джилкибаев. Комиссия избрана для подсчета голосов при тайном голосовании диссертации Мальгина Алексея Семеновича на соискание ученой степени доктора физ-мат наук. Состав диссертационного совета утвержден в количестве 26 человек на период действия номенклатуры специальностей. В состав диссертационного совета дополнительно введены 0 человек. Присутствовало на заседании 19 члена совета. В том числе докторов наук по профилю рассматриваемой диссертации - 9.

Роздано бюллетеней - 23

Осталось не розданных бюллетеней - 3

Оказалось в урне бюллетеней - 23

Результаты голосования по вопросу присуждения ученой степени доктора физико-математических наук Мальгину Алексею Семеновичу:

За - 23

Против - нет

Недействительных бюллетеней - нет

Председатель. Так. Прошу утвердить протокол счётной комиссии. *(Единогласно)* и поздравить «подзащитного» и пожелать Вам, Алексей Семенович, всевозможных успехов. Заключение у всех роздано. Было несколько замечаний. Предлагается принять заключение. Кто за это предложение – прошу голосовать. Против? – Нет. Воздержавшихся? – Нет. *(Принято единогласно).*

Теперь можно поздравить и похлопать. *(Заключение прилагается).*