

ОТЗЫВ

официального оппонента Горбунова Дмитрия Сергеевича
на диссертацию Наумова Дмитрия Вадимовича «Измерение θ_{13} , Δm^2_{32} и
ковариантная квантово-полевая теория нейтринных осцилляций»,
представленной на соискание ученой степени доктора физико-математических
наук по специальности 01.04.16- «физика атомного ядра и элементарных
частиц».

Физика нейтрино – наиболее активно развивающаяся область физики элементарных частиц в первую очередь благодаря большому количеству успешных экспериментов, уточняющих физические параметры нейтринного сектора, подробно изучающих различные особенности этих удивительных частиц, и иногда получающих новые, в том числе неожиданные, результаты.

Представленная работа состоит из двух частей, теоретической и экспериментальной, с классической связью «получение формулы – проверка в эксперименте». В первой части автор развивает оригинальную квантово-полевую теорию релятивистского волнового пакета, предлагаемую для описания нейтринных осцилляций. Изложение доводится до формул, которые можно непосредственно применять для анализа данных. Это подтверждает оригинальность и полноту работы.

Вторая часть посвящена подробному обсуждению работы и анализа данных эксперимента Daya Bay, которые позволили наиболее точно измерить два важных параметра нейтринного сектора. Важность этого измерения обусловлена в том числе дальнейшими планами по изучению нейтринного сектора: определения иерархии масс и величины CP-нарушающей фазы. От величин измеренных экспериментом Daya Bay параметров зависят перспективы будущих, в том числе уже строящихся экспериментов. Это подтверждает актуальность работы. Кроме того, приводится анализ экспериментальных данных с использованием оригинальных теоретических формул первой части, что иллюстрирует целостность диссертации.

Основная часть работы предваряется разделом «Обзор литературы», в котором автор приводит историю открытия нейтрино, описывает Стандартную модель физики части, детально обсуждает известные и возможные свойства нейтрино а также работающие и строящиеся эксперименты по исследованию нейтрино и нейтринных осцилляций.

Изложение здесь подробное и во многом излишне пространное: большая часть изложенного непосредственно не нужна для понимания собственно диссертационной работы. Это относится как к содержательной части (всё начинается с открытия Беккерелем радиоактивности), так и к технической (зачем нужна информация о наградах автора за работу в эксперименте NOMAD, не вошедшей в диссертацию?). Более того, в дальнейших частях диссертации часть материала из этого раздела повторяется в той или иной степени. Это неоправданно и значительно увеличило объём диссертации. И это притом, что судя по материалу текст написан года два назад: числа, ссылки, обсуждения ближайших планов запуска экспериментов, ограничены 2015 годом.

Одновременно ряд важных моментов представлен неудачно. Например в самом начале Введения не выглядит обоснованным утверждение, что «прецизионное исследование оставшихся неисследованными свойств нейтрино – актуально». Приводится аргумент, что нейтринный сектор может указать путь к построению расширений Стандартной модели, но существуют многочисленные примеры расширений, согласующиеся с известными величинами параметров нейтринного сектора и совместные с любыми величинами пока неизмеренных параметров. Нейтринные осцилляции не указывают даже на масштаб новой физики. Почему нужно продолжать прецизионные измерения в нейтринном секторе отсюда как раз непонятно. В Первой главе автор упоминает использование нейтрино как инструмент в астрофизике, космологии, геофизике и прикладных областях физики. Последняя область никак не конкретизирована, а жаль.

При описании Стандартной модели автор вводит туда правые нейтрино,

что конечно объясняет осцилляции, но не подтверждено экспериментально и не является единственно возможным обобщением, совместным с осцилляциями. Зачем автор назвал это Стандартной моделью мне не понятно. Неверно также утверждение, что при введении правых нейтрино остаётся неизменным вид взаимодействия. Как видно из лагранжиана (1.1) новые слагаемые дают юкавские взаимодействия между нейтрино, чего нет в общепринятой Стандартной модели. Стоит отметить неканоническое обозначение константы самодействия в хиггсовском секторе, и некорректное употребление термина лептонное число в изложении на стр.21

Автор оговаривается, что условие ультрарелятивистскости нейтрино, работающее во всех современных осцилляционных экспериментах, не выполнено для современных реликтовых нейтрино. Связь тут непонятна, поскольку применительно к этим реликтовым нейтрино речи об осцилляциях не идёт.

Из приведённой формулы (2.8) с $\sin\theta_{13}$ в знаменателе непонятно, почему ненулевое значение угла θ_{13} позволяет измерить CP-нарушающую фазу: из формулы следует, что чем меньше угол, тем больше эффект.

Непонятно, почему именно три высокоэнергетических события IceCube автор считает открытием нейтринной астрономии, а не порядка сотни астрофизических но менее энергичных нейтрино. Кстати, из трёх теперь по-видимому осталось одно.

Непонятно почему обнаружение геонейтрино автор отождествляет с подтверждением вклада радиоактивных элементов в разогрев Земли (причём на том же уровне достоверности), ведь это вклад от радиоактивных распадов в земной коре.

Вопросы по этому разделу можно продолжать, но поскольку большая часть здесь представленного не имеет отношения непосредственно к работе, то не имеют к ней отношения и соответствующие недостатки.

Основная часть работы начинается с изложения стандартного описания нейтринных осцилляций в приближении плоских волн. Рассмотрены случаи

вакуумных осцилляций и влияния вещества на примере солнечных нейтрино. Чётко и подробно показаны предположения, лежащие в основе этого приближения, представлена аргументированная критика этих предположений. Далее идёт рассмотрение приближения волнового пакета, сначала для описания квантовомеханического процесса, а потом и теоретико-полевого. Вводятся основные понятия и обсуждается физическая составляющая параметров волновых пакетов. Это основная теоретическая часть диссертации.

Изложение здесь очень подробное, что позволяет отследить предположения, без которых всё равно не может обойтись исследователь. Например сам вид волнового пакета – гауссов и как следствие лишь один параметр – вообще говоря требует обоснования. Переход формы пакета к известному квантовомеханическому в нерелятивистском пределе не гарантирует правильности обобщения, как мы знаем на примере истории описания ширины пика Z -бозона.

Здесь автор однако претендует на описание всех физических процессов с участием нейтрино: рождение, рассеяние, осцилляции, поглощение. Таким образом ширина пакета не есть произвольный параметр, а определяется механизмом рождения нейтрино. Автор не связывает этот параметр с другими физическими параметрами процессов, не даёт оценку его величины для приводимых им экспериментов, оставляя широчайший интервал значений, по сути фиксированный лишь приближениями теоретического подхода. Это основной недостаток диссертации. В стандартной цепочке «построение модели – получение предсказаний – экспериментальная проверка» отсутствует центральное звено. Учитывая, что авторские работы на эту тему, представленные в диссертации, написаны 5-7 лет назад, не могу понять, что остановило автора подставить число. В конце концов, если построение теории волновых пакетов для описания нейтринных осцилляций вызывает много вопросов, то в электромагнитных процессах потеря и восстановление когерентности, расплывание пакетов — давно известные явления. Чем определяется ширина того или иного пакета здесь известно.

В части описания свойств волнового пакета остаётся вопрос про массу (стр. 106). Из изложения следует, что автор считает это вполне физическим эффектом. Но почему из отсутствия такого эффекта для известных частиц не ограничить ширину пакета мне осталось непонятным. Непонятно также, почему на стр.108 автор пишет, что используемое описание не работает для короткоживущих частиц, например для массивных векторных бозонов. Формальная подстановка в требуемые для выполнения в подходе неравенства показывает их справедливость по крайней мере для величины максимальной ширины пакета. [Анализ данных Daya Bay (далее в диссертации) ставит ограничение на ширину 0.33, что довольно большое число, порядка того, что возможно для векторных бозонов.] При этом сдвиг по массе чудовищно большой и должен быть заметен. Почему его не видят? Этот вопрос становится ещё более актуальным для системы нейтральных каонов, см. Таблицу 5.

Затем автор переходит к подробному описанию эксперимента Daya Bay, изложению оригинальной методики обработки данных и представлению полученных результатов. Замечательно, что дубненская группа, которой руководит автор, занялась обработкой и выиграла в конкурентной борьбе у нескольких групп, став тем самым главным поставщиком физических данных, что весьма редко для российских групп, участвующих в международных зарубежных проектах. Результаты по измерению параметров нейтринного сектора, спектра реакторных антинейтрино великолепны, хотя вопрос о происхождении аномально большого сигнала в районе 5 МэВ, подтверждённого другими экспериментами, остаётся открытым.

Из технических замечаний отмечу использование двух терминов – ароматные и флэйворные – при описании осцилляций, термины аксептанс и триггер, совпадение рисунков 5.3 и 5.4. и удивительно малое количество опечаток в тексте такого размера.

Все вышеизложенные недостатки и вопросы не снижают ценности диссертации как фундаментального научного исследования. Все полученные

результаты являются новыми. Они хорошо обоснованы и изложены в публикациях в российских и зарубежных рецензируемых журналах. Результаты неоднократно докладывались на российских и международных конференциях, а также на многочисленных научных семинарах в ряде институтов.

Автореферат правильно отражает содержание диссертации. Диссертационная работа полностью отвечает всем требованиям Положения о присуждении учёных степеней, утверждённого Постановлением Правительства РФ от 24 сентября 2013 г. № 842, а сам автор, Наумов Дмитрий Вадимович, заслуживает присуждения искомой степени доктора физико-математических наук по специальности 01.04.16 – физика атомного ядра и элементарных частиц.

Главный научный сотрудник ОТФ ИЯИ РАН
доктор физ.-мат. наук, член-корр. РАН

Горбунов Д.С.

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт ядерных исследований Российской академии наук (ИЯИ РАН)
Адрес: проспект 60-летия Октября, 7а, Москва, 117312
Тел.: +7(499)783-9291
e-mail: gorby@ms2.inr.ac.ru

Дата: 03.10.2017г.

Подпись Д.С. Горбунова удостоверяю.
Заместитель директора ИЯИ РАН
доктор физ.-мат. наук

Рубцов Г. И.

Горбунов Дмитрий Сергеевич, доктор физ.-мат. наук, член-корр. РАН.
Специальность 01.04.02 - теоретическая физика.

1) Hiding an elephant: heavy sterile neutrino with large mixing angle does not contradict cosmology

By F. Bezrukov, A. Chudaykin, D. Gorbunov.

arXiv:1705.02184 [hep-ph].

[10.1088/1475-7516/2017/06/051](https://doi.org/10.1088/1475-7516/2017/06/051).

JCAP 1706 (2017) no.06, 051.

2) The active muon shield in the SHiP experiment

By SHiP Collaboration (A. Akmete et al.).

arXiv:1703.03612 [physics.ins-det].

[10.1088/1748-0221/12/05/P05011](https://doi.org/10.1088/1748-0221/12/05/P05011).

JINST 12 (2017) no.05, P05011.

3) A White Paper on keV Sterile Neutrino Dark Matter

By M. Drewes et al..

arXiv:1602.04816 [hep-ph].

[10.1088/1475-7516/2017/01/025](https://doi.org/10.1088/1475-7516/2017/01/025).

JCAP 1701 (2017) no.01, 025.

4) BEST sensitivity to O(1) eV sterile neutrino

By Vladislav Barinov, Vladimir Gavrin, Dmitry Gorbunov, Tatiana Ibragimova.

arXiv:1602.03826 [hep-ph].

[10.1103/PhysRevD.93.073002](https://doi.org/10.1103/PhysRevD.93.073002).

Phys.Rev. D93 (2016) no.7, 073002.

5) Testing sterile neutrinos with new fixed target experiment at CERN SPS

By D.S. Gorbunov.

[10.1134/S1063779615020112](https://doi.org/10.1134/S1063779615020112).

Phys.Part.Nucl. 46 (2015) 230-236.

6) Testing ν MSM with indirect searches

By Dmitry Gorbunov, Inar Timiryasov.

arXiv:1412.7751 [hep-ph].

[10.1016/j.physletb.2015.02.060](https://doi.org/10.1016/j.physletb.2015.02.060).

Phys.Lett. B745 (2015) 29-34.

7) Cosmology based on $f(R)$ gravity with $O(1)$ eV sterile neutrino
By A.S. Chudaykin, D.S. Gorbunov, A.A. Starobinsky, R.A. Burenin.
arXiv:1412.5239 [astro-ph.CO].
[10.1088/1475-7516/2015/05/004](https://arxiv.org/abs/10.1088/1475-7516/2015/05/004).
JCAP 1505 (2015) no.05, 004.

8) Sterile neutrinos and their role in particle physics and cosmology
By D.S. Gorbunov.
[10.3367/UFNe.0184.201405i.0545](https://arxiv.org/abs/10.3367/UFNe.0184.201405i.0545).
Phys.Usp. 57 (2014) 503-511, Usp.Fiz.Nauk 184 (2014) 545-554.

9) On the minimal active-sterile neutrino mixing in seesaw type I mechanism with
sterile neutrinos at GeV scale
By Dmitry Gorbunov, Alexander Panin.
arXiv:1312.2887 [hep-ph].
[10.1103/PhysRevD.89.017302](https://arxiv.org/abs/10.1103/PhysRevD.89.017302).
Phys.Rev. D89 (2014) no.1, 017302.