

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА Д 002.119.01
НА БАЗЕ Федерального государственного бюджетного учреждения науки
Института ядерных исследований Российской академии наук (ИЯИ РАН)
ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ ДОКТОРА
НАУК

аттестационное дело № _____

решение диссертационного совета от **16.02.2017г. № 2/29**

О присуждении **Калашеву Олегу Евгеньевичу**, гражданину Российской Федерации, ученой степени доктора физико-математических наук.

Диссертация «Космические лучи ультравысоких и сверхвысоких энергий. Сопутствующие нейтринные и фотонные излучения» по специальности 01.04.02 – теоретическая физика принята к защите 29 сентября 2016 года, протокол № 4/25, диссертационным советом Д 002.119.01 на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института ядерных исследований Российской академии наук (ИЯИ РАН), 117312, г.Москва, пр-т 60-летия Октября, 7а, приказ Министерства образования и науки России № 75/нк от 15 февраля 2013 года.

Соискатель Калашев Олег Евгеньевич 1976 года рождения. В 1999 году соискатель окончил факультет проблем физики и энергетики Московского физико-технического института (государственного университета). Диссертацию на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук «Космические лучи сверхвысоких энергий. Распространение. Возможные источники» защитил 15 мая 2003 года, в диссертационном совете Д 002.119.01, созданном на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института ядерных исследований Российской академии наук (ИЯИ РАН). Работает старшим научным сотрудником отдела теоретической физики Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института ядерных исследований Российской академии наук.

Диссертация выполнена в отделе теоретической физики Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института ядерных исследований Российской академии наук (ИЯИ РАН).

Официальные оппоненты:

1) Быков Андрей Михайлович, доктор физико-математических наук, профессор, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Физико-Технического Института им. А.Ф.Иоффе Российской академии наук, отделение физики плазмы, атомной физики и астрофизики, руководитель отделения;

2) Деденко Леонид Григорьевич, доктор физико-математических наук, профессор, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, физический факультет, кафедра общей физики, профессор;

3) Птускин Владимир Соломонович, доктор физико-математических наук, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн имени Н. В. Пушкова Российской академии наук, лаборатория астрофизических исследований, главный научный сотрудник

- дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация - Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт космофизических исследований и аэронауки им. Ю.Г. Шафера Сибирского отделения Российской академии наук (ИКФИА СО РАН), г. Якутск, -

в своем положительном заключении, подписанном Ивановым Анатолием Александровичем, доктором физико-математических наук, ведущим научным сотрудником лаборатории широких атмосферных ливней ИКФИА СО РАН, указала, что диссертация Калашева О.Е. соответствует всем требованиям ВАК, предъявляемым к докторским диссертациям, а ее автор – Калашев О.Е. – заслуживает присуждения степени доктора физико-математических наук по специальности 01.04.02 – теоретическая физика.

Соискатель имеет 60 опубликованных работ, в том числе 23 работы по теме диссертации, из которых 16 работ опубликованы в рецензируемых научных изданиях. Работы соискателя, представленные в диссертации, посвящены подходу к проблеме происхождения космических лучей ультравысоких энергий, основанному на изучении сопутствующих сигналов в фотонах и нейтрино, возникающих при распространении космических лучей в межгалактическом пространстве, а также в непосредственной близости к источникам. Соискатель внес определяющий вклад в каждую из опубликованных работ. Наиболее значимые работы по теме диссертации:

1. Gelmini G., Kalashev O. E., Semikoz D. V. GZK Photons in the Minimal Ultrahigh Energy Cosmic Rays Model // *Astropart. Phys.* 2007. Vol. 28. P. 390–396.

2. Arisaka K., Gelmini G. B., Healy M. D. et al. Composition of UHECR and the Pierre Auger Observatory Spectrum // *JCAP.* 2007. Vol. 0712. P. 002.

3. Kalashev O. E., Semikoz D. V., Sigl G. Ultra-High Energy Cosmic Rays and the GeV-TeV Diffuse Gamma-Ray Flux // *Phys. Rev.* 2009. Vol. D79. P. 063005.

4. Gelmini G. B., Kalashev O. E., Semikoz D. V. GZK Photons Above 10-EeV // *JCAP.* 2007. Vol. 0711. P. 002.

5. Essey W., Kalashev O. E., Kusenko A., Beacom J. F. Secondary photons and neutrinos from cosmic rays produced by distant blazars // *Phys. Rev. Lett.* 2010. Vol. 104. P. 141102.

6. Essey W., Kalashev O., Kusenko A., Beacom J. F. Role of line-of-sight cosmic ray interactions in forming the spectra of distant blazars in TeV gamma rays and high-energy neutrinos // *Astrophys. J.* 2011. Vol. 731. P. 51

7. Gelmini G. B., Kalashev O., Semikoz D. V. Gamma-Ray Constraints on Maximum Cosmogenic Neutrino Fluxes and UHECR Source Evolution Models // *JCAP.* 2012. Vol. 1201. P. 044.

8. Kalashev O. E., Kusenko A., Essey W. PeV neutrinos from intergalactic interactions of cosmic rays emitted by active galactic nuclei // *Phys. Rev. Lett.* 2013. Vol. 111, no. 4. P. 041103.

9. Inoue Y., Kalashev O. E., Kusenko A. Prospects for future very high-energy gamma-ray sky survey: impact of secondary gamma rays // *Astropart. Phys.* 2014. Vol. 54. P. 118–124.
10. Kalashev O. E., Kido E. Simulations of Ultra High Energy Cosmic Rays propagation // *J. Exp. Theor. Phys.* 2015. Vol. 120, no. 5. P. 790–797.
11. Kalashev O., Semikoz D., Tkachev I. Neutrinos in IceCube from active galactic nuclei // *J. Exp. Theor. Phys.* 2015. Vol. 120, no. 3. P. 541–548.
12. Giacinti G., Kachelriess M., Kalashev O. et al. Unified model for cosmic rays above 10^{17} eV and the diffuse gamma-ray and neutrino backgrounds // *Phys. Rev.* 2015. Vol. D92, no. 8. P. 083016.
13. Berezhinsky V., Kalashev O. High-energy electromagnetic cascades in extragalactic space: Physics and features // *Phys. Rev. D.* 2016. — Jul. Vol. 94. P. 023007.
14. Berezhinsky V., Gazizov A., Kalashev O. Cascade photons as test of protons in UHECR // *Astropart. Phys.* 2016. Vol. 84. P. 52–61.

На диссертацию и автореферат поступили отзывы:

Автореферат соответствует содержанию и основным положениям диссертации. Диссертация написана ясным, доступным языком, добротна оформлена, основные результаты опубликованы в рецензируемых статьях автора и хорошо известны российской и мировой научной общественности. Таким образом, диссертация О.Е. Калашева «Космические лучи ультравысоких и сверхвысоких энергий. Сопутствующие нейтринные и фотонные излучения» соответствует всем критериям, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени доктора наук, установленным в «Положении о присуждении ученых степеней», утверждённом постановлением Правительства РФ от 24 сентября 2013 года № 842, а сам Олег Евгеньевич Калашев, безусловно, заслуживает присуждения ему ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 01.04.02 – теоретическая физика.

Критические замечания: Как один из побудительных мотивов работы соискатель указывает на заметные погрешности измерений состава космических лучей ультравысоких энергий (КЛУВЭ). Погрешности, действительно, велики. Однако, необходимость работы, подобной выполненной соискателем, остается и в случае, когда состав и спектры первичного космического излучения (ПКИ) известны. В этом случае стоит задача определения всех ингредиентов космической среды, как в рентгеновских исследованиях.

Второе замечание относится к использованию соискателем данных Обсерватории Пьера Оже. Представляется, что критерии отбора ливней в этой Обсерватории слишком формализованы. Игнорируются ливни с высоким или слишком низким положением его максимума, реализуется некоторая выборка. Игнорируются также ливни, у которых прекрасные данные по флуоресцентному свету, но отсутствует часть показаний водяных детекторов. Например, игнорируется ливень с энергией 200 ЭэВ. Далее, модели, с помощью которых определяется состав, содержат погрешности в спектрах генерации вторичных частиц самых высоких энергий, что приводит к ошибке в определении положения максимума.

В диссертации используются различные термины для обозначения, по существу, одних и тех же объектов. Например, терминов "ультравысоких" и "сверхвысоких" энергий, вынесенных даже в название диссертации, хотя на наш взгляд, это синонимы. То же относится к терминам "внегалактический" и "экстрагалактический". Обилие аббревиатур, а также жаргонные выражения такие как "потери электронов на синхротрон", "сравнительная похожесть", "сдвигка шкалы" в некоторых случаях затрудняют понимание текста.

Из анализа в четвертой главе возможных сигналов от взаимодействия КЛ со средой вблизи удаленных источников на примере активных ядер галактик остается неясным, как и насколько влияет на долю и распределение фотонов и нейтрино от далеких источников в потоке КЛ сверхвысоких энергий наличие ненулевой космологической постоянной ($\Lambda > 0$) в уравнениях

Эйнштейна. Другими словами, насколько велико влияние темной энергии, приводящей к убыстряющейся эволюции источников, плотности вещества и фотонов на космологических расстояниях-времени, на эти компоненты космического излучения?

К сожалению, не обошлось без опечаток. Так, на страницах 83 и 106 приведены иллюстрации, включающие ссылку на левую и правую панели рисунков. На самом деле это – верхняя и нижняя панели. На Рис. 4.2, 4.3 4.5, 4.6, розовая и красная кривые плохо различимы, лучше было применить обозначение кривых разными пунктирами. В уравнении 1.40 на странице 53 из-за вероятной опечатки не согласованы левая и правая части соотношения.

Учитывая поглощение фотонов на космологических расстояниях межгалактическим фоном, представляется желательным в дальнейшей работе диссертанта уделить больше внимания вероятным источникам в нашей собственной Галактике и в местном сверхскоплении, где имеются разнообразные экзотические объекты, предположительно генерирующие КЛ сверхвысоких энергий и сопутствующие им фотоны и нейтрино. Это может позволить получить результаты, которые можно проверить экспериментально, используя данные установок ШАЛ - РАО, TALE и Якутска, изучающих КЛ в области сверхвысоких энергий.

Ввиду большого интереса к интерпретации данных наблюдений обсерватории IceCube, было бы уместно обсудить как согласуются результаты диссертации с выводами работы К. Murase et al. [Phys.Rev. Letters, Volume 116, Issue 7, id.071101, 2016] о сильных ограничениях на прозрачность источников.

Моделирование каскадов и их влияния на распространение излучения нуждается в оценках возможного влияния эффектов плазменной релаксации пучков вторичных электрон-позитронных пар (см., например, *Astrophysical Journal* v. 770, 59, 2013). Оценки вклада данного эффекта повысят надежность выводов автора.

Основное внимание автор уделяет варианту с чисто протонным составом космических лучей вплоть до самых высоких энергий, что

соответствует интерпретации результатов, полученных коллаборацией исследователей, работающих на установке Telescope Array (О. Е. Калашев сам является членом этой коллаборации). Было бы полезно кратко суммировать, насколько изменятся основные полученные в диссертации результаты по интерпретации наблюдений гамма-излучения и нейтрино, если верными окажутся данные по энергетическому спектру, среднему массовому числу и его дисперсии, полученные в эксперименте по космическим лучам Auger. В этом случае состав источников космических лучей включает тяжелые ядра вплоть до железа. Энергетический спектр источников очень жесткий, примерно E^{-1} , с максимальной энергией частиц, приблизительно равной 5 ЭэВ на единицу заряда. Результаты Auger были названы «разочаровывающими» с точки зрения производства вторичного излучения и нейтрино [Aloisio et al., *Astropart. Phys.* 34, 620 (2011); *JCAP* 1410, 10, 020 (2014)], но являются обнадеживающими с точки зрения возможности ускорения частиц в астрофизических условиях.

Следует подчеркнуть, что вышеперечисленные недостатки и замечания не имеют принципиального характера и не снижают высокой общей оценки результатов автора диссертации.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организацией обосновывается их высокой квалификацией и многолетним опытом научных исследований по сходной тематике.

Диссертационный совет отмечает, что совокупность полученных в диссертации результатов можно квалифицировать как крупное научное достижение. На основании выполненных соискателем исследований:

1. Получено универсальное ограничение на максимальную плотность энергии электромагнитных каскадов, инициированных частицами сверхвысоких энергий.

2. В ускорительных сценариях и в моделях "Top-Down" рассчитан диапазон возможных потоков фотонов ультравысоких энергий и проведено сравнение с существующими экспериментальными ограничениями.

3. В ускорительных сценариях с протонным первичным составом вычислен поток вторичного гамма-излучения и нейтрино. Проведено сравнение предсказаний с оценкой диффузного фона телескопом Ферми и с ограничениями эксперимента IceCube на диффузный поток нейтрино выше 10 ПэВ. В результате поставлены ограничения на эволюцию и первичный спектр КЛУВЭ.

4. Предложен механизм объяснения кажущейся аномальной прозрачности Вселенной для гамма-излучения от далёких блазаров с энергией свыше сотен ГэВ за счёт дополнительного вклада от космических лучей.

5. Для двух типичных механизмов взаимодействия космических лучей сверхвысоких и ультравысоких энергий со средой источника получены предсказания спектра вторичных сигналов от взаимодействия.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

1. Полученные в первой главе универсальные ограничения на плотность энергии каскадного излучения помимо физики космических лучей могут применяться в различных задачах физики элементарных частиц и астрофизики высоких энергий, в частности, в моделях распадающейся тёмной материи.

2. Вычисление вторичного сигнала от взаимодействий космических лучей ультравысоких энергий с межгалактическим фоном позволило получить ограничения на модели происхождения КЛУВЭ с первичным протонным составом. Данный результат дополняет исследования массового состава, основанные на изучении характеристик широких атмосферных ливней.

3. Модель, объясняющая видимую аномальную прозрачность Вселенной для гамма-излучения высоких энергий, экспериментально проверяема и позволяет выработать рекомендации для проектируемых атмосферных черенковских телескопов следующего поколения, таких как СТА. Подтверждение или опровержение модели позволит одновременно

улучшить ограничения на величину межгалактического магнитного поля, что в свою очередь будет иметь последствия для физики КЛУВЭ и гамма-астрономии.

4. Модели взаимодействия космических лучей в источнике доказывают возможность генерации потока астрофизических нейтрино в активных ядрах галактик и указывают на возможную связь источников гамма-излучения и нейтрино сверхвысоких энергий.

Все результаты диссертации являются обоснованными. Личный вклад соискателя состоит в том, что он получил основные результаты диссертации и внес определяющий вклад в работы, выполненные в соавторстве.

На заседании 16 февраля 2017г. диссертационный совет принял решение присудить Калашеву Олегу Евгеньевичу ученую степень доктора физико-математических наук по специальности 01.04.02 – теоретическая физика.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве **19** человек, из них **6** по специальности 01.04.02 – теоретическая физика, участвовавших в заседании, из **26** человек, входящих в состав совета, проголосовал: за - **19**, против -**нет**, недействительных бюллетеней - **нет**.

Заместитель председателя

диссертационного совета Д 002.119.01

доктор физ.-мат. наук

_____ Л. Б. Безруков

Ученый секретарь

диссертационного совета, Д 002.119.01

доктор физ.-мат. наук

_____ С.В. Троицкий

16.02. 2017г.

м.п.