**Важнейшие достижения Института ядерных исследований Российской академии наук в 3 квартале 2020 года**

Сотрудниками Института в третьем квартале опубликовано 292 научных статей в высокорейтинговых журналах и докладов на международных конференциях. Наиболее важные достижения перечислены ниже.

***С помощью машинного обучения повышена точность реконструкции направлений прихода событий наземной решетки Telescope Array.***

Эксперимент по наблюдению космических лучей ультравысоких энергий (КЛУВЭ) Telescope Array является вторым по масштабу в мире в данном классе экспериментов и крупнейшим обозревающим небо Северного полушария. За 12 лет его непрерывной работы накоплен большой объем данных о космических лучах и получены важные результаты. Однако такие существенные вопросы как выявление источников КЛУВЭ и однозначное измерение их массового состава КЛУВЭ до сих пор не решены. Нами была построена новая реконструкция событий Telescope Array основанная на сверточных нейронных сетях и нейронных сетях глубокого обучения. Точность этой реконструкции превосходит точность базовой реконструкции Telescope Array и таким образом имеет огромный потенциал для решения вышеназванных проблем. В качестве первого применения новой реконструкции нами было рассмотрено восстановление направления прихода КЛУВЭ. На базе Монте-Карло симуляций Telescope Array было показано что улучшение углового разрешение эксперимента в новой реконструкции составляет до 25% по сравнению с базовой реконструкцией.

Рис. 1 Распределение углового расстояния между истинным и реконструированным направлением прихода протонов с энергиями более 57 ЭэВ: базовая реконструкция Telescope Array (красная гистограмма) и новая нейросетевая реконструкция (синяя гистограмма). Вертикальными линиями отмечены значения углового разрешения в соответствующих реконструкциях

Статья по результатам этого исследования принята к печати в журнале «Machine Learning»: Science and Technology (<https://iopscience.iop.org/article/10.1088/2632-2153/abae74>).

 ***Поставлены новые верхние пределы на возможное смешивание электронных и стерильных нейтрино в интервале масс для последних 50 - 840 кэВ.***

 Были обработаны опубликованные ранее данные по прецизионному измерению конверсии электронов в атоме бериллия-7. Результаты улучшены более чем на порядок почти во всем интервале масс. В результате конверсии происходит двухчастичная реакция с образованием электронного нейтрино и атома отдачи лития-7. В зависимости от массы нейтрино изменяется конечная точка по энергии атома отдачи. Этот эффект связи спектра энергии атомов отдачи с массой нейтрино был использован при обработке данных. Проведен статистический анализ имеющихся спектров на возможную примесь дополнительной компоненты, связанной с возможным проявлением тяжелого стерильного нейтрино.

Подготовлена и направлена в печать статья в журнал «Письма в ЖЭТФ».

<https://arxiv.org/abs/2009.04754>



Рис. Сплошной линией показаны полученные верхние пределы на возможное смешивание электронного и стерильного нейтрино на 95% уровне достоверности в зависимости от массы стерильного нейтрино. Для сравнения пунктирной и точечной линиями представлены имеющиеся в литературе данные.

***Измерены температурные вариации средней энергии мюонов в больших глубинах.***

Более высокая амплитуда сезонных вариаций космогенных нейтронов по сравнению с амплитудой вариаций интенсивности мюонов была обнаружена с помощью детектора LVD. Зависимость Nn ∝ ‾Eμ0.78 связывает вариации нейтронов с вариациями средней энергии мюонов. Отсюда следует, что температурный эффект, влияющий на генерацию мюонов, изменяет не только их интенсивность, но и среднюю энергию. Показано, что вариации связаны с процессами генерации мюонов в верхних слоях атмосферы и прохождения мюонами слоя грунта большой толщины. Сезонные вариации средней энергии атмосферных мюонов до 10% являются новым эффектом в мюонной физике.

Подготовлена и принята в печать статья: Н.Ю. Агафонова, А.С. Мальгин,

 " О МЕХАНИЗМЕ ТЕМПЕРАТУРНЫХ ВАРИАЦИЙ СРЕДНЕЙ ЭНЕРГИИ МЮОНОВ НА БОЛЬШИХ ГЛУБИНАХ", ЖЭТФ.

 ***Получены оценки выхода сверхтяжелых частиц, рожденных*** ***при столкновении тяжелых ядер высокой энергии***

В рамках участия в проекте ALICE в ЦЕРНе получены оценки выхода сверхтяжелых частиц, рождение которых возможно при столкновении тяжелых ядер при энергиях LHC [1]. Вследствие многокварковых корреляций в ядрах при “подпороговом“ рождении при столкновении ядер могут быть образованы частицы с массой больше, чем максимально достижимая масса в протон-протонном взаимодействии. Рождение частиц с массой несколько ТэВ предсказывается в многомерных моделях с размерностью около семи (В.А.Рубаков, УФН 173 (2003) 219).

Для оценки в партонной модели [2] использованы данные о скейлинге “подпорогового“ рождения антипротонов в диапазоне энергий 8 – 400 ГэВ при параметрах Бьеркена *X* > 1. Для реальных условий эксперимента ALICE можно ожидать рождения 70 частиц в год с массой 16 ТэВ.

Для уточнения параметров скейлинга при энергиях LHC предложено проведение эксперимента по рождению “подпороговых“ частиц в проекте ALICE – Fixed target [3-5].

Публикации:

1. A.B.Kurepin, « Super heavy particle production in high energy heavy ion collision »

arXiv: 2009.04183

1. A.B.Kurepin, K.A.Shileev, N.S.Topilskaya, « Collective parton correlations in kaon and

antiproton by relativistic nuclei collisions », Genshikaku Kenkyu, Tokyo, 41 № 6 (1997) 177

1. A.B.Kurepin and N.S.Topilskaya, « Quarkonium production and proposal of the new

experiments on fixed target at LHC », Advances in High Energy Physics, V. 2015

 ID 760840

1. N.S.Topilskaya and A.B.Kurepin, “Heavy ion collisions in a fixed target mode at the LHC
beams”, Eur. Phys. J Web, V.138 (2017) 03009
2. N.S.Topilskaya, A.B.Kurepin, “ [Some proposed fixed target experiments with the LHC beams](http://inspirehep.net/record/1728222)”, EPJ Web Conf. 204 (2019) 03002

***Разработан программный код CLASS-PT для расчетов в рамках нелинейной космологической теории возмущений***

Представлен новый код CLASS-PT, реализующий теоретические вычисления на базе космологической теории возмущений наиболее эффективный образом. Главной особенностью разработанного модуля является использование наиболее точной теоретической модели для описания нелинейных эффектов скучивания материи. Уникальность кода заключается в высокой скорости вычисления теоретических предсказаний с учетом нелинейных эффектов, что позволило впервые исследовать пространство космологических параметров с помощью моделирования Монте-Карло марковских цепей. Данный модуль позволил получить новые сильные ограничения на космологические параметры по данным Слоановского цифрового обзора неба, а также был использован в прогнозе точности измерения космологических параметров и масс нейтрино с помощью предстоящей космической миссии «Евклид». CLASS-PT доказал свою высокую эффективность в построении надежных теоретических предсказаний и может быть использован ведущими международными коллективами для анализа данных крупномасштабной структуры Вселенной, такими как DESI и «Евклид».

Публикации:

Anton Chudaykin, Mikhail M. Ivanov, Oliver Philcox and Marko Simonović Non-linear perturbation theory extension of the Boltzmann code CLASS, Phys. Rev. D 102, 063533

***В эксперименте GERDA получен новый верхний предел для 0ν2β распада 76 Ge - Т1/2 >1,8·1026 лет при экспозиции 104 кг.год.***

В эксперименте GERDA (GermaniumDetectorArray), начиная с 2004 г ведется поиск безнейтринного двойного бета-распада 76Ge с помощью детектор нового поколения с ультранизким фоном. Обогащенный изотоп 76Ge получен в России. Сотрудничество GERDA состоит из 13 институтов из 5 стран с участием группы ИЯИ РАН. В течение 2016 г полностью введена в строй вторая фаза эксперимента Герда, в которой наряду с модифицированными старыми коаксиальными кристаллами, использованы 30 новых кристаллов нового типа (кристаллы с точечным анодом, так наз. BEG кристаллы). В середине 2020 г вторая фаза эксперимента закончена. В результате при экспозиции 104 кг.год получен новый верхний предел для 0ν2β распада 76 Ge - Т1/2 >1,8·1026 лет. Результат является наилучшим мировым достижением для экспериментов по поиску безнейтринного двойного бета-распада. На основе полученного результата начата подготовка третьей фазы эксперимента с 200 кг 76Ge.