

Секция 3

***ФИЗИКА ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ,
ФИЗИКА ЭЛЕМЕНТАРНЫХ
ЧАСТИЦ, НЕЙТРИННАЯ ФИЗИКА,
АСТРОФИЗИКА***

АНАЛИТИЧЕСКАЯ ФОРМУЛА ДЛЯ РАСЧЕТА ВЫХОДА НЕЙТРОНОВ, ГЕНЕРИРОВАННЫХ МЮОНАМИ В РАЗЛИЧНЫХ ВЕЩЕСТВАХ

Н. Ю. Агафонова¹, А. С. Мальгин^{1,†}

¹Институт ядерных исследований Российской академии наук,
Россия, Москва, 117312, проспект 60-летия Октября, 7а,
тел: 8(499)135-77-60, факс: 8(499)135-22-68.
E-mail: agafonova@inr.ru

Генерация (выход) нейтронов Y_n потоком мюонов с энергиями больше десятков ГэВ полностью характеризуется средней энергией мюонов E_μ по закону $Y_n \propto E_\mu^\alpha$ при $\alpha = \text{const}$, что базируется на линейных зависимостях от E_μ как радиационных и ядерных энергопотерь мюона, так и эффективных энергий электромагнитных и ядерных ливней – основных источников нейтронов. Энергия E_μ под землей определяется энергетическим спектром мюонов на глубине детектора H , который нормируется на измеренную полную интенсивность мюонов [1, 2]. Расчеты выхода нейтронов Y_n , для которых нужно знать спектр мюонов, состав и рельеф грунта, энергопотери мюонов, проводятся с помощью программ Geant4 [3] и FLUKA [4] с различным набором программ, результаты которых расходятся между собой.

Мы показали, что все экспериментальные результаты [5] по выходу нейтронов, генерированные мюонами в сцинтилляторе, железе, свинце и др. могут быть описаны универсальной формулой $Y_n(E_\mu, A) = b_n A^\beta E_\mu^\alpha$, где произведение $b_n E^\alpha$ с размерностью ГэВ/(г/см²) задает энергию мюона, затраченную на образование нейтронов [6], A – атомный номер вещества. Показатели α , β связаны со свойствами среды и генерацией нейтронов в ливнях. Эта формула отражает процессы генерации космогенных нейтронов.

Поскольку выход нейтронов довольно сильно зависит от E_μ ($\propto E_\mu^{0.78}$), его величина в тяжелом веществе (Fe, Pb) может служить для экспериментального определения E_μ на данной глубине с ошибками, не большими, чем при установлении E_μ расчетным путем. Приближение с постоянными параметрами $b_n = 4.4 \times 10^{-7}$ см²/г, $\alpha = 0.78$ и $\beta = 0.95$, позволяет использовать формулу для расчета величины выхода при любых E_μ и A , характерных для подземных экспериментов.

Список литературы

1. Groom D. E. et al. // At. Data Nucl. Data Tables 2001. – V. 78 – P. 183.
2. Lipari P. and Stanev T. // Phys. Rev. D 1991. – V. 44. – P. 3543.
3. Мануковский К. В., Рязжская О. Г., Соболевский Н. М., Юдин А. В. // Яд. Физ. 2016. Т. 79, № 4. С. 417.
4. Mei D.-M., Hime A. // Phys. Rev. D 2006. – V. 73. – P. 053004.
5. Агафонова Н. Ю., Мальгин А. С. // Яд. Физ. 2013. – N. 76, № 5 – С. 650.
6. Agafonova N. Yu., Malgin A. S. // Phys. Rev. D 2013. – V. 87. – P. 113013.

ANALYTICAL FORMULA FOR CALCULATION OF THE YIELD OF NEUTRONS GENERATED BY MUONS IN VARIOUS SUBSTANCES

N. Yu. Agafonova¹, A. S. Malgin^{1,†}

¹Institute for Nuclear Research of the Russian Academy of Sciences, Russia, prospekt 60-letiya Oktyabrya 7a, Moscow 117312, tel: 8(499)135-77-60, fax: 8(499)135-22-68.
E-mail: agafonova@inr.ru

The neutron generation (yield) Y_n by a muon flux with energies greater than tens of GeV is completely characterized by the average muon energy E_μ according to the law $Y_n \propto \bar{E}_\mu^\alpha$ at $\alpha = \text{const}$, which is based on linear dependences on \bar{E}_μ of both the radiation and nuclear energy losses of the muon and the effective energies of the electromagnetic and nuclear showers are the main sources of

neutrons. The energy \bar{E}_μ underground is determined by the muon energy spectrum at the detector depth H , which is normalized to the measured total muon intensity [1, 2]. Calculations of the neutron yield Y_n , for which it is necessary to know the muon spectrum, rock composition and topography, and muon energy losses, are carried out using the Genat4 [3] and FLUKA [4] programs with a different set of programs, the results of which differ from each other.

We have shown that all experimental results [5] on the neutron yield generated by muons in a scintillator, iron, lead, etc. can be described by the universal formula $Y_n(E_\mu, A) = b_n A^\beta E_\mu^\alpha$, where the product $b_n E^\alpha$ with the dimension of $\text{GeV}/(\text{g}/\text{cm}^2)$ specifies the muon energy spent on the production of neutrons [6], A is the atomic number of the substance. The exponents α and β are related to the properties of the medium and the neutrons generation in showers. This formula reflects the processes of cosmogenic neutrons generation.

Since the neutron yield depends rather strongly on \bar{E}_μ ($\propto E_\mu^{0.78}$), its value in heavy matter (Fe, Pb) can be used to experimentally determine \bar{E}_μ at a given depth with errors no greater than when calculating \bar{E}_μ . An approximation with constant parameters $b_n = 4.4 \times 10^{-7} \text{ cm}^2/\text{g}$, $\alpha = 0.78$, and $\beta = 0.95$ allows using the formula to calculate the yield at any \bar{E}_μ and A characteristic of underground experiments.

References

1. Groom D. E. et al. // At. Data Nucl. Data Tables 2001. – V.78 – P. 183.
2. Lipari P. and Stanev T. // Phys. Rev. D 1991. – V. 44. – P. 3543.
3. Manukovsky K. V., Ryazhskaya O. G., Sobolevsky N. M., Yudin A. V. // Physics of Atomic Nuclei. 2016. – V. 79, № 4. – P. 631.
4. Mei D.-M., Hime A. // Phys. Rev. D 2006. – V.73. – P. 053004.
5. Agafonova N. Yu., Malgin A. S. // Physics of Atomic Nuclei. 2013. V. 76, № 5. P. 607.
6. Agafonova N. Yu., Malgin A. S. // Phys. Rev. D 2013. – V.87. – P.113013.

О ПРОИСХОЖДЕНИИ СИГНАЛОВ В ГРАВИТАЦИОННЫХ АНТЕННАХ, ЗАРЕГИСТРИРОВАННЫХ 23 ФЕВРАЛЯ 1987

Н. Ю. Агафонова¹, А. С. Мальгин^{1,†}

¹Институт ядерных исследований Российской академии наук,
Россия, Москва, 117312, проспект 60-летия Октября, 7а,
тел: 8(499)135-77-60, факс: 8(499)135-22-68.
E-mail: agafonova@inr.ru

Во время вспышки SN1987A 23 февраля 1987 четыре подземных нейтринных детектора: LSD (Mont Blanc Liquid Scintillation Detector [1]), BUST (Baksan Underground Scintillation Telescope [2]), KND (Kamioka Neutron Decay Experiment [3]) и IMB (Irvine-Michigan Brookhaven [4]), и две гравитационные антенны в Риме (RGA) и Мэриленде (MGA) зарегистрировали сигналы [5]. При совместном анализе данных в течение 6 часов были найдены совпадения событий, зарегистрированных всеми работавшими детекторами. При анализе событий антенны RGA в окрестности $\pm 30\text{с}$ сигнала LSD в 2h52m37s UT 23/02/1987 обнаружены события, энергия которых заметно превышала среднюю энергию возбуждения антенны [6].

Несмотря на невозможность почувствовать антеннами Вебера прямое гравитационное излучение от коллапса SN1987A, однако, до сих пор не понятно, что за события регистрировали гравитационные антенны RGA и MGA.

Мы рассчитали полное энерговыделение и количество мюонов, которые должны были пересечь гравитационную антенну за 1 секунду и проанализировали форму энергетических распределений.

Показано, что амплитудные распределения во всех сигналов антенн согласуются с распределением флуктуирующих энергопотерь атмосферных мюонов, пересекающих антенны. Исходя из нашего анализа, мы делаем заключение, что события в гравитационных антеннах RGA, MGA вызваны мюонами от распадов пионов и каонов.

Список литературы

1. M Aglietta. et al. // *Europhys. Lett.* 1987. – V. 3. – P. 1315.
2. Alekseev E.N. et al. // *JETP Lett.* 1987. – V. 45. – P. 589.
3. Hirata K. et al. // *Phys. Rev. Lett.* 1987. – V. 58. – P. 1490.
4. Bionta R. M. et al. // *Phys. Rev. Lett.* 1987. – V. 58. – P. 1494.
5. Amaldi E., Bonifazi P., Castellano M.G., Coccia E. et al. // *EPL (Europhysics Letters)*. 1987. – V. 3, N12. – P. 1325.
6. Aglietta M., Castellina A., Fulgione W. et al. // *Il Nuovo Cimento C* 1991. – V. 14. – P. 171.

ON THE ORIGIN OF SIGNALS IN GRAVITY ANTENNA REGISTERED ON FEBRUARY 23, 1987

N. Yu. Agafonova¹, A. S. Malgin^{1,†}

¹Institute for Nuclear Research of the Russian Academy of Sciences, Russia, prospekt 60-letiya Oktyabrya 7a, Moscow 117312, tel: 8(499)135-77-60, fax: 8(499)135-22-68.
E-mail: agafonova@inr.ru

During the SN1987A burst on February 23, 1987, four underground neutrino detectors: LSD (Mont Blanc Liquid Scintillation Detector [1]), BUST (Baksan Underground Scintillation Telescope [2]), KND (Kamioka Nucleon Decay Experiment [3]) and IMB (Irvine- Michigan Brookhaven [4]), and two gravitational antennas in Rome (RGA) and Maryland (MGA) registered signals [5]. During a joint analysis of the data for 6 hours, coincidences of events recorded by all working detectors were found. When analyzing the events of the RGA antenna in the vicinity of ± 30 s of the LSD signal at 2h52m37s UT on February 23, 1987, events were detected whose energy significantly exceeded the average antenna excitation energy [6].

Despite the impossibility to feel direct gravitational radiation from the collapse of SN1987A with Weber antennas, however, it is still not clear what kind of events were recorded by the RGA and MGA gravitational antennas.

We calculated the total energy release and the number of muons that had to cross the gravitational antenna in 1 second and analyzed the shape of the energy distributions.

It is shown that the amplitude distributions in all antenna signals are consistent with the distribution of fluctuating energy losses of atmospheric muons crossing the antennas. Based on our analysis, we conclude that the events in the gravitational antennas RGA, MGA are caused by muons from the decays of pions and kaons.

References

1. M. Aglietta. et al. // *Europhys. Lett.* 1987. – V. 3. – P. 1315.
2. Alekseev E.N. et al. // *JETP Lett.* 1987. – V. 45. – P. 589.
3. Hirata K. et al. // *Phys. Rev. Lett.* 1987. – V. 58. – P. 1490.
4. Bionta R. M. et al. // *Phys. Rev. Lett.* 1987. – V. 58. – P. 1494.
5. Amaldi E., Bonifazi P., Castellano M. G., Coccia E. et al. // *EPL (Europhysics Letters)*. 1987. – V. 3, N12. – P. 1325.
6. Aglietta M., Castellina A., Fulgione W. et al. // *Il Nuovo Cimento C* 1991. – V. 14. – P. 171.

ЗАВИСИМОСТЬ ЭЛЛИПТИЧЕСКОГО ПОТОКА π^0 МЕЗОНОВ ОТ ПОПЕРЕЧНОГО ИМПУЛЬСА В СТОЛКНОВЕНИЯХ Cu+Au ПРИ ЭНЕРГИИ 200 ГэВ

**Е. В. Банников, А. Я. Бердников, Я. А. Бердников, Д. О. Котов, Ю. М. Митранков,
М. М. Митранкова, Д. М. Ларионова, А. Д. Селезнев**

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого (СПбПУ),
ул. Политехническая, д. 29, Санкт-Петербург, 195251, 8 (800) 707-18-99,
E-mail: bannikov.e@edu.spbstu.ru

Кварк-глюонная плазма (КГП) – состояние сильно взаимодействующей материи, состоящей из асимптотически свободных партонов. В лабораторных условиях образование КГП возможно в релятивистских столкновениях тяжелых ядер. Одним из свидетельств существования КГП в ядро-ядерных столкновениях служит азимутальная анизотропия рождения частиц, количественной характеристикой которой является эллиптический поток (v_2). Развитие эллиптического потока описывается в рамках различных моделей: при малых значениях поперечных импульсов (p_T) развитие v_2 преимущественно описывается релятивистской гидродинамикой, а при больших $p_T > 5$ ГэВ/с в описании развития v_2 начинают доминировать модели, учитывающие потери энергии партонов перед их фрагментацией. Для измерения эллиптических потоков в широком диапазоне по поперечному импульсу в качестве изучаемой частицы был выбран π^0 -мезон, так как значения v_2 для него измеримы вплоть до 14 ГэВ/с. Выбор асимметричной системы столкновений Cu+Au обусловлен наличием ранее измеренных значений v_2 для π^0 мезонов в симметричных тяжелых системах как функции от их поперечного импульса, что позволяет изучить зависимость функций $v_2(p_T)$ для π^0 мезонов от размеров и начальной геометрии сталкивающейся системы ядер.

В данном докладе представлены результаты измерения зависимости эллиптического потока для π^0 мезонов в асимметричных взаимодействиях Cu+Au от их поперечного импульса. Полученные значения v_2 , масштабированные на эксцентриситет нуклонов-участников и кубический корень их числа, не зависят от начальной геометрии системы, что находится в согласии с гидродинамической моделью развития эллиптического потока. При больших $p_T > 5$ ГэВ/с полученные значения v_2 оказались отличны от нуля, что может быть связано с энергетическими потерями партонов в КГП.

DEPENDENCE OF THE ELLIPTIC FLOW FOR π^0 MESONS ON THE TRANSVERSE MOMENTUM IN Cu+Au COLLISIONS AT 200 GeV

**E. V. Bannikov¹, A. Ya. Berdnikov, Ya. A. Berdnikov, D. O. Kotov, Yu. M. Mitrancov,
M. M. Mitrancova, D. M. Larionova, A. D. Seleznev**

Peter the Great St.Petersburg Polytechnic University (SPbPU),
Polytechnicheskaya, 29, St.Petersburg, 195251, 8 (800) 707-18-99,
E-mail: bannikov.e@edu.spbstu.ru¹

Quark-gluon plasma (QGP) is a state of strongly interacting matter consisting of asymptotically free partons. Under laboratory conditions, the formation of QGP is possible in relativistic collisions of heavy nuclei. One of the evidences for the existence of QGP in nucleus-nucleus collisions is the azimuthal anisotropy of particle production, whose quantitative characteristic is the elliptic flow (v_2). The development of an elliptic flow is described in terms of various models: at low values of transverse momentum (p_T), the development of v_2 is mainly described by relativistic hydrodynamics, and at large values of $p_T > 5$ GeV/c models that take into account parton energy loss before fragmentation begin to dominate in the description of the v_2 development. To measure elliptic flow in a wide transverse momentum range, the π^0 meson was chosen as the studied particle, since the values of v_2 for it are measurable up to 14 GeV/c. The choice of the asymmetric Cu+Au collision system is due to the presence of previously measured v_2 values for π^0 mesons in symmetric heavy

systems as a function of their transverse momentum, which makes it possible to study the dependence of the functions $v_2(p_T)$ for π^0 mesons on the size and initial geometry of the collision system.

This report presents the dependence of the elliptic flow for π^0 mesons on their transverse momentum measured in asymmetric Cu+Au interactions. The obtained v_2 values, scaled with the eccentricity of the participant nucleons and the cube root of their number, do not depend on the initial geometry of the system, which agrees with the hydrodynamic model of the elliptic flow development. At large $p_T > 5 \text{ GeV}/c$, the obtained v_2 values turned out to be nonzero, which may be due to parton energy loss in QGP.

ОЦЕНКА ТОЧНОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЧИСЛА НУКЛОНОВ – СПЕКТАТОРОВ ПО ЭНЕРГИИ, РЕГИСТРИРУЕМОЙ В КАЛОРИМЕТРЕ В А+А СТОЛКНОВЕНИЯХ

Ф. Ф. Валиев*, В. В. Вечернин, Г. А. Феофилов

Санкт-Петербургский государственный университет,
199034, Санкт-Петербург, Университетская наб. 7-9
*E-mail: valiev07@list.ru

В данной работе методика, апробированная в [1] и подтвержденная в экспериментальной работе [2], используется для оценки точности определения числа нуклонов-спектаторов по энергии, регистрируемой калориметром. В измерениях с калориметром в каждом событии мы имеем две скоррелированные случайные величины: M – число спектаторов, попадающих в акцептанс калориметра, и Q – соответствующая энергия на выходе калориметра. Пусть $P(M)$ – вероятность иметь M спектаторов на входе калориметра и $P(Q|M)dQ$ – вероятность иметь энергию Q в интервале dQ при условии, что число спектаторов равно M . Тогда по теореме Байеса вероятность, что данный сигнал Q на выходе калориметра был вызван попаданием в него M нуклонов-спектаторов равна: $P(M|Q) = \frac{P(M)P(Q|M)}{P(Q)}$, где $P(Q) = \sum_M P(M)P(Q|M)$. Мы рассматриваем в работе два крайних случая априорного распределения $P(M)$ числа нуклонов-спектаторов по событиям: (а) равномерное и (б) нормальное распределение с дисперсией $D[M] \gg 1$. Для оценок относительной погрешности с использованием формулы Байеса мы применяем в работе два метода: аналитический и на основе имитационного моделирования. Показано, что оба метода совпадают в оценках при числе спектаторов более 5 и что результаты в обоих случаях не зависят от априорного вида распределения числа нуклонов-спектаторов. Показано, что последнее будет справедливо для любых распределений $P(M)$, удовлетворяющих условию: $|P(M+1) - P(M)| \ll P(M)$.

Исследование проведено при финансовой поддержке Санкт-Петербургского государственного университета (ID: 94031112).

Список литературы

1. Т. М. Avdeeva at all. Determination of charged particles multiplicity with microchannel plate detector. // Тезисы докладов 46 межд. совещ. по физике атомного ядра. 1996. Санкт-Петербург. 1996. С. 368.
2. Ф. Ф. Валиев и др. Физическое моделирование детектора множественности. // Тезисы докладов 51 совещания по ядерной спектроскопии и структуре атомного ядра. М.: Наука. 2001. С. 238

ESTIMATION OF THE ACCURACY OF DETERMINING THE NUMBER OF NUCLEON-SPECTATORS FROM THE ENERGY REGISTERED IN THE CALORIMETER IN A+A COLLISIONS

F. F. Valiev*, V. V. Vechernin, G.A. Feofilov

Saint-Petersburg State University, 7-9 Universitetskaya nab., St. Petersburg, 199034 Russia

*E-mail: valiev07@list.ru

In this work, the technique tested in [1] and confirmed in the experimental work [2] is used to estimate the accuracy of determining the number of spectator nucleons from the energy registered by the calorimeter. In measurements with a calorimeter, in each event we have two correlated random variables: M is the number of spectators entering the calorimeter acceptance, and Q is the corresponding energy at the output of the calorimeter. Let $P(M)$ be the probability of having M spectators at the calorimeter input and $P(Q|M)dQ$ the probability of having energy Q in the interval dQ , provided that the number of spectators is equal to M . Then, according to Bayes' theorem, the probability that the given signal Q at the output of the calorimeter was caused by M spectator nucleons hitting it is equal to: $P(M|Q) = P(M)P(Q|M)/P(Q)$, where $P(Q) = \sum_M P(M)P(Q|M)$. In this work, we consider two extreme cases of a priori distribution $P(M)$ of the number of spectator nucleons over events: (a) uniform and (b) normal distribution with dispersion $D[M] \gg 1$. To estimate the relative error by the Bayes formula, we use two methods in our work: analytical and based on simulation modeling. It is shown that both methods coincide in their estimates when the number of spectators exceeds 5 and that the results in both cases do not depend on the a priori form of the distribution of the number of spectator nucleons. It is shown that the latter will be true for any distributions $P(M)$ satisfying the condition: $|P(M+1) - P(M)| \ll P(M)$.

The study was financially supported by St. Petersburg State University (ID: 94031112).

References

1. T. M. Avdeeva et al. Determination of charged particles multiplicity with microchannel plate detector. // Abstracts of reports 46 int. meeting on physics of the atomic nucleus. 1996. Saint Petersburg. 1996. P. 368.

2. F. F. Valiev et al. Physical modeling of the multiplicity detector. // Abstracts of reports of the 51st meeting on nuclear spectroscopy and the structure of the atomic nucleus. M: Science. 2001. P. 238

ИЗМЕРЕНИЯ ЗАРЯЖЕННЫХ ФРАГМЕНТОВ-СПЕКТАТОРОВ С ПОМОЩЬЮ СЦИНТИЛЛЯЦИОННОЙ СТЕНКИ В СЕАНСЕ Хе+CsI ПРИ 3.8 АGeV ЭКСПЕРИМЕНТА BM@N

В. В. Волков¹, Ф. Ф. Губер¹, М. Б. Голубева¹,
А. И. Махнев¹, М. В. Мамаев², С. В. Морозов¹

¹Институт ядерных исследований РАН, Москва, Россия

²Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», Москва, Россия
E-mail: volkov@inr.ru

В данном докладе представлены результаты работы сцинтилляционной стенки BM@N в первом физическом ране на ускорителе Нуклотрон в столкновениях Хе+CsI при энергии 3.8 АGeV. Основное внимание будет уделено конструкции сцинтилляционной стенки и ее способности различать заряженные фрагменты рожденных в ядерно-ядерных столкновениях. Будет обсуждаться измеренный диапазон зарядов, чувствительность к центральности столкновений, а также корреляции между количеством сработавших ячеек в стенке и наблюдаемыми другими детекторами. Будет показано сравнение экспериментальных данных с моделированием.

CHARGED FRAGMENTS-SPECTATORS MEASUREMENTS WITH BM@N SCINTILLATION WALL IN Xe+CsI at 3.8 AGeV RUN

V. V. Volkov¹, F. F. Guber¹, M. B. Golubeva¹,
A. I. Makhnev¹, M. V. Mamaev², S. V. Morozov¹

¹Institute for Nuclear Research of RAS, Moscow, Russia

²National Research Nuclear University MEPhI, Moscow, Russia

E-mail: volkov@inr.ru

This report presents the performance of the BM@N scintillation wall in the first physical run at the Nuclotron accelerator with Xe+CsI at 3.8 AGeV collisions. The focus will be on the scintillation wall's design and its ability to differentiate charged fragments from nucleus-nucleus collisions. The measured range of charges, sensitivity to collision centrality, as well as correlations observed between the number of fired cells in the wall and other detectors' observables will be discussed. A comparison of the experimental data with the simulation will be shown.

ВОЗМОЖНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ДВУХ-ЧАСТИЧНЫХ КОРРЕЛЯЦИЙ ПО ПОПЕРЕЧНОМУ ИМПУЛЬСУ В ПРОТОН-ПРОТОННЫХ И ДЕЙТРОН-ДЕЙТРОННЫХ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯХ ПРИ ЭНЕРГИЯХ NICA

A. S. Galoyan¹, V. V. Uzhinsky²

¹ Лаборатория физики высоких энергий, 141980 Объединенный институт ядерных исследований, г. Дубна Московской области, ул. Жолио-Кюри, д. 6

² Лаборатория информационных технологий, 141980 Объединенный институт ядерных исследований, г. Дубна Московской области, ул. Жолио-Кюри, д. 6

Мы предложили новый метод для изучения двух-частичных P_T корреляций в мягких адронных взаимодействиях. Корреляции рассчитаны для протон-протонных взаимодействий при энергии в системе центра масс 10 и 25 ГэВ и дейтрон-дейтрон взаимодействиях при энергии 6 ГэВ. P_T корреляции рассчитаны между Λ -гиперонами и анти Λ -гиперонами, K -, π -мезонами и протонами по моделям Geant4 FTF and Pythia 6.4. Показано, что P_T корреляции Λ -гиперонов с анти Λ -гиперонами и K -мезонами в модели FTF сильнее чем в модели Pythia. P_T корреляции Λ -гиперонов с π -мезонами и протонами слабые. Расчеты показывают, что P_T корреляции уменьшаются с ростом начальной энергии. Двух-частичных P_T корреляции могут быть изучены на эксперименте NICA SPD. Предложенные корреляции весьма чувствительны к механизмам рождения частиц в мягких адронных взаимодействиях в различных теоретических моделях.

POSSIBLE STUDY OF 2-PARTICLE TRANSVERSE MOMENTUM CORRELATIONS IN PROTON-PROTON AND DEUTERON-DEUTERON INTERACTIONS AT NICA ENERGIES

A. S. Galoyan¹, V. V. Uzhinsky²

¹ Laboratory of high energy physics, Joint Institute for Nuclear Research Joliot-Curie 6, 141980 Dubna, Moscow Region, Russia

² Laboratory of information technologies, Joint Institute for Nuclear Research Joliot-Curie 6, 141980 Dubna, Moscow Region, Russia

We proposed a new method for a study of 2-particle P_T correlations in the soft hadronic interactions. The correlations were calculated for proton-proton interactions at center of mass energy 10 GeV and 25 GeV, and deuteron-deuteron interactions at 6 GeV. The P_T correlations are calculated

between Λ -hyperons and anti Λ -hyperons, K-, π -mesons, and protons in the Geant4 FTF and Pythia 6.4 models. It is shown that the P_T correlations of Λ -hyperons with anti- Λ and K-mesons in the FTF model are stronger than in the Pythia model. The P_T correlations of Λ -hyperons with π -mesons and protons are weak. Calculations show that the P_T correlations decrease at initial energy growth. The 2-particle P_T correlations can be studied at NICA SPD experiment. The proposed correlations are rather sensitive to the mechanisms of particle production in the soft hadronic interactions implemented in various theoretical models.

РЕГИСТРАЦИЯ СОЛНЕЧНЫХ CNO НЕЙТРИНО В ЭКСПЕРИМЕНТЕ БОРЕКСИНО

А. В. Дербин за коллаборацию Борексино

Петербургский институт ядерной физики НИЦ Курчатовский институт

Ядерный синтез водорода в гелий в звездах происходит, помимо протон-протонной (pp-) цепи, включающей только изотопы водорода и гелия, посредством цикла углерод-азот-кислород (CNO), в котором синтез катализируется ядрами C, N и O. CNO цикл производит лишь 1 % всей солнечной энергии и является второстепенным для Солнца. Однако для более массивных и горячих звезд этот цикл является определяющим. В 2020–2022 гг. международная коллаборация Борексино, в которой участвуют ученые российских институтов, впервые представила результаты обнаружения нейтрино, испускаемых в реакциях CNO-цикла на Солнце.

MEASUREMENT OF SOLAR CNO NEUTRINOS IN THE BOREXINO EXPERIMENT

A. Derbin for the Borexino collaboration

Petersburg Nuclear Physics Institute NRC Kurchatov Institute

The nuclear fusion of hydrogen into helium in stars occurs, in addition to the proton-proton (pp-) chain, which includes only hydrogen and helium isotopes, through the carbon-nitrogen-oxygen (CNO) cycle, in which fusion is catalyzed by C, N and O nuclei. The CNO cycle produces only 1 % of all solar energy and is secondary to the Sun. However, for more massive and hotter stars, this cycle is decisive. In 2020-2022 the Borexino collaboration, which involves scientists from Russian institutes, for the first time presented the results of detection of neutrinos emitted in the reactions of the CNO cycle on the Sun.

ОБ ОБНАРУЖЕНИИ НОВЫХ ЧАСТИЦ ИЗ ДАННЫХ ДЛЯ КОСМИЧЕСКИХ ЛУЧЕЙ

А. Т. Дьяченко^{1,2}

¹Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I, Санкт-Петербург, Московский пр. 9, 190031, Россия, Тел. +7(812)436-90-96, Факс: +7(812)314-98-69

²Петербургский институт ядерной физики им. Б. П. Константинова
НИЦ “Курчатовский институт”, Гатчина, Орлова Роща 1, 188300, Россия
e-mail: dyachenko_a@mail.ru

В работах [1,2] нами показано проявление новых частиц X17 и X38 с массами 17 МэВ и 38 МэВ из спектров мягких фотонов в столкновениях протонов и ядер при высоких энергиях. Эти новые частицы можно считать частицами темной материи. В настоящей работе предлагается проверить проявление этих новых частиц в спектрах Космических лучей

сверхвысоких энергий порядка 10^{19} эВ. Действительно, в работе [3] полученные всплески в спектре космических лучей в области энергии 10^{11} ГэВ интерпретируются, как проявление темного фотона. Этот темный фотон имеет массу отличную от нуля, но очень малую порядка 10^{-19} эВ. Нами предлагается интерпретация этих всплесков, как вклада от распада новых частиц X17 и X38 в рамках нашего подхода [1, 2]. Для того чтобы определить температуру, мы используем аппроксимацию спектра космического излучения до всплеска, которая известна и пропорциональна примерно E^{-3} , E – энергия. Мы сопоставили экспериментальные точки из работы [3] для сверхлегкого темного фотона. Наше описание согласуется с этими экспериментальными данными и оказывается даже лучше, чем в работе [3]. Ширина пика слабо зависит от массы наших X бозонов. Таким образом, мы убеждаемся, что получено еще одно подтверждение в существовании бозонов X17 и X38 с массами 17 и 38 МэВ в свете экспериментальных данных из космических лучей для сверхвысоких энергий, не достижимых на современных ускорителях.

Список литературы

1. D'yachenko A. T. Spectra of secondary particles in high-energy proton-proton collisions in the thermodynamic model and the possibility of detection of particles of dark matter // Phys. Atom. Nucl. 2020. V. 83. N. 11. P. 1597-1601.
2. D'yachenko A. T. Detection of new particles – possible candidates for the role of dark matter particles in collisions of protons and nuclei from spectra of soft photons // Phys. Atom. Nucl. 2022. V. 85. N. 6. P. 1028-1033.
3. Tantirangsri P., Samart D., Pongkitivanichkul C. Dark photon bremsstrahlung and ultrahigh –energy cosmic ray. ArXiv 2301.11122 [hep-ph].

ON DETECTION OF NEW PARTICLES FROM COSMIC RAY DATA

A. T. D'yachenko^{1,2}

¹Emperor Alexander I Petersburg State Transport University, St. Petersburg, Moskovsky pr. 9, 190031, Russia, Tel. +7(812)436-90-96, Fax: +7(812)314-98-69

²B.P. Konstantinov Petersburg Nuclear Physics Physics National Research Center “Kurchatov Institute”, Gatchina, Orlova Roshcha 1, 188300, Russia
e-mail: dyachenko_a@mail.ru

In [1,2], we have shown the manifestation of new X17 and X38 particles with masses of 17 MeV and 38 MeV from the spectra of soft photons in collisions of protons and nuclei at high energies. These new particles can be considered dark matter particles. In this paper, we propose to check the manifestation of these new particles in the spectra of cosmic rays with ultrahigh energies of the order of 10^{19} eV. Indeed, in [3] the obtained bursts in the spectrum of cosmic rays in the energy region of 10^{11} GeV are interpreted as a manifestation of a dark photon. This dark photon has a mass different from zero, but very small, about 10^{-19} eV. We propose an interpretation of these bursts as a contribution from the decay of new X17 and X38 particles in the framework of our approach [1, 2]. In order to determine the temperature, we use an approximation of the cosmic radiation spectrum before the burst, which is known and proportional to about E^{-3} , E is the energy. We compared the experimental points from [3] for an ultralight dark photon. Our description agrees with these experimental data and turns out to be even better than in [3]. The width of the peak depends only slightly on the mass of our X bosons. Thus, we are convinced that one more confirmation of the existence of X17 and X38 bosons with masses of 17 and 38 MeV has been obtained in the light of experimental data from cosmic rays for ultrahigh energies that are not achievable with modern accelerators.

References

1. D'yachenko A. T. Spectra of secondary particles in high-energy proton-proton collisions in the thermodynamic model and the possibility of detection of particles of dark matter // Phys. Atom. Nucl. 2020. V. 83. N. 11. P. 1597–1601.
2. D'yachenko A. T. Detection of new particles – possible candidates for the role of dark matter particles in collisions of protons and nuclei from spectra of soft photons // Phys. Atom. Nucl. 2022. V. 85. N. 6. P. 1028-1033.
3. Tantirangsri P., Samart D., Pongkitivanichkul C. Dark photon bremsstrahlung and ultra-high –energy cosmic ray. ArXiv 2301.11122 [hep-ph].

ОПИСАНИЕ ЭМИССИИ КУМУЛЯТИВНЫХ ВТОРИЧНЫХ ЧАСТИЦ В СТОЛКНОВЕНИЯХ ТЯЖЕЛЫХ ИОНОВ ПРОМЕЖУТОЧНЫХ ЭНЕРГИЙ НА ОСНОВЕ НЕРАВНОВЕСНОГО ГИДРОДИНАМИЧЕСКОГО ПОДХОДА

А. Т. Дьяченко^{1,2}

¹Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I,
Санкт-Петербург, Московский пр. 9, 190031, Россия,
Тел. +7(812)436-90-96, Факс: +7(812)314-98-69

²Петербургский институт ядерной физики им. Б. П. Константинова
НИЦ “Курчатовский институт”, Гатчина, Орлова Роща 1, 188300, Россия
e-mail: dyachenko_a@mail.ru

В развитие неравновесного гидродинамического подхода [1, 2] нам удалось полностью описать спектры кумулятивных протонов, пионов и фотонов для столкновения ядер углерода с бериллиевой мишенью в области энергий 0.3–3.2 ГэВ на нуклон, полученные в экспериментах ИТЭФ (Москва). При описании этих спектров была учтена поправка на микроканоническое распределение [1, 2], а также для выходов протонов учтен вклад процесса фрагментации [2]. Наше описание экспериментальных данных оказывается лучше каскадных моделей и модели квантовой молекулярной динамики (QMD), встроенной в пакет GEANT4. В настоящей работе нам удалось успешно описать двойные дифференциальные сечения образования кумулятивных протонов, пионов, каонов и антипротонов, испускаемых под углом 0^0 для столкновения ядер углерода в реакции $^{12}\text{C}+^{12}\text{C}$ при энергии 19.6 ГэВ на нуклон на фиксированной мишени, полученные на ускорителе У-70 ИФВЭ (Серпухов) [3]. Приводится сравнение с другими теоретическими подходами. Наш подход применим к столкновениям как легких, так и тяжелых ядер, что видно из сравнения с экспериментальными данными и другими теоретическими подходами. Это может быть распространено на область энергий стоящего в ОИЯИ (Дубна) укорительного комплекса NICA.

Список литературы

1. D'yachenko A. T., Mitropolsky I. A. Emission of high-energy protons and photons in heavy-ion collisions treated on the basis of a hydrodynamic approach with a nonequilibrium equation of state // Phys. Atom. Nucl. 2020. V. 83. N. 4. P. 558–566.
2. D'yachenko A. T., Mitropolsky I. A. Nonequilibrium hydrodynamic approach to describing the emission of high-energy secondary particles in intermediate –energy heavy –ion collisions // Phys. Atom. Nucl. 2022. V. 85. N. 6. P. 1053–1062.
3. Afonin A. G., Bogolubsky M. Yu., Volkov A. A. et al. Measurement of cross sections for inclusive forward charged hadron production in carbon-carbon collisions at beam energy of 19.6 GeV per nucleon // Phys. Atom. Nucl. 2020. V. 83. N. 2. P. 228–236.

DESCRIPTION OF THE EMISSION OF CUMULATIVE SECONDARY PARTICLES IN COLLISIONS OF HEAVY IONS OF INTERMEDIATE ENERGIES BASED ON THE NON-EQUILIBRIUM HYDRODYNAMIC APPROACH

A.T. D'yachenko^{1,2}

¹Emperor Alexander I Petersburg State Transport University, St. Petersburg, Moskovsky pr. 9, 190031, Russia, Tel. +7(812)436-90-96, Fax: +7(812)314-98-69

²B. P. Konstantinov Petersburg Nuclear Physics National Research Center “Kurchatov Institute”, Gatchina, Orlova Roshcha 1, 188300, Russia
e-mail: dyachenko_a@mail.ru

In the development of the nonequilibrium hydrodynamic approach [1, 2], we managed to completely describe the spectra of cumulative protons, pions and photons for the collision of carbon nuclei with a beryllium target in the energy range of 0.3-3.2 GeV per nucleon, obtained in the ITEP (Moscow) experiments. When describing these spectra, the correction for the microcanonical distribution [1, 2] was taken into account, and the contribution of the fragmentation process was also taken into account for the proton yields [2]. Our description of the experimental data is better than the cascade models and the quantum molecular dynamics (QMD) model built into the GEANT4 package. In the present work, we have successfully described the double differential cross sections for the production of cumulative protons, pions, kaons, and antiprotons emitted at an angle of 0° for the collision of carbon nuclei in the $^{12}\text{C} + ^{12}\text{C}$ reaction at an energy of 19.6 GeV per nucleon on a fixed target, obtained at the U-70 accelerator at IHEP (Serpuukhov) [3]. A comparison with other theoretical approaches is given. Our approach is applicable to collisions of both light and heavy nuclei, which can be seen from a comparison with experimental data and other theoretical approaches based on solving the Boltzmann equation, the quantum molecular dynamics model, and etc. This can be extended to the energy range of the accusatory complex NICA located at JINR (Dubna).

References

1. D'yachenko A. T., Mitropolsky I. A. Emission of high-energy protons and photons in heavy-ion collisions treated on the basis of a hydrodynamic approach with a nonequilibrium equation of state // Phys. Atom. Nucl. 2020. V. 83. N. 4. P. 558–566.
2. D'yachenko A. T., Mitropolsky I. A. Nonequilibrium hydrodynamic approach to describing the emission of high-energy secondary particles in intermediate –energy heavy –ion collisions // Phys. Atom. Nucl. 2022. V. 85. N. 6. P. 1053–1062.
3. Afonin A. G., Bogolubsky M. Yu., Volkov A. A. et al. Measurement of cross sections for inclusive forward charged hadron production in carbon-carbon collisions at beam energy of 19.6 GeV per nucleon // Phys. Atom. Nucl. 2020. V. 83. N. 2. P. 228–236.

УРАВНЕНИЕ КЛЕЙНА-ГОРДОНА, УРАВНЕНИЯ РЕЛЯТИВИСТСКОЙ ГИДРОДИНАМИКИ И КВАНТОВЫЕ УДАРНЫЕ ВОЛНЫ ПРИ ОПИСАНИИ СТОЛКНОВЕНИЙ АТОМНЫХ ЯДЕР

А. Т. Дьяченко^{1,2}

¹Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I, Санкт-Петербург, Московский пр. 9, 190031, Россия, Тел. +7(812)436-90-96, Факс: +7(812)314-98-69

²Петербургский институт ядерной физики им. Б.П. Константинова НИЦ “Курчатовский институт”, Гатчина, Орлова Роша 1, 188300, Россия
e-mail: dyachenko_a@mail.ru

Получены уравнения квантовой релятивистской гидродинамики из уравнения Клейна-Гордона, которые в нерелятивистском квазиклассическом пределе сводятся к традиционным уравнениям гидродинамики идеальной жидкости [1]. Найдено аналитическое решение

уравнений гидродинамики в приближении солитонов и квантовых ударных волн для столкновения ядерных слоев в одномерном и двумерном случаях. Отмечается важность учета неравновесных процессов. Рассмотрение стадии сжатия, стадии расширения и стадии разлета в рамках единой формулы для слоев с релятивистскими энергиями является продолжением исследования, проведенного для нерелятивистской гидродинамики [2]. Такое сведение решений уравнений гидродинамики к решениям в виде квантовых ударных волн ранее не рассматривалось. Обобщение на двумерный случай приводит к представлению об образовании на стадии сжатия горячего пятна hot spot, а на стадии расширения разреженной области-пузыря. А сам подход может быть использован и в других областях физики при расчетах нелинейной динамики колебаний сложных систем.

Список литературы

1. Дьяченко А. Т. Уравнения квантовой релятивистской гидродинамики и солитонные решения при описании столкновений атомных ядер // ЯФ 2023. Т. 86. № 3. С. 428–435.
2. Дьяченко А. Т., Митропольский И. А. Описание столкновений атомных ядер в неравновесном гидродинамическом подходе как столкновений солитонов Кортевега –де Фриза // Изв. РАН Сер.Физ. 2022. Т. 86. № 8. С. 1162–1165.

KLEIN-GORDON EQUATION, EQUATIONS OF RELATIVISTIC HYDRODYNAMICS AND QUANTUM SHOCK WAVES IN THE DESCRIPTION OF COLLISIONS OF ATOMIC NUCLEI

A. T. D'yachenko^{1,2}

¹Emperor Alexander I Petersburg State Transport University, St. Petersburg, Moskovsky pr. 9, 190031, Russia, Tel. +7(812)436-90-96, Fax: +7(812)314-98-69

²B. P. Konstantinov Petersburg Nuclear Physics National Research Center “Kurchatov Institute”, Gatchina, Orlova Roshcha 1, 188300, Russia
e-mail: dyachenko_a@mail.ru;

The equations of quantum relativistic hydrodynamics are obtained from the Klein-Gordon equation, which in the nonrelativistic semiclassical limit are reduced to the traditional equations of hydrodynamics of an ideal fluid [1]. An analytical solution of the equations of hydrodynamics in the approximation of solitons and quantum shock waves is found for the collision of nuclear layers in the one-dimensional and two-dimensional cases. The importance of taking into account nonequilibrium processes is noted. The consideration of the compression stage, the expansion stage, and the expansion stage within the framework of a single formula for layers with relativistic energies is a continuation of the study carried out for nonrelativistic hydrodynamics [2]. Such a reduction of solutions of hydrodynamic equations to solutions in the form of quantum shock waves has not been considered before. The generalization to the two-dimensional case leads to the concept of the formation of a hot spot at the compression stage and a rarefied bubble region at the expansion stage. And the approach itself can be used in other areas of physics when calculating the nonlinear dynamics of oscillations of complex systems.

References

1. D'yachenko A. T. Quantum relativistic hydrodynamics equations and soliton solutions in describing collisions of atomic nuclei // Yad. Fiz. 2023. V. 86. N. 3. P. 428–435.
2. D'yachenko A. T., Mitropolsky I. A. Using the nonequilibrium hydrodynamic approach in describe collisions between atomic nuclei as collisions between Korteweg – de Vries solitons // Bull. Russ. Acad. Sci. Phys. 2022. V. 86. N. 8. P. 1162–1165.

МОДЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ КОРРЕЛЯЦИЙ ПОПЕРЕЧНОГО ИМПУЛЬСА И МНОЖЕСТВЕННОСТИ В ДИАПАЗОНЕ NICA И SPS В ЯДРО-ЯДЕРНЫХ СТОЛКНОВЕНИЯХ

А. П. Звягина¹, Е. В. Андронов¹

¹Санкт-Петербургский государственный университет,
Санкт-Петербург, Университетская набережная, д. 7–9, 199034

Исследование корреляции между множественностью заряженных частиц и средним поперечным импульсом проводилось в протон-протонных и ядро-ядерных столкновениях от энергии SPS до энергий LHC [1]. Расширение экспериментальных данных от отрицательных корреляций при энергиях $\sqrt{s} = 17\text{--}40$ ГэВ в область более низких энергий может дать значительные ограничения для различных теоретических моделей. Ранее в моделях SMASH, EPOS, UrQMD и PHSD для протон-протонных столкновений были получены нетривиальные зависимости сильно интенсивных переменных от энергии столкновения, а именно для $\Delta[pt, N]$ [2] и $\langle N \rangle D[pt, N]$ [3]. Также в анализ было включено исследование кумулянтов второго и третьего порядка для поперечного импульса. Их зависимости от энергии отклоняются от модели независимых источников, что подтверждается экспериментальными данными, полученными в результате столкновения Au+Au при энергии 200 МэВ [4]. В модели SMASH для протон-протонных столкновений, как для сильно интенсивных переменных, так и для кумулянтов, возникает определенная «волна», которая может стать доказательством перехода от резонанса к струнам. В данной работе будут исследованы зависимости сильно интенсивных переменных и кумулянтов от энергии ядро-ядерных в столкновениях, а именно $Vi+Vi$. Будут предложены два метода исследования для сильно интенсивных переменных и кумулянтов: прямой метод исследования корреляций и метод подсобытий. Прямой метод исследования уже проводился раньше: в данном методе исследование ведётся по всему интервалу псевдобыстроты. В методе подсобытий предполагается провести анализ сильно интенсивных переменных и кумулянтов второго и третьего порядка в двух различных промежутках по псевдобыстроте, а также их зависимость при изменении расстояния между этими двумя интервалами, что позволит нам оценить вклад ближних корреляций. Будет представлено сравнение этих двух методов.

Список литературы

1. N. Armesto, D. A. Derkach, G. A. Feofilov, $p(t)$ -multiplicity correlations in a multi-Pomeron-exchange model with string collective effects // *Phys. Atom. Nucl.* 2008. V. 71 P. 2087
2. M. I. Gorenstein, M. Gaździcki, Strongly intensive quantities // *Phys. Rev. C*, 2011, V. 84, P. 014904
3. X.-N. Wang, M. Gyulassy, HIJING: A Monte Carlo model for multiple jet production in pp pA and collisions // *Phys. Rev. D.*, 1992, V. 44. P. 3501
4. M. Cody, S. Gavin et. al., Complementary Two-Particle Correlation Observables for Relativistic Nuclear Collisions // *Phys. Rev. C*, 2023, V. 107, P. 014909
5. J. Weil, V. Steinberg et. al., Particle production and equilibrium properties within a new hadron transport approach for heavy-ion collisions // *Phys. Rev. C*, 2016, V. 94, P. 054905
6. T. Pierog, I. Karpenko et. al. EPOS LHC: Test of collective hadronization with data measured at the CERN large hadron collider // *Phys. Rev. C*, 2015. V. 92. P.034906
7. M. Bleicher, E. Zabrodin et. al., Relativistic hadron-hadron collisions in the ultra-relativistic quantum molecular dynamics model // *Jour. of Phys. G*, 1999, V. 25, P. 1859.

MODEL ANALYSIS OF THE TRANSVERSE MOMENTUM AND MULTIPLICITY CORRELATIONS IN THE NICA AND SPS RANGE IN NUCLEUS-NUCLEAR COLLISIONS

A. P. Zviagina¹, E. V. Andronov¹

¹Saint-Petersburg State University,
Saint-Petersburg, Universitetskaya embankment, 7–9, 199034

The study of the correlation between the multiplicity of charged particles and the average transverse momentum was carried out in proton-proton and nucleus-nucleus collisions from the SPS energy to the LHC energy [1]. Extending the experimental data from negative correlations at energies $\sqrt{s} = 17\text{--}40$ GeV to lower energies can lead to significant limitations for various theoretical models. Previously, in the SMASH, EPOS, UrQMD, and PHSD models for proton-proton collisions, nontrivial dependences of strongly intense variables on the collision energy were obtained, namely, for $\Delta[\text{pt}, N]$ [2] and $\langle N \rangle D[\text{pt}, N]$ [3]. The analysis also included the study of second and third order cumulants for the transverse momentum. Their energy dependences deviate from the model of independent sources, which is confirmed by experimental data obtained as a result of an Au+Au collision at an energy of 200 MeV [4]. In the SMASH model for proton-proton collisions, both for strongly intense variables and for cumulants, a certain “wave” appears, which can be evidence of a transition from resonance to strings. In this paper, we will study the dependences of strongly intense variables and cumulants on the energy of nucleus-nucleus in collisions, namely Bi+Bi. Two research methods for highly intense variables and cumulants will be proposed: a direct method for studying correlations and a sub-event method. The direct method of research has already been carried out earlier: in this method, research is carried out over the entire interval of pseudorapidity. In the subevent method, it is supposed to analyze strongly intense variables and cumulants of the second and third order in two different intervals in terms of pseudorapidity, as well as their dependence with a change in the distance between these two intervals, which will allow us to estimate the contribution of short-range correlations. A comparison of these two methods will be presented.

References

1. N. Armesto, D. A. Derkach, G. A. Feofilov, p(t)-multiplicity correlations in a multi-Pomeron-exchange model with string collective effects // *Phys. Atom. Nucl.* 2008. V. 71 P. 2087
2. M. I. Gorenstein, M. Gaździcki, Strongly intensive quantities // *Phys. Rev. C*, 2011, V. 84, P. 014904
3. X.-N. Wang, M. Gyulassy, HIJING: A Monte Carlo model for multiple jet production in pp pA and collisions // *Phys. Rev. D.*, 1992, V. 44. P. 3501
4. M. Cody, S. Gavin et. al., Complementary Two-Particle Correlation Observables for Relativistic Nuclear Collisions // *Phys. Rev. C*, 2023, V. 107, P. 014909
5. J. Weil, V. Steinberg et. al., Particle production and equilibrium properties within a new hadron transport approach for heavy-ion collisions // *Phys. Rev. C*, 2016, V. 94, P. 054905
6. T. Pierog, I. Karpenko et. al., EPOS LHC: Test of collective hadronization with data measured at the CERN large hadron collider // *Phys. Rev. C*, 2015. V. 92 P. 034906
7. M. Bleicher, E. Zabrodin et. al., Relativistic hadron-hadron collisions in the ultra-relativistic quantum molecular dynamics model // *Jour. of Phys. G*, 1999, V. 25, P. 1859.

ХАРАКТЕРИСТИКИ ПРОТОТИПА ВЫСОКОГРАНУЛИРОВАННОГО НЕЙТРОННОГО ВРЕМЯПРОЛЕТНОГО ДЕТЕКТОРА ДЛЯ ЭКСПЕРИМЕНТА ВМ@N

А. А. Зубанков

Институт ядерных исследований РАН
Россия, 117312, Москва, проспект 60-летия Октября 7а, 8(499)135-77-60,
факс: 8(499)135-22-68, inr@inr.ru
e-mail: zubankov@inr.ru

Высокогранулированный нейтронный времяпролетный детектор будет использоваться в эксперименте ВМ@N для измерения нейтронов при ядерных столкновениях. Впервые его прототип был использован в сеансе Хе+СsI при энергии 3,8 АГэВ. Многослойная структура (поглотитель/сцинтиллятор) детектора позволяет идентифицировать и измерять энергии нейтронов, образующихся в ядерно-ядерных столкновениях. Представлена конструкция прототипа, результаты определения временного разрешения, восстановленного энергетического спектра нейтронов и оценка гамма-фона. Кроме того, будет обсуждаться разработка онлайн-мониторинга прототипа нейтронного детектора.

PERFORMANCE OF HIGH GRANULAR NEUTRON TIME-OF-FLIGHT DETECTOR PROTOTYPE FOR THE ВМ@N EXPERIMENT

A. Zubankov

Institute for Nuclear Research of the Russian Academy of Sciences
Russia, 117312, Moscow, 60-letiya Oktyabrya prospekt 7a, 8(499)135-77-60,
fax: 8(499)135-22-68, inr@inr.ru
e-mail: zubankov@inr.ru

The High Granular Neutron Time-of-Flight Detector at the ВМ@N experiment will be used for neutron measurements in nucleus-nucleus collisions. For the first time, its prototype was used in Хе+СsI at 3.8 АGeV run. The multilayer structure (absorber/scintillator) of the detector makes it possible to identify and measure the energies of neutrons produced in nucleus-nucleus collisions. The design of the prototype together with the results of the time resolution, the reconstructed neutron energy spectrum, an estimated gamma background are presented. Additionally, the development of the online monitoring of the neutron detector prototype will be discussed.

СРАВНЕНИЕ МЕТОДОВ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЦЕНТРАЛЬНОСТИ, ОСНОВАННЫХ НА ТЕОРЕМЕ БАЙЕСА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МНОЖЕСТВЕННОСТИ ЗАРЯЖЕННЫХ ЧАСТИЦ И ЭНЕРГИИ НУКЛООНОВ СПЕКТРАТОРОВ

Д. М. Идрисов

Национальный исследовательский ядерный университет
МИФИ (Московский инженерный институт), Москва, Россия;
E-mail: idrisov.dim@mail.ru

Определение центральности является важной задачей так как позволяет оценить размеры сталкиваемой системы. С помощью центральности так же можно сравнить результаты предстоящих измерений на многоцелевом детекторе (MPD) на NICA с данными из других экспериментов и расчетами теоретических моделей. В данной работе рассматривается метод реконструкции прицельного параметра, основанный на обратной теореме Байеса [1, 2]. В качестве наблюдаемой величины для определения центральности были использованы множественность заряженных частиц и энергия спектров в передней области быстрот.

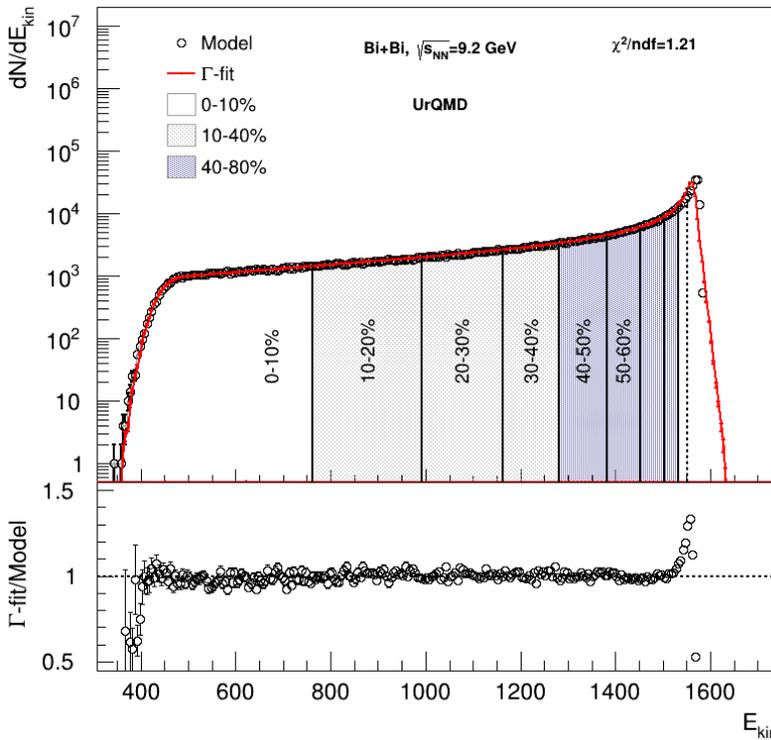


Рис. Распределение полной кинетической энергии нуклонов спектаторов в модели UrQMD (светлые круги) для Bi+Bi столкновений $\sqrt{s_{NN}} = 9.2$ GeV в сравнении с фитированным распределением с использованием метода Γ -фита.

Список литературы

1. R. Rogly, G. Giacalone, J.-Y. Ollitrault, Reconstructing the impact parameter of proton-nucleus and nucleus-nucleus collisions, Phys. Rev. C. 98 (2018) 024902.
2. P. Parfenov, D. Idrisov, V.B. Luong, A. Taranenko, Relating Charged Particle Multiplicity to Impact Parameter in Heavy-Ion Collisions at NICA Energies, PARTICLES. 4 (2021) 275–287.

COMPARISON CENTRALITY DETERMINATION METHOD BASED ON BAYESIAN APPROACH USING MULTIPLICITY OF CHARGED PARTICLES AND ENERGY OF SPECTATORS

D. M. Idrisov¹

¹National Research Nuclear University MEPhI
(Moscow Engineering Physics Institute), Moscow, Russia;
E-mail: idrisov.dim@mail.ru

Centrality determination is an important task because it allows estimating the collision system size in relativistic heavy-ion collisions. With the help of centrality, it is also possible to compare the results of upcoming measurements with the Multi-Purpose Detector (MPD) at NICA with data from other experiments and calculations of theoretical models. In this paper, we consider the impact parameter reconstruction method based on the inverse Bayes theorem [1, 2]. The multiplicity of charged particles and the energy of spectators in the forward rapidity region were used as an observable for centrality determination procedure.

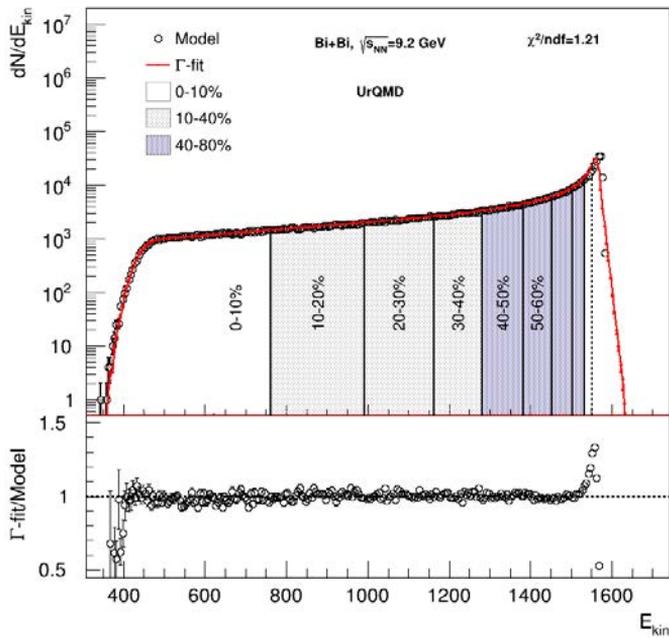


Fig. The distribution of the total energy of spectators from the UrQMD model (open circles) for Bi+Bi collisions $\sqrt{s_{NN}}=9.2$ GeV compared to the fitted distribution using Γ -fit method

References

1. R. Rogly, G. Giacalone, J.-Y. Ollitrault, Reconstructing the impact parameter of proton-nucleus and nucleus-nucleus collisions, Phys. Rev. C. 98 (2018) 024902.
2. P. Parfenov, D. Idrisov, V.B. Luong, A. Taranenko, Relating Charged Particle Multiplicity to Impact Parameter in Heavy-Ion Collisions at NICA Energies, PARTICLES. 4 (2021) 275–287.

ХАРАКТЕРИСТИКИ ПЕРЕДНИХ ДЕТЕКТОРОВ СПЕКТАТОРОВ ЭКСПЕРИМЕНТА БАРИОННАЯ МАТЕРИЯ НА НУКЛОТРОНЕ

**А. В. Известный, Ф. Ф. Губер, М. Б. Голубева, С. В. Морозов,
Н. М. Карпушкин, А. А. Зубанков**

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт ядерных исследований Российской академии наук, 117312, Москва, проспект 60-летия Октября, 7а,
тел.: +7(495)850-42-56, факс: +7(495)850-42-28
email: aizvestn@inr.ru

Эксперимент на ионном пучке с неподвижной мишенью $BM@N$ (Барионная Материя на Нуклотроне), расположенный на ускорительном комплексе НИКА-Нуклотрон (ОИЯИ, Дубна, Россия) предназначен для изучения свойств плотной ядерной материи. С 2019 по 2021 год к установке $BM@N$ были добавлены Передний Адронный Калориметр (FHCAL), Сцинтилляционная Стенка (ScWall) и Передний Кварцевый Годоскоп (FQN). Эти детекторы были разработаны в ИЯИ РАН (Москва, Россия) для измерения центральности столкновений, восстановления плоскости событий и исследования моделей фрагментации ядер в ядро-ядерных столкновениях. Отклик детекторов был протестирован во время эксперимента Краткодействующие Корреляции (SRC) на установке $BM@N$ в 2022 году. Передние детекторы работали во время первого физического сеанса $BM@N$ в 2022 и 2023 году с пучком ионов ксенона с энергиями 3.0 и 3.8 ГэВ/нуклон и мишенью из йодида цезия.

В докладе будут обсуждаться рабочие характеристики передних детекторов установки $BM@N$.

PERFORMANCE OF THE BARYONIC MATTER AT NUCLOTRON FORWARD SPECTATORS DETECTORS

A. Izvestnyy, F. Guber, M. Golubeva, S. Morozov, N. Karpushkin, A. Zubankov

Institute for Nuclear Research of the Russian Academy of Sciences, prospekt 60-letiya Oktyabrya 7a, Moscow 117312, tel.: +7(495)850-42-56, fax: +7(495)850-42-28, email: aizvestn@inr.ru

The BM@N (Baryonic Matter at Nuclotron) is a fixed target ion beam experiment located at the NICA-Nuclotron (JINR, Dubna, Russia) accelerator complex designed to study the properties of the dense nuclear matter. In years 2019 to 2021 the Forward Hadron Calorimeter (FHCAL), the Scintillation Wall (ScWall) and the Forward Quartz Hodoscope (FQH) were added to the BM@N setup. These forward detectors were designed at INR RAS (Moscow, Russia) for collision centrality measurement, event plane reconstruction and study of nuclear fragmentation models in nucleus-nucleus collisions. Response of the detectors was tested during the Short Range Correlations (SRC) experiment on the BM@N setup in 2022. The forward detectors were operational during the first BM@N physics run in 2022-2023 with 3.0 and 3.8 AGeV Xe beam and CsI target.

The performance of the BM@N forward detectors will be discussed.

НОВЫЕ СПЕКТРЫ АНТИНЕЙТРИНО УРАНА И ПЛУТОНИЯ, ПОЛУЧЕННЫЕ ИЗ ЭКСПЕРИМЕНТА DOUBLE CHOOZ

А. П. Власенко^{1,2}, С. В. Ингерман¹, В. В. Синева^{1,2}

¹Институт ядерных исследований Российской академии наук, Москва, Россия

²Национальный исследовательский ядерный университет, Москва, Россия

E-mail: vsinev@inr.ac.ru

Разработана методика перевода экспериментального спектра позитронов в спектр антинейтрино, которая была применена к высокостатистическому спектру позитронов реакции обратного бета-распада [1] из эксперимента Double Chooz на ближнем детекторе, а также выделение спектров антинейтрино отдельных изотопов ядерного топлива реакторного спектра.

Экспериментальный спектр позитронов Double Chooz был преобразован в спектр антинейтрино, используя функцию преобразования спектров, полученную при помощи расчетов Монте-Карло. Полученный экспериментальный спектр антинейтрино отвечает определенному составу топлива в активной зоне ядерного реактора ($^{235}\text{U} - 0.52$, $^{238}\text{U} - 0.087$, $^{239}\text{Pu} - 0.333$, $^{241}\text{Pu} - 0.06$). Затем из реакторного спектра были выделены спектры антинейтрино отдельных изотопов ядерного топлива [2]. Спектры компонентов ядерного топлива можно считать полученными экспериментально. Экспериментальные спектры антинейтрино отдельных изотопов ядерного топлива (урана, плутония) были описаны расчетными [3], полученными методом суммирования спектров отдельных осколков. При расчете использовалась силовая функция для описания распределения вероятностей бета-переходов неизвестных осколков.

Расчитанные сечения по расчетным спектрам с использованием сечения для моноэнергетического антинейтрино [4], сложенные с весами изотопов в активной зоне ядерного реактора, совпадают с сечением полученным в коллаборации Double Chooz [5] в пределах экспериментальной ошибки.

Список литературы

1. C. L. Cowan Jr., F. Reines, F. V. Harrison, H. W. Kruse, A. D. McGuire, Science 124, 103 (1956).
2. В. В. Синева Ядерная физика, 76, № 5, 578 (2013); V. V. Sinev, Phys. At. Nuc. 76, 537 (2013).

3. А. П. Власенко, П. Ю. Наумов, С. В. Силаева, В. В. Синева. Ядерная физика, 86, № 1, 30 (2023); P. Naumov, S. Silaeva, V. Sinev, A. Vlasenko Physics of Atomic Nuclei, 86 № 6, 402 (2022); arXiv:2210.00836 [nucl-ex].

4. Alessandro Strumia and Francesco Vissani, Phys. Lett. B 564, 42 (2003).

5. H. de Kerret, T. Abrahao, H. Almazan et al., Nature Physics 16, 558 (2020).

NEW ANTINEUTRINO SPECTRA OF URANIUM AND PLUTONIUM OBTAINED FROM THE DOUBLE CHOOZ EXPERIMENT

S. V. Ingerman¹, V. V. Sinev^{1,2}, A. P. Vlasenko^{1,2}

¹Institute for Nuclear Research, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

²National Research Nuclear University MEPhI, Moscow, Russia

E-mail: vsinev@inr.ac.ru

Method of converting the experimental positron spectrum from inverse beta-decay reaction into the antineutrino one has been developed. It was applied to the highly statistical positron spectrum obtained in the Double Chooz experiment [1] by near detector. Found nuclear reactor antineutrino spectrum was separated on individual fuel isotope antineutrino spectra.

Positron spectrum transformation was done using the spectra conversion function obtained from Monte Carlo simulation of Double Chooz data. Obtained antineutrino spectrum corresponds to a certain fuel composition of a nuclear reactor core in parts of fission ($^{235}\text{U} - 0.52$, $^{238}\text{U} - 0.087$, $^{239}\text{Pu} - 0.333$, $^{241}\text{Pu} - 0.06$). Using this composition, the individual isotope antineutrino spectra of nuclear fuel were isolated from the reactor spectrum [2]. These nuclear fuel components spectra can be considered to be obtained experimentally. Nuclear fuel individual isotope antineutrino spectra (uranium and plutonium) were fitted by calculated ones [3] obtained by summation of multiple fragment spectra. In the calculation, a strength function was used to describe the probability distribution of beta transitions for unknown fragments.

The cross sections found on base of the calculated spectra using monoenergetic antineutrino cross-section [4] summed with weights of the core composition give the predicted cross section which coincides with the one obtained in the Double Chooz collaboration [5] within experimental uncertainty.

References

1. C. L. Cowan Jr., F. Reines, F. B. Harrison, H. W. Kruse, A. D. McGuire, Science 124, 103 (1956).

2. В. В. Синева. Ядерная физика, 76, № 5, 578 (2013); V. V. Sinev, Phys. At. Nuc. 76, 537 (2013).

3. А. П. Власенко, П. Ю. Наумов, С. В. Силаева, В. В. Синева. Ядерная физика, 86, № 1, 30 (2023); P. Naumov, S. Silaeva, V. Sinev, A. Vlasenko Physics of Atomic Nuclei, 86 № 6, 402 (2022); arXiv:2210.00836 [nucl-ex].

4. Alessandro Strumia and Francesco Vissani, Phys. Lett. B 564, 42 (2003).

5. H. de Kerret, T. Abrahao, H. Almazan et al., Nature Physics 16, 558 (2020).

РАЗРАБОТКА МЕТОДА TOT ДЛЯ ВЫСОКО-ГРАНУЛИРОВАННОГО ДЕТЕКТОРА НЕЙТРОНОВ BM@N

**Н. М. Карпушкин, Ф. Ф. Губер, Д. Д. Ляпин, А. И. Махнев,
С. В. Морозов, Д. В. Серебряков**

Институт ядерных исследований РАН, Москва, Россия
karpushkin@inr.ru

Высоко-гранулированный детектор нейтронов (High-Granular Neutron detector – HGN) для тяжелоионного эксперимента BM@N в настоящее время находится в стадии разработки. Детектор составлен из слоев поглотителя и сцинтиллятора, при этом слои сцинтиллятора имеют высокую сегментацию и считываются кремниевыми фотоумножителями. В данной работе описывается использование метода TOT для многоканального считывания сцинтилляционных ячеек. Представлено временное и амплитудное разрешение детектора с использованием различных пластиковых сцинтилляторов и кремниевых фотоумножителей.

TOT METHOD DEVELOPMENT FOR THE BM@N HIGH-GRANULAR NEUTRON DETECTOR

**N. M. Karpushkin, F. F. Guber, D. D. Liapin, A. I. Maknev,
S. V. Morozov, D. V. Serebryakov**

Institute for Nuclear Research of RAS, Moscow, Russia
karpushkin@inr.ru

The High-Granular Neutron detector for BM@N heavy-ion experiments is currently under development. The detector consists of absorber and scintillator layers, with the latter being highly segmented and read out using silicon photomultipliers. This work describes the use of the TOT method for multi-channel readout of the scintillator cells. The time and amplitude resolution of the detector using various plastic scintillators and silicon photomultipliers is presented.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЛОКАЛЬНОГО НЕСОХРАНЕНИЯ ЧЕТНОСТИ В СИЛЬНЫХ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯХ В РЕЛЯТИВИСТСКИХ СТОЛКНОВЕНИЯХ ТЯЖЕЛЫХ ИОНОВ

В. Н. Коваленко, В. В. Петров

Санкт-Петербургский государственный университет, Университетская наб., 7/9,
Санкт-Петербург 199034, Россия.
Телефон: +7-812-4284548, факс: +7-812-4287240
e-mail: v.kovalenko@spbu.ru

Нарушение симметрии пространственной четности (P) в сильных взаимодействиях никогда не наблюдалось экспериментально. Однако, соответствующее слагаемое может быть включено в лагранжиан КХД. Локальное нарушение симметрии четности может происходить из-за больших топологических флуктуаций при высокой температуре с динамической генерацией нетривиальных топологических зарядовых конфигураций. Необходимым условием наблюдения этих эффектов является достаточно большая пространственная протяженность и длительное время жизни горячей капли КХД среды, которая образуется в центральных ядерно-ядерных столкновениях на LHC [1–3].

Для изучения эффектов, вызванных локальным несохранением четности в столкновениях релятивистских тяжелых ионов, мы интегрировали эти эффекты в генераторы событий. Рассматриваются следующие проявления локального нарушения четности:

1. Расщепление масс поляризаций легких векторных мезонов, приводящее к угловой зависимости спектральной функции в распадах на ди-мюонны и ди-электроны [4].

2. Распады скалярных мезонов с нарушением четности: $a_{\pm}^0 \rightarrow \pi^{\pm} + \gamma$ [5] и $a_{\pm}^0 \rightarrow \pi^{\pm} + \pi^{\pm} + \pi^{\pm}$.

Произведена оценка величины ожидаемого сигнала в столкновениях p-p и Pb-Pb при энергии LHC. На основе анализа данных Монте-Карло по исследуемым наблюдаемым с учетом откликов детектирующих систем установки ALICE на LHC в условиях Run 2 и Run 3 будут даны рекомендации по критериям отбора событий, треков и выбору кинематических переменных для повышения чувствительности к эффектам локального несохранения четности.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22-22-00493, <https://rscf.ru/project/22-22-00493/>

Список литературы

1. Kharzeev D., Zhitnitsky A. // Nucl. Phys. A. 2007. V. 797. P. 67–79.
2. Buckley K., Fugleberg T., Zhitnitsky A. // Phys. Rev. Lett. 2000. V. 84. P. 4814–4817.
3. Son D. T., Zhitnitsky A. R. // Phys. Rev. D. 2004. V. 70. P. 074018.
4. Andrianov A. A., Andrianov V. A., Espriu D., Planells X. // Phys. Rev. D. 2014. V. 90. P. 034024.
5. Andrianov A. A., Andrianov V. A., Espriu D., Iakubovich A. V., Putilova A. E. // Phys. Part. Nucl. Lett. 2018. V. 15. P. 357–361.

MODELING OF LOCAL STRONG PARITY NON-CONSERVATION EFFECTS IN RELATIVISTIC HEAVY-ION COLLISIONS

V. N. Kovalenko, V. V. Petrov

Saint Petersburg State University, 7/9 Universitetskaya Nab., St. Petersburg 199034, Russia,

Phone: +7-812-4284548, Fax: +7-812-4287240

e-mail: v.kovalenko@spbu.ru

The violation of spatial parity symmetry (P) in strong interactions have never been observed experimentally. However a P-breaking term can be included in the QCD Lagrangian. Hence, the local parity symmetry breaking can occur due to large topological fluctuations at high temperature with dynamic generation of nontrivial topological charge configurations. A necessary condition for observing these effects is a sufficiently large space dimension and a long lifetime of a hot drop of QCD medium, which is available in central nuclear-nuclear collisions at the LHC [1–3].

In order to study the effects caused by local P-breaking in relativistic heavy ion collisions we integrated them in Monte Carlo generators. The following manifestations of the local parity violation are considered:

1. The polarization mass splitting of light vector mesons, which leads to angular-dependent splitting of the spectral function in the di-lepton decays [4] (di-muon and di-electron case).

2. The parity-violating decays of light scalar mesons: $a_{\pm}^0 \rightarrow \pi^{\pm} + \gamma$ [5] and $a_{\pm}^0 \rightarrow \pi^{\pm} + \pi^{\pm} + \pi^{\pm}$.

The strength of the expected signal in p-p, and Pb-Pb collisions at LHC energy is estimated. Based on the analysis of the Monte Carlo data on the studied observables, taking into account the responses of the detecting systems of the ALICE facility under LHC Run 2 and Run 3 conditions, recommendations will be given on the criteria for selecting events, tracks, and choosing kinematic variables in terms of increasing sensitivity to the effects of local parity non-conservation.

The study was funded by the Russian Science Foundation grant No. 22-22-00493, <https://rscf.ru/en/project/22-22-00493/>

References

1. Kharzeev D., Zhitnitsky A. // Nucl. Phys. A. 2007. V. 797. P. 67–79.
2. Buckley K., Fugleberg T., Zhitnitsky A. // Phys. Rev. Lett. 2000. V. 84. P. 4814–4817.
3. Son D.T., Zhitnitsky A.R. // Phys. Rev. D. 2004. V. 70. P. 074018.
4. Andrianov A. A., Andrianov V. A., Espriu D., Planells X. // Phys. Rev. D. 2014. V. 90. P. 034024.
5. Andrianov A. A., Andrianov V. A., Espriu D., Iakubovich A. V., Putilova A. E. // Phys. Part. Nucl. Lett. 2018. V. 15. P. 357–361.

НАМАГНИЧЕННЫЕ ЯДРА В R-ПРОЦЕССЕ

В. Н. Кондратьев

Лаборатория теоретической физики им. Н. Н. Боголюбова, 141980 Объединенный институт ядерных исследований, г. Дубна Московской области, ул. Жолио-Кюри, д. 6
vkondrat@jinr.ru

Рассмотрен нуклеосинтез при большой магнитной индукции, характерной для взрыва сверхновых II-го типа и слияния нейтронных звезд. Для соответствующих магнитных полей напряженностью до десяти тератесла атомные ядра проявляют линейный магнитный отклик из-за эффекта Зеемана. Такая ядерная реактивность может быть описана в терминах магнитной восприимчивости [1]. Максимумы восприимчивости соответствуют наполовину заполненным оболочкам. Нейтронная составляющая линейно возрастает с увеличением углового момента оболочки, в то время как вклад протонов растет квадратично из-за значительного вклада орбитальной намагниченности. Для случая $j = l + 1/2$ вклад протона составляет десятки ядерных магнетонов и значительно превышает значения нейтронов, которые дают несколько единиц. В случае $j = l - 1/2$ протонная составляющая почти равна нулю вплоть до g-оболочки. Соответственно, для ядер в условиях замораживания заряда предсказано заметное увеличение образования соответствующих продуктов взрывного нуклеосинтеза с антиматическими ядрами. В области группы железа также возникают новые зародыши для r-процесса. В частности, магнитное увеличение объема изотопов ^{44}Ti согласуется с результатами наблюдений и указывает на существенное увеличение содержания основного изотопа титана (^{48}Ti) в химическом составе Галактики. Доказано, что магнитные эффекты приводят к смещению траектории r-процесса в сторону меньших массовых чисел и увеличению объема нуклидов с меньшей массой в пиках ядер r-процесса.

Список литературы

1. V. N. Kondratyev // Universe 7, 487 (2021).

MAGNETIZED NUCLEI IN R-PROCESS

V. N. Kondratyev

Bogolubov Laboratory of Theoretical Physics, Joint Institute for Nuclear Research Joliot-Curie 6,
141980 Dubna, Moscow Region, Russia
vkondrat@jinr.ru

Nucleosynthesis at large magnetic induction relevant for core-collapse supernovae, and neutron star mergers is considered. For respective magnetic fields of a strength up to ten teratesla atomic nuclei exhibit linear magnetic response due to the Zeeman effect. Such nuclear reactivity can be described in terms of magnetic susceptibility [1]. Susceptibility maxima correspond to half-filled shells. The neutron component rises linearly with increasing shell angular momentum, while the contribution of protons grows quadratically due to considerable income from orbital magnetization. For a case $j = l + 1/2$ the proton contribution makes tens of nuclear magnetons and exceeds significantly the neutron values which give several units. In a case $j = l - 1/2$ the proton component is almost zero up to g-shell. Respectively, a noticeable increase in the generation of corresponding explosive nucleosynthetic products with antimagic numbers is predicted for nuclei at charge freezing conditions. In the iron group region new seeds are created also for the r-process. In particular, the magnetic enhancement of the volume of ^{44}Ti isotopes is consistent with results from observations and indicates the substantial increase in the abundance of the main titanium isotope (^{48}Ti) in the Galaxy's chemical composition. Magnetic effects are proved to result in a shift of the r-process path towards smaller mass numbers, and an increase in the volume of low mass nuclides in peaks of the r-process nuclei.

References

1. V. N. Kondratyev // Universe, 7 (2021) 487.

НЕЙТРИНО МАГНИТОРОТАЦИОННЫХ СВЕРХНОВЫХ И ПЕРСПЕКТИВЫ ИХ НАБЛЮДЕНИЙ ЧЕРЕНКОВСКИМИ ДЕТЕКТОРАМИ

В. Н. Кондратьев

Лаборатория теоретической физики им. Н. Н. Боголюбова, ОИЯИ, 141980, г. Дубна, Россия,
vkondrat@jinr.ru

Рассмотрена динамика нейтрино в горячем и плотном намагниченном веществе, соответствующем взрыву сверхновых. Показано, что учет флуктуаций при взаимодействии нейтрино с веществом приводит к уравнению Фоккера-Планка для динамики функции распределения в фазовом пространстве. Дополнительная к эффекту переноса [1] компонента кинетического уравнения определяется страгглингом при столкновениях нейтрино в намагниченном нуклонном газе, обусловленных гамов-теллеровским взаимодействием нейтрального тока. Эффект флуктуаций приводит к дополнительному усилению жесткости спектров нейтрино. Обсуждаются возможности детектирования нейтрино сверхновых обсерваториями KM3NeT and Baikal-GVD. Продемонстрировано, что использование методики k -кратных совпадений детекторов при обработке данных позволяет повысить в $1.5\sqrt{k}$ раз верхние пределы расстояния для порога наблюдения.

Список литературы

1. Кондратьев В. Н., Хорькова Н. Г., Кэрубини С. Спектры нейтрино сверхновых и наблюдения с помощью крупномасштабных телескопов // ЯФ 2023. Т. 86, №1, С. 172 [Kondratyev V. N., Khor'kova N. G., Cherubini S. Supernova neutrino spectra & observations by Large Volume Telescopes // Phys. At. Nucl. 2022. V. 85, P. 924]

NEUTRINOS FROM MAGNETOROTATIONAL SUPERNOVAE AND PROSPECTS FOR THEIR OBSERVATIONS BY CHERENKOV DETECTORS

V. N. Kondratyev

Bogolubov Laboratory of Theoretical Physics, Joint Institute for Nuclear Research
Joliot-Curie 6, 141980 Dubna, Moscow Region, Russia
vkondrat@jinr.ru

The dynamics of neutrinos in hot and dense magnetized matter, corresponding to a supernova explosion, is considered. It is shown that taking into account fluctuations in the interaction of neutrinos with matter leads to the Fokker-Planck equation for the dynamics of the distribution function in the phase space. The component of the kinetic equation additional to the transfer effect [1] is determined by straggling in neutrino collisions in a magnetized nucleon gas due to the Gamow-Teller neutral current interaction. The effect of fluctuations leads to an additional increase in the hardness of the neutrino spectra. The possibilities of detecting supernova neutrinos by the KM3NeT and Baikal-GVD observatories are discussed. It is shown that the use of the technique of k -fold coincidences of detectors in data processing makes it possible to increase the upper limits of the distance for the observation threshold by a factor of $1.5\sqrt{k}$.

References

1. Kondratyev V. N., Khor'kova N. G., Cherubini S. Supernova neutrino spectra & observations by Large Volume Telescopes // Phys. At. Nucl. 2022. V. 85, P. 924.

СТАБИЛЬНОСТЬ ОТКЛИКА ДЕТЕКТОРА НЕЙТРИНО iDREAM НА КАЛИНИНСКОЙ АЭС

А. В. Абрамов, А. С. Чепурнов, Д. Чмыхало, А. В. Этенко, М. Б. Громов,
А. В. Константинов, Д. С. Кузнецов, Е. А. Литвинович, Г. А. Лукьянченко,
И. Н. Мачулин, А. Е. Мурченко, А. М. Немерюк, Р. Р. Нугманов, А. Ю. Оралбаев,
Д. В. Попов, А. А. Растимешин, С. В. Сухотин, И. Н. Жутиков

НИЦ “Курчатовский институт”, 123182, Россия, Москва, пл. Академика Курчатова, д. 1
8-499-196-99-56

konstantinov_av@nrcki.ru

iDREAM – это прототип нейтринного детектора, предназначенный для демонстрации возможности использования нейтринного метода для дистанционного мониторинга реакторов и гарантий нераспространения. Реакторные антинейтрино регистрируются с помощью жидкого сцинтиллятора массой 1 тонна, допированного гадолинием (Gd-LS), посредством обратного бета-распада на протонах. Детектор (рис.) набирает данные в помещении на уровне земли Калининской АЭС (Россия), в 20 м от коммерческого реактора мощностью 3 ГВт [1]. Жидкий сцинтиллятор (Gd-LS), изготовленный специально для использования в iDREAM, остается стабильным в течение двух лет наблюдений в условиях поддержания температуры ниже $\sim 20^\circ\text{C}$ и исключаяющий его контакт с воздухом. Измерения стабильности выполняются в динамике путем мониторинга отклика детектора на калибровочные источники. Также обсуждается стабильность коррелированного фона в периоды включения и выключения реактора.

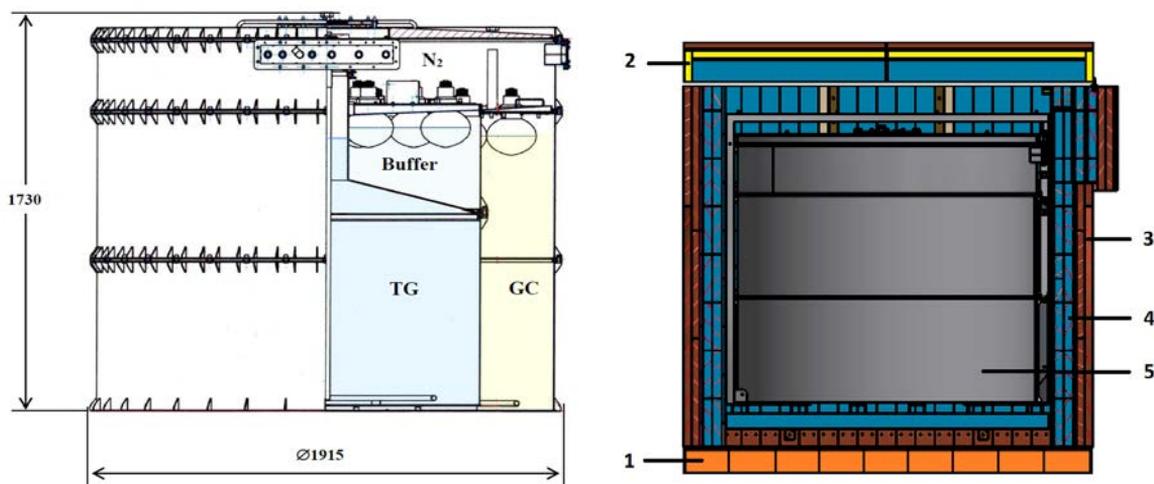


Рис. Слева: детектор имеет 3 объема – буфер (заполненный чистым ЛАБом), мишень (заполненную гадолиниевым-содержащим сцинтиллятором), гамма-кэтчер (заполненный сцинтиллятором).

Справа: 1 – чугун, 2 – свинец, 3 – чистый полиэтилен, 4 – борированный полиэтилен, 5 – детектор

Список литературы

1. iDREAM: Industrial Detector of REactor Antineutrinos for Monitoring at Kalinin nuclear power plant. A. Abramov et al 2022 JINST 17 P09001.

STABILITY OF THE IDREAM NEUTRINO DETECTOR'S RESPONSE AT KALININ NUCLEAR POWER PLANT

A. Abramov, A. Chepurnov, D. Chmyhalo, A. Etenko, M. Gromov, A. Konstantinov,
D. Kuznetsov, E. Litvinovich, G. Lukyanchenko, A. Murchenko, I. Machulin, A. Nemeryuk,
R. Nugmanov, A. Oralbaev, D. Popov, A. Rastimeshin, S. Sukhotin, I. Zhutikov.

National Research Center "Kurchatov Institute", Academician Kurchatov Square, house 1, Moscow,
Russia, 8-499-196-99-56, 123182
konstantinov_av@nrcki.ru

iDREAM is a prototype neutrino detector designed to demonstrate the feasibility of the neutrino method for remote reactor monitoring and safeguard purposes. Reactor antineutrinos are detected with a 1 ton Gd-doped liquid scintillator (Gd-LS) via inverse beta decay on protons. The detector (Fig.) takes data in a ground level hall at Kalinin NPP (Russia), 20 m from the 3GW_{th} commercial reactor [1]. The Gd-LS, produced especially for use in iDREAM, remains stable for two years of observations under conditions of keeping the temperature below ~20 °C and preventing its contact with air. The stability measurements are performed via the monitoring of the detector response to the calibration sources in dynamics. The stability of the correlated background during reactor ON and OFF periods is also discussed.

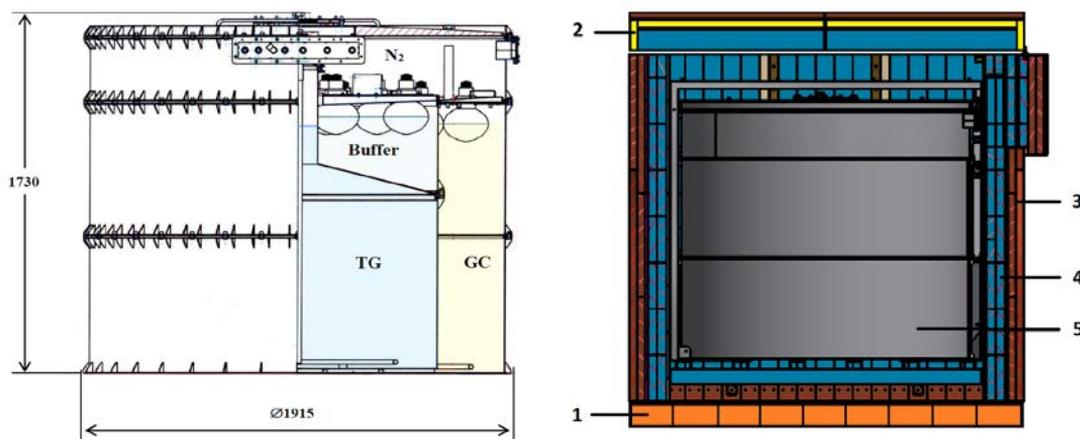


Figure. *Left*: The detector has 3 volumes: buffer (filled with pure LAB), target (TG, filled with Gd-LS), γ -catcher (GC, filled with LS w/o Gd); *Right*: the shielding: 1 (orange) – cast iron, 2 (yellow) – lead, 3 (brown) – pure polyethylene, 4 (blue) – borated polyethylene, 5 – detector

References

1. iDREAM: Industrial Detector of REactor Antineutrinos for Monitoring at Kalinin nuclear power plant. A. Abramov et al 2022 JINST **17** P09001.

МЯГКИЕ ГАММА-ВСПЛЕСКИ ОТ МАГНИТАРОВ

Ю. В. Коровина¹, В. Н. Кондратьев²

¹ ГАОУ ДПО ЦПМ, 119270, Москва, ул. Хамовнический вал д. 6, Россия,

²Лаборатория теоретической физики им. Н. Н. Боголюбова, 141980 Объединенный институт ядерных исследований, г. Дубна Московской области, ул. Жолио-Кюри, д. 6
jkorovina@mail.ru

Концепция ультрамагнитических нейтронных звезд (НЗ) – магнитаров – успешно применяется для интерпретации активности мягких гамма-репитеров (МГР). Множество различных данных наблюдений этих пульсаров убедительно подтверждают модель магнитаров, подразумевающую огромную намагнитичность НЗ с напряженностью поля до десятков

тератесла. Универсальные свойства такого магнитоизлучения анализируются в этой работе. Всплески в излучении МГР рассматриваются как высвобождение магнитной энергии, запасенной в барионных степенях свободы НЗ. Особое внимание уделяется магнитодинамике внешней коры НЗ, которая состоит из хорошо разделенных магических ядер, см. [1]. Показано, что ядерная намагниченность испытывает резкое скачкообразное изменение при переменной полной индукции из-за квантования пространственного движения. Для коры НЗ такие скачкообразные аномалии магнитных моментов в сочетании с ферромагнитной междуклидной связью приводят к скачкообразной магнитодинамике из-за распространения лавин. Как следствие, внезапный выброс энергии в магнитосферу приводит к МГР-всплеску, см. [1]. Для описания такого магнитоизлучения коры НЗ мы разработали модель случайно перескакивающих взаимодействующих моментов (СПВМ), учитывающую квантовые флуктуации, междуклидные связи, беспорядок и энергию размагничивания. Таким образом, сравнение предсказаний модели с данными наблюдений позволяет количественно интерпретировать свойства коры НЗ. Предсказанное моделью СПВМ поведение масштабирования, например, для распределений интенсивности всплесков и времени ожидания, хорошо согласуется с наблюдениями МГР, подтверждая достоверность модели СПВМ. Дальнейшее применение СПВМ при анализе активности МГР может обеспечить лучшее понимание коры НЗ, в частности, напряженности и эволюции магнитных полей.

Список литературы

1. В. Н. Кондратьев, Ю. В. Коровина «Универсальная статистика мягких повторяющихся гамма(МПП)-всплесков» ЭЧАЯ 2018, Т. 49, С. 107. [V. N. Kondratyev, Yu. V. Korovina, “Universal Statistics of Soft Gamma-Ray Repeating (SGR) Bursts”. Phys. Part. Nucl. 2018, V. 49, P. 105.]

SOFT GAMMA-RAY (SGR) BURSTS FROM MAGNETARS

Yu. V. Korovina¹, V. N. Kondratyev²

¹ГАОУ ДПО ЦПМ, 119270, Москва, ул. Хамовнический вал д. 6, Россия, jkorovina@mail.ru

² Bogoliubov Laboratory of Theoretical Physics,

Joint Institute for Nuclear Research Joliot-Curie 6, 141980 Dubna, Moscow Region, Russia

The concept of ultramagnetized neutron stars (NS) – magnetars – has been successfully used to interpret the activity of soft gamma-ray repeaters (SGRs). Many various observational data of these pulsars convincingly confirm the magnetar model, which implies a huge NS magnetization with a field strength ranging up to tens of teratesla. The universal properties of such magnetic radiative emission are analyzed in this work. Bursts in the SGR radiation are considered as a release of magnetic energy stored in the baryon degrees of freedom of NS. Particular attention is paid for the magnetodynamics of NS outer crusts, which consists of well-separated magic nuclei, see [1]. It is shown that the nuclear magnetization undergoes a sharp abrupt change at a variable total induction due to the quantization of spatial motion. For NS crust such jumplike anomalies of magnetic moments in combination with ferromagnetic internuclide coupling lead to jumplike magnetodynamics due to the propagation of avalanches. As a consequence a sudden release of energy into the magnetosphere leads to an SGR burst, see [1]. To describe such magnetoradiation from the NS crust, we have developed a model of randomly jumping interacting moments (RJIM), which takes into account quantum fluctuations, internuclide coupling, disorder, and demagnetization energy. Thus, comparison of model predictions with observational data makes it possible to quantitatively interpret the properties of NS crusts. The scaling behavior predicted by the RJIM model, for example, for the burst intensity and latency distributions, is in a good agreement with the SGR observations, confirming the validity of the SPVM model. Further application of RJIM in the analysis of SGR activity may provide a better understanding of NS crusts, in particular, the strength and evolution of magnetic fields.

References

1. V. N. Kondratyev, Yu. V. Korovina, “Universal Statistics of Soft Gamma-Ray Repeating (SGR) Bursts”. Phys. Part. Nucl. 2018, V. 49, P. 105.

ОЦЕНКА ПАРАМЕТРОВ ИСТОЧНИКА ИСПУСКАНИЯ ПИОНОВ В СТОЛКНОВЕНИЯХ Au+Au ПРИ $\sqrt{s_{NN}} = 3$ ГэВ В ЭКСПЕРИМЕНТЕ STAR

А. Краева^{1,2} (от коллаборации STAR)

¹Национальный Исследовательский Ядерный Университет “МИФИ”, Москва, 115409, Россия
²141980 Объединенный институт ядерных исследований,
г. Дубна Московской области, ул. Жолио-Кюри, д. 6

Метод корреляционной фемтоскопии позволяет оценить пространственные и временные характеристики источника испускания частиц, образующихся в столкновениях тяжелых ионов. Низкоэнергетические результаты помогают исследовать структуру области испускания частиц, где деконфайнмент не ожидается [1].

Данная работа посвящена изучению импульсных корреляций тождественных пионов, рождающихся в столкновениях Au+Au при $\sqrt{s_{NN}} = 3$ ГэВ в эксперименте STAR. Извлеченные параметры области испускания (радиус, R , и сила корреляции, λ) будут представлены как функция поперечного импульса пар частиц, k_T , и центральности столкновения. Экспериментальные результаты будут сравниваться с теоретическими расчетами, полученными с использованием модели UrQMD (Ultrarelativistic Quantum Molecular Dynamics) [2, 3].

Список литературы

- [1] J. Adam et al. (STAR Collab.), Phys. Rev. C 103, 3 (2021).
- [2] S. Bass et al., Prog. Part. Nucl. Phys. 41, 225 (1998).
- [3] M. Bleicher et al., J. Phys. G: Nucl. Part. Phys. 25, 1859 (1999).

ESTIMATION OF PION EMISSION SOURCE CHARACTERISTICS IN Au+Au COLLISIONS AT $\sqrt{s_{NN}} = 3$ GeV IN THE STAR EXPERIMENT

A. Kraeva^{1,2} (for the STAR Collaboration)

¹National Research Nuclear University MEPHI, Moscow, Russia

²Joint Institute for Nuclear Research Joliot-Curie 6, 141980 Dubna, Moscow Region, Russia

The method of correlation femtoscopy makes it possible to estimate the spatial and temporal characteristics of particle emission source formed during heavy-ion collisions. The low energy results help to investigate the structure of the particle emission region where deconfinement is not expected [1].

The present work is devoted to studying the momentum correlations of identical pions produced in Au+Au collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 3$ GeV using the data from the STAR experiment. The extracted parameters of the emission region (radius, R , and correlation strength, λ) will be presented as a function of the transverse momentum of particle pairs, k_T , and centrality of the collision. The experimental results will be compared with the theoretical calculations obtained using the UrQMD (Ultrarelativistic Quantum Molecular Dynamics) model [2, 3].

References

- [1] J. Adam et al. (STAR Collab.), Phys. Rev. C 103, 3 (2021).
- [2] S. Bass et al., Prog. Part. Nucl. Phys. 41, 225 (1998).
- [3] M. Bleicher et al., J. Phys. G: Nucl. Part. Phys. 25, 1859 (1999).

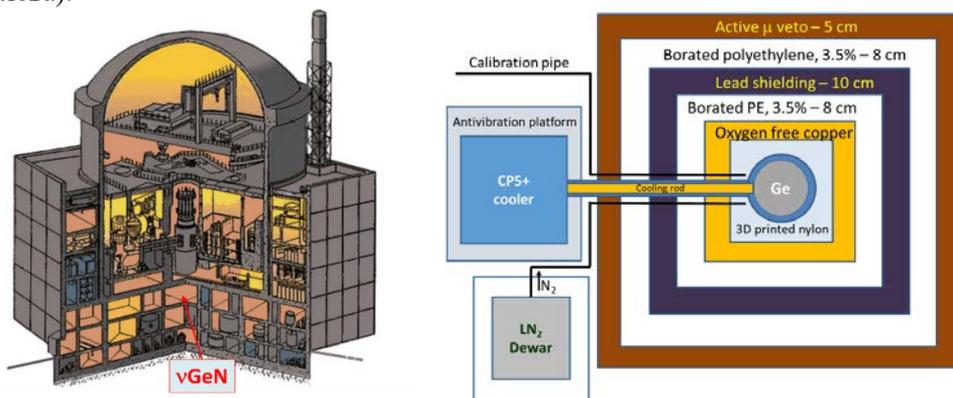
РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТА NUGEN ПО ПОИСКУ КОГЕРЕНТНОГО РАССЕЙЯНИЯ РЕАКТОРНЫХ АНТИНЕЙТРИНО И ДРУГИХ РЕДКИХ ПРОЦЕССОВ

А. В. Лубашевский^{1,2} от коллаборации nuGeN

¹Объединенный институт ядерных исследований, Россия, Московская обл., г. Дубна, ул. Жолио-Кюри, 6, 141980, тел.: +7 (49621) 6-50-59, факс: +7 (49621) 6-51-46, e-mail: post@jinr.ru

²Физический институт им. П. Н. Лебедева Российской академии наук, 119991 ГСП-1 Москва, Ленинский проспект, д.53, тел: +7 (499) 132-65-54, e-mail: office@lebedev.ru

Эксперимент ν GeN направлен на исследование свойств антинейтрино от реактора Калининской АЭС (Удомля, Россия) [1]. Экспериментальная установка была установлена под третьим блоком КАЭС на подъемной платформе на расстоянии 11.1-12.2 м от активной зоны реактора, что позволяет оперировать гигантским потоком антинейтрино в $(3.6 - 4.4) \cdot 10^{13}$ $\nu/(\text{cm}^2 \text{сек})$ (Рис. слева).



Слева: схема реактора №3 КАЭС. Стрелкой указано помещение, где расположена экспериментальная установка. Справа: схема защиты спектрометра.

Большое количество конструкционных материалов реактора, эквивалентных ~ 50 м в.э. служат хорошей защитой от космического излучения. Искомые сигналы регистрируются с помощью специально разработанного низкофонового, низкопорогового, германиевого детектора, окруженного со всех сторон активной и пассивной комбинированной защитой от радиоактивного излучения (рис. справа). Детальный обзор экспериментальной установки, текущий статус измерений и полученные результаты будут представлены на конференции.

Список литературы

[1] I. Alekseev, et al., Physical Review D 106 (5), L051101 (2022)

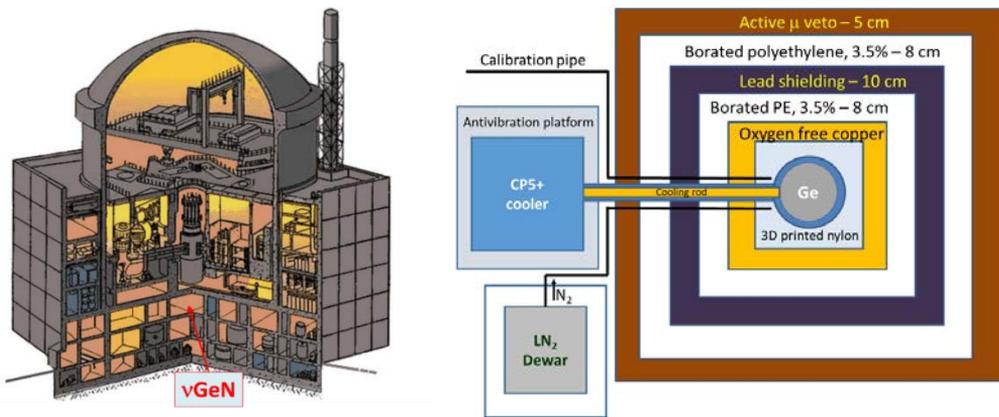
RESULTS OF THE NUGEN EXPERIMENT ON SEARCH FOR COHERENT ELASTIC REACTOR ANTINEUTRINO-NUCLEUS SCATTERING AND OTHER RARE PROCESSES

A. V. Lubashevskiy^{1,2} for the nuGeN collaboration

¹Joint Institute for Nuclear Research, Russia, Moscow Region, Dubna, Joliot-Curie st., 6, 141980, tel: +7 (49621) 65059, fax: +7 (49621) 65146, e-mail: post@jinr.ru

²Lebedev Physical Institute of the Russian Academy of Sciences, , 119991 Moscow, Leninstiy avenue, 53, tel: +7 (499) 132-65-54, e-mail: office@lebedev.ru

The experiment ν GeN is aimed at studying the properties of antineutrinos from the reactor of the Kalinin NPP (Udomlya, Russia) [1]. The experimental setup was installed under the third unit of the KNPP on a special lifting platform at a distance of 11.1-12.2 m from the reactor core, which allows to operate an enormous flux of antineutrinos in $(3.6 - 4.4) \cdot 10^{13}$ $\nu/(\text{cm}^2 \text{sec})$ (Fig. left).



Left: Scheme of reactor unit # 3 of KNPP. The arrow indicates the room where the experimental setup is located. Right: scheme of the spectrometer's shielding

A reactor surrounding materials (overburden equivalent to ~ 50 m w.e.) serve as good shielding against cosmic rays. The signals sought are recorded by a specially designed low-background, low-threshold, germanium detector surrounded on all sides by active and passive combined radiation shielding (Fig. right). A detailed overview of the experimental setup, the current status of measurements, and the obtained results will be presented at the conference.

References

1. I. Alekseev, et al., Physical Review D 106 (5), L051101 (2022)

ИЗМЕРЕНИЕ АДРОНОВ С ОТКРЫТЫМ ОЧАРОВАНИЕМ В ДЕТЕКТОРЕ ALICE-3 НА LHC-HL

М. В. Малаев^{1,2}, В. Г. Рябов^{1,2}

¹ Петербургский институт ядерной физики им. Б. П. Константинова
Национального исследовательского центра «Курчатовский институт», Ленинградская область,
Гатчина, мкр. Орлова роща 1, тел. +78137146025, факс +78137136025, dir@pnpi.nrcki.ru

² Московский физико-технический институт, Московская область, Долгопрудный,
Институтский пер. 9, тел. +74954084554, info@mipt.ru

ALICE-3 является модернизацией существующего эксперимента ALICE для работы на Большом адронном коллайдере высокой светимости в ЦЕРН после 2030 года. Одной из физических задач установки ALICE-3 является исследование свойств плотной и горячей партонной среды, образующейся в столкновениях тяжелых ультрарелятивистских ядер, посредством измерения адронов с открытым очарованием. Детектор ALICE-3 хорошо оснащен для измерения D-мезонов в основном и возбужденном состояниях в каналах распада с заряженными частицами в конечном состоянии. В данной презентации мы представляем результаты исследования возможности регистрации адронов с открытым очарованием в каналах распада с нейтральными фотонами или мезонами в конечном состоянии при использовании электромагнитного калориметра с большим аксептансом. Полученные результаты сравниваются с характеристиками детектора, полученными для других каналов распада, обсуждается значимость полученных результатов для физической программы эксперимента.

PROBING OPEN CHARM PRODUCTION WITH ALICE-3 DETECTOR AT LHC-HL

M. V. Malaev^{1,2}, V. G. Riabov^{1,2}

¹ Petersburg Nuclear Physics Institute named by B.P.Konstantinov of NRC “Kurchatov Institute”, Gatchina, Russia, tel. +78137146025, fax +78137136025, dir@pnpi.nrcki.ru

² Moscow Institute of Physics and Technology, Dolgoprudny, Russia, tel. +74954084554, info@mipt.ru

ALICE-3 is a future upgrade of the current ALICE experiment to be operated at high-luminosity Large Hadron Collider (LHC) at CERN after 2030. One of the physics objectives of the experiment is to probe the hot and dense QCD matter produced in heavy-ion collisions via the measurement of open charm hadron production. The ALICE-3 detector is well equipped to measure production of ground and excited states of D-mesons in the decay channels with charged particles in the final state. In this presentation, we present results of feasibility studies for the measurement of open charm mesons in the decay channels with neutral photons or mesons by utilizing the large acceptance electromagnetic calorimeter. Obtained results are compared with those available for other decay modes, implications for the physical program of the experiment are discussed.

РАЗРАБОТКА ВРЕМЯПРОЛЕТНОГО ДЕТЕКТОРА НЕЙТРОНОВ С ВЫСОКИМ ВРЕМЕННЫМ И ПРОСТРАНСТВЕННЫМ РАЗРЕШЕНИЕМ ДЛЯ ЭКСПЕРИМЕНТА BM@N

А. И. Махнёв

Институт Ядерных Исследований РАН, 108840, Россия, Москва, г. Троицк, ул. Физическая, вл. 27., контактный телефон: +79168455278, e-mail: makhnev.a@phystech.edu

Для эксперимента BM@N разрабатывается времяпролетный детектор нейтронов с высокими временным и пространственным разрешениями. Физическая схема будущего детектора подразумевает слоистую структуру из плит поглотителя-конвертора и позиционно-чувствительных сцинтилляционных детекторов, сигнал с которых считывается посредством измерения времени над порогом. В этой работе описан прогресс по разработке детектора: оптимизация типовой сцинтилляционной ячейки, тестирование считывающего тракта и разработка механической конструкции прибора.

DEVELOPMENT OF A HIGH GRANULAR NEUTRON TIME-OF-FLIGHT DETECTOR FOR THE BM@N EXPERIMENT

A. I. Makhnev

A new high-granular time-of-flight neutron detector for the BM@N experiment is under development. The design of future detector utilizes a layered structure of absorber tiles and scintillation detectors, which operate via the time-over-threshold method. This work describes the development progress in the areas of detector optimization, readout chain design, front-end electronics verification and mechanical support structures design.

НАРУШЕНИЕ ЗАРЯДОВОЙ СИММЕТРИИ ДЛЯ Λ -ГИПЕРОНА В ГИПЕРЯДРАХ И НЕЙТРОННЫХ ЗВЁЗДАХ

С. А. Михеев, Д. Е. Ланской, С. В. Сидоров, Т. Ю. Третьякова

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова»,
Научно-исследовательский институт ядерной физики имени Д. В. Скобельцына, 119234, ГСП-1,
Москва, Ленинские горы, дом 1, строение 2, Тел.: +7(495)939-18-18, Факс: +7(495)939-08-96,
email: mikheev.sa16@physics.msu.ru

Как известно, сильное взаимодействие адронов обладает изоспиновой симметрией. В реальности, однако, возможно нарушение этой симметрии вызванное электромагнитным взаимодействием. Нарушение зарядовой симметрии (CSB) является проявлением этого эффекта и отражается в различном сильном взаимодействии членов одного изоспинового мультиплетта, например протонов и нейтронов. В контексте гиперон-нуклонного взаимодействия под CSB обычно понимают различие между Λ_n - и Λ_p -взаимодействием.

В ядрах CSB может оказывать влияние на энергию связи, распределение нуклонной плотности и иметь большое значение для предсказания положения линий нуклонной стабильности. Важным источником информации о CSB в ΛN -взаимодействии могут быть экзотические гиперядра, имеющие избыток нейтронов или протонов. Мы используем метод учета нарушения зарядовой симметрии в гиперядрах в рамках подхода Хартри-Фока со взаимодействием Скирма. Параметры ΛN -сил Скирма при этом выводятся из соответствующих параметров YN -взаимодействия в моделях мезонного обмена. Используя эту модель мы рассматриваем влияние CSB на энергию связи гиперона в гиперядрах углерода. Помимо ядер и гиперядер эффект CSB может проявляться в нейтронных звёздах. Мы анализируем влияние CSB на такие характеристики нейтронных звёзд, как масса и радиус.

CHARGE SYMMETRY BREAKING FOR Λ -HYPERON IN HYPERNUCLEI AND NEUTRON STARS

S. A. Mikheev, D. E. Lanskoj, S. V. Sidorov, T. Yu. Tretyakova

Federal State Budget Educational Institution of Higher Education M. V. Lomonosov
Moscow State University, Skobeltsyn Institute of Nuclear Physics, 1(2), Leninskie gory, GSP-1,
Moscow 119991, Russian Federation, Phone.: +7(495)939-18-18, Fax: +7(495)939-08-96,
email: mikheev.sa16@physics.msu.ru

The strong interaction of hadrons is known to have isospin symmetry. However, in reality this symmetry can be broken by electromagnetic interaction. Charge symmetry breaking (CSB) is the manifestation of this effect and it results in different strong interactions of members of the same isospin multiplet, such as protons and neutrons. In terms of the hyperon-nucleon interaction, CSB is usually understood as the difference between Λ_n and Λ_p interactions.

In nuclei, CSB can affect the binding energy, the nucleon density distribution, and be of great importance for predicting the position of the lines of nucleon stability. Exotic hypernuclei, which have an excess of neutrons or protons, may be a valuable source of information about CSB in ΛN -interaction. In our method we take into account the charge symmetry breaking in hypernuclei within the framework of the Hartree-Fock approach with the Skyrme interaction. The parameters of the Skyrme ΛN -forces are derived from the corresponding parameters of the YN -interaction in the models of meson exchange. Using this model, we consider the effect of CSB on the hyperon binding energy in the hypernuclei of carbon. In addition to nuclei and hypernuclei, the CSB can affect neutron stars. We analyze the effect of CSB on the masses and radii of neutron stars.

ПЕРЕДНИЙ АДРОННЫЙ КАЛОРИМЕТР ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ГЕОМЕТРИИ ЯДРО-ЯДЕРНЫХ СТОЛКНОВЕНИЙ В ЭКСПЕРИМЕНТАХ NA61/SHINE

С. В. Морозов

Институт Ядерных Исследований РАН, проспект 60-летия Октября, 7а, Москва 117312
Телефон: 8(495)850-42-56, Факс: 8(495)850-42-28
Эл. почта: morozovs@inr.ru

Детектор фрагментов-спектаторов PSD представляет собой передний адронный калориметр, который используется на экспериментальной установке NA61/SHINE для измерения центральности столкновений ядер и измерения плоскости реакции независимо от трековых детекторов. Калориметр PSD состоит из модулей с продольной сегментацией, представляющей собой слои свинца и сцинтиллятора с соотношением толщин 4:1. Свет в сцинтилляционных пластинах собирается с помощью спектросмещающего оптоволокна, и свет от каждых шести пластин подряд регистрируется отдельным фотодетектором, расположенным в заднем торце модуля. Быстрый аналоговый выход суммы сигналов с каждого модуля калориметра PSD позволяет выбирать события по заданной центральности столкновений уже на уровне триггерного решения. В докладе будет представлена работа калориметра PSD в диапазоне энергий ядер 13–150 ГэВ/нуклон.

Новая программа для экспериментов на NA61/SHINE после 2020 г. включает в себя программу исследования open charm, при этом частота столкновений увеличится на порядок. Это потребовало обновления калориметра PSD для новых радиационных условий и более быстрого считывания сигналов. Вместо одного будут использоваться два калориметра: модифицированный калориметр PSD с пучковым отверстием в центре и новый вспомогательный калориметр, расположенный за ним. В докладе будут представлены результат обновления и работа новой системы калориметров на эксперименте NA61/SHINE.

FORWARD HADRON CALORIMETER FOR MEASURING GEOMETRY OF NUCLEUS- NUCLEUS COLLISIONS AT NA61/SHINE EXPERIMENTS

S. V. Morozov

Institute for Nuclear Research RAS, prospekt 60-letiya Oktyabrya 7a, Moscow 117312
Tel: 8(495)850-42-56, Fax: 8(495)850-42-28
E-mail: morozovs@inr.ru

Projectile Spectator Detector (PSD) is a forward sampling hadron calorimeter used in the NA61/SHINE experiment to provide measurement of collision centrality and event plane reconstruction independently from tracking detectors. The PSD consists of modules with longitudinal segmentation based on lead/scintillator layers with the sampling ratio 4:1. Light from scintillator plates is collected with WLS fibers and each six consecutive scintillator plates are read out by one photodetector placed at the end of the module. A fast analog signal from PSD modules allows to select events with required centrality on-line at the trigger level. Performance of the PSD will be shown for the measurements at the energy range 13 – 150 AGeV.

New physics program of NA61/SHINE experiments beyond 2020 includes open charm measurements. Current beam rate has to be increased by an order of magnitude. This requires PSD upgrade to survive in new high radiation conditions and to have faster read-out. Instead of the present PSD, two forward calorimeters will be used. The first one is modified current PSD with constructed beam hole in the center and the second one is a new calorimeter with small transverse sizes placed downstream. Details of the PSD upgrade as well as the performance of NA61/SHINE calorimeter system will be presented.

ПОИСКИ РЕЗОНАНСНОГО ПОГЛОЩЕНИЯ СОЛНЕЧНЫХ АКСИОНОВ АТОМНЫМИ ЯДРАМИ

В. Н. Муратова

Петербургский институт ядерной физики НИЦ Курчатовский институт

Аксионы, возникшие как элегантное решение CP-проблемы сильных взаимодействий, оказались хорошими кандидатами на роль частиц темной материи. Один из возможных каналов регистрации - это реакция резонансного поглощения аксионов ядрами, процесс аналогичный резонансному поглощению гамма-квантов. Большая величина сечения данной реакции для гамма-квантов приводит к высокой чувствительности экспериментов к константам связи аксиона с фотонами, электронам и нуклонами, и, как следствие, к массе аксиона. В работе представлены результаты поиска резонансного возбуждения первого ядерного уровня ${}^7\text{Li}$, ${}^{57}\text{Fe}$, ${}^{83}\text{Kr}$ и ${}^{169}\text{Tm}$ с помощью детекторов различных типов.

SEARCHES FOR THE RESONANT ABSORPTION OF SOLAR AXIONS BY ATOMIC NUCLEI

V. Muratova

Petersburg Nuclear Physics Institute NRC Kurchatov Institute

Axions emerged as an elegant solution to the strong CP-problem and turned out to be good candidates for the role of dark matter particles. One of the possible registration channels is the reaction of resonant absorption of axions by nuclei, a process similar to the resonant absorption of gamma quanta. The large value of the cross section of this reaction for gamma quanta leads to a high sensitivity of experiments to the coupling constants of the axion with photons, electrons and nucleons, and, as a consequence, to the mass of the axion. The paper presents the results of a search for resonant excitation of the first nuclear level in ${}^7\text{Li}$, ${}^{57}\text{Fe}$, ${}^{83}\text{Kr}$, and ${}^{169}\text{Tm}$ using various type detectors.

СТАТУС ЭКСПЕРИМЕНТА MPD В NICA

Судхир Пандуранг Роде * за сотрудничество MPD

Лаборатория физики высоких энергий Векслера и Балдина,
Объединенный институт ядерных исследований, г. Дубна, 141980,
Московская область, Российская Федерация

*электронная почта: sudhir@jinr.ru, sudhirrode11@gmail.com

Эксперимент Multi-Purpose Detector (MPD), ведущий эксперимент с тяжелыми ионами, строящийся на установке ионного коллайдера на базе нуклотрона (NICA) в Объединенном институте ядерных исследований (ОИЯИ) в Дубне, Россия, предназначен для работы в режим коллайдера. MPD будет исследовать столкновения тяжелых ионов в диапазоне энергий центра масс, $\sqrt{s_{NN}} = 4-11$ ГэВ, начиная со столкновений $\text{Bi}+\text{Bi}$ при $\sqrt{s_{NN}} = 9,2$ ГэВ, на начальном этапе работы, который планируется начать в 2025 году. MPD – это международное сотрудничество, в которое входит 31 учреждение из 10 стран с более чем 450 участниками. MPD фокусируется на изучении богатой барионами области фазовой диаграммы квантовой хромодинамики (КХД), поиске начала и природы фазового перехода между деконфайнментом и адронной материей, начала восстановления киральной симметрии и предполагаемой критической конечной точки. .

В этой презентации будет рассмотрено текущее состояние конструкции детектора MPD и его физическая программа с акцентом на физические измерения, возможные с первыми пучками.

STATUS OF THE MPD EXPERIMENT AT NICA

Sudhir Pandurang Rode * for the MPD collaboration

Veksler and Baldin Laboratory of High Energy Physics,
Joint Institute for Nuclear Research, Dubna, 141980,
Moscow region, Russian Federation

*email: sudhir@jinr.ru, sudhirrode11@gmail.com

The Multi-Purpose Detector (MPD) experiment, a leading heavy-ion experiment under construction in the Nuclotron-based Ion Collider fAcility (NICA) at Joint Institute for Nuclear Research (JINR), in Dubna, Russia, is designed to operate in the collider mode. The MPD will examine heavy-ion collisions in the center-of-mass energy range, $\sqrt{s_{NN}} = 4\text{--}11$ GeV, starting with Bi+Bi collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 9.2$ GeV, in its initial stage of operation which is planned to start in 2025. The MPD is an international collaboration which consists of 31 institutions from 10 countries with more than 450 participants. MPD focuses on study of baryon-rich region of the Quantum Chromodynamics (QCD) phase diagram, to search for the onset and nature of the phase transition between deconfined and hadronic matter, the onset of chiral symmetry restoration and the conjectured critical end point.

In this presentation, the current status of the MPD detector construction and its physics program will be reviewed with an emphasis on the physics measurements feasible with the first beams.

ПРОИЗВОДСТВО π^+ И K^+ МЕЗОНОВ В АРГОН-ЯДЕРНЫХ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯХ ПРИ ЭНЕРГИИ ПУЧКА 3.2 АГЭВ В ЭКСПЕРИМЕНТЕ BM@N НА НУКЛОТРОНЕ

В. А. Плотников от имени коллаборации BM@N

Объединённый институт ядерных исследований, г. Дубна, Россия
E-mail: vplotnikov@jinr.ru

Представлены первые физические результаты эксперимента BM@N на ускорительном комплексе Нуклотрон/NICA по производству π^+ и K^+ мезонов во взаимодействиях аргонного пучка с фиксированными мишенями из C, Al, Cu, Sn и Pb при энергии 3.2 АГЭВ. Измерены распределения по поперечному импульсу, спектры по быстройте и выходы π^+ и K^+ мезонов. Результаты сравнены с предсказаниями теоретических моделей и другими измерениями, сделанными при более низких энергиях.

PRODUCTION OF π^+ AND K^+ MESONS IN ARGON-NUCLEUS INTERACTIONS AT 3.2 AGeV IN THE BM@N EXPERIMENT AT THE NUCLOTRON

V. A. Plotnikov for the BM@N Collaboration

Joint Institute for Nuclear Research, Dubna, Russia
E-mail: vplotnikov@jinr.ru

First physics results of the BM@N experiment at the Nuclotron/NICA complex are presented on π^+ and K^+ meson production in interactions of an argon beam with fixed targets of C, Al, Cu, Sn and Pb at 3.2 AGeV. Transverse momentum distributions, rapidity spectra and multiplicities of π^+ and K^+ mesons are measured. The results are compared with predictions of theoretical models and with other measurements at lower energies.

ИЗУЧЕНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ГИПЕРОНОВ В ЭКСПЕРИМЕНТЕ VM@N

Р. К. Барак^{1,2}, С. П. Мерц²

¹НИЯУ МИФИ, г. Дубна, Московская обл., 141980, +79957578761, rbarak@jinr.ru

²ЛФВЭ ОИЯИ, г. Дубна, Московская обл., 141980, +79996756755, merts@jinr.ru

Релятивистские столкновения тяжелых ионов позволяют изучать ядерную материю в случаях экстремальной плотности и температуры. Во время таких столкновений ядерная материя нагревается и сжимается за очень короткий промежуток времени. При достаточно высоких температурах или в случае большей плотности адроны “плавятся”, а составляющие (кварки и глюоны) образуют так-называемую кварк-глюонную плазму (КГП). В физике высоких энергий рождение частиц с ненулевой странностью в релятивистских столкновениях тяжелых ионов является характерным признаком формирования кварк-глюонной плазмы (КГП) [1, 2]. Данная работа сконцентрирована на исследовании вопроса восстановления параметров частиц с этой компонентой (гиперонов) в эксперименте VM@N (Baryonic Matter at Nuclotron) [3, 4]. Данный эксперимент реализуется в Объединенном институте ядерных исследований в подмосковном городе Дубна.

В феврале 2023 года завершился первый экспериментальный сеанс с пучком ксенона ($^{124}\text{Xe}^{54+}$) на установке VM@N. На данный момент идет процесс обработки данных и их подготовки к дальнейшему физическому анализу. Поэтому в работе для анализа рождения гиперонов использовались данные, полученные с помощью Монте-Карло генератора DCMSMM [5]. В работе было смоделировано 100000 событий, проведена реконструкция траекторий частиц и разработаны, и реализованы в программном пакете VmnRoot математические алгоритмы восстановления траекторий лямбда-гиперонов по каналу распада на протон и отрицательный пи-мезон. Похожая процедура была проделана для восстановления траекторий короткоживущих нейтральных каонов по каналу распада на положительный и отрицательный пи-мезоны. Алгоритм основан на переборе пар частиц с разными знаками, вычислении инвариантной массы и наложении ряда геометрических ограничений на параметры каждой пары.

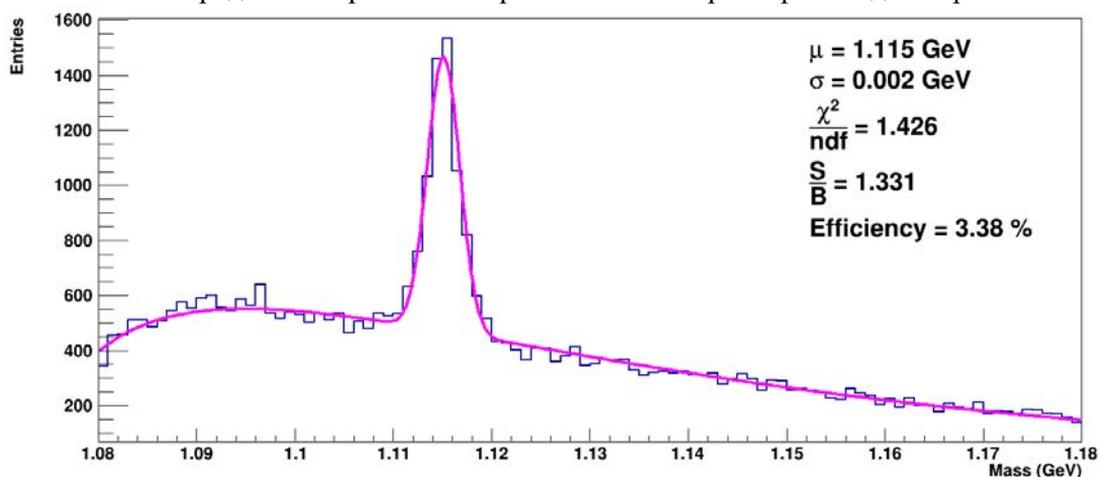


Рис. 1. Распределение по инвариантной массе пар протон — отрицательный пи-мезон. Фиолетовым цветом показана аппроксимация пика лямбда-гиперонов и фона суммой гауссовой функции и произведения радикальной функции и экспоненты.

На рис. 1 представлены массовые распределения пар протона и отрицательного пи-мезона. Наблюдается пик от лямбда-гиперонов, который был фитирован и извлечены масса (1.115 ГэВ) и ширина (2 МэВ), хорошо согласующиеся с теорией. Также были вычислены соотношение хи-квадрат/ количество степеней свободы, соотношение сигнал/шум и эффективность. Первое показывает, насколько хорошо нам удалось профитировать данное распределение, и составило 1.426, второе насколько хорошо выявлен сигнал по сравнению с фоном. Эффективность отражает количество лямбд составляющих окончательный сигнал по сравнению с общим количеством лямбд формирующихся в нашем процессе и составило 3.38 %.

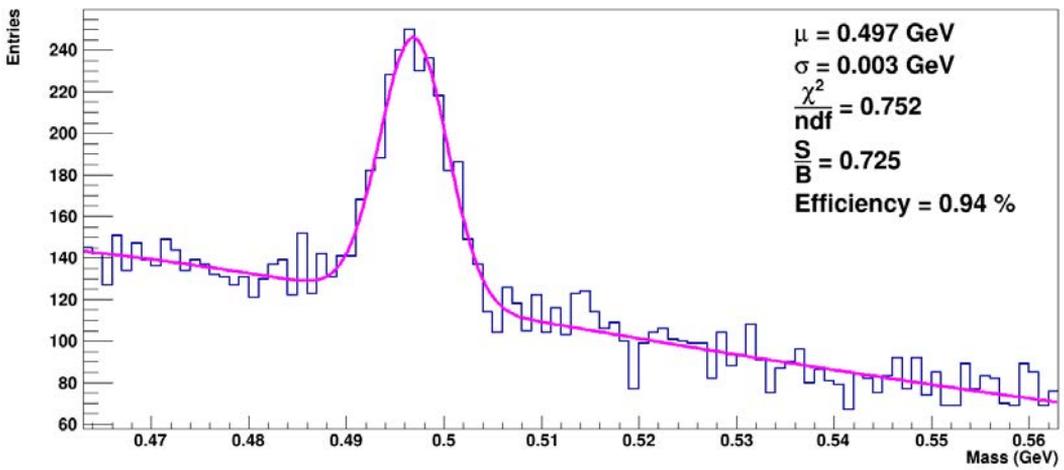


Рис. 2. Распределение по инвариантной массе пар положительный – отрицательный пи-мезон. Фиолетовым цветом показана аппроксимация пика каонов и фона суммой гауссовой функции и произведения радикальной функции и экспоненты.

На рис. 2 представлены массовые распределения пар положительного и отрицательного пи-мезона. Наблюдается пик от нейтральных каонов, который был фитирован и извлечены масса (0.497 ГэВ) и ширина (3 МэВ), хорошо согласующиеся с теорией. Также были вычислены соотношение хи-квадрат/ количество степеней свободы, соотношение сигнал/шум и эффективность, и составили 0.752, 0.725 и 0.94 %.

Был проведен анализ источников ухудшения массового распределения и показано, что размытие пучка вносит самый значимый отрицательный вклад в окончательный результат.

Список литературы

1. Colella, D. Strangeness production in p-Pb and Pb-Pb collisions with ALICE at LHC // Journal of Physics: Conference Series (2017).
2. Michal Petráň, Jean Letessier, Vojtěch Petráček, Johann Rafelski. Interpretation of strange hadron production at LHC// Journal of Physics: Conference Series (2014).
3. Kapishin M. Studies of baryonic matter at the BM@N experiment (JINR) // Nuclear Physics A 982 (2019) 967–970
4. Gornaya J., Kapishin M., Plotnikov V., Pokatashkin G., Rufanov I., Vasendina V., Zinchenko A. Hyperons at the BM@N experiment: first results // EPJ Web of Conferences 204, 0100 (2019).
5. Baznat M., Botvina A., Musulmanbekov G., Toneev V., Zhezher V. Monte-Carlo Generator of Heavy Ion Collisions DCM-SMM // Physics of Particles and Nuclei Letters 17, 3, 303-324 (2020).

STUDYING THE POSSIBILITY OF HYPERON RECONSTRUCTION IN THE BM@N EXPERIMENT

R. Barak ^{1,2}, S. P. Merts ²

¹NRNU MEPhI, Dubna, Moscow region, 141980, +79957578761, rbarak@jinr.ru

²VBLHEP JINR, Dubna, Moscow region, 141980, +79996756755, merts@jinr.ru

Relativistic collisions of heavy ions enable the study of nuclear matter in cases of extreme density and temperature. During such collisions, nuclear matter heats up and contracts in a very short amount of time. At sufficiently high temperatures or in the case of a higher density, the hadrons “melt”, and the constituents (quarks and gluons) form the so-called quark-gluon plasma (QGP). In high energy physics, the production of particles with nonzero strangeness in relativistic collisions of heavy ions is a characteristic sign of the formation of a quark–gluon plasma (QGP) [1, 2]. This work is

focused on the problem of reconstructing the parameters of particles with this component (hyperons) in the BM@N (Baryonic Matter at Nuclotron) experiment [3, 4]. This experiment is being implemented at the Joint Institute for Nuclear Research in the city of Dubna near Moscow.

In February 2023, the first experimental run with a xenon beam ($124\text{Xe}54+$) at the BM@N facility was completed. At the moment, the process of data processing and preparation for further physical analysis is taking place. Therefore, in this work, in order to analyze the production of hyperons, we used data obtained by employing the DCMSMM Monte Carlo generator [5]. 100,000 events were simulated, particle trajectories were reconstructed, and mathematical algorithms for reconstructing lambda hyperon trajectories along the decay channel into a proton and a negative pi-meson were developed and implemented in the BmnRoot software package. A similar procedure was carried out to reconstruct the trajectories of short-lived neutral kaons along the decay channel into positive and negative pi-mesons. The algorithm is based on enumerating pairs of particles with different signs, calculating the invariant mass, and imposing a number of geometric restrictions on the parameters of each pair.

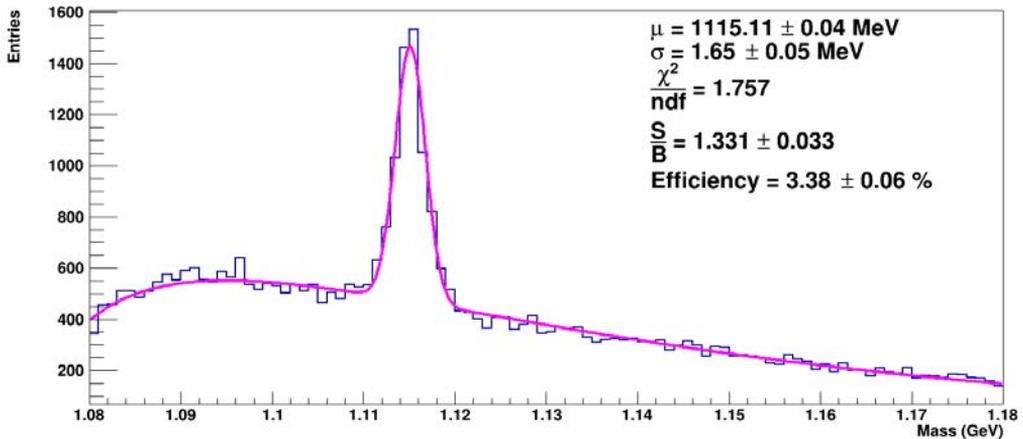


Fig. 1. Invariant mass distribution of proton-negative pi-meson pairs. The purple color shows the approximation of the lambda hyperon peak and the background by the sum of the Gaussian function and the product of a radical function and an exponential.

Fig. 1 shows the mass distributions of proton and negative pi-meson pairs. A peak from lambda hyperons is observed, which was fitted and from which the mass (1115.11 ± 0.04 MeV) and width (1.65 ± 0.05 MeV) were extracted. Both values are in good agreement with theoretical predictions. The chi-square /number of degrees of freedom ratio, signal-to-noise ratio, and efficiency were also calculated. The first shows how well we managed to fit the given distribution, and amounted to 1.757, while the second shows how well the signal was detected compared to the background, and amounted to 1.331 ± 0.033 . The efficiency reflects the number of lambdas that make up the final signal compared to the total number of lambdas formed in our process, and amounted to 3.38 ± 0.06 %.

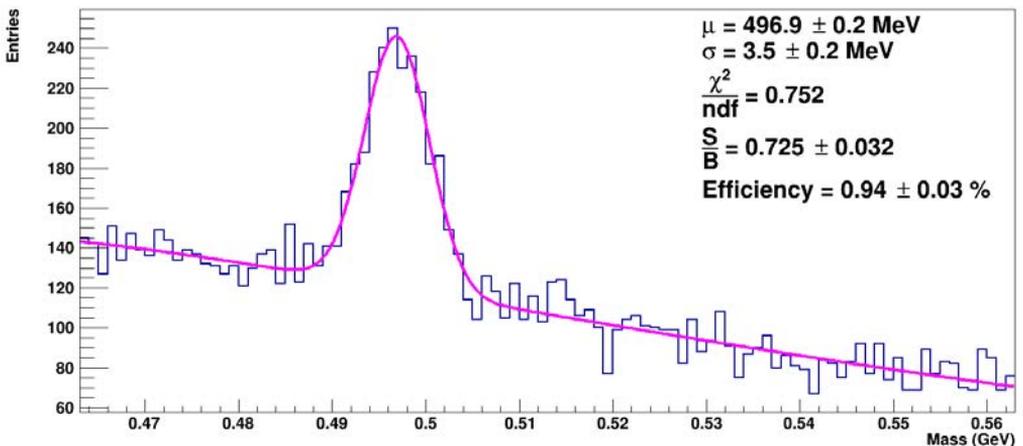


Fig. 2: Invariant mass distribution of positive-negative pi-meson pairs. The purple color shows the approximation of the kaon peak and background by the sum of the Gaussian function and the product of a radical function and an exponential.

Fig. 2 shows the mass distributions of pairs of positive and negative pi-mesons. A peak from neutral kaons is observed, which was fitted and from which the mass (496.9 ± 0.2 MeV) and width (3.5 ± 0.2 MeV) were extracted. Once again both values are in good agreement with theoretical predictions. Chi-square ratio/number of degrees of freedom, signal-to-noise ratio and efficiency were also calculated and had the following values respectively 0.752 , 0.725 ± 0.032 and 0.94 ± 0.03 %.

An analysis of the sources of deterioration of the mass distribution was carried out and it was shown that the blurring of the beam is responsible for the most significant negative contribution to the final result.

References

1. Colella, D. Strangeness production in p-Pb and Pb-Pb collisions with ALICE at LHC// Journal of Physics: Conference Series (2017).
2. Michal Petráň, Jean Letessier, Vojtěch Petráček, Johann Rafelski. Interpretation of strange hadron production at LHC// Journal of Physics: Conference Series (2014).
3. Kapishin M. Studies of baryonic matter at the BM@N experiment (JINR) // Nuclear Physics A 982 (2019) 967–970.
4. Gornaya J., Kapishin M., Plotnikov V., Pokatashkin G., Rufanov I., Vasendina V., Zinchenko A. Hyperons at the BM@N experiment: first results // EPJ Web of Conferences 204, 0100 (2019).
5. Baznat M., Botvina A., Musulmanbekov G., Toneev V., Zhezher V. Monte-Carlo Generator of Heavy Ion Collisions DCM-SMM // Physics of Particles and Nuclei Letters 17, 3, 303-324 (2020).

PROTON AND KAON CUMULANT RATIOS AS FUNCTIONS OF COLLISION ENERGY IN RELATIVISTIC HEAVY-ION COLLISIONS

R. García Formentí, A. Ayala, E. Cuautle, R. Guzmán, W. Bietenholz

National Autonomous University of Mexico (UNAM).
Av. Universidad 3004, Copilco Universidad, Coyoacán, 04510 Mexico City, CDMX

The properties of QCD matter in the high-baryon density domain have become a very active field of research in connection with the study of the phase diagram, deep into the region of large baryon chemical potential. In heavy-ion collisions, this is accomplished by varying the collision energy and by means of the collision energy-dependent fluctuation measurements of conserved charges. Good proxies for baryon and strangeness numbers are the net proton and net kaon measurements. Fluctuations of these conserved charges are quantified in terms of high order cumulant ratios. In particular, the ratios $C3/C2$ and $C4/C2$ of the net proton multiplicity have proved to be sensitive to the emergence of critical behavior. In this work we show results of simulation using the UrQMD event generator, exploring the NICA energy range, and comparing with available experimental results of RHIC.

МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЦЕНТРАЛЬНОСТИ СТОЛКНОВЕНИЙ ТЯЖЕЛЫХ ИОНОВ В ЭКСПЕРИМЕНТЕ BM@N

И. В. Сегаль, Д. М. Идрисов, П. Е. Парфенов, А. В. Тараненко, М. В. Мамаев
для Коллаборации BM@N

Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», Адрес: 115409, Москва, Каширское шоссе, д. 31, Тел.: + 7 (495) 788 56 99, Факс: +7 499 324-2111, e-mail: ilya.segal.97@gmail.com

Центральность – важная величина при изучении сильно взаимодействующей материи, образующейся при столкновении тяжелых ионов, эволюция которой зависит от ее начальной геометрии. Экспериментально столкновения можно характеризовать измеренными множест-

венностью или энергией образовавшихся частиц или фрагментов спектаторов. Связь между геометрией столкновения и экспериментально измеренной множественностью обычно оценивается в рамках подхода Монте-Карло Глаубера.

Мы представим методы определения центральности в столкновениях тяжелых ионов в эксперименте Барионная Материя на Нуклотроне (BM@N). Множественность заряженных адронов измеряется детекторами установки BM@N Кремниевая Трековая Система (STS) и Газовый Электронный Умножитель (GEM) и связывается с параметрами геометрии столкновений с использованием модели Монте-Карло Глаубера. Энергия фрагментов спектаторов оценивается с помощью детекторов BM@N Передний Адронный Калориметер (FHCAL) и Годоскоп. Мы рассмотрим разрабатывающиеся процедуры для определения центральности на основе детекторов спектаторов. Мы также коснемся первого результата определения центральности экспериментальными данными BM@N run8.

METHODS FOR CENTRALITY DETERMINATION IN HEAVY-ION COLLISIONS WITH THE BM@N EXPERIMENT

**I. Segal, D. Idrisov, P. Parfenov, A. Taranenko, M. Mamaev
for the BM@N Collaboration**

National Research Nuclear University “MEPhI”, Address: 31, Kashirskoe Highway, Moscow, 115409
Russia, Tel.: + 7 (495) 788 56 99, E-mail: ilya.segal.97@gmail.com

Centrality is an important concept in the study of strongly interacting matter created in a heavy-ion collision whose evolution depends on its initial geometry. Experimentally collisions can be characterized by the measured multiplicities or energy of produced particles or spectator fragments. Relation between collision geometry and experimentally measured multiplicities is commonly evaluated within the Monte-Carlo Glauber approach.

We will present methods for centrality determination in heavy-ion collisions with the Baryonic Matter at Nuclotron (BM@N) experiment. The multiplicity of charged hadrons is provided by the BM@N Silicon Tracking System (STS) and Gaseous Electron Multiplier (GEM) detectors and connected to collision geometry parameters using the Monte-Carlo Glauber model. The energy of projectile spectator fragments is estimated with the BM@N Forward Hadron Calorimeter (FHCAL) and Hodoscope detectors. We will discuss developed procedures for centrality determination based on spectator detectors. We will also touch the first result of centrality determination with the BM@N run8 experimental data.

ВЫЧИСЛЕНИЕ ФАКТОРОВ ЯДЕРНОЙ МОДИФИКАЦИИ ЭТА-МЕЗОНОВ В СТОЛКНОВЕНИЯХ He+Au ПРИ ЭНЕРГИИ 200 ГэВ

**А. Д. Селезнев¹, Е. В. Банников, М. М. Митранкова, А. Я. Бердников,
Я. А. Бердников, Д. О. Котов, Д. М. Ларионова, Ю. М. Митранков**

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого (СПбПУ),
ул. Политехническая, д. 29, Санкт-Петербург, 195251, 8 (800) 707-18-99,
seleznev.ad@edu.spbstu.ru1

Кварк-глюонная плазма (КГП) на данный момент является основным объектом изучения физиков на экспериментах по столкновению тяжелых ионов. Такой интерес обусловлен природой КГП и её необычными свойствами: КГП – особое квазибесцветное состояние вещества, при котором кварки практически не взаимодействуют друг с другом. Считается, что вещество ранней Вселенной находилось в состоянии КГП. КГП образуется при крайне больших плотностях энергии, которые достижимы на современных ускорителях тяжелых ионов. Таким образом, при помощи ускорительных комплексов появляется возможность изучения ранней Вселенной.

Напрямую изучение КГП невозможно, однако её наличие обуславливается некоторыми коллективными эффектами. Одним из таких эффектов является эффект гашения струй. Эффект гашения струй заключается в подавлении выходов частиц в столкновениях тяжелых ионов по сравнению с нормированными на $N_{\text{столкн}}$ (число попарных нуклонных столкновений) выходами частиц в столкновениях $p+p$. Количественная характеристика эффекта гашения струй – факторы ядерной модификации R_{AB} , которые равны отношениям выходов частиц в столкновениях тяжелых ядер к нормированным выходам частиц в $p+p$ столкновениях.

Впервые образование КГП было обнаружено в столкновениях Au+Au, и сопровождалось сильным подавлением выходов частиц в центральных взаимодействиях ядер ($R_{AB} \approx 0,4$). Учитывая, что образование КГП в $p+p$ столкновениях обнаружено не было, большой интерес представляют «промежуточные системы», такие как ${}^3\text{He}+\text{Au}$. В данной работе изучается возможное подавление выходов частиц в системе ${}^3\text{He}+\text{Au}$ на примере эта-мезона через моду распада $\eta \rightarrow \gamma\gamma$. В докладе будут представлены результаты измерений инвариантных спектров по поперечному импульсу эта-мезонов и результаты вычислений факторов ядерной модификации эта-мезонов.

CALCULATION OF NUCLEAR MODIFICATION FACTORS OF ETA-MESONS IN He+Au COLLISIONS AT 200 GeV

**A. D. Selezenev¹, E. V. Bannikov, M. M. Mitrankova, A. Ya. Berdnikov, Ya. A. Berdnikov,
D. O. Kotov, D. M. Larionova, Yu. M. Mitrankov**

Peter the Great St.Petersburg Polytechnic University (SPbPU), Russia, 195251, St. Petersburg,
Polytechnicheskaya, 29, 8 (800) 707-18-99, selezenev.ad@edu.spbstu.ru1

Currently, quark-gluon plasma is one of the main objects of study in heavy ion collisions. Such big interest is due to the nature of QGP and its unusual properties: QGP is a special quasicolorless state of matter in which there is almost no interaction between quarks. Many physicists suggest, that early matter of Universe was in the state of QGP. QGP is formed at very high energy densities, such energies can be achieved in modern heavy ion accelerators. Thus, early Universe matter can be studied using large accelerator complexes.

Direct study of QGP is impossible, but its presence comes with some collective effects. One of those effects is jet quenching effect. Jet quenching is suppression of particle yields in heavy ion collisions with respect to normalized to N_{coll} (number of binary nucleon collisions) particle yields in $p+p$ collisions. Quantitative characteristics of jet quenching are nuclear modification factors R_{AB} which are equal to ratios of particle yields in heavy ion collisions to normalized particle yields in $p+p$ collisions.

The formation of QGP was first discovered in Au+Au collisions and was accompanied by strong suppression of particle yields in central ion interactions ($R_{AB} \approx 0,4$). Considering QGP formation was not found in $p+p$ collisions, intermediate collision systems, such as ${}^3\text{He}+\text{Au}$, are of great interest. This work is dedicated to studying particle yields suppression in ${}^3\text{He}+\text{Au}$ collisions using eta-mesons production through decay channel $\eta \rightarrow \gamma\gamma$. This report presents results of measurements of invariant transverse momentum spectra of eta-mesons and results of calculation of nuclear modification factors of eta-mesons.

ЗАХВАТ ПРОТОНАМИ ЭЛЕКТРОНОВ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ

С. В. Семенов, Р. У. Хафизов

Национальный исследовательский центр «Курчатовский Институт»
123182, пл. Академика Курчатова,1, Москва, Россия
Тел. +7 499 196 96 37, e-mail: Semenov_SV@nrcki.ru

Проведен расчет сечения слабого взаимодействия высокоэнергетичных электронов с протонами. Вычисления велись на основе Стандартной Модели. Показано, что сечение захвата протонами электронов с энергией 1 Гэв, имеет порядок 10^{-38} см², что, например, на 6 порядков выше сечения захвата реакторных антинейтрино протонами. Обсуждаются возможные экспериментальные приложения рассматриваемого процесса.

CAPTURE OF PROTONS BY HIGH-ENERGY ELECTRONS

S. V. Semenov, R. U. Khafizov

National Research Centre «Kurchatov Institute»
123182, Academician Kurchatov Sq., 1, Moscow, Russia
Tel. +7 499 196 96 37, e-mail: Semenov_SV@nrcki.ru

Calculations of weak interaction cross section between protons and high energy electrons have been performed. Computations were produced on the base of the Standard Model. It is shown, that the capture cross section of GeV – electrons by protons has an order of 10^{-38} cm², what, for example, is six orders higher, than the cross section of reactor antineutrino capture by protons. Possible experimental applications of considered process are discussed.

СЕЧЕНИЕ ПОГЛОЩЕНИЯ НЕЙТРИНО ЯДРАМИ ¹⁰⁰Mo

С. В. Семенов

Национальный исследовательский центр «Курчатовский Институт»
123182, пл. Академика Курчатова, 1, Москва, Россия
Тел. +7 499 196 96 37, e-mail: Semenov_SV@nrcki.ru

Изотоп молибден-100 широко применяется в исследованиях по двойному бета-распаду [1], а также, благодаря низкому значению порога реакции захвата нейтрино, рассматривается как перспективный материал для создания нейтринных детекторов [2–4]. Для расчета сечения поглощения нейтрино необходимо найти Гамов-Теллеровскую силу перехода BGT на основное 1^+ – состояние ядра ¹⁰⁰Tc. В настоящее время существует два подхода к решению этой задачи – определение BGT из реакции перезарядки, где получен результат BGT = 0.38 [5] и из интенсивности электронного захвата в технеции-100 [6], что приводит к значению BGT = 0.6. Экспериментальные данные по двухнейтринному двойному бета-распаду ¹⁰⁰Mo [1], где проявляется механизм доминантности основного промежуточного ядра [7], говорят в пользу значения BGT = 0.6. В докладе предложен метод определения Гамов-Теллеровской силы, основанный на поглощении молибденом-100, содержащимся в сцинтиллирующих кристаллах, нейтринного излучения от искусственных источников ⁵¹Cr, ³⁷Ar, ⁶⁵Zn. Рассчитано сечения захвата нейтрино, обсуждаются параметры экспериментальной установки.

Список литературы

1. R. Arnold et al, Eur. Phys. J., V. 79, P. 440 (2019).
2. S. V. Semenov, Yu. V. Gaponov, R. U. Khafizov. Ядерная физика Том 61, № 8, С. 1379 (1998).
3. L. V. Inzhechik, Yu. V. Gaponov, S. V. Semenov. Ядерная физика Том 61, № 8, № 8, С. 1384 (1998).
4. H. Ejiri et al, Phys. Rev. Lett., V. 85, P. 2017 (2000).
5. H. Ejiri, J. Engel, N. Kudomi, Phys. Lett. B, V. 530, 27 (2002).
6. J. H. Thies et al, Phys. Rev. C, V. 86 (2012).
7. S. K. L. Sjue et al, Phys. Rev. C, V. 78 (2008).
8. S. V. Semenov, F. Šimkovic, P. Domin, Письма в ЭЧАЯ, №6[109], С. 26 (2001).
9. F. Šimkovic, P. Domin, S. V. Semenov, J. Phys. G, V.27, P. 2233 (2001).

S. V. Semenov

National Research Centre «Kurchatov Institute»
123182, Academician Kurchatov Sq., 1, Moscow, Russia
Tel. +7 499 196 96 37, e-mail: Semenov_SV@nrcki.ru

Isotope molybdenum-100 is widely used in investigations on double beta-decay [1], and also due to low energy threshold of neutrino capture reaction it is considered as perspective material for neutrino detectors [2–4]. In order to calculate neutrino absorption cross section it is necessary to find out Gamow-Teller strength BGT of transition on the 1^+ – ground state of ^{100}Tc nucleus. Nowadays two approaches to solution of this problem are present – evaluation of BGT from charge-exchange reaction, where result $\text{BGT} = 0.38$ [5] have been obtained and from intensity of electron capture in technetium-100 [6], that leads to $\text{BGT}=0.6$. Experimental data on two-neutrino double beta decay of ^{100}Mo [1], where mechanism of intermediate nucleus ground state dominance become manifest are in favor of $\text{BGT}=0.6$ value. Method of Gamow-Teller strength determination, based on absorption of neutrino emitted by artificial sources by molybdenum-100, enclosed in scintillating crystals is proposed. Cross section of absorption of ^{51}Cr , ^{37}Ar , ^{65}Zn neutrino emission by ^{100}Mo is calculated. The parameters of experimental setup are being discussed.

References

1. R. Arnold et al, Eur. Phys. J., V. 79, P. 440 (2019).
2. S. V. Semenov, Yu. V. Gaponov, R. U. Khafizov Yad. Fiz., V. 61, № 8, P. 1379 (1998).
3. L. V. Inzhechik, Yu. V. Gaponov, S. V. Semenov, Yad. Fiz., V. 61, № 8, P. 1384 (1998).
4. H. Ejiri et al, Phys. Rev. Lett., V. 85, P. 2017 (2000).
5. H. Ejiri, J. Engel, N. Kudomi, Phys. Lett. B, V. 530, 27 (2002).
6. J. H. Thies et al, Phys. Rev. C, V. 86 (2012).
7. S.K.L. Sjøe et al, Phys. Rev. C, V. 78 (2008).
8. S. V. Semenov, F. Šimkovic, P. Domin, Pis'ma Phiz. Elem. Chastits At. Yadra, No. 6, P. 26 (2001).
9. S. V. Semenov, F. Šimkovic, P. Domin, J. Phys. G, V.27, P. 2233 (2001).

НОВЫЕ ДАННЫЕ ПО ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫМ ВРЕМЕНИПОДОБНЫМ ФОРМФАКТОРАМ НЕЙТРОНА И ПРОТОНА В ПОРОГОВОЙ ОБЛАСТИ

С. И. Средняков

Институт Ядерной физики им. Г. И. Будкера, 630090, г. Новосибирск,
тел. 8(383)330-6031, Fax 8(383)330-7163, e-mail inp@inp.nsk.su

В эксперименте на электрон-позитронном коллайдере ВЭПП-2000 [1] с детектором СНД [2] изучались процессы рождения пар нейтрон+антинейтрон ($n+\text{anti-}n$) и протон+антипротон ($p+\text{anti-}p$). Измерения проводились методом сканирования энергетического интервала от порога рождения нуклонов до максимальной энергии коллайдера 2 ГэВ в с.д.м. Интегральная светимость в эксперименте составила около 100 обратных пб, что соответствует рождению около 50000 событий нуклон-антинуклон. Для выделения искомым событий и подавления фона были разработаны условия отбора по всем основным системам детектора СНД – трековой системе, Черенковскому счетчику, электромагнитному калориметру и мюонному детектору. Эффективность регистрации при анализе данных варьируется в пределах 15–40 %. Радиационные поправки вдали от порога составляют 95 % и достигают 50–60 % близко к порогу. Измеренное сечение процесса $e+e \rightarrow n+\text{anti-}n$ составляет около 0.5 нб. Для процесса $e+e \rightarrow p+\text{anti-}p$ сечение меняется от 0.1 нб на пороге до 0.8 нб с ростом энергии. Эффективный электромагнитный формфактор является множителем в сечении процесса. В измеряемом интервале энергии формфактор нейтрона ниже, чем у протона и падает с энергией по величине

от 0.5 до 0.2. Измеренное сечение процесса $e+e \rightarrow n+\text{anti-}n$ согласуется с нашим предыдущим измерением [3] с меньшей светимостью. При максимальной энергии 2 ГэВ данные СНД по сечениям и формфакторам стыкуются с данными детектора BESIII [4].

Список литературы

1. P. Yu. Shatunov et al., Part. Nucl. Lett. 13, 995(2016).
2. M. N. Achasov et al., Nucl. Instr. Meth. A 449, 125(2000).
3. M. N. Achasov et al., Eur. Phys. Journ. C (2022) 82:161.
4. M. Ablikim et al., Nature Physics 17, 1200(2021).

NEW DATA ON THE ELECTROMAGNETIC TIMELIKE FORMFACTORS OF THE NEUTRON AND PROTON IN THE THRESHOLD REGION

S. I. Serednyakov

Budker Institute of Nuclear Physics, 630090, Novosibirsk,
tel. 8(383)330-6031, Fax 8(383)330-7163, e-mail inp@inp.nsk.su

In an experiment at the VEPP-2000 electron-positron collider [1] with the SND detector [2], the processes of production of neutron + antineutron ($n + \text{anti-}n$) and proton + antiproton ($p + \text{anti-}p$) pairs were studied. The measurements were carried out by scanning the available energy range from the nucleon threshold to the maximum collider energy of 2 GeV in cms. The integrated luminosity in the experiment was about 100 inverse pb, which corresponds to the production of about 50,000 nucleon-antinucleon events. To select the desired events and suppress the background, selection conditions were developed for all the main systems of the SND detector - the tracking system, the Cherenkov counter, the electromagnetic calorimeter, and the muon detector. The efficiency of registration in data analysis varies between 15-40%. Radiative corrections far from the threshold are 95% and reach 50-60% close to the threshold. The measured cross section of the $e+e \rightarrow n+\text{anti-}n$ process is about 0.5 nb and agrees with our earlier measurement [3]. For the $e+e \rightarrow p+\text{anti-}p$ process, the cross section changes from 0.1 nb at the threshold to 0.8 nb with increasing energy. The effective electromagnetic form factor is a multiplier in the process cross section. In the measured energy interval, the form factor of the neutron is lower than that of the proton and falls with the energy of 0.5 to 0.2. At a maximum energy of 2 GeV, the SND data on the cross section and formfactors are matched with the data of the BESIII detector [4].

References

1. P. Yu. Shatunov et al., Part. Nucl. Lett. 13, 995(2016).
2. M. N. Achasov et al., Nucl. Instr. Meth. A 449, 125(2000).
3. M. N. Achasov et al., Eur. Phys. Journ. C (2022) 82:161.
4. M. Ablikim et al., Nature Physics 17, 1200(2021).

СТАТУС ЭКСПЕРИМЕНТА PRIMEX-D ПО ПРЕЦИЗИОННОМУ ИЗМЕРЕНИЮ ШИРИНЫ РАСПАДА $\eta \rightarrow \gamma\gamma$

В. В. Тарасов для коллабораций PrimEx-D и GlueX

НИЦ “Курчатовский институт”, Москва, 123192

Точное измерение ширины распада $\eta \rightarrow \gamma\gamma$ необходимо для определения фундаментальных параметров КХД, таких как отношение масс легких кварков, угол смешивания $\eta-\eta'$, и изучения нарушения киральной симметрии. Точное, на уровне 3%, измерение ширины распада $\eta \rightarrow \gamma\gamma$ позволит пропорционально уменьшить неопределенности в ширине остальных мод

распада эта-мезона, а также устранить существующее расхождение в результатах между коллайдерными и примаковскими экспериментами.

В 2022 году, в лаборатории TJNAF, успешно выполнена завершающая часть набора статистики эксперимента. В своем выступлении я расскажу о текущем состоянии анализа экспериментальных данных.

STATUS REPORT OF THE PrimEx-D EXPERIMENT AT JEFFERSON LAB ON PRECISION MEASUREMENTS OF THE $\eta \rightarrow \gamma\gamma$ DECAY WIDTH

V. V. Tarasov for PrimEx-D and GlueX collaborations

National Research Centre «Kurchatov Institute» (NRC «Kurchatov Institute»),
Moscow, Russia, 123192

Precision measurement of the $\eta \rightarrow \gamma\gamma$ decay width is essential for determining the fundamental parameters of QCD, such as the mass ratio of light quarks, the mixing angle $\eta-\eta'$, and studying the chiral symmetry breaking. Accurate, at the level of 3%, measurement of the $\eta \rightarrow \gamma\gamma$ decay width will make it possible to proportionally reduce the uncertainties in the width of the remaining eta-meson decay modes, as well as resolve the existing discrepancy in the results between the collider and Primakoff experiments. In 2022, the final part of the experimental data-taking has been successfully finished. In my talk, I will update on the current status of the experimental data analysis.

СРАВНЕНИЕ МЕТОДОВ АНАЛИЗА НАПРАВЛЕННОГО И ЭЛЛИПТИЧЕСКОГО ПОТОКА ДЛЯ BiBi@9.2ГЭВ В ЭКСПЕРИМЕНТЕ MPD

В. В. Трошин

Национальный Исследовательский Ядерный Университет МИФИ,
115409, Москва, Каширское ш., 31, +7 495 788 5699, +7 499 324 7777, info@mephi.ru

Изучение свойств ядерной материи в области максимальной барионной плотности является одной из основных целей эксперимента MPD на будущей установке NICA. Среди важных наблюдаемых в этом исследовании – анизотропия импульса относительно плоскости реакции, характеризуемая коэффициентами анизотропного поперечного потока. Эта работа посвящена изучению различных методов анализа направленного и эллиптического потоков, таких как метод плоскости события, метод скалярных произведений, расчет по кумулянтам и метод смешанных гармоник. Исследование основано на моделировании столкновений Bi+Bi при энергии 9,2 ГэВ методом Монте-Карло, полученном с помощью генератора событий UrQMD с реалистичным откликом детектора MPD, смоделированным с помощью GEANT4.

METHODS COMPARISON FOR DIRECTED AND ELLIPTICAL FLOW ANALYSIS FOR BiBi@9.2GEV WITH THE MPD EXPERIMENT

V. Troshin

National Research Nuclear University MEPHI, 115409, Москва, Каширское ш., 31,
+7 495 788 5699, +7 499 324 7777, info@mephi.ru

Studying the properties of nuclear matter in the region of the maximum baryonic density is one of the main goals of the Multi Purpose Detector (MPD) experiment at the future NICA facility. Among the important observables in this study is momentum anisotropy relative to collision reaction

plane, characterised by anisotropic transverse flow coefficients. This work addresses the study of different methods for directed and elliptical flow analysis such as event plane, scalar product, cumulant and mixed-harmonic methods. The study is based on Monte Carlo simulations of Bi+Bi collisions at 9.2 GeV produced with the UrQMD event generator with realistic MPD detector response simulated with GEANT4.

ОПИСАНИЕ ПОСЛЕДНИХ ДАННЫХ НАДЕС КОЛЛАБОРАЦИИ О ВЗАИМОДЕЙСТВИЯХ π МЕЗОНОВ С ЯДРАМИ C И W ПРИ ЭНЕРГИИ 1.7 ГэВ В МОДЕЛЯХ Geant4

В. В. Ужинский¹, А. С. Галоян²

- 1) Лаборатория информационных технологий, Объединенный институт ядерных исследований, г. Дубна, Московская обл., 141980, Россия
- 2) Лаборатория физики высоких энергий, Объединенный институт ядерных исследований, г. Дубна, Московская обл., 141980, Россия

Недавно коллаборация NADES опубликовала экспериментальные данные о взаимодействиях, указанных в названии. А именно, распределения π^+ и π^- мезонов, протонов, Λ гиперонов и K мезонов по быстрой и поперечным импульсам. Коллаборация сравнила свои данные с предсказаниями теоретических моделей – GiBUU и SMASH. В настоящей работе представлены предсказания адронных моделей пакета Geant4 для этих данных. Пакет программ Geant4 позволяет моделировать взаимодействия и прохождение различных частиц в различных материалах. Поэтому он широко используется при разработке экспериментов в физике частиц и для моделирования реакций детекторов на частицы. Пакет включает три модели внутриядерного каскада: модель внутриядерного каскада Бертини (BERT), бинарного каскада (BIN) и модель внутриядерного каскада Леже (INCL). Из высокоэнергетических моделей Geant4 рассматривается только модель Fritiof (FTF).

Показано, что предсказания GiBUU и BERT близки друг к другу и к экспериментальным данным. Также близки предсказания SMASH и BIN. Однако эти предсказания имеют меньшую точность. Более сложная ситуация имеет место с моделями INCL и FTF. Представленные детальные расчеты позволяют определить направление дальнейшего совершенствования моделей.

DESCRIPTION OF THE LATEST DATA BY THE NADES COLLABORATION ON π MESON INTERACTIONS WITH C AND W NUCLEI AT THE ENERGY 1.7 GeV IN GEANT4 MODELS

V. V. Uzhinsky¹, A. S. Galoyan²

- 1) Laboratory of information technologies, Joint institute for nuclear research, Dubna, Moscow reg. 141980, Russia
- 2) Laboratory of high energy physics, Joint institute for nuclear research, Dubna, Moscow reg. 141980, Russia

Recently, the NADES collaboration has published experimental data on the interactions pointed in the title. Namely, there were distributions of π^+ and π^- mesons, protons, Λ hyperons and K mesons on rapidities and transvers momenta. The collaboration compared their data with predictions of theoretical models – GiBUU and SMASH. Predictions of Geant4 hadronic models for the data are presented in the paper. The Geant4 package allows to simulate interactions and penetrations of various particles in various materials. Thus, it is widely used at design of experiments in particle physics and at simulations of detector responses for the particles. The package includes three intra-nuclear cascade models: the Bertini intra-nuclear cascade model (BERT), the binary cascade model (BIN) and the

Liège intranuclear cascade model (INCL). Only the Fritiof model (FTF) among Geant4 high energy models is considered.

It is shown that predictions of GiBUU and BERT are close to each other and to the experimental data. Predictions of SHMASH and BIN are also close. However, the last predictions are less accurate. More complicated situation takes place with INCL and FTF models. Presented detailed calculations allow to determine a direction of further improvements of the models.

ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ СОЛНЕЧНЫХ НЕЙТРИНО С ЯДРАМИ ТЕЛЛУРА 128 И 130

Ю. С. Лютостанский¹, А. Н. Фазлиахметов^{1,2,3}, Б. К. Лубсандоржиев²,
Н. А. Белогорцева¹, Г. А. Коротеев^{1,2,3}, А. Ю. Лютостанский¹, В. Н. Тихонов¹

¹Национальный исследовательский центр “Курчатовский институт”, 123182 Россия, Москва, пл. Академика Курчатова, д. 1, +7 (499) 196–95–39, nrcki@nrcki.ru.

²Институт ядерных исследований Российской Академии наук, 117312, Москва, проспект 60-летия Октября, 7а., 8(499)135-77-60, inr@inr.ru.

³Московский физико-технический институт (Национальный исследовательский университет), 141701, Московская область, г. Долгопрудный, Институтский переулок, д. 9, +7 (495) 408-42-54, info@phystech.edu.

Для моделирования процессов взаимодействия нейтрино с атомными ядрами необходимо рассчитывать структуру зарядово-обменной силовой функции $S(E)$. Силовая функция $S(E)$ имеет резонансный характер, который наблюдается практически во всех реакциях перезарядки [1–3] и проявляется, в основном, в виде гигантского гамов-теллеровского резонанса (GTR), аналогового резонанса и низколежащих пигми резонансов (PR). Резонансный характер зарядово-обменной силовой функции $S(E)$ может существенно влиять на результаты теоретических расчетов сечений реакций захвата нейтрино атомными ядрами $\sigma(E_\nu)$ [4,5].

В работе представлены зарядово-обменные силовые функции $S(E)$ изотопов ^{128,130}Te. Проанализированы, как экспериментальные данные по силовым функциям $S(E)$, полученные в реакциях (³He, *t*) [6], так и силовые функции $S(E)$, рассчитанные в микроскопической теории конечных Ферми-систем [7]. Исследована резонансная структура силовой функции $S(E)$, выделены гамов-теллеровский и пигми-резонансы. Исследовалось влияние резонансной структуры $S(E)$ на рассчитываемое сечение захвата солнечных нейтрино $\sigma(E_\nu)$ и на скорость захвата солнечных нейтрино R (число поглощенных нейтрино за единицу времени). Отмечено, что резонансная структура силовой функции $S(E)$ имеет определяющее значение для расчета и анализа процесса захвата нейтрино атомными ядрами.

Обсуждается также возможность использования этих изотопов теллура в нейтринных экспериментах следующего поколения, в частности, в проекте Большого баксанского нейтринного телескопа [8].

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 20-32-90059/20 и при поддержке гранта Отделения нейтринных процессов НИЦ “Курчатовский институт”.

Список литературы

1. D. Frekers and M. Alanssari, Eur. Phys. J. A 54 (2018) 177.
2. Yu. S. Lutostansky, EPJ Web Conf. 194 (2018) 02009.
3. Yu. S. Lutostansky, Phys. At. Nucl. 82 (2019) 528.
4. Yu. S. Lutostansky, V. N. Tikhonov, Phys. At. Nucl. 81 (2018) 540.
5. Yu. S. Lutostansky, A. P. Osipenko, V. N. Tikhonov, Bull. Russ. Acad. Sci. Phys. 83 (2019) 488.
6. P. Puppe et al., Phys. Rev. C 86, 044603 (2012).
7. A. B. Migdal, Theory of Finite Fermi Systems and Applications to Atomic Nuclei (Nauka, Moscow, 1983, 2nd ed.; Interscience, New York, 1967, transl 1st ed.).
8. N. Ushakov et al., PoS ICRC2021 1188 (2021).

INTERACTION OF SOLAR NEUTRINOS WITH TELLURIUM 128 AND 130 NUCLEI

Yu. S. Lutostansky¹, A. N. Fazliakhmetov^{1,2,3}, B. K. Lubsandorzhev²,
N. A. Belogortseva¹, G. A. Koroteev^{1,2,3}, A. Yu. Lutostansky¹, V. N. Tikhonov¹

¹National Research Center Kurchatov Institute, 1 Kurchatov Square, 123182 Moscow,
+7 (499) 196-95-39, nrcki@nrcki.ru.

²Institute for Nuclear Research, Russian Academy of Sciences, prospekt 60-letiya Oktyabrya 7a,
Moscow 117312, 8(499)135-77-60, inr@inr.ru.

³Moscow Institute of Physics and Technology (National Research University), 9 Institutskiy per.,
Dolgoprudny, Moscow Region, 141701, Russian Federation, +7 (495) 408-42-54, info@phystech.edu.

For modeling the processes of interaction of neutrinos with atomic nuclei, it is necessary to calculate the structure of the charge-exchange strength function $S(E)$. The strength function $S(E)$ has a resonance nature, which is observed practically in all charge-exchange reactions [1–3] and appears mainly as a giant Gamow-Teller resonance (GTR), analog resonance (AR), and low-lying pigmy resonances (PR). The resonance nature of the charge-exchange strength function $S(E)$ can significantly affect the results of theoretical calculations of neutrino capture cross-sections by atomic nuclei $\sigma(E_\nu)$ [4, 5].

This work presents the charge-exchange strength functions $S(E)$ of isotopes ^{128}Te and ^{130}Te . Both experimental data on the charge-exchange strength functions $S(E)$ obtained in (^3He , t) reactions [6] and the $S(E)$ strength functions calculated in the microscopic theory of finite Fermi-systems [7] are analyzed. The resonance structure of the strength function $S(E)$ is investigated, and the Gamow-Teller, analog and pigmy resonances are distinguished. The effect of the resonance structure $S(E)$ on the calculated solar neutrino capture cross section $\sigma(E_\nu)$ and on the solar neutrino capture rate R (number of absorbed neutrinos per unit time) was studied. It is noted that the resonance structure of the strength function $S(E)$ is of decisive importance for the calculation and analysis of the process of neutrino capture by atomic nuclei.

The possibility of using these tellurium isotopes in next-generation neutrino experiments is also discussed, in particular in the Baksan Large Neutrino Telescope project [8].

This work was supported by the grant from Russian Foundation for Basic Research (project No. 20-32-90059/20) and by the grant from the Department of Neutrino Processes at National Research Center “Kurchatov Institute”.

References

1. D. Frekers and M. Alanssari, Eur. Phys. J. A 54 (2018) 177.
2. Yu. S. Lutostansky, EPJ Web Conf. 194 (2018) 02009.
3. Yu. S. Lutostansky, Phys. At. Nucl. 82 (2019) 528.
4. Yu. S. Lutostansky, V. N. Tikhonov, Phys. At. Nucl. 81 (2018) 540.
5. Yu. S. Lutostansky, A. P. Osipenko, V. N. Tikhonov, Bull. Russ. Acad. Sci. Phys. 83 (2019) 488.
6. P. Puppe et al., Phys. Rev. C 86, 044603 (2012).
7. A. B. Migdal, Theory of Finite Fermi Systems and Applications to Atomic Nuclei (Nauka, Moscow, 1983, 2nd ed.; Interscience, New York, 1967, transl 1st ed.).
8. N. Ushakov et al., PoS ICRC2021 1188 (2021).

КОСМОЛОГИЧЕСКИЕ СЛЕДСТВИЯ ДЛЯ МЕХАНИЗМА КАЧЕЛЕЙ ТИПА I НЕМИНИМАЛЬНОГО ПРИБЛИЖЕНИЯ РАСШИРЕНИЯ СМ ТРЕМЯ ПОКОЛЕНИЯМИ ПРАВЫХ НЕЙТРИНО

М. Н. Дубинин, Е. Ю. Федотова

Научно-исследовательский институт ядерной физики имени Д. В. Скобельцына
Московского государственного университета имени М. В. Ломоносова
119991, Ленинские горы, 1, Москва, Россия
Тел.: +7 495 939 23 93
fedotova@theory.sinp.msu.ru

Расширение Стандартной Модели физики частиц (СМ) тремя поколениями тяжелых правых лептонов является наиболее естественным расширением СМ, поскольку восстанавливает симметрию между правыми и левыми нейтрино, не требует введения новых физических принципов и симметрий, может не содержать больших электрослабых энергетических масштабов, а также способно объяснить основные трудности СМ, к которым относятся наличие осцилляций нейтрино и их масс, наблюдение барионной асимметрии Вселенной, существование темной материи. В настоящее время теоретический анализ проводится в приближении $M_D \ll M_M$, где M_D , M_M – дираковская и майорановская матрицы нейтрино, соответственно. Однако механизм качелей типа I может реализовываться и при менее строгом условии, что приводит к необходимости учета дополнительных вкладов в представлении для наблюдаемых. В работе рассматривается неминимальное приближение механизма качелей типа I в модели с тремя тяжелыми лептонами, для которого получены соответствующие уточненные представления для эффективных массовых матриц в секторе нейтрино, представление для матрицы смешивания (характеризующей экспериментально анализируемый параметр смешивания), нетривиальное оригинальное требование для соответствующей параметризующей матрицы. Как правило, в рамках теоретического анализа выбор параметризующей матрицы произволен. В работе обсуждается классификация таких матриц и общие методы нахождения параметризующей матрицы в неминимальном приближении. В предположении, что один из тяжелых лептонов является частицей темной материи проанализированы существующие космологические и астрофизические ограничения в рамках стандартного и неминимального приближения механизма качелей типа I, даны оценки точности предсказаний в случае неминимального приближения, выявлены явления и модельные режимы, в которых учет дополнительных вкладов становится существенным.

COSMOLOGICAL CONSEQUENCES FOR THE NON-MINIMAL APPROXIMATION OF TYPE-I SEESAW IN THE SM EXTENSION BY THREE GENERATIONS OF RIGHT-HANDED NEUTRINOS

M. N. Dubinin, E. Yu. Fedotova

Skobeltsyn Institute of Nuclear Physics, Lomonosov Moscow State University
119991, Leninskie gory, 1, Moscow, Russia
+7 495 939 23 93
fedotova@theory.sinp.msu.ru

The model with three generations of right-handed neutrino is the most natural extension of Standard Model of particle physics (SM) since it restores symmetry between right and left neutrinos, require no new physical principles and symmetries, and may not contain large electroweak energy scales. Besides, it can also explain the main difficulties of the SM, which include the presence of neutrino oscillations and their masses, the observation of the baryon asymmetry of the Universe, and the existence of dark matter (DM). Currently, the theoretical analysis is carried out in the approximation $M_D \ll M_M$, where M_D , M_M are Dirac and Majorana neutrino matrices, respectively.

However, the type-I seesaw mechanism can also be implemented under a less strict condition, which leads to take into account additional contributions to the representations for the observables. A non-minimal approximation of the type-I seesaw mechanism in a model with three heavy leptons is considered. We have obtained the corresponding representations for effective mass matrices in the neutrino sector, a representation for the mixing matrix, and a non-trivial original requirement for the corresponding parametrizing matrix. As a rule, the choice of a parametrizing matrix is arbitrary. The classification of such matrices and general methods for finding them in a non-minimal approximation are discussed. Assuming that one of the heavy leptons is a DM particle, the existing cosmological and astrophysical data within the framework of the standard and non-minimal approximation of the type-I seesaw are analyzed; estimates of the accuracy of predictions in the case of non-minimal approximation are given; phenomena and model regimes in which additional contributions become essential are specified.

НАРУШЕНИЕ CP-ИНВАРИАНТНОСТИ В ПРЕДЕЛЕ НАСТРОЙКИ СВЯЗЕЙ ХИГГСОВСКОГО СЕКТОРА ДДМ И МССМ

М. Н. Дубинин, Е. Ю. Федотова

Научно-исследовательский институт ядерной физики имени Д. В. Скобельцына
Московского государственного университета имени М. В. Ломоносова
119991, Ленинские горы, 1, Москва, Россия
Тел.: +7 495 939 23 93
fedotova@theory.sinp.msu.ru

Существующие экспериментальные данные свидетельствуют о том, что свойства наблюдаемого бозона Хиггса близки с предсказаниям Стандартной Модели физики частиц (СМ). Точность измерений констант связи наблюдаемого бозона Хиггса с частицами СМ, соответствующая на сегодняшний момент 5–33 %, непрерывно повышается. В частности, активно ведутся поиски эффектов, нарушающих CP-симметрию в секторе Хиггса, которые могли бы наблюдаться в расширениях СМ за счет наличия дополнительных источников CP-нарушения. Расширение сектора Хиггса дополнительным дублетом (ДДМ) после спонтанного нарушения электрослабой симметрии приводит к наличию пяти бозонов Хиггса: в случае CP-нарушения трех нейтральных упорядоченных по массе состояний h_1, h_2, h_3 и двух заряженных скаляров H^\pm . Обсуждаются различные возможности ассоциации наблюдаемого бозона Хиггса с одним из нейтральных скаляров, среди которых наиболее вероятным кандидатом считается h_1 . Константы связи h_1 с частицами СМ (y) должны при этом удовлетворять пределу настройки связей (alignment limit), согласно которому $y_{\text{ДДМ}} / y_{\text{СМ}} \approx 1$. Нарушение CP-инвариантности в хиггсовском секторе ДДМ [и ее частного случая – минимальной суперсимметрии (МССМ)] может быть обусловлено наличием комплексных констант связи в хиггсовском потенциале (явное нарушение) и/или наличием комплексных фаз разворота хиггсовских дублетов и вакуумных ожиданий (спонтанное нарушение). В рамках моделей ДДМ и МССМ в наиболее общем виде, а также в приближении разложения хиггсовского потенциала до операторов размерности «четыре» по полям получены соотношения, гарантирующие существование предела настройки связей. Установлено, что существуют две возможности реализации предела настройки связей: 1) наличие требования для углов смешивания в секторе Хиггса $\beta - \alpha \approx \pi / 2$, совпадающее со случаем CP-сохранения, с дополнительными условиями и 2) отсутствие предела отщепления, т. е. существование масс всех хиггсовских бозонов на электрослабой шкале. Численные оценки позволили выделить характерные режимы моделей и получить области пространства параметров, не противоречащие современным экспериментальным данным.

M. N. Dubinin, E. Yu. Fedotova

Skobeltsyn Institute of Nuclear Physics, Lomonosov Moscow State University
119991, Leninskie gory, 1, Moscow, Russia
+7 495 939 23 93
fedotova@theory.sinp.msu.ru

The existing experimental data indicate that the properties of the observed Higgs boson are close to the predictions of the Standard Model of particle physics (SM). The accuracy of measurements of the couplings of the observed Higgs boson with SM particles is of 5–33 % and is continuously increasing. In particular, the effects that violate CP symmetry in the Higgs sector due to the presence of additional sources of CP violation in SM extensions could be observed. The extension of the Higgs sector by an additional doublet (THDM) contains five Higgs bosons: three neutral mass-ordered states h_1, h_2, h_3 and two charged scalars H^\pm in the case of CP violation. Various possibilities of identification of the observed Higgs boson as a neutral scalar are discussed, among which h_1 is considered as the most likely candidate. Then the coupling constants of h_1 with SM particles (y) must satisfy the alignment limit, according which $y_{THDM} / y_{SM} \approx 1$. Violation of CP-invariance in the Higgs sector of the THDM [and in its particular case – minimal supersymmetry (MSSM)] may be caused by the presence of complex couplings in the effective Higgs potential (explicit CP violation) and/or the presence of complex phases of Higgs doublets and vacuum expectations (spontaneous CP violation). We have obtained the relations that guarantee the realization of the alignment limit within the framework of the THDM and MSSM in the general form and in the Higgs potential expansion up to dimension-four operators. The analysis of the alignment limit leads to two possibilities for its realization: i) there is a requirement for mixing angles in the Higgs sector $\beta - \alpha \approx \pi/2$ coinciding with the CP-conserving limit with additional conditions, and ii) there is non-decoupling limit, i.e. the masses of all Higgs bosons are of the electroweak scale, with non-trivial requirements. We have identified the model regimes and the allowed parameter space that do not contradict modern experimental data.

ЭФФЕКТЫ ЛЕГКИХ СТЕРИЛЬНЫХ НЕЙТРИНО В ПРОЦЕССАХ С УЧАСТИЕМ ЭЛЕКТРОННЫХ И МЮОННЫХ НЕЙТРИНО

В. В. Хрущев¹, С. В. Фомичев¹

¹ Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт», Москва, 123182 Россия
Тел. 8-499-196-9637, e-mail: vkhru@yandex.ru

Стерильные нейтрино с разными массами могут участвовать в астрофизических и космологических процессах, в том числе за счет смешивания с активными нейтрино [1]. В докладе рассматриваются эффекты смешивания активных и стерильных нейтрино с массами порядка 1 эВ и менее. Для процессов осцилляций с участием электронных и мюонных нейтрино, а также процессов бета-распада и безнейтринного двойного бета-распада, вычислены вклады легких стерильных нейтрино в характеристики рассматриваемых процессов. При этом произведены оценки параметров смешивания в модели с тремя активными и тремя стерильными нейтрино [2, 3] с учетом экспериментальных данных, относящихся к проверке галлиевой, ускорительной и реакторной аномалий на малых расстояниях от источников нейтрино [4–7]. Подробно исследованы два случая распределения по массам легких стерильных нейтрино. Полученные результаты могут быть использованы для интерпретации имеющихся экспериментальных и астрофизических наблюдательных результатов и предсказания последующих данных.

Список литературы

1. Abazajian K. N. Neutrinos in astrophysics and cosmology // arXiv: 2102.10183 [hep-ph]. 2021. P. 1–45.
2. Khruschov V. V., Fomichev S. V. Oscillations of active neutrinos at short baseline in the model with three decaying sterile neutrinos // Universe. 2022. V. 8. # 97. P. 1–13.
3. Khruschov V. V., Fomichev S. V. Active and sterile neutrino oscillations inside the Sun in a phenomenological (3+1+2)-model // arXiv: 1310.5817v3 [hep-ph]. 2015. P. 1–7.
4. Barinov V. V., Cleveland B. T., Danshin S. N. *et al.* Results from the Baksan Experiment on Sterile Transitions (BEST) // Phys. Rev. Lett. 2022. V. 128. # 232501. P. 1–7.
5. Alekseev I., Belov V., Brudanin V. *et al.* Search for sterile neutrinos at the DANSS experiment // Phys. Lett. B. 2018. V. 787. P. 56–63.
6. Serebrov A. P., Samoilov R. M., Ivochkin V. G. *et al.* Search for sterile neutrinos with the Neutrino-4 experiment and measurement results // Phys. Rev. D. 2021. V. 104. # 032003. P. 1–37.
7. Acero M. A., Arguelles C. A., Hostert M. *et al.* White paper on light sterile neutrino searches and related phenomenology // arXiv: 2203.07323 [hep-ex]]. 2022. P. 1–206.

LIGHT STERILE NEUTRINOS EFFECTS IN PROCESSES WITH ELECTRON AND MUON NEUTRINOS

V. V. Khruschov¹, S.V. Fomichev¹

¹ National Research Center “Kurchatov Institute”, Moscow, Russia, 123182
Tel. +7 499 196 9637, e-mail: vkhu@yandex.ru

Sterile neutrinos with various masses can participate in astrophysical and cosmological processes including mixing with active neutrinos [1]. Effects of mixing of active and sterile neutrinos with masses of the order or less than 1 eV are considered in this talk. For oscillation processes involving electron and muon neutrinos, as well as for beta decay and neutrinoless double beta decay processes, the contributions of light sterile neutrinos in characteristics of these processes are calculated. For this purpose estimates of mixing parameters in the model with three active and three sterile neutrinos [2, 3] are made taking into account experimental data concerning verification of gallium, accelerator and reactor neutrino anomalies at short distances from neutrino sources [4, 5, 6, 7]. Two cases of light sterile neutrinos masses distribution are investigated in detail. The results obtained can be used for interpretation of available experimental and astrophysical evidence results and also for predictions of subsequent data.

References

1. Abazajian K. N. Neutrinos in astrophysics and cosmology // arXiv: 2102.10183 [hep-ph]. 2021. P. 1–45.
2. Khruschov V. V., Fomichev S. V. Oscillations of active neutrinos at short baseline in the model with three decaying sterile neutrinos // Universe. 2022. V. 8. # 97. P. 1–13.
3. Khruschov V.V., Fomichev S.V. Active and sterile neutrino oscillations inside the Sun in a phenomenological (3+1+2)-model // arXiv: 1310.5817v3 [hep-ph]. 2015. P. 1–7.
4. Barinov V.V., Cleveland B.T., Danshin S.N. *et al.* Results from the Baksan Experiment on Sterile Transitions (BEST) // Phys. Rev. Lett. 2022. V. 128. # 232501. P. 1–7.
5. Alekseev I., Belov V., Brudanin V. *et al.* Search for sterile neutrinos at the DANSS experiment // Phys. Lett. B. 2018. V. 787. P. 56–63.
6. Serebrov A. P., Samoilov R. M., Ivochkin V. G. *et al.* Search for sterile neutrinos with the Neutrino-4 experiment and measurement results // Phys. Rev. D. 2021. V. 104. # 032003. P. 1–37.
7. Acero M. A., Arguelles C. A., Hostert M. *et al.* White paper on light sterile neutrino searches and related phenomenology // arXiv: 2203.07323 [hep-ex]. 2022. P. 1–206.

ВЛИЯНИЕ ЛЕПТОННОЙ АСИММЕТРИИ И СТЕРИЛЬНЫХ НЕЙТРИНО НА ПЕРВИЧНЫЙ НУКЛЕОСИНТЕЗ

А. А. Щепкин^{1,2*}, А. В. Иванчик^{1,2}

¹Физико-технический институт имени А.Ф. Иоффе РАН

²Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

*alexander.shchepkin5@gmail.com

Стандартная модель первичного нуклеосинтеза ставит ограничение на количество типов нейтрино ($N_\nu = 3,0 \pm 0,2$) [1] и на лептонную асимметрию - несовпадение концентраций нейтрино и антинейтрино во Вселенной $L_\nu = (n_\nu - n_{\bar{\nu}})/n_\gamma$, которая выражается через параметр $\xi_\nu = \mu_\nu/kT_\nu \leq 0,1$ [2], где μ_ν – химический потенциал нейтрино. Введение дополнительных типов нейтрино в этой модели увеличивает массовую долю первичного гелия-4 Y_p , что перестаёт согласоваться с результатами наблюдений. Однако увеличение параметра ξ_ν приводит к уменьшению Y_p , в результате чего два этих эффекта могут скомпенсировать друг друга. В данной работе была рассчитана массовая доля первичного гелия-4 как функция N_ν и асимметрии электронных нейтрино ξ_e . Поскольку Y_p наиболее чувствительна к лептонной асимметрии, то именно она и определяет значение ξ_e , соответствующее $N_\nu = 4$ (существование стерильных нейтрино). По результатам расчётов $\xi_e = 0,056 \pm 0,001$, что согласуется с другими оценками данного параметра [3,4].

Список литературы

1. Kurichin O. A., et al.: A new determination of the primordial helium abundance using the analyses of H II region spectra from SDSS // MNRAS. 2021. Vol. 502. P. 3045–3056.
2. Simha V., Steigman G.: Constraining the universal lepton asymmetry // Journal of Cosmology and Astroparticle Physics. 2008. Vol. 08. – 011.
3. Serpico P.D., Raffelt G.G.: Lepton asymmetry and primordial nucleosynthesis in the era of precision cosmology // Phys. Rev. D. 2005. Vol. 71. – 127301.
4. Escudero M., Ibarra A., Maura V.: Primordial lepton asymmetries in the precision cosmology era: Current status and future sensitivities from BBN and the CMB // Phys. Rev. D. 2023. Vol. 107. – 035024.

THE EFFECTS OF LEPTON ASYMMETRY AND STERILE NEUTRINOS ON THE BIG BANG NUCLEOSYNTHESIS

А. А. Shchepkin^{1,2*}, А. В. Ivanchik^{1,2}

¹ Ioffe Institute, 194021, 26 Politekhnikeskaya st., St. Petersburg

²Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University

*alexander.shchepkin5@gmail.com

The standard model of the Big Bang Nucleosynthesis constrains the number of neutrino types ($N_\nu = 3,0 \pm 0,2$) [1] and the lepton asymmetry – the mismatch between the neutrino and antineutrino density in the Universe $L_\nu = (n_\nu - n_{\bar{\nu}})/n_\gamma$, which can be expressed with the parameter $\xi_\nu = \mu_\nu/kT_\nu \leq 0,1$ [2], where μ_ν is a chemical potential of neutrino. The addition of extra neutrino kinds in this model leads to the increase in the mass ratio of the primordial helium-4 abundance Y_p , that is not in agreement with its observational value. However, the increase in ξ_ν makes Y_p go down, therefore both these effects can compensate each other. In this work the primordial helium-4 abundance Y_p has been calculated as a function of N_ν and electron neutrino asymmetry parameter ξ_e . Since Y_p strongly depends on ξ_e , it determines ξ_e appropriate to $N_\nu = 4$ (the existence of sterile neutrino). According to our calculations, the best fit value of the lepton asymmetry is $\xi_e = 0,056 \pm 0,001$, which is in agreement with the previous estimations of this parameter [3, 4].

References

1. Kurichin O. A., et al.: A new determination of the primordial helium abundance using the analyses of H II region spectra from SDSS // MNRAS. 2021. Vol. 502. P. 3045–3056.
2. Simha V., Steigman G.: Constraining the universal lepton asymmetry // Journal of Cosmology and Astroparticle Physics. 2008. Vol. 08. – 011.
3. Serpico P. D., Raffelt G. G.: Lepton asymmetry and primordial nucleosynthesis in the era of precision cosmology // Phys. Rev. D. 2005. Vol.71. - 127301.
4. Escudero M., Ibarra A., Maura V.: Primordial lepton asymmetries in the precision cosmology era: Current status and future sensitivities from BBN and the CMB // Phys. Rev. D. 2023. Vol. 107. – 035024.