






MPНТИ 29.05.29

<https://doi.org/10.26577/RCPH.2021.v78.i3.09>

**А.И. Федосимова\*** , **И.А. Лебедев** , **Е.А. Дмитриева** ,  
**С.А. Ибраимова** , **Е.А. Бондарь** , **П.М. Красовицкий** 

Satbayev University, Физико-технический институт, Казахстан, г. Алматы

Институт ядерной физики, Казахстан, г. Алматы

\*e-mail: ananastasia@list.ru

## ОСОБЕННОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ СОБЫТИЙ ПО МНОЖЕСТВЕННОСТИ ВТОРИЧНЫХ ЧАСТИЦ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ЭНЕРГИИ СТОЛКНОВЕНИЯ И АССИМЕТРИЧНОСТИ СТАЛКИВАЮЩИХСЯ РЕЛЯТИВИСТСКИХ ЯДЕР

Для поиска сигналов фазового перехода вещества из адронного состояния в кварк-глюонную плазму исследуются взаимодействия с экстремальными характеристиками. Проведено исследование зависимости средней множественности от энергии налетающего ядра для ядер серы и кремния с энергиями 3.7 АГэВ, 14 АГэВ и 200 АГэВ. Экспериментальные данные неупругих взаимодействий с ядрами эмульсии NIKFI BR-2 получены на SPS в CERN и на Синхрофазотроне в ОИЯИ. Для учета флуктуаций начальных условий ядро-ядерного взаимодействия события были разделены на центральные и периферические. Приведен сравнительный анализ средней множественности с тяжелыми и легкими ядрами фотоэмульсии. Коэффициент увеличения множественности имеет почти прямолинейный рост от энергии (на логарифмической оси) для всех событий, за исключением центральных взаимодействий ядер серы с тяжелыми ядрами фотоэмульсии при 200 АГэВ. Данные события являются событиями взрывного типа, которые дают поток вторичных частиц в узком интервале средней псевдобыстроты и существенно смещенным в сторону низких значений  $\langle \eta \rangle$ . Представлен анализ событий полного разрушения ядра снаряда. Такие события рассматриваются как события, в которых созданы наиболее благоприятные условия для образования кварк-глюонной плазмы.

**Ключевые слова:** множественность вторичных частиц, псевдобыстротные распределения, ядерные эмульсии, неупругие взаимодействия ядер.

A.I. Fedosimova \*, I.A. Lebedev, E.A. Dmitriyeva,

S.A. Ibraimova, E.A. Bondar, P.M. Krassovitskiy

Satbayev University, Institute of Physics and Technology, Kazakhstan, Almaty

Institute of Nuclear Physics, Kazakhstan, Almaty

\*e-mail: ananastasia@list.ru

### Features of the distribution of events by the multiple of secondary particles depending on the energy of collision and the assymetricity of colliding relativistic nuclei

To search for signals of the phase transition of matter from the hadronic state to the quark-gluon plasma, interactions with extreme characteristics are studied. The study of the dependence of the average multiplicity on the projectile energy for sulfur and silicon nuclei with energies of 3.7 AGeV, 14 AGeV, and 200 AGeV has been carried out. Experimental data on inelastic interactions with the nuclei of the NIKFI BR-2 emulsion obtained at the SPS at CERN and at the Synchrophasotron at JINR. To take into account fluctuations in the initial conditions of the nucleus-nucleus interaction, the events were divided into central and peripheral ones. A comparative analysis of the average multiplicity with heavy and light nuclei of the photographic emulsion is presented. The multiplicity increase factor has an almost linear increase in energy (on the logarithmic axis) for all events, except for the central interactions of sulfur nuclei with heavy emulsion nuclei at 200 AGeV. These events are explosive events, which give a flux of secondary particles in a narrow range of average pseudo-rapidity and significantly shifted towards low values  $\langle \eta \rangle$ . The analysis of events of complete destruction of the projectile nucleus is presented. Such events are considered as events in which the most favorable conditions are created for the formation of a quark-gluon plasma.

**Key words:** multiplicity of secondary particles, pseudo-rapidity distributions, nuclear emulsions, inelastic interactions of nuclei.

А.И. Федосимова\*, И.А. Лебедев, Е.А. Дмитриева,  
С.А. Ибраимова, Е.А. Бондарь, П.М. Красовицкий  
Satbayev University, Физика-техникалық институты, Қазақстан, Алматы қ.  
Ядролық физика институты, Қазақстан, Алматы қ.  
\*e-mail: ananastasia@list.ru

### **Соқтығысу энергиясына және соқтығысатын релятивистік ядролардың асимметриясына байланысты қайталама бөлшектердің көптігі бойынша оқиғалардың таралу ерекшеліктері**

Заттың адрондық күйден кварк-глюон плазмасына фазалық ауысу сигналдарын іздеу үшін экстремалды сипаттамалармен өзара әрекеттесу зерттеледі. 3.7 АГэВ, 14 АГэВ және 200 АГэВ энергиялары бар күкірт және кремний ядролары үшін ұшатын ядро энергиясына орташа көптіктің тәуелділігін зерттеу жүргізілді. NIKFI BR-2 эмульсиясының ядроларымен өзара әрекеттесудің эксперименттік деректері CERN-де SPS-те және ОИЯИ-де Синхрофазотронда алынды. Ядро-ядролық өзара әрекеттесудің бастапқы жағдайларының ауытқуын есепке алу үшін оқиғалар орталық және перифериялық болып бөлінді. Фотоэмульсияның ауыр және жеңіл ядроларымен орташа көпшенің салыстырмалы талдауы келтірілген. Көбейту коэффициенті 200 АГэВ ауыр фотоэмульсия ядроларымен күкірт ядроларының орталық өзара әрекеттесуін қоспағанда, барлық оқиғалар үшін энергиядан (логарифмдік өсте) тікелей өсуге ие. Бұл оқиғалар – орташа псевдобыстроттың тар интервалында екінші реттік бөлшектердің ағынын беретін және  $\langle \eta \rangle$  төмен мәндеріне айтарлықтай ауысатын жарылғыш типтегі оқиғалар. Снаряд ядросының толық бұзылу оқиғаларына талдау ұсынылған. Мұндай оқиғалар кварк-глюон плазмасының пайда болуы үшін ең қолайлы жағдайлар жасалған оқиғалар ретінде қарастырылады.

**Түйін сөздер:** қайталама бөлшектердің көптігі, псевдобыстротты үлестірімдер, ядролық эмульсиялар, ядролардың серпімді емес өзара әрекеттесуі.

## **Введение**

Изучение свойств фазового перехода вещества из адронного состояния в кварк-глюонную плазму [1-3] является актуальной задачей для современной физики [4-6]. Для поиска сигналов фазового перехода исследуют взаимодействия с экстремальными характеристиками [7]. При ядро-ядерных взаимодействиях высоких энергий [8-11] образуется большое количество частиц, и множественность таких событий чрезвычайно важна для детального исследования характеристик процесса образования новых частиц [12,13]. Предполагается, что события полного разрушения ядра снаряда, в которых создаются благоприятные условия для образования кварк-глюонной плазмы, представляют собой центральные взаимодействия, в которых передается максимальная энергия налетающего ядра в область взаимодействия [14,15]. Для исследования особенностей распределения событий по множественности вторичных частиц [16,17] в зависимости от энергии столкновения были проанализированы события взаимодействия налетающего ядра с неподвижной мишенью [18].

## **Методика исследования**

В качестве мишени использовались легкие (CNO) и тяжелые (AgBr) ядра фотоэмульсии [19]. Эмульсионный метод является крайне информативным для изучения точки фазового перехода [20-23]. Были использованы следующие экспериментальные данные: 837 неупругих взаимодействий  $S+Em$  200 АГэВ [24-26] с ядрами эмульсии NIKFIBR-2, полученные на SPS в CERN и 924 неупругих взаимодействия  $S+Em$  3.7 АГэВ с ядрами эмульсии NIKFIBR-2, полученные на Синхрофазотроне в ОИЯИ (Дубна, Россия) [27,28].

## **Результаты и обсуждение**

Для понимания возможной связи особенностей множественного рождения и параметров фрагментации налетающего ядра были проанализированы распределения по множественности в зависимости от энергии взаимодействия [29,30].

На рисунке 1 представлены распределения по множественности ливневых частиц  $n_s$  в центральных событиях с полным разрушением на-

летающего ядра ( $N_f=0$ ) и событиях с одним многозарядным фрагментом во взаимодействиях  $S+Em200$  АГЭВ.

Как видно из рисунка 1 кроме ожидаемого роста множественности при высоких энергиях в событиях центрального типа с  $N_f=0$  появляется дополнительная составляющая. Распределение

событий по множественности представляет собой ясную двухгорбовую структуру, разделенную уровнем  $n_s=200$ . При этом вероятность событий высокой множественности (например, с  $n_s=400$ ) практически совпадает с вероятностью появления событий малой множественности (например, с  $n_s=40$ ).

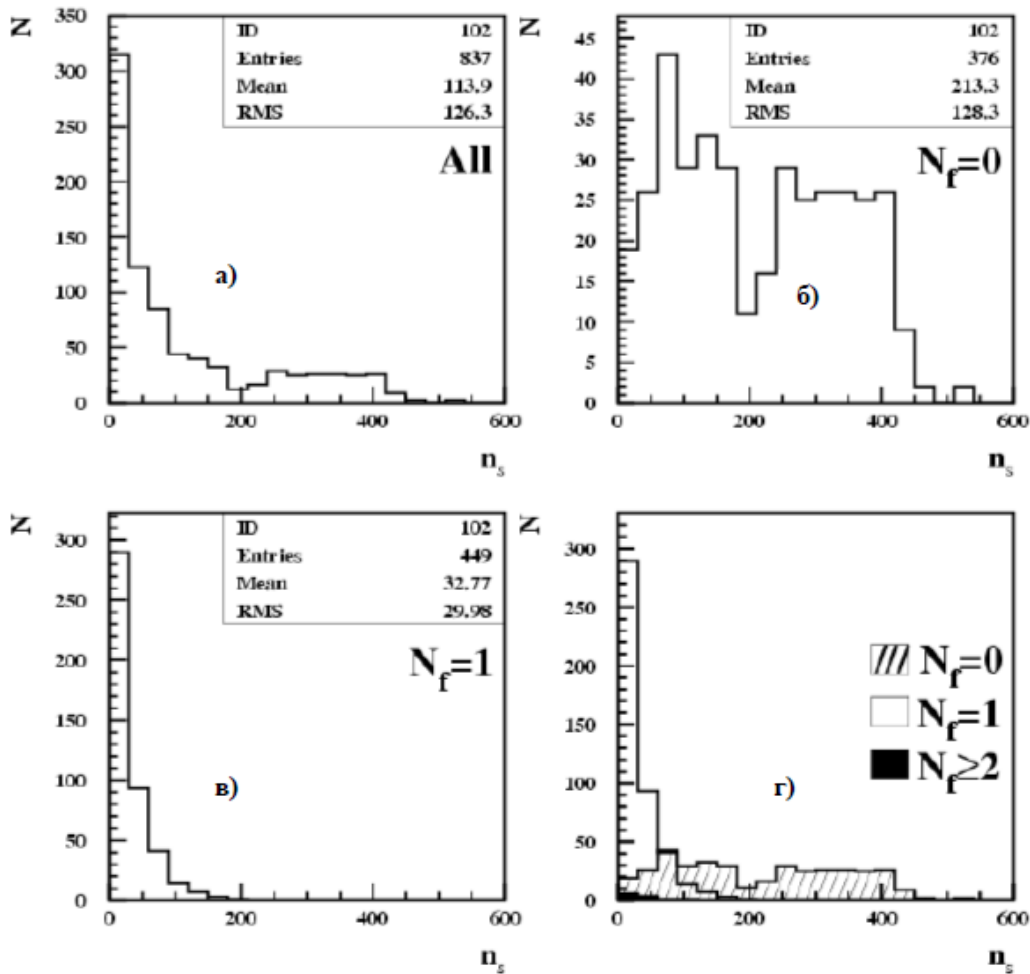


Рисунок 1 – Множественность  $n_s$  частиц для взаимодействий  $S+Em$  200 А ГЭВ с разным числом многозарядных фрагментов  $N_f$

Для исследования других отличительных особенностей таких событий проанализировано их среднее псевдобыстротное распределение [31], представленное на рисунке 2.

Для сравнения на всех рисунках 2 а), б), в) и г) наложен фит функцией Гаусса для полного распределения по средней псевдобыстроте ливневых частиц, нормированный на число событий, представленных на рисунке 2. Как видно из рисунка 2, распределение по средней

псевдобыстроте ливневых частиц в событиях с  $N_f=0$  и множественностью  $n_s > 200$  существенно отличается от других распределений, представленных на этом рисунке. Во-первых, это распределение значительно более узкое, чем другие распределения. Дисперсия распределения, представленного на рисунке 2 г), в 2.3 раза меньше дисперсии распределения, представленного на рисунке 2 в). Во-вторых, среднее значение распределения, представленного на

рисунке 2 г), существенно смещено в сторону низких значений  $\langle \eta \rangle$ .

Таким образом, в столкновениях  $S+Em$  при энергии 200 АГэВ с ядрами фотоэмульсии обнаружены события взрывного типа с высокой

множественностью, которые дают поток вторичных частиц в узком интервале средней псевдобыстроты и существенно смещенным в сторону низких значений  $\langle \eta \rangle$  (смещение в сторону больших углов).

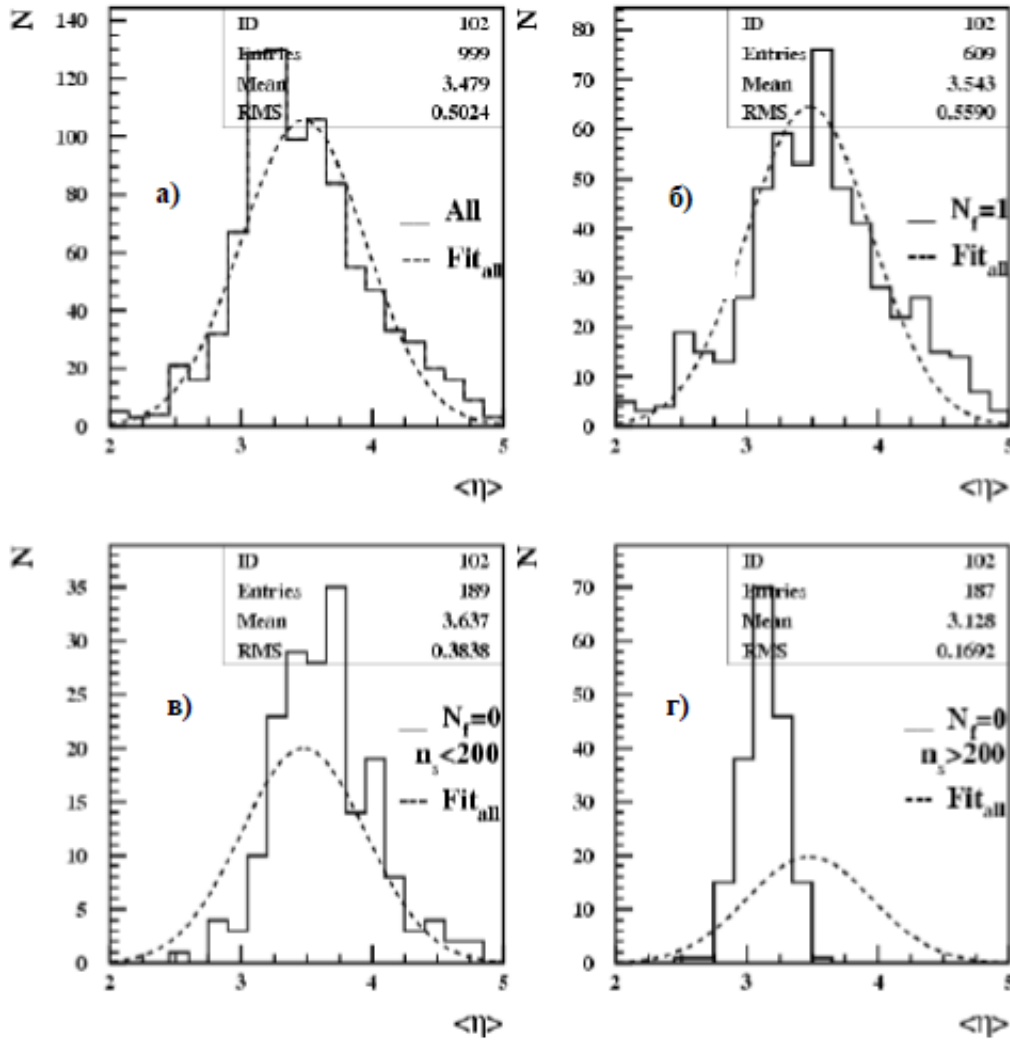


Рисунок 2 – Распределение по средней псевдобыстроте событий взаимодействия ядер серы S с энергией 200 АГэВ с ядрами фотоэмульсии для событий с разным числом многозарядных фрагментов  $N_f$

Для исследования зависимости средней множественности от энергии налетающего ядра на рисунке 3 построены распределения для серы и кремния с энергиями 3.7 АГэВ, 14 АГэВ и 200 АГэВ. Для учета флуктуаций начальных условий ядро-ядерного взаимодействия события были разделены на центральные и периферические.

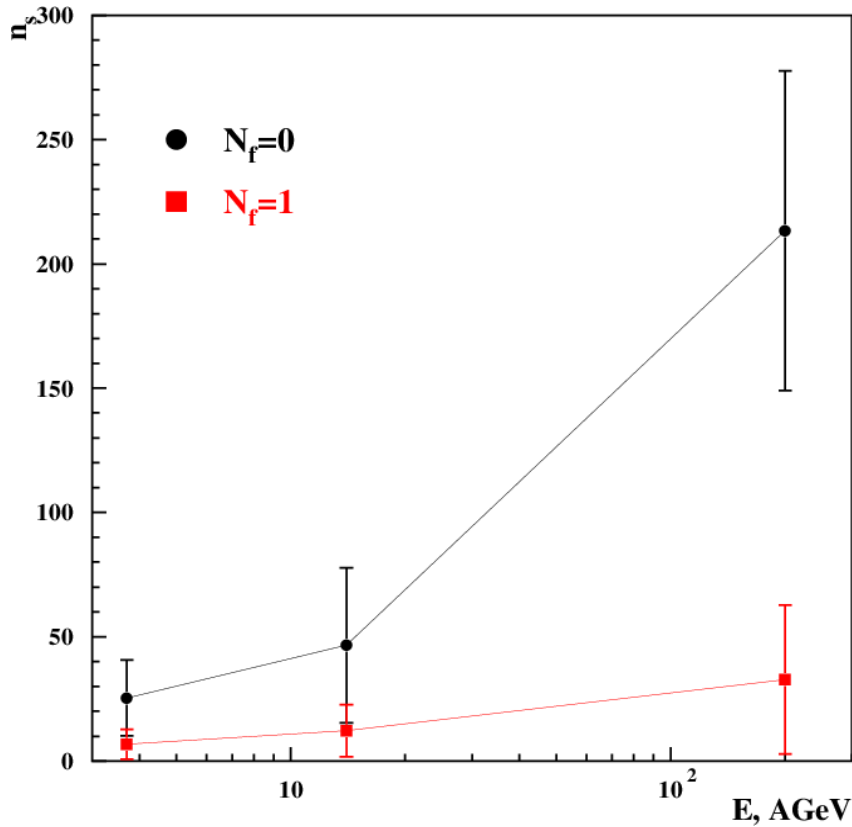
Как центральные взаимодействия рассматривались события, в которых отсутствуют много-

зарядные фрагменты ( $N_f=0$ ), как периферические взаимодействия рассматривались события с одним многозарядным фрагментом налетающего ядра ( $N_f=1$ ).

Из рисунка 3 видно, что с ростом энергии увеличивается средняя множественность вторичных частиц. Однако при больших энергиях  $S+Em$  200 АГэВ рост множественности вторичных частиц для центральных взаимодействий

намного больше, чем в событиях с периферическим взаимодействием ядер, что указывает на аномальный рост числа событий полного разрушения ядра-снаряда. Для взаимодействий

серы с энергией 3.7 АГэВ и для ядер кремния с энергией 14 АГэВ и для периферических и для центральных взаимодействий множественность ливневых частиц отличается примерно в 2 раза.



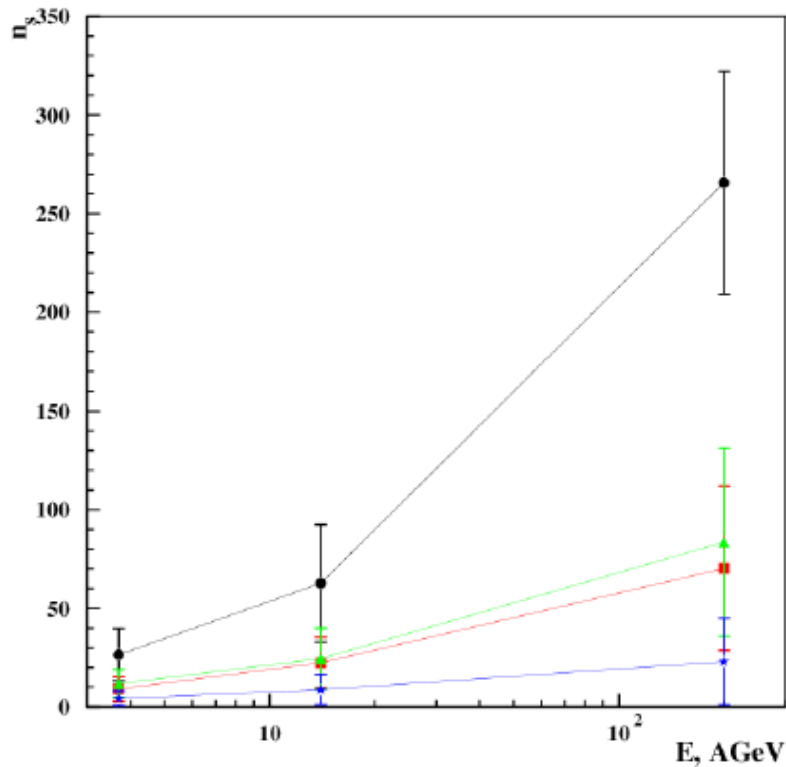
**Рисунок 3** – Зависимость средней множественности вторичных частиц  $n_s$  во взаимодействиях  $S+Em$  3.7 АГэВ,  $Si+Em$  14 АГэВ и  $S+Em$  200 АГэВ от энергии взаимодействия для событий полного разрушения налетающего ядра ( $N_f=0$ ) и событий с одним многозарядным фрагментом

Для взаимодействий  $S+Em$  200 АГэВ коэффициент увеличения множественности зависит от степени перекрытия ядер, для центральных взаимодействий  $C_m=8.4$ , а для периферических  $C_m=4.8$ .

Для понимания возможной связи асимметрии взаимодействующих ядер и особенностей аномально высокой множественности ливневых частиц на рисунке 5 представлена зависимость средней множественности вторичных частиц  $n_s$  во взаимодействиях  $S+Em$  3.7 АГэВ,  $Si+Em$  14 АГэВ и  $S+Em$  200 АГэВ от энергии взаимодействия для событий с различным числом фрагментов ядра мишени

$N_h$  и многозарядных фрагментов ядра снаряда  $N_f$ .

При сравнительном анализе средней множественности для взаимодействий ядер серы и кремния с тяжелыми и легкими ядрами фотоэмульсии, представленном на рисунке 4, обнаружена зависимость коэффициента увеличения множественности события от размера ядра-мишени. Коэффициент увеличения множественности  $C_m$  имеет почти прямолинейный рост от энергии (на логарифмической оси) для всех событий, за исключением центральных взаимодействий ядер серы с тяжелыми ядрами фотоэмульсии при 200 АГэВ.



Черные круги –  $N_f=0, N_h>8$ ; зеленые треугольники –  $N_f=0, N_h>8$ ;  
красные квадраты –  $N_f=1, N_h\leq 8$ ; синие звезды –  $N_f=1, N_h\leq 8$

**Рисунок 4** – Зависимость средней множественности вторичных частиц  $n_s$  во взаимодействиях S+Em 3.7 АГэВ, Si+Em 14 АГэВ и S+Em 200 АГэВ от энергии взаимодействия для событий с различным числом фрагментов ядра мишени  $N_h$  и многозарядных фрагментов ядра снаряда  $N_f$

Таким образом, множественность события существенно зависит от энергии взаимодействия и асимметрии ядро-ядерного взаимодействия.

### Заключение

С ростом энергии увеличивается средняя множественность вторичных частиц. Однако при больших энергиях S+Em 200 АГэВ рост множественности вторичных частиц для центральных взаимодействий намного больше, чем в событиях с периферическим взаимодействием ядер, что указывает на аномальный

рост числа событий полного разрушения ядра снаряда.

Распределение по средней псевдобыстроте таких событий существенно смещено в сторону низких значений  $\langle \eta \rangle$ , что свидетельствует о двух различных потоках частиц, направленных под различными углами.

### Благодарность

Исследование выполнено при финансовой поддержке Министерства Образования и Науки Республики Казахстан (грант № AP08855403, грант № AP09562078, грант № BR10965191).

### Литература

- 1 Scharenberg R.P., Srivastava B.K., Hirsch A.S., Pajares C. Hot Dense matter: deconfinement and clustering of color sources in nuclear collisions // Universe. – 2018. – Vol. 4(9). – 96.
- 2 Sahu D., Tripathy S., Pradhan G.S., Sahoo R. Role of event multiplicity on hadronic phase lifetime and QCD phase boundary in ultrarelativistic collisions at energies available at the BNL Relativistic Heavy Ion Collider and CERN Large Hadron Collider // Physical Review C. – 2020. – Vol. 101(1). – ID.014902.

- 3 Bernhard J.E., Moreland J.S., Bass S.A. Characterization of the initial state and QGP medium from a combined Bayesian analysis of LHC data at 2.76 and 5.02 TeV // *Nuclear physics A.* – 2017. – Vol.967. – P.293-296.
- 4 A.M. Syam Kumar, J.P.Prasanth, Vishnu M.Bannur Quark-gluon plasma phase transition using cluster expansion method // *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications.* – 2015. – Vol. 432. – P. 71-75.
- 5 Zhang X.B., Zhang Q.R. Zero-density phase transition to quark-gluon plasma and the relativistic finite baryon volume effect in hadronic matter // *Communications in Theoretical physics.* – 1999. – Vol. 32(4). – P. 575-582.
- 6 Ropke G. The physics of quark-gluon plasma and relativistic charged particle systems // *Contributions to Plasma Physics.* – 2003. – Vol. 43(5-6). – P. 350-354.
- 7 Alice Ohlson Investigating correlated fluctuations of conserved charges with net- $\Lambda$  fluctuations in Pb–Pb collisions at ALICE // XXVIIth International Conference on Ultrarelativistic Nucleus-Nucleus Collisions (Quark Matter 2018). // *Nuclear Physics A.* – 2019. – Vol. 982. – P. 299–302.
- 8 Bhattacharyya S., Haiduc M., Neagu A.T., Firu E. An investigation of projectile helium fragments in high-energy nucleus-nucleus interactions // *Canadian Journal of Physics.* – 2020. – Vol. 98(2). – P. 153-157.
- 9 Abdurakhmanov U., Gulamov K., Lugovoi V., Navotny V. Observation of gaussian pseudorapidity distributions for produced particles in proton-nucleus collisions at tevatron energies // *Advances in High Energy Physics.* – 2018. – Vol.2018. – ID.3098252.
- 10 Bhattacharyya S. Studies of asymmetric particle production in different multiplicity zones in azimuthal space in high energy nucleus-nucleus interactions // *Canadian Journal of Physics.* – 2021. – Vol. 99(5). – P. 340-346.
- 11 Rasool M.H., Ahmad S. Some observations on Levy stability and intermittency in nucleus-nucleus interactions at SPS energies // *Chinese Journal of Physics.* – 2017. – Vol.55(2). – P.260-267.
- 12 Bhattacharyya S., Haiduc M., Neagu A.T., Firu E. Event by event analysis of maximum pseudo-rapidity gap fluctuation in high energy nucleus-nucleus collisions // *EPL.* – 2019. – Vol. 126. – 42001.
- 13 Bhattacharyya S., Haiduc M., Neagu A.T., Firu E. An investigation of projectile helium fragments in high energy nucleus-nucleus interactions // *Canadian J. of Phys.* – 2020. – Vol. 98(2). – P.153-157.
- 14 Kawecka A. Collective dynamics in relativistic nuclear collisions studied with ALICE at the LHC // *Photonics applications in Astronomy, Communications, Industry, and High Energy Physics Experiments.* – 2020. – Vol.11581. – ID.1158113.
- 15 Bhattacharyya S. Centrality dependence of pseudo-rapidity distribution in nucleus-nucleus collisions at (4.1-4.5) AGeV/c // *International journal of modern physics E.* – 2020. – Vol.29 (4). – ID.2050020.
- 16 Basu S., Thakur S., Nayak T.K., Pruneau C.A. Multiplicity and pseudo-rapidity density distributions of charged particles produced in pp, pA and AA collisions at RHIC & LHC energies // *Journal of Physics G: Nuclear and Particle Physics.* – 2021. – Vol.48(2). – ID.025103.
- 17 Kawaguchi K., Murase K., Hirano T. Multiplicity fluctuations and collective flow in small colliding systems // *Nuclear Physics A.* – 2017. – Vol. 967. – P. 357-360.
- 18 Andreeva N.P., Gaitinov A.Sh., Lebedev I.A., Skorobogatova V.I., Filippova L.N., Shaikhieva D.B. Full destruction characteristics of light and heavy nuclei with 3.7–158 AGeV energies // *Physics of Elementary Particles and Atomic Nucleus. Experiment.* – 2007. – Vol.4(1). – P.67-72.
- 19 Kumar S., Singh M.K., Singh V., Jain R.K. Characteristics of the grey particles emission at relativistic energy // *The European Physical Journal Plus.* – 2021. – Vol.136. – N.115.
- 20 Zhi Zhang, Tian-Li Ma, Dong-Hai Zhang Forward–backward emission of target evaporated fragments in high energy nucleus–nucleus collisions // *Physics Procedia.* – 2015. – Vol. 80. – P.50-53.
- 21 Bari W., Rather N.A. Sensitivity of multiplicity fluctuations to rapidity in high-energy nucleus-nucleus interactions // *Ukrainian Journal of Physics.* – 2017. – Vol.62(1). – P.12-19.
- 22 Bhoumik G., Bhattacharyya S., Deb A., Ghosh D. Measurements of charged hadron fluctuations in pseudo-rapidity bins in O-16-AgBr at 60 A GeV and S-32-AgBr at 200 AGeV // *European Physical Journal A.* – 2015. – Vol.51(7). – N.78.
- 23 Ghosh D., Deb A., Bhattacharyya S., Datta U. Multiplicity dependence of entropy in different rapidity bins in high-energy nucleus-nucleus interactions // *Physica Scripta.* – 2012. – Vol.85(6). – ID.065205.
- 24 Gaitinov A. Sh., Kharchevnikov P.B., Lebedev I.A., Lebedeva A.I. Investigation of density structure of pseudorapidity fluctuations in interactions of nuclei Au 10.7 AGeV and Pb 158 AGeV with photoemulsion nuclei by Hurst method // *HEP-Ph.* – 2012. – Vol.1 – P.1-10.
- 25 Fedosimova A.I., Gaitinov A. Sh., Grushevskaya E., Lebedev I. Study of the peculiarities of multiparticle production via event-by-event analysis in asymmetric nucleus-nucleus interactions // *EPJ Web of Conferences.* – 2017. – Vol.145. – ID.19009.
- 26 Lebedev I.A., Temiraliev A.T., Fedosimova A.I. Initial state fluctuations and complete destruction of the projectile nucleus in interactions of asymmetric nuclei at high energies // *Knowledge E Energy & Physics.* – 2018. – P.102–108.
- 27 Adamovich M.I. et al. Azimuthal correlation of secondary particles in  $^{32}\text{S}$  induced interactions with Ag(Br) nuclei at 4.5 GeV/c/nucleon // *Part.Nucl.Lett.* – 2000. – Vol.4(101). – P.75-82.
- 28 Adamovich M.I. et al. Rapidity densities and their fluctuations in central 200 AGeV  $^{32}\text{S}$  interactions with Au and Ag, Br nuclei EMU01 collaboration // *Phys. Lett. B.* – 1989. – Vol. 227. – P.285-290.
- 29 Fedosimova A.I., Gaitinov A.Sh., Lebedev I.A., Temiraliev A.T. Study on initial geometry fluctuations via correlation of finite distributions of secondary particles in nucleus-nucleus interactions // *J. Phys.: Conf. Ser.* – 2016. – Vol.668. – ID.012067.
- 30 Andronov E. Transverse momentum and multiplicity fluctuations in Ar+Sc collisions at the CERN SPS from NA61/SHINE // *Acta Physica Polonica B Proceedings Supplement.* – 2017. – Vol. 10(3). – P.449-453.
- 31 Ying Yuan Cylinder models and particle (pseudo)rapidity distributions in nucleus-nucleus collisions at high energies // *Radiation measurements.* – 2008. – Vol.43. – P.250-253.

## References

- 1 R.P. Scharenberg, B.K. Srivastava, A.S. Hirsch and C. Pajares, *Universe* **4**, 96 (2018).
- 2 D. Sahu, S. Tripathy, G.S. Pradhan and R. Sahoo, *Physical review C* **101**, ID.014902 (2020).
- 3 J.E. Bernhard., J.S. Moreland and Bass S.A., *Nuclear physics A* **967**, 293-296 (2017)..
- 4 A.M. Syam Kumar, J.P.Prasanth and Vishnu M.Bannur, *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications* **432**, 71-75 (2015).
- 5 X.B. Zhang and Q.R. Zhang, *Communications in Theoretical physics* **32**, 575-582, (1999).
- 6 G. Ropke, *Contributions to Plasma Physics* **43**, 350-354 (2003).
- 7 Alice Ohlson, XXVIIth International Conference on Ultrarelativistic Nucleus-Nucleus Collisions (Quark Matter 2018), *Nuclear Physics A* **982**, 299–302 (2019).
- 8 S. Bhattacharyya, M. Haiduc, A.T. Neagu and E. Firu, *Canadian Journal of Physics* **98**, 153-157 (2020)..
- 9 U. Abdurakhmanov U., K. Gulamov, V. Lugovoi and V. Navotny, *Advances in High Energy Physics* **2018**, ID.3098252 (2018).
- 10 S. Bhattacharyya, *Canadian Journal of Physics* **99**, 340-346 (2021).
- 11 M.H. Rasool M.H. and S. Ahmad, *Chinese Journal of Physics* **55**, 260-267 (2017).
- 12 S. Bhattacharyya, M. Haiduc, A.T. Neagu and E. Firu, *EPL* **126**, ID.42001 (2019).
- 13 S. Bhattacharyya, M. Haiduc, A.T. Neagu and E.Firu, *Canadian J. of Phys.* **98**, 153-157 (2020).
- 14 A. Kawecka, *Photonics applications in Astronomy, Communications, Industry, and High Energy Physics Experiments* **11581**, ID.1158113 (2020).
- 15 S. Bhattacharyya, *International journal of modern physics E* **29**, ID.2050020 (2020).
- 16 S. Basu, S. Thakur, T.K. Nayak and C.A. Pruneau, *Journal of Physics G: Nuclear and Particle Physics* **48**, ID.025103 (2021).
- 17 K. Kawaguchi, K. Murase and T. Hirano, *Nuclear Physics A* **967**, 357-360 (2017).
- 18 N.P. Andreeva, A.Sh. Gaitinov, I.A. Lebedev, V.I. Skorobogatova, L.N. Filippova and D.B. Shaikhieva, *Physics of Elementary Particles and Atomic Nucleus. Experiment* **4**, 67-72 (2007).
- 19 S. Kumar, M.K. Singh, V. Singh and R.K. Jain, *The European Physical Journal Plus* **136**, 115(2021).
- 20 Zhi Zhang, Tian-Li Ma and Dong-Hai Zhang, *Physics Procedia* **80**, 50-53(2015).
- 21 W. Bari and N.A. Rather, *Ukrainian Journal of Physics* **62**, 12-19 (2017).
- 22 G. Bhoumik, S. Bhattacharyya, A. Deb and D. Ghosh, *European Physical Journal A* **51**, N.78 (2015).
- 23 D. Ghosh, A. Deb, S. Bhattacharyya and U. Datta, *Physica Scripta* **85**, ID.065205 (2012).
- 24 A. Sh. Gaitinov, P.B. Kharchevnikov, I.A. Lebedev and A.I. Lebedeva, *HEP-Ph.* **1**, 1-10, (2012).
- 25 A.I. Fedosimova, A. Sh. Gaitinov, E. Grushevskaya and I. Lebedev, *EPJ Web of Conferences* **145**, ID.19009 (2017).
- 26 I.A. Lebedev, A.T. Temiraliev and A.I. Fedosimova, *Knowledge E Energy & Physics* **3**, 102-108 (2018).
- 27 M.I. Adamovich et al., *Part.Nucl.Lett.* **4**(101), 75-82, (2000).
- 28 M.I. Adamovich et al., *Phys. Lett. B.* **227**, 285-290, (1989).
- 29 A.I. Fedosimova, A.Sh. Gaitinov, I.A. Lebedev and A.T Temiraliev, *J. Phys.: Conf. Ser.* **668**, ID 012067 (2016).
- 30 E. Andronov, *Acta Physica Polonica B Proceedings Supplement* **10**(3), 449-453 (2017).
- 31 Ying Yuan, *Radiation measurements* **43**, 250-253 (2008).