



ТОРМОЗНАЯ СПОСОБНОСТЬ ЯДРА УГЛЕРОДА ^{12}C ДЛЯ СНАРЯДА В $p^{12}\text{C}$ -СОУДАРЕНИЯХ ПРИ ИМПУЛЬСЕ 4,2 ГэВ/с

М.У.Султанов [0009-0002-1453-2537], *А.Н.Товбоев* [0000-0003-2677-6977],
Г.Ю.Нодиров [0009-0007-3335-7582]

Султанов М.У. - старший преподаватель Самаркандского государственного архитектурно-строительного университета, **Товбоев А.Н.** - DSc., профессор Навоийского государственного горно-технологического университета, **Нодиров Г.Ю.** - старший преподаватель Самаркандского государственного архитектурно-строительного университета.

Аннотация. В данной работе изучен тормозная способность ядра углерода во взаимодействиях протонов с импульсом 4,2 ГэВ/с ядрами углерода, на основе изучения множественных спектров вторичных заряженных частиц, π -мезонов, π^+ -мезонов и протонов участников зависимости от степени центральности. Полученные экспериментальные данные сравнены с расчетами теоретической модели КИМ (каскадно-испарительный модель) и модели FRITIOF с учетом и без учета Δ^+ -и Δ^0 -изобар. Показано, что в центральных взаимодействиях первичный протон теряет значительную часть своей энергии и доля лидирующих протонов возрастает, а доля мишенных протонов максимально в событиях с $Q = 1$ и быстро уменьшается событиях с $Q \geq 5$. Этот результат отражает смягчение спектра быстрых мишенных протонов по мере возрастания центральности соударений.

Ключевые слова: протон, спектр, энергия, центральность, импульс.

Annotation. In this work, the inhibitory ability of the carbon nucleus in the interactions of protons with a momentum of 4.2 GeV/s with carbon nuclei was studied, based on the study of multiple spectra of secondary charged particles, π -mesons, π^+ mesons and protons, depending on the degree of centrality. The experimental data obtained are compared with calculations of the theoretical CMM model (cascade-evaporation model) and the FRITIOF model, taking into account and without taking into account Δ^+ and Δ^0 -isobars. It is shown that in the central interactions, the primary proton loses a significant part of its energy and the proportion of leading protons increases, while the proportion of target protons is maximal in events with $Q = 1$ and decreases rapidly in events with $Q \geq 5$. This result reflects a softening of the spectrum of fast target protons as the centrality of collisions increases.

Key words: proton, spectrum, energy, centrality, momentum.

Введение

При взаимодействии ядер с энергией до 10 ГэВ/с на нуклон реализуется несколько механизмов образования вторичных частиц: испарительный, стриппинговый и множественное образование частиц. В результате действия этих механизмов образуются не только частицы, но и различные фрагменты (как легкие, так и средние фрагменты по атомному весу) сталкивающихся ядер. Для пропановой пузырьковой камеры (состав молекулы пропана C_3H_8) из ядер углерода могут образовываться практически следующие легкие ядра: протоны, дейтерий, тритий, гелий. Частицы и легкие ядра, которые соответствуют их образованию в первых двух механизмах, являются частицами – не участниками множественного процесса образования частиц.

Следовательно, получаемые экспериментальные распределения являются суммой спектров частиц - не участников и частиц-участников сильного взаимодействия.

При изучении множественного механизма частицы-не участники могут существенно изменить искомые физические распределения. Отсюда вытекает необходимость



детального знания свойств этих частиц и их доли среди всех образованных частиц. Поэтому при исследовании последнего механизма частицы-не участники должны быть отделены, используя характеристики испарительных и стриппинговых протонов и нейтронов, а также и ядерных фрагментов [2,17-18].

Методика эксперимента

Экспериментальные данные по pC -взаимодействиям при 4.2 ГэВ/сна нуклон (А ГэВ/с) были получены методом пузырьковых камер, помещенных в магнитное поле, в рамках сотрудничества с Объединенным Институтом Ядерных Исследований. Данная методика позволяет изучать взаимодействия частиц с определенными ядрами мишени в условиях 4π -геометрии с достаточно высокими точностями измерения импульсных и угловых характеристик образовавшихся частиц. Использован экспериментальный материал Лаборатории высоких энергий ОИЯИ (г. Дубна, РФ) и Лаборатории множественных процессов ФТИ АН РУз по взаимодействиям протонов, с ядрами углерода, полученный с помощью 2-х метровой пропановой пузырьковой камеры Лаборатории высоких энергий ОИЯИ на Дубненском синхрофазотроне. Разделение протонов и π^+ -мезонов проводилось визуально по ионизации в области $p \leq 0.8$ ГэВ/с. Нижняя граница импульсов регистрируемых протонов определялась минимальной длиной трека ($L \geq 2$ мм) и для пропановой пузырьковой камеры равна 0.14 ГэВ/с. Методические вопросы, связанные с обработкой стереофотографий, восстановлением кинематических характеристик вторичных частиц, их идентификацией, а также введением поправок на потерю протонов, испущенных под большим углом к плоскости фотографирования, описаны в работах [4-11].

Для выделения событий неупругого pC -взаимодействия из полного число событий взаимодействий протонов с пропаном использовались критерии, описанные в [6,7]. Процедура выделения упругих pp - и pC -событий, введение поправок на число вторичных частиц и их импульсные и угловые характеристики, а также введения «весов» на положительно заряженные частицы с импульсами больше 0,5 ГэВ/с подробно описано в [6]. Напомним, что по условиям эксперимента (без измерения ионизации положительно заряженных частиц) π^+ -мезоны и протоны надежно идентифицируются до импульсов 0,5 ГэВ/с.

В анализируемом ансамбле pC -взаимодействий среди вторичных частиц выделялись π^+ и π^- – мезоны, протоны участники с импульсом p больше 0,3 ГэВ/с и испарительные протоны ($0,15 < p < 0,3$ ГэВ/с). Кроме того, рассматривались две группы протонов: протоны с импульсами от 0,3 до 0,75 ГэВ/с (это в основном протоны участники из ядра-мишени) и протоны $p > 0,75$. Последнюю группу составляют, в основном, протоны, про взаимодействовавшие с ядром мишенью, и часть протонов из ядра углерода, получившие большую передачу импульса при взаимодействии с первичным протоном.

За меру центральности pC -взаимодействия была принята величина Q , которая определялась как

$$Q = n_- + n_+ - n_p^{\text{исп}}, \quad (1)$$

где n_- и n_+ – число положительно и отрицательно заряженных частиц в событии, $n_p^{\text{исп}}$ – число испарительных протонов.

Величина Q равна суммарному заряду частиц в событии, активно участвующих во взаимодействии. Оно коррелирует с величиной параметра соударения сталкивающихся ядер. Степень центральности взаимодействия возрастает с увеличением Q .



Экспериментальные результаты

Представление о распределениях pC -событий по множественностям вторичных частиц разного типа дает рис.1. Наибольшее число заряженных частиц, зарегистрированных в pC -взаимодействиях, достигает 13, π^+ и π^- – мезонов – 4, а число протонов-участников – 8 (с учетом перезарядок $p \rightarrow n$ и $n \rightarrow p$). Число анализируемых pC -событий и средние множественности вторичных частиц для всех pC -взаимодействий и для шести групп событий с различной степенью центральности, определяемой величиной Q , представлены в таблице 1. Можно видеть, что периферические взаимодействия ($Q \leq 2$) составляет более 70% всех неупругих pC -соударений.

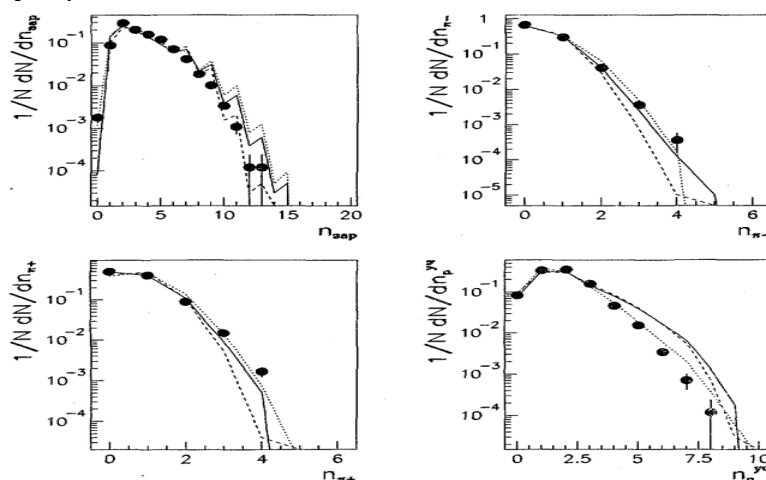


Рис.1. Распределения pC -взаимодействий по множественности:

- а) заряженных частиц, б) π^- -мезонов, в) π^+ -мезонов, г) протонов участников.
● – эксперимент, сплошные и штриховые кривые – расчеты по модели FRITIOF с учетом и без учета Δ^+ и Δ^0 -изобар, пунктирные кривые – расчеты по КИМ.

Для наиболее центральных ($Q \leq 4$) мала и составляют всего несколько процентов. Как следствие этого все pC -взаимодействия характеризуются средним числом протонов-участников, $\langle n_p^{yc} \rangle$, меньшим двух. Средняя множественность π^+ -мезонов, $\langle \pi^+ \rangle$, существенно превышает $\langle \pi^- \rangle$, что типично для взаимодействий протонов с симметричным ядрами $Np = Nn$.

Как видно из табл.1, в pC -взаимодействиях средние множественности π^+ и π^- -мезонов превышают соответствующие множественности в протон-нуклонных (pN) соударениях ($\langle n(\pi^-) \rangle_{pN} = 0,31$, а $\langle n(\pi^+) \rangle_{pN} = 0,51$ в нормировке на полное сечение pN -взаимодействий, σ_{pN}^{tot} [12-13]. Сравнение средних множественностей пионов в pC и pN -соударениях позволяет делать вывод о том, что ~30 % π^- -мезонов и ~40 % π^+ -мезонов образуются во вторичных взаимодействиях в ядре углерода.

Тормозная способность ядра-мишени характеризуется энергией, потерянной налетающей частицы при ее взаимодействии с мишенью. Следовательно, для определения тормозной способности ядра-мишени нужно из вторичных частиц выделить сохраняющуюся после взаимодействия первичную частицу и измерить ее энергию. Реально это не всегда возможно.

В работах [8,9] лидирующим протоном считалась положительно заряженная частица с максимальным импульсом в событии. В экспериментах с электронной методикой удавалось идентифицировать большую часть лидирующих протонов [15-19]. Мы использовали другой подход для выделения лидирующих протонов. По



модели FRITIOF, учитывающий Δ – изобары, были получены спектры лидирующих протонов и протонов-фрагментов ядра углерода. По ним была выбрана оптимальная граница между двумя спектрами – 1,4 ГэВ/с. При этом средняя множественность лидирующих протонов $\langle n_p \leq 1,4 \text{ ГэВ/с} \rangle \approx 0,1$, а множественность протонов из мишени $\langle n_p < 1,4 \text{ ГэВ/с} \rangle$ – мишенными.

С точки зрения модифицированной модели FRITIOF с Δ -изобарами выбранная граница для отбора лидирующих протонов лучше подходит для лидирующих протонов из периферических ($Q \leq 2$) взаимодействий, т.е. для большинства pC-взаимодействий. В этих событиях $\langle n_p^{\text{лид}} \rangle < \langle n_p < 1,4 \text{ ГэВ/с} \rangle$ меньше 10 %.

В центральных взаимодействиях первичный протон теряет значительную часть своей энергии (табл. 1), и доля лидирующих протонов с $p < 1,4 \text{ ГэВ/с}$ возрастает до 40 %. Доля таких событий, как следует из таблицы 1, не превышает 8 %.

Что касается доли мишенных протонов с $p > 1,4 \text{ ГэВ/с}$, то она максимально в событиях с $Q = 1$ и быстро уменьшается до 1 % в событиях с $Q \geq 5$. Этот результат отражает смягчение спектра быстрых мишенных протонов по мере возрастания Q . Согласно модифицированной модели FRITIOF [1, 7], учитывающей Δ -изобары, примесь мишенных протонов с $p > 1,4 \text{ ГэВ/с}$ колеблется в зависимости от величины Q от 15 % до 8 %, а примесь лидирующих протонов среди протонов с импульсами в интервале 0,3 – 1,4 ГэВ/с составляет 7 – 8 %.

Сравнение экспериментальных средних множественностей лидирующих и мишенных протонов с расчетами по модифицированной модели FRITIOF, учитывающей Δ -изобары, показывает, что для большинства групп различие не превышает 10 %. Средние импульсные и угловые характеристики протонов-лидеров и протонов-фрагментов представлены в табл. 1. Можно видеть, что первичный протон теряет при взаимодействии с ядром углерода значительную часть своего импульса. В центральных соударениях это часть в среднем равна половине первоначального импульса.

Отличительной чертой протонов-лидеров из экспериментальных событий служит резкое увеличение их среднего поперечного импульса по мере перехода от периферических взаимодействий к центральным в отличие от предсказаний моделей (табл. 1). Экспериментальная величина $\Delta y = y_0 - y_{\text{лид}}$ ($y_0 = 2,22$) изменяется от 0,59 в событиях с $Q = 1$ до 1,10 в событиях с $Q \geq 6$.

Средний импульс мишенных протонов уменьшается с ростом Q , но и в меньшей степени и в основном за счет протонов с $p > 0,75 \text{ ГэВ/с}$, поскольку средний импульс протонов $0,3 \leq p \leq 0,75 \text{ ГэВ/с}$ практически не зависит от Q . Средний поперечный импульс мишенных протонов от Q не зависит для всех событий с $Q > 1$ и сохраняется на уровне $\sim 400 \text{ МэВ/с}$. Мишенные протоны характеризуются большими углами вылета. Модель FRITIOF удовлетворительно (отклонение не больше 10 %) воспроизводит характеристики протонов с $0,3 \leq p \leq 0,75 \text{ ГэВ/с}$ в группах с $Q > 1$.

Зная энергию, уносимую лидирующими протонами с $p > 1,4 \text{ ГэВ/с}$, можно определить кинетическую энергию $\Delta T = T_0 - \langle n_p^{\text{лид}} \rangle \langle T_p^{\text{лид}} \rangle$, которую затратит налетающий протон при взаимодействии с ядром углерода. При импульсе 4,2 ГэВ/с кинетическая энергия протона до взаимодействия $T_0 = 3,36 \text{ ГэВ}$. В табл. 1 приведены значения ΔT для всех групп pC-событий, полученные в эксперименте и по модели FRITIOF с Δ -изобарами [1, 7]. Можно видеть, что протон теряет при взаимодействии с ядром углерода существенную долю своей энергии даже в периферических взаимодействиях. При переходе от событий с $Q = 1,2$ к событиям с $Q = 5,6$ эта доля возрастает от 60 % до 80 %. Аналогичные результаты дают расчеты по модели FRITIOF (см. табл. 1). Следовательно, даже такое легкое ядро как ядро



углерода обладает высокой тормозной способности для протонов с импульсом 4,2 ГэВ/с.

Условия нашего эксперимента позволяют получить распределение этой энергии среди вторичных частиц – определить суммарные энергии π^+ и π^- – мезонов, протонов-участников из ядра мишени ($0,3 \leq p$ и $p < 1,4$ ГэВ/с) и испарительных протонов ($p < 1,3$ ГэВ/с). Значение этих энергий представлены в табл.1.

Таблица 1.

Энергия, уносимых вторичными частицами в pC -взаимодействиях при 4,2 ГэВ/с зависимости от величины Q (\mathcal{E} – эксперимент, М – модель FRITIOF с учетом Δ – изобар).

Q	1	2	3
$\Delta T_{p-лид}, \text{ГэВ } \mathcal{E} \text{ М}$	2.193 ± 0.032 1.703 ± 0.005	1.962 ± 0.018 1.871 ± 0.007	2.299 ± 0.031 2.270 ± 0.008
$\sum E_{\pi^-}, \text{ГэВ } \mathcal{E} \text{ М}$	0.311 ± 0.012 0.250 ± 0.003	0.175 ± 0.005 0.154 ± 0.002	0.193 ± 0.009 0.175 ± 0.002
$\sum E_{\pi^+}, \text{ГэВ } \mathcal{E} \text{ М}$	0.245 ± 0.007 0.234 ± 0.003	0.383 ± 0.006 0.371 ± 0.003	0.515 ± 0.012 0.362 ± 0.004
$T_{p-уч}, \text{ГэВ } \mathcal{E}$ $0,3 \leq p < 1,4 \text{ ГэВ М}$	0.138 ± 0.004 0.110 ± 0.001	0.267 ± 0.004 0.257 ± 0.002	0.440 ± 0.008 0.474 ± 0.003
$T_{p-исп}, \text{ГэВ } \mathcal{E} \text{ М}$	0.018 ± 0.005	0.012 ± 0.007	0.019 ± 0.019
$\sum E_{n\pm}, \text{ГэВ } \mathcal{E} \text{ М}$	0.712 ± 0.015 0.595 ± 0.004	0.837 ± 0.009 0.789 ± 0.004	1.167 ± 0.017 1.030 ± 0.006
$\sum E_{n\pm\pi^0}, \text{ГэВ } \mathcal{E} \text{ М}$	1.481 ± 0.035 1.108 ± 0.006	1.125 ± 0.020 1.081 ± 0.008	1.132 ± 0.035 1.240 ± 0.010

Таблица 1 (продолжение)

Q	4	5	≥ 6	Все события
$\Delta T_{p-лид}, \text{ГэВ } \mathcal{E} \text{ М}$	2.565 ± 0.035 2.507 ± 0.010	2.755 ± 0.062 2.668 ± 0.012	2.642 ± 0.130 2.846 ± 0.015	2.145 ± 0.013 2.028 ± 0.006
$\sum E_{\pi^-}, \text{ГэВ } \mathcal{E} \text{ М}$	0.195 ± 0.014 0.165 ± 0.003	0.179 ± 0.026 0.158 ± 0.004	0.174 ± 0.041 0.154 ± 0.004	0.217 ± 0.004 0.187 ± 0.012
$\sum E_{\pi^+}, \text{ГэВ } \mathcal{E} \text{ М}$	0.615 ± 0.022 0.348 ± 0.004	0.650 ± 0.040 0.333 ± 0.006	0.757 ± 0.082 0.321 ± 0.008	0.393 ± 0.004 0.326 ± 0.012
$T_{p-уч}, \text{ГэВ } \mathcal{E} \text{ М}$ $0,3 \leq p < 1,4 \text{ ГэВ}$	0.582 ± 0.015 0.654 ± 0.006	0.727 ± 0.032 0.812 ± 0.008	0.881 ± 0.061 0.994 ± 0.010	0.297 ± 0.004 0.337 ± 0.002
$T_{p-исп}, \text{ГэВ } \mathcal{E} \text{ М}$	0.020 ± 0.029	0.021 ± 0.031	0.014 ± 0.016	0.015 ± 0.012



$\Sigma E_{n\pm}, \text{ ГэВ ЭМ}$	1.412 ± 0.030 1.204 ± 0.008	1.577 ± 0.057 1.333 ± 0.010	1.826 ± 0.110 1.486 ± 0.014	0.922 ± 0.007 0.862 ± 0.003
$\Sigma E_{n\pm\pi^0}, \text{ ГэВ ЭМ}$	1.153 ± 0.046 1.306 ± 0.013	1.178 ± 0.084 1.337 ± 0.016	0.816 ± 0.170 1.361 ± 0.021	1.223 ± 0.022 1.166 ± 0.007

Заклучение

Из приведенных экспериментальных результатов и теоретических расчетов можно заключить:

- средний импульс мишенных протонов уменьшается с ростом Q , но и в меньшей степени и в основном за счет протонов с $p > 0,75 \text{ ГэВ/с}$, поскольку средний импульс протонов $0,3 \leq p \leq 0,75 \text{ ГэВ/с}$ практически не зависит от Q . Средний поперечный импульс мишенных протонов от Q не зависит для всех событий с $Q > 1$ и сохраняется на уровне $\sim 400 \text{ МэВ/с}$. Мишенные протоны характеризуется большими углами вылета на заряженные частицы в событиях с $Q = 1,2$ приходится менее половины величины ΔT . По мере увеличения Q происходит увеличение энергии, уносимый π^+ -мезонами за счет роста их множественности, в отличие от суммарной энергии π^- -мезонов, которая практически не меняется в интервале $Q = 2 - 6$. С ростом Q растет и доля энергии, приходящиеся на мишенные протоны, за счет увеличения их множественности. Общая картина такова: с увеличением Q потери энергии первичного протона при соударении с ядром углерода, увеличивается энергия, уносимая π^+ – мезонами и протонами, а энергия, приходящаяся на отрицательные и нейтральные частицы, практически от Q не зависит (исключение – события с $Q = 1$).

Список использованных литературы:

- [1]. Galoyan A.S., Kladnitskaya E.N., Rogachevski O.V., Uzhinskii V.V. Application RQMD and FRITIOF models for description of nucleus-nucleus interactions at energy of 3.36 GeV/nucleon. // E1-2001-68. – Dubna, 2001.
- [2]. Галоян А.С., Кладницкая Е.Н., Ужинский В.В. Флуктуации множественностей рожденных частиц во взаимодействиях легких ядер с ядрами углерода при импульсе 4,2 ГэВ/с нуклон и их теоретическая интерпретация. // Письма в ЖЭТФ, 2007, т.86, вып.10. – С. 718-721.
- [3]. Бекмирзаев Р.Н., Беяков В.А., Олимов К., Султанов М.У., Нодиров Г.Ю. Нуклоны-спектаторы в СС-соударениях при 4,2 А ГэВ/с. // Доклады Академии наук Республики Узбекистан, 2011, № 6. – С. 36-38.
- [4]. Бекмирзаев Р.Н., Беяков В.А., Олимов К., Султанов М.У., Нодиров Г.Ю., Юлдашев Б.С. Теоретический расчет кинематических характеристик нуклонов-спектаторов из возбужденного ядра-мишени углерода. // Доклады Академии наук Республики Узбекистан, 2012, № 3. – С. 27-31.
- [5]. Олимов К., Султанов М.У. и др. Образование π^- -мезонов в nC -взаимодействиях при 4,2 ГэВ/с. // Доклады Академии наук Республики Узбекистан, 2011, № 4. – С. 29-33.
- [6]. Султанов М.У., Нодиров Г.Ю., Суванов И. Отбор взаимодействий легких ядер с ядром углерода в пропановой камере. // Вестник СамГУ, 2009, № 1. – С. 25-28.



- [7]. Бекмирзаев Р.Н., Нодиров Г.Ю., Равшанов О., Суванов И., Султанов М.У., Усмонов Ш., Худойбердиев Г.У. Применение модели FRITIOF для изучения характеристик π -мезонов, вылетающих на заднюю полусферу в ядро-ядерных взаимодействиях. // Вестник СамГУ, 2011, № 1. – С. 43-48.
- [8]. Султанов М.У., Нодиров Г.Ю., Равшанов О., Худойбердиев Ш. Характеристики частиц-спектаторов из мишени в СС-взаимодействиях при импульсе 4,2 ГэВ/с на нуклон. // Вестник СамГУ, 2014, № 5.– С. 50-52.
- [9]. Султанов М.У., Шарипова С.А., Нурмуродов Л., Усаров А. Полный распад ядра-мишени в ядро-ядерных взаимодействиях при импульсе 4,2 ГэВ/с на нуклон. // Вестник СамГУ, 2014, № 3А.– С.97-101.
- [10]. Бекмирзаев Р.Н., Султанов М.У., Аликулов С.С., Нурмуродов Л., Исрофилова З., Усаров А., Нодиров Г.Ю. Импульсные и угловые характеристики вторичных частиц при полном развале ядра-мишени в pC -, dC -, αC - и СС-столкновениях. // Вестник СамГУ, 2014, № 3А.– С. 107-110.
- [11]. Султанов М.У., Тухтаев У.У., Хушмуродов Ш.Х., Юлдашев С., Усаров А.А. Характеристики вторичных частиц в pC -, dC -, αC - и СС-взаимодействиях при импульсе 4,2 А ГэВ/с. // Вестник СамГУ, 2015, № 5.– С.52-55.
- [12]. Bondarenko A. I. // Phys. At. Nucl. – Pleiades Publishing (USA).2002, Vol. 65. – P. 90.
- [13]. Султанов М.У., Усаров А.А., Тухтаев У.У., Кодиров А.А., Яхшибоев К.Х., Нурмуродов Л.Т. Влияние центральности столкновений к образованию заряженных пионов и протонов в dC -взаимодействиях при импульсе 4,2 ГэВ/с. // Научный Вестник СамГУ, 2020, № 1.– С. 112-116.
- [14]. Sultanov M.U. Properties of central CC-interactions at a momentum of 4.2 GeV/c per nucleon. // Published in Volume 6 Issue 1. January 2021 of IEJRD E-ISSN: 2349-0721, Peer Reviewed & Reffered Journal.
- [15]. Bekmirzaev R.N., Sultanov M.U., Yuldashev S.K. Quark-Gluon String Model and Its Application to Inelastic dC Interactions at a Momentum of 4,2 GeV/c per Nucleon. // Physics of Atomic Nuclei, 2022. Vol. 85, No. 6, pp. 1011-1016. – ISSN 1063-7788.
- [16]. AN Tovbaev, M Ibadullayev, SI Norboyev. Analysis of subharmonic oscillations in three-phase Ferroresonant circuits with bias Journal of Physics: Conference Series 2388 (1), 012060. 2022.
- [17]. M Ibodulaev, AN Tovboyev. Research of Ferro-Resonance Oscillations at the Frequency of Subharmonics in Three-Phase Non-Linear Electric Circuits and Systems E3SWeb of Conferences, 2020.
- [18]. Tovbaev A.N., Mardonov D.Sh., Mamatazimov A.X., Samatova S.S. Analysis of subharmonic oscillations in multi-phase ferroresonance circuits using a mathematical model// Apitech III 2021. Journal of Physics: Conference Series 2094 (2021) 052048 IOP Publishing <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2094/5/052048> pp.260-216.
- [19]. Togayev I., Tursunova A., Eshmirzayev M. Monitoring of overhead power lines //international conference: problems and scientific solutions. 2022. -Т. 1. – №. 2. – с. 267-271.
- [20]. Akram T., Islomjon T., Shahrizoda R. Energy Problems in uzbekistan. Their solutions and remedial measures //Yosh Tadqiqotchi Jurnal. – 2022. – Т. 1. – №. 2. – С. 273-277.