(8). Abdullayev J.Sh., Ruzmetov K.Sh., Matyakubov Z.K. Carleman's Integral Formula in Cartesian Product of Matrix Upper Half-Plane. Azerbaijan J. Math., 2024, vol. 14, № 2, p. 36–48. DOI: https://doi.org/10.59849/2218-6816.2024.2.36.

(9). Z.K.Matyakubov, U.S.Rakhmonov, J.Sh.Abdullayev, Kh.Kuromboev. On the Carleman Formula for an Unbounded Matrix Domain Associated with the Classical Domain of the Second Type, Boletim da Sociedade Paranaense de Matematica, v. 2026 (44) 3: 1–8. doi:10.5269/bspm.79871

Олимов Косим (Заведующий лабораторией ФВЭ д.ф.-м.н. профессор, Физико-технический институт АН РУз.; E-mail olimov1951@mail.ru),
Баходиров Шамсиддин Шавкат угли (Базовый докторант Физико-технического института АН РУз.; E-mail: shamsiddinfizika@gmail.com),
Нуралиев Достон Баходир угли (учитель физики ННО «Jizzakh Best School»; E-mail: nuraliyevdostonzver95@gmail.com)

ОБ ОДНОЙ ВОЗМОЖНОЙ ИНТЕРПРЕТАЦИИ ОБРАЗОВАНИЯ МНОГОПРОТОННЫХ СОСТОЯНИЙ В АДРОН-ЯДЕРНЫХ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯХ

Аннотация. *В работе представлен обобщённый анализ экспериментальных данных по исследованию многопротонных резонансных состояний в адрон-ядерных и ядро-ядерных взаимодействиях при высоких энергиях. Рассмотрены двух, трёх состояния, включая реакции $^{12}C^{12}C$ при энергиях 3.37–4.2 А ГэВ. Показано, что узкие дипротонные состояния преимущественно наблюдаются в реакциях перезарядки и ядро-ядерных столкновениях. Подтверждено существование трёхпротонного резонансного состояния с массой $M_{(ppp)}$=2920 МэВ и малой шириной, проявляющегося в событиях с четырьмя протонами. Полученные результаты поддерживают интерпретацию многопротонных состояний как короткоживущих адронных молекул, связанных с фрагментацией α-кластеров ядра-мишени.*

Ключевые слова. *многопротонные резонансные состояния, дипротон, трёхпротонное состояние, четырёхпротонное состояние, адронные молекулы, адрон-ядерные взаимодействия, ядро-ядерные соударения.*

Olimov Kosim (O'zRFA Fizika-texnika instituti YEF laboratoriyasi mudiri, f.-m.f.d., professor; E-mail:olimov1951@mail.ru),
Baxodirov Shamsiddin Shavkat o'g'li (O'zRFA Fizika-texnika instituti tayanch doktoranti; E-mail: shamsiddinfizika@gmail.com),
Nuraliyev Doston Bahodir o'g'li (Fizika o'qituvchisi "Jizzakh Best School" NTM; E-mail: nuraliyevdostonzver95@gmail.com)

ADRON–YADRO O'ZARO TA'SIRLARIDA KO'P PROTONLI HOLATLAR HOSIL BO'LISH TALQINI

Annotatsiya. *Ishda yuqori energiyalarda adron–yadro va yadro–yadro o'zaro ta'sirlarida ko'p protonli rezonans holatlarini tadqiq qilish bo'yicha eksperimental ma'lumotlarning umumlashtirilgan tahlili keltirilgan. 3.37–4.2 A GeV energiyalardagi $^{12}C^{12}C$ to'qnashuvlari, jumladan, ikki va uch protonli holatlar ko'rib chiqilgan. Tor diproton holatlari, asosan, zaryad almashinish reaksiyalari va yadro–yadro to'qnashuvlarida kuzatilishi ko'rsatilgan. Massasi $M_{(ppp)}$=2920 MeV bo'lgan va kichik kenglikka ega uch protonli rezonans holatining mavjudligi to'rtta proton hosil bo'ladigan hodisalarda tasdiqlangan. Olingan natijalar ko'p protonli holatlarni nishon yadrosidagi α-klasterlarning parchalanishi bilan bog'liq bo'lgan qisqa umrli adron molekulalari sifatida talqin qilishni qo'llab-quvvatlaydi.*

Kalit so'zlar: *ko'p protonli rezonans holatlari, diproton, uch protonli holat, to'rt protonli holat, adron molekulalari, adron–yadro o'zaro ta'sirlari, yadro–yadro to'qnashuvlari.*

Olimov Kosim (Head of the HEP laboratory Physical-Technical Institute AS RUz.; E-mail: olimov1951@mail.ru),
Bakhodirov Shamsiddin o'g'li (Basic doctoral student at the Physical-Technical Institute of the Academy of Sciences of the Republic of Uzbekistan; E-mail: shamsiddinfizika@gmail.com),
Nuraliyev Doston Bahodir o'g'li (Physics Teacher at "Jizzakh Best School" NGEI; E-mail: mailto:nuraliyevdostonzver95@gmail.com)

POSSIBLE INTERPRETATION OF THE FORMATION OF MULTIPROTON STATES IN HADRON–NUCLEUS INTERACTIONS

Annotation. *This work presents a generalized analysis of experimental data on the investigation of multiproton resonant states in hadron–nucleus and nucleus–nucleus interactions at high energies. Two- and three-proton states are considered, including $^{12}C^{12}C$ collisions at energies of 3.37–4.2 A GeV. It is*

shown that narrow diproton states are predominantly observed in charge-exchange reactions and nucleus–nucleus collisions. The existence of a three-proton resonant state with a mass of $M_{(ppp)}$=2920 MeV and a small width, observed in events with four protons, is confirmed. The obtained results support the interpretation of multiproton states as short-lived hadronic molecules associated with the fragmentation of α-clusters of the target nucleus.

***Keywords**: multiproton resonant states, diproton, three-proton state, four-proton state, hadronic molecules, hadron–nucleus interactions, nucleus–nucleus collisions.*

Введение. Изучение образования многопротонных состояний в адрон-ядерных и ядро-ядерных столкновениях при высоких энергиях является актуальной задачей современной ядерной физики. Такие исследования позволяют получать ценную информацию о динамике сильного взаимодействия, структуре фрагментирующего ядра, а также о возможных механизмах формирования многонуклонных ассоциаций.

Особый интерес представляют дибарионные резонансы с массами в диапазоне 2–3 ГэВ, обнаруженные в экспериментах по фоторасщеплению дейтрона ($\gamma d \rightarrow pn$) и при измерениях разностей сечений p+p-взаимодействий с различной ориентацией спинов [1–3]. Экспериментально выявлено более трёх десятков кандидатов в дибарионы, которые по массе делятся на две группы: с массой ниже порога образования мезонов и выше него. Дибарионы первой группы характеризуются узкой шириной масс 10 МэВ и запретами на распад на адроны, в то время как дибарионы второй группы имеют более широкие массы 100–170 МэВ и могут распадаться на πNN-систему без нарушений законов сохранения [1].

Теоретические модели, включая модель кварковых мешков и модель вытянутых вращающихся мешков, позволяют описывать спектр дибарионных резонансов, учитывая спин-орбитальное взаимодействие, изотопический спин и четность [1,2,4]. Особое подтверждение получили кандидаты с массами 2.14–2.55 ГэВ, выявленные с помощью фазового анализа [2,3]. С появлением экспериментальных данных о мультикварковых системах, таких как тетракварк X(3872) [3], пентакварки со скрытым чармом [6,] и восьмикварковый резонанс в системе «ppπ^+» при 4.2 А ГэВ/с, интерес к исследованиям многопротонных состояний значительно возрос.

Особое внимание уделяется экспериментальным наблюдениям три- и четырёхпротонных резонансов. В $^{12}C^{12}C$- столкновениях при энергии 3.37–4.2 А ГэВ впервые зарегистрированы трипротонный резонанс с массой 2920 МэВ и шириной 2.1 МэВ [7], а также два четырёхпротонных резонанса с массами 3890 и 3920 МэВ и узкими ширинами 1.2–1.3 МэВ [8]. Формирование таких состояний объясняется α-кластерной структурой ядра ^{12}C: при фрагментации α-кластеров пары протонов с противоположными спинами могут объединяться с дополнительными протонами из других кластеров, формируя три- и четырёхпротонные молекулы [7,8].

Таким образом, изучение многопротонных состояний не только расширяет представления о структуре ядер и механизмах сильного взаимодействия, но и открывает новые возможности для поиска короткоживущих мультибарионных конфигураций, имеющих значение как в ядерной, так и в элементарночастичной физике [8].

Экспериментальные материалы и методы. Для изучения образования многопротонных резонансных состояний использовались данные столкновений ядер углерода с углеродом при энергии 3.37–4.2 А ГэВ на синхротронотроне в Объединённый институт ядерных исследований (Дубна, Россия) [7,8]. Экспериментальный материал состоял из 20527 инклюзивных столкновений $^{12}C^{12}C$, зарегистрированных с помощью 2-метровой пузырьковой камеры пропана (C_3H_8), облучённой пучками дейтронов, α-частиц и ядер углерода с импульсом 4.2 ГэВ/с на нуклон [7].

Методика выделения столкновений на ядра углерода из взаимодействий с молекулами пропана подробно описана в [7]. Протоны визуально идентифицировались с высокой эффективностью на основе ионизации для моментов до 750 МэВ/с, при этом нижний предел регистрации составлял 140 МэВ/с в лабораторной системе. Средняя относительная ошибка определения момента $\langle \Delta P/P \rangle$ для визуально идентифицированных протонов составляла (5.0±0.3)% [7]. Ошибка определения угла рассеяния между парами протонов не превышала 1 градуса.

Для анализа образования многопротонных резонансных состояний рассматривались протоны с импульсом $0.2 \leq p \leq 0.74$ ГэВ/с, происходящие из фрагментации мишеневого ядра углерода, исключая так называемые «испарительные» протоны и протоны от ядра-источника [7,8].

Спектры инвариантной массы для трёх- и четырёхпротонных систем строились с учётом среднего значения ошибки $\langle \Delta M \rangle$, включающей вклад угловой неопределённости рассеяния пар прото-

нов. В качестве фонового распределения использовалась сумма нескольких гауссовских функций, а для аппроксимации пиковых структур применялась релятивистская функция Брейт-Вигнера [8]:

$$BW(M) = \frac{\Gamma M M_0}{(M^2 - M_0^2)^2 - \Gamma^2 M_0^2}.$$

Использование такого подхода позволило выявить трипротонный резонанс с массой M(ppp) = 2920 ± 2 МэВ и шириной Г = 2.1 ± 0.8 МэВ [7], а также два четырёхпротонных резонанса с массами M(pppp)=3890 и 3920 МэВ и узкими ширинами Г=1.2–1.3 МэВ [8].

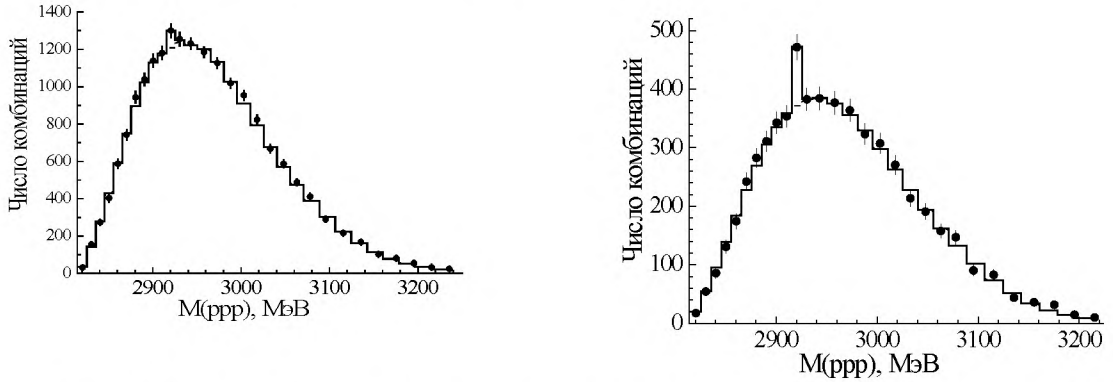


Рис. 1. Экспериментальное распределение инвариантной массы (•) трехпротонов M(ppp) в полном ансамбле d^{12}C-, α^{12}C- и ^{12}C^{12}C-столкновений при 4.2 А ГэВ/с для событий с числом протонов, равным трем и более. Пунктирная гистограмма – фоновое распределение. Сплошная гистограмма – результат аппроксимации суммой функций.

Инклюзивные сечения образования резонансных состояний оценивались через отношение числа событий, превышающих фон, к общему числу рассмотренных столкновений, с учётом полного сечения неупругих взаимодействий ^{12}C^{12}C [7,8].

Таким образом, описанная экспериментальная методика позволила с высокой точностью исследовать образование краткоживущих многопротонных состояний и оценить их основные характеристики: массу, ширину и вероятность образования в ядро-ядерных столкновениях при промежуточных энергиях [7,8].

Результаты и обсуждение. Экспериментальные данные показывают, что в адрон-ядерных и ядро-ядерных столкновениях при промежуточных энергиях формируются краткоживущие многопротонные резонансные состояния. В частности, наблюдались узкие дипротонные резонансы с массами около 2117 МэВ и шириной Г=4 МэВ, образовавшиеся в системе «ррπ^+» при столкновениях ^{12}C^{12}C при 4.2 А ГэВ/с [7]. Предполагается, что эти резонансы возникают за счёт захвата π^+-мезона двухпротонным кластером с близкой скоростью.

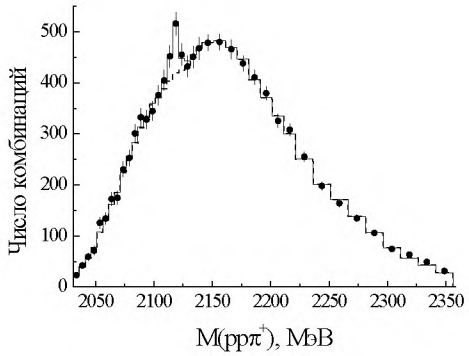


Рис. 3. Распределение инвариантной массы ppπ^+-системы частиц в ^{12}C^{12}C-соударениях при 4.2 А ГэВ/с. Точки – эксперимент, штриховая гистограмма – фоновое распределение, построенное как сумма двух Гауссовских функций вне области пиковой структуры, сплошная гистограмма – результат аппроксимации экспериментального спектра суммой фонового распределения и Брейт-Вигнеровской функцией .

Аналогично, исследование трёхпротонной системы показало наличие узкого пика при $M_{(ppp)}$= 2920 МэВ с шириной Г = 2.1 ± 0.8 МэВ и временем жизни $t=3.1\cdot10^{-22}$ с [7]. Этот резонанс наблюдался только в событиях с четырьмя протонами в конечном состоянии, что указывает на влияние α-кластерной структуры ядра углерода на механизм образования трёхпротонных состояний.

Заключение. В данной работе представлен обзор и объединение экспериментальных данных по образованию многопротонных резонансных состояний в адрон-ядерных и ядро-ядерных столкновениях при промежуточных и высоких энергиях. Основные выводы следующие:

1. Дипротонные резонансы с массами около 2117 МэВ и узкими ширинами Г=4 МэВ подтверждают возможность образования краткоживущих двухпротонных кластеров, которые могут захватывать мезоны для образования более сложных систем.
2. Трёхпротонные резонансы при $M_{(ppp)}$ = 2920 МэВ обнаружены в событиях с четырьмя протонами в конечном состоянии. Их образование объясняется α-кластерной структурой ядра углерода и механизмом объединения двухпротонных молекул с дополнительным протоном.
3. Все наблюдаемые многопротонные состояния характеризуются узкими ширинами масс, что указывает на существование запретов на быстрый распад на отдельные нуклоны в соответствии с законами сохранения спина, изотопического спина и четности.
4. Совокупность результатов экспериментов позволяет предложить единый механизм формирования многопротонных состояний: разрушение α-кластеров ядра-мишени приводит к образованию двух- и трёхпротонных кластеров, которые взаимодействуют друг с другом и с мезонами, формируя устойчивые на короткое время коллективные состояния.

Таким образом, проведённое исследование подтверждает существование краткоживущих многопротонных резонансов и открывает перспективы для дальнейших экспериментов по изучению мультикварковых состояний и кластеризации нуклонов в ядрах. Эти данные имеют важное значение для понимания динамики сильного взаимодействия, структуры ядер и возможных механизмов образования сложных адронных состояний в высокоэнергетических столкновениях.

Список использованной литературы:

(1). В.Н.Батурин и др., Препринт ЛИЯФ 1750, с. 29 (1991).
(2). Jaffe R.L. Phys. Rev. Lett., 1977, v. 38, № 5, p. 195.
(3). Auer I.P. et al., Phys. Lett., B, 1977, v. 67, № 113, p. 113.
(4). Доркин С.М. и др., Препринт ОИЯИ 34-81-791, Дубна, 1981, с. 13.
(5). S.K.Choi et al., Phys. Rev. Lett. 91, 262001 (2003).
(6). R.Aaij et al., Phys. Rev. Lett. 115, 072001 (2015).
(7). К. Олимов и др. “Namangan davlat universiteti ilmiy axborotnomasi”, [2025-7], с. 35
(8). K.Olimov, O.Esanmurodov, Kh.K.Olimov, Sherzod Kholbutaev and B.S.Yuldashev. International Journal of Modern Physics E. Vol. 32, № 9 (2023) 2350051 (11 pages).

Yalg‘ashev Burxon Fayzullayevich (Chirchiq davlat Pedagogika universiteti “Boshlang‘ich ta’limda matematika va tabiiy fanlar” kafedrasi mudiri, fan doktori, dotsent),
Xudayberdiyev Zokir Bozorboyevich (Sharof Rashidov nomidagi Samarqand davlat unversiteti “Nazariy va injenerlik mexanikasi” kafedrasi dotsenti (PhD); E-mail: xudayberdiyevz@mail.ru),
Isroilov Sherzod Narkazakovich (Samarqand davlat Texnika universiteti mustaqil tadqiqotchisi, Navoiy innovatsiyalar univeristeti katta o‘qituvchisi; E-mail: sherzodisroilov780@gmail.com)

UCH QATLAMLI TRANSVERSAL-IZOTROP KONUSSIMON QOBIQNING KUCHLANGANLIK-DEFORMATSIYALANGANLIK HOLATI VA BO‘YLAMA-RADIAL TEBRANISHLARI

Annotatsiya. *Ushbu ishda uch qatlamli transversal-izotrop konussimon qobiqning bo‘ylama-radial tebranishlari masalasi qaralgan. Uch qatlamli konussimon qobiq qatlamlari transversal-izotrop materialdan iborat deb faraz qilinib, elastiklik nazariyasining asosiy tenglamalari asosida bo‘ylama-radial tebranish tenglamalari sistemasi keltirib chiqarilgan. Qobiq qatlamlari ixtiyoriy nuqtalaridagi ko‘chishlar va kuchlanishlar uchun analitik ifodalar olingan hamda ular qatlamlar orasidagi kontakt shartlari va chegaraviy shartlar orqali o‘zaro bog‘langan. Hosil qilingan bo‘ylama-radial tebranish tenglamalari sistemasi yechilgan va olingan natijalar asosida ko‘chishlar hamda kuchlanishlarning qobiq bo‘ylab taqsimlanishi grafiklar ko‘rinishida tasvirlangan. Olingan natijalar qatlamli konussimon konstruksiya elementlarini dinamik hisoblashda va loyihalashda qo‘llanilishi mumkin.*