

ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ КВАРКОВЫХ ТРУБОК В ЯДРО-ЯДЕРНОМ РАССЕЯНИИ ПРИ ЭНЕРГИЯХ УСКОРИТЕЛЯ NICA

В.А.Абрамовский, В.С.Сандул*, Г.А.Феофилов*

INTERACTION OF QUARK TUBES IN NUCLEUS-NUCLEUS SCATTERING WITH ENERGIES OF THE NICA ACCELERATOR

V.A.Abramovsky, V.S.Sandul*, G.A.Feofilov*

Новгородский государственный университет имени Ярослава Мудрого, Victor.Abramovsky@novsu.ru

* Санкт-Петербургский государственный университет, grigory-feofilov@yandex.ru

В протон-протонном рассеянии при обмене помероном соответствующие ему кварковые трубки цветного хромоэлектрического поля направлены противоположно друг к другу и отталкиваются. В ядро-ядерном взаимодействии обменов померонами несколько, кварковые трубки начинаются на валентных кварках и заканчиваются на валентных дикварках. Дикварки несут в среднем в два раза больший импульс, чем валентный кварк. Соответственно, длина части трубки дикварка больше конца трубки кварка и распадается позже кварковой. Оставшиеся части дикварковых трубок направлены в одну сторону и притягиваются. Поэтому в быстрой части спектра в ядро-ядерном рассеянии произойдет смена режима. Для ускорителя NICA существенны и невакуумные реджионы, трубки которых направлены так же, как и дикварковые трубки. Это приводит к усилению эффекта притяжения.

Ключевые слова: глюон, кварк, кварковая трубка, померон, невакуумный реджион

Для цитирования: Абрамовский В.А., Сандул В.С., Феофилов Г.А. Взаимодействие кварковых трубок в ядро-ядерном рассеянии при энергиях ускорителя NICA // Вестник НовГУ. Сер.: Технические науки. 2021. №2(123). С.6-8. DOI: [https://doi.org/10.34680/2076-8052.2021.2\(123\).6-8](https://doi.org/10.34680/2076-8052.2021.2(123).6-8)

In proton-proton scattering during pomeron exchange, the corresponding quark tubes of a colored chromoelectric field are directed oppositely to each other and repel. In the nucleus-nucleus interaction, there are several pomeron exchanges; quark tubes begin at valence quarks and end at valence diquarks. Diquarks carry, on average, twice as much momentum as a valence quark. Accordingly, the length of a part of the diquark tube is longer than the end of the quark tube and decays later than the quark tube. The remaining parts of the diquark tubes are directed in one direction and are attracted. Therefore, a regime change will occur in the fast part of the spectrum in nucleus-nucleus scattering. For the NICA accelerator, nonvacuum regions are also important, the tubes of which are directed in the same way as diquark tubes. This leads to an increase in the attraction effect.

Keywords: gluon, quark, quark tube, pomeron, nonvacuum regions

For citation: Abramovsky V.A., Sandul V.S., Feofilov G.A. Interaction of quark tubes in nuclear-nuclear scattering with energies of the NICA accelerator // Vestnik NovSU. Issue: Engineering Sciences. 2021. №2(123). P.6-8. DOI: [https://doi.org/10.34680/2076-8052.2021.2\(123\).6-8](https://doi.org/10.34680/2076-8052.2021.2(123).6-8)

1. В настоящее время основными картинками, описывающими сильное взаимодействие адронов и ядер, являются реджевая теория и квантовая хромодинамика (КХД). Обмен померонами характеризуется глюонным обменом между кварками адронов и ядер с последующим образованием ряда пар хромоэлектрических кварковых трубок. Разрыв этих трубок, растягивающихся при разлете образовавшихся цветных состояний, дает конечное многочастичное состояние [1].

Обмену невакуумным реджионом соответствует уход одного из валентных кварков из волновой функции налетающего адрона и взаимодействию его с кварком из другого сталкивающегося адрона. При этом образуется одна хромоэлектрическая трубка,

которая впоследствии также разваливается на вторичные адроны.

2. Кварковые трубки имеют конечный радиус $r_0 \sim 1$ Фм, поперечные состояния между ними также порядка 1 Фм. Поэтому они перекрываются и могут взаимодействовать. Точная форма взаимодействия неизвестна. Однако, рассматривая взаимодействие трубок на решетке, можно показать [2,3], что в $SU(3_c)$ калибровочной теории трубки с одинаковым направлением хромоэлектрического поля притягиваются, а с противоположным направлением — отталкиваются.

Из-за отталкивания или притяжения трубок с момента их образования и до распада на адроны трубки приобретут поперечный импульс, который, сложившись со «случайными» поперечными им-

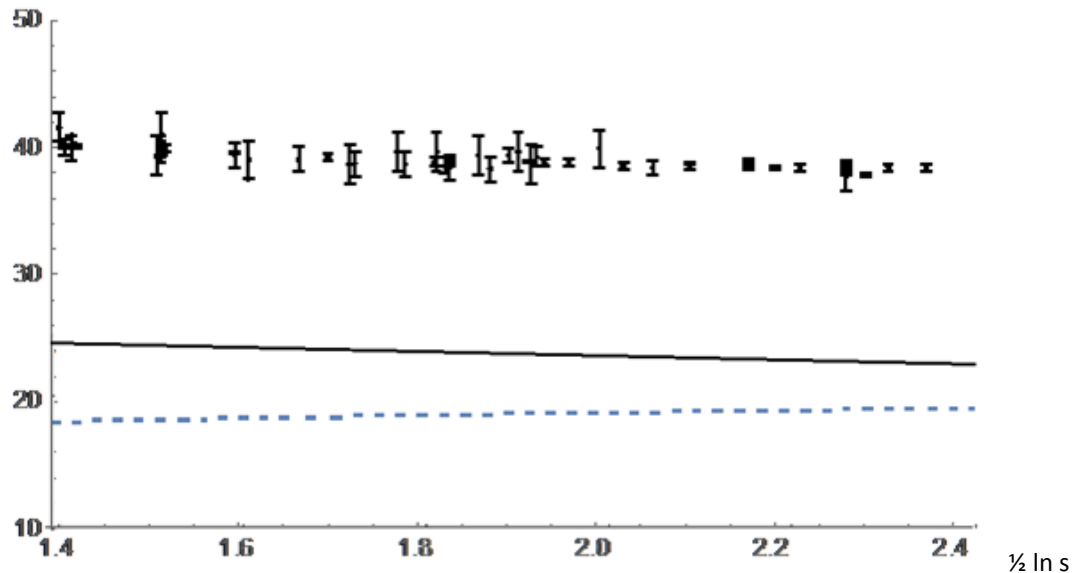


Рис.1. Сечение протон-протонного рассеяния в интервале энергий NICA. По оси абсцисс отложена энергия пары. По оси ординат — сечение в мб. Штриховая линия изображает вклад померона, сплошная — вклад невакуумных реджионов, в сумме 42,03 мб

пульсами адронов, возникших от распада трубки, анизотропно исказит поперечное угловое распределение. Поскольку плотность этого поперечного импульса одинакова по всей длине трубки (т. е. при всех быстротах вторичных адронов), то искажение спектра данной трубки сводит к его сдвигу на одинаковый для всех вторичных адронов поперечный импульс $\vec{q}$.

3. В интервале энергий NICA (4-11 ГэВ на нуклонную пару) вклады невакуумных реджионов и померона примерно одинаковы. Поэтому при столкновении ядер (^{197}Au) примерно одинаковым будет число обмениваемых померонов и реджионов (рис.1).

В дуально-топологической модели невакуумный реджион вводится в процессе мезон-мезонного рассеяния, где валентный кварк одного мезона аннигилирует с валентным антикварком другого мезона.

Между оставшимися кварком и антикварком образуется хромозлектрическая кварковая трубка, начинающаяся от кварка в одном мезоне и заканчивающаяся на антикварке в другом мезоне.

В случае протон-протонного (нуклон-нуклонного) рассеяния ситуация другая. В этом случае роль антикварка играет дикварк (см. рис.2). Замедление дикварка менее вероятно, чем замедление кварка. Поэтому взаимодействие медленных кварка и дикварка дает более низкие дочерние невакуумные траектории. Обратим внимание, что при обмене невакуумным реджионом кварковые трубки (рис.2b) для протон-протонного рассеяния разрываются на медленных кварках в системе центра инерции и концы трубок заканчиваются на быстрых дикварках протонов.

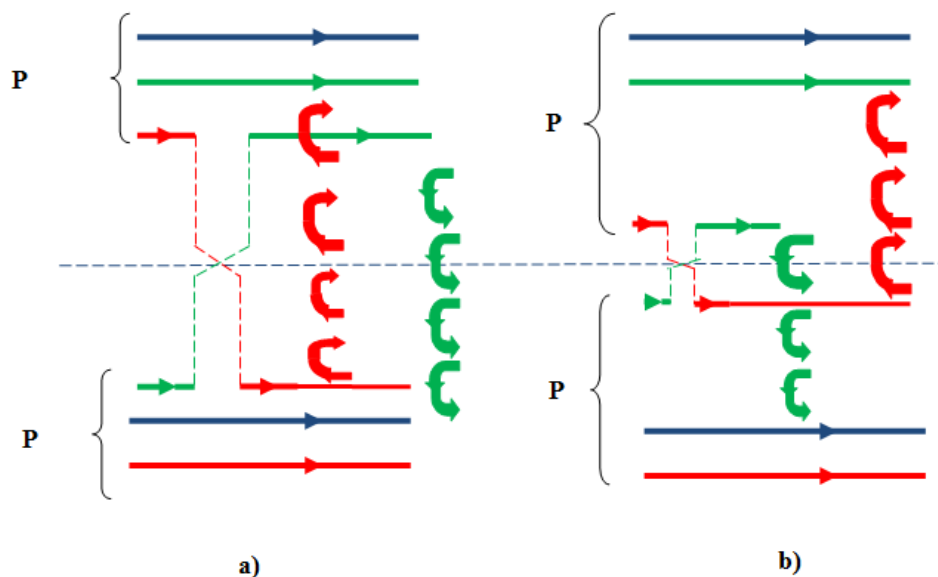


Рис.1. Диаграммы цветного обмена в протон-протонном взаимодействии: а) КХД диаграмма глюонного обмена (вклад померона) с двумя кварковыми трубками; б) диаграмма реджионного обмена с одной кварковой трубкой — для pp рассеяния это единственно возможная диаграмма медленных (выбившихся из нуклонов) кварков. Пунктирная линия показывает направление движущихся вторичных частиц, верхняя часть — движение в положительном направлении; нижняя — в отрицательном направлении

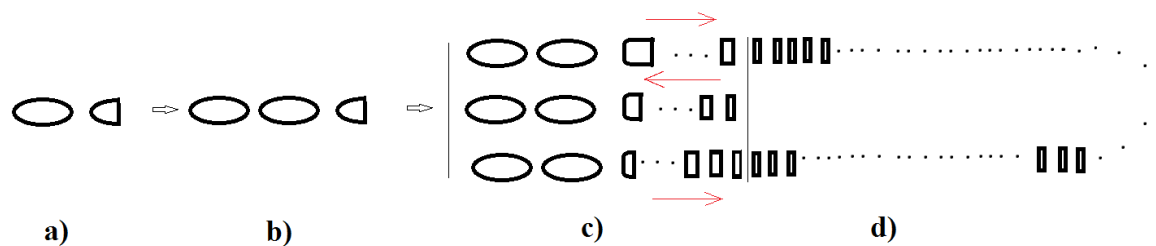


Рис.3. Разрывы кварковых трубок. Слева разрыв одной трубки: а) рождение пары кварк—антикварк с образованием медленно-го легкого фрагмента; б) рождение второй пары кварк—антикварк с образованием второго легкого фрагмента и т.д. Справа: с) разрыв померона и невакуумного реджиона. Верхняя кварковая трубка — трубка, заканчивающаяся на валентном дикварке, имеющая больший импульс; средняя — начинающаяся на валентном кварке, имеющая меньший импульс; нижняя трубка — трубка невакуумного реджиона, имеющая максимальный импульс. Стрелками указано направление хромозлектрических полей. На этапе d) правее распада кварковой струны валентного кварка в помероне происходит смена режима — все кварковые трубки притягиваются. (Мы рассматривали только верхнюю часть диаграммы рис.1)

4. Рассмотрим разрывы всех кварковых трубок (рис.3). Для трубок, образовавшихся при обмене помероном, наиболее вероятно будет ситуация, когда каждый валентный кварк несет $1/3$ глюонного импульса нуклона. В трубке, соответствующей невакуумному реджиону, дикварки несут полный импульс сталкивающихся нуклонов.

В каждой из трубок рождается пара кварк-антикварк. Кварки считаются безмассовыми и имеющими в момент разрыва нулевые импульсы. Это предположение существенно, так как только в этом случае кварк-антикварк пара может родиться локально, без нарушения законов сохранения в одной мировой точке, что позволяет применять классическую картину без затруднений с причинностью.

В каждой из кварковых трубок померона рожденный антикварк устремится к первичному (валентному) кварку нуклона, а рожденный кварк — к первичному дикварку нуклона, сформировав таким образом в каждой из кварковых трубок два разлетающихся в разные стороны фрагмента, дальнейший распад которых — две направленные в разные стороны струи вторичных адронов.

Для невакуумной кварковой трубки рожденные антикварки вместе с медленными кварками образуют «легкие» фрагменты, распадающиеся в дальнейшем на 2-3 вторичные частицы, а кварки совместно с валентными дикварками образуют «тяжелые» фрагменты.

Следующий разрыв происходит через время (отсчитанное от разрыва) $t = 1/\omega l$, где l — длина фрагмента, а ω — вероятность образования пары кварк-антикварк на единицу длины трубки в единицу времени (величина ω оценивается так $\omega = 2 \text{ Фм}^{-2}$).

Инициатором дальнейшего каскада распадов является тяжелый фрагмент. Он претерпевает очередной разрыв с отщеплением легкого фрагмента и т. д. Так как длина тяжелого фрагмента при каждом разрыве прогрессивно уменьшается, то, соответственно, растет время, требующееся на очередной разрыв, и растет импульс легкого фрагмента. Это приводит к логарифмической множественности и платооб-

разному спектру по быстротам в центральной области для легких фрагментов.

5. Квадрат массы тяжелого фрагмента порядка импульса валентного кварка и дикварка. После нескольких разрывов тяжелый фрагмент похож не на трубку, а на диск. Для кварковых трубок на рис.3 самой короткой (с меньшим числом разрывов) будет померонная трубка с валентным кварком. Более длинной, по крайней мере на несколько разрывов, будет трубка с валентным дикварком. Самой длинной будет трубка для невакуумного реджиона. После того, как эти две последние трубки уйдут дальше от трубки валентного кварка для померона, режим отталкивания сменится на режим притяжения трубок. Поэтому последние легкие фрагменты приобретут одинаковый для всех вторичных частиц импульс, направленный к центру эллипсоида, в котором будут рождаться вторичные частицы.

Работа поддержана грантом РФФИ 18-02-40097.

1. Capella A., Sukhatme U., Tan Chung I and J. Tran Thanh Van. Universality of quark fragmentation and a parton approach for soft hadronic reactions // Quarks, gluons, and jets. Proceedings of the 14th Rencontres de Moriond. Les Arcs, France. March 11-23. 1979. Vol. I. P.559-569.
2. Абрамовский В.А., Гедалин Э.В., Гурвич Е.Г., Канчели О.В. Неупругие взаимодействия при высоких энергиях и хромодинамика. Тбилиси: Мецниереба, 1986. С.74-77.
3. Абрамовский В.А., Гедалин Э.В., Гурвич Е.Г., Канчели О.В. Дальние азимутальные корреляции в множественных процессах при высоких энергиях // Письма в ЖЭТФ. 1988. Т.47. С.281-283.

References

1. Capella A., Sukhatme U., Tan Chung I. et al. Universality of Quark Fragmentation and a Parton Approach for Soft Hadronic Reactions. LPTPE-79-20, 1979, p. 559-569.
2. Abramovskiy V.A., Gedalin E.V., Guvich E.G. Neuprugie vzaimodeystviya pri vysokikh energiyyakh i khromodinamika [Inelastic interactions at high energies and chromodynamics]. Tbilisi, METSNIEREBA Publ., 1986, pp. 74 – 77.
3. Abramovskiy V.A., Gedalin E.V., Guvich E.G. Dal'nie azimutal'nye korrelyatsii v mnozhestvennykh protsessakh pri vysokikh energiyyakh [Long-range azimuthal correlations in multiple processes at high energies]. JETP Lett., 1988, vol. 47, pp. 337-339.