

КВАРК-ГЛЮОННАЯ ПЛАЗМА

Харитонов О.Ю.

Руководитель – старший преподаватель Таращ В.Н.
Донецкий национальный технический университет, г. Донецк

Кварк-глюонная плазма – агрегатное состояние вещества в физике высоких энергий и физике элементарных частиц, при котором адронное вещество переходит в состояние, аналогичное состоянию, в котором находятся электроны и ионы в обычной плазме.

Теоретически данное вещество является первым веществом, полученным в момент образования вселенной в результате Большого Взрыва (БВ). Это вещество применяется для изучения свойств вселенной в первые мгновения после БВ. В лабораторных условиях её получают путем разгона двух релятивистских частиц в RHIC ускорителе до 99,99% скорости света. В результате этого разгона релятивистские ядра золота сталкиваются друг с другом, образуется кварк-глюонная плазма, состоящая из кварков, антикварков и глюонов. В результате последующей адронизации образуются 3–5 тысяч частиц, вылетающих из образовавшегося объема фэйрбола. Давление в среде превышает атмосферное в 1025 – 1030 раз, а температура достигает 109 – 1010 К.

При столкновении частиц происходит реакция называемая коалесценция. Коалесценция – слияние частиц, капель или пузырей при соприкосновении внутри подвижной среды жидкости, газа или на поверхности какого-либо тела.

В обычном состоянии (при температуре не превышающей критическое состояние) кварки, антикварки и глюоны находятся в заключении внутри адронов. При повышении температуры выше критической (критическая температура соответствует энергии 200 МэВ, что пропорционально температуре 2349,9 К) происходит распад адронов, в результате которого кварки, антикварки и глюоны высвобождаются, образуя совершенно новый вид материи. Подобная температура наблюдалась всего один раз, в первые мгновения БВ. В эти мгновения вселенная состояла именно из такой материи. Это длилось 10^{-5} секунд.

Образование кварк-глюонной плазмы происходит в результате сильного взаимодействия между партонами (кварками, глюонами), входящими в состав нуклонов сталкивающихся ядер. В первых работах, посвященных образованию кварк-глюонной плазмы при столкновении релятивистских ядер, считалось, что при температуре T , пропорциональной 170 МэВ и плотности энергии приблизительно равной 1 ГэВ/фм³ происходит фазовый переход первого рода, при котором резко изменяются плотность и температура среды. По оценкам при этих параметрах плотность кварк-глюонной плазмы в два раза больше

плотности энергий в нуклоне (0.5 ГэВ/фм^3) и почти в десять раз больше плотности энергии в атомном ядре (0.14 ГэВ/фм^3).

После серии экспериментов стало ясно, что получаемая плотность энергии кварк-глюонной плазмы разная. Далее стало ясно, что плотность энергии напрямую зависит от температуры самой плазмы. Так был сформулирован центральный вопрос, касающийся, кварк-глюонной плазмы: какая плотность энергии может быть достигнута в ядро-ядерных столкновениях и как она эволюционирует со временем? Ответ на этот вопрос зависит от того, какую долю энергии теряет каждый нуклон, ускоренных ядер при столкновении пучков.

Анализ продуктов реакции показывает, что потери энергии составляют 40–85% первоначальной энергии нуклона. Обычно выделяются три различные стадии столкновения ядер:

- Максимальная плотность достигается в момент времени полного перекрытия сталкивающихся ядер.
- Максимальная плотность энергии, переданная частицам, рожденным в файрболе.
- Максимальная плотность энергии в момент локальной термализации кварк-глюонной плазмы.

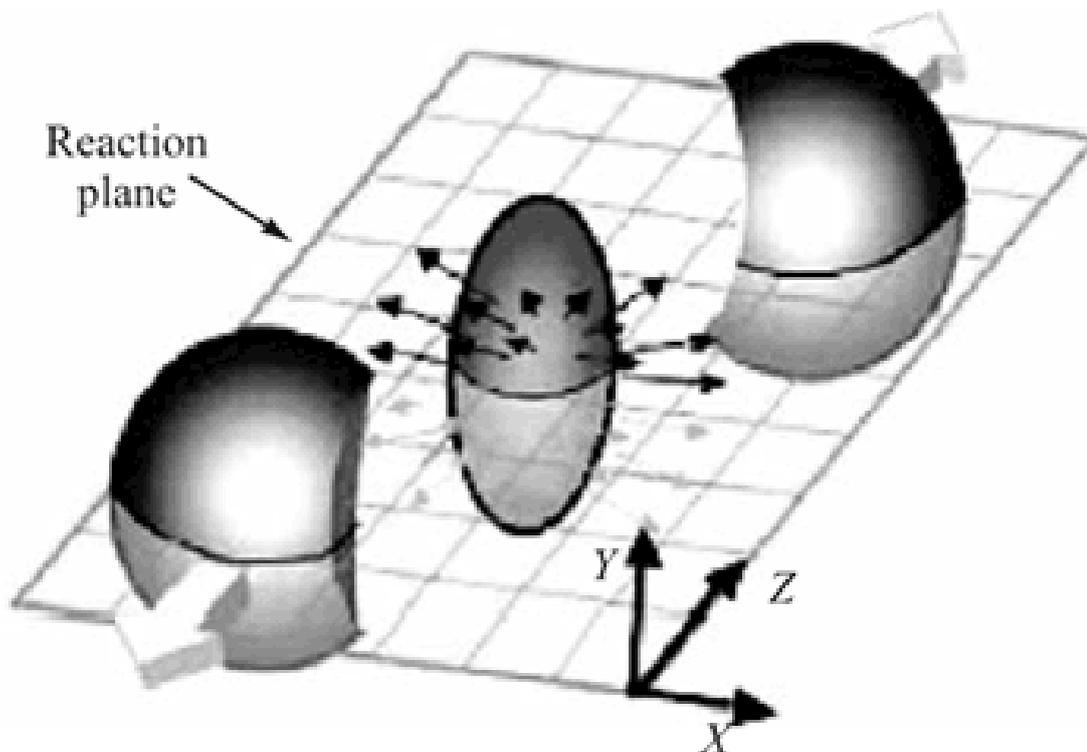
Для более подробного анализа продуктов ядро-ядерных столкновений и получения информации об образующейся кварк-глюонной плазме, необходимо понять, на сколько перекрываются сталкивающиеся ядра. Для этого был введен параметр центрального столкновения.

При центральном столкновении число образующихся вторичных частиц максимально. Если столкновение нецентральное, то перекрытие ядер получается неполным и кварк-глюонную плазму порождают только часть протонов и нейтронов из каждого ядра. Поэтому образующийся файрбол расширяется во все стороны несимметрично.

Объясняется это тем, что расширение файрбола происходит за счет разности давления, которое уменьшается от центра файрбола к периферии. В сплюсненном направлении этот перепад давления больше, чем в вытянутом, поэтому возникает несимметричный поток в кварк-глюонной плазме –

эллиптический поток разлетающихся частиц из области столкновения тяжелых ядер. Наблюдение эллиптического потока при нецентральном соударении тяжелых ядер свидетельствует о том, что при столкновении ядер действительно образуется состояние кварк-глюонной плазмы, которое характеризуется тем, что в нем частицы неоднократно сталкиваются друг с другом. Для такого состояния вводятся такие понятия как: температура, вязкость и другие термодинамические величины, характеризующие вещество; этими терминами описываются и изучаются явления, происходящие при остывании кварк-глюонной плазмы. Такое гидродинамическое объяснение эллиптического потока образующихся

частиц свидетельствует о том, что кварк-глюонная плазма по своим характеристикам скорее напоминает жидкость, чем газ частиц. Частицы в кварк-глюонной плазме интенсивно сталкиваются друг с другом, а не пролетают мимо как в разреженной газовой среде. Впервые эллиптический поток был обнаружен в экспериментах RHIC. С увеличением энергии на адронном коллайдере он стал более ярко выражен.



При столкновении тяжелых ионов возникает большое количество вторичных частиц. Именно количеством этих частиц и определяется центральность столкновения, чем больше центральность, тем больше образуется частиц.

В природе такое вещество встречается в ядрах нейтронных звезд в момент их коллапса. Гравитационный коллапс – катастрофически быстрое сжатие массивных тел под действием гравитационных сил.

По мнению ученых, изучение кварк-глюонной плазмы, позволит понять механику и основные действующие законы вселенной. Также это, возможно, поможет научиться создавать контролируемые черные дыры, что открывает огромный горизонт возможностей для будущего физики и всего человечества. Теоретически черные дыры – это ключ к открытию феномена телепортации или даже перемещению во времени.

