

УДК 29.15.19

Е.Л.Крышень (2 курс, каф. ЭЯФ), Я.А.Бердников, д.ф.-м.н., проф.

КВАРК-ГЛЮОННАЯ ПЛАЗМА

Кварк-глюонная плазма – это состояние чрезвычайно плотной материи, состоящей из кварков и глюонов. Теоретическое описание кварк-глюонной плазмы производится в рамках квантовой хромодинамики (QCD), являющейся фундаментальной теорией сильных взаимодействий. Для описания структуры адронов используются различные феноменологические подходы. В модели связанных кварков адрон представляется как система из трех кварков (барионы) или кварка и антикварка (мезоны). В модели токовых кварков адрон рассматривается как облако кварков и антикварков. В этом облаке имеются кварки, несущие квантовые числа адрона, и море, состоящее из кварк-антикварковых пар и глюонов. Кварки и глюоны несут цветовой заряд.

Для объяснения отсутствия кварков в свободном состоянии полагаются на гипотезу конфайнмента. В природе существуют только белые конфигурации наблюдаемых в эксперименте частиц. Наиболее успешными моделями связи кварков являются струнная модель и модель мешка. В струнной модели хромодинамическое поле заключено в тонкие трубки или струны, соединяющие источники поля. В модели мешка предполагается, что вакуум оказывает давление на цветные заряды. При этом адрон представляется в виде мешка с кварками и глюонами, похожими на пузырьки пара в жидкости.

Кварк-глюонная плазма – эта система из кварков и глюонов, которые больше не заключены внутри адронов. При этом плазма в целом является бесцветной, что не противоречит гипотезе конфайнмента. Преобразование адронной материи в кварк-глюонную плазму называется фазовым переходом. В решетчатой квантовой хромодинамике рассматриваются две возможности получения плазмы. Первая - сжатие адронной материи, в результате которого расстояние между адронами становится меньше их радиуса. Вторая возможность – разогрев адронного газа. Количественный анализ показывает, что давление, оказываемое адронным газом, при определенной температуре становится меньше давления в системе кварков и глюонов (при этом используется модель мешка). Таким образом, в соответствии с критерием Гиббса, при этой температуре происходит преобразование адронного газа в кварк-глюонную плазму.

Изучение столкновений тяжелых ионов дает уникальную возможность исследования кварк-глюонной плазмы в лабораторных экспериментах. При этом физика столкновений сильно зависит от энергии взаимодействия, приходящейся на один нуклон. При столкновениях тяжелых ионов возникает плотная и горячая кварк-глюонная система, которая некоторое время может находиться в состоянии плазмы. Эта плотная материя расширяется и охлаждается и в определенный момент переходит в адронное состояние.

Предложены несколько признаков образования плазмы. Один из них – это увеличение количества странных частиц в случае образования плазмы, так как образование странных частиц в кварк-глюонной фазе требует меньших энергий по сравнению с адронной фазой. Вторым признаком – это значительное уменьшение числа J/ψ -частиц, что объясняется уменьшением потенциала взаимодействия кварка и антикварка, составляющих J/ψ -частицу, под влиянием цветных зарядов в кварк-глюонной фазе. Оба признака уже наблюдались в столкновениях тяжелых ионов, но существуют серьезные количественные расхождения теоретических предсказаний с экспериментальными данными.

Можно надеяться, что коллайдеры RHIC в Брукхейвене (США) и LHC в ЦЕРНе (Швейцария) откроют новые возможности на пути поиска и исследования кварк-глюонной плазмы.