



КОНФАЙНМЕНТ

Авторы: Д. И. Дьяконов

КОНФАЙНМЕНТ (англ. confinement – удержание, заточение), удержание (пленение) «цветных» [кварков](#) и [глюонов](#) внутри «бесцветных» [адронов](#). К. проявляется в том, что в природе наблюдаются лишь связанные состояния кварков (мезоны и барионы, в т. ч. протоны и нейтроны), а также их резонансные возбуждения, но не сами кварки в свободном виде. В истории физики такая ситуация встречается впервые. Напр., затратив некоторую энергию связи, молекулы можно разъединить на составляющие их атомы, атомы можно ионизовать, выбив электроны, ядро можно разбить на отд. протоны и нейтроны. Однако сами протоны и нейтроны, состоящие из кварков, принципиально невозможно разбить на кварки. При столкновении протонов на ускорителях заряженных частиц с энергией, в тысячи раз превосходящей энергию покоя, рождаются не отд. кварки, а новые мезоны и барионы, состоящие из кварков. Глюоны, являющиеся аналогом фотонов, в отличие от последних, также не наблюдаются в свободном виде, т. е., как и кварки, испытывают конфайнмент.

Считается, что при разведении кварков на большие расстояния между ними действует не убывающая с расстоянием сила притяжения, равная примерно 1 ГэВ/фм, благодаря которой кварки всегда связываются в адроны. При разведении кварков между ними натягивается «струна», препятствующая их разлетанию, однако природа этой «струны» пока не ясна. Если энергия натянутой между кварками струны больше энергии покоя мезона, энергетически выгодным становится разрыв струны на две более короткие, на концах которых опять находятся кварки.

Наиболее известным качественным объяснением К. служит механизм Мандельстама – ‘т Хофта, аналог [Мейснера эффекта](#) в сверхпроводниках, который состоит в том, что магнитное поле не может проникнуть в тело сверхпроводника без разрушения сверхпроводимости, т. е. разрушения конденсата электрич. зарядов. Если в

сверхпроводник мысленно ввести магнитные монополи (их можно имитировать в виде концов тонких и длинных соленоидов), то по линии, соединяющей монополи, возникает «трубка», в которой сконцентрирован магнитный поток, а энергия взаимодействия двух монополей пропорциональна расстоянию между монополями. В т. н. дуальном эффекте Мейснера магнитные поля и заряды заменяются на электрические, и наоборот.

В отличие от электродинамики, в [квантовой хромодинамике](#) (КХД), основанной на неабелевой калибровочной симметрии, конфигурации поля глюонов в виде хромагнитных монополей допустимы. Предполагается, что в вакууме происходит конденсация магнитных монополей, а не электрич. зарядов, как в сверхпроводниках. Тогда кварки, являющиеся источником хромоэлектрич. поля, соединяются «трубкой», в которую сжаты силовые линии хромоэлектрич. поля, и энергия взаимодействия кварков пропорциональна расстоянию между ними, что и обеспечивает конфайнмент.

Такой сценарий К. описан математически в некоторых моделях [квантовой теории поля](#), имеющих сходство с КХД, но не в самой КХД, в которой применение аналитич. методов затруднено тем, что [константа взаимодействия](#) не мала. Поэтому К. исследуют численно компьютерным моделированием на пространственно-временной решётке. В компьютерных экспериментах действительно наблюдается линейный рост энергии взаимодействия двух кварков с расстоянием и формирование «струны» между ними. Выше некоторой критич. темп-ры происходит переход в фазу деконфайнмента, в ней кварки уже не связаны струной, а образуют сильновзаимодействующую [кварк-глюонную плазму](#).

С теоретич. точки зрения К. представляет собой парадоксальную ситуацию, в которой «цветные» объекты (кварки, глюоны) испытывают корреляции на дальних расстояниях, в то время как корреляции «бесцветных» или калибровочно-инвариантных величин убывают экспоненциально, т. е. очень быстро.

Экспоненциальному убыванию корреляций отвечает наличие массивных частиц (адронов) и отсутствие частиц безмассовых. Между тем КХД формулируется в терминах именно безмассовых полей – глюонов. Т. о., К. кварков означает полную перестройку содержания теории (по сравнению с её исходной формулировкой) в

результате сильного взаимодействия кварков и глюонов. Пока не существует не только полностью адекватного математич. описания этого явления, но даже общепринятого качественного объяснения механизма конфайнмента.

Литература

Лит.: Greensite J. The confinement problem in lattice gauge theory // Progress in Particle and Nuclear Physics. 2003. Vol. 51. № 1; Diakonov D. I., Petrov V. Y. Confining ensemble of dyons // Physical Review. D. 2007. Vol. 76. № 4.