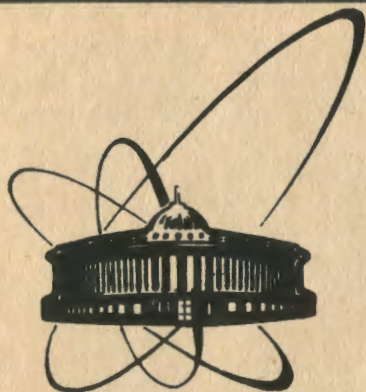


90-476



сообщения
объединенного
института
ядерных
исследований
дубна

Д2-90-476

В. Н. Стрельцов

О СКОРОСТИ РАСПРОСТРАНЕНИЯ
СИЛЬНОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ

1990

По современным представлениям основные черты сильных взаимодействий описываются квантовой хромодинамикой. Вместе с тем указанная теория включает в себя, конечно, прежние результаты, объясняющие, например, короткодействие ядерных сил. Как известно, здесь в свое время важную роль сыграла идея Юкавы^{1/}, согласно которой нуклоны взаимодействуют между собой с помощью обмена π -мезонами. При этом потенциал Юкавы (стационарного мезонного поля) имеет вид

$$\phi = -g \frac{\exp(-\mu R)}{R}. \quad (1)$$

Здесь g - константа взаимодействия, аналогичная заряду электрона в электродинамике; μ - масса π -мезона; $\hbar = c = 1$. Именно наличие юкавской экспоненты у функции ϕ приводит к тому, что "радиус действия" ядерных сил $\sim \mu^{-1}$ ($\sim 1\Phi$) гораздо меньше "радиуса действия" электростатических сил, описываемых кулоновским потенциалом.

Выражение (1) было получено как¹ решение стационарного уравнения для квантов ядерного (мезонного) поля.

РЕЛЯТИВИСТСКИЙ ПОТЕНЦИАЛ ЮКАВЫ

В общем случае отмеченное уравнение для мезонного поля (уравнение Клейна - Гордона с источником) имеет вид (см., например,^{2/}):

$$(\square + \mu^2) \phi = 4\pi g \delta(\mathbf{R}^i), \quad (2)$$

где для простоты полагается, что точечный источник находится в начале координат; $i = 0, \alpha = 0, 1, 2, 3$. Очевидно, что при $\mu = 0$ выражение (2) переходит в известное уравнение для за-
паздывающих потенциалов электромагнитного поля. Учет этого фак-
та и того, что решением стационарного уравнения является фор-
мула Юкавы (1), позволяет сразу написать решение уравнения
(2). Оно имеет вид^{3/}

$$\phi = -g \frac{\exp(-\mu u^i R_i)}{u^i R_i}. \quad (3)$$

Здесь u^i - 4-скорость нуклона; $R^i(t, \vec{R})$ - 4-вектор "запаздывающего расстояния". Непосредственной подстановкой легко убедиться, что выражение (3) действительно удовлетворяет уравнению (2).

Следует отметить, что на основании (3) эквипотенциальные поверхности пионного поля движущегося нуклона имеют форму эллипсоидов вращения, вытянутых в направлении движения ^{14/}. Причем "степень вытянутости" определяется величиной u^0 (или лоренц-фактором). Эти характерные особенности поведения поля релятивистских частиц по существу определяются "скаляром запаздывания" $s = u^i R_i$.

СКОРОСТЬ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ

Наличие в уравнении Клейна - Гордона (по сравнению с обычным волновым уравнением) члена с массой обеспечивает для свободной частицы выполнение релятивистского соотношения между энергией и импульсом. Как известно, из этого соотношения следует, что частица с массой не может двигаться со световой скоростью. Но вернемся к выражению для релятивистского потенциала Юкавы.

Из формулы (3) с необходимостью вытекает, что для покоящегося нуклона ($u^0 = 1$, $u^a = 0$ и $u^i R_i = t$) вместо (1) выражение для потенциала на самом деле имеет вид

$$\phi = -g \frac{\exp(-\mu t)}{t} \quad (4)$$

Здесь t представляет собою время распространения пионного поля (т.е. взаимодействия) из начала координат в данную точку. Конечно, например, в случае электромагнитного поля, скорость распространения которого $c = 1$, этот факт не имеет принципиального значения, поскольку $t \equiv R$. Если, однако, скорость распространения сильного взаимодействия v_s заметно меньше предельного значения, то установленное отличие становится весьма существенным.

По современным представлениям адроны состоят из кварков и глюонов. И хотя сами безмассовые глюоны движутся со скоростью света, из-за взаимодействия их между собой и кварками и с учетом того, что в результате адронизации кварков образуются "граничные" виртуальные пионы*, эффективная скорость распро-

странения такого кварк-глюонного поля в принципе может быть меньше c .

На основании (4) с учетом того, что $t = R/v_s$, будем иметь

$$\phi = -g v_s \frac{\exp(-\mu v_s^{-1} R)}{R} \quad (4')$$

Поэтому, например при $v_s = 0,5$, убывание ядерного поля за счет экспоненты в e раз будет происходить теперь на расстоянии, равном половине комптоновской длины волны пиона $0,5 \mu^{-1}$. Эффективно это выглядело бы как уменьшение "радиуса действия" ядерных сил (увеличение массы кванта поля). Таким образом, уже отсюда следует, что скорость распространения сильного взаимодействия должна быть близка к скорости света.

Больше того, как нетрудно видеть, выражение (4') уже не будет удовлетворять соответствующему стационарному уравнению. Очевидно, чтобы выполнить указанное требование, мы должны положить $v_s = 1$. Но это означает, что скорость распространения сильного взаимодействия равна световой, т.е. совпадает со скоростью распространения электромагнитного взаимодействия.

ЛИТЕРАТУРА

1. Yukawa H. - Proc. Phys. - Math. Soc. Japan, 1935, v.17, p.48.
2. Швебер С. и др. - Мезоны и поля. М.: ИИП, 1957, т.1, с.143.
3. Стрельцов В.Н. - Сообщения ОИЯИ P2-89-234, Дубна, 1989.
4. Belyakov V.A., Strel'tsov V.N. - Preprint JINR E2-90-309, Dubna, 1990.

*Поведение которых и описывает потенциал Юкавы.