

M-218
ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ

Дубна

P2 - 3819



Ю.М.Малюта

СВЕРХПРОВОДИМОСТЬ В МОДЕЛИ КВАРКОВ
И МЕТАСТАБИЛЬНОСТЬ НУКЛОНА

ЛАБОРАТОРИЯ ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ ФИЗИКИ

1968

P2 - 3819

Ю. М. Малюта

СВЕРХПРОВОДИМОСТЬ В МОДЕЛИ КВАРКОВ
И МЕТАСТАБИЛЬНОСТЬ НУКЛОНА

4306/3 нр.



1. В предыдущей работе /1/ была предложена кварковая модель барионов, в которой взаимодействие между кварками обусловлено гамильтонианом сверхпроводящего типа. Формула масс, полученная в этой модели, была применена к исследованию барионных резонансов с нулевой странностью. Было показано, что резонансы, для которых формула масс предписывает отличный от нуля результат, являются сверхпроводящими состояниями.

Формула масс имеет вид

$$M^2 = \frac{1}{4} g [(n-s)(4j+6-n-s) + 2t(t+1) - 2T(T+1)], \quad (1)$$

где M - масса бариона, n - число кварков, составляющих барион, j - спин кварка, T - изоспин бариона, (s, t) - seniority и приведенный изоспин бариона, константа связи $g = 0,58$ (Гэв)².

2. Применим формулу (1) для вычисления массы нуклона. Согласно таблице 1, представленной в работе /1/, нуклон характеризуется следующими квантовыми числами:

$$n = 3, \quad j = \frac{1}{2}, \quad T = \frac{1}{2}, \quad (s, t) = (1, \frac{1}{2}). \quad (2)$$

Подставляя (2) в (1), найдем массу нуклона

$$m = 1,08 \text{ Гэв}$$

(это значение отличается от наблюдаемой массы на 15%).

Таким образом, в нашей модели нуклон является состоянием сверхпроводящего типа, построенным из трех кварков с нулевой массой^{х)}. Это заключение наводит на мысль, что нуклон является метастабильной частицей, и при определенной температуре должен произойти фазовый переход второго рода, в результате которого нуклон распадется на кварки с энергосвободением $Q = m$.

3. Будем рассматривать нуклон как кварковый газ. Для определения температуры вырождения кваркового газа, выше которой невозможно существование сверхпроводящих состояний, воспользуемся методами квантовой статистики^{/2/}.

Как известно, температура вырождения T_0 ферми-газа, энергия и импульс частиц которого связаны соотношением $\epsilon = p$, определяется формулой

$$\rho = \frac{2}{\pi^2} \int_0^{\infty} \frac{\epsilon^2 d\epsilon}{e^{\epsilon/T_0} + 1}, \quad (3)$$

где $\rho = \frac{n}{V}$ - плотность газа, n - число частиц газа, V - объем, занимаемый газом. Если плотность газа равна плотности нуклона, то

$$\rho = \frac{9}{4\pi r^3}, \quad (4)$$

где r - радиус нуклона. В качестве радиуса нуклона мы возьмем среднее геометрическое между квантовым и классическим радиусами его W -мезонного ядра:

$$r = \sqrt{\frac{1}{\mu} \frac{f^2}{\mu}}, \quad (5)$$

^{х)} То, что масса кварка равна нулю, следует из формулы (1).

где μ - масса W -мезона, f - константа взаимодействия W -мезона со слабым током. Фигурирующая в (5) величина $\frac{f^2}{\mu^2}$ связана с константой слабого взаимодействия $G = 10^{-5} \text{ м}^{-2}$ известным соотношением^{/3/}

$$\frac{G}{\sqrt{2}} = \frac{4\pi f^2}{\mu^2}. \quad (6)$$

Объединяя (3) - (6), найдем температуру вырождения кваркового газа

$$T_0 = \sqrt{\frac{\pi\sqrt{2}}{G}} \sqrt[3]{\frac{6\pi}{\zeta(3)}} \approx 1500 \text{ Гэв},$$

где $\zeta(x) - \zeta$ - функция Римана.

4. Вычислим также полную энергию кваркового газа при температуре вырождения:

$$E = n \int_0^{\infty} \frac{\epsilon^3 d\epsilon}{e^{\epsilon/T_0} + 1} / \int_0^{\infty} \frac{\epsilon^2 d\epsilon}{e^{\epsilon/T_0} + 1}.$$

Отсюда средняя энергия, приходящаяся на один нуклон, будет равна

$$\bar{E} = \frac{21 \zeta(4)}{2 \zeta(3)} T_0 = 10 T_0.$$

Следовательно, при энергии столкновения нуклонов в системе центра масс порядка 15000 Гэв будет наблюдаться реакция^{х)}

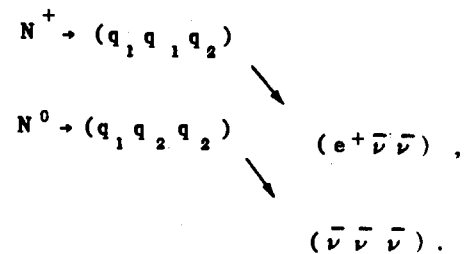


^{х)} Символы N и q обозначают нуклоны и кварки.

В заключение отметим, что столь высокие температуры и плотности, с которыми мы встретились, достигаются в центральных областях сверхновых звезд в результате имплозии /4/. Поэтому можно предположить, что причиной взрыва сверхновых является экзотермический распад

$$N \rightarrow 3 q . \quad (8)$$

В связи с этим возникает вопрос: почему кварки до сих пор не обнаружены экспериментально? По-видимому, в процессе распада (8) происходит перестройка состояний и на выходе вместо кварков мы получаем антилептоны ^x):



Сказанное относится также к реакции (7).

Л и т е р а т у р а

1. Ю.М.Малюта. Сверхпроводимость в модели кварков и траектории Редже. Препринт ОИЯИ, P2-3802, Дубна, 1968.
2. Л.Д.Ландау, Е.М.Лифшиц. Статистическая физика, "Наука", Москва, 1964.
3. Л.Б.Окунь. Слабое взаимодействие элементарных частиц. Физматгиз, Москва, 1963.

^x) Перестройка состояний диктуется киевской симметрией, согласно которой кварки - это антилептоны, сдвинутые по заряду на $-\frac{1}{3}$.

Рукопись поступила в издательский отдел
17 апреля 1967 года.