

ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Лаборатория высоких энергий

P-358

И.В. Чувило

ОБ ОДНОЙ ВОЗМОЖНОСТИ
ПОСТРОЕНИЯ СИСТЕМЫ
"ЭЛЕМЕНТАРНЫХ" ЧАСТИЦ

ж.э.т.ф., 1959, т.37, в.5, с.1400-1405.

Дубна 1959 год

И.В. Чувило

ОБ ОДНОЙ ВОЗМОЖНОСТИ
ПОСТРОЕНИЯ СИСТЕМЫ
"ЭЛЕМЕНТАРНЫХ" ЧАСТИЦ

ИЗВЕЩЕНИЕ КОЛЛЕКТИВА
ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАТЕЛЕЙ
БИБЕШЮТЕНА

За последнее десятилетие в результате значительных достижений экспериментальной физики больших энергий был открыт ряд новых нестабильных частиц - гиперонов и К-мезонов, начало систематики которых было положено известными работами Гелл-Мана и Нишиджимы //Г-МН/-схема//1/. Однако, такое большое количество "элементарных" частиц является в некотором отношении удивительным. Поэтому время от времени появляются сомнения в их элементарности. На этой почве возникают попытки представить известные частицы как некоторые структурные образования, тем самым сузив круг "элементарных" частиц, а также ограничить набор взаимодействий.

Ниже излагается еще одна, как нам кажется, еще не обсуждавшаяся возможность, сохранив все известные и предсказываемые /Г-МН/ - схемой гипероны и К-мезоны, тем не менее существенно сократить круг "элементарных" частиц, оставаясь в рамках требований указанной схемы.

Было бы весьма привлекательным оставить в систематике только один "элементарный" барион и только одну "элементарную" легкую частицу. Оставаясь в рамках /Г-МН/ - схемы, можно остановить свой выбор на изотопических синглетах Ω^- , Λ^0 и Z^+ со странностями -3 , -1 и $+1$, соответственно. Возможность взять в качестве "элементарного" бариона Λ^0 -гиперон уже обсуждалась в литературе. Теперь остается выбор между Ω^- и Z^+ , к которым в качестве "элементарных" легких частиц отнесем изотопические дублеты $/K^+K^0/$ и $/K^-K^0/$, соответственно.

Варианты Ω^-, K^+, K^0 и Z^+, K^-, K^0 симметричны. Объяснение эффектов можно вести как в том, так и в другом варианте. В дальнейшем мы используем Ω^-, K^+, K^0 - вариант, поскольку нам кажется, что он больше соответствует известным экспериментальным данным.

Итак, будем предполагать, что существуют только электрически нейтральные и однозарядные барионы и К-мезоны.

Будем считать, что "элементарным" барионом является гипотетический отрицательно заряженный гиперон /Г-МН/ - схемы Ω^- -изотопический синглет $/I = 0/$ со странностью $S = -3$ и барионным обычным спином $/S = \text{полуцелому числу}/$.

Примем, что элементарной легкой частицей является изотопический дуб-

лет $|K^+, K^0\rangle$, $I = 1/2$, являющийся бозоном в обычном пространстве / $S =$ целому числу / и имеющий странность $S = +1$. Античастицами по отношению к выбранным нами частицам будут соответственно $\bar{\Omega}^+$ и $|K^-, \bar{K}^0\rangle$.

Определим сильное $\bar{\Omega}K$ -взаимодействие вида

$$g \bar{\Omega} \Omega \bar{K} K,$$

где Ω - изоскаляр и спинор в обычном пространстве, а K - изоспинор и скаляр / псевдоскаляр / в обычном пространстве.

Построение ряда гиперонов начнем с изотопического дублета Ξ -гиперонов, структуру которых определим присоединением к $\bar{\Omega}^-$ по очереди одного из двух постулированных нами K -мезонов, т.е. в виде^{x/}

$$\Xi^0 = |\bar{\Omega}^- K^+\rangle \quad \Xi^- = |\bar{\Omega}^- K^0\rangle.$$

Далее определим структуру ряда изотопического триплета Σ -гиперонов, присоединяя к $\bar{\Omega}^-$ по два K -мезона в трех возможных комбинациях, т.е. в виде:

$$\Sigma^+ = |\bar{\Omega}^- K^+ K^+\rangle \quad \Sigma^0 = |\bar{\Omega}^- K^+ K^0\rangle \quad \Sigma^- = |\bar{\Omega}^- K^0 K^0\rangle.$$

Известно, что Σ^0 -гиперон не может существовать долго, путем быстрого электромагнитного перехода превращаясь в Λ^0 -гиперон. Это можно было бы объяснить, предположив невозможность совместного существования $K^+ K^0$ -пары около $\bar{\Omega}^-$, которая через сильное $K^+ K^0$ -взаимодействие^{xx/} / в изотопически синглетном состоянии / образует связанное состояние

$$\omega^+ = |K^+ K^0\rangle.$$

Эту систему можно было бы понимать как мезон со странностью $S = +2$, изотопический синглет, предсказываемый /Г-МН/ - схемой.

Таким образом, структура изотопического синглета Λ^0 -гиперона может быть записана в форме:

$$\Lambda^0 = |\bar{\Omega}^- \omega^+\rangle.$$

x/ В $Z^+, K^- \bar{K}^0$ варианте построения начинаются с изотопического дублета нуклонов по схеме $p = |Z^+ K^0\rangle$, $n = |Z^+ K^-\rangle$.

xx/ Вид лагранжиана KK -взаимодействия $|K^+ K^- + K^0 \bar{K}^0\rangle |K^+ K^- - K^0 \bar{K}^0\rangle$, определяющего взаимодействие в различных изоспиновых состояниях, связан также с вопросом о ρ^0 -мезоне /см. ниже/.

Продолжая далее присоединение K^+ и K^0 -мезонов, получим структуру изотопического дублета нуклонов в форме:

$$P = /\Omega^- \omega^+ K^+/, \quad n = /\Omega^- \omega^+ K^0/.$$

Теперь в силу наших исходных положений остается только одна возможная структура:

$$Z^+ = /\Omega^- \omega^+ \omega^+/,$$

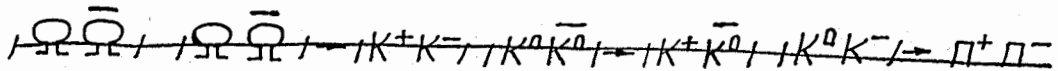
которая соответствует гиперону, изотопическому синглету со странностью $S = +1$, который также содержится в /Г-МН/-схеме.

Из пар частиц $/K^+ K^0/$ и их античастиц $/\bar{K}^0 K^-/$ можно построить 4 изобозона по схемам

$$/K^+ \bar{K}^0/, /K^0 K^-, /K^0 \bar{K}^0/, /K^+ K^-/.$$

Заряженные системы можно отождествить с π^+ и π^- -мезонами, а из нейтральных систем построить третью компоненту изотопического триплета $/\pi^+, \pi^0, \pi^-/$ и нейтральный изотопический синглет, который содержится в /Г-МН/-схеме под символом S^0 -мезона.

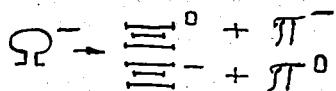
Таким образом, нам удалось, постулируя только две элементарных частицы, построить все частицы, имеющиеся в /Г-МН/-схеме. Привлекательность обсуждаемой схемы состоит в том, что мы можем обойтись только двумя частицами, как в обычном так и в изотопическом пространстве, а также только одним типом взаимодействия. При этом можно отождествить π -мезоны с квантами поля, обеспечивающего $/\Omega K/$ -связь.



Пользуясь предложенной схемой, по измеренным массам известных гиперонов можно сделать оценки величин масс, предсказываемых гиперонов. Разность масс Σ^+ и Σ^- -гиперонов наиболее вероятно является следствием того, что $m_{K^0} > m_{K^+}$. Тогда можно думать, что Ξ^0 -гиперон должен быть легче Ξ^- -гиперона на величину порядка $5 m_e$.

Для абсолютной величины энергии связи К-мезонов с Ω^- получается значение порядка $1200-1300 m_e$. Отсюда следует, что Ω^- -гиперон на $250-350 m_e$ тяжелее, нежели Ξ^- -гиперон. Это означает, что, по-видимому, Ω^- -гиперон должен распадаться по схемам /если принять правило

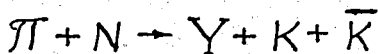
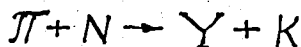
$|\Delta S| = 1/:$



Интересная ситуация складывается при оценке массы Z^- -гиперона. Оценивая массу Z^- как из массы протона, K^- -мезона и его энергии связи, так и из массы Λ^0 -гиперона, массы и энергии связи ω^+ , приходим к заключению, что масса Z^+ должна быть порядка $1500 m_e$. Но при таком значении массы он не может наблюдаться, поскольку мы не знаем способов, какими он может превратиться в стабильный барион-нуклон, являясь легче последнего. Выяснение вопроса о существовании Z^+ -гиперона, величины его массы и способов его распада является в свете этого чрезвычайно интересным моментом.

В рамках развиваемой схемы имеется возможность объяснить большое количество известных экспериментальных данных по образованию и взаимодействию гиперонов и K^- -мезонов. Остановимся только на некоторых из них.

Кажется более естественным объяснить реакции типа

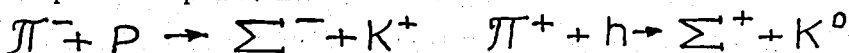


процессом диссоциации π^- -мезона в поле Ω^- -частицы на пару $K \bar{K}$ -мезонов с последующей аннигиляцией /в первой реакции/ образовавшегося \bar{K} -мезона с одним из K^- -мезонов около Ω^- , причем аннигилируют пары $K^+ K^-$ или $K^0 \bar{K}^0$. В этой схеме Λ^0 -гипероны, образующиеся в реакциях



будут рождаться в ЦМ-системе преимущественно назад, поскольку в этом случае K^- -мезон покидает компаунд-систему практически без взаимодействия, двигаясь в направлении "вперед", а \bar{K} -мезон взаимодействует только с K^- -мезоном, не затрагивая ω^+ -систему.

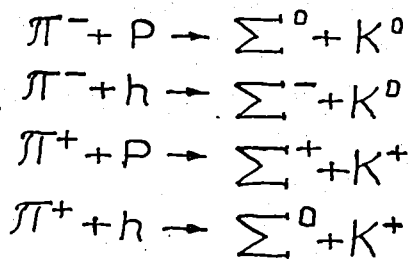
Заряженные гипероны от реакций



будут иметь резкую направленность "вперед" в ЦМ-системе, поскольку как K^+ так и \bar{K}^0 -мезон взаимодействуют с ω^+ системой^{x/}.

^{x/} Экспериментальные данные по этому поводу см. в /2/.

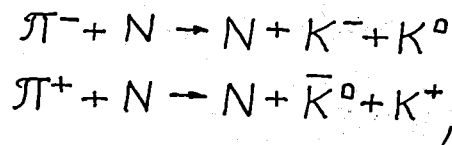
В реакциях же



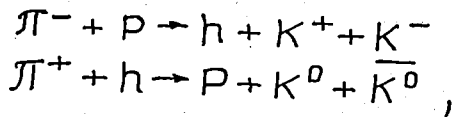
могут участвовать оба указанных выше канала. Поэтому кажется, что угловое распределение этих реакций должно быть более изотропным в ЦМ-системе, возможно с некоторым преимуществом для вылета в направлении "назад" Σ^0 -гиперонов и "вперед" - заряженных Σ -гиперонов. Было бы интересным проверить эти соображения на реакции



С ростом энергии налетающего π^- -мезона, образовавшаяся $K\bar{K}$ -пара может покинуть компаунд систему, что приведет к образованию пар K^+K^- и $K^0\bar{K}^0$ -мезонов. При том же самом полном сечении генерации странных частиц это обстоятельство может привести к уменьшению сечения генерации YK -пар, по сравнению с его величиной до порога генерации $K\bar{K}$ -пар /при кинетической энергии π^- -мезона 1,34 Бэв^{x/}. Анализ показывает, что более предпочтительными являются реакции типа



идущие в одну стадию, нежели реакции



для которых требуется еще дополнительная ступень перезарядки $K^+ \rightleftharpoons K^0$.

x/ Указанная тенденция в сечениях $|YK|$ и $|K\bar{K}|$ -реакций была предложена проф. Ван Ган-чаном из других соображений.

Рассмотрим теперь вопрос о взаимодействии \bar{K} -мезонов с нуклонами. Сначала отметим малость эффекта перезарядки в реакции

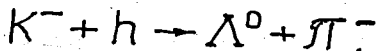


что обусловлено необходимостью протекания этого процесса через $K^- K^+ \rightarrow K^0 \bar{K}^0$ цепочку^{x/}.

Из всех реакций типа^{xx/}



наиболее вероятна реакция



поскольку она идет через процесс $K^- K^0 \rightarrow \pi^-$ без участия $|\Omega^- \omega^+|$ - системы.

Любопытно отметить также, что при взаимодействии Σ^+ -гиперонов с нуклонами более вероятны реакции типа



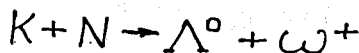
нежели реакция типа



поскольку первые идут только через простой процесс перезарядки $K^+ \rightleftharpoons K^0$.

Возможно ли наблюдение ω^+ -частицы?

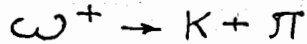
Если она может реально существовать, то наиболее удобным способом ее получения являются реакции



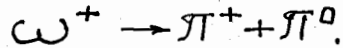
x/ В Z^+, K^-, \bar{K}^0 - схеме эта реакция разрешена, что, по-видимому, противоречит опыту.

xx/ Рассмотрение в Z^+, K^-, \bar{K}^0 -схеме надо вести через взаимодействие с виртуальной $K\bar{K}$ -парой около Z^+ .

Если $m_{\omega} < 2m_K$, то порог этих реакций должен находиться при кинетической энергии К-мезонов, меньшей 1,23 Бэв. Распад этой частицы возможен по схемам

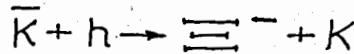


или

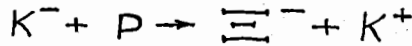


До сих пор нет определенных экспериментальных указаний на реакции и распады такого вида. Наблюдение ω^+ -частицы является одним из основных вопросов обсуждаемой схемы^{x/}.

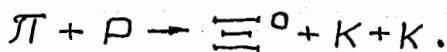
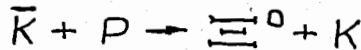
Теперь перейдем к вопросу о генерации каскадных гиперонов Ξ^0 и Ω^- . Очевидно, что наиболее простым путем генерации Ξ^- -гиперона будут реакции на нейтроне, поскольку они идут только через $\bar{K} \omega^+$ -взаимодействие.



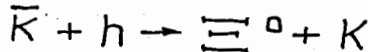
Реакции же типа



менее вероятны, поскольку для них требуется дополнительное перераспределение энергии между K^\pm и ω^+ -мезонами. Генерация же Ξ^0 -гиперона возможна только на протоне в результате реакций:



Реакция же типа



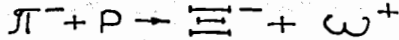
менее вероятна.

Таким образом, в жидководородных пузырьковых камерах возможно наблюдение Ξ^0 -гиперона и затруднена генерация Ξ^- -гиперона.

Экспериментально известно, что группа Альвареса наблюдала Ξ^0 -гиперон в жидководородной камере и не наблюдала Ξ^- -гиперонов. Таким

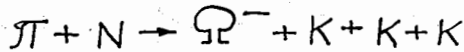
^{x/} Также как реакция $K^- + p \rightarrow Z^+ + \omega^-$ в Z^+, K^-, K^0 - схеме.

образом, это обстоятельство находится в согласии со следствиями, вытекающими из рассматриваемой схемы. По указанным причинам реакция



является также неудобной для наблюдения ω^+ -мезона.

Процесс генерации Ω^- -гиперона является еще более трудным для наблюдения. В этом случае все возможные реакции типа:



являются многоступенчатыми и их выход должен быть сильно ограничен.

Следует также отметить интересную возможность объяснения распадных свойств гиперонов механизмом образования виртуальной $/\bar{K}K/$ -пары с последующим распадом \bar{K} -мезона. При этом получаются выводы, качественно согласующиеся с известными экспериментальными данными. Ξ^0 -гиперон должен иметь время жизни меньше, чем Ξ^- -гиперон, а более вероятным каналом распада Ω^- -гиперона является распад по схеме



Мы остановились здесь только на эффектах, связанных с существованием "странных" частиц. Как нам кажется, в рамках развитой нами модели имеются интересные возможности объяснения ряда вопросов структуры нуклонов /изобары и т.п./ и связанных с ними эффектов - /фотомезонные и ряд других/.

Например, можно попытаться сделать некоторые качественные заключения об электрическом формфакторе нуклонов. Их структура в нашей схеме имеет вид

$$p = /\Omega^- \omega^+ / K^+ \quad n = /\Omega^- \omega^+ / K^0.$$

Отсюда видно, что поскольку система $/\Omega^- \omega^+ /$ более плотно упакована, то сердцевина нуклона должна быть электрически нейтральна^{x/}. В силу наличия

^{x/} Аналогичное соображение было получено акад. Векслером В.И. на основе анализа угловых распределений гиперонов в $\pi + p$ - реакциях.

на внешних "оболочках" протона и нейтрона K^+ и K^0 -мезонов, соответственно, можно думать, что ими и обусловлен, в основном, вид электрического фактора соответствующего нуклона. Нам кажется, что такая картина соответствует известным экспериментальным фактам^{14/}.

Дискуссионным может быть вопрос о среднем радиусе распределения электрического заряда в протоне. Возможно, что он может быть несколько меньше /примерно в $\frac{m_K}{m_\pi} \sim 3$ раза/, чем это считается. Однако более привлекательной кажется возможность, получающаяся из введения ΩK -связи с помощью Π -мезонов. Тогда электрический радиус протона будет порядка Π -мезонного, а магнитные моменты нуклонов будут определяться суммой дираковского момента Ω -частицы и дополнительного магнитного момента Π -мезонной шубы со средним радиусом порядка Π -мезонного.

Автор благодарен акад. Векслеру В.И., Чжоу Гуан-чжао и Огиевскому В.Н. за интересные дискуссии по этому вопросу.

Л и т е р а т у р а

1. Gell-Mann M. Phys.Rev. 92, 833 (1953) и Конференция в Пизе /1956/.
Nishijima K. Prog. Theor. Phys. I2, 107 (1954). I3, 285 (1955).
2. Crawford F.S. and others Phys.Rev. Lett. 2, 112 (1959).
3. Conference on High Energy Physics at CERN (1958).
4. Hofstadter R. Nuovo Cim XII, 63 (1959).

Работа поступила в издательский отдел 5 июня 1959 года.

