ВОЛНОВЫЕ ФУНКЦИИ БАРИОНОВ И ОСНОВЫ ДИНАМИКИ КВАРКОВ

М.П.Леонтовский

В кварковой модели барионы классифицируются по орбитальным моментам L. Как эмпирический факт принимается, что четность бариона $P = (-1)^L$ [1]. В настоящей статье показывается, что четность системы трех частиц (без внутренней четности) $P = (-1)^k$, где k-проекция L на бегущий перпендикуляр к плоскости частиц, и нет никаких кинематических оснований для $P = (-1)^L$. Есть однако динамическое основание в том, что устойчиво вращение вокруг оси максимального момента инерции; в квантовой теории это соответствует $|k| = L$. Барионы с $|k| \neq L$ возможны, но мало вероятны.

В статье дается общий вид волновых функций, когда пространственная часть выделена, и дается пример, когда это не сделано.

1. Описание трех частиц относительно центра масс дается волновой функцией $\Psi(A, B, C)$, где векторы $A + B + C = 0$. Если $\Psi(A, B, C) = \pm\Psi(-A, -B, -C)$, четность $P = \pm 1$. С другой стороны, Ψ можно счи-

тать функцией трех расстояний между частицами и трех углов Эйлера α, β, γ, определяющих ориентацию треугольника ABC.

Разложим Ψ на обобщенные сферические функции с разными k

$$e^{im\alpha} d^{\,L}_{mk}(\beta)\; e^{ik\gamma}. \qquad (1)$$

Бегущая ось ζ перпендикулярна треугольнику; z–ее исходное положение, α–поворот вокруг z, γ–вокруг ζ. m, k–проекции L на z и ζ. Треугольник $-A$, $-B$, $-C$ повернут в своей плоскости на угол $\gamma = \pi$ относительно треугольника ABC.

Таблица 1

	$S = 1/2$		$S = 3/2$
Δ	$a, b, c = p, n$		$\{abc\}$
Ω	$a, b, c = \lambda$		
N	$[^{pn}a]$ $\quad a = p, n$	$\{^{n}p^{a} - {}^{p}n^{a}\}$	
Ξ	$[^{a}\lambda^{\lambda}]$ $\quad a = p, n$	$\{^{a}\lambda^{\lambda} - a^{\lambda\lambda}\}$	$\{^{a}\lambda\lambda\}$
Σ	$[a^{b\lambda} + b^{a\lambda}]$ $\; a, b = p, n$	$\{2^{ab}\lambda - {}^{a}b^{\lambda} - {}^{b}a^{\lambda}\}$	$\{^{ab}\lambda\}$
Λ	$[p^{n\lambda} - n^{p\lambda} + 2^{np}\lambda]$	$\{p^{n\lambda} - n^{p\lambda}\}$	$[^{pn}\lambda]$
краткое обозначение:	$[1/2]$	$\{1/2\}$	$\{3/2\}, [3/2]$

При этом повороте (1) множится на $(-1)^k$.

Поэтому четность

$$P = (-1)^k. \qquad (2)$$

2. Обозначения. Вместо $\Psi(A, B, C)$ пишем ABC.

Номер частицы обозначен местом в формуле. Частица 1 в A, 2 в B, 3 – в C.

Полная симметризация по номерам частиц: { }; полная антисимметризация: [ ]. Например, $[ABC] \equiv ABC - BAC + \ldots$

a, b, c – кварковые состояния, т.е. пробегают p, n, λ. Суммарный спиновый момент S; его "параллельность" с L записывается $S \parallel L$, "антипараллельность": $-S \parallel L$. $\uparrow, \downarrow$ спин кварка. (Случай $J = L \pm 1/2$, $S = 3/2$ пока не наблюдался.)

3. Волновые функции.

$\uparrow\downarrow + \downarrow\uparrow$ имеет спин 1. $\uparrow\downarrow - \downarrow\uparrow$ имеет спин 0, по этому правилу пишем кварковую и спиновую функции с заданными изоспином и спином, например, для $\Lambda\,1/2$, когда S совпадает со спином третьей частицы:

$$(pn\lambda - np\lambda)(\uparrow\downarrow\uparrow - \downarrow\uparrow\uparrow) = {}^{p}{}_{n}\lambda - {}^{n}{}_{p}\lambda - {}_{p}{}^{n}\lambda + {}_{n}{}^{p}\lambda\,. \qquad (3)$$

Повышенные буквы: спин $\uparrow$, пониженные: спин $\downarrow$. Аналогично поступаем, когда S совпадает со спином второй или первой частицы.

Выражение справа симметризуем, или антисимметризуем. Так получаем все типы спиново-кварковых функций: (см. табл.1).

Таблица 2

			L	J^P (*Мэв*)
Δ	{3/2}	$S \parallel L$	0,2,4,6,8	$3/2^+$, $7/2^+$, $11/2^+$, $15/2^+$, $19/2^+$
	{3/2}	$-S \parallel L$	1	$1/2^-$
Ω	{3/2}	$S \parallel L$	0	$3/2^+$
Λ	{1/2}	$S \parallel L$	0,1,2,3,4,	$1/2^+$, $3/2^-$, $5/2^+$, $7/2^-$, 9/2
	[3/2]	$-S \parallel L$	1,2	$1/2^-$ 1405, $1/2^-$ 1670
	[1/2]	$S \parallel L$	1	$3,2^-$ 1700
Σ	{3/2}	$S \parallel L$	0,1,2,3	$3/2^+$, $5/2^-$, $7/2^+$, 9/2
	{1/2}	$S \parallel L$	0,2	$1,2^+$, $5/2^+$
	{1/2]	$S \parallel L$	1	3/2 1660
Ξ	{1/2}	$S \parallel L$	0,2	$1/2^+$, 5/2 1933
	{3/2}	$S \parallel L$	0	$3,2^+$
	[1/2]	$S \parallel L$	1	3/2 1815
N	{1/2}	$S \parallel L$	0,2	$1/2^+$, $5/2^+$
	{1/2}	$-S \parallel L$	1	$1/2^+$ 1400
	[1/2]	$S \parallel L$	1,3,5,7	$3/2^-$, $7/2^-$, $11/2^-$, $15/2^-$
	[1/2]	$-S \parallel L$	1	$1/2^-$ 1570
	*	$-S \parallel L$	1 или 2	$1/2^-$ 1700
			1	$5/2^-$

[ ], * ?

Эти функции умножаются на {$A\ B\ C$} или [ABC] так, чтобы получилась антисимметричная функция с произвольными L, m, k.

Конкретно, волновые функции могут быть: (см. табл.2).*⁻ смешанная антисимметризация пространственной и кварковой функции: [$A\,B\,C$–$A\,B\,C$] $S = 3/2$ ← → проекции изоспина.

Здесь получается плавная зависимость масс от L. При гипотезе состояний [1/2], [3/2], * все возбуждения ротационные. Отсутствие $L=0$ для них странно. Четность $P = (-1)^L$ за двумя сомнительными исключениями. Вероятно $|k| = L$. Классически, энергия вращения $E = L^2/2I$ минимальна при максимальном моменте инерции I. При возмущениях вращение вокруг оси с малым I неустойчиво. Для треугольника максимальное l по оси ζ перпендикулярной плоскости. Только вращение вокруг ζ устойчиво. Квантово это означает $|k| = L$. Как известно, средняя энергия квантованного вращения

$$< H > = (q+2)/4\,[L(L+1) - k^2] + s\,k^2/2 \qquad (4)$$

q, r, s обратны моментам инерции. s по оси ζ. Энергия минимальная при $|k| = L$. Классически, кварки вращактся в одной плоскости. Ось $z \parallel \zeta$.

Московский
Полиграфический институт

Поступило в редакцию
23 февраля 1967 г.

Литература

[1] Я.И.Азимов, В.В.Анисович, А.А.Ансельм и др. Письма ЖЭТФ, 2, 109, 1965.