محاسبه جرم پنتاکوارک متشکل از نوکلئون ومزون

باباقدرت، شهناز ؛ منعم زاده، مجید

دانشکده فیزیک، دانشگاه کاشان

چکیده

دراین مقاله بادرنظرگرفتن باریون بیگانه (پنتاکوارک) درقالب یک سیستم دوجسمی مقید متشکل ازیک مزون ویک باریون (نوکلئون) و حل معادله لیپمن_شوئینگر برای این سیستم مقیددوجسمی انرژی بستگی وجرم پنتاکوارکهای $\theta^+(\mathrm{uudd\bar{s}})$، $\theta_c(uuudd\bar{c})$، $\theta_b(uuudd\bar{b})$، $\theta_{cs}(cuud\bar{s})$، $\theta_{bs}(buud\bar{s})$ *رابدست می آوریم.*

Calculating Mass of Pentaquark Formed by Nucleon and Meson

Sh. Babaqodrat ; M. Monemzadeh

Department of Physics ,University of Kashan

Abstract

In this paper, we consider an exotic baryon (pentaquark) as a bound state of two -particle system formed by a baryon (nucleon) and a meson , we calculate bounding energy and mass of pentaquarks $\theta^+(uuudd\bar{s})$، $\theta_c(uuudd\bar{c})$,$\theta_b(uuudd\bar{b})$,$\theta_{cs}(cuud\bar{s})$, $\theta_{bs}(buud\bar{s})$ *by solving Lippmann-Schwinger equation for these systems.*

PACS No.

مقدمه

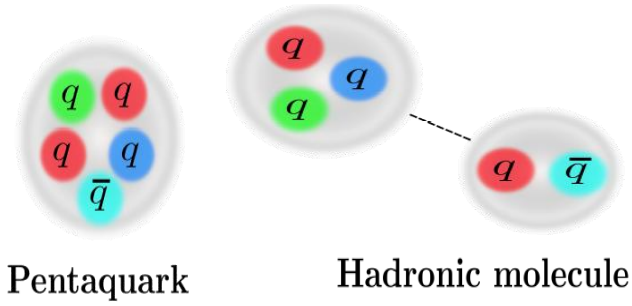
ازسال ۲۰۰۳ تا کنون با نتایج تجربی بسیاری ازواپاشیها شواهد محکمی برای وجود هادرونهای بیگانه ثبت شده است[1]. پنتاکوارکها با ساختارکوارکی Qqqqq (Q یک کوارک سنگین و q کوارکهای سبک u, d) را می توان ترکیب یک نوکلئون ویک مزون سنگین شبه اسکالر در نظر گرفت. [2]

باریون بیگانه

نظریه QCD وجود حالتهای هادرونی بدون رنگ با بیش ازدو و سه کوارک راپیش بینی نکرده است.مشاهدات تجربی نشان داد که گلوئونها نقش مهمی درتوصیف حالتهای مقیدهادرونها دارند. هادرونهایی که خارج ازمدل کوارکی قراردارند، دراصطلاح هادرونهای بیگانه نامیده می شوند ، اعداد کوانتومی آنها باحالت های مقید دو و سه کوارکی توضیح داده نمی شوند. پنتاکوارک ها ($\mathrm{qqqq\bar{q}}$) نمونه ای ازحالت های باریون بیگانه هستند . مقدار همیوغ بارC عدد کوانتومی درستی برای باریونها نیست و تمام ترکیب های اسپین کل J و پاریته P مجازند. به هرحال یک ترکیب باریون بیگانه به راحتی با بارالکتریکی آن Q و شگفتی آن S قابل تشخیص است. به طورمثال هیچ ترکیب باریون سه کوارکی با شگفتی مثبت وجود ندارد، یک باریون با بارالکتریکی $Q = +1$ و شگفتی $S = +1$ حداقل دارای ترکیب کوارکی به صورت $\mathrm{uudd\bar{s}}$ (پنتاکوارک θ^+) است. درسال های اخیر نتایج تجربی مثبتی گزارش شده اند به طورمثال درآزمایش HERMES در هامبورگ آلمان وجود پنتاکوارک θ^+ اثبات شد [4,5] .

تصویر مولکولی هادرونی دید جدیدی از ساختار هادرونهای بیگانه دراختیارما قرارمیدهد به طوری که ما می توانیم پنتاکوارک را به صورت شکل زیر یک مولکول هادرونی متشکل از یک باریون

و یک مـزون درنظربگیـریم و در جـدول ۱ سـاختارهای هادرونهـا ذکرشده اند.



مولکول هادرونی ترکیبی از یک باریون و یک مزون **[6]**

جدول ۱ .ساختار مولکولی هادرونی پنتاکوارکهای θ^+ ، θ_c ، θ_b ، θ_{cs} ،θ_{bs}

ساختار هادرونی (نوکلئون + مزون)	پنتاکوارک
uud / udd , d$\bar{s}$ / u$\bar{s}$	$\theta^+ (uudd\bar{s})$
uud / udd , d$\bar{c}$ / u$\bar{c}$	$\theta_c(uudd\bar{c})$
uud / udd , d$\bar{b}$ / u$\bar{b}$	$\theta_b(uudd\bar{b})$
uud, c $\bar{s}$	$\theta_{cs}(cuud\bar{s})$
uud, b $\bar{s}$	$\theta_{bs}(buud\bar{s})$

معادله لیپمن- شوئینگر برای حالت مقید دوجسمی

دراینجا با حل عددی معادله همگن لیپمن- شوئینگر برای هر زیر مجموعه مقید مزون وباریون به محاسبه انرژی بستگی مجموعه کل (پنتاکوارک) می پردازیم. معادله شرودینگربرای حالت مقید دوذره ای با پتانسیل V به صورت معادله انتگرالی زیراست :

$$|\psi_b> = G_0 V |\psi_b> \qquad (1)$$

که درفضای پیکربندی بصورت زیربازنویسی می شود:

$$\psi_b(\vec{r}) = -m\sqrt{\frac{\pi}{2}} \int_0^{\infty} dr' \; r'^2 \int_{-1}^{+1} dx' \int_0^{2\pi} d\phi' \; . \; \frac{exp\,(-\sqrt{m|E_b|}\,|\vec{r}-\vec{r}'|}{|\vec{r}-\vec{r}'|} \; . \; V(\vec{r}')\,\psi_b(\vec{r}') \qquad (2)$$

E_b انرژی بستگی سیستم مقیددوجسمی (مـزون + بـاریون) مـی باشد . وبادرنظرگرفتن پتانسیل برهمکنشی به صورت موضعی تـابع موج بصورت زیراست:

$$\psi_b(\vec{r}) = \int_0^{\infty} dr' \int_{-1}^{+1} dx' \; M(r, r', x')\, \psi_b(\vec{r'}) \qquad (3)$$

$M(r, r', x') = -m\sqrt{2\pi^3}$.

$$\frac{\exp\,(-\sqrt{m|E_b|}\sqrt{r^2+r'^2-2r\,r'rx'}\,)}{\sqrt{r^2+r'^2-2r\,r'rx'}}\; r'^2\, V(r') \qquad (4)$$

معادله دارای فرم کلی ویژه مقداری زیراست:

$$K(E_b)\,|\psi_b> = \lambda(E_b)\,|\psi_b> \qquad (5)$$

و λ=1 بزرگترین ویژه مقدار مثبت است و با روش تکرار (روش مستقیم) معادله ویژه مقداری را حل میکنیم [6]، برای گسسته سازی ا نتگرالها از روش گاوس- لژاندر [7] و نقاط شبکه گاوسی برای متغیرهای x' , r' , r را ۱۰۰ درنظرمی گیریم.

روش گاوس _ لژاندر

دراین روش هرانتگرال با بازه [-1,+1] رابه صورت زیر ارزیابی میکنیم:

$$\int_{-1}^{+1} f(x)dx = \sum_{i=1}^{N} w_i\, f(x_i) \qquad (6)$$

x_i ریشه های تابع لژاندر نوع اول مرتبه N و w_i توابع وزن نقطـه ای هسـتند. بـرای انتقـال بـازه انتگـرال گیـری r' از $[0,\ r_{max}]$ به [-1,+1] از تغییر متغیرزیراستفاده می کنیم:

$$r = r_{max} \cdot \frac{1+x}{2} \qquad (7)$$

باگسسته سازی انتگرالها معادله به صورت زیربازنویسی می شود :

$$\psi_b(\vec{r}) = -m\sqrt{\frac{\pi}{2}}2\pi \sum_{i=1}^{N_{r'}}\sum_{j=1}^{N_{x'}} w_{r'_i}\, w_{x'_j}\, r'^2_i \; . \; \frac{\exp(-\sqrt{m|E_b|}\;\; \rho(r, r'_i, x'_j)}{\rho(r, r'_i, x'_j)}\; V(r'_i) \qquad (8)$$

$$\psi_b(\vec{r}) = \sum_{i=1}^{N_{r'}} N(r, r')\psi_b(r'_i)$$

$$N(r, r') = -m\sqrt{\frac{\pi}{2}}2\pi \sum_{j=1}^{N_{x'}} w_{r'_i}\, w_{x'_j}\; r'^2_i \; . \; \frac{\exp(-\sqrt{m|E_b|}\;\; \rho(r, r'_i, x'_j)}{\rho(r, r'_i, x'_j)}\; V(r'_i) \qquad (9)$$

با قطری کردن ماتریس N ویژه مقدار "یک" را در طیف ویژه مقادیر جستجو میکنیم ، انرژی متنا ظر با آن ا نرژی بستگی سیستم خواهد بود .

روش کار

دراین روش بااستفاده ازرهیافت مونت کارلو معادله لیپمن-شوئینگر رابرای سیستم مقید دو جسمی حل میکنیم. در این رهیافت انتگرال ده راقطری وطیف ویژه مقادیر را تعیین می کنیم ،بدیهی است باتوجه به معادله (۵) ویژه مقدار λ=1 توصیف کننده تابع موج مناسب و خودسازگار می باشد وانرژی متناظر با این تابع موج بیانگر انرژی بستگی (E_b) خواهد بود. اطلاعات موردنیاز شامل جرم میانگین مزون ونوکلئون، ا نرژی بستگی پیشنهادی ، ضرائب پتانسیل ، شعاع قطع (ریشه پتانسیل) است.جرم هادرونهای مورد استفاده درانرژی بستگی در جدول ۲ ذکرشده اند.

جدول ۲ :جرم هادرونها[8]

هادرون	M($\frac{Mev}{c^2}$)
p (uud)	۹۳۸/۲۷۲
n (udd)	۹۳۹/۵۶۵۳
$k^+(u\bar{s})$	۴۳۹/۶۷۷
$k^0(d\bar{s})$	۴۹۷/۶۱۴
$\bar{D}^0$ (u$\bar{c}$)	۱۸۶۴/۸۳
$D^-(d\bar{c})$	۱۸۶۹/۶۰
B^+ (u$\bar{b}$)	۵۲۷۹/۱۵
B^0 (d$\bar{b}$)	۵۲۷۹/۵۰
${D_s}^0$ (c$\bar{s}$)	۱۹۶۸/۴۷
$\bar{B_s}^0$ (b$\bar{s}$)	۵۳۶۶/۳

پتانسیل برهمکنشی

در حل معادله ویژه مقداری (۵)، پتانسیل برهمکنشی نقشی اساسی دارد. در مراجع مختلف پتانسیلهای متفاوتی برای برهمکنش بین کوارکها معرفی شده است، پتانسیل کرنل (cornell) به عنوان یکی ازپتانسیلهای متناسب مورد بررسی قرارگرفته است [9,10] که شامل یک جمله کولنی ویک جمله خطی (توصیف کننده حبس شدگی کوارکها) می باشد.

$$V = \frac{-\alpha_c}{r} + f_0 \, r$$
$$f_0 = 790\ Mev^2 \quad , \quad \alpha_c = \frac{4}{3}\alpha$$
$$\alpha = 2.041 \qquad (10)$$

نتایج بدست آمده

با روش ذکرشده جرم پنتاکوارکها را تعیین کرده ایم که درجدول ۳ ذکر شده اند که تطابق بسیارخوبی با مقادیر ذکر شده در سایر منابع دارد [11].

جدول ۳ .جرم وانرژی بستگی پنتاکوارکهای $\theta_{\rm bs}$،θ_{cs}، $\theta_{\rm b}$، $\theta_{\rm c}$، θ^+

پنتاکوارک	E_b (Mev)	M ($\frac{Mev}{c^2}$)	Mass in Ref.[11] ($\frac{Mev}{c^2}$)
$\theta^+ (uudd\bar{s})$	-۲۸۹/۲۱۲	۱۵۴۵	۱۵۴۰
$\theta_{\rm c}(uudd\bar{c})$	−۱۷۳/۲۴	۲۶۳۴/۶۳۲	۲۶۵۰
$\theta_{\rm b}(uudd\bar{b})$	−۱۰۲۰/۲۴۲	۵۱۹۷/۵۳	۵۲۰۷
$\theta_{cs}(cuud\bar{s})$	−۴۹۷/۳۴۲	۲۴۰۹/۴	۲۴۲۰
$\theta_{\rm bs}(buud\bar{s})$	-۵۵۰/۸۶۵	۵۷۵۵	۵۷۵۰

مراجع

[1]The Search for Exotic Baryons at the HERMES Experiment W Deconinck - 2008

[2]Exotic baryons from a heavy meson and a nucleonY Yamaguchi, S Ohkoda, S Yasui, A Hosaka - Few-Body Systems, 2012

[3] A. Airapetian et al. Evidence for a narrow |S| = 1 baryon state at a mass of 1528MeV in quasi-real photoproduction. Phys. Lett., B585:213, 2004.

[4] A. Airapetian et al. Search for an exotic S = -2, Q = -2 baryon resonance at a mass near 1862MeV in quasi-real photoproduction. Phys. Rev., D71:032004, 2005.

[5]Exotic baryons from a heavy meson and a nucleon, Yasuhiro Yamaguchi1,2012

[6]H. W. Wyld, W. A. Benjamin, Mathematical Methods for Physics (1976).

[7] Shoichiro Nakamura, Applied numerical methods software, the Ohio State University, by Prentice Hall. Inc, 1998

[8] N. Nakamura , (Particle Data Group) Review of Particle Physics,2010

[9]M. Monemzadeh and M.Hadizadeh and N.Tazimi, Int. J. of theo Phys. Vol 50 No. 3 ,2011

[10] Bc meson spectrum and hyperfine splittings in the shifted large-N-expansion technique , Sameer M. Ikhdair and Ramazan Sever, 2008.

[11] Studying Exotic Hadrons in Heavy Ion CollisionsSungtae Cho, Takenori Furumoto , Tetsuo Hyodo, Daisuke Jido, Che Ming Ko, 2011