

مقاله‌نامه بیست و سومین کنفرانس بهاره فیزیک (۳۰-۲۹ اردیبهشت ۱۳۹۵)

طیف جرم ناوردای $\Sigma\pi$ در آزمایش CLAS

مریم حسونند^۱، یوشینوری آکائیشی^۲

^۱دانشکده فیزیک، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، 84156-83111، ایران

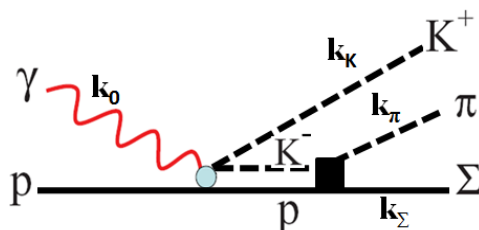
^۲اریکن، مرکز نیشینا، واکو، سایتاما، 351-0198، ژاپن

چکیده

در این مقاله سطح مقطع دیفرانسیلی واکنش $\gamma p \rightarrow K^+ \Sigma\pi$ در انرژیهای $\sqrt{s} = 2.0 - 2.2$ GeV محاسبه و با داده‌های گروه CLAS در JLAB مقایسه شده‌اند. در این آزمایش ذره $\Lambda(1405)$ در طیف جرم ناوردای $\Sigma\pi$ قابل شناسایی است که با طیف جرمی به دست آمده در مقاله حاضر به خوبی توضیح داده می‌شود.

مقدمه

ذره $\Lambda(1405)$ دقیقاً در زیر آستانه $K^+ \bar{N}$ واقع شده است و ساختار داخلی آن دهه‌هاست که مورد توجه قرار دارد. با این وجود تاکنون داده‌های آزمایشگاهی بسیار محدودی برای تعیین خواص این ذره در اختیار پژوهشگران قرار گرفته است و این داده‌های محدود هم به نتایج همگرایی منجر نمی‌شود. مهمترین ویژگی این ذره طیف جرم ناوردای آن است که در آزمایش‌های مختلف گزارش می‌شود و اطلاعاتی مثل جرم و پهنای این ذره را مشخص می‌کند. با این وجود هم در بخش داده‌های آزمایشگاهی و هم در نظریه‌های ارائه شده تاکنون نتیجه قطعی مبنی بر ارائه ساز و کار داخلی ذره $\Lambda(1405)$ و جرم و پهنای آن پذیرفته نشده است. در این میان مدل کوآرک سازنده - علی‌رغم موفقیت‌های زیاد در به دست آوردن جرم رزونانس‌های باریونی دیگر - نیز برازش خوبی با داده‌های آزمایشگاهی ندارد. از آنجا که این ذره در زیر آستانه $K^+ \bar{N}$ قرار دارد، بنابراین نمی‌توان آن را در آزمایش‌هایی که باریکه کائونی به صورت مستقیم بر روی هدف نوکلئونی گسیل می‌شود مشاهده کرد. در این مقاله سعی بر این است که به صورت مختصر تحلیلی از داده‌های بسیار پیچیده گروه CLAS در JLAB [۱] که در آن ذره $\Lambda(1405)$ در طیف جرم ناوردای $\Sigma\pi$ قابل شناسایی است، ارائه شود. در این آزمایش واکنش فتوهسته‌ای $\gamma p \rightarrow K^+ \Sigma\pi$ در انرژی‌های $\sqrt{s} = 2.0 - 2.2$ GeV انجام شده و توزیع جرم ناوردای هر سه کانال $\Sigma^+ \pi^-$ ، $\Sigma^0 \pi^0$ و $\Sigma^- \pi^+$ با دقت بالا در ۹ گروه جداگانه گزارش شده است. چندین مکانیسم تئوری برای توصیف تشکیل باریون شگفت Λ در مقاله‌های مختلف پیشنهاد شده است و متناسب با آن نتایج متفاوتی به دست آمده است [۲-۴]. مکانیسم پیشنهادی در مقاله حاضر بر اساس دیاگرام شکل (۱) و محاسبه ماتریس T و به دست آوردن سطح مقطع دیفرانسیلی واکنش مذکور است.



شکل ۱: تشکیل سه ذره نهایی $\pi K^+ \Sigma$ در واکنش $\gamma p \rightarrow K^+ \Sigma\pi$. تکانه‌های اولیه و ثانویه روی شکل مشخص شده است.

مقاله‌نامه بیست و سومین کنفرانس بهاره فیزیک (۳۰-۲۹ اردیبهشت ۱۳۹۵)

رهیافت ریاضی مسئله

از رابطه مربوط به آهنگ گذار فرایند شکل (۱) شروع و با در نظر گرفتن فرایندهای میانی آن را کامل می‌کنیم:

$$T_{fi}^{tab} = \left(\frac{L}{2\pi}\right)^6 \int d\bar{q}' d\bar{q} [\bar{k}_\pi, \bar{k}_\Sigma | t_{21} | \bar{q}', \bar{q}] \times G(\bar{q}', \bar{q}) \times [\bar{k}_K, \bar{q}', \bar{q} | t_{pr} | \bar{k}_0, 0] \quad (1)$$

که در این رابطه \bar{q} و \bar{q}' تکانه‌های ذرات K^- و پروتون میانی در شکل (۱)، t_{pr} دامنه گذار فرایند pK^-K^+ و $G(\bar{q}', \bar{q})$ تابع گرین حالت میانی و در مقاله حاضر به صورت زیر در نظر گرفته شده است:

$$G(\bar{q}', \bar{q}) = \frac{1}{(E_i - E_K) - E_K(\bar{q}') - E_p(\bar{q}) + i\varepsilon}$$

با تبدیل تکانه‌های ذرات به تکانه‌های نسبی و مرکز جرم محاسبات را ادامه می‌دهیم:

$$[\bar{k}_\pi, \bar{k}_\Sigma | t_{21} | \bar{q}', \bar{q}] = [\bar{k} | t_{21} | \bar{q}] [\bar{K} | \bar{Q}] \quad (2)$$

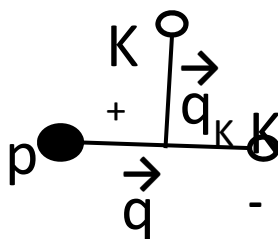
$$[\bar{k}_K, \bar{q}', \bar{q} | t_{pr} | \bar{k}_0, 0] = [\bar{q}, \bar{q}_K | t_{pr} | \bar{k}_0] [\bar{k}_K + \bar{Q} | \bar{k}_0] \quad (3)$$

که در این رابطه

$$\bar{k} = \frac{M_\Sigma \bar{k}_\pi - m_\pi \bar{k}_\Sigma}{M_\Sigma + m_\pi}, \quad \bar{k}_K = \frac{M_p \bar{q}' - m_K \bar{q}}{M_p + m_K}, \quad \bar{Q} = \bar{q}' + \bar{q} \quad (4)$$

و \bar{q}_K و \bar{q} تکانه‌های نسبی کاتون و کاتون منفی و پروتون میانی است که در شکل (۲) موقعیت نسبی آنها رسم شده است و به صورت زیر نوشته می‌شوند:

$$\bar{k}_0 = \frac{M_p \bar{k}_0 - 0}{M_p + 0} = \bar{k}_0, \quad \bar{q}_K = \frac{(M_p + m_K) \bar{k}_K - m_K \bar{Q}}{M_p + m_K + m_K} = \bar{k}_K - \frac{m_K}{M_p + 2m_K} \bar{k}_0 \quad (5)$$



شکل ۲: تکانه‌های نسبی پروتون و کاتون منفی و سیستم کاتون-پروتون با کاتون خروجی.

با جایگذاری این روابط در معادله (۱) و به کارگیری تابع دلتای دیراک، دامنه گذار ساده تر می‌شود. معادله حاصل سپس به توان دو رسانده می‌شود و سطح مقطع دیفرانسیلی این فرایند در گام بعدی قابل دستیابی است.

$$d^9\sigma = \frac{L^3}{v_0} \frac{2\pi}{\hbar} \delta(E_i - E_f) \left(\frac{L}{2\pi}\right)^3 d\bar{k}_K \left(\frac{L}{2\pi}\right)^3 d\bar{k} \left(\frac{L}{2\pi}\right)^3 d\bar{K} \delta^2(\bar{k}_K + \bar{K} - \bar{k}_0) \times \left| \int d\bar{q} [\bar{k} | t_{21} | \bar{q}] G(\bar{q}', \bar{q}) [\bar{q}, \bar{q}_K | t_{pr} | \bar{k}_0] \right|^2 \quad (6)$$

مقاله‌نامه بیست و سومین کنفرانس بهاره فیزیک (۳۰-۲۹ اردیبهشت ۱۳۹۵)

با انتگرال گیری روی $d\vec{K}$ و جایگذاری تابع دلتای دیراک و $v_0 = c$ به رابطه زیر می‌رسیم:

$$d^6\sigma = \frac{(2\pi)^4}{\hbar c} \delta(E_i - E_f) d\vec{k}_K d\vec{k} \times \left| \int d\vec{q} \langle \vec{k} | t_{21} | \vec{q} \rangle G(\vec{q}', \vec{q}) \langle \vec{q}, \vec{q}_K | t_{pr} | \vec{k}_0 \rangle \right|^2, \quad (7)$$

با در نظر گرفتن تقریب برهمکنش با برد صفر $\langle \vec{q}, \vec{q}_K | t_{pr} | \vec{k}_0 \rangle = \langle t_{pr} \rangle$ و نیز برهمکنش به کار رفته در مرجع [۵] برای یک پتانسیل محلی و جداپذیر یوکاوا-گونه $\langle \vec{k} | t_{21} | \vec{q} \rangle = g(\vec{k}) T_{21} g(\vec{q})$ که $g(\vec{k}) = \frac{\Lambda^2}{\Lambda^2 + k^2}$ فرم فاکتور و Λ معرف برد برهمکنش است. بنابراین معادله (۷) به صورت زیر بازنویسی می‌شود:

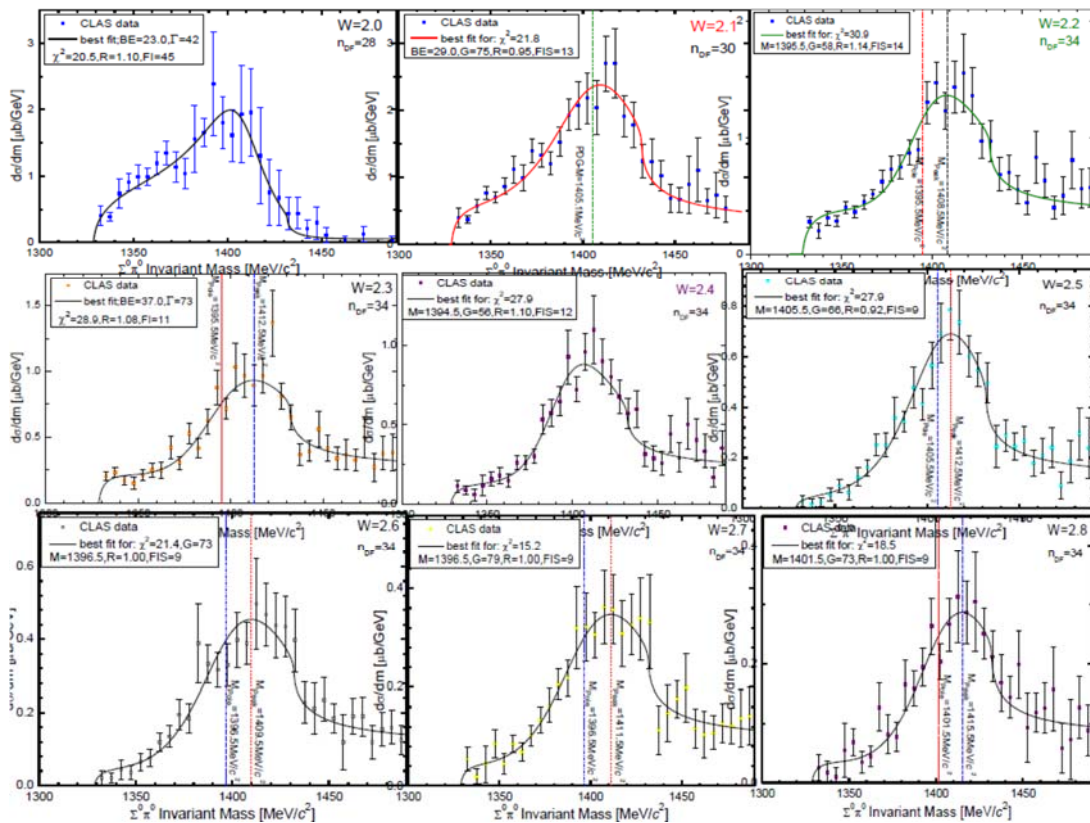
$$d^6\sigma = \frac{(2\pi)^4}{\hbar c} \delta(E_i - E_f) d\vec{k}_K d\vec{k} \left| \langle t_{pr} \rangle \right|^2 \left| g(\vec{k}) T_{21} \right|^2 \left| \int d\vec{q} g(\vec{q}) G(\vec{q}', \vec{q}) \right|^2, \quad (8)$$

در نهایت و با در نظر گرفتن متغیرهای سینماتیکی مسئله به رابطه نهایی برای سطح مقطع دیفرانسیلی می‌رسیم:

$$\frac{d^2\sigma}{dYc^2 d\cos(\Theta_K)} \propto \frac{k_K^2 E_Y}{\left(1 + \frac{E_Y}{E_K}\right) k_K - k_0 \cos\Theta_K} \left| g(\vec{k}) T_{21} \right|^2 \frac{\bar{E}_\pi \bar{E}_\Sigma}{\bar{E}_\pi + \bar{E}_\Sigma} \text{Re}(k). \quad (9)$$

که Y جرم ناوردای سیستم و Θ_K زاویه بین بردار \vec{K} و \vec{q} است.

با استفاده از رابطه (۹) طیف جرم ناوردای واکنش $\gamma p \rightarrow K^+ \Sigma \pi$ به دست می‌آید. در نهایت طیف حاصل با ۹ داده تجربی مقایسه و در شکل (۳) نشان داده شده‌اند. مقادیر χ^2 (نشان داده شده روی هر شکل) نشان دهنده موفقیت طیف تئوری ارائه شده در مقاله حاضر است.



مقاله‌نامه بیست و سومین کنفرانس بهاره فیزیک (۳۰-۲۹ اردیبهشت ۱۳۹۵)

شکل ۳: مقایسه سطح مقطع دیفرانسیلی فرآیند $\gamma p \rightarrow K^+ \Sigma \pi$ به دست آمده در مقاله حاضر با داده های تجربی CLAS. مقادیر جرم و پهنای ذره $\Lambda(1405)$ به همراه مقادیر χ^2 روی هر شکل نشان داده شده است.

مرجع ها:

- [1] K. Moriya et al. [CLAS Collaboration]; *Physical Review Letters* **112**, (2014) 082004.
- [2] L. Roca and E. Oset; *Physical Review C* **87** (2013) 055201.
- [3] S. X. Nakamura and D. Jido; *Progress Theory Experimental Physics* (2014), 023D01.
- [4] M. Mai and U. Meissner; *Nuclear Physics A* **900** (2013) 51-64.
- [5] Y. Akaishi, K. S. Myint and T. Yamazaki; *Proc. Jpn. Acad., Ser. B* **84**, (2008) 264-272.