محاسبه سطح مقطع تولید زیر آستانه ای مزون K^+ در بر هم کنش پروتون – هسته

پژوهندگان :

دکتر محمد مهدی فیروزآبادی[1] ، فهیمه حبیبی

دانشگاه بیرجند

چکیده :

در طی چندین سال گذشته ، پیشرفتهای زیادی در مطالعه برخورد های هسته ای با انرژی متوسط و بالا شده است . همچنین مدلهایی نیز مطرح شده اند . یکی از پیشرفتهای تولید ها درون ها درمحدوده غیر مجاز سینماتیک ، تولید زیر آستانه ای آنها در بر هم کنش P-P و P-A است . هدف این تحقیق محاسبه سطح مقطع تولید مزون k^+ از طریق برخورد پروتون – هسته در انرژیهای زیر آستانه است .لذا به محاسبه سطح مقطع ناوردای تولید k^+ در انرژی فرودی ۱,۷ GeV در زاویه $\theta_k = 10.5^\circ$ بر روی هدف های Be و Cu در محدوده تکانه های $0.675 \le p_k\,(GeV/C) \le 1.15$ پرداخته شد .سطح مقطع ناوردای $E\frac{d^3\sigma}{d^3p}(\mu bGeV^{-2}C^2Sr^{-1})$ بر مبنای مدل folding برای Be از ۱۰۹ تا ۲,۵ و برای Cu از ۲۹۳ تا ۵,۲ محاسبه گردید.

کلید واژگان : زیر آستانه ای – مزون – کایون – سطح مقطع – برهم کنش

مقدمه

بشتر دانش ما درباره هسته های اتم محدود به استفاده از پرتابه های هسته ای با انرژی فرودی نسبتاً پایین می شود . اما با توجه به گسترش فیزیک هسته ای – ذرات بنیادی در دهه اخیر دیگر نمی توان هسته را شامل مجموعه ای از نوکلئونهای مستقل و با وابستگی کم توصیف کرد .

در طی چندین سال گذشته ، پیشرفتهای زیادی در مطالعه برخوردهای هسته ای با انرژی بالا شده است . همچنین مدلهایی نیز مطرح شده اند . یکی از پیشرفتهای تولیدها درونها در محدوده غیر مجاز سینماتیک ، تولید زیر آستانه ای آنها در بر هم کنش PP ، PA است مطالعه تولید زیر آستانه ای ذره ، می تواند اطلاعات مهمی درباره ساختار هسته در فواصل کوتاه (فواصل بین نوکلئونی) ، مولفه تکانه بالای تابع موج هسته و درجه آزادی کواراکهای درون هسته به ما بدهد .

[1] - mfiroozabadi@birjand.ac.ir

روش کار :

روشهای مختلفی برای محاسبه سطح مقطع تولید کایون دربرهم کنش P-A وجود دارد . از جمله می توان به قاعده طلایی برای پراکندگی ، مدل تقریب فضای فاز ، مدل تبادل بوزون و مدل تاشو (Folding model) اشاره کرد . برای تحلیل تولید ذرات در انرژی فرودی زیر آستانه نوکلئون-نوکلئون(کمتر از $T_{th}=1.58GeV$)لازم است که مولفه تکانه بالای تابع موج هسته ای نیز در نظر گرفته شود . طبیعتاً بررسی مولفه تکانه بالا مستقیماً متناسب با تحقیق روی ساختار هسته در فواصل خیلی کوتاه هسته ای است . در این مقاله از روش تاشو (Folding model) و فرآیند یک مرحله ای(رابطه۱) برای محاسبه سطح مقطع برهم کنش پروتون – هسته استفاده می شود .

$$P+N\rightarrow K^{+}+Y+N \qquad (۱)$$

سطح مقطع ناوردای لورنس در این مدل از رابطه زیر بدست می آید :[2]

$$E_{K^{+}}\frac{d^{3}\sigma_{(PA\rightarrow K^{+}x)}}{d^{3}K_{K^{+}}}=N_{1}\int d^{3}q\phi(q)(E'_{K^{+}}\frac{d^{3}\sigma_{PN\rightarrow K^{+}N}(\sqrt{s})}{d^{3}K_{K^{+}}}) \qquad (۲)$$

که در آن N_1 تعداد برخوردهای اتفاقی اولیه ضریبی است که از تقریب گلوبر محاسبه می شود :

$$N_{1}=\int d^{2}b\exp[-\sigma T)]T(b)$$
$$T(b)=\int d_{z}\,\rho(b,z) \qquad (۳)$$

σسطح مقطع کل برهم کنش PN و $\rho(r)$ چگالی هسته ای نرمالیزه به A (عدد اتمی) است . $\Phi(q)$تابع توزیع تکانه نوکلئونهای هسته است که می توان آن را به صورت دو تابع گاوسین در نظر گرفت [۱]:

$$\Phi(q)=\frac{1-h}{a^{3}}\exp(-\frac{q^{2}}{2a^{2}})+\frac{h}{b^{3}}\exp(-\frac{q^{2}}{2b^{2}})$$
$$h=0.08 \qquad (۴)$$
$$a=0.115GeV/C$$
$$b=0.230GeV/C$$

جمله اول تابع توزیع معمولی فرمی و جمله دوم مولفه تکانه بالای فرمی است . $\sqrt{s}$انرژی کل سیستم پروتون –نوکلئون است . q تکانه نوکلئون داخل هسته و $(E'_{k^{+}}\frac{d^{3}\sigma_{PN\rightarrow K^{+}N}(\sqrt{s})}{d^{3}K_{K^{+}}})$ سطح مقطع بنیادی در برخورد پروتون با نوکلئون آزاد است و به صورت زیر تعریف می شود :[۳]

$$E'_{x}\frac{d^{3}\sigma_{x}(\sqrt{s})}{d^{3}K'_{x}}\approx\sigma_{PNK^{+}}(\sqrt{s})\frac{3E'_{K^{+}}}{(\pi K'^{\,2}_{k^{+}}K_{\max})}(1-\frac{K'_{K^{+}}}{K_{\max}})(\frac{K'_{K^{+}}}{K_{\max}})^{2} \qquad (۵)$$

که در آن $k_{\max}$ عبارت است از :

$$k^{2}{}_{\max} = \frac{1}{4s}[s-(m+m_{\Lambda}+m_{k})^{2}).(s-(m+m_{\Lambda}-m_{k})^{2}] \qquad (۶)$$

و سطح مقطع کل تولید کایون $\sigma_{PNK^{+}}(\sqrt{s})$ که با مدل فضای فاز تقریب زده می شود نیز به صورت زیر بیان می شود :

$$\sigma_{PNK^{+}}(\sqrt{s}) \approx 0.8[\frac{k_{\max}}{(GeV/C)}]^{4} mb \qquad (۷)$$

مقدار S در رابطه $k_{\max}$ متغییر ماندل اشتیم است که به صورت زیر نوشته می شود :

$$s=(\hat{p}_1+\hat{p}_2)^2=(\hat{p}_3+\hat{p}_4)^2$$
$$=m_p^2+2E_0E-2p_0.q\cos\theta+m_n^2 \qquad (۸)$$

که در آن p_0 و E_0 تکانه و انرژی پروتون فرودی و q و E تکانه و انرژی پروتون داخل هسته است . m_p جرم پروتون فرودی و m_n جرم نوکلئون مفید است .

حداقل تکانه نوکلئون داخل هسته برای اینکه برهم کنش با پروتون فرودی زیرآستانه قابل انجام باشد از روش off-shell و با استفاده از پایستگی تکانه – انرژی محاسبه شد .نتایج این محاسبات برای حداقل تکانه نوکلئون داخل هسته Be و Cu در انرژی پروتون فرودی 1.7GeV در جدول(۱) آمده است.

جدول (۱) مقادیر $q_{\min}$ برای زاویه 10.5° برای هستهٔ Be و Cu و $T_P=1.7GeV$ و $\varepsilon=2MeV$

$P_k(GeV/C)$ / $q_{\min}(MeV/C)$	**0.675**	**0.806**	**0.940**	**1.05**	**1.15**
Be	-4.7	۳۸,۳	۱۰۵,۳	۱۸۳,۲	۲۸۱,۷
Cu	۱,۳۳	۴۴,۶۴	۱۱۱,۲۳	۱۸۷,۱۹	۲۸۰,۲۵

جدول فوق نشان میدهد که مثلا برای تولید k^{+} در انرژی فرودی 1.7GeV وتحت زاویه ثابت 10.5° با تکانه کایون 1.15GeV/C در برخورد Be و Cu به ترتیب لازم است نوکلئون های درون هسته حداقل تکانه 281.7MeV/C و 280.25MeV/C داشته باشند.

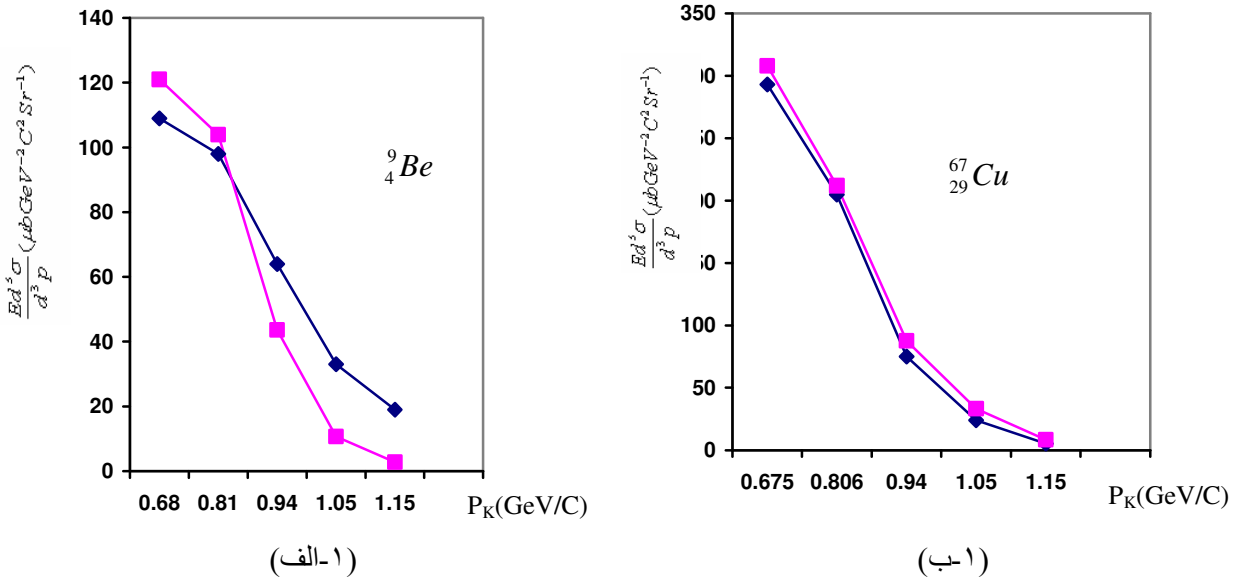
نتایج:

با استفاده از اطلاعات لازم و قرار دادن آنها در رابطه (۲) و در یک برنامه کامپیوتری به محاسبه سطح مقطع ناوردای لورنس برای تولید k^{+} در برخورد پروتون با هسته های Be و Cu مطابق جدول (۲) و نمودار (۱) پرداخته شد .خطاهای محاسبه سطح مقطع ناوردا ی تولید زیر آستانه ای مزونهای k^{+} در برهمکنش Be و Cu با توجه به منابع خطا ناشی از جرم هسته ها ، انرژی بستگی نوکلئون درون هسته ، روش محاسباتی

با استفاده از نرم افزار مطلب ، همچنین تقریب در توابع توزیع نوکلئونهای هسته و از همه مهمتر روش محاسبه سطح مقطع (folding)به نظر کمتر از 15 درصد نمی باشد.

جدول (۲) مقادیر سطح مقطع ناوردا برای زاویه 10.5°برای هستهٔ Beو Cu و $T_P = 1.7GeV$

$P_K(GeV/C)$ / $\frac{Ed^3\sigma}{d^3p}(\mu bGeV^{-2}C^2Sr^{-1})$	0.675	0.806	0.940	1.05	1.15
Be	109	98	35	4.9	2.5
Cu	293	215	75	24	5.2



(۱-الف) (۱-ب)

نمودار (۱)وابستگی سطح مقطع ناوردا در برهم کنش پروتون 1.7 GeV به تکانه کایون خروجی نمودار (۱-الف)برای Be و و(۱-ب) برای Cu

مقادیر اندازه گیری شده در مرجع [4] با خطای ۱۸ درصد

مقادیر محاسبه شده در این مقاله

بحث و نتیجه گیری :

مقایسه نتایج محاسبات با استفاده از روش foldingو نتایج اندازه گیری های انجام شده در مرجع [۴] با خطای حدود ۱۸ درصد نشان میدهد مقادیر محاسبه شده با توجه به تقریب های انجام شده از جمله مدل محاسباتی ، محاسبه ضریب N_1 ، روش انتگرال گیری ، تابع توزیع نوکلئون های هسته و.....هم خوانی خوبی با مقادیر تجربی دارد.

مراجع :

[1] A.A . Sibirtsev , Subthreshold Strangeness Production, ITEP (1993)
[2] A.A. Sibirtsev, M.Buscher , Subthreshold k^+ Production in Proton-Nucleus Collisions , Institute of Theoretical and Experimental Physics , 57(1993)
[3] W.Cassing , G .Batko.Subthreshold K^+production in proton-nucleus reaction, Phys Lett,238B(1990)25
[4] M.Firozabadi et.al , Pripint , ITEP (1996)57.