

## توزیع چندگانگی ذرات باردار در نابودی $e^-e^+$ در انرژی مرکز جرم ۵۴-۵۷ GeV و مقیاس KNO

علی قاسمپور نشلی، علیرضا سپهری، تورج غفاری و محمدابراهیم زمردیان

گروه فیزیک، دانشکده علوم، دانشگاه فردوسی مشهد  
پست الکترونیکی: zomorrod@ferdowsi.um.ac.ir

(دریافت مقاله: ۸۶/۱۲/۲۰؛ دریافت نسخه نهایی: ۸۷/۱۱/۹)

### چکیده

در این مقاله چندگانگی ذرات باردار در نابودی  $e^-e^+$  را با استفاده از مدل‌های گوناگون مورد بررسی قرار می‌دهیم. برای این منظور ابتدا توزیع چندگانگی ذرات باردار در انرژی مرکز جرم ۵۴-۵۷ GeV را با توزیع پواسن و مقیاس KNO برازش می‌دهیم. سپس نتایج به دست آمده را با توزیع چندگانگی ذرات باردار در انرژی‌های پایین تر مقایسه می‌کنیم. نتایج به دست آمده در این گستره انرژی با مقیاس KNO سازگاری بهتری را از خود نشان می‌دهد. پس از آن میانگین چندگانگی داده‌های فوق به همراه میانگین‌های به دست آمده از داده‌های مختلف تا انرژی ۲۰۶ GeV را با سه مدل فرمی، مدل تجربی داده‌های PP و مدل به دست آمده از محاسبات اختلالی QCD برازش می‌دهیم. ضرایب به دست آمده از این برازشها با نتایج حاصل از انرژی‌های پایتتر مطابقت دارد.

واژه‌های کلیدی: نابودی  $e^-e^+$ ، چندگانگی، مقیاس KNO، مدل فرمی

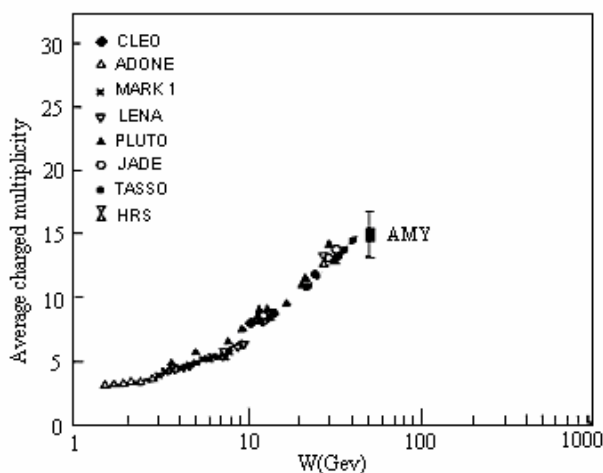
### ۱. مقدمه

یکی از ساده‌ترین فرایندها برای تولید هادرون‌ها در فیزیک ذرات برخورد الکترون-پوزیترون است. بررسی این برخورد در دستگاه مرکز جرم یکی از بهترین راههای مطالعه خصوصیات هادرونهای تولید شده می‌باشد. چون الکترون و پوزیترون ذره و پاد ذره یکدیگر هستند بعد از برخورد به انرژی خالص تبدیل می‌شوند و انرژی آزاد شده در یک مرحله که هنوز کاملاً شناخته شده نیست، به هادرون تبدیل می‌شود. به این مرحله، هادرونی شدن می‌گویند. هادرونی شدن خصوصیات فراوانی دارد و مدل‌های مختلفی را برای آن در نظر می‌گیرند. یکی از این خصوصیات مهم، چندگانگی ذرات تولید شده بعد از برخورد است که در سالهای اخیر مورد توجه زیادی قرار گرفته است [۳ و ۴]. این مطالعه بر مبنای مدل‌های گوناگونی استوار است. هدف از این مقاله مطالعه توزیع چندگانگی بر مبنای مدل‌های

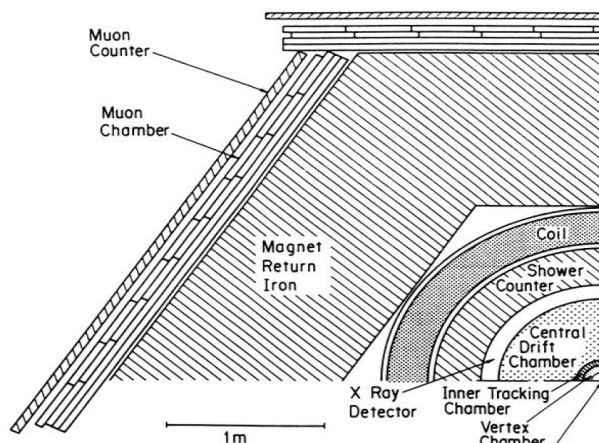
مختلف نظری، تجربی و پدیده‌شناسی است. برازش این داده‌ها با مدل‌های مختلف تأییدی بر صحت این مدل‌ها می‌باشد. داده‌ها از آشکار ساز AMY از شتاب دهنده TRISTAN در ژاپن تهیه شده‌است، که از برخورد الکترون-پوزیترون در انرژی مرکز جرم ۵۴-۵۷ GeV به دست آمده‌اند. در این مقاله به تحلیل این داده‌ها می‌پردازیم و توزیع چندگانگی برهم‌کنشها را با توزیع پواسن و مقیاس KNO برازش می‌دهیم. پس از آن این توزیع را با مدل‌های گوناگون مقایسه می‌کنیم.

### ۲. آشکار ساز AMY

آشکار ساز AMY (شکل ۱)، مشتمل بر یک آشکار ساز ردیاب ذرات باردار و یک شمارشگر رگباری است که در داخل یک سیم‌پیچ مغناطیسی با شدت میدان ۳ تسلا قرار داشته و مجموعه با قطعات ضخیم فولادی محصور شده است. در پشت سر این



شکل ۲. میانگین چندگانگی ذرات باردار بر حسب انرژی مرکز جرم.



شکل ۱. آشکارساز AMY.

میانگین انرژی مرکز جرم مساوی با  $54 \text{ GeV}$  و تابندگی کل<sup>۳</sup> مساوی با  $160 \text{ Pb}^{-1}$  می‌باشد. برای شرح کاملتر از آشکارساز AMY مرجع [۱] را ببینید.

### ۳. نتایج فیزیکی

#### ۱.۳ چندگانگی ذرات باردار

شکل ۲ میانگین چندگانگی ذرات باردار را در انرژیهای مختلف نشان می‌دهد. نتیجه به دست آمده از داده‌های AMY نیز به شکل افزوده شده است. مشاهده می‌کنیم که در محدوده خطاها این مقدار با بقیه داده‌ها سازگاری دارد. یعنی با افزایش انرژی مقدار میانگین چندگانگی افزایش می‌یابد.

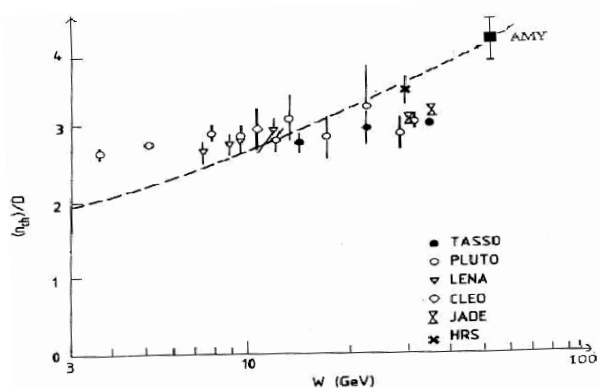
چو و یانگ [۲] مدلی را ارائه دادند که بر طبق آن چندگانگی ذرات باید دارای یک رفتار پواسون گونه باشد.

شکل ۳ توزیع  $\frac{\langle n_{ch} \rangle}{D}$  را در انرژیهای مختلف نشان می‌دهد.

$D$  عبارت است از:

$$D = \frac{1}{2} (\langle n^2 \rangle - \langle n \rangle^2) \quad (1)$$

منحنی خط چین به توزیع پواسن برای تمام ذرات مربوط می‌شود. همان گونه که از شکل پیداست این توزیع افزایش اندکی را نسبت به افزایش انرژی مرکز جرم ارائه می‌دهد. نتیجه به دست آمده از داده‌های AMY نیز مطابق با توزیع پواسن روند



شکل ۳. نمودار تغییرات  $\frac{\langle n_{ch} \rangle}{D}$  بر حسب انرژی مرکز جرم.

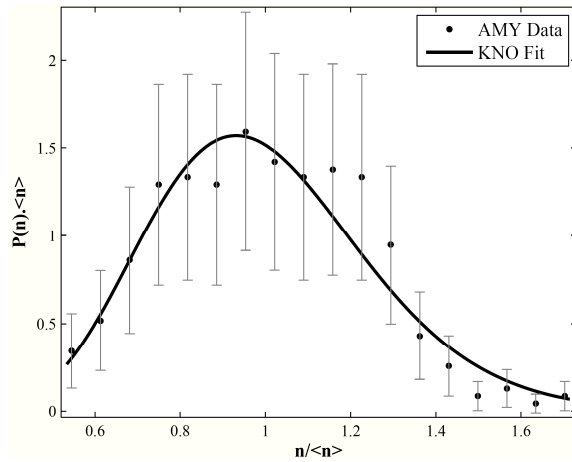
لایه ضخیم فولادی، دستگاه آشکارساز میون قرار دارد. آشکارساز ذرات باردار مشتمل بر یک آرایه استوانه‌ای با ۴ لایه از لوله‌های قطبی  $\theta < 87^\circ / \cos$  آشکار می‌شوند.

به صورت شعاعی و خارج از CDC<sup>۱</sup> یک کالری‌متر الکترومغناطیسی به درازای ۱۵ طول تابشی وجود دارد (شمارنده رگباری یا SHC)<sup>۲</sup>، که به عنوان یک آشکارساز فوتون عمل می‌کند.

آشکارساز، یک ناحیه زاویه‌ای  $\theta < 73^\circ / \cos$  را کاملاً می‌پوشاند. به این ترتیب، تکانه ذرات باردار در CDC و انرژی ذرات خنثی در SHC اندازه‌گیری می‌شوند. در این آزمایش

۱. اتاقک رانش مرکزی (Central drift chamber)

۲. شمارنده رگباری (Shower counter)



شکل ۵. نتیجه برازش توزیع داده‌های AMY با مقیاس KNO.

داده‌های دیگر همخوانی دارد [۷-۱۱]. منحنی فوق را با تابع مقیاس KNO که به طور معمول به صورت زیر تعریف می‌شود، برازش می‌دهیم.

$$\Psi(z) = \frac{k^k}{\Gamma(k)} z^{k-1} e^{-kz}, \quad (3)$$

توسط منحنی در شکل ۵ نشان داده شده است. نتیجه برازش  $\Gamma(k)$  تابع گاما و  $k$  پارامتر KNO است. نتیجه برازش

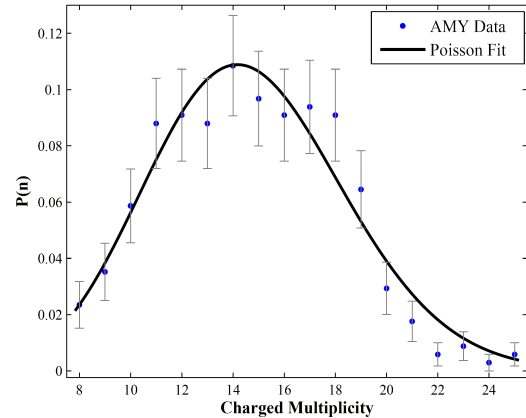
$$\frac{\chi^2}{N_{DF}} = 0.799$$

از طریق برازش به دست می‌آید به ازای  $k = 14.62 \pm 2.98$  عبارت است از:  $N_{DF}$  تعداد درجات آزادی است). مقدار فوق در محدوده خطای مورد نظر با نتایج به دست آمده از داده‌های مختلف [۷-۹] سازگار است. نتیجه می‌گیریم که در گستره انرژی مرکز جرم ۵۴-۵۷ GeV مقیاس KNO برقرار است.

### ۳.۳. برازش با مدلها

شکل ۶ در مقایسه با شکل ۲ میانگین چندگانگی ذرات باردار را در گستره بیشتری از انرژی نشان می‌دهد. بار دیگر نتایج داده‌های AMY سازگاری خوبی با بقیه داده‌ها از خود نشان می‌دهد.

اکنون شکل فوق را با سه مدل گوناگون برازش می‌دهیم،



شکل ۴. برازش توزیع چندگانگی ذرات باردار با توزیع پواسن.

مشابهی را طی می‌کند، و در محدوده خطاها با نتایج به دست آمده از داده‌های پایتتر مطابقت دارد.

توزیع چندگانگی ذرات باردار برای داده‌های AMY برازش خوبی را با توزیع پواسن از خود نشان می‌دهد (شکل ۴).

### ۲.۳. مقیاس KNO [۳ و ۴]

یک مقیاس برای توزیع چندگانگیها در انرژیهای معین در سال ۱۹۷۲ توسط کوبا، نیلسن و اولسن (KNO) [۵] ارائه شد، که از مقیاس فاینمن [۶] اقتباس شده است. و عبارت است از:

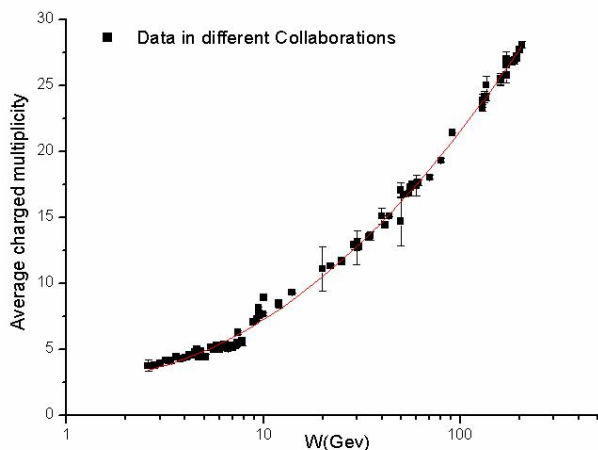
$$\Psi\left(\frac{n}{\langle n \rangle}\right) = p(n) \langle n \rangle, \quad (2)$$

احتمال چندگانگی ذرات باردار است. بر طبق این مقیاس حاصل ضرب میانگین چندگانگی ذرات  $\langle n \rangle$  در احتمال  $p(n)$  برای  $n$  ذره باردار، مستقل از انرژی است. به عبارت دیگر هرگاه توزیع چندگانگی ذرات از مقیاس KNO تبعیت کند در این صورت تابع  $\Psi\left(\frac{n}{\langle n \rangle}\right)$  مستقل از انرژی خواهد بود.

شکل ۵ توزیع  $\frac{n}{\langle n \rangle}$  را بر حسب  $p(n) \langle n \rangle$  برای داده‌های AMY نشان می‌دهد. شکل فوق با نتایج به دست آمده از

۱. Koba, Nielsen, Olesen

۲. Feynman scaling



شکل ۷. برازش داده‌ها با مدل فرمی.

فرمول تحول جتها را به صورت یک فرآیند شاخه‌ای شدن با افزایش نمایی سریع توجیه می‌کند. نتیجه برازش با این مدل همانند شکل ۷ می‌باشد ( $Q_0^2 = 1$ )، مقادیر به دست آمده برای ضرایب عبارتند از:

$$a = 2/60 \pm 0/08$$

$$b = 0/085 \pm 0/01$$

$$c = 1/80 \pm 0/04$$

$$\frac{\chi^2}{N_{DF}} = 0/91$$

این ضرایب با ضرایب به دست آمده در انرژیهای پایتتر تطابق دارد [۲۴].

۳- یک فرمول تجربی که به طور موفقیت آمیزی از تحلیل داده‌ها در برهم کنش pp ارائه شده است، عبارت است از [۱۷].

$$\langle n_{ch} \rangle = a + b \ln s + c \ln^2 s \quad (6)$$

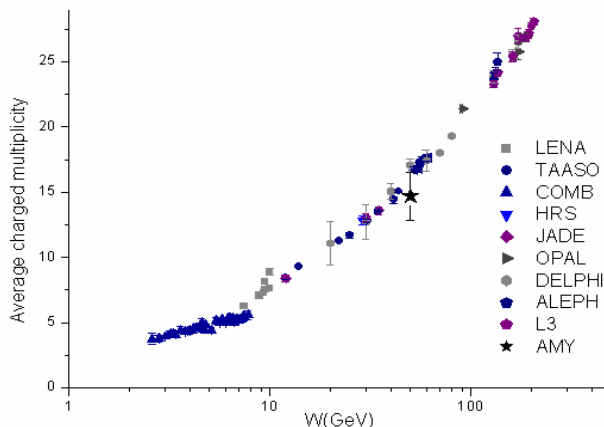
با برازش داده‌ها با فرمول فوق ضرایب زیر به دست می‌آیند:

$$a = 3/560 \pm 0/0713,$$

$$b = -0/448 \pm 0/0272,$$

$$c = 0/265 \pm 0/0226, \quad \frac{\chi^2}{N_{DF}} = 1/24$$

بار دیگر این ضرایب در توافق خوبی با ضرایب حاصل از انرژیهای پایتتر می‌باشد [۲۴]. منحنی به دست آمده نیز مشابه شکل ۷ است. بنابراین نتایج به دست آمده در هر سه مورد با نتایج حاصل از انرژیهای پایتتر سازگاری دارد [۲۵].



شکل ۶. میانگین چندگانگی ذرات باردار در انرژیهای متفاوت با استفاده از داده‌های AMY، [۸-۱۲، ۱۸].

این مدلها خصوصیات چندگانگی ذرات باردار را در مرحله هادرونی شدن در انرژیهای بالا توصیف می‌کنند [۱۹].

۱- یک فرمول که از قاعده نمایی تبعیت می‌کند و توسط فضای فاز پیش‌بینی می‌شود عبارت است از [۱۳]:

$$\langle n_{ch} \rangle = a s^b, \quad (4)$$

$a$ ،  $b$  ضریب و  $s$  مجذور انرژی مرکز جرم است.

در سال ۱۹۵۰ فرمی با استفاده از بحثهای آماری پیش‌بینی کرد که میانگین چندگانگی ذرات باردار تولید شده در برخوردهای با انرژی بالا با افزایش انرژی مرکز جرم ( $\sqrt{s}$ ) به صورت  $\langle n_{ch} \rangle \propto s^{\frac{1}{4}}$  افزایش می‌یابد. بنابراین بر مبنای این مدل  $b = \frac{1}{4}$  است [۲۰].

هر گاه شکل ۶ را با مدل فرمی برازش دهیم، مقداری که برای  $b$  به دست می‌آید برابر است با:  $b = 0/238 \pm 0/009$ ، که با مقدار موجود در مدل فرمی یکسان است (شکل ۷).

۲- اکثر مدل‌های اخیر از محاسبات اختلالی QCD با تحول پارتونها، در یک تقریب لگاریتمی مهم که به صورت زیر پیش‌بینی می‌شود به دست آمده‌اند [۱۴-۱۶].

$$\langle n_{ch} \rangle = a + b \exp\{c [\ln(s/Q_0^2)]^2\}, \quad (5)$$

$Q_0^2$  با پارامتر قطع  $\Lambda$  در QCD ارتباط دارد [۲۱-۲۳] این

## ۴. نتیجه گیری

هر انرژی است. سپس میانگین چندگانگی ذرات باردار برای داده‌های AMY، به همراه داده‌های گروه‌های مختلف تا انرژی  $206\text{GeV}$ ، برای سه مدل برازش داده شده‌اند. این مدلها عبارتند از: مدل فرمی، مدل داده‌های تجربی PP و مدل به دست آمده از محاسبات اختلالی QCD. ضرایب به دست آمده در هر سه مدل با ضرایب حاصل از بقیه برازشها که درگستره کوچکتری از انرژی انجام شده است، مطابقت دارند

در این مقاله رویدادهای آشکارساز AMY در شتاب‌دهنده TRISTAN، در گستره انرژی مرکز جرم  $54-57\text{GeV}$  مورد مطالعه قرار گرفته است. ابتدا توزیع چندگانگی با مدل پواسن و مقیاس KNO برازش داده شده است. در هر دو مورد داده‌ها برازش خوبی را از خود نشان می‌دهند. مقادیر به دست آمده برای پارامترهای KNO با سایر مقادیر در انرژیهای دیگر سازگارند. نتیجه می‌گیریم مقیاس KNO یک مقیاس ناورد در

## مراجع

1. Y K Li et al., *Phys. Rev. D* **41**(1990) 2675; K B Lee, H Sagawa, Y S Chung et al., *Phys. Lett. B* **313**(1993) 496.
2. T T Chou, and C N Yang, *Int. J. Mod. Phys. A* **2** (1987) 1727; *Phys. Lett. B* **167** (1986) 453.
3. ZEUS Collaboration, S Chekanov et al., *JHEP*, **806** (2008) 061.
4. J Dias de Deus et al., *Phys. Lett. B* **601** (2004) 125-131; A K Chaudhuri, arxiv: 0803. 0643, to be published in *Physics Letters B*.
5. Z Koba, H B Nielsen, and P Olesen, *Nucl. Phys. B* **40** (1972) 317.
6. R P Feynman, *Phys. Rev. Lett.* **23** (1969) 1415.
7. PLUTO-collaboration, C. Berger et al., Paper in preparation.
8. LENA-collaboration, B Niczyporuk, *Z. Phys. C* **9** (1981) 1.
9. TASSO-collaboration, M Althoff et al., *Z. Phys. C* **22** (1984) 307.
10. N V Radchenko arXiv:0706.3453v1 [hep-ph] 23 Jun (2007).
11. V A Abramovsky, N V Radchenko arXiv: 0706. 3358v1 [hep-ph] 22 Jun 2007.
12. COMB-Collaboration, *Phys. Rev. D* **26**(1982)969-990.
13. H Satz, in current induced reactions, edited by J G Korner, G Kramer, and D Schildknecht, (lecture notes in physics), **49**, springer verlag (1975) 56.

۲۵. علی قاسمپور نشلی، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، گروه فیزیک، دانشکده علوم، دانشگاه فردوسی مشهد (۱۳۸۶).