

۱۳۲۸ / ۴ / ۲۰

همبستگی بوز-انشتین

در نابودی الکترون و پوزیترون

۲۴۹۴۱

تقدیم به :

پدر و مادرم، عزیزان فداکاری که از پای
نشستند تا من پای گیرم.

و

به روح پاک برادرم مهندس محمد رضا
میرحسینی که عمر کوتاه خود را
صادقانه صرف خدمت به مردم کرد

و

همسر عزیز و فداکارم که در تمام طول
تحصیل یاور من بود.

۲۴۹۴۱

مَنْ عَلَّمَنِي حَرْفًا فَقَدْ صَيَّرَنِي عَبْدًا (حضرت علی علیه السلام)

سپاس بیکران سزاوار خداوندی است که بر بندگانش منت نهاد و از نعمت آموختن دانش بهره‌مند ساخت. امید که شکر این نعمت را نیز بر همه دانش آموزان و دانشجویان و دانش آموختگان ارزانی دارد.

بر خود لازم و واجب می‌دانم که از زحمات بی‌شائبه جناب آقای دکتر ابراهیم زمردیان که با راهنمایی‌های پدران در دوران تحصیل و علی‌الخصوص در ارائه این پایان‌نامه مرایاری کردند، و همچنین از جناب آقای دکتر محسن سربیشه‌ای که با حوصله و دقت نظر، مشاورت علمی پایان‌نامه را عهده‌دار بوده‌اند، تشکر و قدردانی نمایم.

همچنین از اعضای محترم هیأت ممتحن، آقایان دکتر علیرضا مختاری و دکتر محمد فرهاد رحیمی که نهایت عنایت را در مطالعه و داوری در جلسه دفاعیه اینجانب نمودند سپاسگزاری می‌نمایم.

از مسئولان محترم اتاق کامپیوتر دانشکده علوم ۱ «مخصوصاً آقای طاهری» و از کلیه اعضای محترم گروه فیزیک، بویژه سرکار خانم اکبری و سرکار خانم بولایی که نهایت همکاری را داشته‌اند تشکر می‌کنم.

بهمن ماه ۱۳۷۵

عبدالرسول میر حسینی

بسمه تعالی

جلسه دفاع از پایان نامه آقای عبدالرسول میر حسینی تحت عنوان

«همبستگی بوز - انشتین در نابودی (ee^+) الکترون - پوزیترون»

به عنوان بخشی از فعالیتهای لازم جهت اخذ مدرک کارشناسی ارشد فیزیک،

در تاریخ ۱۳۷۵/۱۱/۱۱ با حضور اعضای ممتحن ذیل تشکیل گردید و با درجه خوب

(۱۷) پذیرفته شد.

۱- آقای دکتر ابراهیم زمردیان (استاد راهنما)

۲- آقای دکتر محسن سربیشه‌ای (استاد مشاور)

۳- آقای دکتر علیرضا مختاری

۴- آقای دکتر محمد فرهاد رحیمی

مدیر گروه آموزشی فیزیک
دکتر جمشید قنبری

فهرست مطالب

	چکیده
۱	مقدمه
<hr/>	
فصل اول	
<hr/>	
۶	تابودی الکترون پوزیترون به هادرون ها
<hr/>	
فصل دوم	
<hr/>	
۱۱	تجهیزات آزمایشگاهی
<hr/>	
فصل سوم	
<hr/>	
۲۵	همبستگی بوز - انشتین
۲۹	پارامتری کردن به روش <i>Goldhaber</i>
۳۰	پارامتری کردن به روش <i>Copylove</i>
۳۱	مقایسه معادلات <i>Copylov</i> و <i>Goldhaber</i>
۳۴	نمونه مرجع
۳۵	تصحیحات
<hr/>	
فصل چهارم	
<hr/>	
۳۹	بررسی تجربی تابع همبستگی بوز - انشتین
۵۲	نتیجه
	مراجع

چکیده

در سال ۱۹۵۰ *Goldhaber - Goldhaber - Lee - Pais (GGLP)* اختلافی را بین توزیع دوزهای پایونهای همنام و غیرهمنام که در نابودی پروتون - پادپروتون تولید می‌شوند مشاهده کردند. این اختلاف منجر به معرفی تابع همبستگی بوز-انشتین شد، این تابع که نتیجه‌ای از تقارن توابع موج بوزونهای یکسان است به تبدیل فوریه توزیع چشمه پایونها ربط دارد. با این تکنیک می‌توان بعد چشمه تولید پایونها را محاسبه کرد. برای استخراج این تابع همبستگی از داده‌ها دو توزیع پایونهای همنام و غیرهمنام را با هم مقایسه می‌کنیم. این دو توزیع در بیشتر جنبه‌های فیزیکی بجز همبستگی بوز-انشتین مشابهند. نسبت این دو توزیع بر حسب یک تابع گاوسی از اختلاف چارتکانه پارامتری می‌شود.

$$R(Q) = R(P_1, P_2) = 1 + \lambda e^{-R_0^2 Q^2}$$

که در آن R_0 شعاع چشمه تولید پایونها و λ میزان همدوسی چشمه می‌باشد این پارامترها با برازش داده‌ها تعیین می‌شوند. همچنین از این روش اولین بار برای اندازه‌گیری قطر ستارگان دوردست با آشکارسازی همبستگی در شدت نور تابیده شده از ستاره‌ها استفاده شد. در این پایان نامه میانگین ابعاد فضا - زمانی ناحیه برهمکنش در رویدادهای نابودی الکترون - پوزیترون بررسی می‌شود.

مقدمه

یکی از موضوعات مهم در ذرات بنیادی درک روشی است که با آن کوارکها از برهمکنشهای اصلی بصورت هادرونهای نهایی ظاهر می شوند. این پدیده که به هادرونی شدن موسوم است در برهمکنشهای نابودی e^-e^+ به صورت گسترده ای می تواند مورد مطالعه قرار گیرد.

این موضوع را می توان با استفاده از مدل های گوناگون مورد بررسی قرار داد. علاوه بر آن ابعاد فضا زمانی ناحیه برهمکنش که در آنها هادرونی شدن رخ می دهد را با استفاده از بررسی همبستگی بوزونهای مشاهده شده، می توان محاسبه کرد. این پدیده که به همبستگی بوز-انشتین معروف است در بسیاری از آزمایشها مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته است.

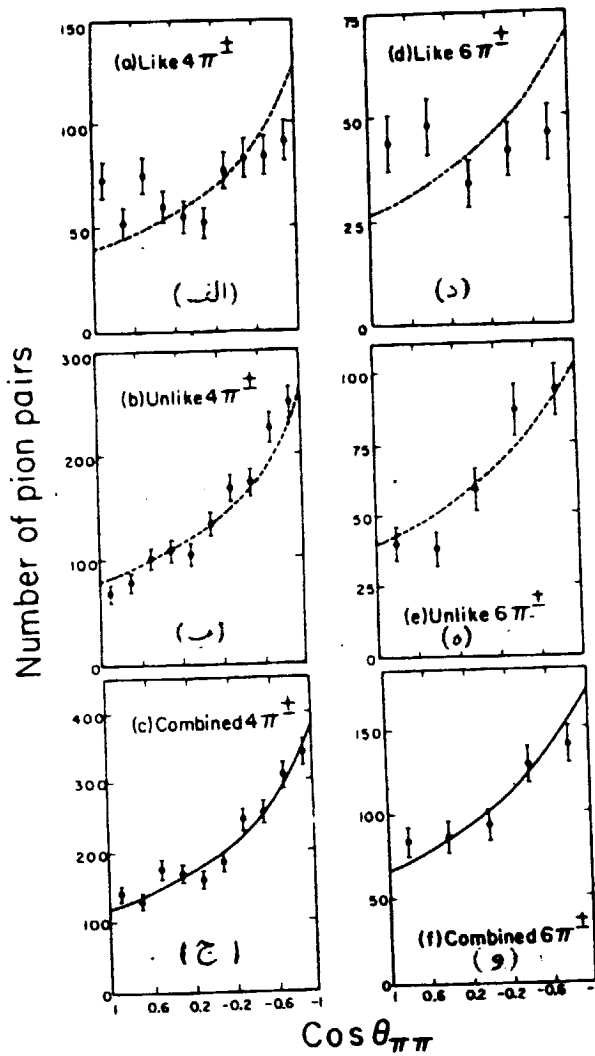
در اواخر سال ۱۹۵۰ *Goldhaber-Goldhaber-Lee-Pais (GGLP)* متوجه اختلافی بین توزیع پایونها با بار یکسان و غیریکسان در واکنش نابودی پروتون و پادپروتون شدند. آنها اثرات همبستگی زاویه ای بین پایونهای خارج شده در وقایع را مشاهده کردند. این آزمایش با یک پرتو پادپروتون با ممتنم Pp ($1/05 \text{ BeV/c}$) انجام شد. در مجموع ۲۵۰۰ واقعه نابودی با ۲۰۰۰۰ تصویر مورد بررسی قرار گرفت [۱].

جفت های پایون که در رویداد نابودی پروتون - پادپروتون تولید می شوند را می توان به دو گروه تقسیم کرد.

۱- جفت های هم نام $\pi^+\pi^+$ یا $\pi^-\pi^-$ (در حالت ایزواسپین $I=2$)

۲- جفت های غیر هم نام $\pi^+\pi^-$ (در حالت ایزواسپین $I=0, 1, 2$).

این دانشمندان در این گروه‌های جداگانه اثرات همبستگی را مشاهده کردند. نتایج نشان دادند که توزیع زوایای بین جفتهای پایون با بار همنام با توزیع زوایای بین جفتهای پایون با بار غیرهمنام بطور قابل توجهی تفاوت دارد. زوایای بین جفتهای پایون در سیستم مرکز جرم نوکلئون - آنتی نوکلئون محاسبه شده است. نتایج در شکل (۱) نشان داده شده است.



شکل (۱) توزیع زوایای بین جفتهای پایون بصورت تابعی از $\text{Cos } \theta_{\pi\pi}$ منحنی‌ها مطابق با مدل (LIPS) می‌باشند

این نتایج از تحلیل وقایعی که در آنها بترتیب ۴ و ۶ پایون باردار خارج می‌شوند، بدست آمده‌اند.

البته منحنی‌های شکل (۱) بر اساس مدل آماری بیان شده در

Lorentz-invariant phase-space (LIPS) برای تولید پایون از یک واقعه نابودی نوکلئون - آنتی نوکلئون محاسبه شده است. این مدل روی بقای تکانه - انرژی تأکید دارد و نه قیدهای دیگر. توزیع زوایا بین جفت پایون بر اساس این مدل، θ_{12} برای یک نابودی به n پایون به جرم μ چنین است

$$\phi_n(\cos\theta_{12}) = \iint P_1 P_2 F_{n-2}(W''^2) d\omega_1 d\omega_2$$

حدود انتگرالگیری از $\omega_1 \geq \mu$ و $\omega_2 \geq \mu$ تا ماکزیمم مقادیر آن یعنی $W'' = (n - 2)\mu$ می باشد.

در اینجا تعریف می کنیم که $W''^2 = (W - \omega_1 - \omega_2)^2 - (\vec{P}_1 + \vec{P}_2)^2$ و $F_{n-2}(W''^2)$ *Lorentz-invariant phase-space (LIPS)* برای $n-2$ پایون می باشد. W انرژی کل در سیستم مرکز جرم نوکلئون - پادنوکلئون است و داریم:

$$\cos\theta_{12} = \frac{\vec{P}_1 \cdot \vec{P}_2}{|P_1| |P_2|}$$

بمنظور مقایسه با توزیع های تجربی (رویدادهایی با $n+$ پایون مثبت و $n-$ پایون منفی) متوسط

گیری روی ϕ_n با $n_{\pm} \geq n$ لازم است بدین ترتیب حضور پایونهای خنثی در نابودی نیز بحساب

آورده می شود [۲]. در جدول زیر توزیعی از زوایای جفت پایون بر حسب نسبت γ (تعداد زوایای بین

- پایونها که بزرگتر از 90° است به تعداد زوایای بین پایونها که کوچکتر از 90° است) بیان شده است.

$V_{\pi\pm}$	Like pions		Unlike pions		All pions combined		Statistical model
	No. of pairs	γ	No. of pairs	γ	No. of pairs	γ	γ
4	702	1.23 ± 0.11	1404	2.06 ± 0.12	2106	1.72 ± 0.08	1.74
6	214	1.06 ± 0.15	318	1.91 ± 0.23	532	1.50 ± 0.13	1.60

نسبت γ برای پایونهای همنام و غیرهمنام و برای مدل *LIPS*

چنانچه از شکل (اج، ۹) دیده می شود توزیعی که از ترکیب پایوندهای همنام و غیرهمنام بدست می آید بخوبی با مدل *LIPS* توافق دارد. توزیع زوایا بین پایوندهای همنام در شکل (الف) و (د) بطور مشخص از مدل *LIPS* انحراف دارد. مقادیر γ_{like} برای $4\pi^{\pm}$ و $6\pi^{\pm}$ با *LIPS* بترتیب دارای انحراف استاندارد ۵ و ۳/۴ می باشد.

توزیع زوایا برای پایوندهای غیرهمنام بنظر می رسد که دارای عدم تقارن بیشتری نسبت به آنچه که مدل *LIPS* برآورد می کند، باشد. در این حالت مقدار γ_{unlik} برای $4\pi^{\pm}$ و $6\pi^{\pm}$ بترتیب دارای انحراف استاندارد ۲ و ۱/۵ است.

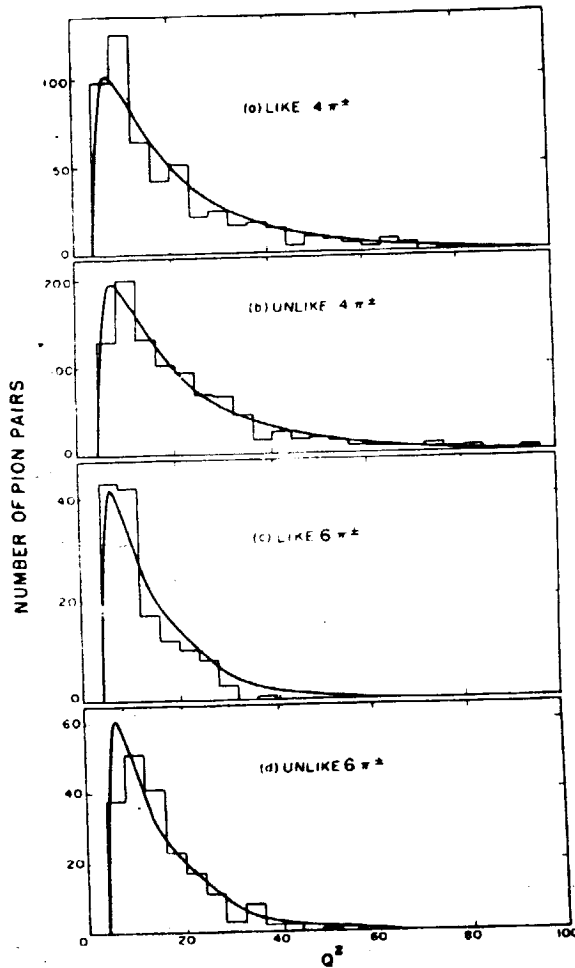
همچنین کمیت ناوردای $Q_{12}^2 = (\omega_1 + \omega_2)^2 - (\bar{P}_1 + \bar{P}_2)^2$ برای هر جفت پایون محاسبه شده است که Q_{12} انرژی کل سیستم مرکز جرم پایون - پایون می باشد. این توزیعا در شکل (۲) نشان داده شده است.

از نظر آماری اختلاف قابل ملاحظه ای بین توزیع Q^2 از جفتهای یکسان و غیریکسان مشاهده نشده است. منحنی های شکل (۲) همچنین بر اساس مدل *LIPS* محاسبه شده اند و این دو مدل داملاً با هم مشابهند و انحرافی را نشان نمی دهند. از این نظر که بین داده های ترکیبی با مدل *LIPS* توافق برقرار است این مدل را بعنوان مدل خوبی برای توصیف وضعیت فیزیکی کلی در نظر می گیریم و انحراف مشاهده شده در توزیع جفت پایوندهای همنام و غیرهمنام را به حضور همبستگی های اضافی پایون - پایون نسبت می دهیم.

شایان ذکر است که بمنظور بدست آمدن توافق کلی با مدل *LIPS* اثر همبستگی که در یکی از دو توزیع وجود دارد بایستی روی توزیع دیگر منعکس شود. تلاش برای اصلاح مدل *LIPS* با منظور کردن تابع همبستگی پایونها در آن انجام شده است. این تابع همبستگی شعاع R از حجم ناحیه برهمکنش را بعنوان پارامتر دربر دارد که می توان این شعاع را محاسبه کرد. این تابع که تابع همبستگی بوز - انشتین نامیده می شود مسئله مورد بحث ماست که به اثر (*GGLP*)

نیز مشهور است.

این اثر اولین بار در اندازه‌گیری قطر ستارگان دور دست بکار رفت. این امر با آشکارسازی همبستگی در شدت نور تابیده از ستاره‌ها انجام شد. پس از آن روش فوق برای اندازه‌گیری ابعاد ناحیه برهمکنش در ذرات بنیادی نیز مورد استفاده قرار گرفت. از آن زمان تاکنون این موضوع در چارچوب نظری پیشرفتهای شایانی داشته است و اندازه ناحیه برهمکنش در آزمایشهای گوناگون اندازه‌گیری شده است. از این اثر برای نفوذ به ساختار فضا زمانی $\alpha\alpha$, PP , PP , KP , πP و نیز $\pi^+\pi$ استفاده شده است.

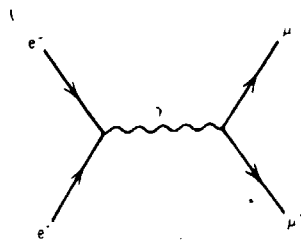


شکل (۲)

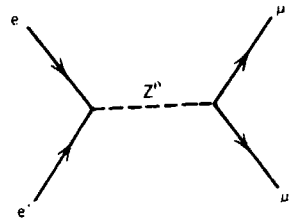
فصل اول

نابودی الکترون-پوزیترون به هادرون‌ها

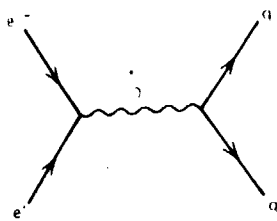
فرآیند نابودی الکترون - پوزیترون یکی از آزمایش‌هایی است که در فیزیک ذرات بنیادی از اهمیت بالایی برخوردار است. توانایی‌های این فرآیند بوسیله مجموعه دیاگرام‌های زیر (شکل (۱)) نشان داده شده است.



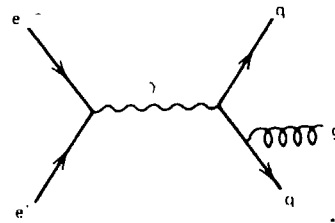
(الف)



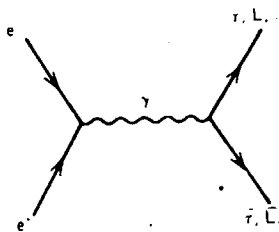
(ب)



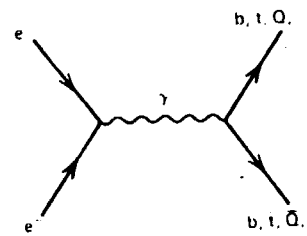
(ج)



(د)



(ه)



(و)

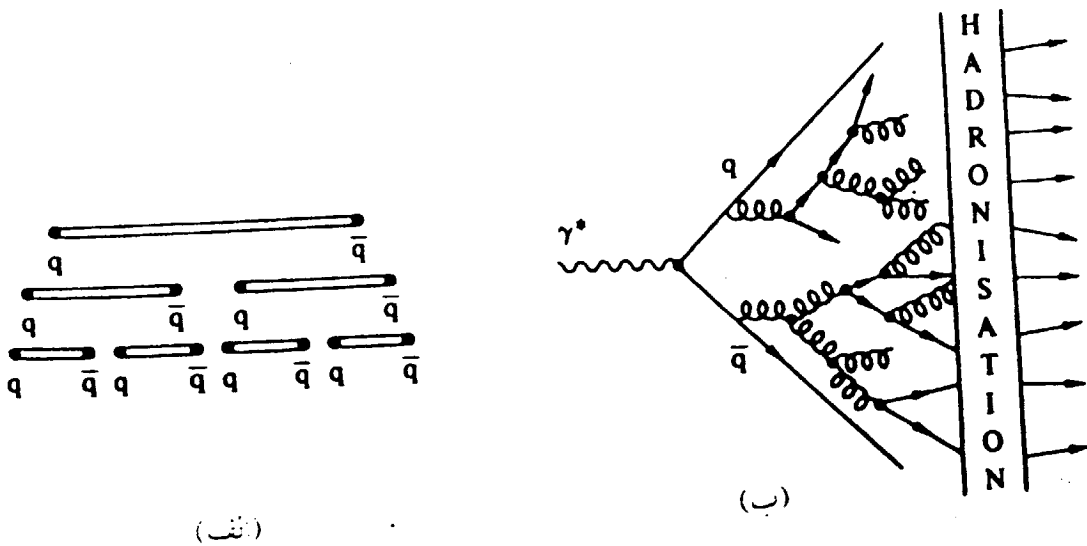
شکل (۱-۱)

این فرایند می‌تواند برای مطالعه الکترو دینامیک کوانتومی، برهمکنشهای ضعیف، کوارکها، گلوئونها و همچنین برای مطالعه و جستجوی کوارکها و لپتونهای سنگین مورد استفاده قرار گیرد. بعلاوه نابودی e^-e^+ یک فرایند تمیز است به این مفهوم که ذرات نقطه‌ای در حالت اولیه ظاهر می‌شوند. لذا پیچیدگیهای مربوط به برهمکنشهای قوی که در حالت اولیه وجود دارند در این مورد ظاهر نمی‌شوند. از بین فرایندهای شکل (۱) دیاگرامهای (ج) و (د) که در تولید پایونها نقش دارند مورد نظر هستند

$$e^-e^+ \rightarrow q\bar{q}$$

$$e^-e^+ \rightarrow q\bar{q}g$$

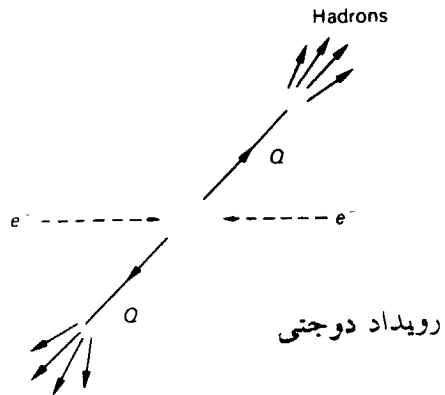
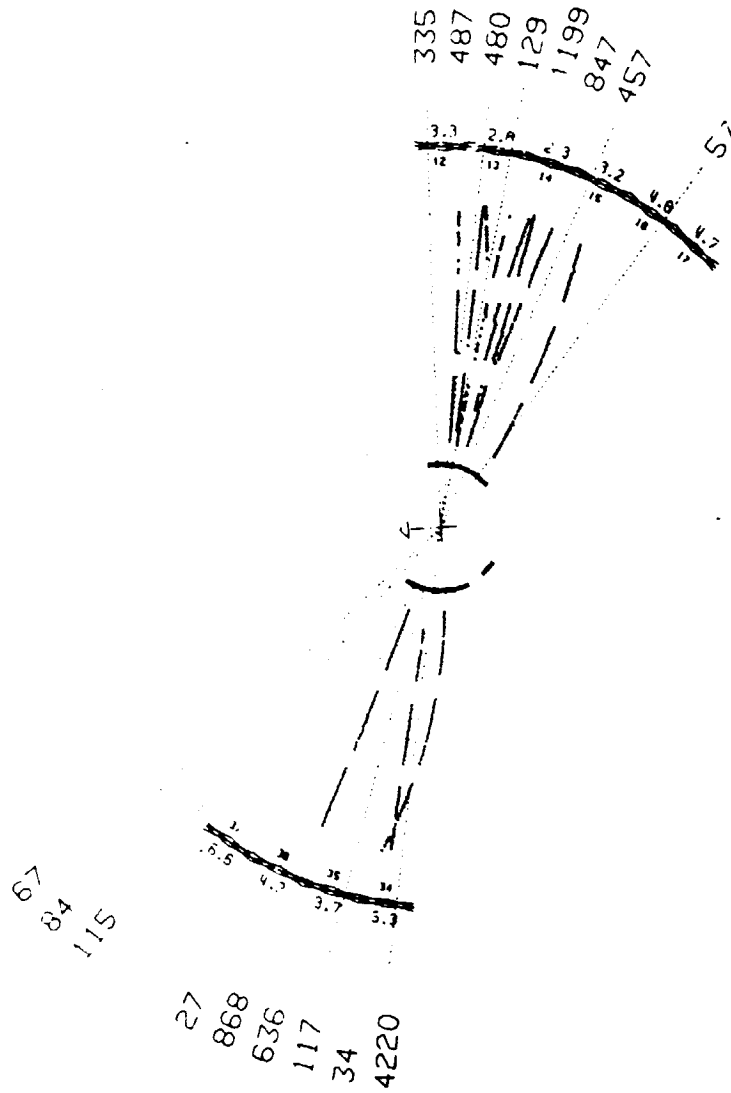
تابودی الکترون - پوزیترون به هادرونها مطابق شکل طی دو مرحله صورت می‌گیرد. ابتدا در سیستم مرکز جرم، e^-e^+ به یک کوارک و یک پادکوارک تبدیل می‌شوند و در مرحله بعد این کوارک، پاد کوارک به هادرونها تبدیل می‌شوند.



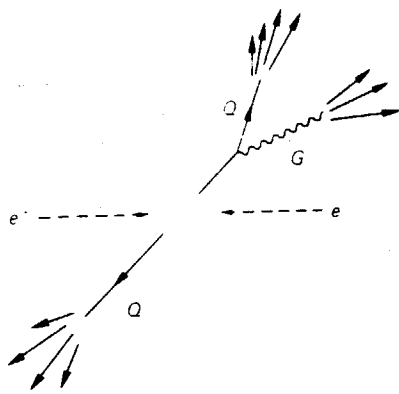
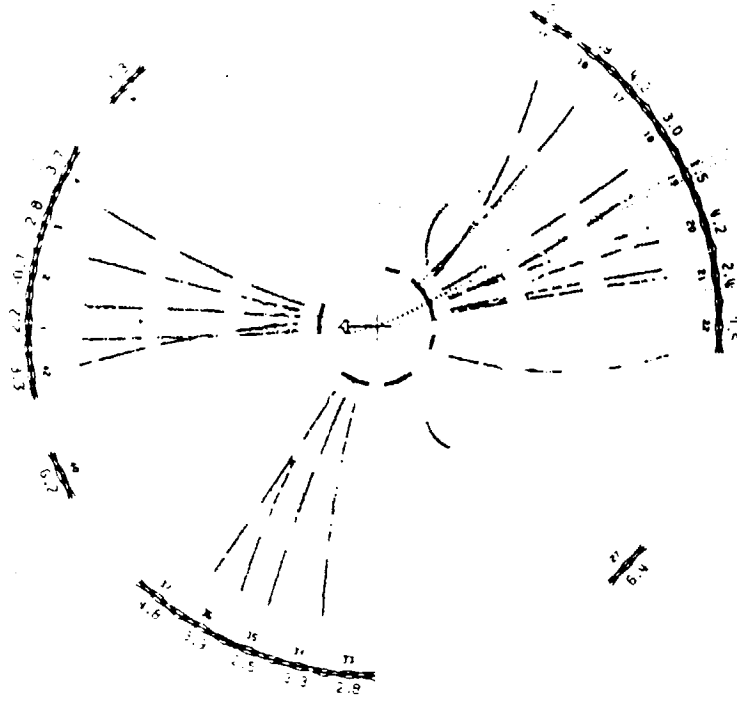
شکل (۱-۲)

در تصویر کوارکی، الکترون - پوزیترون به جفت $q\bar{q}$ تبدیل می‌شوند اما در آزمایشگاه هادرونها مشاهده می‌شوند. در انرژیهای بزرگتر یا مساوی 1.0 GeV هادرونها بشکل جت ظاهر

می شوند شکل (۳) وقایع دوجتی و سه جتی را نشان می دهد.



(۳-۱) الف



رویداد سه جتی

(۳۱) (ب)