بسم الله الرحمن الرحيم

٤٧/١٥٠

مرکز اطلاعات و مدارک علمی
تهیه مدارک

۱۳۸۲ /۵/ ۳۰

دانشگاه شهید باهنر کرمان

دانشکده علوم - بخش فیزیک

پایان نامه تحصیلی برای دریافت درجه کارشناسی ارشد فیزیک

**تحت عنوان:**

# توابع توزیع قطبیدهٔ نوکلئون

**استاد راهنما:**

**دکتر محمد مهدی یزدان‌پناه**

**مؤلف:**

**یعقوب ابوالحسنی**

شهریور ماه ۱۳۸۱



۴۷۰۵۰

**بسمه تعالی**

**این پایان نامه**

**به عنوان یکی از شرایط احراز درجه کارشناسی ارشد**

**به**

**بخش فیزیک**

**دانشکده علوم، دانشگاه شهید باهنر کرمان**

**تسلیم شده است و هیچ گونه مدرکی به عنوان فراغت از تحصیل دوره مزبور شناخته نمی شود.**

**دانشجو:** یعقوب ابوالحسنی

**استاد راهنما:** دکتر محمد مهدی یزدان پناه

**داور ۱:** دکتر محمد علی گومشی نوبری

**داور ۲:** دکتر امید حمیدی

**حق چاپ محفوظ و متعلق به مؤلف است.**

دانشگاه شهید باهنر کرمان
اداره تحصیلات تکمیلی

تقدیم به:

همسرم و فرزندانم

# تشکر و قدردانی

منت خدای را عز و جل که طاعتش موجب قربت است و به شکر اندرش مزید نعمت.
مسلم است که اگر تشویق‌ها و در کنار آن، صبر و بردباری و تحمل همسر این‌جانب نبود، من هیچوقت در موقعیت ادامه تحصیل قرار نمی‌گرفتم چه رسد به آنکه پایان‌نامه‌ای را بنویسم، لذا از ایشان بینهایت متشکرم.
بر خود واجب می‌دانم که از تمامی اساتید محترمی که مرا برای رسیدن به مرحلهٔ نوشتن پایان‌نامه یاری داده‌اند تشکر و قدردانی نمایم. از جناب دکتر محمد مهدی یزدان‌پناه که در تمامی مراحل انجام پایان‌نامه حضور داشته و کمک‌های بی‌دریغ ایشان بهترین راهنما برای کار بنده بوده است نیز بسیار متشکرم.
از کلیه دوستان، به خصوص دانشجویان کارشناسی ارشد فیزیک، ورودی سال ۷۸ که کمک‌های ایشان باعث دلگرمی من بوده است نیز کمال تشکر را دارم.

# چکیده

پراکندگی ناکشسان ژرف لپتون‌های قطبیده از نوکلئون‌های قطبیده، مهمترین اطلاعات را از توابع ساختار وابسته به اسپین نوکلئون فراهم می‌کند. مسئلهٔ مهم دیگر، چگونگی توزیع اسپین هادرون در بین محتوای کوارکی آن بوده و تحول توابع توزیع پارتونی هنوز یک مسئلهٔ حل نشده در فیزیک انرژی بالای هادرونی است.

در این پایان‌نامه، توزیع پارتونی وابسته به اسپین پروتون در تقریب پیشرو و بعد پیشرو بدست می‌آید. توابع توزیع نوکلئونها بصورت دینامیکی (تابشی) با این فرض که در مقیاسهای کوچک تفکیک، نوکلئون تنها شامل کوارک‌های ظرفیت (و گلوئون‌های شبه ظرفیت است)، محاسبه شده‌اند. آنگاه از تبدیل معکوس ملین برای محاسبهٔ توزیع‌های وابسته به X توزیع قطبیدهٔ پارتون‌ها، از ممان‌های مختلف پارتون‌های ظرفیت استفاده می‌شود. در پایان مقایسه‌ای با دیگر مدل‌های نظری به عمل آمده است.

# فهرست مطالب

**عنوان** **صفحه**


**فصل صفر - مقدمه** ..... ۱-۶

**فصل اول - مفاهیم مقدماتی** ..... ۷-۲۹

۱-۱ ذرات بنیادی ..... ۸

۱-۲ پراکندگی ..... ۱۷

۱-۳ برهم‌کنشها ..... ۲۲

۱-٤ پراکندگی ناکشسان ژرف ..... ۲۶

۱-۵ دستگاه واحدهای مورد استفاده در فیزیک ذرات ..... ۲۸

**فصل دوم - نمودارهای فاینمن و بکارگیری آن در QCD** ..... ۳۰-٤۱

۲-۱ نمودارهای فاینمن ..... ۳۱

۲-۲ کاربرد نمودارهای فاینمن در QCD ..... ۳۵

**فصل سوم - ضرائب شکل و توابع ساختار** ..... ٤۲-٦۵

۳-۱ ضرائب شکل ..... ٤۳

۳-۲ واکنش کشسان الکترون بدون اسپین از هسته ..... ٤۳

۳-۳ پراکنش کشسان الکترونهای با اسپین از هستهٔ بدون اسپین ..... ۵۰

۳-٤ پراکنش الکترون از نوکلئون ..... ۵۱

۳-۵ بررسی دقیق‌تر پراکنش کشسان الکترون-پروتون ..... ۵٤

۳-٦ پراکنش کشسان الکترون از نوکلئون ..... ۵۵

۳-۷ پراکنش ناکشسان ژرف و توابع ساختار ..... ۵۹

۳-۸ پراکنش ناکشسان ژرف با کاوهٔ لپتونی باردار ..... ٦۰

**فصل چهارم- محاسبات توابع ساختار، نتایج و پیشنهادات** ..... ٦۷-۸۳

٤-۱ پیش‌درآمد ..... ٦۸

٤-٢ چارچوب کاری کامل NLO ..... ٧٤
٤-٣ نرم‌افزار نوشته شده و نتایج ..... ٨٠
٤-٤ پیشنهادات ..... ٨٥
٤-٥ منطق برنامه ..... ٨٦
**مراجع** ..... ٩٦

# فصل صفر

## مقدمه

فیزیک ذرات و یا به بیانی فیزیک انرژی بالا به عمده‌ترین سئوال بشر یعنی "بنیادی‌ترین ذرات تشکیل دهندهٔ ماده چیست و چگونه با هم برهم‌کنش می‌نمایند" می‌پردازد.

تمامی اطلاعات ما از اجسام ریز از یکی از سه منبع حالات مقید، واپاشی و پراکندگی حاصل می‌شود . مطالعهٔ حالات مقید در فیزیک اتمی بسیار کارگشا بوده و اطلاعات بسیار جالبی را در اختیار بشر قرار داده است اما در مورد فیزیک ذرات این حالات تنها برای بررسی صحت مدلهای حدس زده شده به کار می‌روند و مستقیماً اطلاعات عمیقی را در اختیار بشر قرار نداده است. مطالعهٔ واپاشی‌ها نیز در فیزیک هسته‌ای بسیار مفید بوده است و بخش عظیمی از این فیزیک بر مبنای واپاشی هسته‌ها و توجیه دلایل آن بنا نهاده شده است. اما مورد خاص فیزیک ذرات، آن چنان که باید نمی‌تواند از این منبع استفاده کند، بنابراین عمده‌ترین منبع اطلاعاتی بشر آزمایشات پراکندگی است و از آن‌جایی که هیچ راهی برای بررسی حدسیات و مدل‌های ارائه شده، جز توافق با داده‌های حاصل از آزمایشات قبلی و حدس نتایج جدید وجود ندارد آزمایشگاه‌ها با انجام آزمایشهای با انرژی بالا داده‌های زیادی را گردآوری کرده‌اند که نقشی کلیدی در پیشبرد این علم بازی می‌کنند.

نیاز فیزیک ذرات به انرژی‌های زیاد به دو دلیل است:. اول آن که برای خلق ذرات بنیادی جدید و سنگین یعنی همان حالتهای مقید ذکر شده در بالا به انرژی زیاد (حداقل دو برابر جرم سکون ذرهٔ مورد نظر، زیرا که هر ذره‌ای حتماً با پادذرهٔ خود تولید می‌شود و نه به صورت انفرادی) نیاز داریم و دوم آن که هر چه فاصلهٔ مورد نظر برای دیدن، کوچک‌تر بوده و لازم باشد که جزئیات دقیق‌تری تشخیص داده شود، باید از کاونده‌های با طول موجهای کوتاه‌تری استفاده نمود[۱] . چون قدرت تفکیک هر کاوه‌ای در حدود طول موج آن کاوه است و فواصل و جزئیات کوچکتر از آن را نشان نمی‌دهد [۲]. پس با استفاده از روابط [۳]:

$$p = \hbar \mathbf{k} \quad , \mathbf{k} = \frac{2\pi}{\lambda} \qquad (۰-۱)$$

که در آن $\lambda$ طول موج کاوه (پرتابه)، k عدد موجی و **P** تکانهٔ آن است. حال ابتدا با مشخص نمودن فاصلهٔ مورد سنجش که همان اندازهٔ جزئیات مورد نظر هستند طول موج کاوه را تعیین نموده و از روی آن انرژی مورد نیازآن را مشخص می‌نماییم. چون اندازهٔ ذراتی که مورد جستجو قرار می‌گیرند، بسیار کوچک است (کمتر از یک فرمی) پس عدد موجی ذرهٔ فرودی $(k)$ بزرگ بوده و به همین دلیل باید **p** بزرگ باشد. بزرگی **p** طبق رابطهٔ [۳]:

$$E^2 = p^2c^2 + m^2c^4 \qquad (۰-۲)$$

خودبخود به معنی بزرگ بودن انرژیی است که به آن نیاز داریم. مثلاً برای کاوش فاصله‌ای در حدود $fm$ ۰/۵ یعنی حدوداً نصف شعاع پروتون طول موج کاوه باید در همین حدود یعنی $fm$ ۰/۵ باشد و این یعنی این که عدد موجی کاوه باید

$$k = \frac{2\pi}{\lambda} \cong 12.4 * 10^{15} \qquad 1/\mathrm{m}$$

باشد و از اینجا انرژی کاوه چیزی در حدود

$$40 * 10^{-11} \quad \mathrm{J} = 250 * 10^{7} \quad \mathrm{eV} = 2.5 \quad \mathrm{GeV}$$

به دست می‌آید. این مقدار انرژی می‌تواند ذرهٔ هدف را در هم بشکند و افزون بر آن تعداد زیادی ذره جدید تولید نماید.

به بیان دیگر در این انرژی ها دیگر پراکنش کشسان با هدف چندان مفهومی ندارد و در اغلب موارد پراکنش ناکشسان ژرف می‌باشد

در واقع مطابق آنچه که گفته شد آزمایشات پراکندگی تنها راه برای نفوذ به داخل پروتون و کاوش درون آن است. و بدیهی است که تقریباً تمامی اطلاعات ما از ساختار درونی نوکلئون و خصوصاً پروتون از این آزمایشات حاصل می‌شود.

برای بررسی آنچه که در این برخورد روی می‌دهد باید دانست که بین ذرات برخورد کننده چه برهم‌کنشهایی رخ می‌دهد. برای بررسی هر یک از این برهم‌کنشها روشهایی بر اساس میدان‌های پیمانه‌ای وجود دارد. مثلاً برای برهم‌کنش مغناطیسی بین لپتون و یکی از ذرات داخلی نوکلئون باید از QED[1] استفاده نمود و یا آنکه برای بررسی چگونگی تاثیر همین ذرات روی هم باید از QCD[2] استفاده نمود. پراکنش ناکشسان ژرف در عین حالی که اطلاعات مفیدی از اجزاء داخلی نوکلئونها در اختیار قرار می‌دهد، بهترین محل برای بررسی دقت و قدرت QCD نیز می‌باشد. زیرا QCD باید بتواند روند وقایع را درست پیش‌بینی و مطرح نماید.

برای مدل‌سازی نوکلئون دو روش وجود دارد. در یک روش بخشی از اطلاعات مربوط به مدل ارائه شده از داده‌های تجربی پراکنش ناکشسان ژرف[3] گرفته شده و قدرت مدل در تطابق آن با شرایط جدید سنجیده می‌شود و در روش دیگر مدل کلاً بر یک مبنای نظری ارائهٔ شده و هر آزمایشی می‌تواند برای سنجش آن مورد استفاده قرار گیرد. در هر حال موضوع محتویات پارتونی نوکلئونها موضوع روز بوده و جا برای کار در آن زیاد است. آزمایشات پراکنش ناکشسان ژرف تنها راه برای آزمایش صحت و سقم مدل‌های ذکر شده و نیز آزمایش ایده‌های فیزیک نظری مانند ساختار فوتون، ابرتقارن و ساختار لپتونها و یا لپتوکوارک‌ها است [۴،۵،۶و۷].

در پایان نامه‌ای که اکنون پیش روی شما است، بر اساس مدلی از ساختار درونی نوکلئون‌ها توابع ساختار آنرا محاسبه نموده و با مقایسهٔ محاسبات با داده‌های حاصل از آزمایشات

---

[1] Quantum Electrodynamics

[2] Quantum Choromodynamics

[3] Deep Inelastic Scattering

پراکندگی ناکشسان ژرف، آنـرا ارزیـابی نمـوده و راه‌کارهـایی را بـرای بـهبود مـدل پیشـنهاد می‌نماییم.

در فصل اول، ابتدا مقدمه‌ای از ذرات بنیادی ارائه شده و در طی آن سعی شده است که دیـدی صحیح و مختصر نسبت به ذرات به دست آید. سپس تعاریف و اصول کلی مـورد اسـتفاده در پراکنش ذرات (کشسان و ناکشسان) بدون پرداختن به جزئیات مطـرح شـده اسـت. در ایـن قسمت، تعریف سطح مقطـع و روابطـی کـه بـا عمده‌تریـن پارامترهـای قـابل کنـترل و قـابل اندازه‌گیری یعنی انرژی ذرات فرودی و زاویهٔ پراکنش ذرات خروجی دارد مـورد بحـث قـرار می‌گیرد، (جزئیات بیشتری که در مورد پراکندگی ناکشســان ژرف اسـت در فصـل دوم طـرح می‌شود). در ادامه برهم‌کنشها مورد بررسی قرار می‌گیرد. برهم‌کنشها در واقع چگونـگی اثـری که ذرات بر هم دارند را شناســایی کـرده و سـعی در توضیـح دادن آن می‌کنـد. یکـی از ایـن برهم‌کنش‌ها "برهم‌کنش گرانشی" است که در شرایط عادی تـاثیر آن‌چنـانی در فـیزیک ذرات ندارد بنابراین در فرمول‌بندیهای معمولی فیزیک ذرات وارد نمی‌شود. و در آخرین مبحث ایـن فصل پراکنش ناکشسان ژرف مورد بررسی سطحی قرار می‌گیرد. تا در فصول بعـدی بـا دقـت بیشتری به نقش پارامترهای مهم در این برخورد و چگونگی فهمیدن ساختار داخلی نوکلئون از روی پارامترهای آن بپردازیم.

در فصل دوم نمودارهای فاینمن را در رابطه با QCD مورد بررسی قرار می‌دهیـم. نمودارهـای فاینمن روشی بســیار زیبا و سـریع بـرای بررسـی قوانیـن QED (Quantum Electrodynamics) می‌باشند به دلیل شباهت‌های بسیاری که QED با هر نظریهٔ میدانـی کوانتومـی دیـگر دارد بـه عنوان مبنایی برای گسترش آنها مورد اسـتفاده قـرار گرفتـه اسـت [۸] و بنـابراین نمودارهـای

فاینمن البته بصورت تصحیح شده به نحوی که مناسب با کاربرد جدید خود باشد نیز در آن نظریهٔ میدانی مورد استفاده قرار میگیرد.

در فصل سوم ابتدا اثر وجود ساختار را در پراکنش بررسی می‌کنیم به این معنی که مطمئناً پراکنش یک ذره توسط ذرهٔ بدون ساختار دیگر با پراکنش همان ذرهٔ اول از یک ذرهٔ دارای اجزاء داخلی متفاوت خواهد بود. این تاثیر در انرژی‌های کم توسط ضرائب شکل و در انرژی‌های زیاد توسط توابع ساختار بررسی می‌شوند.

آخرین فصل پایان نامه به کار اینجانب اختصاص داشته و در طی آن چگونگی بدست آوردن توابع ساختار قطبیدهٔ نوکلئون البته با تاکید روی پروتون مورد بحث قرار می‌گیرد. علت تاکید روی پروتون نیز مشخص است زیرا هدف‌های پروتونی با چگالی و سایر ویژگی‌های مورد نظر در آزمایشگاه بسادگی قابل تهیه و استفاده می‌باشد در حالیکه هدف نوترونی چنین نبوده و بطور غیرمستقیم تهیه و استفاده می‌شود مثلاً یک راه معمول استفاده از هدف‌های دوتریوم یا هلیوم می‌باشد. پس از به دست آوردن پارامترهای اولیه تازه باید تصحیحات زیادی برای حذف آثار وجودی پروتون و دیگر آثار ناخواسته به عمل آید که این کار، انجام آزمایشات را سخت نموده و دقت نتایج را تا حد زیادی کاهش می‌دهد.

# فصل اول

## مفاهیم مقدماتی