بسم الله الرحمن الرحيم

تعهدنامه‌ی اصالت اثر و رعایت حقوق دانشگاه

تمامی حقوق مادّی و معنوی مترتب بر نتایج، ابتکارات، اختراعات و نوآوری‌هایِ ناشی از انجام این پژوهش، متعلق به **دانشگاه محقق اردبیلی** می‌باشد. نقل مطلب از این اثر، با رعایت مقرّرات مربوطه و با ذکر نام دانشگاه محقق اردبیلی، نام استاد راهنما و دانشجو بلامانع است.

اینجانب هاجر فرخی دانش‌آموخته‌ی مقطع کارشناسی ارشد رشته‌ی فیزیک گرایش هسته‌ای دانشکده‌ی علوم دانشگاه محقق اردبیلی به شماره‌ی دانشجویی ۹۰۲۲۳۷۳۱۱۰ که در تاریخ ۱۳۹۲/۶/۱۳ از پایان‌نامه‌ی تحصیلی خود تحت عنوان محاسبه‌ی سطح مقطع تولید مزون‌های افسون $D^{\pm}$، $\overline{D}^{0}$ و D^{0} در برخورد پایون با هسته‌ی تنگستن در انرژی‌های بالا دفاع نموده‌ام، متعهد می‌شوم که:

۱) این پایان‌نامه را قبلاً برای دریافت هیچ‌گونه مدرک تحصیلی یا به عنوان هرگونه فعالیت پژوهشی در سایر دانشگاه‌ها و مؤسسات آموزشی و پژوهشی داخل و خارج از کشور ارائه ننموده‌ام.

۲) مسئولیت صحّت و سقم تمامی مندرجات پایان‌نامه‌ی تحصیلی خود را بر عهده می‌گیرم.

۳) این پایان‌نامه، حاصل پژوهش انجام شده توسط اینجانب می‌باشد.

۴) در مواردی که از دستاوردهای علمی و پژوهشی دیگران استفاده نموده‌ام، مطابق ضوابط و مقرّرات مربوطه و با رعایت اصل امانتداری علمی، نام منبع مورد استفاده و سایر مشخصات آن را در متن و فهرست منابع و مآخذ ذکر نموده‌ام.

۵) چنانچه بعد از فراغت از تحصیل، قصد استفاده یا هر گونه بهره‌برداری اعم از نشر کتاب، ثبت اختراع و ... از این پایان‌نامه را داشته باشم، از حوزه‌ی معاونت پژوهشی و فنّاوری دانشگاه محقق اردبیلی، مجوزهای لازم را اخذ نمایم.

۶) در صورت ارائه‌ی مقاله‌ی مستخرج از این پایان‌نامه در همایش‌ها، کنفرانس‌ها، سمینارها، گردهمایی‌ها و انواع مجلات، نام دانشگاه محقق اردبیلی را در کنار نام نویسندگان (دانشجو و اساتید راهنما و مشاور) ذکر نمایم.

۷) چنانچه در هر مقطع زمانی، خلاف موارد فوق ثابت شود، عواقب ناشی از آن (منجمله ابطال مدرک تحصیلی، طرح شکایت توسط دانشگاه و ...) را می‌پذیرم و دانشگاه محقق اردبیلی را مجاز می‌دانم با اینجانب مطابق ضوابط و مقرّرات مربوطه رفتار نماید.

نام و نام خانوادگی دانشجو: هاجر فرخی

امضا

تاریخ

دانشکده‌ی علوم پایه
گروه آموزشی فیزیک

پایان‌نامه برای دریافت درجه‌ی کارشناسی ارشد
در رشته‌ی فیزیک گرایش هسته‌ای

عنوان:
محاسبه‌ی سطح مقطع تولید مزون‌های افسون $D^{\pm}$، $\overline{D}^{0}$ و D^{0} در برخورد پایون با هسته‌ی تنگستن در انرژی‌های بالا

استاد راهنما:
دکتر فرهاد ذوالفقارپور

پژوهشگر:
هاجر فرخی

تابستان ۱۳۹۲

دانشکده‌ی علوم پایه
گروه آموزشی فیزیک

پایان‌نامه برای دریافت درجه‌ی کارشناسی ارشد
در رشته‌ی فیزیک گرایش هسته‌ای

عنوان:
محاسبه‌ی سطح مقطع تولید مزون‌های افسون $D^{\pm}$، $\overline{D}^{0}$ و D^{0} در برخورد پایون با هسته‌ی تنگستن در انرژی‌های بالا

پژوهشگر:
هاجر فرخی

ارزیابی و تصویب شده‌ی کمیته‌ی داوران پایان‌نامه با درجه‌ی : بسیار خوب

نام و نام خانوادگی	مرتبه‌ی علمی	سمت	امضاء
دکتر فرهاد ذوالفقارپور	استادیار	استاد راهنما و رییس کمیته‌ی داوران	
دکتر داریوش رضایی	دانشیار	داور	
دکتر قادر نجارباشی	استادیار	داور	

شهریور – ۱۳۹۲

تقدیم به

پدر و مادرم که از رفتارشان محبت و از صبرشان ایستادگی را آموختم و تمام تجربه‌های زیبای زندگی‌ام مدیون حضور سبز آن‌هاست.

و تقدیم به

همسرم که با محبت بی‌دریغش در طول دوره‌ی تحصیلم همراهی‌ام نموده است.

تقدیر و تشکر

بارالها از روی خضوع و خشوع، جلال و عظمتت را سپاس می‌گویم که توفیق دانش‌اندوزی را عطایم فرمودی تا به مدد شور و تلاش برگ دیگری از دفتر بی‌پایان تحصیل را ورق بزنم. حکمت و رحمتت را شکر می‌گویم و بر اراده‌ات سر تسلیم فرود می‌آورم.

اکنون که در سایه الطاف الهی پژوهش و نگارش این رساله به اتمام رسید بر خود واجب می‌دانم که مراتب تشکر و قدردانی خود را به همه خوبان که در این امر یاریم دادند تقدیم نمایم.

ابتدا از استاد ارجمندم جناب آقای دکتر فرهاد ذوالفقارپور که از رهنمودهای صبورانه و بی‌دریغشان در به پایان رساندن این پژوهش بهره-مند گردیدم تشکر و قدردانی می‌نمایم.

از اساتید محترم داور این رساله جناب آقای دکتر داریوش رضایی و آقای دکتر قادر نجارباشی که نکات علمی ظریفشان ضمن گشودن باب تحقیق و تفحص به ارتقای کیفی این پژوهش کمک نمود بسیار سپاسگذارم.

از خانواده صبور و همسر مهربانم که سختی دوران تحصیل را به جان خریدند بی‌نهایت ممنونم.

و در نهایت دوستان عزیزم که همواره لطفشان شامل حال بنده بوده و با حضورشان دلگرمی این حقیر بودند نیز شایسته ی تشکر خالصانه‌اند.

هاجر فرخی

تابستان۹۲

نام خانوادگی دانشجو: فرخی	نام: هاجر
عنوان پایان‌نامه: محاسبه‌ی سطح مقطع تولید مزون‌های افسون $D^{\pm}$، $\overline{D}^{0}$ و D^{0} در برخورد پایون با هسته‌ی تنگستن در انرژی‌های بالا	
استاد راهنما: دکتر فرهاد ذوالفقارپور	
مقطع تحصیلی: **کارشناسی ارشد**	رشته: فیزیک
گرایش: هسته‌ای	دانشگاه: **محقق اردبیلی**
دانشکده: علوم	تاریخ فارغ التحصیلی: ۱۳۹۲/۶/۱۳ تعداد صفحات: ۸۱

چکیده:

در این پایان‌نامه برای پایون‌ها ساختار کوارکی در نظر می‌گیریم بنحوی که از یک کوارک و پادکوارک تشکیل شده اند. همین فرض را برای نوکلئون‌ها نیز انجام می دهیم و فرض می‌کنیم که آنها از سه کوارک ظرفیت و دریای کوارک و پادکوارک تشکیل یافته‌اند و توابع توزیع کوارک‌های ظرفیت و دریا را در داخل آنها در چارچوب مدل توزیع پارتونی GRV بدست می‌آوریم. با مشخص شدن توابع توزیع کوارک‌ها و دریا در داخل پایون و نوکلئون‌ها، توابع توزیع کوارکی را در هسته‌ی تنگستن محاسبه می کنیم و با استفاده از توابع توزیع بدست آمده در چارچوب مدل‌های موجود درQCD سطح مقطع تولید مزون‌های افسون D در برخورد پایون با هسته‌ی تنگستن را محاسبه نموده‌ایم و نتایج را با نتایج تجربی در دسترس مقایسه کرده‌ایم.

کلید واژه‌ها: برخورد پایون – تنگستن، توزیع پارتونی، ساختار کوارکی، سطح مقطع، مدل گاز فرمی، مزون‌های افسون D

فهرست مطالب

شماره و عنوان مطالب **صفحه**

فصل اول: مفاهیم کلی در رابطه با ذرات بنیادی

مقدمه..... ۲
۱-۱- جهان از چه ساخته شده است؟..... ۳
۱-۲-دسته‌بندی کلی ذرات بنیادی..... ۴
۱-۳-تقسیم‌بندی ذرات به لحاظ آماری..... ۶
۱-۳-۱- کوارک‌ها..... ۶
۱-۳-۲- لپتون‌ها..... ۸
۱-۴- باریون‌ها..... ۹
۱-۵- مزون‌ها..... ۱۰
۱-۵-۱-پایون‌ها..... ۱۰
۱-۶- مدل استاندارد..... ۱۱
۱-۷- نیروی گرانش و گراویتون‌ها..... ۱۱
۱-۸- نیروی قوی و گلئون‌ها..... ۱۲

فصل دوم: فیزیک مزون‌ها

مقدمه..... ۱۵
۲-۱- فرضیه‌ی یوکاوا..... ۱۵
۲-۲- خواص مزون‌های π..... ۱۶
۲-۲-۱- بار الکتریکی..... ۱۶
۲-۲-۲- جرم..... ۱۷
۲-۲-۳- ایزواسپین..... ۱۹
۲-۲-۴- مدهای واپاشی..... ۱۹
۲-۲-۵- تولید پایون‌ها..... ۲۲
۲-۳- واکنش‌های پایون-نوکلئون..... ۲۵
۲-۴- تشدیدهای مزونی..... ۲۶

۲-۵- مزون‌ها و باریون‌های شگفت..... ۲۸

فصل سوم: مفهوم سطح مقطع و پراکندگی

مقدمه..... ۳۴
۳-۱- نگاهی کلی درباره‌ی فرآیندهای پراکندگی..... ۳۴
۳-۲- پراکندگی الکترون‌ها و ساختار داخلی آن‌ها..... ۳۶
۳-۲-۱- فرمول پراکندگی Mott..... ۳۶
۳-۳- الکترون در حضور میدان الکترومغناطیسی A..... ۳۷
۳-۴- پراکندگی بدون اسپین الکترون از میون..... ۳۸
۳-۵- سطح مقطع در واحدهایی با دامنه‌ی ثابت R..... ۴۰
۳-۶- پراکندگی الکترون-الکترون..... ۴۲
۳-۷- پراکندگی الکترون-پوزیترون..... ۴۲
۳-۸- توابع ساختار در پراکندگی الکترون از پروتون..... ۴۴
۳-۹- سطح مقطع پراکندگی الکترون از میون..... ۴۵
۳-۱۰- پراکندگی الکترون از پروتون (فرم فاکتور پروتون)..... ۷۰

فصل چهارم: محاسبه سطح مقطع تولید مزون‌های افسون D در برخورد پایون با هسته تنگستن

مقدمه..... ۵۶
۴-۱- محاسبه‌ی تابع ساختار هسته‌ی تنگستن..... ۵۷
۴-۲- تعیین تابع ساختار پایون..... ۶۰
۴-۳- محاسبه‌ی سطح مقطع برهمکنش مزون‌های افسون D..... ۷۰
۴-۳-۱- مزون‌های افسون D..... ۷۲
۴-۳-۲- سطح مقطع تولید مزون‌های D در برخورد پایون با هسته‌ی تنگستن..... ۷۴
۴-۴- بحث و نتیجه‌گیری..... ۷۸
فهرست منابع و مآخذ

فهرست جدول‌ها

شماره و عنوان جدول **صفحه**

جدول ۱-۱: مشخصات کلی کوارک‌ها..... ۷
جدول ۱-۲: بار و جرم لپتون‌ها..... ۸
جدول ۴-۱: برخی از خصوصیات عمده‌ی پایون‌ها..... ۶۲
جدول ۴-۲: برخی از خصوصیات مزون‌های D..... ۷۳

فهرست شکل‌ها

شماره و عنوان شکل **صفحه**

شکل ۱-۱: نمودار مربوط به تئوری تشکیل اولیه‌ی جهان ۳
شکل ۱-۲: نمودارهای فاینمن مربوط به برهمکنش‌های ضعیف، قوی و الکترومغناطیسی ۵
شکل ۱-۳: نمودار فاینمن تولید لپتون در واپاشی نوترون ۹
شکل ۱-۴: نمودارهای فاینمن برای برهمکنش‌های متفاوت گلئون ۱۳
شکل ۲-۱: آهنگ واپاشی بر حسب مسافت برای π^+ و π^- ۲۲
شکل ۲-۲: تولید پایون‌ها در برخورد نوکلئون‌ها ۲۲
شکل ۲-۳: سطح مقطع تولید دو پایون در برخورد نوکلئون-نوکلئون ۲۴
شکل ۲-۴: سطح مقطع‌های کلی و ناکشسان برای واکنش $\pi^+ + \mathrm{p}$ ۲۵
شکل ۲-۵: سطح مقطع‌های کلی و ناکشسان برای واکنش $\pi^- + \mathrm{p}$ ۲۶
شکل ۲-۶: انرژی بستگی هایپرهسته‌ها ۳۲
شکل ۳-۱: نمودار مربوط به پراکندگی‌های کشسان و ناکشسان ۳۵
شکل ۳-۲: نمودار فاینمن مربوط به پراکندگی الکترون از میون ۳۹
شکل ۳-۳: نمودار فاینمن در پراکندگی e^- از μ^- ۴۱
شکل ۳-۴: نمودارهای فاینمن در پراکندگی الکترون از الکترون ۴۲
شکل ۳-۵: نمودارهای فاینمن در پایین‌ترین مرتبه در پراکندگی الکترون از پوزیترون ۴۳
شکل ۳-۶: سطح مقطع واکنش $e^+e^- \to \mu^+\mu^-$ ۴۴
شکل ۳-۷: نمودار محاسبه شده برای F_2^{ep} در مرتبه LO و NLO توسط گروه GRV ۴۵
شکل ۳-۸: نمودار فاینمن در پایین‌ترین مرتبه در پراکندگی الکترون از میون ۴۶
شکل ۳-۹: اولین مرتبه‌ی پراکندگی ناکشسان الکترون از پروتون ۵۱
شکل ۳-۱۰: فرم فاکتور دیراک و پائولی برای پروتون و نوترون ۵۳
شکل ۴-۱: تابع ساختار هسته‌ی تنگستن بر واحد نوکلئون ۵۹
شکل ۴-۲: نسبت تابع ساختار هسته تنگستن به نوکلئون محاسبه شده در این پایان‌نامه ۶۰
شکل ۴-۳: سطح مقطع کل در پراکندگی π^+p و π^-p ۶۲
شکل ۴-۴: تابع ساختار پایون محاسبه شده در Q^2 های مختلف ۶۸
شکل ۴-۵: نمودار مربوط به توزیع کوارک‌ها و گلئون‌های درون پایون در مرتبه LO ۶۹
شکل ۴-۶: نمودار مربوط به توزیع کوارک‌ها و گلئون‌های درون پایون در مرتبه NLO ۷۰
شکل ۴-۷: تولید کوارک و پاد کوارک افسون در برخورد p-p ۷۱

شکل ۴-۸: تولید کوارک و پاد کوارک افسون در برخورد p-γ ۷۱
شکل ۴-۹: تولید مزون D^+ در برخورد پروتون با پروتون ۷۲
شکل ۴-۱۰: نمودارهای فاینمن در تقریب LO مربوط به تولید کوارک‌های سنگین ۷۳
شکل ۴-۱۱: سطح مقطع دیفرانسیلی تولید مزون D برحسب Δy و p_T^2 ..... ۷۵
شکل ۴-۱۲: سطح مقطع برخورد پایون با تنگستن محاسبه شده در این پایان نامه برحسب p_T ۷۶
شکل ۴-۱۳: سطح مقطع برخورد پایون با تنگستن محاسبه شده برحسب x_F در این پایان نامه ۷۷

پیشگفتار

آغاز فیزیک ذرات بنیادی به کشف الکترون در سال ۱۸۹۷ توسط تامسون[1] برمی‌گردد. تامسون ذراتی را که کشف کرده بود، الکترون نامید. او عقیده داشت که الکترون‌ها اجزای اصلی تشکیل‌دهنده‌ی اتم هستند. پس از تامسون، رادرفورد[2] با آزمایش ورقه‌ی طلا نشان داد که بار و تقریباً تمامی جرم اتم، در مرکز اتم قرار دارد و حجم بسیار کوچکی از اتم را اشغال کرده است، هسته‌ی سبک‌ترین اتم (هیدروژن) را پروتون نام‌گذاری کردند. اتم سنگین‌تر بعدی (هلیم) اگرچه دو الکترون داشت ولی وزن آن چهار برابر وزن هیدروژن بود. این معما در سال ۱۹۳۲ با کشف نوترون توسط چادویک حل شد. نوترون ذره-ای شبیه به پروتون است، اما بدون بار الکتریکی می‌باشد. کشف نوترون پایان دوره‌ای بود که به آن فیزیک ذرات بنیادی کلاسیک گفته می‌شود.

پی‌بردن به ساختار درون پروتون در اواخر دهه‌ی ۶۰ با استفاده از الکترون‌های پرانرژی، و در اوایل دهه‌ی ۷۰ با استفاده از پرتوهای نوترینو آغاز شد. نتایج این پراکندگی ناکشسان ژرف، یادآور پراکندگی رادرفورد بود. اما درمورد پروتون، شواهد نشان‌دهنده‌ی سه ذره‌ی سبک به‌جای یک ذره‌ی سنگین بود (گریفیتس[3]، ۱۹۸۷). وقتی الکترون‌های پرانرژی را از هادرون‌ها پراکنده می‌کنیم، الکترون‌ها از ساختار داخلی هادرون‌ها پراکنده می‌شوند، با اندازه‌گیری تعداد ذرات پراکنده شده در یک زاویه‌ی خاص می-توان به ساختار هادرون‌ها رسید. به عبارتی ساختار هادرون‌ها را با اندازه‌گیری سطح مقطع دیفرانسیلی، می‌توان به‌دست آورد. در سال ۱۹۶۰ آزمایشات متعددی به منظور اندازه‌گیری سطح مقطع پراکندگی الکترون از پروتون انجام گرفت ولی اولین اندازه‌گیری سطح مقطع پراکندگی الکترون که نشان‌دهنده‌ی وجود ساختار داخلی برای پروتون‌ها بود، توسط تیمی به سرپرستی بوم (بوم[4]، ۱۹۶۹) در آزمایشگاه خطی دانشگاه استانفورد صورت گرفت. بریندیچ[5] و همکارانش نتایج حاصل از پراکندگی فوق را مورد بررسی قرار دادند و متوجه شدند که نه تنها وجود تابع ساختار برای پروتون حتمی است، بلکه تنها تابعی از مقیاس x است. این پارامتر به مقیاس بیورکن[6] معروف بود که در سال ۱۹۶۸ این رفتار توسط بیورکن پیش‌گویی شده بود (فاینمن[7]، ۱۹۶۹). در سال ۱۹۶۹ مدل پارتون توسط فاینمن پیشنهاد شد.

---

[1] J. J. Thomson
[2] E. Rutherford
[3] Griffiths
[4] Boom
[5] Breidendach
[6] Bjorken
[7] Feynmen

آزمایش‌ها نشان می‌داد که پارتون‌ها تمام تکانه و انرژی پروتون را حمل نمی‌کنند، بلکه کوارک‌ها و پادکوارک‌ها در حدود ۵۰ درصد آن راحمل می‌کنند و بقیه توسط نوکلئون‌ها حمل می‌شود. ساختار درونی هادرون‌های آزاد براساس ساختارکوارکی بوده و سهم هریک از کوارک‌های ظرفیت، کوارک‌های دریا و گلئون‌ها در تابع ساختار مشخص شده بود. با توجه به اینکه هسته متشکل از پروتون‌ها و نوترون-ها است انتظار می‌رفت، سطح مقطع پراکندگی الکترون از هسته‌ها برابر با مجموع سطح مقطع‌های پراکندگی الکترون از نوکلئون‌های تشکیل‌دهنده‌ی هسته باشد (آبرت[1]، ۱۹۸۳) ولی آزمایشی که در سال-های ۱۹۸۲ و ۱۹۸۳ توسط تیمی به سرپرستی آبرت در سرن[2] انجام شد نشان داد که تابع ساختار نوکلئون-های آزاد و مقید تفاوت‌هایی با هم دارند.

در این پایان نامه، ابتدا در فصل اول دیدی اجمالی بر ذرات بنیادی و خواص آن‌ها خواهیم داشت. در فصل دوم به بررسی فیزیک مزون‌ها می‌پردازیم. در فصل سوم، برخی از پراکندگی‌های مربوط به الکترون را مورد بررسی قرار می‌دهیم و با مفهوم سطح مقطع بیشتر آشنا می‌شویم. در فصل چهارم توابع ساختار هسته‌ی تنگستن و هم‌چنین پایون را محاسبه می‌کنیم و در نهایت سطح مقطع تولید مزون‌های D در برخورد پایون با هسته‌ی تنگستن را به‌دست می‌آوریم.

[1] Aubert
[2] Cern

فصل اول

مفاهیم کلی در رابطه با ذرات بنیادی

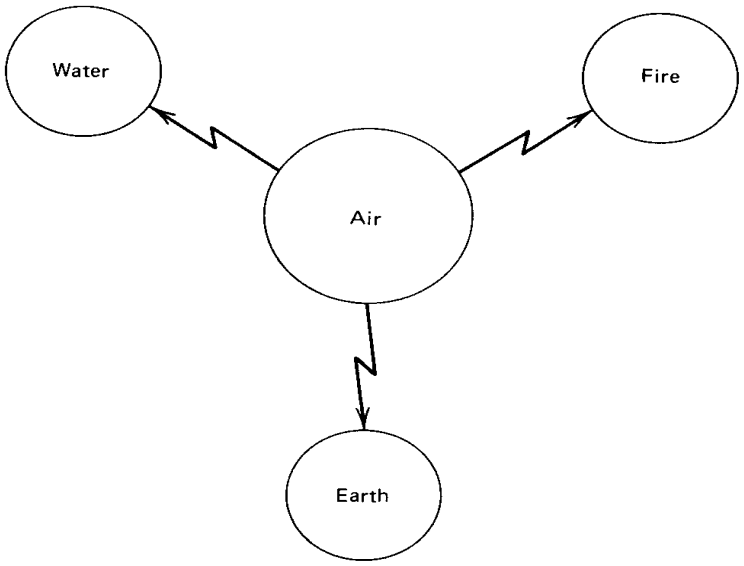
مقدمه

هدف کلی از بررسی ذرات و هسته‌ها، بیان شرح جامعی از فیزیک هسته‌ای و ذرات است. با پیشرفت آزمایش‌ها و روش‌های تئوری، اتم‌ها، هسته، نوکلئون‌ها و درنهایت کوارک‌ها می‌توانند مورد بررسی قرار بگیرند. در طول قرن اخیر تصور بر این بوده است که جهان ما ترکیبی از تعداد محدودی اجزای اصلی است، اما این ایده به عنوان یک اصل تأییدشده مورد موافقت همگان قرار نگرفت (پاو و همکاران[1]، ۱۹۹۵). در چند دهه‌ی گذشته پیشرفت‌های چشمگیری در فیزیک ذرات ایجاد شده است. آزمایشات گسترده نشان‌دهنده‌ی این حقیقت هستند که موجودیت هسته‌ای جهان ناشی از کوارک‌ها و لپتون‌هاست. با توجه به این موضوع که پروتون‌ها و نوترون‌ها ساختار داخلی دارند و از کوارک‌ها تشکیل شده‌اند، ایجاد جهان به‌صورت تشکیل مولکول‌ها از اتم‌ها، اتم‌ها از هسته، هسته از نوکلئون‌ها و نوکلئون‌ها از کوارک‌ها امروزه مورد قبول قرار گرفته است (گریفیتس، ۱۹۸۷). در فیزیک ذرات که فیزیک انرژی‌های بالا نیز نامیده می‌شود با برهمکنش‌های هسته‌ای بین ذرات در اساسی‌ترین سطح آن‌ها سروکار داریم. دانشمندان فیزیک ذرات به دنبال کشف بنیادی‌ترین اجزای مواد و توضیح قواعد حاکم بر آن‌ها هستند. در این روند، باید برهمکنش‌ها را در گستره‌های کوچک مطالعه کنیم که در این صورت به‌تدریج با ذرات سنگین‌تر و شتاب‌دهنده‌های بزرگ‌تر روبه‌رو می‌شویم. به عنوان مثال زمانی که الکترون‌های پرانرژی را از هادرون‌ها پراکنده می‌کنیم الکترون‌ها از ساختار داخلی هادرون پراکنده می‌شوند، با اندازه‌گیری تعداد ذرات پراکنده شده در یک زاویه‌ی خاص می‌توان به ساختار هادرون‌ها رسید، به عبارتی ساختار هادرون‌ها را می‌توان با اندازه‌گیری سطح‌مقطع دیفرانسیلی به دست آورد. ساختار درونی هادرون‌های آزاد بر اساس ساختار کوارکی بوده و سهم هریک از کوارک‌های ظرفیت، کوارک‌های دریا و گلئون‌ها در تابع ساختار مشخص است در تحلیل این بررسی‌ها دانشمندان ذرات توانسته‌اند، ذرات و برهمکنش‌های آن‌ها را به چندین نوع متفاوت دسته‌بندی کنند. در این فصل مروری اجمالی بر ذرات بنیادی و برخی خواص مهم آن‌ها خواهیم داشت.

[1] Pavh and et al

۱-۱- جهان از چه ساخته شده است؟

افراد و سازمان‌های متعددی در زمان حاضر با تحقیقاتی که در زمینه‌ی فیزیک ذرات بنیادی انجام داده-اند، سعی در پاسخ به این سوال داشتند. پاسخ‌های اولیه برای این پرسش در شکل ۱ آورده شده است.



شکل ۱-۱- نمودار مربوط به تئوری تشکیل اولیه جهان (هالزن و مارتین[1]، ۱۹۸٤).

امروزه می‌دانیم که جدول مندلیف[2] پر از ساختمان‌های مربوط به الکترون‌های بنیادی و هسته‌ها می‌باشد. نظمی که در جدول مندلیف مشاهده می‌شود مربوط به هسته‌ها، پروتون‌ها و نوترون‌هایی است که توسط یک نیروی قوی در قالب هسته به هم می‌چسبند. این ذرات درنهایت بواسطه‌ی نیروی الکترومغناطیسی با الکترون‌ها می‌پیوندند تا اتم‌ها را تولید کنند. تبدیل نوترون به پروتون توسط برهمکنش‌های ضعیف، عامل واپاشی β از هسته‌ها است، که به صورت تبدیل آهسته‌ی نوترون به پروتون به همراه تولید یک الکترون و یک آنتی‌نوترینو می‌باشد. پروتون‌ها و نوترون‌ها نقش کوارک‌های u و d را ایفا می‌کنند اما می‌توان گفت که این ذرات تنها ذرات کشف شده نیستند. نوکلئون‌ها ذرات سبکی هستند که در طیفی از برهمکنش‌های قوی تولید شده‌اند و باریون نامیده می‌شوند. تعداد آن‌ها حدود صد عدد است. در برهمکنش‌های قوی بوزون‌ها نیز کشف شده‌اند که مزون نامیده می‌شوند و پایون سبک‌ترین آن‌هاست. تمامی ذراتی که در برهمکنش‌های قوی تولید شده‌اند در مجموع هادرون نامیده می‌شوند. الکترون و

[1] Halzen and Martin
[2] Mendeleev

نوترینو ناشی از برهمکنش قوی نیستند، آن‌ها گروه مجزایی از ذرات هستند که لپتون نامیده می‌شوند. ذرات کشف شده از قبیل کوارک‌ها، پایون‌ها، نوترون‌ها و ... تکه‌های نهایی پازل نیستند، این ذرات هسته‌ها و اتم‌ها را به عنوان ساختارهای مقیدی به وجود می‌آورند که در جهان وجود دارند و نشان می-دهند که جهان در مجموع از کوارک‌ها و لپتون‌ها ساخته شده است (هوانگ و ساکورایی[1]، ۱۹۸۱).

۱-۲- دسته‌بندی کلی ذرات بنیادی

برای فهم دسته‌بندی ذرات بنیادی لازم است که در ابتدا به چهار نیروی اساسی موجود (کیم و همکاران[2]، ۱۹۸۱) در طبیعت بپردازیم:

- نیروی قوی هسته‌ای

ذرات مبادله شده در این برهمکنش‌ها گلئون‌ها[3] هستند، این نیروها دارای برد کوتاهی می‌باشند و عامل پیوند نوکلئون‌ها در داخل هسته هستند.

- نیروی ضعیف هسته‌ای

ذراتی که در این برهمکنش مبادله می‌شوند w^+، w^- و z^0 هستند. برد این نیروها بسیار کوتاه است، این نیرو وقتی بین کوارک‌ها عمل می‌کند می‌تواند طعم آن‌ها را عوض نموده و یا آن‌ها را به همدیگر تبدیل کند.

- نیروی الکترومغناطیسی[4]

ذره‌ی مبادله شده در این برهمکنش فوتون می‌باشد، از آن‌جایی که در رابطه با فوتون جرم سکون صفر است پس برد آن بی‌نهایت است یعنی در فاصله‌ی بی‌نهایت می‌توانند به همدیگر نیرو وارد کنند.

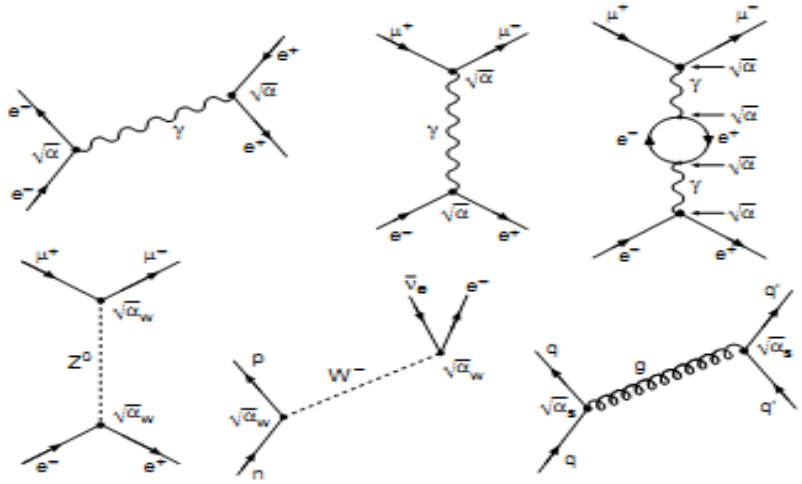
- نیروی گرانشی

ذره‌ی مبادله شده در این برهمکنش گراویتون می‌باشد که در رابطه با گراویتون نیز برد بی‌نهایت است. یعنی در فواصل بی‌نهایت امکان مبادله‌ی گراویتون وجود دارد.

---

[1] Hung and Sakurai
[2] Kim and et al
[3] Gloun
[4] Elctromagnetic

ذرات بنیادی را براساس نوع برهمکنش‌هایی که انجام می‌دهند به سه دسته‌ی کلی طبقه‌بندی می‌کنند که شامل هادرون‌ها، لپتون‌ها[1] و ذرات تبادلی هستند.



شکل ۱-۲- نمودارهای فاینمن مربوط به برهمکنش‌های ضعیف، قوی و الکترومغناطیسی (پاو و همکاران، ۱۹۹۵).

●هادرون‌ها[2]

دسته‌ی اول هادرون‌ها هستند که خودشان به معنای واقعی جزء ذرات بنیادی نیستند و از ذرات دیگری به اسم کوارک تشکیل شده‌اند، این گروه شامل دو دسته‌ی باریون‌ها و مزون‌ها می‌باشند که باریون‌ها ساختار سه کوارکی و مزون‌ها ساختار دو کوارکی دارند. در رابطه با باریون‌ها می‌توان به ذراتی مانند پروتون، نوترون و ذره‌ی Δ اشاره کرد و پایون‌ها، مزون‌های D و W مثال‌هایی از مزون‌ها هستند که از یک کوارک و یک آنتی‌کوارک تشکیل شده‌اند (فریتزسچ و مینکووسکی[3]، ۱۹۸۱).

● لپتون‌ها

دسته‌ی دوم لپتون‌ها می‌باشند که شامل الکترون‌ها، میون‌ها، تاو و نوترینوی آن‌هاست. برهمکنش غالب در بین لپتون‌ها معمولاً از نوع الکترومغناطیسی است ولی در انرژی‌های بالا می‌توانند تحت‌تأثیر برهمکنش‌های ضعیف هسته‌ای نیز قرار بگیرند.

---

[1] Leptons
[2] Hadrons
[3] Fritzsch and Minkowski

- ذرات تبادلی

دسته‌ی سوم ذرات تبادلی هستند، که شامل فوتون‌ها، گلئون‌ها، w^+، w^-، z^0 و گراویتون‌ها می‌باشند. فوتون‌ها تحت‌تأثیر برهمکنش‌های الکترومغناطیسی هستند، گلئون ذره‌ی تبادلی مربوط به نیروی قوی هسته‌ای است، w^+، w^- و z^0 ذرات تبادلی مربوط به نیروی هسته‌ای ضعیف و گراویتون‌ها ذرات تبادلی نیروی گرانش می‌باشند.

۱-۳- تقسیم‌بندی ذرات به لحاظ آماری

به لحاظ آماری ذرات به دو دسته‌ی فرمیون‌ها[1] و بوزون‌ها[2] تقسیم‌بندی می‌شوند. ذرات با اسپین صحیح را بوزون می‌گویند که حاملان نیرو هستند و ذراتی با اسپین نیمه‌صحیح فرمیون نامیده می‌شوند. ساختار جهان تحت‌تأثیر فرمیون‌هاست. فرمیون‌ها در دو خانواده‌ی اصلی قرار دارند که عبارت‌اند از کوارک‌ها و لپتون‌ها (هاراری[3]، ۱۹۷۸).

۱-۳-۱ کوارک‌ها

کوارک‌ها بنیادی‌ترین جزء ساختار هادرون‌ها هستند (کرونفید و مکنزی[4]، ۱۹۹۳). این ذرات به‌واسطه‌ی برهمکنش‌های قوی با یکدیگر برهمکنش می‌کنند. در فیزیک هسته‌ای معمولاً علاقه‌مند هستیم تا سبک‌ترین اعضای خانواده‌ی هادرون‌ها را بررسی کنیم که عبارت‌اند از نوکلئون‌ها که اجزای سازنده‌ی هسته‌ها هستند و پایون‌ها که حاملان اصلی نیروی هسته‌ای می‌باشند. در حالت کلی شش نوع مختلف از کوارک‌ها وجود دارند که به‌صورت زیر دسته‌بندی می‌شوند:

u (up), d (dawn), c (charm), s (strange), t (top), b (beauty)

این شش ذره براساس جرم‌هایشان به‌صورت سه جفت دسته‌بندی می‌شوند که در این حالت یکی از اعضای هر جفت، ۲/۳ بار الکترون و دیگری ۱/۳- بار الکترون را دارا می‌باشند.

---
[1] Fermions
[2] Bosons
[3] Harari
[4] Kronfeid and Mackenzie