بسم الله الرحمن الرحيم

دانشکده: فیزیک

گرایش: ذرات بنیادی

بررسی ذرات با اسپین ۱ با برهمکنش پتانسیل مناسب با بررسی معادله پروکا

دانشجو: **راضیه عودی**

استاد راهنما:

پروفسور علی‌اکبر رجبی

پایان نامه ارشد جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد

شهریور ماه ۱۳۹۰

این پایان نامه را با تمام وجودم پیشکش می کنم

به پدرم که با راهنمایی ها و زحمات بی دریغش مسیر پیشرفت و خوشبختی را آشکار ساخته؛

و به مادرم که دعای خالصانه اش بدرقه راه و وجودش دلگرمی وجودم است؛

و آنانی که کوشیدند تا بدانم هدف غایی وجود این است که، هستی را پروردگاریست بی مانند.

گرامی می دارم وجودشان را که مایه فخر و مباهات من است.

قدردانی

حال که به لطف و رحمت لایتناهی حضرت حق مراحل این پایان نامه رو به اتمام نهاده، بر خود لازم دانستم تا از همه دوستانی که در پیشبرد اهداف این پایان نامه اینجانب را مساعدت و یاری نموده اند، سپاس و قدردانی به عمل آورم.

ابتدا بر خود لازم می دانم تا از زحمات و پشتیبانی شبانه روزی، بی دریغ و بی شائبه استاد محترم، جناب آقای پروفسور علی اکبر رجبی که راهنمایی این تحقیق را بر عهده داشته و از هر گونه راهنمایی و مساعدت مضایقه نکردند، تشکر و قدردانی ویژه ای داشته باشم. بی شک بدون حمایت و پشتیبانی ایشان انجام این تحقیق مقدور نمی بود.

از جناب آقای دکتر حسین موحدیان که سعادت شاگردی ایشان را در طی دوره کارشناسی ارشد داشته ام قدردانی می نمایم.

همچنین از جناب آقای دکتر حسن حسن آبادی که نقشی ارزنده و مکمل در انجام این پایان نامه داشتند سپاس گزاری کرده و موفقیت ایشان را در تمامی مراحل زندگی از خداوند متعال مسالت دارم.

در انتها سپاس گزار زحمات تمامی اعضای خانواده ام، پدر، مادر و خواهر عزیزم سمانه عودی و همچنین دوستان بزرگوارم، خانم ها حسن آبادی، عزیزی، خدابخش، ذالیانی، فشانجردی و مذاف که در مراحل مختلف تحصیلی مرا یاری نمودند، هستم. لیکن همیشه خود را مرهون لطف و مهربانی آنها دانسته و امیدوارم به لطف الهی روزی توان جبران محبت هایشان را داشته باشم.

تعهد نامه

اینجانب **راضیه عودی** دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته فیزیک دانشکده فیزیک دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان‌نامه **بررسی ذرات با اسپین ۱ با برهمکنش پتانسیل مناسب با بررسی معادله پروکا** تحت راهنمائی **جناب آقای پروفسور علی اکبر رجبی** متعهد می‌شوم:

- تحقیقات در این پایان‌نامه توسط اینجانب انجام شده است و از صحت و اصالت برخوردار است.
- در استفاده از نتایج پژوهش‌های محققان دیگر به مرجع مورد استفاده استناد شده است.
- مطالب مندرج در پایان‌نامه تاکنون توسط خود یا فرد دیگری برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی در هیچ‌جا ارائه نشده است.
- کلیه حقوق معنوی این اثر متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می‌باشد و مقالات مستخرج با نام « دانشگاه صنعتی شاهرود » و یا « Shahrood University of Technology » به چاپ خواهد رسید.
- حقوق معنوی تمام افرادی که در به‌دست آمدن نتایج اصلی پایان نامه تأثیرگذار بوده‌اند در مقالات مستخرج از پایان‌نامه رعایت می‌گردد.
- در کلیه مراحل انجام این پایان‌نامه، در مواردی که از موجود زنده (یا بافت‌های آن‌ها) استفاده شده است ضوابط و اصول اخلاقی رعایت شده است.
- در کلیه مراحل انجام این پایان‌نامه، در مواردی که به حوزه اطلاعات شخصی افراد دسترسی یافته یا استفاده شده است اصل رازداری، ضوابط و اصول اخلاق انسانی رعایت شده است.

تاریخ: ۱۳۹۰/۰۶/۲۹

امضای دانشجو:

مالکیت نتایج و حق نشر

- کلیه حقوق معنوی این اثر و محصولات آن (مقالات مستخرج ، کتاب ، برنامه های رایانه ای ، نرم افزار ها و تجهیزات ساخته شده است) متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می باشد . این مطلب باید به نحو مقتضی در تولیدات علمی مربوطه ذکر شود .
- استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در پایان نامه بدون ذکر مرجع مجاز نمی باشد

چکیده

بررسی ذرات با اسپین یک با معادله پروکا انجام می‌شود، از آنجایی که نیروهای موجود در طبیعت از طریق ذرات واسطه آنها انتقال می‌یابند، ذره واسطه نیروهای الکترومغناطیس و هسته‌ای قوی و هسته‌ای ضعیف، به ترتیب، فوتون‌ها و گلوئون‌ها و مزون‌های $w^{\pm},z$ هستند که همه آنها دارای اسپین یک هستند، اهمیت معادله پروکا را نشان می‌دهد.

در این پایان‌نامه ابتدا به بررسی ذرات با اسپین یک می‌پردازیم و سپس معادله پروکا را برای ذرات اسپین یک بدون جرم (فوتون‌ها) و دارای جرم بررسی می‌کنیم. نشان خواهیم داد که تابع موج نسبیتی در این حالت دارای ده مولفه و برای ذرات با اسپین صفر پنج مولفه است، معادله‌ی دافین-کمر-پتیو(DKP) برای ذرات اسپین صفر معادل معادله‌ی کلاین گوردن(KG) و برای ذرات با اسپین یک معادل معادله‌ی پروکا است، همچنین اثرات پراکندگی ذرات اسپین یک را در حضور پتانسیل‌های هولسن (Hulthen) و وود-ساکسون (Woods-Saxon) و اسموس (smooth) به ازای اعداد کوانتومی متفاوت بررسی کرده‌ایم که برای حل از تقریب جمله مرکزگرا استفاده کرده‌ایم، سپس با اعمال شرایط مرزی برای یک ذره اسپین یک در حضور پتانسیل فیزیکی اسموس با توجه به شار ذرات فرودی ضرایب عبور و بازتاب را برای این ذرات محاسبه می‌کنیم.

کلمات کلیدی: اسپین، معادله DKP، مزون، پتانسیل

لیست مقالات مستخرج از پایان‌نامه:

۱-بررسی ذرات اسپین یک با پتانسیل اسموس (نوزدهمین کنفرانس سالیانه فیزیک، ارومیه، شهریور ۱۳۹۰).

۲-Approximate bound state solutions of DKP Equation for any J State in the Presence of the Woods-Saxon Potential (Commun. Theor. Phys, on (۲۰۱۱/۹/٦) accepted for publication).

۳- مطالعه ذرات با اسپین یک در حضور پتانسیل هولسن (پنجمین همایش فیزیک – پیام نور تبریز مهر ۱۳۹۰)

فهرست

عنوان **صفحه**

فصل اول: مقدمه‌ای برذرات بنیادی

۱-۱- مقدمه ۲

۱-۲- تاریخچه ۳

۱-۳- نیروهای بنیادی ۶

۱-۳-۱- نیروی گرانش ۷

۱-۳-۲- نیروی الکترومغناطیسی ۸

۱-۳-۳- نیروی هسته ای قوی ۹

۱-۳-۴- نیروی هسته ای ضعیف ۱۰

۱-۴- ذرات بنیادی ۱۱

۱-۵- فرمیون‌ها و بوزون‌ها ۱۳

۱-۶- تقسیم‌بندی ذرات بر اساس مدل کوارکی ۱۵

۱-۶-۱- هادرون‌ها ۱۶

۱-۶-۲- باریون‌ها ۱۷

۱-۶-۳- مزون‌ها ۱۷

۱-۶-۴- لپتون‌ها ۱۸

۱-۶-۵- ذرات واسطه ۱۹

۱-۷- کوارک‌ها ۲۰

۱-۷-۱- ترکیبات رنگی کوارک‌ها ۲۲

۱-۷-۲- آیا کوارک‌ها را می‌توان مشاهده کرد؟ ۲۲

۱-۸- گلوئون‌ها ۲۳

فصل دوم: بررسی ذرات با اسپین یک با معادله‌ی پروکا

۲-۱- مقدمه ۲۶
۲-۲- معادله‌ی پروکا ۲۶
۲-۳- بررسی معادله‌ی پروکا برای ذرات فوتون‌گونه ۲۷
۲-۴- بررسی معادله‌ی پروکا برای ذرات اسپین یک با جرم m ۳۱

فصل سوم: حل معادله‌ی DKP با پتانسیل‌های مناسب

۳-۱- معادله‌ی دافین- کمر- پتیو (DKP) ۳۵
۳-۱-۱- معادله‌ی دافین- کمر- پتیو به ازای J های متفاوت ۳۸
۳-۲- حل دقیق معادله‌ی DKP برای ذرات اسپین یک در حضور میدان مغناطیسی ۴۰
۳-۳- حل معادله‌ی DKP برای ذرات اسپین یک در حضور پتانسیل هولسن ۵۰
۳-۴- حل معادله‌ی DKP برای ذرات اسپین یک در حضور پتانسیل وود- ساکسون ۵۵
۳-۵- حل معادله‌ی DKP برای ذرات اسپین یک در حضور پتانسیل اسموس ۵۹

فصل چهارم: محاسبه‌ی ضرایب عبور و بازتاب

۴-۱- توابع هیون ۶۵
۴-۱-۱- معادله‌ی هیون عمومی ۶۵
۴-۱-۲- معادله‌ی هیون هم‌شار ۶۸
۴-۱-۳- معادله‌ی هیون هم‌شار دوگانه ۶۹
۴-۱-۴- معادله‌ی هیون دوتایه ۶۹
۴-۱-۵- معادله‌ی هیون سه‌تایه ۷۰
۴-۲- محاسبه‌ی ضرایب عبور و بازتاب برای ذرات با اسپین یک در حضور پتانسیل اسموس ۷۰
نتیجه‌گیری ۷۸
پیوست الف ۷۹

مراجع ۸۳

فهرست اشکال

شکل ۱-۱ شماتیکی از ساختار ماده ۴

شکل ۱-۲ نیروی گرانش بین دو جسم ۷

شکل ۱-۳ نیروی الکترومغناطیسی بین ذرات ۹

شکل ۱-۴ نیروی هسته‌ای قوی بین ذرات ۱۰

شکل ۱-۵ نیروی هسته‌ای ضعیف بین ذرات ۱۱

شکل ۱-۶ ساختار هادرون‌ها ۱۶

شکل ۱-۷ ساختار پروتون و نوترون ۲۱

شکل ۱-۸ ترکیبات رنگی کوارک‌ها ۲۲

شکل ۱-۹ نمودار فاینمن برهم‌کنش کوارک ها ۲۴

شکل ۳-۱ نمودار انرژی برحسب میدان مغناطیسی ۴۹

شکل ۳-۲ نمودار تابع موج ذره با اسپین یک در حضور میدان مغناطیسی به ازای n های متفاوت ۵۰

شکل۳-۳ تابع موج ذره در حضور پتانسیل هولسن به ازای اعداد کوانتومی متفاوت ۵۴

شکل۳-۴ پتانسیل هولسن به ازای δ های متفاوت ۵۴

شکل ۳-۵ تابع موج ذره با اسپین یک در حضور پتانسیل وود-ساکسون ۵۸

شکل ۳-۶ پتانسیل اسموس به ازای a_0 های متفاوت ۶۲

شکل ۳-۷ تابع موج ذره با اسپین یک در حضور پتانسیل اسموس به ازای n های متفاوت ۶۳

شکل ۴-۱ نمودار ضرایب عبور و بازتاب برحسب انرژی ۷۷

فهرست جداول

جدول ۱-۱ نیروهای بنیادی حاکم بر طبیعت ۶

جدول ۱-۲ ویژگی‌های مزون‌ها با اسپین یک ۱۸

جدول ۱-۳ انواع لپتون ۱۹

جدول ۱-۴ کوارک‌ها ۲۱

جدول۳-۱ انرژی نسبیتی ذره با اسپین یک با پتانسیل هولسن به ازای اعداد کوانتومی متفاوت ۵۳

جدول ۳-۲ انرژی نسبیتی با پتانسیل وود-ساکسون به ازای اعداد کوانتومی متفاوت ۵۷

جدول ۳-۳ مقادیر ویژه انرژی با پتانسیل اسموس به ازای n های متفاوت ۶۲

فصل اول

مقدمه‌ای بر ذرات بنیادی

۱-۱- مقدمه

فیزیک ذرات بنیادی یا به طور خلاصه فیزیک ذرات، بخشی از فیزیک است که در آن به بررسی ذرات نهایی یعنی کوچک‌ترین و بنیادی‌ترین ذرات پرداخته می‌شود. ذراتی که مواد یا ضد مواد یا فوتون‌ها و... از آنها تشکیل شده‌اند. شاید حدود صد سال پیش، فیزیک ذرات محدود به بررسی الکترون‌ها و هسته اتم بود اما امروز با یافتن شواهد جدیدتر مبنی بر وجود ذرات بنیادی‌تر و کوچک‌تر و مجهز شدن فیزیک‌دانان به آزمایشگاه‌های بسیار پیشرفته در این زمینه، رشته‌ی فیزیک ذرات بنیادی گسترش بیشتری یافته است.

در زمینه‌ی تئوری ذرات، نظریه‌های جدیدی مثل نظریه‌ی ریسمان[۱] نیز ذهن بسیاری از فیزیک‌دانان را درگیر خود کرده است. در نظریه‌ی ریسمان سعی می‌شود مدلی برای وحدت بین نیروها و نیز اجزای تشکیل‌دهنده ذرات بنیادی ارائه شود.

نکته‌ی جالب این است که دو حد فیزیک یعنی حد دنیای بزرگ کیهان شناسی و حد دنیای بسیار کوچک (ذرات بنیادی) کم کم به هم نزدیک شده و این روزها فعالیت‌های زیادی برای پاسخ به سوال‌های مشترک در بین این دو زمینه انجام می‌گیرد. به طوری که احتمال می‌رود مسایل مربوط به این دو شاخه شاید روزی به صورت همزمان و همراه با شناخت کامل ما از مواد و نیروها انجام پذیرد.

[۱] String Theory

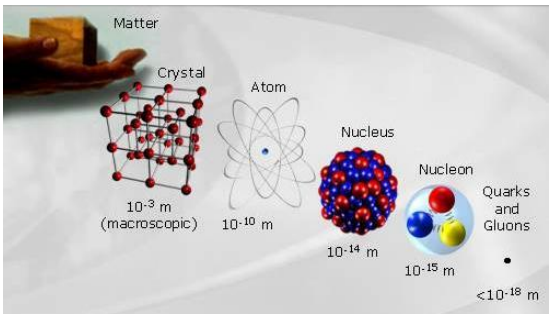
۱-۲- تاریخچه

در نیمه دوم قرن بیستم پیشرفت‌های عظیمی در درک ما از جهان و به خصوص در دنیای درون اتم اتفاق افتاد. از یک سو پیشرفت‌های نظری در مکانیک کوانتومی و به تبع آن در نظریه میدان‌های کوانتومی[۱] و از سوی دیگر انجام آزمایش‌های بزرگ به وسیله شتاب‌دهنده‌های عظیم باعث شد که امروزه بتوانیم ادعا کنیم ساختار بخش عظیمی از ماده قابل رویت در جهان را می‌دانیم. همچنین می‌توانیم بگوییم که از میان چهار نیروی مستقل در طبیعت امروز نظریه وحدت‌یافته‌ای از دوتای آنها در دست است و سومین نیرو هم به طرز خوبی با آنها تلفیق شده است.

ماجرای فیزیک ذرات بنیادی در دهه ۱۹۶۰ به ماجرای خلق مکانیک کوانتومی و آنچه که در جهان فیزیک‌دانان در دهه‌های اول قرن بیستم می‌گذشت بی‌شباهت نیست. در اواخر دهه ۱۹۶۰ شتاب‌دهنده-های پرانرژی از تصادم الکترون‌ها و پروتون‌ها و در برخی موارد ذرات دیگر، صدها ذره‌ی بنیادی فراهم کردند تا فیزیک‌دانان را از غنای آنچه که در زیرلایه‌های اتم می‌گذرد آگاه کنند. زمانی که دالتون[۲] مدل اتمی نوین خود را در قرن نوزدهم ارائه داد و مندلیف[۳] جدول تناوبی عناصر را تنظیم کرد، دانشمندان گمان می‌کردند که اتم‌ها، آجرهای ریزسازنده جهان هستند اما این تصور چندان طول نکشید. با کشف الکترون، هسته و پروتون و نوترون درون هسته (که اکثر آنها را مدیون تامسون[۴] پدر و پسر و رادرفورد[۵] هستیم)، آنها توانستند تمام جدول تناوبی عناصر را براساس این ذره توجیه کنند. به نظر می‌رسید که الکترون، پروتون و نوترون اجزای اصلی سازنده جهان هستند اما داستان اینجا تمام نمی‌شود. در شکل(۱) شماتیکی از ساختار ماده بیان شده است.

---

[۱] Quantum Field Theory
[۲] John Dolton
[۳] Dmitry Ivanovich Mendeleev
[۴] Joseph John Thomson
[۵] Ernest Rutherford



شکل ۱-۱: شماتیکی از ساختار ماده[۳]

دیراک[۱] که پس از تدوین مکانیک کوانتومی توسط هایزنبرگ[۲] و شرودینگر[۳] به دنبال آن بود که یک نظریه مکانیک کوانتومی نسبیتی بسازد (نسبیت خاص را با مکانیک کوانتومی پیوند بزند)، در اواخر دهه ۱۹۲۰ به معادله‌ای دست یافت که علاوه بر توضیح دینامیک الکترون وجود ذره دیگری را پیش بینی می-کرد که تمام خواص آن همانند الکترون اما دارای بار مخالف است. این ذره را پوزیترون نامیدند. پوزیترون پادذره الکترون است، یعنی تمام خواص آن مثل الکترون است و فقط بارهای ذاتی (اعداد کوانتومی) آن عکس الکترون است، مثلاً بار الکتریکی مثبت دارد و در سال ۱۹۳۱ توسط کارل اندرسون[۴] با استفاده از عکس‌هایی که از تابش کیهانی گرفته بود، کشف شد. نکته جالب تر اینکه معادله دیراک می‌تواند هر ذره-ای را که اسپین $\frac{1}{2}$ دارد توصیف کند (اسپین خاصیت کاملاً کوانتومی است و مانسته کلاسیکی ندارد و شبیه یک میدان مغناطیسی ذاتی است)، پس پروتون و نوترون را هم شامل می‌شود، در نتیجه آنها هم پادذره دارند.

[۱] Paul Dirac
[۲] Werner Karl Heisenberg
[۳] Ervin Schrodinger
[۴] Anderson

شروع فیزیک ذرات جدید را می‌توان با کشف مزون‌ها قرین دانست، زیرا این ذرات مانند پروتون‌ها و الکترون‌ها، تشکیل‌دهنده‌ی مواد نیستند بلکه نخستین بار به این منظور پیشنهاد شدند که توصیفی برای نیروهای هسته‌ای بدست دهند.

فیزیک‌دانان در سال ۱۹۳۰ میلادی در تلاش برای توصیف خصوصیات نیروی هسته‌ای قوی، ناگزیر از برآورده‌کردن دو نیاز اساسی شدند. نخست اینکه چون این نیرو بر روی پروتون‌ها و نوترون‌ها عمل می‌کند باید مستقل از بارهای الکتریکی باشد و دوم اینکه چون نیروی فوق فقط درون هسته حس می‌شود می-بایست برد بسیار کوتاهی داشته باشد.

در سال ۱۹۳۵ میلادی، یوکاوا[۱] فیزیک‌دان ژاپنی اظهار داشت که نیروی هسته‌ای بین پروتون‌ها، در مقابل فوتون بدون جرم که واسطه‌ی نیروی الکترومغناطیسی با برد بینهایت است، توسط یک ذره‌ی واسطه‌ی سنگین (مزون π) مبادله می‌شود. این همان ذره واسطه است که ما را مطمئن می‌سازد که نیروی حمل شده توسط این ذره فقط تا برد محدودی اعمال می شود و این به وسیله‌ی اصل عدم قطعیت هایزنبرگ، که نقص بقای انرژی را برای یک مدت کوتاه مجاز می‌داند ،اثبات می‌شود.

از روی آزمایش‌های پراکندگی ذره‌ی آلفا می‌دانیم که برد مؤثر نیروی قوی حدود $10^{-15}m$ است و این نشان می‌دهد که جرم پایون۳۰۰ برابر جرم الکترون یا حدود $150MeV$ است. برای آنکه تمام برهم-کنش‌های ممکن بین نوکلئون‌ها مجاز باشند می‌بایست پایون‌ها به سه حالت باری وجود داشته باشند. مثلا پرتون ممکن است با گسیل یک پایون با بار مثبت به یک نوترون مبدل شود و یا متناظرا با جذب یک پایون با بار منفی به نوترون تبدیل می‌شود. همچنین ممکن است پروتون در مدت انجام یک برهم-کنش هسته‌ای بدون تغییر باقی بماند، این مورد فقط با داشتن یک پایون بدون بار قابل توضیح است. بنابراین پایون باید در سه حالت باری: مثبت (π^+)، خنثی (π^0) و منفی (π^-) وجود داشته باشد.[۱-۳]

[۱] Hideki Yukawa

۱-۳- نیروهای بنیادی

فهم اینکه تمام پدیده‌های مشاهده شده در جهان را می‌توان فقط به آثار چهار نیروی اساسی نسبت داد، نشان چشم‌گیری از قدرت وحدت‌بخش فیزیک است. این نیروها عبارت‌اند از نیروهای آشنای گرانش و الکترومغناطیس و نیروهای نه چندان آشنای هسته‌ای قوی و ضعیف. پدیده‌هایی را که در جهان اطراف ما رخ می‌دهند می‌توان فقط به دو دسته‌ی گرانشی و الکترومغناطیسی نسبت داد زیرا فقط این نیروها آثار چشم‌گیری در گستره‌ی قابل مشاهده دارند. آثار نیروهای هسته‌ای ضعیف و قوی حداکثر به فاصله‌ی $10^{-15}m$ منابع خود محدود می‌شود.

هرگاه شدت نیروی قوی هسته‌ای را بر حسب واحدی برابر با یک اختیار کنیم، قدرت نسبی این چهار نیرو به ترتیب زیر خواهد بود :

۱- نیروی گرانش: شدت در حدود 10^{-39}

۲- نیروی ضعیف هسته‌ای: شدت در حدود 10^{-5}

۳- نیروی الکترومغناطیس: شدت در حدود 10^{-2}

۴- نیروی قوی هسته‌ای: شدت برابر با ۱

در جدول ۱-۱ برد نیروهای بنیادی و همچنین ذرات واسطه بیان شده است.

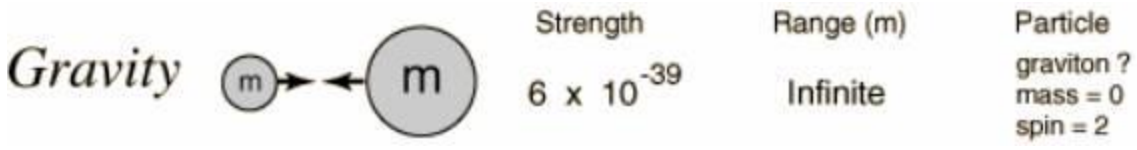
جدول ۱-۱: نیروهای بنیادی حاکم بر طبیعت[۵]

ذرات واسطه	برد	نیرو
گراویتون، بدون جرم، اسپین ۲	بلند	گرانش
فوتون، بدون جرم، اسپین ۱	بلند	الکترومغناطیسی
$z^0, w^{\pm}$ ، دارای جرم، اسپین ۱	کوتاه	هسته‌ای ضعیف
گلوئون ها، بدون جرم، اسپین ۱	کوتاه	هسته‌ای قوی

۱-۳-۱- نیروی گرانش

گرانش ساده‌ترین نیروست و صورت‌های انرژی را به صورت‌های دیگر تبدیل می‌کند (این شامل هر دو میدان نیرو و ماده می‌گردد). هر ذره از هر نوعی که باشد، به این دلیل که برای وجود باید انرژی منتقل کند، یک نیروی گرانشی احساس می‌کند. این نیرو برای تمامی شکل‌ها ماده، به صورت گرانی است. نیروی گرانشی، تمایل به حرکت دادن اجسام به سوی یکدیگر دارد تا کنون هیچ نوع گرانش منفی مشاهده نشده است. اگر چه در برخی حالت‌ها از نظر فیزیکی امکان‌پذیر است و چنین به نظر می‌رسد که به صورت بحرانی در آغاز انفجار بزرگ با اهمیت بوده است. در نهایت باید گفت که این نیرو دارای برد طولانی است. مهم نیست که اجسام چقدر از هم فاصله دارند، گرانش آنها را با هم جفت می‌کند. به همین دلیل گرانش مهم‌ترین نیرو در میان اجسام بسیار بزرگ است که حتی در میان خورشید و سیاراتش و همچنین در داخل کهکشان‌ها، این نیرو وجود دارد و همچنین، گرانش انبساط جهان را نیز کنترل می‌کند.

گرانش نخستین نیرو با یک رابطه دقیق ریاضی بود؛ قانون جهانی گرانش نیوتن نشان داد که همان نیرو (گرانی) سقوط سیب به سطح زمین ، سقوط دائمی ماه و سقوط سیارات در مدارشان را تحت کنترل دارد. پرتو گرانش، یعنی امواج گرانشی به صورت مستقیم کشف نشده‌اند، هر چند که انرژی از دست رفته آن به صورت غیر مستقیم اندازه گیری می‌شود.



شکل ۱-۲: نیروی گرانش بین دو جسم[۳]

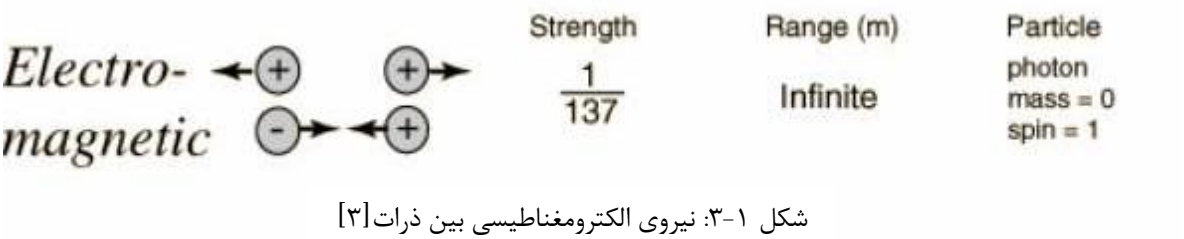
۱-۳-۲- نیروی الکترومغناطیسی

الکترومغناطیس نیرویی است پیچیده تر از گرانش که به منظور جفت شدن با این نیرو، به بار الکتریکی نیاز است. برخلاف انرژی که تمام ذرات دارای آن هستند، بار الکتریکی خصوصیتی است که برخی از ذرات دارند و بقیه فاقد آن می‌باشند. از آنجا که برخی از انواع ماده از نظر الکتریکی خنثی هستند، هیچ نیروی الکتریکی را احساس نمی‌کنند. همچنین بار الکتریکی با دو علامت مثبت و منفی ظاهر می‌شود که اگر هر دو از نظر عددی به یک اندازه باشند، یکدیگر را خنثی می‌کنند. نیروی الکتریکی میان ذرات می‌تواند از نوع جاذبه باشد (برای بارهای مخالف) یا از نوع دافعه باشد (برای بارهای موافق). نیروهای مغناطیسی که همانند نیروهای الکتریکی در نهاد و وجود اجسام قرار دارند، اگر دارای حرکت بارها باشند، زیاد می‌شوند. همانند جریان الکتریکی منظم در داخل یک سیم پیچ یا اتم‌هایی که در سوزن یک قطب‌نما، در یک راستا قرار گرفته‌اند. نیروهای الکترومغناطیسی همانند گرانشی، در فواصل زیاد عمل می‌کنند. میدان‌های الکترومغناطیسی بر روی بادهای خورشیدی و پرتوهای کیهانی تاثیر می‌گذارند. آنها در بین کهکشان‌ها گسترش می‌یابند، شکل‌گیری ستارگان را کنترل می‌کنند و اصل وخاستگاه اصلی انرژی از سیاهچاله‌ها را کاتالیزه می‌نمایند.

تمامی نوری که شامل پرتوها از رادیو موج در میان نور مرئی تا اشعه ایکس است، از جنبش میدان‌های الکترومغناطیسی تشکیل شده است. واقعیت شگفت‌آوری که در قرن نوزدهم صریحاً توضیح داده شد، همین مورد بود. تمام اختلافات آشکار میان انواع گوناگون پرتوها تنها از چگونگی سریع یا کند جنبیدن الکترون‌ها، فرکانس و یا طول موج نور نشات می‌گیرند. باید توجه کرد که نور در ذات خود از نظر الکتریکی باردار نیست و فقط با بار الکتریکی جفت می‌شود. نور از همان میدان‌های الکترومغناطیسی

شکل یافته است که عقربه قطب‌نما را می‌گردانند و موهای سر شما را به صورت ایستاده نگه می‌دارند. همین حضور و حرکت اجسامی که بار الکتریکی دارند، این میدان‌ها را ایجاد می‌کند.

الکترومغناطیس به همراه قوانین مکانیک کوانتومی، ساختار ابرهای الکترونی که بیشتر توده‌های اتمی را در مواد معمولی بوجود آورده‌اند، مشخص می‌کند. این نیرو همچنین رفتار شیمیایی تمام اتم‌ها و مولکول-ها و ...را تحت کنترل خود دارد.



شکل ۱-۳: نیروی الکترومغناطیسی بین ذرات[۳]

۱-۳-۳- نیروی هسته‌ای قوی

نیروی قوی که همچنین نیروی رنگ دینامیکی نیز نامیده می‌شود، از نظر ریاضی پیچیده‌ترین نیروهاست. اگر چه این نیرو، اعتبار مهمی برای ساختن ماده دارد، در زندگی روزمره به طور مستقیم و واضح درک نمی‌شود. نیروی قوی بر خلاف بار الکتریکی منفرد، با یک بار قوی مرکب و پیچیده که رنگ نامیده می-شود، جفت می‌گردد و در سه نوع مختلف می‌باشد: R (قرمز) G (سبز) و B (آبی). این بارها می‌توانند در یک ذره منفرد با یکدیگر ترکیب شوند و نیرو به این ترکیب بستگی دارد. نظر به اینکه تنها یک فوتون وجود دارد (و آن یک نوع پرتو الکترومغناطیسی است)، رنگ‌های مختلف تنها در بسامد با هم اختلاف دارند. هشت نوع متمایز از گلئون‌ها نیروی قوی را تشکیل می‌دهند، بر خلاف فوتون‌ها، گلئون‌ها خودشان بارهای رنگی را که با آنها جفت شده‌اند، حمل می‌کنند. به دلیل اینکه فوتون‌ها از نظر الکتریکی خنثی هستند، دو پرتو نور به راحتی از میان یکدیگر عبور می‌کنند. نور هرگز از خود روشنایی ساطع نمی‌کند و