بسم الله الرحمن الرحيم

دانشکده فیزیک

گروه هسته ای

بررسی تک قطبی مغناطیسی در مکانیک کوانتومی

دانشجو :

سپیده سرگلزایی پور

اساتید راهنما :

دکتر حسن حسن آبادی

دکتر نسرین صالحی

پایان نامه کارشناسی ارشد جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد

شهریور ماه ۱۳۹۳

پیوست شماره ۲

دانشگاه صنعتی شاهرود

دانشکده : فیزیک

گروه : هسته ای

پایان نامه کارشناسی ارشد خانم سپیده سرگلزایی پور

تحت عنوان: بررسی تک قطبی مغناطیسی در مکانیک کوانتومی

در تاریخ ..... توسط کمیته تخصصی زیر جهت اخذ مدرک کارشناسی ارشد مورد ارزیـابی و بـا درجه ..... مورد پذیرش قرار گرفت.

اساتید راهنما	امضاء	اساتید مشاور	امضاء
نام و نام خانوادگی :	حسن حسن آبادی	نام و نام خانوادگی :	
نام و نام خانوادگی :	نسرین صالحی	نام و نام خانوادگی :	

اساتید داور	امضاء	نماینده تحصیلات تکمیلی	امضاء
نام و نام خانوادگی :	**علی اکبر رجبی**	نام و نام خانوادگی :	
نام و نام خانوادگی :	**حسین توکلی**		
نام و نام خانوادگی :			
نام و نام خانوادگی :			

تقدیم به

خدای را بسی شاکرم که از روی کرم پدر و مادری فداکار نصیبم ساخته تا در سایه درخت پر بار وجودشان بیاسایم و از ریشه آنها شاخ و برگ گیرم و از سایه وجودشان در راه کسب علم ودانش تلاش نمایم . والدینی که بودنشان تاج افتخاری است بر سرم و نامشان دلیلی است بر بودنم چرا که این دو وجود پس از پروردگار مایه هستی ام بوده اند دستم را گرفتند و راه رفتن را در این وادی زندگی پر از فراز و نشیب آموختند. آموزگارانی که برایم زندگی؛ بودن و انسان بودن را معنا کردند حال این برگ سبزی است تحفه درویش تقدیم آنان....

تقدیم به برادر وخواهرانم

که همواره در طول تحصیل متحمل زحماتم بودند و تکیه گاه من در مواجهه با مشکلات ، و وجودشان مایه دلگرمی من می باشند.

تشکر و قدردانی

نخستین سپاس و ستایش از آن خداوندی است که بنده کوچکش را در دریای بیکران اندیشه، قطره‌ای ساخت تا وسعت آن را از دریچه اندیشه‌های ناب آموزگارانی بزرگ به تماشا نشیند .لذا اکنون که در سایه سار بنده نوازی‌هایش پایان نامه حاضر به انجام رسیده است، بر خود لازم می‌دانم تا مراتب سپاس را از بزرگوارانی به جا آورم که اگر دست یاریگرشان نبود، هرگز این پایان نامه به انجام نمی‌رسید.

ابتدا از استاد راهنمای بزرگوار و اندیشمند خود جناب آقای دکتر حسن حسن آبادی که راهنمایی‌های مهم ایشان نقش ارزنده‌ای در پیشبرد این تحقیق داشته‌است صمیمانه تشکر می‌کنم و بخاطر همه لحظات ارزشمندی که در یادگیری از این استاد بزرگوار سپری شد سپاسگزارم. هم چنین از استاد بزرگوارم خانم دکتر نسرین صالحی که راهنمائی های لازم را در جهت تصحیح و کامل نمودن این پایان نامه از اینجانب دریغ ننموده اند تشکر وقدردانی می نمایم. در خاتمه از کلیه اساتید این دوره کمال تشکر را دارم.

سپاس آخر را به مهربانترین همراهان زندگیم، به پدر، مادر عزیزم تقدیم می‌کنم که حضورشان درفضای زندگیم مصداق بی‌ریای سخاوت بوده است .

ودرآخر از دوست عزیزم سرکارخانم زهرادرخشانی که همواره در طول تحصیل در کنارم بودند، سپاسگزارم.

تعهد نامه

اینجانب **سپیده سرگلزایی پور** دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته **فیزیک – هسته‌ای** دانشکده **فیزیک** دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان نامه **بررسی تک قطبی مغناطیسی در مکانیک کوانتومی** تحت راهنمائی

دکتر **حسن حسن آبادی** و دکتر **نسرین صالحی** متعهد می‌شوم.

- تحقیقات در این پایان نامه 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 پایان نامه تاکنون توسط خود یا فرد دیگری برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی در هیچ جا ارائـه نشـده است.
- کلیه حقوق معنوی این اثر متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می باشد و مقالات مستخرج با نام « دانشگاه صنعتی شاهرود » و یا « Shahrood University of Technology » به چاپ خواهد رسید.
- حقوق معنوی تمام افرادی که در به دست آمدن نتایج اصلی پایان نامه تأثیرگذار بوده اند در مقالات مستخرج از پایان نامه رعایت می گردد.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه ، در مواردی که از موجود زنده (یا بافتهای آنها) استفاده شده است ضوابط و اصول اخلاقی رعایت شده است.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه، 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 :۱۳۹۳/۰۶/۲۲

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

تک قطبی مغناطیسی، ذره‌ای شبیه به الکترون است، با این تفاوت که بار مغناطیسی آن بسیار بیشتر از بار الکتریکی است. در سال ۱۹۳۱ دیراک وجود ذراتی را پیشنهاد کرد که به طور ذاتی تولید میدان مغناطیسی می‌کنند از این رو نام آنها را تک قطبی مغناطیسی گذاشت. هر چند قبل از وی نیز، بحث هایی در زمینه تک قطبی مغناطیسی به طور پراکنده مطرح بود. از جمله، پوانکاره[۱] در سال ۱۸۹۶ حرکت یک بار الکتریکی را در میدان یک سیم پیچ مغناطیسی طویل و باریک که انتهای آن میدانی شبیه، به یک تک قطـبی مغناطیسی تولید می‌کند، را بررسی کرد. عدم تقارن بین بارالکتریکی و مغناطیسی یکی از قدیمی‌ترین معماها در فیزیک است. اوایل قرن ۱۹ بحث‌هایی مرتبط با مغناطیس از ماده و امکان وجود بارمغناطیس منزوی وجود داشت. ایده تک قطبی مغناطیسی در فکر دیراک همزمان با پیشنهاد وی مبنی بر وجود ذراتی شبیه به الکترون ولی با بار مثبت بود، که نام آنها را پوزیترون نهاده بود. در این پایانامه ابتدا در فصل اول مطالبی در مورد خواص تک قطبی مغناطیسی و مشاهده تک قطبی مغناطیسی در یک میدان مغناطیسی مصنوعی، را به طور مختصر بیان کرده، سپس در فصل دوم فرم معادله ماکسول و پتانسیل تک قطبی مغناطیسی را توضیح می‌دهیم. در فصل سوم سیستم میسز - کپلر و کالوزا - کلاین را در حضور تک قطبی مغناطیسی مورد بررسی قرار داده‌ایم. فصل چهارم راه حل تقریبی از معادله کلاین-گوردون را برای پتانسیل هولسن در حضور میدان مغناطیسی آهارانوف- بوهم در نظر می‌گیریم و طیف انرژی و ویژه تابع آن را محاسبه می‌کنیم. سپس در فصل پنجم میدان تک قطبی مغناطیسی دیراک را با یک میدان کولن و میدان آهارانوف بوهم در نظر می‌گیریم، این مسأله را در سه بعد فضایی محاسبه کرده و بستگی ویژه مقدار انرژی را به برخی از پارامترهای پتانسیل و برخی دیگر از پارامترهای موجود در مسأله توصیف می‌کنیم. در نهایت در فصل ششم معادله دیراک ۱+۳ بعدی را با جفت شدگی غیرکمینه

[۱] Henri poincare

پتانسیل همسانگرد خطی شعاعی در حضور پتانسیل الکترومغناطیسی در نظر گرفته، این مسئله را با میدان تک قطبی مغناطیسی آهارانوف بوهم بررسی می‌کنیم و خواص ترمودینامیکی این سیستم را محاسبه می‌نماییم.

کلمات کلیدی: تک قطبی‌مغناطیسی، سیستم کالوزا - کلاین، سیستم میسز - کپلر، معادله دیراک، معادله کلاین گوردون .

لیست مقالات مستخرج از پایانامه:

- The Magnetic Monopole Field and the Relativistic Hydrogen Atom, Submitted
- Relativistic Motion of a Charged Spin−Zero Dyon in the Presence of Aharonov-Bohm Magnetic Field and Hulthén Potential, Submitted
- Thermodynamic Properties of the Three-dimensional Dirac Oscillator with Aharonov-Bohm Field and Magnetic Monopole Potential, Submitted

فهرست مطالب

فصل اول: تک قطبی مغناطیسی ۱

۱-۱- مقدمه ۲

۱ -۲- خواص اصلی تک قطبی مغناطیسی ۳

۱-۳- تولید تک قطبی مغناطیسی مصنوعی ۷

۱-۴- تک قطبی‌های مغناطیسی در نظریه میدان ۹

فصل دوم: فرم پتانسیل تک قطبی و رابطه آن با معادلات ماکسول ۱۱

۲-۱- مقدمه ۱۲

۲-۲- پتانسیل تک قطبی مغناطیسی ۱۲

۲-۳- تک قطبی در الکترودینامیک کلاسیک ۱۸

۲-۴- معادله دیفرانسیل مربوط به تک قطبی مغناطیسی ۲۰

۲-۵- جدیدترین دستاوردهای فیزیک ۲۴

فصل سوم: سیستم‌های کالوزا کلاین و میسز کپلر..... ۲۵

۳-۱- مقدمه ۲۶

۳-۲- تک قطبی کالوزا – کلاین ۲۸

۳-۳- تحلیل سیستم تعمیم یافته میسز-کپلر ۴۱

فصل چهارم: حرکت نسبیتی یک دیون اسپین صفر باردار در حضورمیدان آهارانوف بوهم و پتانسیل هولسن ۵۱

۴-۱- بررسی دیون‌ها در حالت نسبیتی ۵۲

فصل پنجم: میدان تک قطبی مغناطیسی و اتم هیدروژن نسبیتی ۶۱

۵-۱- مقدمه ۶۲

۵-۲- معادله دیراک در حضور پتانسیل تک قطبی مغناطیسی و پتانسیل آهارانوف بوهم ۶۲

فصل ششم: خواص ترمودینامیکی از نوسانگردیراک سه بعدی با میدان آهارانوف – بوهم و پتانسیل تک قطبی مغناطیسی ۷۳

۶-۱- مقدمه ۷۴

۶-۲- خواص ترمودینامیکی ۸۰

نتایج ۸۸

مراجع ۸۹

فهرست اشکال

شکل ۲-۱- نمایش بار مغناطیسی ۱۵

فصل اول

معرفی تک قطبی مغناطیسی

۱-۱- مقدمه

منظور از تک قطبی مغناطیسی، ذراتی مشابه ذرات بـاردار الکتریکی است. همانگونه که ذرات باردار الکتریکی، منبع میدان الکتریکی هستند، تک قطبی مغناطیسی نیز منبع میدان مغناطیسی می‌باشند. حدود ۸۰ سال پیش یکی از بنیان‌گذاران فیزیک کوانتومی به نام دیراک[۲]، ساختار مکانیک کوانتومی را کشف کرد که در آن امکان وجود تک قطبی مغناطیسی وجود داشت[۱]. در سال ۱۹۳۱ دیراک نشان داد که در گسترهٔ مکانیک کوانتومی بارهای مغناطیسی کوانتیده می‌توانند وجود داشته باشند [۲]. دیراک تک قطبی مغناطیسی را به منظور توضیح بارالکتریکی کوانتیده معرفی کرد، سپس رابطه بین بار الکتریکی بنیادی e و بار مغناطیسی بنیادی g را به صورت زیر بیان کرد.

$$g=\frac{n\hbar c}{۲e}=n\,g_D\ ,\ n=۱,۲,... \qquad (۱-۱)$$

که در رابطه فوق (n) عدد صحیحی است و $g_D=\frac{\hbar c}{۲e^۲}e=\frac{۱۳۷}{۲}e$ را واحد بار دیراک نامید.

سرانجام در سال ۱۹۷۴، هوفت[۳] و الکساندر پولیاکف[۴] نشان دادند که تک‌قطبی‌های مغناطیسی در نظریه وحدت[۵] پیش‌بینی می‌شوند. هوفت بیان داشت که در همهٔ نظریه‌های پیمانه‌ای که گروه $U(۱)$ زیرگروهی از گروهی بزرگتر مانند $SU(۲)$ یا $SU(۳)$ می‌باشد، تک قطبی‌های مغناطیسی می‌توانند پدیدار شوند. جرم آنها نیز باید از مرتبهٔ $۱۳۷M_W$ باشد که M_W جرم نوعی بوزون برداری از مرتبه $\frac{G\,eV}{c^۲}$ است [۳,۴]. در نظریه‌های پیشروتر مانند نظریهٔ ابرریسمان[۶] که در بردارندهٔ گرانش نیز می‌باشد تک -

---

[۲] Dirac
[۳] Hooft
[۴] A.M.Polyakov
[۵] Grand unified theories
[۶] Super string

قطبی‌مغناطیسی نیز وجود دارد [۵]. بنابراین از دیدگاه نظری، تک‌قطبی مغناطیسی باید وجود داشته باشد. هرچند هنوز یافت نشده‌اند ولی همچنان جستجو در گسترهٔ فیزیک ذرات و کیهان‌شناسی پی‌گرفته می‌شود.

۱-۲- خواص اصلی تک قطبی مغناطیسی

خواص اصلی تک قطبی‌های مغناطیسی از رابطه دیراک (۱-۱) به دست می‌آید. رابطه دیراک از چرخش الکترون در اطراف تک قطبی مغناطیسی توسط معادله نسبیتی دیراک از این الکترون شرح داده شده است. این نتیجه به همراه شرایط کوانتیده بار مغناطیسی و الکتریکی دیراک به صورت زیراست

$$\frac{e\,q}{۴\pi\,\varepsilon_{۰}c^{۲}}=\frac{n\,\hbar}{۲} \qquad (۲-۱)$$

اندیس $(n=۱,۲,...)$ این مقادیر را به خود می‌گیرد. در اینجا e نمایش بار الکتریکی الکترون، q بار مغناطیسی تک قطبی مغناطیسی و c سرعت نور و $\varepsilon_{۰}$ ضریب گذردهی الکتریکی خلأ در ارتباط با ضریب گذردهی مغناطیسی خلأ به صورت $\left(\mu_{۰}=\frac{۱}{\varepsilon_{۰}c^{۲}}\right)$ است و $\hbar$ ثابت پلانک می‌باشد، و برای اثبات رابطه (۱-۲) به صورت

زیر عمل می‌کنیم. سیستمی متشکل از یک تک قطبی، یک الکترون و مؤلفه‌ی شعاعی تکانه زاویه‌ای کوانتیده کل را در نظر می‌گیریم و با استفاده از نظریه‌ی (بوهر زومرفیلد[۷]) رابطه (۱-۲) را به سادگی به دست

می‌آوریم[۶]. تک قطبی مغناطیسی را به عنوان "هسته" در نظر می‌گیریم و الکترون اطراف تک قطبی مغناطیسی در حال چرخش است.

[۷] Bohr sommerfeld

فرض کنیم تک قطبی مغناطیسی با بارمغناطیسی q متناظر با بارالکتریکی $\frac{q}{c}$ است. با این فرض که این مجموعه تحت برهمکنش الکترواستاتیک و مغناطیسی قرار می‌گیرد و الکترون دوار پایدار با سرعت v در فاصله R در اطراف تک قطبی مغناطیسی در حال چرخش است. بنابراین شرایط زیر از یک مدار دایره‌ای برآورد می‌شود:

$$F_e = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{e\frac{q}{c}}{R^2} \ , F_m = \frac{\mu_0}{4\pi}\frac{eqv}{R^2} \rightarrow$$

$$F_e + F_m = \frac{mv^2}{R} \rightarrow \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{e\frac{q}{c}}{R^2} + \frac{\mu_0}{4\pi}\frac{eqv}{R^2} = \frac{mv^2}{R}. \qquad (3-1)$$

جمله دوم در سمت چپ رابطه (۱-۳) نشانگر نیروی مغناطیسی کلاسیکی جاذبه بین تک قطبی و سیستم کوچک، جمله اول در سمت چپ رابطه (۱-۳) نشاندهنده نیروی الکترواستاتیک جاذبه بین تک قطبی و سیستم کوچک بوده در حالی که سمت راست رابطه (۱-۳) نشانگر دامنه این نیروی مرکزگرا[۸] برای جرم الکترون m است. فرض کنید شدت نیروی الکترواستاتیک و نیروی مغناطیس با هم برابر باشد، در این صورت:

$$\frac{\mu_0}{4\pi}\frac{eqv}{R^2} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{e\frac{q}{c}}{R^2} \qquad (4-1)$$

سپس معادله (۱-۲) به صورت زیر به دست می‌آید:

[۸] Centrifugal force

$$\frac{\mu_0}{4\pi}\frac{eqv}{R^2}+\frac{\mu_0}{4\pi}\frac{eqv}{R^2}=\frac{mv^2}{R}\rightarrow\frac{2\mu_0}{4\pi}\frac{eqv}{R^2}=\frac{mv^2}{R} \qquad (5-1)$$

$$\frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{e\frac{q}{c}}{R^2}+\frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{e\frac{q}{c}}{R^2}=\frac{mvc}{R}\rightarrow\frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{eq}{c^2}=\frac{mvR}{2} \qquad (6-1)$$

تکانه کوانتیده مداری از سیستم ، به خاطر چرخش الکترون در اطراف تک قطبی مغناطیسی به دست می‌آید :

$$\left|\vec{L}\right|=\left|\vec{r}\times\vec{P}\right|=r\,m\,v=n\,\hbar\ ,\ mvR=n\,\hbar \qquad (7-1)$$

که $n>0$ است، و $\hbar$ نمایش ثابت پلانک است. بنابراین رابطه (۱-۶) به معادله زیر تبدیل می‌شود:

$$\frac{eq}{4\pi\varepsilon_0 c^2}=\frac{n\hbar}{2} \qquad (8-1)$$

$$\mu_0=\frac{1}{\varepsilon_0 c^2}$$

رابطه (۱-۸) به شکل هم ارزی دقیق از رابطه کوانتیدگی بار الکتریکی و مغناطیسی، به رابطه (۱-۲) تبدیل می‌شود، این شرایط از هم ارزی بین نیروی الکترواستاتیک و مغناطیس از رابطه (۱-۴) به دست می‌آید.

اگر

$$v=c \qquad (9-1)$$

به ازای $(n>1)$ برآورد می‌شود که الکترون از هر مدار دایره‌ای با سرعت نور انتشارمی‌یابد. همچنین با اعمال روابطه (۱-۹) در (۱-۷) به رابطه زیر می‌رسیم:

$$m v R = n \hbar \rightarrow R = \frac{n \hbar}{m v} = \frac{n \hbar}{m c} = n \lambda_{cred} \qquad (۱۰-۱)$$

$\lambda_{cred} = \frac{\hbar}{m c}$ نمایش طول موج کامپتون از این الکترون است.

۱-۱-۲- ثابت جفت شدگی

در قیاس با ثابت ساختار ریز الکتریکی $\alpha = \frac{e^۲}{\hbar c} \cong \frac{۱}{۱۳۷}$ ، ثابت جفت شدگی مغناطیسی بدون بعد است که عبارت از $\alpha_g = \frac{g_D^۲}{\hbar c}$ است .

۱-۲-۲- انرژی تک قطبی مغناطیسی

انرژی W در میدان مغناطیسی از رابطه $\left(W = n g_D B L \cong ۱.۸\times ۱۰^{۱۱} GeV\right)$ به دست می‌آید. در یک طول بسیار بزرگ $B \cong ۳\mu G$, $L = ۱ Kpc$ این انرژی توسط یک تک قطبی به دست می‌آید. Kpc یکی از واحدهای بیان فواصل نجومی که برابر با ۳۲۵۹ سال نوری و ۲۰۶۰۰۰ واحد نجومی است .پارسک[۹] در واقع فاصله‌ای است که فاصله متوسط زمین تا خورشید یعنی یک واحد نجومی به اندازه یک ثانیه قوسی دیده می‌شود. کیلوپارسک (kpc) برابر با ۱۰۰۰ پارسک است. برای نمونه گفته می‌شود فاصله خورشید تا مرکز کهکشان راه شیری ۸ کیلو پارسک است [۷].

۱-۳-۲- جرم تک قطبی مغناطیسی

از جرم کلاسیکی تک قطبی‌های مغناطیسی دیراک پیش بینی واقعی وجود ندارد و برآورد آن سخت است. فرض کنید شعاع تک قطبی کلاسیک مساوی شعاع الکترون کلاسیکی باشد:

[۹] Parallax - Second

$$r_M = \frac{g^2}{m_M c^2} = r_e = \frac{e^2}{m_e c^2} \rightarrow m_M = \frac{g^2 m_e}{e^2} \cong n\,۴۷۰۰ m_e \cong n\,۲.۴ \frac{GeV}{c^2} \qquad (۱۱-۱)$$

به این ترتیب نتیجه می‌گیریم جرم تک قطبی‌ها باید نسبتاً بزرگ باشد. پس جستجو برای تک قطبی

" کلاسیک دیراک " در شتابدهنده‌هایی با انرژی بالا با استفاده از انواع روش‌های مستقیم و غیرمستقیم صورت می‌گیرد [۸].

۱-۳- تولید تک قطبی مغناطیسی مصنوعی

تقریباً ۸۵ سال پس از آنکه دیراک امکان وجود تک قطبی مغناطیسی را پیش‌بینی کرد، همکاری‌های بین المللی به رهبری دانشگاه آمهرست[۱۰] توسط دیوید هال[۱۱] و تحقیقات میکو[۱۲] در دانشگاه آلتو[۱۳] فنلاند تصاویر تک قطبی مغناطیسی مصنوعی را در آزمایشگاه هال ایجاد کردند. انجام پیشگامانه راه برای تشخیص تک قطبی مغناطیسی در طبیعت می‌تواند به اندازه کشف الکترون پراهمیت باشد.

مقاله‌ای درباره‌ی این اثر، با همکاری هال و میکو، عضو محقق فوق دکتری در دانشگاه آمهرست و میشل ری[۱۴]، کندل [۱۵] و دانشجوی کارشناسی ارشد فنلاندی روکوکسکی[۱۶] در مجله نیچر[۱۷] منتشر شد [۹]. محققان دانشگاه‌های آلتو و کالج آمهرست فنلاند موفق به ساخت اولین تک قطبی مغناطیسی مصنوعی در آزمایشگاه شدند. به طور ساده می‌توان گفت که محققان آهنربایی ساخته‌اند که فقط دارای قطب

---

۱۰ Amherst
۱۱ David. S. Hall
۱۲ Mikko Mottonen
۱۳ Aalto
۱۴ Michael Ray
۱۵ Saugat Kandel
۱۶ Emmi Ruokokski
۱۷ Nature

شمال یا قطب جنوب است؛ این در حالی است که همیشه این باور علمی وجود داشت که در آهنربا هر دو قطب شمال و جنوب باید وجود داشته باشند.

پروژه عظیم دیگری در این راستا توسط شتاب‌دهنده بزرگ هادرونی[۱۸] چند میلیارد یورویی در سرن انجام شد ولی هیچ ذره‌ای با این خاصیت یافت نشد. مدیر این پروژه تحقیقاتی بیان می‌کند که ساخت این تک قطبی مغناطیسی، با توجه به بررسی تک قطبی‌های الکتریکی موجود در طبیعت ساخته شده، افتخار بسیار بزرگی است، وی در ادامه بیان کرد که ساخت تک قطبی مغناطیسی شروع پیشرفت‌های بزرگی در زمینه کوانتوم است.

۱-۱-۳- انواع تک قطبی

تک قطبی وو یانگ، تک قطبی دیراک؛ تک قطبی BPS [۱۹]، تک قطبی هوفت پولیاکوف[۲۰]، تک قطبی کولن.

۱-۲-۳- مشاهده تک قطبی دیراک در یک میدان مغناطیسی مصنوعی:

تک قطبی مغناطیسی در اسپین یخ[۲۱] و سایرسیستم‌ها تأسیس شده است [۱۰,۱۴]. هال با یک رویکرد نوآورانه به بررسی نظریه‌ی دیراک در خصوص ایجاد و شناسایی تک قطبی مغناطیسی پرداخت. تک قطبی‌های مغناطیسی مصنوعی را در یک میدان الکترومغناطیسی مصنوعی توسط چگالش بوز- انیشتین در گاز اتمی که در یک توالی خاص از تغییر میدان مغناطیسی خارجی می‌تواند منجر به ایجاد تک قطبی مصنوعی شود [۱۵,۱۷] .

---

[۱۸] LHC

[۱۹] Bogomol’nyi-Prasad-Sommerfield

[۲۰] thooft polyakove

[۲۱] Spin ices

مدل‌های نظری قدیمی‌تر که پس از انفجار بزرگ توصیف شده است، پیش بینی می‌کرد که تک قطبی مغناطیسی باید بسیار در دسترس باشند اما مدل‌هایی برای انبساط جهان که بعداً توسعه داده شد نادر بودن شدید این ذرات را توضیح می‌دهد.

۱-۴- تک قطبی‌های مغناطیسی در نظریه میدان

چشم‌انداز در فیزیک نظری در اواسط قرن بیستم به سرعت در حال تغییر بود. در سال ۱۹۶۰ روشن بود که مکانیک کوانتومی تمام فرآیندهای مربوط به ذرات بنیادی را درک می‌کند. در نتیجه میدان کوانتومی ابزار اساسی در فیزیک ذرات بنیادی است. به طورخاص نیروهای هسته‌ای ضعیف و قوی در بردارنده‌ی توصیفی توسط یک تعمیم الکترومغناطیسی به نام " نظریه سنج" یا " نظریه‌ی یانگ میلز" است. در سال۱۹۷۰ الکساندر پولیاکوف در روسیه و جرارد هوفت در هلند خواص نظریه‌ی یانگ میلز را مطالعه کردند.

تک قطبی هوفت پولیاکوف بعدها در نظریه وحدت قرار می‌گیرند. مطابق با این نظریه، جهان در یک فاز متقارن است که در آن الکترومغناطیس قرار دارد. سپس جهان سرد (منبسط) شده و نیروی الکترومغناطیس در یک میدان یانگ میلز پیچیده ظهور می‌کند هنگامی که این اتفاق می‌افتاد تک قطبی‌های مغناطیسی می‌توانند تشکیل شوند.

در بسیاری از نظریه‌ها تعداد این تک قطبی‌های ایجاد شده زمانی که جهان منبسط شد کمیاب می‌شوند. از آنجا که آن‌ها در حال حاضر بیش از توزیع کل جهان هستند و چگالی آن‌ها بیش ازحد کوچک است برای اینکه آن‌ها را شناسایی کنیم باید خوش شانس باشیم. تاکنون تلاش‌های زیادی برای تشخیص تک قطبی مغناطیسی انجام شده اما تا به امروز تک قطبی مغناطیسی یافت نشده است. یکی دیگر از