بسم الله الرحمن الرحيم

دانشکده فیزیک

گروه فیزیک اتمی و مولکولی

پایان نامه:

برای دریافت درجه کارشناسی ارشد در رشته‌ی فیزیک پلاسما

عنوان:

مطالعه شتابدهی ذرات باردار در اثر پدیده باز اتصالی مغناطیسی در محیط پلاسمای برخوردی

اساتید راهنما:

دکتر محمد علی محمدی

دکتر محبوب حسین پور

پژوهشگر:

مهدیه مهدیزاده

شهریور ۱۳۹۳

این پایان نامه را

ضمن تشکر و سپاس بیکران و در کمال افتخار و امتنان

تقدیم می نمایم به

خانواده عزیزم

به خاطر تمام تلاشهای محبت آمیزی که در دوران

مختلف زندگی ام انجام داده اند.

تقدیر و تشکر

خدای را سپاس می گویم که من را توفیق داد تا بتوانم ما حصل آنچه را که به لطفش در محضر اساتید بزرگوار آموختم در این مجموعه به رشته تحریر در آورم. در اینجا وظیفه خود می دانم از زحمات فراوان و راهنماییهای ارزنده استاد گرانقدر جناب آقای دکتر محمد علی محمدی و جناب آقای دکتر محبوب حسین پور کمال تشکر را بنمایم.

نام خانوادگی: مهدیزاده نام:مهدیه

عنوان پایان نامه: مطالعه شتابدهی ذرات باردار در اثر پدیده باز اتصالی مغناطیسی در محیط پلاسمای برخوردی

اساتید راهنما: دکتر محمد علی محمدی، دکتر محبوب حسین پور

مقطع تحصیلی: کارشناسی ارشد رشته : فیزیک گرایش : پلاسما دانشگاه : تبریز

دانشکده : فیزیک تاریخ فارغ‌التحصیلی: ۱۳۹۳ تعداد صفحات: ۱۲۰

کلید واژه:باز اتصالی مغناطیسی- مغناطوهیدرودینامیک - شتابدهی ذرات باردار

چکیده

باز اتصالی مغناطیسی که در پلاسماهای با رسانندگی الکتریکی بالا رخ می‌دهد، باعث تغییر ساختار میدان مغناطیسی و انتقال انرژی مغناطیسی به انرژی جنبشی،گرمایی و شتابدهی ذرات باردار می‌شود. این فرایند نقش مهمی در تغییر دینامیک پلاسماهای آزمایشگاهی، مانند پلاسمای همجوشی توکامک و پلاسماهای فضایی، مانند کرونای خورشید، بازی می‌کند. میدان‌های الکتریکی و مغناطیسی تولید شده در بازاتصالی مغناطیسی باعث شتاب گرفتن و سوق یافتن ذرات باردار می‌شوند. لذا ذرات بر حسب مکان و انرژی اولیه‌شان یا می‌توانند شتابدار شده و از ناحیه بازاتصالی با انرژی بالایی خارج شوند و یا در میدان-های مغناطیسی محصور شوند. در این مطالعه، نحوه‌ی شتابدار شدن و گیر افتادگی ذرات باردار(الکترون و پروتون) را با فرض انرژی‌های اولیه و مکان‌های اولیه متفاوت بررسی می‌کنیم. محاسبات عددی ما نشان می‌دهند که ساختار اسپاینی بازاتصالی مغناطیسی سه بعدی، می‌تواند به عنوان یک شتابگر بالقوه برای شتاب دادن ذرات باردار در نظر گرفته شود. در چنین شرایطی پروتون می‌تواند به انرژی نهایی در حدود چندین مگا الکترون ولت (نسبیتی) رسیده و در مدت زمان کوتاه (چندین میلی ثانیه) شتاب بگیرد. مسیر و انرژی نهایی پروتون به شدت تحت تاثیر مکان پرتاپ (مکان اولیه) می‌باشد. گذشته از این الکترون برای رسیدن به انرژی‌هایی در حدود مگا الکترون ولت، نیاز به مدت زمان بیشتری دارد.

مقدمه.....۱

۱- بررسی منابع و پیشینه تحقیق

۱-۱تعریف، تاریخچه و اهمیت باز اتصالی مغناطیسی.....۵

۱-۲ باز اتصالی مغناطیسی در واهلش دندان ارهای پلاسمای توکامک.....۱۰

۱-۳ کاربردهای باز اتصالی مغناطیسی در گرمایش تاج خورشیدی.....۱۱

۱-۳-۱ نقاط روشن تاج خورشیدی.....۱۲

۱-۳-۲ نانو شراره ها و گرمایش تاج خورشیدی.....۱۴

۱-۴مدلهای باز اتصالی مغناطیسی پایدار با زمان.....۱۵

۱-۴-۱مدل سوویت – پارکر.....۱۶

۱-۴-۲مدل پتچک.....۱۸

۱-۵ ناپایداری گسستگی مقاومتی.....۲۳

۱-۵-۱لایه جریان پلاسما.....۲۳

۱-۵-۲جزایر مغناطیسی.....۲۷

۱-۶ بازاتصالی سه بعدی..... ۲۹

۱-۶-۱مقایسه مشخصات بازاتصالی سه بعدی و دو بعدی.....۳۰

۱-۶-۲مشخصات بازاتصالی سه بعدی.....۳۵

۱-۶-۳ بازاتصالی‌های سه بعدی در حضور نقطه‌ی صفر.....۳۷

۱-۶-۳-۱بازاتصالی چرخشی اسپاینی و فن.....۳۸

۱-۶-۳-۲ بازاتصالی اسپاین-فن.....۴۱

۱-۷ اهمیت بازاتصالی اسپاینی در شراره های خورشیدی.....۴۲

۲- مبانی و روشها

۲-۱ مقدمه..... ۴۵
۲-۲حرکت خطوط میدان..... ۴۶
۲-۲-۱حرکت خطوط میدان مغناطیسی درمدلهای دو بعدی..... ۴۷
۲-۲-۲حرکت خطوط میدان مغناطیسی درمدلهای سه بعدی..... ۴۹
۲-۳موقعیت خطوط میدان در مدلهای سه بعدی..... ۵۰
۲-۴ساختار میدان در اطراف نقطه ی صفر..... ۵۴
۲-۴-۱مدل اسپاینی..... ۵۴
۲-۵معادلات..... ۶۱
۲-۵-۱ساختار میدان و معادله‌ی مسیر..... ۶۱
۲-۵-۲میدانهای ضعیف و قوی..... ۶۳
۲-۵-۳پایداری انرژی..... ۶۴
۲-۵-۴تکینگی در اسپاین..... ۶۵
۲-۶روش محاسبات عددی..... ۶۵
۲-۶-۱عملکرد کد..... ۶۵
۲-۶-۲روش حل..... ۶۶

۳ - نتایج و بحث

۳-۱مقدمه..... ۷۱
۳-۲تاثیر شرایط اولیه بر شتابگیری پروتون..... ۷۱

۳-۲-۱تاثیر فاصله اولیه ذره از نقطه‌ی صفر بر روی شتابگیری ذره.....۷۱

۳-۲-۲تاثیر تغییر زاویه سمتی بر روی شتابگیری ذره.....۸۴

۳-۲-۳تاثیر پرتاب ذره در صفحه‌ای با میدان الکتریکی صفر.....۸۸

۳-۲-۴تاثیر زاویه ی پیچش اولیه بر شتابگیری ذره.....۹۰

۳-۲-۵بررسی تاثیر تغییر شدت میدان الکتریکی (با میدان مغناطیسی ثابت) بر شتابگیری ذره.....۹۶

۳-۲-۶بررسی تاثیرتغییرات شدت میدان الکتریکی و مغناطیسی(با نسبت ثابت) بر روی شتابگیری ذره.....۱۰۰

۳-۲-۷بررسی تاثیر انرژی اولیه ذره بر شتابگیری آن.....۱۰۲

۳-۳تاثیرشرایط اولیه بر شتابگیری الکترون.....۱۰۵

۳-۳-۱تاثیر فاصله اولیه ذره از نقطه صفر بر شتابگیری ذره.....۱۰۶

۳-۳-۲تاثیر تغییر زاویه سمتی بر شتابگیری ذره.....۱۰۸

۳-۳-۳بررسی تاثیر انرژی اولیه ذره بر شتابگیری آن.....۱۰۹

۳-۴نتیجه‌گیری.....۱۱۰

۳-۵پیشنهادات.....۱۱۲

۴- منابع.....۱۱۵

شکل ۱-۱: (الف) نمایش نموداری تغییرات نمایه q و T_e در طی واپاشی دندان اره ای در یک پلاسمای توکامک. (ب) توصیف مدل کادومتسف دو بعدی در یک صفحه قطع چنبره ای[۲۹]. ۱۱

شکل ۱-۲: مدل شار همگرا: (الف) و (ب) قطبها متصل نیستند، (ج) و (د) باز اتصالی مغناطیسی، یک نقطه روشن ایجاد میکند،(ه) و (ی) شکلهای باز اتصالی فوتوسفری که ویژگیهای مغناطیسی را حذف میکنند[۵]..... ۱۳

شکل۱-۳: نمودار هندسی میدان مغناطیسی در مدل باز اتصالی مغناطیسی سوویت- پارکر. ۱۸

شکل۱-۴: نمودار هندسی میدان مغناطیسی برای مدل باز اتصالی مغناطیسی سریع پتچک. ۲۲

شکل۱-۵: تغییرات میدان مغناطیسی حالت تعادل برحسب x ۲۴

شکل۱-۶: خطوط میدان مغناطیسی برای حالت تعادل لایه جریان پلاسما. یک میدان تقریباً یکنواخت قوی B_z نیز وجود دارد. ۲۵

شکل۱-۷: پیکربندی خطوط میدان مغناطیسی اختلالی جزایر مغناطیسی با نصف پهنای w که توسط ناپایداری گسستگی مقاومتی ایجاد شده است. نمونه با دوره $2\pi/k$ در جهت y تکرار شده است. ۲۸

شکل۱-۸:مقایسه‌ی مدلهای دو بعدی و سه بعدی بازاتصالی مغناطیسی[۵۴و۵۵]..... ۳۱

شکل۱-۹:نمایش سه بعدی مدل بازاتصالی دو بعدی در حضر میدان $B = (y; k^2x; 0)$ با $k=1$ ، استوانه‌ی خاکستری ناحیه‌ی پخش را نشان میدهد[۳] ۳۳

شکل ۱-۱۰: نمایش سه بعدی مدل بازاتصالی سه بعدی در حضور میدان $B = (y; k^2x; 1)$ با $k=1.2$ کره‌ی خاکستری نمایانگر ناحیه‌ی پخش می‌باشد[۳] ۳۴

شکل ۱-۱۱:ساختار میدان مغناطیسی در حضور نقطه‌ی صفر مغناطیسی مثبت[۳] ۳۶

شکل ۱-۱۲:بازاتصالی ناشی از دو تیوپ جریان در حضور میدان$B=(x,y-z,-2z)$ و جریان‌ای در صفحه‌ی فن با ناحیه‌ی پخش استوانه‌ای[۳]..... ۳۸

شکل۱-۱۳:نمایش مدل چرخشی اسپاینی در حضور نقطه‌ی صفر[۳]..... ۳۹

شکل۱-۱۴: نمایش مدل چرخشی صفحه فن در حضور نقطه‌ی صفر[۳] ۴۰

شکل۱-۱۵: نمایش مدل اسپاین-فن در حضور نقطه‌ی صفر[۳] ۴۲

شکل ۱-۱۶:نمایش خطوط میدان در سطح خورشید[۷۲]..... ۴۳

شکل ۱-۱۷:ساختار خطوط میدان ضعیف در سطح خورشید[۷۲]..... ۴۳

شکل ۱-۱۸:جابه‌جایی اسپاین داخلی و خارجی(ناحیه‌ی زرد رنگ چگالی بالایی از جریان الکتریکی که در صفحه‌ی فن گسترش یافته را نشان میدهد)[۷۲] ۴۴

شکل ۲-۱:خطوط میدان و جریان در مدل دو بعدی[۶]..... ۴۸

شکل ۲-۲:خطوط میدان اطراف نقطه‌ی صفر برای حالات (الف) $0 < b < 1$ و (ب) $b=1$ و (ج) $b > 1$ [۶] ۵۱

شکل ۲-۳:منطقه‌ی بازاتصالی مشخص کننده‌ی نواحی ورودی و خروجی جریان پلاسما[۷۴] ... ۵۶

شکل ۲-۴:حرکت تیوپ ها و سطوح جریان در بازاتصالی مدل اسپاینی[۶]..... ۵۸

شکل ۲-۵: نمایش ساختار خطوط میدان مغناطیسی اطراف نقطه‌ی صفر(تصویر سمت راست در صفحه‌ی x-y و تصویر سمت چپ در صفحه‌ی y-z) ۶۲

شکل ۳-۱: مسیر ذره با مشخصات شماره یک جدول ۳-۱در صفحه‌ی x-y ،خطوط آبی نیز نشانگر تصویر خطوط میدان مغناطیسی در این صفحه می‌باشند. ۷۴

شکل ۳-۲: تغییرات زمانی زاویه‌ی پیچش ذره با مشخصات شماره یک جدول ۳-۱..... ۷۴

شکل ۳-۳: تغییرات زمانی انرژی جنبشی ذره با مشخصات شماره یک جدول ۳-۱ ..... ۷۵

شکل ۳-۴: مسیر ذره با مشخصات شماره یک جدول ۳-۱در صفحه‌ی x-z ،خطوط آبی نیز نشانگر تصویر خطوط میدان مغناطیسی در این صفحه میباشند..... ۷۵

شکل ۳-۵: تغییرات زمانی گشتاور مغناطیسی ذره با مشخصات شماره یک جدول ۳-۱..... ۷۶

شکل ۳-۶: شکل سمت راست نشانگر مسیر ذره با مشخصات شماره دو جدول ۳-۱، در صفحه‌ی x-y و شکل سمت چپ در صفحه‌ی y-z می‌باشد ۷۷
شکل ۳-۷: تغییرات زمانی زاویه‌ی پیچش ذره با مشخصات شماره دو جدول ۳-۱ ..... ۷۷
شکل ۳-۸: تغییرات زمانی انرژی جنبشی ذره با مشخصات شماره دو جدول ۳-۱..... ۷۸
شکل ۳-۹: تغییرات زمانی گشتاور مغناطیسی ذره با مشخصات شماره دو جدول ۳-۱ ..... ۷۸
شکل ۳-۱۰: شکل سمت راست نشانگر مسیر ذره با مشخصات شماره سه جدول ۳-۱، در صفحه‌ی x-y و شکل سمت چپ در صفحه‌ی y-z میباشد..... ۷۹
شکل ۳-۱۱: تغییرات زمانی زاویه‌ی پیچش ذره با مشخصات شماره سه جدول ۳-۱ ..... ۸۰
شکل ۳-۱۲: تغییرات زمانی انرژی جنبشی ذره با مشخصات شماره سه جدول ۳-۱..... ۸۰
شکل ۳-۱۳: شکل سمت راست نشانگر مسیر ذره با مشخصات شماره چهار جدول ۳-۱، در صفحه‌ی x-y و شکل سمت چپ در صفحه‌ی y-z میباشد ۸۱
شکل ۳-۱۴: تغییرات زمانی زاویه‌ی پیچش ذره با مشخصات شماره چهار جدول ۳-۱ ..... ۸۱
شکل ۳-۱۵: تغییرات زمانی گشتاور مغناطیسی ذره با مشخصات شماره دو تا هفت جدول ۳-۱ ۸۲
شکل ۳-۱۶:تغییرات بیشینه‌ی انرژی جنبشی ذره نسبت به فاصله‌ی اولیه‌اش از نقطه‌ی صفر ۸۳
شکل ۳-۱۷: تغییرات زمانی انرژی جنبشی ذره با مشخصات شماره یک تا پنج جدول ۳-۲ ..... ۸۵
شکل ۳-۱۸: مسیر ذره با مشخصات شماره یک تا پنج جدول ۳-۲ در صفحه‌ی x-y..... ۸۶
شکل ۳-۱۹: مسیر سه بعدی ذره با مشخصات شماره یک تا پنج جدول ۳-۲..... ۸۶
شکل ۳-۲۰: تغییرات زمانی لگاریتم گشتاور مغناطیسی ذره با مشخصات شماره یک تا پنج جدول ۳-۲..... ۸۷
شکل ۳-۲۱:تغییرات بیشینهی انرژی جنبشی ذره نسبت به زاویه‌ی سمتی صفحه‌ی ورودی‌اش . ۸۷

شکل ۳-۲۲: شکل سمت راست نشانگر مسیر ذره با مشخصات شماره یک تا هفت جـدول ۳-۳، در صفحه‌ی x-y و شکل سمت چپ در صفحه‌ی x-z می‌باشد. ۸۹

شکل ۳-۲۳: تغییرات زمانی انرژی جنبشی ذره با مشخصات شماره یک تا هفت جدول ۳-۳ .... ۹۰

شکل ۳-۲۴: شکل سمت راست نشانگر مسیر ذره با مشخصات شماره یک جدول ۳-۴، در صفحه‌ی x-y و شکل سمت چپ در صفحه‌ی y-z میباشد. ۹۲

شکل ۳-۲۵: تغییرات زمانی انرژی جنبشی ذره با مشخصات شماره یک جدول ۳-۴ ..... ۹۲

شکل ۳-۲۶: شکل سمت راست نشانگر مسیر ذره با مشخصات شماره چهار جدول ۳-۴، در صفحه‌ی x-y و شکل سمت چپ در صفحه‌ی y-z میباشد. ۹۳

شکل ۳-۲۷: تغییرات زمانی گشتاور مغناطیسی ذره با مشخصات شماره چهار جدول ۳-۴ ..... ۹۴

شکل ۳-۲۸: مسیر ذره با مشخصات شماره یک تا پنج جدول ۳-۴، در صفحه‌ی x-y..... ۹۵

شکل ۳-۲۹: تغییرات بیشینه انرژی جنبشی ذره نسبت به زاویه‌ی پیچش اولیه‌ی آن ۹۵

شکل ۳-۳۰:تغییرات زمانی انرژی جنبشی ذره با مشخصات یک تا شش جدول ۳-۶ ..... ۹۸

شکل ۳-۳۱: تغییرات بیشینه‌ی انرژی جنبشی ذره نسبت به شدت میدان الکتریکی اولیه‌اش.... ۹۹

شکل ۳-۳۲: تغییرات زمانی انرژی جنبشی ذره با مشخصات یک تا پنج جدول ۳-۸ ..... ۱۰۱

شکل ۳-۳۳:تغییرات بیشینه انرژی جنبشی ذره نسبت به شدت میدان الکتریکی (با حفـظ نسـبت ثابت میدانها) ۱۰۲

شکل ۳-۳۴: تغییرات زمانی فاصله‌ی ذره با مشخصات یک تا چهار جـدول ۳-۱۰ از نقطـه‌ی صـفر ۱۰۴

شکل ۳-۳۵: تغییرات زمانی لگاریتم انرژی جنبشی ذره با مشخصات یـک تـا چهـار جـدول ۳-۱۰ ..... ۱۰۵

شکل ۳-۳۶:تغییرات بیشینه‌ی انرژی جنبشی ذره نسبت به انرژی جنبشی اولیه‌اش..... ۱۰۵

شکل ۳-۳۷: تغییرات زمانی انرژی جنبشی ذره با مشخصات یک تا سه جدول ۳-۱۲ ..... ۱۰۷

شکل ۳-۳۸: تغییرات زمانی انرژی جنبشی ذره با مشخصات یک تا پنج جدول ۳-۱۳ ..... ۱۰۸

شکل ۳-۳۹: تغییرات زمانی فاصله‌ی ذره با مشخصات یک تا چهار جدول ۳-۱۴ از نقطه‌ی صفر ۱۰۹

جدول ۲-۱:مقادیر مربوط به کمیات ثابت بکار رفته در کد..... ۶۸

جدول ۲-۲:کمیات متغییر بکار رفته در کد..... ۶۹

جدول ۲-۳:کمیات بدون بعد شده..... ۷۰

جدول ۳-۱:داده‌های مربوط به تغییرات فاصله پرتاب از نقطه‌ی صفر در صفحه‌یz-y..... ۷۲

جدول ۳-۲:داده‌های مربوط به تغییرات زاویه‌ی سمتی صفحه‌ی ورودی ذره..... ۸۴

جدول ۳-۳:داده‌های مربوط به تغییرات فاصله پرتاب از نقطه‌ی صفر در صفحه‌یx-z..... ۸۸

جدول ۳-۴:داده‌های مربوط به تغییرات زاویه‌ی پیچش..... ۹۱

جدول ۳-۵:شرایط اولیه‌ی ذره..... ۹۶

جدول ۳-۶:داده‌های مربوط به تغییرات شدت میدان الکتریکی..... ۹۷

جدول ۳-۷:شرایط اولیه‌ی ذره..... ۱۰۰

جدول ۳-۸:داده‌های مربوط به تغییرات شدت میدان الکتریکی و مغناطیسی اولیه با نسبت ثابت..... ۱۰۱

جدول ۳-۹:شرایط اولیه ذره..... ۱۰۳

جدول ۳-۱۰:داده‌های مربوط به تغییرات انرژی اولیه ذره..... ۱۰۳

جدول ۳-۱۱:شرایط اولیه‌ی ذره..... ۱۰۶

جدول ۳-۱۲:داده‌های مربوط به تغییرات فاصله پرتاب (الکترون) از نقطه‌ی صفر در صفحه‌یz-y..... ۱۰۶

جدول ۳-۱۳:داده‌های مربوط به تغییرات زاویه‌ی سمتی صفحه‌ی ورودی ذره (الکترون)..... ۱۰۸

جدول ۳-۱۴:داده‌های مربوط به تغییرات انرژی اولیه‌ی ذره (الکترون)..... ۱۰۹

مقدمه

در پلاسماهای با رسانندگی الکتریکی بالا که با مغناطوهیدرودینامیک ایده‌آل توصیف می‌شود، خطوط میدان مغناطیسی در پلاسما منجمد هستند. فرایند متضاد زمانی اتفاق می‌افتد که اثرهای غیر ایده‌آل جایگزیده و پخشی مثل مقاومت، اینرسی ذرات باردار و یا تانسور فشار غیر همسانگرد، به خطوط میدان اجازه دهند تا همدیگر را قطع و دوباره به همدیگرمتصل شوند. به همین خاطر این فرایند، باز اتصالی مغناطیسی[1] نامیده می‌شود. فرایند باز اتصالی مغناطیسی به عنوان یک فرایند مهم که قابلیت تبدیل انرژی مغناطیسی ذخیره شده در سیستم به انرژی گرمایی پلاسما وانرژی جنبشی را دارد بخوبی شناخته شده است، در پی این فرایند تغییر قابل ملاحظه‌ای در ساختار میدان مغناطیسی و دینامیک پلاسما ایجاد می‌شود. این پدیده نقش اساسی در آزاد کردن سریع انرژی، تابش الکترومغناطیسی و پدیده شتاب‌دهی ذرات باردار در پلاسماهای تحقیقاتی همجوشی هسته‌ای و همین‌طور در پلاسماهای فضایی (شراره خورشیدی[2]، مگنتوسفر زمین، ستاره های نوترونی،...) ایفا می‌کند.

شتاب دهی ذرات باردار از طریق انرژی آزاد شده طی فرایند بازاتصالی مغناطیسی یکی از مهم‌ترین مفاهیم در عرصه‌ی اخترفیزیک به خصوص در زمینه‌ی شراره‌های خورشیدی می‌باشد. در واقع به واسطه‌ی رخ داد شراره‌های خورشیدی تعداد زیادی از ذرات باردار شتاب گرفته و به انرژی‌هایی بیشتر از انرژی‌های مربوط به سرعت‌های حرارتی می‌رسند. مشاهدات و نتایج بدست آمده از ماهواره‌ی RHESSI[3] منبع غنی از اطلاعات مربوط به فرایند شتاب‌دهی ذرات باردار می‌باشد. هرچند الکترون و پروتون موجود در شراره‌های خورشیدی به صورت آنی، طی شتاب‌گیری‌اشان به انرژی‌هایی درحدود ۱۰MeV می‌رسند[۱]،

[1] Magnetic reconnection
[2] Solar flare
[3] Ramaty high enetgy spectroscopic imager

اما بر اساس مشاهدات صورت گرفته بخش اعظمی از انرژی انتقال یافته به ذرات باردار (٪۵۰-۱۰) چیزی حدود eV ۱۰۰-۲۰ است[۲]. باوجود اینکه سایر مکانیسم‌ها برای شتاب‌دهی ذرات باردار همچون امواج ضربه و آشوب‌ها محتمل می‌باشند، اما شتاب‌دهی ذرات باردار از طریق میدان‌های الکتریکی ثابت با زمان ناشی از فرایند بازاتصالی مغناطیسی، هنوز هم جزء عمده‌ترین روش‌ها برای انتقال انرژی به ذرات باردار در شراره‌های خورشیدی هستند. نواحی نزدیک به نقطه‌ی صفر[1](جایی که تمام مولفه های میدان مغناطیسی صفر می‌باشند) در بازاتصالی‌های مدل سه بعدی یکی از مهم ترین مناطق برای شتاب دهی ذرات باردار موجود در شراره‌های خورشیدی هستند که ذاتاً نسبت به مدل‌های ساده‌ی دو بعدی، ساختار مغناطیسی پیچیده‌تری دارند[۳-۶]. امروز حضور تعداد زیادی نقطه‌ی صفر سه بعدی در شراره‌های خورشیدی به اثبات رسیده است[۷]. ساختار کلی خطوط میدان مغناطیسی در نزدیکی این نقطه‌های صفر از طریق دو ساختار هندسی متفاوت تعریف می‌شود:

۱)صفحه‌ی فن[2](خطوط پیوسته‌ای از میدان که در حال دور یا نزدیک شدن به نقطه‌ی صفر می‌باشند).

۲)محور اسپاینی[3](خطوط میدان مغناطیسی که در حال نزدیک یا دور شدن از نقطه‌ی صفر می‌باشند)[۶].

فرایند باز اتصالی مغناطیسی می‌تواند به عنوان یک حالت پایدار با زمان یا وابسته به زمان، خود به خودی یا واداشته و همین‌طور برخوردی (مقاومتی) یا بدون برخوردی دسته بندی شود. اگرچه دریافت‌های مهمی از مفهوم و فرایند باز اتصالی مغناطیسی به دنبال مطالعات گسترده آزمایشگاهی، عددی و تحلیلی در نیم قرن گذشته پدیدار گشته، اما هنوز بسیاری از سوالات بدون جواب مانده است. مشاهده پدیده‌هایی که در آنها این فرایند رخ می‌دهد منجر به تحقیقات گسترده‌ای برای رسیدن به یک تئوری جامع شده است.

[1] Null point
[2] Fan plane
[3] Spine axis

مطالعات اولیه به طور طبیعی از معادلات مغناطوهیدرودینامیک تک سیالی برخوردی مقاومتی برای توصیف فرایند باز اتصالی مغناطیسی بهره می‌برد، که منجر به مدل‌های تحلیلی شناخته شده همچون مدل‌های پتچک[1] و سوویت-پارکر[2] شدند. اما این مدل‌ها هنوز قادر به توصیف صحیح این فرایند نبودند. لذا در مطالعات بعدی از مدل سه بعدی استفاده شده است.

این پایان نامه از سه فصل تشکیل شده است. در فصل اول، تعریف و تاریخچه‌ای از فرایند باز اتصالی مغناطیسی همراه با مدل‌های باز اتصالی مغناطیسی پایدار با زمان سویت- پارکر و پتچک، مد گسستگی مقاومتی تک سیالی و هم‌چنین مدل‌های سه بعدی بازاتصالی مغناطیسی ارائه می‌شود.

در فصل دوم، ساختار سه بعدی میدان مغناطیسی در اطراف نقطه‌ی صفر و چگونگی حرکت خطوط میدان مغناطیسی را بررسی می‌کنیم. همچنین با استفاده از قانون اهم، روابط ماکسول، ساده سازی و اضافه نمودن شرط تراکم ناپذیری به پلاسما، مولفه های سرعت پلاسما را محاسبه کرده و تکینگی آن ها را در مبدا و نقطه صفر مورد بررسی قرار می‌دهیم. بدین ترتیب برای میدان الکتریکی ایجاد شده طی فرایند بازاتصالی مغناطیسی رابطه‌ای بدست آورده وچگونگی وابستگی‌اش را به شعاع و زاویه‌ی سمتی(در مختصات استوانه‌ای) نشان می‌دهیم. این در حالی است که اکثر توضیحات ارائه شده و روابط محاسبه شده با فرض تنها یک نوع از بازاتصالی سه بعدی که در اینجا مورد تاکید است، صورت گرفته است که آن هم مدل اسپاینی می‌باشد. لذا برای نشان دادن اهمیت این مدل از بازاتصالی در شراره های خورشیدی، توصیف هایی از چگونگی وقوع این مدل در فتوسفر خورشید و طی حرکت خطوط میدان مغناطیسی در سطح خورشید ارائه شده است.

در پایان این فصل توضیحاتی در مورد کد و معادلات مورد استفاده، که برای حل عددی معادله‌ی مسیر ذره آزمون مورد استفاده قرار گرفته، و نحوه‌ی عملکرد آن ارائه شده است.

[1] Petschek
[2] Sweet-Parker

در فصل سوم، نتایج بدست آمده از کد را مورد تحلیل و بررسی قرار می‌دهیم و این نتایج را با محاسبات و داده‌های حاصل از سایر مطالعات مقایسه می‌کنیم. مسیر و انرژی نهایی ذره‌ی آزمون تحت تاثیر برخی شرایط اولیه از جمله فاصله‌ی اولیه‌ی نقطه پرتاب ذره از نقطه صفر، انرژی اولیه‌ی ذره، زاویه‌ی سمتی صفحه‌ی ورودی ذره به منطقه بازاتصالی، زاویه‌ی پیچش و . . . می‌باشد، که با تغییر آن‌ها، چگونگی تاثیرشان بر رفتار ذره مورد بررسی قرار گرفته است. لازم به ذکر است که این مطالعه هم برای پروتون وهم برای الکترون صورت گرفته و تمام محاسبات با توجه به معادلات و روابطی که برای کد تعریف شده است نسبیتی می‌باشد.

فصل اول

بررسی منابع

۱-۱ تعریف، تاریخچه و اهمیت باز اتصالی مغناطیسی

باز اتصالی مغناطیسی به عنوان یک فرایند دینامیکی بنیادی در پلاسماهایی با رسانندگی الکتریکی بالا شناخته شده است. خطوط میدان مغناطیسی به علت اثرات مغناطوهیدرودینامیک غیر ایده‌آل، قید منجمد شدن را نقض می‌کنند و در درون پلاسما پخش می‌شوند، که در نهایت منجر به قطع و دوباره متصل شدن خطوط میدان می‌شوند. این فرایند، باز اتصالی مغناطیسی نامیده می‌شود. آزاد سازی مقدار عظیمی از انرژی مغناطیسی ذخیره شده به صورت انرژی گرمایی پلاسما و همچنین شتاب دهی ذرات باردار در طی رویدادهای انفجاری از ویژگی‌های بسیار مهم باز اتصالی مغناطیسی می‌باشد. به عنوان یکی از بارزترین ویژگی‌ها، باز اتصالی مغناطیسی اجازه انتقال شار مغناطیسی و جریان پلاسما را بین مناطق جداگانه شار مغناطیسی می‌دهد، که در نهایت منجر به یک تغییر اساسی در ساختار میدان مغناطیسی می‌شود. هیچ تعریف مورد توافق و دقیقی از باز اتصالی مغناطیسی وجود ندارد. تعاریف موجود بر اساس تنوع شرایطی که در آن باز اتصالی مغناطیسی ممکن است رخ دهد تغییر می‌کنند. برخی از تعاریف به اهمیت تغییر توپولوژی (ساختار) اشاره می‌کنند، در حالی که برخی از این نکته غفلت کرده و اساس تعریف را بر روی الگوی جریان پلاسما یا تبدیل انرژی قرار می‌دهند. تعریف این پدیده در حالت دو بعدی بسیار ساده‌تر است، چنانکه شرایط قوی بر روی میدان در مجاورت ناحیه باز اتصالی وجود دارد. به هر حال تعریف مسئله در سه بعد، کار پیچیده‌تری است. یک تعریف ساده از باز اتصال مغناطیسی توسط واسیلیوناس[1] [۸] ارائه شده، که بر اساس آن باز اتصالی مغناطیسی فرایندی است که در آن پلاسما بین ناحیه‌هایی جریان می یابد که از نظر پیکربندی مغناطیسی قبلاً از هم جدا بودند. چنانکه یک سطح

[1] Vasyliunas