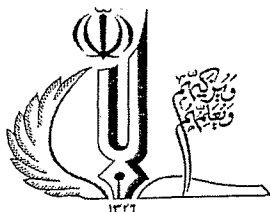


بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

۹۲۸۹۳



دانشگاه شاهرود

دانشکده فیزیک

گروه اتمی و مولکولی - (پلاسما)

پایان نامه

برای دریافت درجه کارشناسی ارشد در رشته فیزیک

عنوان

بررسی ناپایداری ريله - تیلور در پلاسما فوکوس

استادان راهنما

دکتر محمود مصلحی فرد

دکتر صمد سبحانیان

استاد مشاور

مهندس وحید سیاهپوش

پژوهشگر

بهنام کوهی همپا

شهریور ۸۶

۱۳۸۶ / ۹ / ۲۵

۹۲ ۱۹۶

سازمان اسناد و کتابخانه ملی  
جمهوری اسلامی ایران

تفہیم

بہ

مادر عزیز

و

روح پاک

بہ روح

## تقدیر و تشکر

اینک که به فضل الهی موفق به انجام این پژوهش شده‌ام، بر خود فرض می‌دانم مراتب سپاس قلبی‌ام را به محضر بزرگوارانی که یاری و محبتشان را از حقیر دریغ نکرده‌اند اعلام نمایم:

ابتدا سپاسگزارم از آنان که در حیاتم وامدار و شرمنده آنانم، مادر گرامی و همه اعضای خانواده‌ام که با تلاشی در خور در همه مراحل زندگی و تحصیل به یاری‌ام همت گماردند.

جناب آقایان دکتر محمود مصلحی‌فرد و دکتر صمد سبحانیان اساتید راهنمای حقیر که بردبارانه و با شکیبایی تمام و ژرف اندیشه پشیمان و راهنمایم در انجام این تحقیق بوده‌اند، الطافشان توفیق و افتخار بزرگی است که نصیبم شده‌است، امیدوارم که سپاس صادقانه شاگرد حقیرشان را پذیرا باشند.

همچنین از جناب آقای مهندس وحید سیاهپوش استاد مشاور محترم که همواره بنده را در انجام این پژوهش یاری داده‌اند، از ایشان به واسطه الطافشان سپاسگزارم. در پایان از کمک‌های صادقانه دوستان عزیزم آقایان دکتر مولایار ملک‌جانی، ابراهیم آقایی، صهیب صدیقی، بهنام رضایی، علی قیاسی، محمود مظاهری، اکبر کلایی، میثم علی‌همتی، اکبر فتحی و همچنین خانم مینا اسمائیل‌پور که همواره باعث دلگرمی اینجانب بودند سپاسگزارم.

نام خانوادگی: کوهی همپا	نام: بهنام
عنوان پایان نامه: ناپایداری ريله - تیلور در پلازما فوکوس	
استادان راهنما: دکتر محمود مصلحي فرد - دکتر صمد سبحانیان استاد مشاور: مهندس وحید سیاهپوش	
مقطع تحصیلی: کارشناسی ارشد	رشته: فیزیک
گرایش: اتمی و مولکولی (پلازما)	گرایش: فیزیک
دانشگاه: تبریز	دانشکده: فیزیک
تاریخ فارغ التحصیلی: شهریور ۸۶	تاریخ فارغ التحصیلی: شهریور ۸۶
تعداد صفحات: ۹۵	
کلید واژه ها: پلاسمای کانونی، نرخ رشد، تنگش Z، توان پالسی، شعاع لارموری محدود، شار برشی محوری، ناپایداری تبدلی، فیلیپوف، اشعه X سخت و نرم	
چکیده:	
<p>با تخلیه جریان الکتریکی از مرتبه مگا آمپر یک گاز در دستگاه‌های پلازما فوکوس، ستون متراکمی از پلازما با دما و چگالی بالا تولید می‌شود. پرتوهای مختلفی در این دستگاه از ناحیه تنگش گسیل می‌شوند. این انفجارها نسبت به ناپایداری ريله - تیلور حساسند زیرا پوسته پلازما (سیال سنگین) به‌طور مؤثری توسط میدان مغناطیسی (سیال سبک)، به‌طور شعاعی به طرف داخل شتابدار شده است. ناپایداری ريله - تیلور (RT) دمای پلاسمای تنگش را کم می‌کند و به‌عرض پالس تابش اشعه X می‌افزاید. سیر تکاملی ناپایداری ريله - تیلور با استفاده از تئوری مگنتوهیدرودینامیک (MHD) تراکم‌ناپذیر، مورد مطالعه قرار گرفته و تأثیر عوامل مختلف بررسی شده و روابط نرخ رشد برای ناپایداری RT در هندسه مسطحه، به‌دست آمده است.</p> <p>این روابط با استفاده از داده‌های پلازما فوکوس رسم شده و نتایج آن بحث و بررسی می‌شود. همچنین نتایج تجربی به‌دست آمده از دستگاه پلازما فوکوس تجزیه و تحلیل شده است.</p>	

فصل اول : بررسی منابع و پیشینه تحقیق

۱	تاریخچه
۷	۱-۱- اساس Z-pinch
۱۲	۱-۲- پلاسما فوکوس
۱۶	۱-۳- عملکرد و نتیجه تنگش
۱۹	۱-۴- فاز ناپایداری
۲۰	۱-۵- چگونگی تولید و اندازه گیری نوترون‌ها
۲۲	۱-۶- تابش پلاسما
۲۲	۱-۶-۱- تابش ترمزی
۲۳	۱-۶-۲- تابش باز ترکیب
۲۴	۱-۷- اصول عملکرد دستگاه پلاسما فوکوس
۳۱	۱-۸- تعادل MHD استاتیک
۳۲	۱-۹- مفهوم ناپایداری در پلاسما
۳۷	۱-۱۰- مفهوم ناپایداری ریله- تیلور
۳۹	۱-۱۱- پیشینه پژوهش

فصل دوم : مواد و روشها

۴۴	۱-۲- دستگاه پلاسما فوکوس سهند
۴۶	۱-۱-۲- مدول اصلی آزمایش
۴۹	۲-۱-۲- سیستم خلا
۴۹	۳-۱-۲- سیستم تغذیه قدرت (بانک خازنی)
۵۰	۴-۱-۲- سیستم دیاگنوستیک
۵۰	۱-۴-۱-۲- اندازه گیری جریان تخلیه و میدان مغناطیسی
۵۲	۲-۴-۱-۲- مطالعه ناحیه تنگش با استفاده از دوربین Pinhole
۵۳	۳-۴-۱-۲- اندازه گیری تابش اشعه X
۵۵	۴-۴-۱-۲- اندازه گیری گسیل نوترون
۵۶	۵-۱-۲- سیستم داده پردازی (DAS)
۵۷	۲-۲- ناپایداری ريله- تیلور بدون برخورد
۵۷	۱-۲-۲- مکانیزم
۶۰	۲-۲-۲- رابطه پاشندگی
۶۴	۳-۲-۲- نرخ رشد و فرکانس
۶۸	۳-۲- ناپایداری ريله- تیلور برخوردی

فصل سوم : نتایج و بحث

- ۷۳ ۱-۳-۱- رسم نمودار روابط به دست آمده ناپایداری ريله- تيلور در پلاسما فوكوس
- ۷۳ ۱-۳-۱-۱- رسم نمودار نرخ رشد مرتبه صفرم در حالت بی‌برخوردی
- ۷۵ ۱-۳-۲- رسم نمودار نرخ رشد و فرکانس حقیقی تصحیح یافته در حالت بی‌برخوردی
- ۷۸ ۱-۳-۳- رسم نمودار نرخ رشد و فرکانس حقیقی در حالت برخوردی
- ۸۱ ۲-۳- بررسی تأثیر ناپایداری در داده‌های دستگاه پلاسما فوکوس سه‌بعدی
- ۸۴ ۳-۳- بررسی تأثیر عوامل مختلف در کاهش ناپایداری ريله- تيلور
- ۸۵ ۱-۳-۳- بررسی تأثیر شار محوری برشی در کاهش ناپایداری ريله- تيلور
- ۸۹ ۲-۳-۳- بررسی ویسکوزیته چرخشی و شار برشی در کاهش ناپایداری ريله- تيلور
- ۹۴ ۳-۴- نتیجه‌گیری
- ۹۵ ۳-۵- پیشنهادات

منابع



## فهرست شکل‌ها و جداول

### فهرست شکل‌ها و جداول:

شماره صفحه	عنوان
۶	شکل ۱-۱- نمای شماتیک دو نوع متداول از دستگاه پلازما فوکوس
۷	شکل ۲-۱- هندسه Z-pinch
۱۱	شکل ۳-۱- شکل طرحوار یک آزمایش Z-pinch
۲۶	شکل ۴-۱- شمایی از مدار و دینامیک پلازما
۲۷	شکل ۵-۱- نمایه‌ای از فازهای PF
۴۱	شکل ۶-۱- تصاویر رشته پلاسمای پینچ شده در فشارهای مختلف از گاز دوتریم
۴۴	شکل ۱-۲- دیاگرام قسمت‌های مختلف دستگاه PF سهند
۴۷	شکل ۲-۲- قسمت‌های مختلف اتاقک تخلیه و کلید اسپارک‌گپ
۵۱	شکل ۳-۲- پیچ‌ه روگوفسکی و مدار معادل آن
۵۲	شکل ۴-۲- دوربین pinhole
۵۳	شکل ۵-۲- آشکارساز نیم‌رسانای ۱۱-۰۲ SPPD برای ثبت پرتوهای SXR
۵۴	شکل ۶-۲- آشکارساز فوتو دیود خلأ
۵۸	شکل ۷-۲- ساختار ناپایداری ریله - تیلور در پلازما
۷۴	شکل ۱-۳- دیاگرام $\gamma_0$ بر حسب شعاع
۷۶	شکل ۲-۳- دیاگرام $\frac{\omega_{rt}}{\gamma_0}$ بر حسب $KL_n$
۷۶	شکل ۳-۳- دیاگرام $\frac{\gamma_{rt}}{\gamma_0}$ بر حسب $KL_n$

- ۷۹ شکل ۳-۴- دیاگرام  $\frac{\omega_{rl}^c}{\gamma_{0rl}}$  بر حسب  $KL_n$
- ۸۰ شکل ۳-۵- دیاگرام  $\frac{\gamma_{rl}^c}{\gamma_{0rl}}$  بر حسب شعاع
- ۸۱ شکل ۳-۶- دیاگرام  $\frac{\gamma_{rl}^E}{\gamma_{0rl}}$  بر حسب شعاع
- ۸۴ شکل ۳-۷- دیاگرام زمانی جریان و مشتق جریان
- ۸۶ شکل ۳-۸- هندسه تخت استفاده شده در تحلیل پایداری
- ۴۳ جدول ۱-۱- معرفی چند نوع دستگاه PF

همچنان که می‌دانیم پلاسما ی خیلی گرم با طول عمر بسیار کوتاه و چگالی بالا در درون دستگاه پلاسما فوکوس ایجاد می‌شود. پلاسما فوکوس وسیله‌ای ارزشمند و مقرون به صرفه برای تولید اشعه X و ذراتی مانند نوترون و الکترون است. در حال حاضر دو نوع پلاسما فوکوس وجود دارد که نوع فیلیپوف و نوع مدر خوانده می‌شوند که به نام کاشف آنها می‌باشند. تفاوت اساسی این دو نوع پلاسما فوکوس در ابعاد الکتروود و نسبت قطر به ارتفاع در الکتروود مرکزی است.

علاوه بر این تولید پرتوهای یونی پالسی برای ساخت نیمرساناها با استفاده از پلاسما فوکوس پیشنهاد شده است. خالص سازی پرتوهای یونی پالسی راه‌حلی است که به این کاربردها مربوط می‌شود، چون مواد نیمه‌رسانا به ناخالصی خیلی حساس هستند..

یک پلاسما فوکوس شامل یک جفت الکتروود هم‌محور می‌باشد که همراه با پلاسما یا گازی هستند که در ابتدا منطقه را پر کرده است. ولتاژ مورد نیاز در میان الکتروودها یک لایه جریان را تولید می‌کند که در ضمن حرکتش فشار مغناطیسی به وجود می‌آورد و در نهایت Z-pinch روی محور (قطب) تشکیل می‌شود.

زمانی که وجود ناپایداری‌ها در پلاسما معلوم گشت، جامعه محققان برای مدت‌های طولانی علاقه خود را در این زمینه از دست دادند. یکی از این ناپایداری‌ها، ناپایداری ریله-تیلور (RT) بوده که ناپایداری مرز پلاسما تحت نفوذ میدان مغناطیسی می‌باشد. رشد این ناپایداری از گرادیان چگالی ناشی می‌شود که از نوع ناپایداری‌های بزرگ می‌باشد و در پلاسما فوکوس باعث می‌شود که دمای پلاسما ی بینچ کاهش یافته و عرض پالس تابش اشعه X افزایش یابد و میدان الکتریکی بزرگی تولید شود. به طور

آشکار برای اینکه یک بازده بالای تابشی اشعه X را داشته باشیم پلازما باید پایدار بماند. ابعاد بزرگتر پلازما، ممکن است باعث شوند که ناپایداری ريله- تیلور، زمان کافی برای رشد داشته باشد. تا حالا تلاش‌های زیادی برای کم کردن یا مانع شدن ناپایداری ريله- تیلور صورت گرفته است.

به عنوان مثال تلاش برای ایجاد تقارن سمتی و محوری بالا، برای کاهش هر گونه اختلال اولیه که ممکن است تبدیل به ناپایداری‌های خطرناکی شوند، صورت گرفته است. Shumlak و همکارانش [۲۲]، کاربرد شارهای محوری برشی، شعاع لارمور متناهی و خمیدگی غلاف (پوشش) را برای پایدارسازی ناپایداری ريله- تیلور در انفجارهای پلازما، مورد تحقیق و بررسی قرار دادند. همه این نتایج نشان دادند که اثرات مختلف و منحصر به فرد می‌توانند اندکی ناپایداری ريله- تیلور را کاهش دهند. در پیکربندی‌های انفجاری متنوع، رشد ناپایداری RT می‌تواند متفاوت باشد.

Haines [۲۳] نشان داد که برای به دست آوردن یک بازده (کارایی) بالایی از اشعه‌های X، باید دو فرایند صورت بگیرد. اولین آنها گرمایش ویسکوز یون‌هاست و دومی اصل همپاری انرژی بین یون‌ها و الکترون‌هاست که با یونیزاسیون و تشعشع ثانوی همراه است. بنابراین ویسکوزیته نقش مهمی در گرمایش یون‌ها بازی می‌کند. او و همکارانش اثرات ویسکوزیته را بر روی ناپایداری ريله- تیلور مورد بررسی قرار دادند.

توجه بیشتری به ویسکوزیته غیربرخوردی معطوف شده است که همانا از اثرات شعاع لارمور متناهی می‌باشد. اخیراً Ruden اثر فرسایشی این پدیده را در ناپایداری RT مورد مطالعه قرار داده است.

در فصل اول این پایان نامه، تاریخچه و مطالعات انجام شده در رابطه با موضوع مورد مطالعه، بیان شده است و دستگاه پلاسما فوکوس معرفی می شود. مفهوم تعادل و ناپایداری پلاسما بیان شده و ناپایداری ریله-تیلور بررسی می شود.

در فصل دوم ضمن معرفی PF سهند، انواع ناپایداری های پلاسما فوکوس توضیح داده شده و دینامیک ناپایداری ریله-تیلور برخوردی و غیر برخوردی بیان می شود.

در فصل سوم نمودارهای نرخ رشد و فرکانس در پلاسما فوکوس رسم شده و داده های تجربی دستگاه پلاسما فوکوس تجزیه و تحلیل می شود و تأثیر دو عامل چسبندگی و شار برشی محوری در کاهش ناپایداری ریله-تیلور بررسی می شود.

نکته قابل توجه این است که در فصل سوم، بررسی ناپایداری ریله-تیلور در فاز تراکم شعاعی سیستم پلاسما فوکوس انجام گرفته است و در مطالعه نتایج تجربی در بخش ۳-۲ مرحله تنگش بررسی می شود.

فصل اول

بررسی منابع  
و پیشینه تحقیق

## تاریخچه:

زمانی که ژنراتورهای الکترواستاتیکی برای به وجود آوردن تخلیه الکتریکی در گاز مورد استفاده قرار گرفتند، نوع‌های اولیه Z-Pinch<sup>۱</sup> در سال ۱۷۱۰ ساخته شد. یک ژنراتور بزرگ توسط وان ماریوم<sup>۲</sup> در ۱۷۸۴ به کار گرفته شد که می‌توانست تقریباً ۳۰ KJ انرژی ذخیره کند. و جرقه الکتریکی به طول ۶۰ cm در گاز تولید نماید [۱]. ژنراتور وان ماریوم در نمایشگاهی در موزه معروف<sup>۳</sup> هلند قرار دارد.

پینچ‌های جریان بالا، در آن زمان مستلزم سیم‌های انفجاری بودند. که همانا برای تولید اشعه X نرم، استفاده شدند. به‌طور نمونه، یک ولتاژ ۱۰ کیلو ولتی از یک منبع شارژ شده، برای یک سیم مناسب در حدود قطر  $100-10 \mu m$ ، اعمال می‌شد.

نخست، سیم تبخیر شده و جریان کاهش می‌یابد. همچنین میدان الکتریکی افزایش می‌یابد، بخار منفجر شده و تخلیه انجام می‌گیرد. یک پلاسما با مقاومت پایین بوجود می‌آید. که کارایی حمل جریان بزرگی را دارد و پینچ پلاسما انجام می‌گیرد.

با هر دوی گرمای اهمی و تراکمی، پلاسما به دمای  $10^4-10^5 eV$  می‌رسد و طیف جسم سیاه را تابش می‌کند. چگالی الکترون‌های پلاسما بعد از انجام پینچ، به‌طور نمونه در حدود  $10^{21} cm^{-3}$  می‌باشد [۲].

برنامه تحقیقی گرما هسته‌ای کنترل شده اولیه روی مقیاس زمانی میکرو ثانیه (جریان بالا) روی Z پینچ‌های دوتریم، که یک پلاسمای متراکم با چگالی در حدود  $10^{18} \text{cm}^{-3}$  ایجاد می‌کرد، متمرکز شده بود. پینچ‌ها همانند سیستم‌های به کار رفته برای حبس مغناطیسی شبه استاتیک پلازما برای احتمال همجوشی، تلقی می‌شوند.

مدل‌های تعادلی تحلیلی پلاسمای Z-Pinch بیان می‌کند که دماها و چگالی‌های فیزون با زمان‌های حبس معقول امکان پذیرند. در طول زمانی ۱۹۵۲ الی ۱۹۶۰ این سیستم‌ها به‌طور گسترده مطالعه شدند.

متأسفانه، ناپایداری‌های MHD<sup>۱</sup> به سرعت، برای مختل کردن حبس پلازما مشاهده شدند. اساس تئوری برای این قبیل ناپایداری‌های MHD، توسعه یافتند. به‌طور تئوری یا آزمایشگاهی، حذف ناپایداری‌ها ممکن نبود.

آنچنانچه جامعه فیزون علاقه در زمینه Z-Pinch را برای مدت چند سال از دست دادند. در سال‌های اخیر علاقه جدیدی در چندین فرم پینچ بوجود آمده است. که در آنها پیکربندی سیستم‌ها بهتر شده و تأثیر عوامل کاهنده ناپایداری‌ها، در نظر گرفته شده است.



توسعه ولتاژ بالا، تکنولوژی‌های توان پالسی<sup>۱</sup> سریع در ۳۰ سال گذشته، علاقه مجددی در سیستم‌های Z-Pinch چگالی بالا به وجود آورد. در آزمایشگاه تحقیقاتی ناوال<sup>۲</sup> در سال ۱۹۶۹، اشعه X<sup>۳</sup> پرنرژی از تک سیم‌های انفجاری مرکب از اتم‌های گوناگون، مشاهده شد. آزمایش‌های قبلی شامل توان الکتریکی، با قدرت صدها گیگا وات بود.

توانی در حدود یک ترا وات با استفاده از تکنولوژی توان پالسی به دست آمد. در نتیجه، رسیدن به دماهای پلاسمایی که دمای آن محدود به قانون تابش جسم سیاه نبود، ممکن گشت.[۳]. برای عبور جریان در درون دستگاه‌های تنگش-Z اولیه از سیم‌های انفجاری استفاده می‌شد که در نهایت تبخیر می‌شدند. محدودیت تک سیم‌های انفجاری ابتدائاً به علت مقاومت ظاهری ابتدائی آنها بود. که معمولاً  $2-1 \text{ } \Omega$  می‌باشد. مقیاس این سیستم‌ها برای جریان‌های بالاتر به منظور رسیدن به انرژی‌ها و توان‌های بالاتر اشعه X، مستلزم سیستم‌های توان پالسی با ولتاژ شدیداً بالا (بزرگتر از ۱۰۰ مگا ولت) و توان بالا (بزرگتر از ۱۰۰ ترا وات) بوده است.

این محدودیت توان پالسی به آزمون مجدد و توسعه بیشتر دینامیک Z-Pinch منجر شد. در این پیکربندی‌ها، تک سیم‌های انفجاری با آرایه‌های استوانه‌ای سیم‌ها، جایگزین شد. ژنراتورهای جریان بالا در دهه (۱۹۷۰S-۱۹۸۰S) در آزمایشگاه‌های ماکسول و... توسعه یافتند.

---

۱-Pulse power

۲-Naval

۳-X-Ray

هم اکنون تولید پالس‌های جریان، با مقدارهای پیک به بزرگی  $20 \text{ MA}$  ممکن می‌باشد. زمان-های پالس از مرتبه  $10^{-10}$  ns، می‌باشد.

مقاومت ظاهری دستگاه‌های توان پالسی جریان بالای جدید، از مرتبه  $25 \times 10^{-1} - 1 \times 10^{-1} \Omega$  می‌باشد.

آهنگ افزایش جریان می‌تواند، به بزرگی  $3 \times 10^{14} \frac{A}{S}$  باشد.

انرژی گرفته شده توسط Z-Pinch می‌تواند با انتخاب جرم و هندسه ابتدائی Z-Pinch و بهتر کردن یکنواختی پلاسمای موجود، بهینه شود.

نتایج آزمایش‌های اخیر که با Z-Pinch‌های چگال انجام گرفت، نشان می‌دهد که سیستم‌های جدید Z-Pinch، قابلیت پایداری بیشتری را دارند و تراکم بالا (چگالی انرژی خیلی بالا)، می‌توانند تهیه نمایند که زمان‌های حبس پلاسمای طولانی‌تر از زمان‌های پیشگویی شده توسط تخمین‌های مرسوم از دهه ۱۹۶۰S-۱۹۵۰S، می‌باشد.

بازنگری جامع درباره این موضوع، توسط دنگر<sup>۱</sup> و همکارانش در سال ۱۹۸۶ انجام شد. از اینرو، Z-Pinch‌های چگالی بالا، برای تولید اشعه‌های X چند منظوره، توسعه یافتند که می‌توانست ۱-۲ MJ تابش داشته باشد که دماهای الکترون به بزرگی چند کیلو ولت است.

نظریه‌های مرسوم روی کاربردهای Z-Pinch، مخصوصاً آنهایی که مربوط به همجوشی گرما هسته‌ای کنترل شده‌اند، هم‌اکنون مجدداً به طور جدی بررسی می‌شود.

اواخر دهه ۵۰، فیلیپوف<sup>۱</sup> در شوروی سابق و اس‌لی‌مدر<sup>۲</sup> در ایالات متحده آمریکا، جداگانه به پیشرفت‌های اساسی در مطالعه سیستم‌های نسبتاً متفاوت Z-Pinch و شتاب‌دهنده‌های پلاسمای هم-محور، دست یافتند. در نتیجه، یک پلازما با بالاترین مقدار انرژی ویژه (در آن زمان) تولید شد. و سیستم‌های پلاسمای کانونی<sup>۳</sup> (PF) نوع فیلیپوف و مدر، شناخته شدند.

تفاوت اساسی این دو سیستم در ابعاد الکترودها و نسبت قطر به ارتفاع در الکتروود مرکزی می‌باشد. بطوریکه پلاسمای کانونی نوع فیلیپوف، دارای نسبت  $\frac{\text{قطر}}{\text{ارتفاع}} > 5$  و نوع مدر، دارای نسبت کمتر از  $0.25$  است. الکتروود داخلی در نوع فیلیپوف دارای قطر  $200-50$  cm است ولی در نوع مدر الکتروود داخلی دارای قطر  $22-2$  cm می‌باشد.

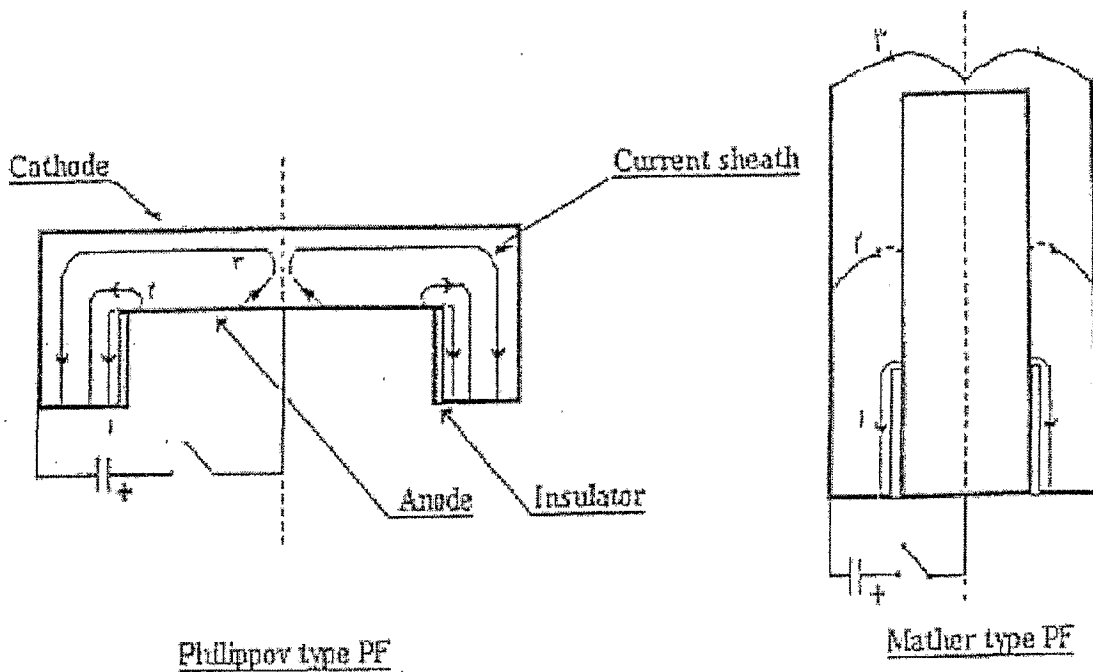
اصول عملکرد این دو سیستم مشابه است. اما در ظاهر نوع مدر کشیده است و نوع فیلیپوف پهن‌تر می‌باشد. تفاوت ظاهری این دو مدل منجر به متفاوت بودن شکل لایه جریان و نوع حرکت آن می‌شود. باید متذکر شد که در نوع مدر، حرکت لایه جریان از سطح عایق تا محور تقارن در دو مرحله جداگانه و پی‌درپی صورت می‌گیرد.

۱-Filippov

۲-S.Lee.Mather

۳-Plasma focus

مرحله اول، حرکت رانش محوری است که با رسیدن لایه جریان به لبه آند خاتمه یافته و پس از آن، مرحله دوم که تنگش شعاعی نامیده می‌شود، آغاز می‌گردد. ولی در نوع فیلیپوف حرکت شعاعی لایه جریان به سمت محور تقارن، بلافاصله پس از تشکیل لایه جریان صورت می‌گیرد [۴].



شکل ۱-۱- نمای شماتیک دو نوع متداول از دستگاه پلازما فوکوس