

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



پایان نامه کارشناسی ارشد

دانشگاه شهید بهشتی

دانشکده مهندسی هسته‌ای

مهندسی هسته‌ای (گرایش کاربرد پرتوها)

عنوان :

بهینه سازی نوترون دهی دستگاه پلاسمای کانونی

SBUMTPF1

نگارش :

بابک شیرانی بیدآبادی

استاد راهنما:

دکتر فریدون عباسی دوانی

استاد مشاور:

مهندس بهجت قاسمی

شهریور ماه 1387

قدردانی و تشکر

خداوند بزرگ را به خاطر نعمت های بی شماری که به من عطا نموده شکر می گویم.

از پدر و مادر عزیزم که با صبر و حمایت بی دریغ خویش مرا یاری نمودند تا مراحل زندگی را با موفقیت پشت سر بگذارم سپاسگذارم.

از تمامی اساتید گرامی دانشکده مهندسی هسته ای دانشگاه شهید بهشتی، بالاخص اساتید محترم جناب آقای دکتر فریدون عباسی و جناب آقای دکتر مجید شهریاری که با راهنمایی های ارزنده شان اینجانب را در پیشبرد اهداف و فراگیری علم یاری نموده اند تشکر می کنم.

از همه دوستانی که در دوره کارشناسی ارشد و در انجام این پایان نامه به من کمک کردند به خصوص دوست عزیزم مهندس نوروزی تشکر می کنم.

تقدیم به

پدر و مادر عزیزم

چکیده	
نام و نام خانوادگی : بابک شیرانی بیدآبادی	
عنوان پایان نامه : بهینه سازی نوترون دهی دستگاه پلاسمای کانونی SBUMTPF1	
استاد راهنما : دکتر فریدون عباسی دوانی	استاد مشاور : مهندس بهجت قاسمی
درجه تحصیلی : کارشناسی ارشد	تاریخ فراغت از تحصیل : 1387/6/25
رشته : مهندسی هسته ای	گرایش : کاربرد پرتوها
دانشگاه : شهید بهشتی	دانشکده: مهندسی هسته ای
کلید واژه ها : پلاسمای کانونی، گداخت، نوترون، فشار بهینه، بهره نوترون، ضریب ناهمسانگردی	
چکیده	
<p>در این پایان نامه، دستگاه پلاسمای کانونی نوع مدر با مشخصات ($C = 8/6 \text{ mF}$ و $V = 24 \text{ kV}$ ، $E = 2/48 \text{ kJ}$) ساخته شد و 'SBUMTPF1' نامگذاری گردید. در فصل اول، اصول واکنش گداخت و مبانی عملکرد دستگاه پلاسمای کانونی توضیح داده شده است. در فصل دوم، عوامل مؤثر بر نوترون دهی دستگاه پلاسمای کانونی مورد بررسی قرار گرفته است. در فصل سوم، سیستم های تشخیصی ساخته شده برای اندازه گیری و ثبت اطلاعات و محاسبات مربوط به طراحی آنها معرفی شده اند.</p> <p>با تزریق گازهای آرگون، نئون ، هیدروژن و دوتریوم در فشارهای مختلف، عملکرد دستگاه در ولتاژهای مختلف در این گازها مورد آزمایش قرار گرفت. پس از انجام آزمایش های اولیه با گاز دوتریوم و اطمینان از تکرارپذیر بودن تولید نوترون در دستگاه SBUMTPF1، تأثیر فشار گاز بر بهره نوترون دستگاه مورد بررسی قرار گرفت. در این پایان نامه، همچنین، نوترون دهی دستگاه برای دو طول آند 12 cm و 18 cm آزمایش شد و نتایج با هم مقایسه گردیدند.</p> <p>در مجموع می توان گفت که فشار بهینه برای تولید نوترون در دستگاه SBUMTPF1 حدود 6 mbar و بهره نوترون در شرایط بهینه، به طور میانگین، بیشتر از 5×10^7 نوترون در هر آزمایش است.</p>	

فهرست مطالب

فصل اول : اصول واکنش گداخت و معرفی دستگاه پلاسمای کانونی

- 1-1-1- تولید نوترون با استفاده از همجوشی هسته‌ای (گداخت).....1
- 1-1-1- همجوشی هسته‌ای.....1
- 1-1-2- فرآیندهای بنیادی همجوشی.....3
- 1-1-3- انرژی در واکنشهای همجوشی.....4
- 1-2- دستگاه پلاسمای کانونی.....5

فصل دوم : بررسی نظری عوامل موثر بر نوترون دهی در PF

- 1-2-1- مقدمه.....10
- 2-2-2- ساز و کارهای تولید نوترون در دستگاه پلاسمای کانونی.....11
- 2-3-2- توزیع فضایی گسیل نوترون و تعریف ضریب ناهمسانگردی.....14
- 2-4-4- عوامل موثر بر بهره نوترون دستگاه پلاسمای کانونی.....16
- 2-4-4-1- رابطه بهره نوترون با جریان پینچ و تعریف پارامتر آلفا.....16
- 2-4-4-2- فشار بهینه.....17
- 2-4-4-3- طول آند.....18
- 2-4-4-4- طول عایق.....19
- 2-4-5- جنس الکتروود ها و عایق.....20
- 2-5-5- بهینه سازی بهره نوترون دستگاه پلاسمای کانونی.....23

فصل سوم : سیستم های تشخیصی

- 3-1-1- مقدمه 26
- 3-2-2- اندازه گیری جریان تخلیه با استفاده از پیچه روگوفسکی 27
- 3-2-1-1- جریان تخلیه 27
- 3-2-2-2- پیچه روگوفسکی 32
- 3-2-3- استفاده از مقاومت تضعیف کننده 33
- 3-2-4- انتگرال گیر 34
- 3-2-5- کالیبراسیون روگوفسکی 36
- 3-2-6- حفاظ مغناطیسی برای روگوفسکی 36
- 3-2-7- اندازه گیری جریان تخلیه در دستگاه SBUMTPF1 36
- 3-3-3- اندازه گیری های نوترونی دستگاه پلاسمای کانونی 41
- 3-3-1- اندازه گیری شار و توزیع زاویه ای گسیل نوترون 42
- 3-3-2- شمارنده های فعالسازی ساخته شده وسیستم های جانبی آنها 44
- 3-3-2-1- محاسبه ضخامت بهینه برای کند کننده 45
- 3-3-3- کالیبراسیون شمارنده های فعال سازی 50
- 3-3-3-1- کالیبراسیون شمارنده های فعالسازی حساس به نوترونهای سریع 51
- 3-3-3-2- کالیبراسیون شمارنده های فعالسازی حساس به نوترونهای حرارتی 53
- 3-3-3-3- روش آهنگ شمارش اشباع 54
- 3-3-3-4- روش اندازه گیری آهنگ شمارش بعد از برداشتن چشمه 56
- 3-3-3-5- کالیبراسیون با استفاده از یک صفحه امولسیون هسته ای 57
- 3-3-4- اندازه گیری توزیع زمانی گسیل نوترون و اندازه گیری انرژی نوترون 58
- 3-4-4- اندازه گیریهای مربوط به پرتو ایکس دستگاه پلاسمای کانونی 59
- 3-4-1- تصویر برداری انتگرالی از اشعه ایکس سخت با استفاده از دوربین عکاسی ... 59
- 3-4-2- تصویر برداری انتگرالی از اشعه ایکس نرم با استفاده از دوربین پین هول 59

- 60.....3-4-3- تعیین توزیع زمانی ایکس سخت با استفاده از سوسوزن پلاستیک
- 61.....4-4-3- تعیین توزیع زمانی ایکس نرم با استفاده از فوتودیود PIN
- 62.....5-3- پروب ولتاژ
- 65.....6-3- اندازه گیری شدت میدان مغناطیسی با استفاده از پروب مغناطیسی

فصل چهارم: آزمایش های انجام شده با دستگاه SBUMTPF1

- 67.....1-4- آزمایش دستگاه SBUMTPF1 با گازهای آرگون، نئون و هیدروژن
- 67.....1-1-4- آزمایش های اولیه
- 69.....2-1-4- آزمایش های تکمیلی
- 72.....2-4- کالیبراسیون شمارنده ها
- 72.....1-2-4- روش مورد استفاده برای کالیبراسیون شمارنده ها
- 73.....2-2-4- اصلاح خطای ناشی از گسیل ناهمسانگرد نوترون
- 76.....3-2-4- محاسبه خطای ضریب کالیبراسیون و خطای بهره نوترون
- 77.....4-2-4- محاسبه بهره نوترون و خطای آن با استفاده از نرم افزار MATLAB
- 77.....3-4- آزمایش دستگاه SBUMTPF1 با تزریق گاز دوتریوم و تعیین فشار بهینه
- 84.....4-4- افزایش طول آند دستگاه SBUMTPF1 و تعیین فشار بهینه برای این طول آند
- 87.....5-4- سایر ابزار تشخیصی مورد استفاده در آزمایش های نوترونی
- 87.....1-5-4- دوربین عکاسی
- 88.....2-5-4- پیچه روگوفسکی
- 89.....3-5-4- سوسوزن مایع NE213
- 91..... نتایج
- 92..... پیشنهادها
- 93..... مراجع

فهرست شکل ها

- شکل 1-1 ساختار کلی دستگاه های پلاسمای کانونی نوع مدر و نوع فیلیپوف6
- شکل 1-2 تعریف ضریب ناهمسانگردی گسیل نوترون15
- شکل 2-2 تغییرات بهره و فشار بهینه در اثر تغییر طول آند برای یک $2/3 \text{ kJ PF}$ 19
- شکل 1-3 مدار الکتریکی معادل دستگاه پلاسمای کانونی28
- شکل 2-3 نمونه ای از سیگنال جریان تخلیه و مشتق آن در دستگاه پلاسمای کانونی31
- شکل 3-3 پیچه روگوفسکی32
- شکل 3-4 مدار معادل پیچه روگوفسکی33
- شکل 3-5 مدار انتگرالگیر RC35
- شکل 3-6 پیچه روگوفسکی مورد استفاده در SBUMTPF137
- شکل 3-7 حفاظ الکترومغناطیسی برای پیچه روگوفسکی38
- شکل 3-8 طرز قرار گیری حفاظ الکترومغناطیسی در دستگاه38
- شکل 3-9 نحوه ورود سیگنال جریان و مشتق جریان به نوسان نما39
- شکل 3-10 تضعیف کننده یک اهمی39
- شکل 3-11 انتگرال گیر40
- شکل 3-12 سیگنال جریان و مشتق جریان در گاز آرگون ($V=23 \text{ kV}$ و $P=0.6 \text{ mbar}$)41
- شکل 3-13 سطح مقطع $^{115m}\text{In}(n,n')$ و طیف انرژی نوترون دستگاه Frascati 1 MJ44
- شکل 3-14 شمارش نوترون های حرارتی بر حسب ضخامت کند کننده46
- شکل 3-15 نقشه پلی اتیلن مورد استفاده به عنوان کند کننده46
- شکل 3-16 اجزاء شمارنده ساخته شده برای دستگاه SBUMTPF147
- شکل 3-17 نحوه قرار گیری شمارنده های فعال سازی در زاویه های مختلف48
- شکل 3-18 دستگاه شمارنده - زمانگیر 20 کاناله به همراه منبع تغذیه و مبدل ها49
- شکل 3-19 نمای صفحه اصلی نرم افزار Counter 265549

- شکل 3-20 نمونه ای از سیگنال های ایکس نرم و سخت در دستگاه PF.....62
- شکل 3-21 ساختار داخلی پروب ولتاژ64
- شکل 3-22 نمونه ای از سیگنال های جریان و ولتاژ تخلیه در دستگاه پلاسمای کانونی65
- شکل 4-1 سیگنال جریان در اولین شات پس از تخلیه هوای محفظه بدون تزریق گاز69
- شکل 4-2 سیگنال جریان در سومین شات پس از تخلیه هوای محفظه بدون تزریق گاز69
- شکل 4-3 تقسیم بندی زاویه ای برای شمارنده ها74
- شکل 4-4 تغییرات بهره نوترون در فشار های مختلف79
- شکل 4-5 تغییرات ضریب ناهمسانگردی در فشارهای مختلف79
- شکل 4-6 مقایسه توزیع فضایی گسیل نوترون در سه فشار مختلف80
- شکل 4-7 سیگنال ولتاژ متناظر با جریان شات شماره 7882
- شکل 4-8 سیگنال ولتاژ متناظر با مشتق جریان شات شماره 7882
- شکل 4-9 سیگنال ولتاژ متناظر با جریان شات شماره 8383
- شکل 4-10 سیگنال ولتاژ متناظر با مشتق جریان شات شماره 8383
- شکل 4-11 مقایسه بهره نوترون در فشار های مختلف برای دو آند86
- شکل 4-12 تغییرات ضریب ناهمسانگردی در فشارهای مختلف برای دو آند87
- شکل 4-13 تصاویر انتگرالی اشعه ایکس سخت پلاسمای کانونی گاز دوتریوم88
- شکل 4-14 سیگنال ثبت شده توسط سوسوزن در فاصله 4 متری از محل تولید نوترون90

فهرست جدول ها

- جدول 1-2 بهره نوترون و فشار بهینه دستگاه PF برای جنس های مختلف آند 21
- جدول 2-2 پارامتر های نوترون دهی یک 2/2 kJ PF برای مواد مختلف عایق و آند 22
- جدول 1-4 شرایط بهینه پیشنهادی برای کار با دستگاه SBUMTPF1 71
- جدول 2-4 جمع بندی نتایج آزمایش های انجام شده با آند 12 cm 78
- جدول 3-4 جمع بندی نتایج آزمایش های انجام شده با آند 18 cm 85

فصل اول

اصول واکنش گداخت و معرفی دستگاه پلاسمای کانونی

1-1- تولید نوترون با استفاده از همجوشی هسته‌ای (گداخت)

1-1-1- همجوشی هسته‌ای [1]

گداخت هسته‌ای فرآیندی است که در آن، دو یا چند هسته سبک با هم ترکیب شده و هسته های سنگین تر را تشکیل می‌دهند. این فرآیند با گسیل یا جذب انرژی همراه است. هسته‌های آهن و نیکل دارای بیشترین انرژی بستگی به ازای هر نوکلئون می‌باشند و بنابر این پایدارترین هسته‌ها به شمار می‌روند. گداخت دو هسته سبک‌تر از آهن و نیکل، عموماً با گسیل انرژی همراه است در حالی که در گداخت هسته‌های سنگین تر از نیکل، انرژی جذب می‌شود.

گداخت هسته ای به طور طبیعی در ستاره‌ها رخ می‌دهد و بشر نیز توانسته است به طور مصنوعی فرآیند گداخت را انجام دهد ولی هنوز موفق به انجام این کار به شکل کاملاً کنترل شده نشده است. تحقیقات روی گداخت کنترل شده، با هدف تولید انرژی الکتریکی، طی 50 سال اخیر ادامه داشته است. این کار با مشکلات فنی و علمی زیادی همراه است و هنوز دانشمندان موفق به ارائه یک ساختار مناسب برای این کار نشده اند. برای جوش دادن دو هسته به یکدیگر (حتی هسته های سبک مانند هیدروژن)، انرژی زیادی لازم است. زیرا هر هسته دارای بار مثبت است و نیروی کولنی بین این بارها از نزدیک شدن هسته‌ها به هم جلوگیری می‌کند. اما اگر هسته‌های باردار را تا انرژی‌های بالا (دماهای گرما هسته ای) شتاب دهیم، می‌توانند بر نیروهای دافعه غلبه کنند و آنقدر به هم نزدیک شوند تا نیروهای هسته ای قوی، فعال شده و گداخت رخ بدهد. در فاصله‌های زیاد فقط نیروهای الکترواستاتیکی عمل می‌کنند ولی در فواصل نزدیک، نیروهای هسته‌ای، قوی تر می‌شوند. گداخت هسته‌های سبک که منجر به تولید یک هسته سنگین تر و یک نوترون آزاد می‌شود، معمولاً انرژی‌ای که آزاد می‌کند، بیشتر از انرژی لازم برای نزدیک کردن هسته ها به هم می‌باشد.

چهار هسته که دارای بیشترین انرژی بستگی هستند به ترتیب عبارتند از ^{56}Fe ، ^{58}Fe ، ^{62}Ni و ^{60}Ni ، همانطور که از منحنی انرژی بستگی هسته ها مشاهده می شود برای هسته های با جرم اتمی کمتر از این چهار هسته، انرژی بستگی به ازای هر نوکلئون، با کاهش جرم اتمی هسته ها کاهش می یابد. اما در این میان، یک استثنای مهم وجود دارد. هسته ^4He انرژی بستگی اش بیشتر از عنصر سنگین تر بعدی یعنی لیتیم است. طبق اصل طرد پائولی می توان یک توضیح برای این رفتار استثنایی ارائه کرد. چون پروتون ها و نوترون ها فرمیون هستند، نمی توانند دقیقاً در یک حالت وجود داشته باشند. هر یک از حالت های انرژی پروتون ها و نوترون ها در یک هسته می تواند یک ذره با اسپین بالا و اسپین پایین را در خود جای دهد. هسته ^4He شامل دو پروتون و دو نوترون است. بنابراین این چهار نوکلئون می توانند در حالت پایه باشند. هر نوکلئون اضافی باید به تراز انرژی بالاتر برود. همانطور که گفته شد، برای نزدیک کردن هسته ها به هم باید بر سد کولنی غلبه شود. سد کولنی برای ایزوتوپ های هیدروژن، دارای کمترین مقدار است زیرا آنها فقط یک پروتون دارند. برای گداخت دوتریوم و تریتیوم، سد انرژی، 100 keV است. نتیجه این گداخت، هسته ^5He ناپایدار است که سریعاً یک نوترون با انرژی 14/1 MeV به بیرون پرتاب می کند. انرژی پس زنی هسته ^4He ، 3/5 MeV است. بنابراین کل انرژی آزاد شده، 17/6 MeV می باشد. این انرژی، خیلی بیشتر از انرژی لازم برای غلبه بر سد کولنی است. اگر انرژی لازم برای شروع واکنش، با شتاب دادن یکی از هسته ها تامین شود، این فرآیند، گداخت باریکه-هدف¹ نامیده می شود. اگر هر دو هسته شتاب داده شوند، گداخت باریکه-باریکه² نامیده می شود و اگر هسته ها در یک پلاسمای نزدیک به تعادل حرارتی باشند، گداخت حاصل را گداخت گرما هسته ای³ می نامند. دما، اندازه ای از میانگین انرژی جنبشی ذره ها را نشان می دهد. بنابراین با گرم کردن هسته ها بطوری که انرژی لازم برای غلبه بر سد کولنی 100 keV را پیدا کنند می توان شرایط گداخت را فراهم کرد. با تبدیل واحد الکترون ولت به کلون این انرژی معادل است با دمای بیش از 120 میلیون کلون که دمای بسیار بالایی است.

¹ Beam-target fusion

² Beam-beam fusion

³ Thermonuclear fusion

1-1-2- فرآیندهای بنیادی همجوشی [1]

همانطور که در مقدمه این فصل متذکر شدیم، به خاطر محدودیت‌های مهم ناشی از سد کولنی، همجوشی هرگز نمی‌تواند به صورت یک فرآیند طبیعی روی کره زمین اتفاق بیفتد.

با غلبه کردن بر سد کولنی همجوشی خیلی محتمل می‌شود زیرا دو هسته که به هم نزدیک شده اند، به سرعت به یک حالت کمینه انرژی می‌رسند. لذا درک و توضیح فرآیندهای بنیادی همجوشی یعنی



به خاطر ناپایدار بودن 2He امکان‌پذیر نیست. واکنش بنیادی دیگر عبارت است از :



که حضور g در آن برای برابری انرژی ضروری است زیرا 4He فاقد حالت‌های برانگیخته است. انرژی آزاد شده مساوی است با $23/8 \text{ MeV}$ که از انرژی‌های جدایی نوترون و پروتون از 4He بیشتر است. بنابراین محتمل‌ترین واکنش‌ها عبارتند از :



که واکنش‌های دوتریم - دوتریم یا واکنش‌های D-D نام دارند. البته هر چه محصول انتهایی پایدارتر تشکیل شود، انرژی آزاد شده درواکنش بیشتر خواهد شد. واکنشی که 4He را تشکیل می‌دهد باید به آزادسازی انرژی فوق‌العاده زیادی منجر شود.



این واکنش به نام واکنش دوتریم-تریتیم یا واکنش D-T معروف است. هرگاه انرژی‌های جنبشی ذرات تابشی کم و قابل اغماض باشند، ذرات تولیدی 4He و n با رعایت اصل پایستگی تکانه خطی مقدار انرژی $17/6 \text{ MeV}$ را بین خود تقسیم می‌کنند و یک نوترون تک‌انرژی با انرژی MeV $14/1$ پدیدار می‌شود.

غالباً از این واکنش به عنوان یک منبع نوترون‌های پر انرژی استفاده می‌شود. به خاطر آزادسازی انرژی ای بیشتر از سد مربوط به واکنش D-D، واکنش D-T برای استفاده در رآکتورهای همجوشی کنترل‌شده انتخاب شده است. یکی از مشکلات موجود در استفاده از واکنش D-T برای تولید انرژی اینست که بخش بزرگ انرژی به نوترون داده می‌شود و چون نوترون یک ذره بدون بار است، استخراج انرژی آن عملاً آسان نخواهد بود. در شکافت، مقدار کمی از انرژی آزادشده به نوترون‌ها داده می‌شود و انرژی جنبشی شکافت‌پاره‌ها به آسانی قابل استخراج است.

همجوشی چهار پروتون که سرانجام به تولید ${}^4\text{He}$ منجر می‌شود، منشاء انرژی گرما هسته‌ای آزادشده در ستاره‌های شبیه به خورشید است. وقتی که سوخت هیدروژن مصرف شده باشد مرحله بعد همجوشی هلیوم است. ساده‌ترین واکنش یعنی واکنش (10-1) مشاهده نشده است. زیرا ${}^8\text{Be}$ تقریباً به همان سرعتی که تشکیل می‌شود مجدداً به دو ${}^4\text{He}$ شکسته می‌شود (10^{-16} s) در عوض یک فرآیند پیچیده‌تر (واکنش 11-1) صورت می‌گیرد.



احتمال گرد هم قرار گرفتن این سه ذره در یک نقطه، بسیار کم و قابل اغماض است. در عوض این فرآیند ابتدا به صورت تراکم تعادلی کوچکی از ${}^8\text{Be}$ شروع می‌شود و پس از گیراندازی یک ذره آلفای سوم توسط ${}^8\text{Be}$ به واکنش تشدید در ${}^{12}\text{C}$ می‌انجامد. در این شرایط سطح مقطع به اندازه کافی بزرگ می‌شود و احتمال گیراندازی آلفا قبل از شکافته شدن ${}^8\text{Be}$ قابل ملاحظه خواهد شد. بزرگتر بودن سد کولنی واکنش‌های هلیوم نسبت به واکنش‌های هیدروژن دلیل اینست که سوختن هلیوم فقط در ستاره‌های داغتر روی می‌دهد. در دماهای هنوز هم بالاتر واکنش‌های دیگری صورت می‌گیرند که می‌توانند انرژی را از همجوشی ${}^{12}\text{C}$ و محصولات سنگین‌تر ایجاد کنند.

1-1-3- انرژی در واکنش‌های همجوشی [1]

در بخش قبلی به این نکته اشاره شد که جهت ایجاد واکنش‌های همجوشی ضروری است که هسته‌ها انرژی جنبشی بزرگتر یا برابر انرژی پتانسیل کولنی $0/29 \text{ MeV}$ داشته باشند. این انرژی

جنبشی در مقایسه با انرژی واکنش $D-T$ ، $17/6 \text{ MeV}$ ، بسیار ناچیز است. این انرژی از مجموع انرژی محصولات همجوشی یعنی یک ذره آلفا و یک نوترون بدست می‌آید. با توجه به اصل بقای اندازه حرکت، باید مجموع اندازه حرکت ذرات واکنش دهنده، قبل و بعد از واکنش یکسان باشد. مقدار اندازه حرکت قبل از واکنش، تقریباً برابر با صفر است. بنابراین نسبت سرعت ذره آلفا به سرعت نوترون با عکس نسبت جرم‌ها متناسب است. به عبارت دیگر سرعت نوترون چهار برابر سرعت ذره آلفا خواهد بود. در اینصورت انرژی جنبشی ذره آلفا برابر با $3/5 \text{ MeV}$ (معادل یک پنجم انرژی $17/6 \text{ MeV}$) و برای نوترون، $14/1 \text{ MeV}$ (معادل چهار پنجم انرژی $17/6 \text{ MeV}$) می‌باشد. به طور مشابه در مورد واکنش (7-1) خواهیم داشت که انرژی ^3He ، $0/82 \text{ MeV}$ و انرژی نوترون، $2/45 \text{ MeV}$ است. در واکنش (8-1)، انرژی ^3T ، $1/01 \text{ MeV}$ و انرژی ^1H ، $3/02 \text{ MeV}$ می‌باشد.

2-1- دستگاه پلاسمای کانونی

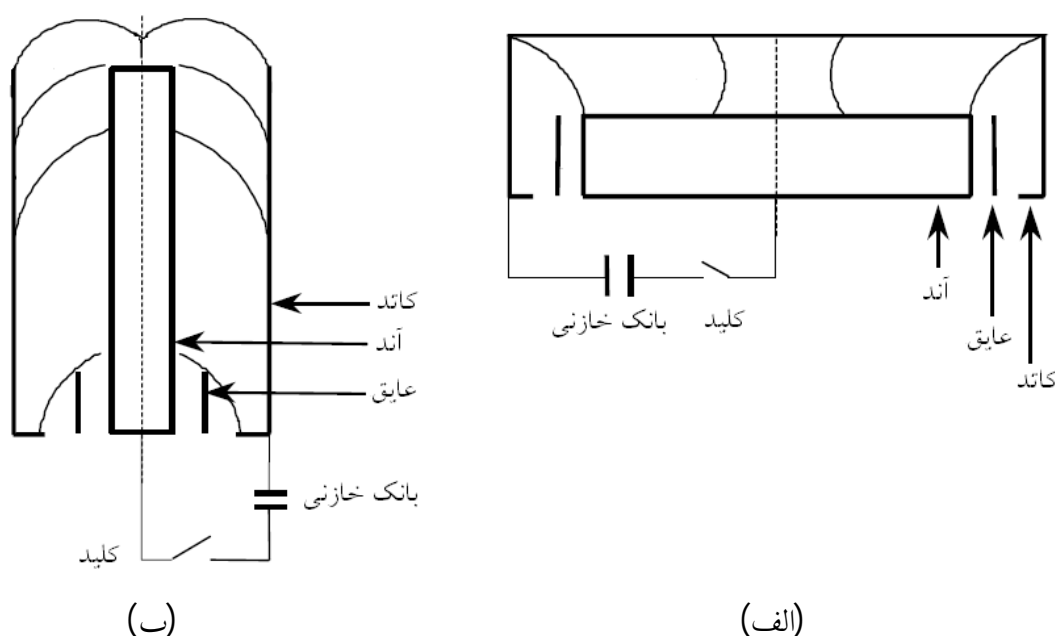
دستگاه پلاسمای کانونی در سال 1965 توسط مدر در آمریکا [2] و فیلیپوف در روسیه [3] به طور جداگانه طراحی و ابداع شد. که البته این دو دستگاه از نظر مشخصات هندسی کاملاً با یکدیگر متفاوت بودند. تمامی دستگاه‌های پلاسمای کانونی که بعداً ساخته شدند شبیه یکی از این دو بوده و لذا دستگاه‌های مربوطه در دو گروه نوع مدر و نوع فیلیپوف قرار می‌گیرند. انرژی بانک خازنی این دستگاه‌ها با توجه به ابعاد فیزیکی آنها از 1 kJ تا 1 MJ متغیر است.

در هر دو نوع دستگاه Mather و Filipov، یک لایه پلاسمای شتاب داده شده، بوسیله میدان مغناطیسی به یک رشته بسیار چگال ($\sim 10^{19} \text{ cm}^{-3}$)، داغ ($\sim 1 \text{ keV}$) و کم دوام (50 تا 200 نانو ثانیه) تبدیل می‌شود. به تشکیل این رشته بسیار داغ و چگال پلاسمای کانونی سازی¹ یا فشرده سازی² گفته می‌شود. با وجود اینکه دو دستگاه ساخته شده بوسیله این دو مخترع، از نظر ساختار هندسی بسیار متفاوتند، از بسیاری از جنبه‌های عملکرد و نتایج حاصل، شباهت‌های زیادی دارند. هر دو دارای دو الکتروود هم محور هستند که بوسیله یک عایق از هم جدا شده‌اند (شکل 1-1).

¹ Focus

² Pinch

اساس کار یک دستگاه پلاسمای کانونی به این شکل است : انرژی الکتریکی ذخیره شده در یک بانک خازنی به سرعت و بوسیله یک سوئیچ سریع جریان بالا و ولتاژ بالا به الکترودها منتقل می شود. در هر دو هندسه، جریان تخلیه در طول یک سطح و از کنار عایق استوانه ای شروع به حرکت در ناحیه بین الکترودهای هم محور می کند. با اعمال نیروی لورنتس، لایه پلاسمای حامل جریان از موقعیت 1 به موقعیت 2 و سپس به 3 حرکت می کند و در موقعیت 4، به محور تقارن الکترودها می رسد. با بهینه سازی دستگاه از نظر طول و ابعاد الکترودها و فشار گاز کاری محفظه می توان جریان تخلیه را وقتی که لایه جریان به محور می رسد به حداکثر رسانید.



شکل 1-1 ساختار کلی دستگاه های پلاسمای کانونی (الف) نوع مدر و (ب) نوع فیلیپوف

در این لحظه یک فیلامان داغ و چگال از پلاسما (پینچ) در جلوی الکتروود داخلی (آند) شکل گرفته است. بعد از یک زمان خیلی کوتاه ستون پلاسمای داغ و چگال در اثر ناپایداری ها شکسته و از هم می پاشد. برای بررسی و کسب اطلاعات بیشتر در زمینه دستگاه پلاسمای کانونی می توان به مراجع ذکر شده در انتهای پایان نامه مراجعه کرد. برای بررسی نظری رفتار دینامیکی لایه پلاسما، مراجع [4 و 5]، برای بررسی مشخصات فازهای دینامیکی دستگاه پلاسمای کانونی، مراجع [4، 5 و

[6] و برای بررسی عوامل مؤثر بر پینچ در دستگاه پلاسمای کانونی، مرجع [7] جهت مطالعه پیشنهاد می شوند.

تفاوت‌های مشهود بین دو هندسه مورد نظر را می توان در ابعاد الکترودها و نسبت منظر¹ دستگاه خلاصه کرد. نسبت منظر نسبت قطر به طول می باشد. نسبت منظر دستگاه نوع فیلیپوف معمولاً بزرگتر از 5 و قطر آند آن 50-200 cm می باشد. نسبت منظر دستگاه نوع مدر نوعاً کمتر از 0/25 و قطر الکترودها داخلی آن 2-22 cm است. جنس الکترودها معمولاً از مس یا استیل ضد زنگ می باشد. آند می تواند بصورت یک استوانه تو پر یا یک تیوب استوانه‌ای تو خالی (به جهت پرهیز از تولید اشعه ایکس سخت در اثر بمباران الکترونی آند) ساخته شود. کاتد شامل 6 تا 24 عدد میله که شبیه یک قفس در اطراف آند قرار گرفته اند مرتب شده است. عایق بین کاتد و آند نیز از پیرکس، شیشه، آلومینا، چینی یا سرامیک ساخته می شود.

شباهت‌های بین دو دستگاه فوق الذکر را می توان در 1- رفتار دینامیکی لایه جریان 2- قوانین محاسباتی برای گسیل نوترون 3- گسیل پرتوهای یونی و الکترونی پر انرژی، پرتوهای ایکس، گاما و مایکروویو 4- فشردگی شعاعی پلاسمای در انتهای الکترودها مرکزی که منجر به شکل گیری رشته داغ و چگال پینچ می شود و 5- اختلالاتی که در پلاسمای بوجود می آیند، خلاصه کرد.

بررسی‌های اولیه این دستگاه نشان داد که اگر این تخلیه‌ها در گاز دوتریوم انجام شود، نوترون گسیل می شود. شار نوترون تولید شده، با فشار و خلوص گاز و همچنین جریان تخلیه تغییر می کند. امروزه دستگاه پلاسمای کانونی به عنوان یک مولد بسیار مناسب نوترون‌های حاصل از گداخت و پرتوهای ایکس به شمار می رود و تاکنون تحقیقات وسیعی در هر دو زمینه شکل گرفته است. علاوه براین، دستگاه پلاسمای کانونی را می توان به عنوان یک شتاب دهنده کوچک برای ذرات باردار در نظر گرفت و بررسی کرد. مکانیزم شتاب یون (چند صد کیلو الکترون ولت) در این دستگاه مسئله پیچیده‌ای است که نیاز به تحقیقات وسیعی دارد.

مقدار نسبتاً زیاد $n\tau$ (چگالی پلاسمای و τ زمان محصور سازی) پلاسمای این دستگاه و نیز نوترون‌های گداخت تولید شده در آن، هنگامی که از دوتریم به عنوان گاز کاری استفاده می شود، مهمترین دلایل علاقه‌مندی و توجه دانشمندان به پلاسمای کانونی محسوب می شود. همانطور که

¹ Aspect ratio