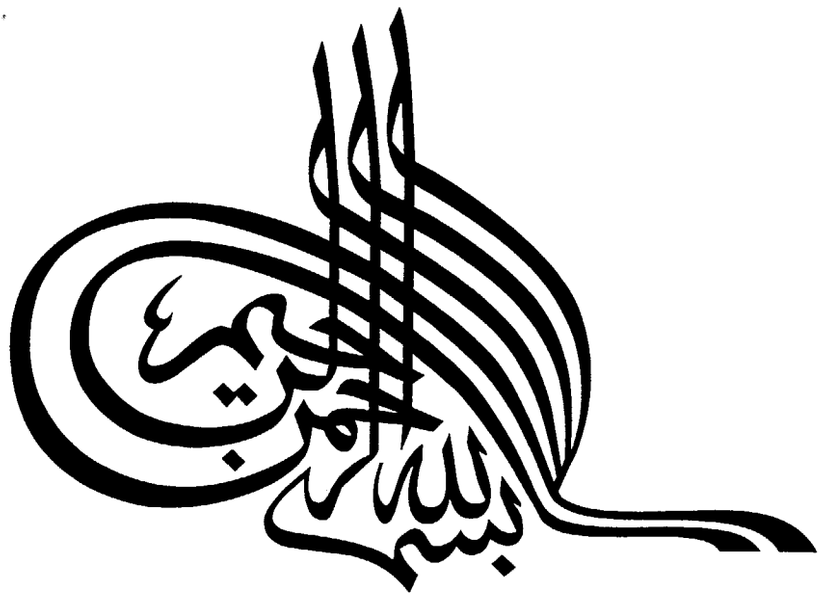


٣٣٢١٠

۱۳۸۰ /۱۱/ ۱۶

دانشگاه صنعتی اصفهان

دانشکده فیزیک

مرکز اطلاعات و مدارک علمی ایران
ثبت بازگان

مطالعهٔ بهرهٔ انرژی ساچمه‌ها در *ICF* با استفاده از حل معادلات *MHD*

پایان‌نامه کارشناسی ارشد فیزیک

جمشید جعفری

10107

استاد راهنما:

دکتر اکبر پروازیان

پاییز

۱۳۷۹

۳۳۲۱۰

دانشگاه صنعتی اصفهان

دانشکده فیزیک

پایان‌نامه کارشناسی ارشد رشتهٔ فیزیک

تحت عنوان

مطالعهٔ بهرهٔ انرژی ساچمه‌ها در *ICF* با استفاده از حل معادلات *MHD*

در تاریخ ۷۹/۹/۲۱ توسط کمیته تخصصی زیر مورد بررسی وتصویب نهائی قرار گرفت.

۱-استاد راهنمای پایان‌نامه	دکتر اکبر پروازیان
۲- استاد مشاور پایان‌نامه	دکتر سیّد ظفرالله کلانتری
۳-استاد مدعو	دکتر سیّد مجتبی مستجاب‌الدعواتی
٤-استاد داور	دکتر احمد شیرانی
٥-سرپرست تحصیلات تکمیلی	دکتر منصور حقیقت

تشکر و قدردانی

اینک که با التفات خداوند بلند مرتبه پایان‌نامه را به پایان رساندم وظیفه خود می‌دانم که نهایت سپاس و تقدیر خالصانه خود را از جناب آقای **دکتر اکبر پروازیان** استاد راهنمای پایان‌نامه هم به‌خاطر راهنماییهای علمی ارزشمند وگرانبهایشان و هم به‌خاطر اخلاق نیکو و گشاده‌رویی‌شان به عمل بیاورم و امیدوارم خداوند توفیقی بدهد که زحمتشان را جبران نماییم.

از جناب آقای **دکتر ظفرالله کلانتری** به‌عنوان استاد مشاور به‌خاطر بازخوانی و ویرایش پایان‌نامه کمال تشکر را دارم. همچنین از جناب آقای دکتر **سید مجتبی مستجاب‌الدعواتی** استاد مدعو که قبول زحمت فرمودند و ویرایش نهائی پایان‌نامه و حضور در جلسه دفاعیه را برعهده گرفتند تشکر می‌کنم.

از تمامی دوستانی که در این مدت اینجانب را یاری داده‌اند سپاسگزارم.

جمشید جعفری

آذر ۷۹

کلیه حقوق مادی مترتب بر نتایج مطالعات،
ابتکارات و نوآوریهای ناشی از تحقیق موضوع
این پایان‌نامه متعلق به دانشگاه صنعتی
اصفهان است

تقدیم به:

شهدای هشت سال دفاع مقدس

و امام آنها خمینی کبیر

و

پدر و مادر عزیز و مهربانم

فهرست

عنوان **صفحه**

چکیده ۱

گداخت و محصور سازی پلاسما ۲

۱-۱مقدمه ۲

۱-۲ پلاسما ۳

۱-۳ گداخت هسته‌ای ٤

۱-٤ آهنگ واکنش و سوختهای همجوشی ٤

۱-۵ روشهای محصور سازی پلاسما ۵

۱-۵-۱ محصورسازی به روش مغناطیسی ٦

۱-۵-۲ روش کاتالیزور میونی ۷

۱-۵-۳ محصورسازی به روش لختی ۸

فصل دوم

روش محصورسازی لختی ۹

۲-۱ ساختمان هدف ۱۰

۲-۱-۱ استفاده از لیتیم به عنوان لایهٔ جذب کننده ۱۱

۲-۱-۲ استفاده از پسماندهای شکافت به عنوان لایهٔ پوششی ۱۱

۲-۱-۳ استفاده از دوتریم ـ هلیوم سه($D-^{۳}He$) به عنوان لایهٔ سوخت ۱۲

۲-۲ پرتوهای محرک ۱۲

۲-۲-۱ پرتوهای محرک لیزری ۱۳

۲-۲-۲ پرتوهای محرک یون سبک ۱۵

۲-۲-۳ پرتوهای محرک یون سنگین ۱۵

فصل سوم

بهرهٔ انرژی ساچمه‌ها در محصورسازی لختی ۱۷

۳-۱ پارامتر ρR ۱۷
۳-۲ بستگی بهرهٔ انرژی به پرتوهای محرک ۱۹
۳-۲-۱ نور لیزر ۲۰
۳-۲-۲ پرتوهای یونی ۲۰
۳-۳ بالا بردن بهرهٔ انرژی با طراحی بهتر ساختمان هدف ۲۱
۳-٤ تراکم ساچمه با پرتوهای غیر مستقیم ۲۵

فصل چهارم
معادلات مگنتوهیدرودینامیک(*MHD*) در ساچمهٔ متراکم شده ۲۸

٤-۱ معادلات مگنتوهیدرودینامیک(*MHD*) ۲۸
٤-۲ معادلات *MHD* در نقطهٔ داغ ۳۲
٤-۳ هدایت گرمایی الکترونها ۳۲
٤-٤ تابش ترمزی ۳٤
٤-۵ خود گرمایش نقطهٔ داغ توسط ذرات آلفا وموازنهٔ آن با انرژی که ازدست رفته ۳٤
٤-٦ آهنگ واکنش و معادلات هیدرودینامیکی ۳٦
٤-۷ حل تحلیلی یک ساچمهٔ متراکم شده با استفاده از معادلات هیدردینامیکی ۳۷
٤-۸ یک نمونهٔ دیگر از تحلیل ساچمهٔ متراکم شده ٤۱

فصل پنجم
گسسته سازی معادلات *MHD* ٤۳
۵-۱ چارچوب سلولها و حرکت سیال ٤٤
۵-۲ شکل گسسته سازی شدهٔ معادلهٔ پیوستگی ٤۵
۵-۳ معادلات *MHD* ٤۷
۵-٤ حل یک بعدی معادلات جفت شدهٔ هیدرودینامیکی ٤۸

فصل ششم
بررسی رفتار کمیتهای فیزیکی در ساچمهٔ متراکم شده ٤۹

٦-١ شرایط مهم در اشتعال ساچمه..... ٥٠
٦-٢ پیش‌روی اشتعال مرکزی..... ٥٢
٦-٣ مرحلهٔ پایانی اشتعال سوخت..... ٥٩
٦-٤ شارش انرژی..... ٦٢
٦-٥ بهرهٔ انرژی حاصل از ساچمهٔ مورد مطالعه..... ٦٢
نتیجه‌گیری و پیشنهادات..... ٦٦
پیوست-الف..... ٦٧
پیوست-ب..... ٧٠
مراجع..... ٧٣

چکیده

ساچمه‌های سوخت $D-T$ که با پرتوهای یون سنگین متراکم می‌گردند، در طراحی بـه روش لختی (ICF) حائز اهمیت هستند. با به‌کار بردن ساچمه‌های چهار لایـه‌ای بـا جرم‌هـای مناسـب و اسـتفاده از روش اشـتعال جرقـه‌ای بـهرهٔ انـرژی بـالایی به‌دسـت می‌آیـد. از کـاربرد معـادلات هیدرودینامیکی وابسته به زمان یک بعدی در شرایط بهینه، بهرهٔ انرژی بیش‌از ٤٠٠ حاصل می‌شـود. مشاهده می‌شود که بهرهٔ ساچمه به‌طور قوی به نسبت اندازهٔ شعاع نقطهٔ داغ به شعاع اولیهٔ ساچمـه وابستگی دارد. اثر پیش‌گرمی توسط تابش‌ها و الکترون‌های داغ کمتر از ۱۵٪ انرژی کـل آزاد شـده به‌وسیلهٔ تابش‌ها می‌باشد.

فصل اول

همجوشی و محصورسازی پلاسما

۱-۱ مقدمه

مطالعه در خصوص تبدیل انرژی و در اختیار گرفتن آن برای مصرف در زندگی روزمره از دیر باز مورد توجه بشر بوده است. انرژی که از منابع فسیلی بصورت گرما ظاهر می‌شود یکی از منابع تبدیل انرژی در زندگی انسان بوده‌است. توسعهٔ تکنولوژی برای زندگی راحت‌تر، موجب بالا رفتن مصرف انرژی شده است و اینک در قرن اخیر منابع فسیلی جوابگوی نیاز روزافزون انسان نیست. پیشرفت علم فیزیک و پیدایش فیزیک نوین منابع جدیدی از انرژی را در اختیار انسان قرار داده است. $E = mc^2$ رابطه‌ای است که انیشتن در سال ۱۹۱۵ به آن دست یافت و نشان داد که ماده وانرژی صورتهایی از یکدیگر هستند و می‌توانند به یکدیگر تبدیل شوند. در اثر شکافته شدن یک هستهٔ سنگین یا جوش‌خوردن دو هستهٔ سبک به یکدیگر مقداری ماده به انرژی تبدیل می شود که به آن انرژی هسته‌ای گفته می‌شود.

برای بهره‌برداری از انرژی هسته‌ای نیاز به ساخت راکتورهایی است که در آن برهم‌کنش‌های هسته‌ای به راحتی بتواند انجام شود. راکتورهای شکافت زودتر ساخته شدند واین به خاطر آسانتر بودن انجام واکنش شکافت نسبت به عمل همجوشی بوده‌است. برخورد یک نوترون با انرژی مناسب به یک هستهٔ اورانیم باعث شکافت آن به دو هستهٔ سبکتر نسبت به اتم مادر ، تولید چند

نوترون و حدود MeV ۲۰۰ انرژی خواهد شد[۱]. این نوترونهای جدید، می‌توانند باعث شکافتهای دیگری شوند و این عمل می‌تواند به صورت زنجیروار تکرار شود. لذا ساخت راکتورهای شکافت بر پایهٔکنترل این عمل استوار بوده وبه سرعت مورد بهره‌برداری قرار گرفت. برهم‌کنش همجوشی در اثر برخورد هسته‌های سبکتر به‌یکدیگر و تولید هسته‌های سنگین‌تر به همراه مقداری انرژی انجام می‌شود. فراهم‌نمودن شرایط انجام چنین برهم‌کنشی مستلزم ساخت راکتورهایی است که در آن هسته‌های اولیه را شتابدار ساخته تا در اثر برخورد، عمل همجوشی انجام شود. نیاز به مصرف انرژی اولیه در این نوع راکتورها موجب تحقیقات گسترده‌تر و پیچیده‌تری شده که باعث به کارگیری روشهای متفاوتی برای راه‌اندازی راکتورهای همجوشی شده است. در هر کدام از این روشها تلاش می‌شود تا انرژی خروجی راکتور را نسبت به انرژی ورودی بالا ببرند.

۱-۲. پلاسما[۱]

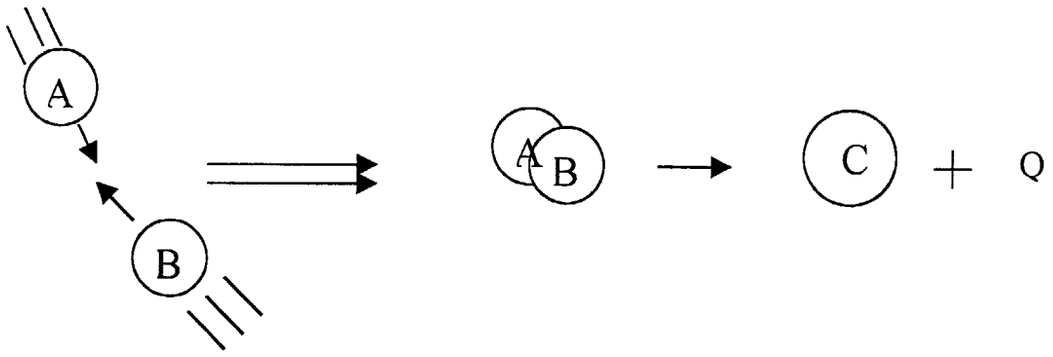
محیط گازی شکل که در آن تمامی اتمها یونیزه شده باشد (بصورتی که از هسته‌های آزاد با بار مثبت والکترونهای آزاد با بار منفی تشکیل شده باشد)پلاسما می‌گویند. دمای یونش گاز به اتمهای تشکیل دهندهٔ آن بستگی دارد.تقریباً تمامی گازها در دمایی بیش از $^{6}10$ کلوین پلاسما خواهند بود[۲]. انجام واکنشهای همجوشی نیاز به محیط پلاسما دارد تا ذرات با کسب انرژی کافی در اثر برخورد با یکدیگر وارد واکنش گداخت شوند.

برای تشکیل پلاسما و مهار آن احتیاج به فن‌آوری پیشرفته است، چرا که پلاسما با آن دمای بالا را نمی‌توان در ظرفی از جنس فلز یا هر مادهٔ دیگری محبوس نمود. تاکنون پلاسما به دو صورت مهار شده است. در یک روش از میدانهای مغناطیسی استفاده می شود. با این روش می‌توان پلاسما را تا حدود دقیقه پایدار نگاه داشت. در روش دیگر، با استفاده از تراکم، که با به کار بردن تپ‌های لیزری قوی یا یونهای شتابدار حاصل می‌شود، پلاسما به مدت چند نانو ثانیه تشکیل می‌شود. این دو روش به ترتیب به محصورسازی مغناطیسی ولختی معروف هستند.

۱.Plasma

۱-۳. گداخت هسته‌ای

گداخت هسته‌ای در صورتی انجام می‌شود که دو هستهٔ سبک با یکدیگر برخورد کنند ودر نتیجهٔ این برخورد یک هستهٔ سنگین ومقداری انرژی آزاد شود. انرژی آزاد شده در اثر از بین رفتن مقداری ماده حاصل می‌شود .شکل(۱-۱) شمایی از این فرایند را نشان می‌دهد.



شکل۱-۱ برخورد دو یون با یکدیگر که موجب عمل همجوشی می‌شود

در انجام برهم‌کنش گداخت سرعت نسبی بین یونهای برخورد کننده باید به اندازه‌ای باشد تا یونها از سد کولنی یکدیگر بگذرند. هرچه سد کولنی بین هسته‌ها قوی‌تر باشد، لازم است که سرعت نسبی بین آنها نیز بیشتر باشد. اتمهای با جرم اتمی کمتر به علت کوچک‌تر بودن سد کولنی بین آنها برای این کار بهتر خواهندبود و انرژی لازم برای شتاب دادن به آنها نیز کمتر خواهد بود. اتم هیدروژن سبکترین اتمی است که با پایین‌ترین آستانهٔ انرژی، عمل همجوشی بین هسته‌های آن می‌تواند آسانتر از سایر عناصر انجام شود.

۱-۴. آهنگ واکنش و سوختهای همجوشی

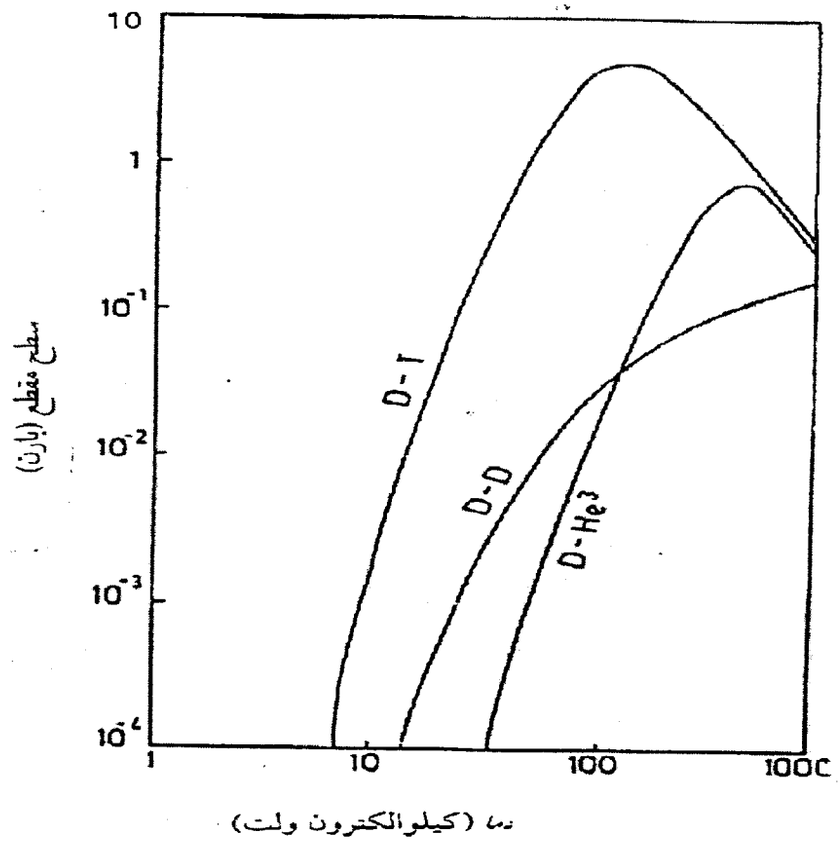
با وجود این‌که اتم هیدروژن از آستانهٔ انرژی پایینی نسبت به سایر عناصر برخوردار است، از این عنصر به عنوان سوخت استفاده نمی‌شود. چون سطح مقطع[۳] برخورد بین هسته‌های هیدروژن کم

۲.Cross Section

است، در حجم کوچکی از پلاسما احتمال برخورد بین آنها کوچک است. دو ایزتوپ هیدروژنی یعنی دوتریم وتریتیم با آستانهٔ انرژی برابر اتم هیدروژن ولی با سطح مقطع برخورد نسبتاً بزرگتری است. ساخت راکتوری که بتواند از عناصر فوق به عنوان سوخت استفاده کند امکان‌پذیر است. دمای لازم برای همجوشی این سوخت در حدود $۱۰Kev$ می‌باشد. متوسط حاصلضرب سطح مقطع برخورد بین یونها درسرعت نسبی آنها (پارامتر $\langle \sigma v \rangle$) ضربدر تعداد یونهای سوخت در واحد حجم را آهنگ واکنش می‌گویند. رابطهٔ آهنگ واکنش از قرار زیر است[۲و۳].

$$R = n_A n_B \langle \sigma v \rangle \qquad (۱-۱)$$

در اینجا n_A و n_B تعداد یونهای A (مثل تریتیم) و B (مثل دوتریم) در واحد حجم هستند که به عنوان سوخت مورد استفاده قرار می‌گیرند. سطح مقطع برخورد همجوشی بین چند عنصر معروف در شکل ۱-۲آمده است.



شکل ۱-۲ سطح مقطع برخورد برای سه سوخت از نوع اول و دوم بر حسب دما

در شکل بالا $D\text{-}T$ (دوتریم ـ تریتیم) به عنوان سوخت نوع اول و$D\text{-}D$ (دوتریم ـ دوتریم)و $D-{}^{3}He$ (دوتریم ـ هلیم سه) به عنوان سوخت نوع دوم شناخته شده‌اند. در اثر برخورد بین یونهای دوتریم وترتیم واکنش همجوشی مطابق زیر انجام می‌شود:

$$T + D \rightarrow {}^{4}He + n + ۱۷ / ۶ MeV \qquad (۲-۱)$$

این برهم‌کنش در دمایی برابر Kev ۱۰ به سرعت انجام می‌شود. در مقایسهٔ سطح مقطعهای بین دو نوع سوخت $D-D$ ، $D-{}^{3}He$وسوخت $D-T$ دیده می‌شود که فراهم نمودن شرایط همجوشی برای این دو نوع سوخت به ترتیب احتیاج به دمایی بیش ازKev ۵۰و Kev۱۰۰ است. لذا ساخت راکتورهایی که بتوانند به طور مستقیم از هر یک از این دو نوع سوخت استفاده کنند امکان پذیر نیست. ولی در کنار سوخت نوع اول می‌توان با بالا بردن دما (از طریق سوخت $D\text{-}T$)از آنها استفاده کرد. واکنشهای همجوشی بین $D-D$ و $D-{}^{3}He$ به صورت زیر می‌باشد[۳].

$$D + D \rightarrow \begin{cases} p + T + ۴/۱ MeV \\ n + {}^{3}He + ۳/۲ MeV \end{cases} \qquad (۳-۱)$$

$$D + {}^{3}He \rightarrow p + {}^{4}He + ۱۸/۳ MeV \qquad (٤-۱)$$

۱-۵. روشهای محصورسازی پلاسما

الف-محصورسازی به روش مغناطیسی
ب-روش کاتالیزور میونی
ج-محصورسازی به روش لختی

۱-۵-۱. محصورسازی به روش مغناطیسی

استفاده از میدانهای مغناطیسی اساس تشکیل پلاسمای گرم می‌باشد. چرخش ذرات باردار حول خطوط میدان مغناطیسی می‌تواند موجب به دام افتادن ذرات باردار شود. در این صورت پلاسما به شکل ابر در اطراف خطوط میدان ظاهر می‌شود. در زمان تشکیل پلاسما به علت بالا بودن دمای آن