



دانشگاه اصفهان
دانشکده علوم و فناوری‌های نوین
گروه مهندسی هسته‌ای

پایان نامه‌ی کارشناسی ارشد رشته‌ی مهندسی هسته‌ای گرایش گداخت هسته‌ای

شبه‌سازی و اندازه‌گیری فوتونوترون‌های توکامک دماوند

استادان راهنما:

دکتر محمدرضا عبدی

دکتر یحیی صادقی

استادان مشاور:

مهندس چاپار رسولی

مهندس بابک شیرانی

پژوهشگر:

محمد فروزش

مهر ماه ۱۳۹۱

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



دانشگاه اصفهان
دانشکده علوم و فناوری‌های نوین
گروه مهندسی هسته‌ای

پایان نامه‌ی کارشناسی ارشد رشته‌ی مهندسی هسته‌ای گرایش گداخت هسته‌ای
آقای محمد فروزش تحت عنوان

شبیه‌سازی و اندازه‌گیری فوتونوترون‌های توکامک دماوند

در تاریخ ۱۳۹۱/ / توسط هیأت داوران زیر بررسی و با درجه عالی به تصویب نهایی رسید.

- ۱- استاد راهنمای پایان نامه دکتر محمدرضا عبدی با مرتبه‌ی علمی استادیار امضا
- ۲- استاد راهنمای پایان نامه دکتر یحیی صادقی با مرتبه‌ی علمی استادیار امضا
- ۳- استاد مشاور پایان نامه مهندس بابک شیرانی با مرتبه‌ی علمی مربی امضا
- ۴- استاد مشاور پایان نامه مهندس چاپار رسولی با مرتبه‌ی علمی مربی امضا
- ۵- استاد داور داخل گروه دکتر خدیجه رضایی با مرتبه‌ی علمی استادیار امضا
- ۶- استاد داور خارج از گروه دکتر بهزاد تیموری با مرتبه‌ی علمی استادیار امضا

امضای مدیر گروه

سپاس‌گزاری

خداوند بزرگ را به خاطر نعمت‌های بی‌شماری که به من عطا نموده شکر می‌گویم.

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

از تمامی اساتید گرامی گروه مهندسی هسته‌ای دانشگاه اصفهان، بالاخص اساتید محترم جناب آقای دکتر محمدرضا عبدی و جناب آقای بابک شیرانی که با راهنمایی‌های ارزنده‌شان اینجانب را در پیشبرد اهداف و فراگیری علم یاری نموده‌اند تشکر می‌کنم.

از زحمات و راهنمایی‌های بی‌دریغ و دلسوزانه اساتید محترم مهندس چاپار رسولی و جناب دکتر یحیی صادقی همه اعضای آزمایشگاه توکامک دماوند کمال تشکر را دارم.

تقدیم به

پدر و مادر عزیزم

و

همه آنهایی که دوستشان دارم

چکیده

در این پایان‌نامه، تابش‌های ترمزی ناشی از برخورد الکترون‌های فراری به محفظه توکامک و فوتونوترون‌های تولیدی از برهمکنش این فوتون‌های ایکس با گاز دوتریم درون محفظه اندازه‌گیری و شبیه‌سازی شد. ابتدا با استفاده از نرم‌افزار MCNP فرآیندهای مربوط به برخورد الکترون‌های فراری با محفظه توکامک و تولید پرتوی ایکس ترمزی و فوتونوترون‌ها به‌عنوان پرتوهای ثانویه و به‌دلیل برهمکنش فوتون‌های ایکس با گاز دوتریم درون محفظه تولید می‌شوند، شبیه‌سازی شد. نتایج حاصل از شبیه‌سازی با نتایج آزمایش‌ها مقایسه شد. در شبیه‌سازی ابتدا هندسه توکامک با جزئیات کامل تعریف شد، سپس شبیه‌ترین چشمه برای الکترون‌ها انتخاب شد. با استفاده از نرم‌افزار شار و طیف انرژی پرتوی ایکس و فوتونوترون را به ازای یک الکترون به‌دست آمد. خروجی نرم‌افزار شار بالای ایکس یعنی در حدود $4/2356 \times 10^{-1}$ برای کل فوتون پرتوی ایکس خارج شده از توکامک به ازای یک الکترون فراری برخوردی با دیواره و پرتوهای رسیده به محل آشکارساز به قطر ۱ اینچ ($0/5m$ توکامک) $1/33 \times 10^{-5}$ فوتون نشان داد. همچنین شار نزدیک به صفر یعنی حدود 10^{-17} فوتونوترون به ازای یک الکترون فراری را برای توکامک دماوند محاسبه کرد. تعداد الکترون‌های فراری از در توکامک دماوند در حدود 10^{14} - 10^{15} عدد است. در مرحله دوم آزمایش‌های آشکارسازی ایکس و نوترون انجام شد. با استفاده از آشکارساز سوسوزن NaI طیف انرژی پرتوهای توکامک دماوند به‌دست آمد. برای شمارش فوتونوترون‌ها از روش فعال‌سازی و رد هسته‌ای استفاده شد. نتایج به‌دست آمده از هر دو آشکارساز نشان داد که فوتونوترون‌های توکامک دماوند در صفر و یا در حد زمینه است. همچنین آزمایش‌ها نتایج حاصل از شبیه‌سازی را کاملاً تایید می‌کنند. عدم تولید نوترون در توکامک دماوند به این امکان را می‌دهد که بدون نگرانی از تولید نوترون و بدون نیاز به ساخت حفاظ نوترون، تحقیقات برای پلاسمای دوتریم در توکامک دماوند انجام شود.

واژه‌های کلیدی: گداخت، توکامک، فوتونوترون، مونت‌کارلو

فهرست مطالب

صفحه

عنوان

فصل اول: همجوئی هسته‌ای

۱	۱،۱ مقدمه
۴	۱،۲ واکنش‌های گداخت
۷	۱،۳ محصور سازی لختی (ICF)
۹	۱،۴ محصور سازی مغناطیس (MCF)
۱۱	۱،۵ معیار لاوسن

فصل دوم: معرفی توکامک دماوند

۱۴	۲،۱ مقدمه
۱۷	۲،۲ راکتور توکامک
۱۹	۲،۲،۱ تحقیقات توکامک
۲۱	۲،۳ توکامک دماوند
۲۱	۲،۳،۱ ساختار کلی
۲۲	۲،۳،۲ تفاوت بین توکامک TVD و دماوند
۲۳	۲،۳،۳ میدان‌های محصور کننده اصلی
۲۵	۲،۳،۴ سیستم گرمایش پلاسمای توکامک
۲۵	۲،۳،۵ کویل‌های قطبی
۲۷	۲،۳،۶ حلقه‌های غیر فعال توکامک دماوند
۲۷	۲،۳،۷ محدود کننده در توکامک دماوند
۲۷	۲،۳،۸ محفظه خلأ
۲۸	۲،۳،۹ سیستم خنک کننده در توکامک دماوند
۲۸	۲،۳،۱۰ سیستم تخلیه
۲۹	۲،۳،۱۱ سیستم دمش گاز
۲۹	۲،۳،۱۲ سیستم مقدماتی یونش گاز
۲۹	۲،۳،۱۳ تابش تخلیه
۳۰	۲،۳،۱۴ سیستم پس خوران
۳۰	۲،۳،۱۵ ابزارهای تشخیص توکامک دماوند
۳۷	۲،۴ الکترون‌های فراری در توکامک دماوند

۲،۴،۱	تعریف	۳۷
۲،۴،۲	نظریه اصلی تولید الکترون‌های فراری	۳۷
۲،۴،۳	تولید الکترون فراری در آزمایشگاه	۳۱
۲،۵	نظریه الکترون‌های فراری	۳۹
۲،۵،۱	مکانی‌زم‌های تولید الکترون‌های فراری	۳۹
۲،۵،۲	محدوده و توزیع انرژی	۴۲
۲،۶	حد انرژی الکترون‌های فراری در توکامک دماوند	۴۳
۲،۷	واکنش فوتونوترون	۴۷

فصل سوم: شبیه سازی کامپیوتری برهم‌کنش‌های الکترون‌های فراری و تابش‌های

تولیدی با استفاده از نرم‌افزار MCNP

۳،۱	مقدمه	۵۰
۳،۲	تعریف هندسه	۵۱
۳،۲،۱	محفظه خلأ	۵۱
۳،۲،۲	پنجره‌های توکامک	۵۳
۳،۲،۳	کویل‌های قطبی	۵۷
۳،۲،۴	کویل‌های چنبرهای و محدودکننده	۵۹
۳،۲،۵	سیم پیچ مرکزی	۶۱
۳،۲،۶	محدوده پلازما	۶۲
۳،۲،۷	فضای خلأ	۶۳
۳،۳	تعریف چشمه	۶۳
۳،۴	نتایج حاصل از اجرای برنامه	۶۴

فصل چهارم: آزمایش‌های اندازه‌گیری ایکس و نوتورون توکامک دماوند

۴،۱	طیف سنجی اشعه ایکس با استفاده آشکارساز سوسوزن NAI	۶۸
۴،۲	شمارش فوتونوترون‌ها با استفاده از روش فعال سازی	۷۰
۴،۲،۱	نتایج آشکارسازی فعال سازی	۷۳
۴،۳	شمارش فوتونوترون‌ها با استفاده از آشکارساز رد هسته‌ای	۷۴
۴،۳،۱	آزمایش	۷۵
۴،۴	بررسی اثر تابش یون‌های آرگون بر انرژی بر روی سطح فولاد ۳۰۴	۷۶

صفحه	عنوان
۷۷	۴،۴،۱ آزمایش

فصل پنجم: بحث و نتیجه گیری

۸۰	۵،۱ مقدمه
۸۰	۵،۲ طیف سنجی پرتوی ایکس
۸۱	۵،۳ شار فوتونوترون
۸۴	پیشنهادها
۸۵	پیوست
۹۳	مراجع

فهرست شکل‌ها

عنوان	صفحه
شکل ۱-۱: تغییرات انرژی بستگی بر نوکلئون بر حسب عدد جرمی	۲
شکل ۱-۲: نمایش همجوشی پروتون در ستارگان و خورشید	۳
شکل ۱-۳: تغییرات انرژی پتانسیل بر حسب فاصله هسته‌ای	۵
شکل ۱-۴: سطح مقطع برای واکنش D-T, D-D	۵
شکل ۱-۵: ساچمه سوخت مورد استفاده در ICF	۸
شکل ۱-۶: مراحل مختلف گداخت با روش محصور سازی لختی	۸
شکل ۱-۷: خطوط میدان مغناطیسی و مسیر یون تحت تأثیر آینه مغناطیسی	۱۰
شکل ۱-۸: میدان مغناطیسی چنبره‌ای (B_T) و میدان مغناطیسی قطبی (B_P) و میدان مغناطیسی برآیند	۱۱
شکل ۱-۹: انرژی ورودی و خروجی در راکتور گداخت برای محاسبه معیار لاوسن	۱۲
شکل ۱-۱۰: نمودار NT_E نسبت به T (دما)	۱۳
شکل ۲-۱: (الف) میدان مغناطیسی چنبره‌های B_Φ ، میدان مغناطیسی قطبی B_P ناشی از جریان چنبره‌های I_Φ (ب) ترکیب میدان‌های B_P و B_Φ ، منجر به پیچش خطوط میدان به دور پلازما می‌شود.	۱۴
شکل ۲-۲: (الف) میدان چنبره‌های ناشی از جریان کویل‌های خارجی (ب) آرایش کویل‌های موجود در توکامک	۱۵
شکل ۲-۳: ترانسفورماتور به‌عنوان سیم پیچ اولیه به منظور تغییر شار توکامک	۱۶
شکل ۲-۴: جداسازی پلازما از محفظه خلأ توسط (الف) منحرف‌کننده (ب) محدودکننده	۱۷
شکل ۲-۵: اجزای اصلی در طراحی توکامک	۱۷
شکل ۲-۶: نمایشی از تبدیل توان حاصل از گداخت جذب شده در پوشش با استفاده از سیستم‌های متداول در نیروگاه‌ها به توان الکتریکی تبدیل می‌شود	۱۸
شکل ۲-۷: مقطع توکامک دماوند و اجزاء آن	۲۳
شکل ۲-۸: نمای از بالا از دماوند به همراه کویل‌های مغناطیسی	۲۴
شکل ۲-۹: نمای شماتیک از توکامک دماوند	۲۶
شکل ۲-۱۰: نمایی از حلقه‌های انفعالی توکامک	۲۷
شکل ۲-۱۱: نمایی از اندازه‌گیرهای الکترومغناطیس	۳۲
شکل ۲-۱۲: گرادیان میدان مغناطیسی در فضای بین سیم پیچ‌ها	۴۶
شکل ۲-۱۳: وابستگی سطح مقطع تولید فوتونوترون به انرژی برای دوتریم، برلیوم و لیتیم طبیعی	۴۹

عنوان	صفحه
شکل ۳-۱: سطح مقطع توکامک دماوند به همراه سایر اجزاء آن	۵۱
شکل ۳-۲: شماتیک سطح مقطع توکامک دماوند	۵۲
شکل ۳-۳: خروجی MCNP با کد تعریف شده برای محفظه	۵۳
شکل ۳-۴: سطح مقطع محفظه خلأ به همراه پنجره‌های توکامک دماوند	۵۴
شکل ۳-۵: تصویر پنجره استوایی و مایل (۱) و افقی (۲) توکامک دماوند	۵۵
شکل ۳-۶: خروجی هندسی MCNP، نمایی از محفظه خلأ به همراه پنجره‌ها	۵۶
شکل ۳-۷: تصویری از خروجی هندسی MCNP برای پنجره استوانه‌ای	۵۶
شکل ۳-۸: سیم پیچ‌های میدان قطبی و چنبرهای توکامک دماوند	۵۷
شکل ۳-۹: سیم پیچ قطبی توکامک دماوند	۵۸
شکل ۳-۱۰: خروجی MCNP وقتی کویل‌های قطبی اضافه شد	۵۸
شکل ۳-۱۱: محفظه خلأ و کویل‌های چنبرهای توکامک دماوند	۵۹
شکل ۳-۱۲: شکلی از محدودکننده و سیم پیچ‌های قطبی و چنبرهای	۶۰
شکل ۳-۱۳: خروجی هندسی MCNP، که در کویل‌های چنبرهای در آن مشخص است	۶۰
شکل ۳-۱۴: خروجی هندسی MCNP که در آن محدودکننده اضافه شده است	۶۱
شکل ۳-۱۵: خروجی هندسی MCNP که در آن سیم پیچ مرکزی مشخص است	۶۲
شکل ۳-۱۶: خروجی هندسی MCNP که در آن سیم پیچ مرکزی مشخص است	۶۳
شکل ۳-۱۷: محل شروع ترابرد الکترون‌ها و جهت حرکت آن‌ها در کد تعریف شده برای مسئله	۶۴
شکل ۳-۱۸: خروجی MCNP که جریان کل پرتوی ایکس تولید شده بر اثر برخورد الکترون‌ها با دیواره توکامک (۱) ترسیم ستونی (۲) ترسیم نقطه‌ای	۶۵
شکل ۳-۱۹: خروجی MCNP که تعداد پرتوی ایکس رسیده در محل آشکارساز	۶۶
شکل ۳-۲۰: طیف انرژی فوتون‌ترونی تولیدی بر اثر برخورد پرتوی ایکس به گاز درون محفظه (۱) ترسیم ستونی (۲) ترسیم نقطه‌ای	۶۷
شکل ۴-۱: طرز قرارگیری مجموعه آشکارسازی NAI	۶۹
شکل ۴-۲: طیف انرژی اشعه ایکس تابش شده در محل آشکارساز	۷۰
شکل ۴-۳: نقشه پلی اتیلن مورد استفاده به عنوان کندکننده	۷۱
شکل ۴-۴: استوانه پلی اتیلن، آشکارساز گایگر، ورقه نقره و اتصال خروجی گایگر	۷۱
شکل ۴-۵: محل قرارگیری آشکارسازهای فعال سازی	۷۲

عنوان	صفحه
شکل ۴-۶: تصویر میکروسکوپی از ورقه CR-39 که تحت تابش قرار نگرفته است	۷۵
شکل ۴-۷: تصویر میکروسکوپی از ورقه CR-39 بعد از ۲۰ بار تابشدهی با توکامک دماوند	۷۶
شکل ۴-۸: نمودار مشتق جریان متناظر با جریان تخلیه	۷۸
شکل ۴-۹: نمونه‌های فولاد ۳۰۴ پرتو داده شده در فاصله ۵ CM از آند	۷۹
شکل ۴-۱۰: نمونه‌های فولاد ۳۰۴ پرتو داده شده با آرگون	۷۹
شکل ۵-۱: طیف ایکس در توکامک دماوند (۱) شبیه‌سازی (۲) تجربی	۸۰
شکل ۵-۲: نتیجه شبیه‌سازی MCNP طیف فوتونترون	۸۲
شکل ۵-۳: نتیجه شبیه‌سازی فوتونترون در MCNP برای چشمه تک انرژی	۸۲

فهرست جدول‌ها

عنوان	صفحه
جدول ۱-۳: هسته‌های مهم برای تولید فوتونوترون.....	۴۸
جدول ۱-۴: تعداد شمارش شده توسط آشکارساز با چشمه AM-BE.....	۷۳
جدول ۲-۴: تعداد شمارش شده توسط آشکارساز فعال‌سازی نوترون زمانی که آشکارساز کنار بدنه توکامک و در محل محدودکننده قرار دارد.....	۷۳
جدول ۳-۴: تعداد شمارش شده توسط آشکارساز فعال‌سازی نوترون زمانی که آشکارساز کنار بدنه توکامک و در زاویه ۹۰ درجه از محدودکننده قرار گرفته باشد.....	۷۴
جدول ۴-۴: تعداد شمارش شده توسط آشکارساز فعال‌سازی نوترون زمانی که آشکارساز سمت مقابل محدودکننده و پشت کیسول دوتریم قرار گرفته باشد.....	۷۴

پیشگفتار

توکامک دماوند ایران در سال ۱۳۷۳ از روسیه خریداری شده است. همراه دستگاه توکامک یک کتابچه‌ای به ایران تحویل دادند، این کتابچه حاوی یکسری اطلاعات و آزمایش‌های انجام شده توکامک است. در آخر این کتابچه نوشته شده که فوتونوترون‌های توکامک دماوند آشکار شده و میزان فوتونوترون‌ها خوب است و هیچ گونه اطلاعات دیگر مانند شار و طیف فوتونوترون‌ها داده نشده. از این رو تصمیم گرفته شد در قالب این پایان‌نامه شار و طیف فوتونوترون‌ها به دست آورده شود

در فصل اول، اصول همجویشی هسته‌ای و انواع محصورسازی‌های گداخت توضیح داده خواهد. فصل دوم، خلاصه مختصری در مورد توکامک‌ها ارائه شد و در ادامه توکامک دماوند و اجزاء مهم آن معرفی می‌گردد. در فصل سوم به الکترون‌های فراری و نظریه تولید الکترون‌های فراری و محدوده انرژی آن‌ها اختصاص داشت و در ادامه الکترون‌های فراری توکامک دماوند و تابش‌های ایکس و فوتونوترون‌های توکامک دماوند بررسی شد. فصل چهارم این پایان‌نامه مربوط به شبیه‌سازی تولید پرتوهای ترمزی و فوتونوترون‌های توکامک دماوند با استفاده از نرم افزار MCNP است. در فصل آخر آزمایش‌ها انجام شده برای آشکارسازی ایکس و نوترون و نتایج بیان می‌گردد.

فصل اول

همجوشی هسته‌ای

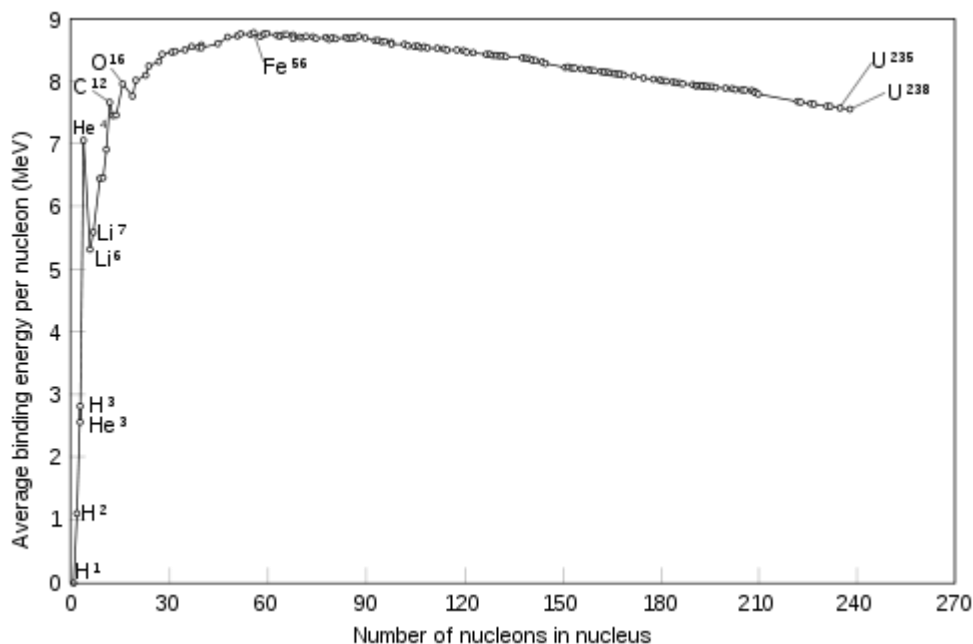
۱،۱ مقدمه

انرژی یکی از مهم‌ترین نیازهای انسان است و از ابتدای خلقت، بشر همواره به دنبال یافتن منابعی به منظور تأمین این نیاز بوده است. جمعیت انسان در حال افزایش و متناسب با آن نیاز انسان به انرژی افزایش می‌یابد. در نظر گرفتن رشد سریع جمعیت و عوامل تأثیر گذار روی افزایش مصرف سرانه انرژی، بشر را وادار کرده است که همواره به دنبال یافتن منابع پایان ناپذیر انرژی باشد.

از نظر تاریخی چوب اولین منبع انرژی بشر را تشکیل می‌داده است. در حقیقت امروزه در بسیاری از نقاط جهان هنوز هم چوب یکی از منابع اصلی تولید انرژی است. در حدود سال‌های ۱۸۰۰ میلادی سوخت‌های فسیلی جانشین چوب گردید. در ابتدا زغال سنگ بیش‌ترین استفاده را برای تولید انرژی داشته است ولی امروزه جای خود را به نفت داده است. در عصر حاضر بشر به منظور پاسخ گویی به خواسته‌های بسیار زیاد، به دنبال منابع مختلف انرژی هست. منابع انرژی که در حال حاضر در دسترس بشر هست عبارتند از: سوخت‌های فسیلی، انرژی‌های تجدید پذیر مثل آب و خورشید و باد و غیره، و انرژی هسته‌ای.

سوخت‌های فسیلی علاوه بر منابع محدود و رو به انتهای آن‌های آن‌ها در طبیعت، از جهت داشتن پسماند زیان آور یک تهدید جدی برای محیط زیست به‌شمار می‌روند [۱]. منابع تجدید پذیر دارای محدودیت‌های از جهت جغرافیایی و شرایط آب و هوایی و توان خروجی هستند. زمانی فرا خواهد رسید که تمام سوخت‌های فسیلی مورد استفاده قرار گرفته شده باشند و انرژی فقط از سایر منابع و سوخت‌های هسته‌ای به بیاید.

دستیابی به انرژی سالم و پایدار از جمله مسایلی است جهان امروز به آن می‌اندیشد. یافتن روش‌های جدید در این زمینه، رقابت‌های شدیدی بین کشورهای پیشرفته دنیا ایجاد کرده است. با پیشرفت علم فیزیک هسته‌ای در اوایل قرن بیستم، توجه انسان به واکنش هسته‌ای به عنوان منبع عظیم انرژی جلب شده و با مطالعات بر روی منحنی انرژی بستگی به ازای هر نوکلئون بر حسب عدد جرمی (شکل ۱-۱) دو راه پیشنهاد گردید. طرفداران انرژی هسته‌ای روی هر یک از این دو راه مطالعات و تحقیقات خود را انجام داده و می‌دهند که عبارتند از شکافت هسته سنگین و دیگری همجوشی هسته‌های سبک.



شکل ۱-۱: تغییر انرژی بستگی بر نوکلئون بر حسب عدد جرمی

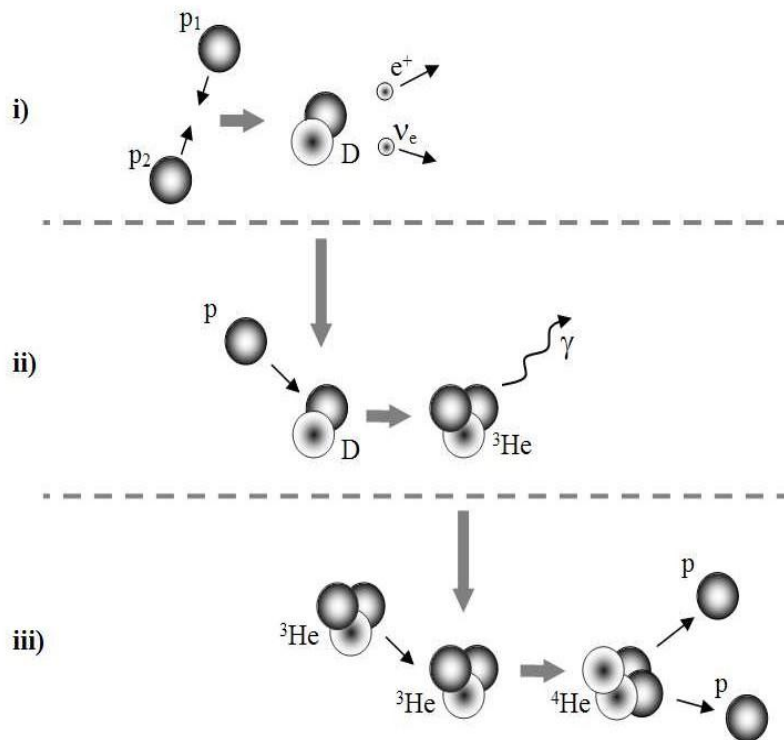
یکی از روش‌های تولید انرژی تبدیل ماده به انرژی است. توصیف اینکه ماده می‌تواند به انرژی تبدیل شود اولین بار توسط انیشتین در سال ۱۹۰۵ ارائه شد [۲]. پس از کشف نوترون توسط چادویک در سال ۱۹۳۲ [۳]، تحقیقات گسترده‌ای روی فرآیند شکافت هسته‌ای صورت گرفت و اولین راکتور شکافت در سال ۱۹۳۴ ساخته شد [۴]. به این ترتیب استفاده از راکتورهای شکافت برای دستیابی به انرژی بالا با هزینه کمتر مرسوم گردید. در سال ۱۹۳۹، بت^۱ دریافت که انرژی ستاره‌ها در اثر وقوع واکنش‌های همجوشی هسته‌ای است که در دماهای بالا و چگالی‌های زیاد به وقوع می‌پیوندد [۲]. نمودار انرژی بستگی نشان می‌دهد که هرگاه دو هسته سبک با هم ترکیب شوند و هسته‌هایی با جرم متوسط تولید کنند در این فرآیند انرژی آزاد شده و این پدیده

¹ Bett

همجوشی هسته‌ای نام دارد. اکنون ما می‌دانیم که همجوشی گرما هسته‌ای^۱ واکنش غالب در خورشید و همه ستارگان دیگر است.

اولین برهمکنش گرما هسته‌ای در اول نوامبر ۱۹۵۲ در Eniwetok Atoll هنگامی که ایالات متحده یک طرح همجوشی هسته‌ای را اجرا نمود، به وقوع پیوست. انرژی تولید شده برابر با ۱۰ میلیون تن TNT بود. با بکار بردن یک بمب شکافت به عنوان جرقه آغازین، دما و چگالی مورد نیاز برای شروع واکنش فراهم شد. رسیدن به یک منبع دائمی و قابل کنترل برای همجوشی هسته‌ای واقعاً کار مشکلی است، ولی این هدف در بسیاری از کشورهای جهان به شدت دنبال می‌شود و علت این امر آنست که در بسیاری از دانشمندان، همجوشی را به عنوان منبع تمیز تولید انرژی و توان در آینده می‌دانند.

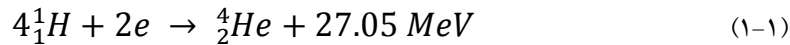
همجوشی پروتون-پروتون (شکل ۱-۲) برای راکتورهای همجوشی زمینی مناسب نیست، زیرا این واکنش به شکل محسوسی کند است و توان آزاد شده از این واکنش در یک نیروگاه زمینی بر خلاف خورشید پایین است [۲].



شکل ۱-۲: نمایش همجوشی پروتون در ستارگان و خورشید [۵]

¹ Thermonuclear Fusion

این امر در ستارگان و خورشید به دلیل چگالی عظیم پروتون‌ها در مرکز آن‌ها موفق است. در این ستارگان بر اساس واکنش زیر به ازای هر چهار پروتون که باهم جوش می‌خورند یک هلیوم تولید می‌شود و $27/05$ مگا الکترون ولت انرژی آزاد می‌شود.

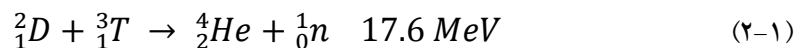


خورشید در هر ثانیه انرژی معادل $4 \times 10^{33} \text{ erg}$ در فضا منتشر می‌کند [۵]. برای تولید این انرژی عظیم در هر ثانیه در خورشید حدود 700 میلیارد کیلوگرم هیدروژن مصرف می‌شود و حدود 695 میلیارد کیلوگرم هلیوم تولید می‌شود [۵].

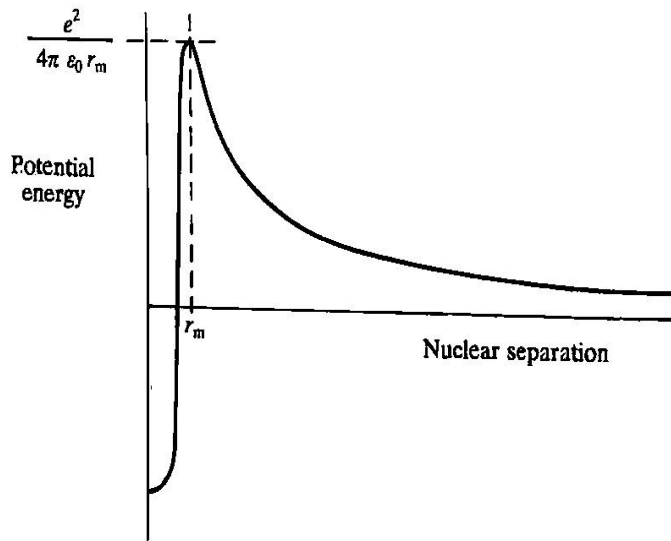
اما در زمین بیشترین تحقیقات بر روی واکنش‌های همجوشی دوتریوم-دوتریوم و دوتریوم-تریوم انجام می‌شود. در پژوهش‌ها و فعالیت‌های همجوشی اخیر، واکنش دوتریوم-تریوم (d-t) به‌عنوان نخستین نسل راکتورهای همجوشی مورد استفاده خواهد شد. درحالی‌که اقیانوس‌های جهان و همچنین دریاچه‌های آب شیرین در بر گیرنده مقدار مناسب دوتریوم هستند، ولی تریتم یک ماده رادیو اکتیو ساطع کننده بتا با طول عمر $12/3$ سال می‌باشد. میزان در حال تعادل تریتم موجود در آب اقیانوس‌ها و در اتمسفر که به‌وسیله پرتوهای کیهانی تولید می‌شود نزدیک به 20 kg است [۱].

۱،۲ واکنش‌های گداخت

تا امروز محتمل‌ترین واکنش گداخت، واکنشی است که در آن هسته‌های دوتریوم و تریتم با هم جوش می‌خورند، و در نتیجه این واکنش یک ذره آلفا تولید می‌شود، یعنی

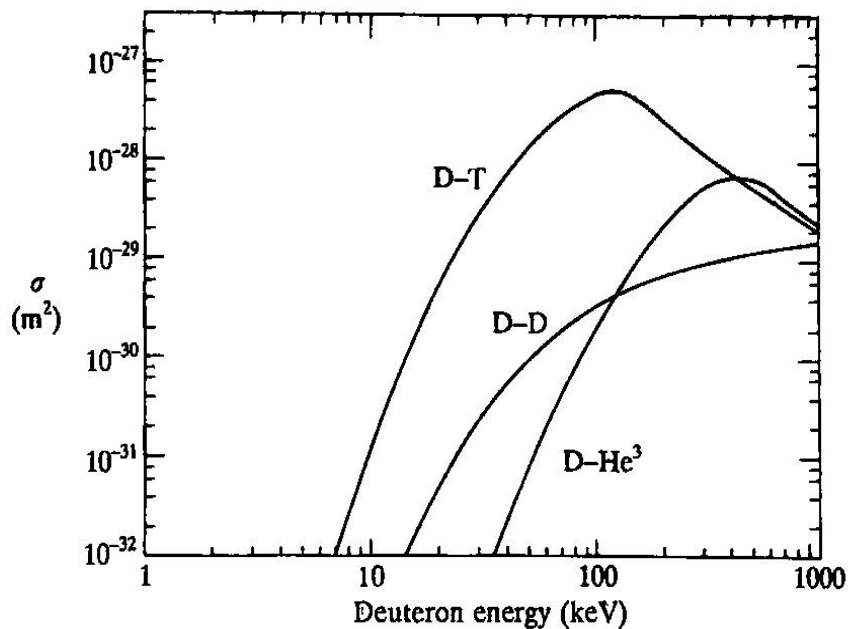


واکنش در اثر برخورد میان ذرات ایجاد می‌شود، بنابراین سطح مقطع آن از اهمیت زیادی برخوردار است. سطح مقطع در انرژی‌های برخورد پایین، کوچک است زیرا سد کولنی از نفوذ هسته‌ها به درون ابعاد هسته‌ای، برای همجوشی ضروری است، جلوگیری می‌کند. در شکل زیر رابطه انرژی پتانسیل با فاصله از هسته نشان داده شده است.



شکل ۱-۳: تغییرات انرژی پتانسیل بر حسب فاصله هسته ای [۶]

وقوع گداخت D-T در انرژی‌های کمتر از مقدار انرژی لازم جهت غلبه بر سد کولنی، با توجه به پدیده تونل زنی مکانیک کوانتومی نیز امکان‌پذیر است. شکل (۱-۴) سطح قطع واکنش گداخت را نشان می‌دهد، مطابق این شکل، سطح مقطع در انرژی‌های نزدیک به ۱۰۰ KeV به بیشینه مقدار خود می‌رسد.



شکل ۱-۴: سطح مقطع برای واکنش D-D، D-T و D-He نشان داده شده است. هر دو صورت واکنش D-
D سطح مقطع یکسان دارند و در نمودار مجموع آن‌ها نشان داده شده