

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

دانشگاه یزد

دانشکده فیزیک

گروه اتمی و مولکولی

پایان نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد

فیزیک اتمی و مولکولی

بررسی ناپایداری ریلی تیلور در همجوشی محصورشدگی لختی

استاد راهنما:

دکتر مهدی شریفیان - دکتر لیلا غلامزاده

استاد مشاور:

دکتر عباس بهجت

پژوهش و نگارش:

زهرا اسدی

شهریورماه ۹۳

کلیه حقوق مادی و معنوی مترتب بر نتایج مطالعات، ابتکارات و نوآوری‌های ناشی از تحقیق این پایان‌نامه متعلق به دانشگاه یزد است و هر گونه استفاده از نتایج علمی و عملی از این پایان‌نامه برای تولید دانش فنی، ثبت اختراع، ثبت اثر بدیع هنری، هم‌چنین تایپ و تکثیر، نسخه برداری، ترجمه و اقتباس و ارائه مقاله در سمینارها و مجلات علمی از این پایان‌نامه منوط به موافقت کتبی دانشگاه یزد است.

پدر و مادر عزیزم

به پاس تعبیر عظیم و انسانی‌شان از کلمه ایثار و از خود گذشتگی

آنان که بودنشان تاج افتخاری است بر سرم و نامشان دلیلی است بر بودنم

آنان که نفس خیرشان و دعای روح پرورشان بدرقه ی داهم بود.

دو وجود مقدسی که توانشان دفت تا من به توانایی رسم

و موهایشان سپیدی گرفت تا من سپیدروی شوم

در برابر وجود گرامیشان زانوی ادب بر زمین می‌نهم و با دلی مملو از عشق و محبت و خضوع بر

دستانشان بوسه می‌زنم.

برگ برگ این تلاش ناچیز نثار محبت‌هایشان.

شکر و قدردانی

ای، هستی، بخش، وجودم را بر نعمت بی کرات تو شکر نیست. ذره ذره وجودم برای تو نزدیک شدن به تویی تپد. الهی مرادد کن

تا دانش اندکم نه نزدبانی باشد برای فزونی تکبیر و غرور، نه حلقه ای برای اسارت و زد دست مایه ای برای تجارت، بلکه گامی باشد برای تجلیل از تو و متعالی ساختن زندگی خود و دیگران.

خدای را بسی شاکرم که از روی کرم، پدر و مادری فداکار نصیصم ساخته تا در سایه درخت پر بار وجودشان بیسایم و از ریشه آنها شاخ و برگ بگیرم و از سایه وجودشان در راه کسب علم و دانش تلاش نمایم.

حال که توفیق جمع آوری و تهیه این مجموعه را یافته ام بر خود واجب می دانم از تمامی عزیزانی که در طی انجام این پژوهش از راهنمایی و یاری شان بهره مند گشته ام شکر و قدردانی کنم و برای ایشان از درگاه پروردگار مهربان آرزوی سعادت و پیروزی نمایم.

در ابتدا صمیمانه ترین تقدیرها تقدیم پدر و مادر عزیزم که همواره بر کوتاهی و درستی من، قلم عفو کشیده و گریانه از کنار عظمت ما می گذشته اند و در تمام

عرصه های زندگی یار و یاور بی چشم داشت برای من بوده اند، و پیوسته جرعه نوش، جام تعلیم و تربیت، فضیلت و انسانیت آنها بوده ام.

همچنین از دیگر اعضای خانواده ام که همواره حامی و مشوقم بوده اند و میسودن روزهای سخت و آسان زندگی ام بدون دعای خیر، و برکت وجودشان غیر ممکن بود قدردانی می کنم.

از استادان فرهیخته و فرزانه جناب آقای دکتر مهدی شریفیان و سرکار خانم دکتر لیلا غلامزاده که با سه صدر مرارتهایی نموده و با ارائه نظرات سازنده و رهنمودهای خویش در پیشبرد این پایان نامه سعی تام مبذول داشتند، کمال تشکر را دارم.

از استاد مشاور ارجمندم جناب آقای پروفور عباس بخت که در طول این تحقیق بارها رهنمودها و تشویق‌های خود را مورد لطف خویش قرار دادند، صمیمانه سپاسگزارم.

همچنین از جناب آقای پروفور فرید محمد مالک قائینی از دانشکده ریاضی به خاطر حسن خلق و کمک‌های ارزنده‌شان نهایت تشکر را دارم.

در نهایت از تمامی دوستان و هم‌کلاسیهای عزیزم خانم باراضیه زارع مهدیه، کبری اکبری، فریبا نظری، فاطمه سجادی، نرگس فیروزی، سعاد سعید اوی، سمیه باغستانی، الهه ساغریچی، زینب حمیدی، فاطمه شاه ربجیان الهام فرجی و سایر دوستان که ذکر نامشان مقدور نیست به پاس محبت‌های بی‌دریغشان سپاسگزارم.

زهراسدی

چکیده:

یکی از اساسی ترین مشکلات در روش همجوشی محصور شدگی لختی وجود ناپایداری‌های هیدرودینامیکی از جمله ناپایداری ریلی تیلور، ریخت مایر مشکوف و کلونین هم‌لهولتز است که در این بین، ناپایداری ریلی تیلور در دو دهه گذشته توجه بسیار زیادی را به خود جلب کرده است. در این پایان نامه ابتدا به بررسی مختصر انواع ناپایداری‌ها در همجوشی محصور شدگی لختی به بیان عوامل موثر بر روی ریلی تیلور پرداخته‌ایم. سپس توان طیف غیرخطی ناپایداری ریلی تیلور در مرحله شتاب‌دار شدن را معرفی کرده‌ایم و به مطالعه تحلیلی اثر گرادیان چگالی بر توان طیف غیرخطی ناپایداری ریلی تیلور پرداخته‌ایم و در پایان اثر جنس هدف را بر روی توان طیف غیرخطی ناپایداری ریلی تیلور را بررسی کرده‌ایم. نتایج بررسی‌ها نشان می‌دهد که استفاده از هدف CH با پوشش AL برای همجوشی محصور شدگی لختی گزینه مناسب تری نسبت به هدف‌های معرف شده در پایان نامه است چرا که مستعد ناپایداری ریلی تیلور کمتری است و هدف DT گزینه مناسبی برای همجوشی محصور شدگی لختی نمی‌باشد.

پیشگفتار

یکی از پرچالش‌ترین مسائلی که همواره ذهن انسان‌ها را به خود مشغول کرده است مسئله تامین انرژی است. در حال حاضر با کاهش سوخت‌های فسیلی، اهمیت این موضوع برای بشر دو چندان شده است. امروزه انسان‌ها برای تولید انرژی موردنیاز خود به فکر شیوه‌ی تولید انرژی به روشی که در خورشید اتفاق می‌افتد، هستند و تولید نیروگاه‌های همجوشی هسته‌ای یکی از آرزوهای انسان‌ها بوده و هست. با وجود اینکه کشورهای زیادی در این زمینه دست به تحقیقات و بررسی‌های گسترده زده‌اند، اما تاکنون هیچ نیروگاه همجوشی هسته‌ای به طور تجاری مشغول به کار نشده است. امروزه نیروگاه‌های شکافت هسته‌ای بسیاری در سرتاسر دنیا مشغول به کار هستند، اما به دلیل رادیواکتیو بودن واکنش‌های شکافت و هزینه‌بر بودن غنی‌سازی سوخت مورد نیاز آن، توجه انسان‌ها بیشتر به همجوشی معطوف است چرا که سوخت مورد نیاز آن را می‌توان از آب دریا تامین کرد.

در روی زمین همجوشی به دو روش محصورشدگی مغناطیسی و محصورشدگی لختی انجام می‌شود که مورد اول با استفاده از میدان‌های پر قدرت مغناطیسی انجام می‌شود و در مورد دوم از لیزر یا باریکه یونی استفاده می‌شود. همجوشی به روش محصورشدگی لختی به دو روش اصلی متراکم سازی مستقیم و غیر مستقیم انجام می‌شود.

یکی از اساسی‌ترین مشکلاتی که بر سر راه همجوشی محصورشدگی لختی از طریق متراکم-سازی مستقیم وجود دارد، مسئله ناپایداری‌های هیدرودینامیکی است که با تخریب هدف، موجب از دست رفتن سوخت و مانع انجام واکنش همجوشی می‌شوند. ناپایداری‌های هیدرودینامیکی عبارتند از: ریلی‌تیلور، ریخت مایر مشکوف و کلونین هلمهولتز، که از بین آن‌ها ناپایداری ریلی‌تیلور مهم‌تر از بقیه می‌باشد چرا کنترل آن، به طور طبیعی باعث کاهش ناپایداری‌های دیگر نیز می‌شود.

در فصل اول این پایان‌نامه، توضیحاتی در مورد مبانی همجوشی محصورشدگی لختی و انواع ناپایداری‌های هیدرودینامیکی در روش متراکم‌سازی مستقیم بیان خواهد شد.

در فصل دوم به بررسی هندسه ناپایداری ریلی تیلور در پوسته درونی هدف همجوشی خواهیم پرداخت و سپس به مطالعه عوامل موثر بر روی ناپایداری ریلی تیلور در همجوشی محصورشدگی لختی خواهیم پرداخت.

در فصل سوم پایان نامه، توان طیف غیرخطی ناپایداری ریلی تیلور قطع را بررسی کرده و به مطالعه تحلیلی اثر گرادیان چگالی بر توان طیف غیرخطی ناپایداری ریلی تیلور خواهیم پرداخت و در پایان اثر جنس هدف را بر روی توان طیف غیر خطی ناپایداری ریلی تیلور بررسی خواهیم کرد.

فهرست مطالب

۱ همجوشی محصورشدگی لختی و ناپایداری‌های هیدرودینامیکی

- ۱-۱ همجوشی محصور شدگی لختی.....۳
- ۱-۱-۱ انرژی بستگی.....۳
- ۲-۱-۱ همجوشی هسته‌ای در روی زمین.....۵
- ۳-۱-۱ محصورشدگی.....۷
- ۱-۳-۱-۱ همجوشی محصورشدگی مغناطیسی.....۸
- ۲-۳-۱-۱ همجوشی محصورشدگی لختی.....۹
- ۴-۱-۱ متراکم سازی در همجوشی محصورشدگی لختی.....۱۱
- ۱-۴-۱-۱ متراکم‌سازی مستقیم.....۱۲
- ۲-۴-۱-۱ متراکم‌سازی غیرمستقیم.....۱۳
- ۳-۴-۱-۱ احتراق سریع.....۱۴
- ۵-۱-۱ پارامتر محصورشدگی ρR در همجوشی محصورشدگی لختی.....۱۵
- ۲-۱ ناپایداری‌های هیدرودینامیکی.....۱۶
- ۱-۲-۱ ناپایداری ریلی‌تیلور.....۱۶
- ۲-۲-۱ ناپایداری ریخت‌مایر مشکوف.....۱۸
- ۳-۲-۱ ناپایداری کلوین هلمهولتز.....۱۹
- ۴-۲-۱ عوامل ایجاد ناپایداری در همجوشی محصورشدگی لختی.....۲۱
- ۵-۲-۱ ناپایداری ریلی‌تیلور در همجوشی محصورشدگی لختی.....۲۱
- ۱-۵-۲-۱ ناپایداری ریلی‌تیلور در مرحله شتاب‌دار شدن.....۲۲
- ۲-۵-۲-۱ ناپایداری ریلی‌تیلور در مرحله کاهش شتاب.....۲۳

۶-۲-۱ نرخ رشد ناپایداری ریلی تیلور در همجوشی محصورشدگی لختی.....۲۴

۱-۶-۲-۱ نرخ رشد ناپایداری ریلی تیلور در مرحله شتاب‌دار شدن.....۲۴

۲-۶-۲-۱ نرخ رشد ناپایداری ریلی تیلور در مرحله کاهش شتاب.....۲۴

۲ مطالعه عوامل موثر بر روی ناپایداری ریلی تیلور

۱-۲ هندسه همگرای ناپایداری ریلی تیلور در همجوشی محصورشدگی لختی.....۳۱

۲-۲ اثر تراکم‌پذیری بر ناپایداری ریلی تیلور در جبهه قطع.....۳۵

۳-۲ پایدارسازی ناپایداری ریلی تیلور در متراکم‌سازی مستقیم هدف پلاستیکی توسط

لیزرهای پر شدت.....۳۶

۴-۲ پایدارسازی قوی ناپایداری ریلی تیلور به وسیله مقاوم‌سازی مواد در فشار بالا.....۳۸

۵-۲ کاهش رشد ناپایداری ریلی تیلور با استفاده از نانوساختارهای متخلخل در پوسته هدف

همجوشی محصورشدگی لختی.....۳۹

۶-۲ اثرات احتمالی میدان مغناطیسی بر روی ناپایداری ریلی تیلور در آزمایش‌های انجام

شده با لیزر.....۴۲

۱-۶-۲ مقایسه بررسی آزمایشگاهی و شبیه‌سازی با شرایط یکسان.....۴۲

۲-۶-۲ نقش احتمالی میدان مغناطیسی.....۴۴

۳-۶-۲ اثرات میدان مغناطیسی بر روی پلاسمای ناپایدار همجوشی محصورشدگی

لختی.....۴۶

۳ توان طیف غیرخطی ناپایداری ریلی تیلور در همجوشی محصور شدگی لختی

۱-۳ توان طیف غیرخطی ناپایداری ریلی تیلور قطع.....۵۱

| | | |
|-----|--|----|
| ۲-۳ | بررسی اثر گرادیان چگالی بر روی توان طیف غیرخطی ناپایداری ریلی تیلور..... | ۵۶ |
| ۳-۳ | اثر جنس هدف بر روی توان طیف غیرخطی ناپایداری ریلی تیلور..... | ۶۳ |
| ۴-۳ | نتیجه‌گیری..... | ۷۱ |
| ۵-۳ | پیشنهادات..... | ۷۲ |
| | منابع..... | ۷۳ |

فهرست تصاویر و نمودارها

- (۱-۱) نمودار تغییرات انرژی بستگی متوسط بر واحد نوکلئون نسبت عدد جرمی.....۵
- (۲-۱) نمودار سطح مقطع همجوشی برحسب دمای یون و واکنش پذیری همجوشی برحسب انرژی اولیه.....۷
- (۳-۱) نمایی از یک توکامک در همجوشی محصورشدگی مغناطیسی.....۹
- (۴-۱) مراحل همجوشی محصورشدگی لختی.....۱۱
- (۵-۱) نمایی از متراکم سازی مستقیم در همجوشی محصورشدگی لختی.....۱۲
- (۶-۱) نمایی از متراکم سازی غیرمستقیم در همجوشی محصورشدگی لختی.....۱۳
- (۷-۱) نمایی از مراحل فرایند احتراق سریع در همجوشی محصورشدگی لختی.....۱۴
- (۸-۱) طرحی از هدف استفاده شده در فرایند احتراق سریع.....۱۵
- (۹-۱) ناپایداری ریلی تیلور در میدان گرانشی و شتابدار.....۱۷
- (۱۰-۱) طرحی از ناپایداری ریخت مایر مشکوف.....۱۸
- (۱۱-۱) طرحی از ناپایداری ریخت مایر مشکوف در همجوشی محصورشدگی لختی.....۱۹
- (۱۲-۱) طرحی از ناپایداری کلون هلمهولتز.....۲۰
- (۱۳-۱) طرحی از ناپایداری ریلی تیلور در دو مرحله‌ی شتابدار شدن و کاهش شتاب.....۲۳
- (۱۴-۱) طرحی از ناپایداری ریلی تیلور.....۲۵
- (۱۵-۱) نمودار وابستگی ضرایب α_1 , β_1 , α_2 و β_2 به عدد فرود و نمای رسانش.....۲۷
- (۱-۲) ساختار در نظر گرفته شده برای کپسول همجوشی.....۳۲
- (۲-۲) رابطه پاشندگی خطی (نرخ رشد خطی برحسب مدهای کروی) ناپایداری ریلی تیلور در مرحله کاهش شتاب.....۳۳
- (۳-۲) مرحله نهایی انفجار و سوختن کپسول همجوشی برای مد کروی $l = 16$۳۴

(۴-۲) نمونه شبیه سازی شده برای ناپایداری ریلی تیلور با اختلال چند مد..... ۳۴

(۵-۲) نرخ رشد ناپایداری ریلی تیلور با در نظر گرفتن اثر تراکم پذیری برای $Fr=0.2$; $v=1$;

..... $M_2=0.16$ ۳۶

(۶-۲) پیش بینی های نرخ رشد ناپایداری ریلی تیلور یک بعدی بر حسب طول موج..... ۳۸

(۷-۲) رشد ناپایداری ریلی تیلور برای نمونه وانادیوم بدون مقاوم سازی و با مقاوم سازی در فشار

یک مگابار..... ۳۹

(۸-۲) تغییرات نرخ رشد ناپایداری ریلی تیلور بر حسب عدد موج در $B = 0.02$ بدون استفاده از

نانوساختارهای متخلخل $\sigma = 0$ و با استفاده از نانوساختارهای متخلخل $\sigma = 4$ در هدف

همجوشی..... ۴۱

(۹-۲) مقایسه تصویر رادیو گرافی از ناپایداری ریلی تیلور تک مد در سه بعد از طریق شبیه سازی

و آزمایش، با شرایط اولیه یکسان..... ۴۳

(۱۰-۲) تصویر شماتیک از گرادیان چگالی تعداد و دمای الکترون ها در حباب ها و میخه ها و میدان

مغناطیسی اطراف آن ها..... ۴۵

(۱۱-۲) تصویر شبیه سازی شده ناپایداری ریلی تیلور تک مدی دو بعدی برای دو مقدار

..... $\beta = 2500$ و $\beta = 250000$ ۴۶

(۱-۳) هندسه ناپایداری ریلی تیلور قطع..... ۵۲

(۲-۳) توان طیف غیر خطی ناپایداری ریلی تیلور قطع با $Fr = 0.4$ ، $k_0 = 0.01 \mu m^{-1}$ و

..... $L_0 = 0.1 \mu m$ ۵۵

- (۳-۳) هندسه ناپایداری ریلی تیلور در مرحله کاهش شتاب..... ۵۷
- (۴-۳) توان طیف غیر خطی ناپایداری ریلی تیلور در فاز شتاب معکوس با $Fr = 0.4$ ،
 $L_0 = 0.1 \mu m$ و $k_0 = 0.01 \mu m^{-1}$ ۵۹
- (۵-۳) توان طیف غیر خطی ناپایداری ریلی تیلور برای طول موجهای خیلی کوتاه با $Fr = 0.4$ ،
 $L_0 = 0.1 \mu m$ و $k_0 = 10 \mu m^{-1}$ ۶۱
- (۶-۳) تغییر توان طیف غیر خطی برای طول موجهای کوتاه بر حسب تغییر شعاع لکه داغ در k
 ثابت $10 \mu m^{-1}$ ، $Fr = 0.4$ ، $k_0 = 10 \mu m^{-1}$ و $L_0 = 0.1 \mu m$ ۶۲
- (۷-۳) تغییر توان طیف غیر خطی برای طول موجهای کوتاه بر حسب تغییر شعاع لکه داغ
 $Fr = 0.4$ ، $k_0 = 10 \mu m^{-1}$ ، $L_0 = 0.1 \mu m$ ۶۲
- (۸-۳) هدف استفاده شده در متراکم سازی مستقیم همجوشی محصورشدگی لختی..... ۶۳
- (۹-۳) توان طیف غیر خطی مربوط به هدف دوتریم تریتم..... ۶۴
- (۱۰-۳) توان طیف غیر خطی مربوط به هدف CH..... ۶۶
- (۱۲-۳) توان طیف غیر خطی مربوط به هدف Be..... ۶۷
- (۱۳-۳) توان طیف غیر خطی هدف CH با پوشش AL..... ۶۸
- (۱۴-۳) مقایسه توان ناپایداری هدفهای DT، CH، Be، CH با پوشش AL..... ۷۰

فهرست جدول‌ها

- ۸..... (۱-۱) پارامترهای محصورشدگی در ICF و MCF
- ۶۴..... (۱-۳) پارامترهای استفاده شده برای هدف دوتریم تریتیم
- ۶۵..... (۲-۳) پارامترهای استفاده شده برای هدف CH
- ۶۷..... (۳-۳) پارامترهای استفاده شده برای هدف Be
- ۶۸..... (۴-۳) پارامترهای استفاده شده برای هدف CH با پوشش AL

فصل اول:

همجوشی محصورشدگی لختی (ICF)

و

ناپایداری‌های هیدرودینامیکی

۱-۱ مبانی فیزیکی و روش‌های انجام همجوشی هسته‌ای

هدف از همجوشی، رسیدن به منبع عظیم انرژی به شیوه‌ای که در خورشید اتفاق می‌افتد است که برای این منظور باید مبانی فیزیکی همجوشی درک شود. که این امر مستلزم شناخت انرژی هسته‌ای و راه‌های تولید آن می‌باشد لذا در ابتدا باید با مفهوم انرژی بستگی آشنا شد.

۱-۱-۱ انرژی بستگی

انرژی هسته‌ای به دو روش شکافت^۱ و همجوشی^۲ تولید می‌شود که تفاوت آنها در مفهوم انرژی بستگی هسته‌ای اتم نهفته شده است. هسته از پروتون‌ها و نوترون‌ها تشکیل شده است، که تعداد پروتون‌ها را با Z و تعداد نوترون‌ها با N نشان داده می‌شود. مجموع پروتون‌ها و نوترون‌ها عدد جرمی (تعداد کل نوکلئون‌ها) A نامیده می‌شود.

$$A = Z + N, \quad (1-1)$$

جرم و انرژی طبق رابطه هم ارزی جرم-انرژی $E = mc^2$ به هم مربوط هستند. فرمول تجربی به دست آمده برای جرم هسته به صورت زیر داده می‌شود:

$$m_{nucleus}(Z, N) = Zm_p + Nm_n - \frac{B}{c^2}, \quad (2-1)$$

که m_n و m_p به ترتیب جرم پروتون و نوترون هستند و جمله‌ی آخر جرم کاهش یافته به خاطر انرژی بستگی است که با رابطه زیر بیان می‌شود:

$$B = a_v A - a_s A^{2/3} - a_{sym} \frac{(Z-N)^2}{A} - a_c \frac{Z^2}{A^{1/3}} + \delta(A). \quad (3-1)$$

که ضرایب a_v و a_s و a_{sym} و a_c ثابت‌هایی هستند که از برازش انرژی بستگی با مقادیر تجربی بدست می‌آیند و δ یک جمله زوج-فرد^۳ است، که مقدار آن برای تعداد پروتون‌ها و نوترون‌های

¹ Fission

² Fusion

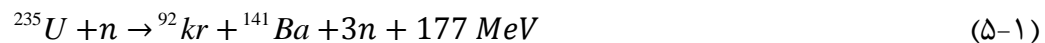
³ Pairing

زوج متفاوت با تعداد پروتون‌ها و نوترون‌های فرد است.

$$\delta_A = \begin{cases} -34 A^{-3/4} \text{ MeV} & \text{فرد - فرد} \\ 0 \text{ MeV} & \text{زوج - فرد} \\ 34A^{-3/4} \text{ MeV} & \text{زوج - زوج} \end{cases} \quad (4-1)$$

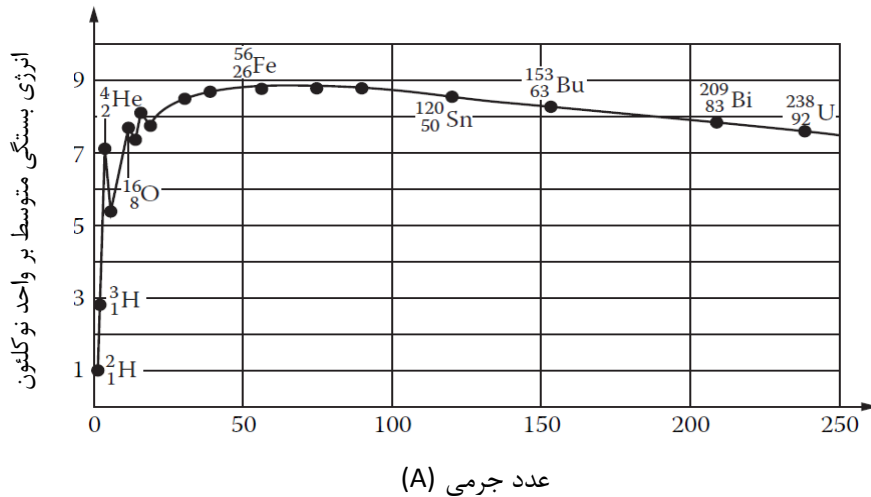
از میان جملات رابطه (۳-۱) جمله اول مهم‌تر از بقیه است و تقریباً انرژی بستگی بر نوکلئون را به ما می‌دهد و در صورتی که ما از بقیه جمله‌ها صرف نظر کنیم مقدار آن تقریباً برابر ۸/۵ مگا الکترون ولت بر نوکلئون می‌شود [۱].

چنانچه نمودار انرژی بستگی بر واحد نوکلئون بر حسب عدد اتمی رسم شود، مشاهده می‌شود که بیشینه انرژی بستگی مربوط به اتم آهن است. همان‌طور که در شکل (۱-۱) مشاهده می‌کنید برای اتم‌های سبک‌تر و سنگین‌تر از اتم آهن انرژی بستگی بر واحد نوکلئون کمتر از انرژی بستگی اتم آهن است. و این مبنای تفاوت شکافت و همجوشی هسته‌ای است. برای اتم‌های سنگین‌تر از اتم آهن که در سمت راست نمودار قرار دارند شکافت هسته‌ای اتفاق می‌افتد یعنی هسته اتم‌های سنگین به هسته‌های سبک‌تر واپاشی می‌کنند و طی این فرآیند مقداری از جرم به انرژی تبدیل می‌شود. در یک نیروگاه شکافت هسته‌ای از اورانیوم به عنوان سوخت استفاده می‌شود. اورانیوم سوختی است که از زمین استخراج می‌شود و به صورت گلوله‌هایی سر میله‌های بلندی درون راکتور انرژی هسته‌ای قرار می‌گیرد. در این راکتورها اورانیوم در یک چرخه زنجیره‌ای کنترل شده دچار شکافت می‌شود.



اما برای اتم‌های سبک‌تر از اتم آهن که در سمت چپ شکل (۱-۱) قرار دارند، همجوشی اتفاق می‌افتد. برای انجام واکنش همجوشی، دو هسته بسیار سبک آن قدر باید به یکدیگر نزدیک شوند که در فاصله نیروی جاذبه هسته‌ای قوی قرار بگیرند و هسته‌ها به هم جوش بخورند و هسته‌ای با

انرژی بستگی بیشتر و جرم کمتر تشکیل شود. در طی این فرآیند جرم از دست رفته طبق رابطه هم‌ارزی انیشتین به انرژی تبدیل می‌شود.



شکل (۱-۱) نمودار تغییرات انرژی بستگی متوسط بر واحد نوکلئون نسبت عدد جرمی [۲]

۲-۱-۱ همجوشی هسته‌ای در روی زمین

مشکل اصلی در راه‌اندازی همجوشی هسته‌ای این است که هسته‌ها دارای بار مثبت هستند و نیروی دافعه کولنی باعث می‌شود هسته‌ها به شدت یکدیگر را دفع کنند پس در شرایط معمولی که فاصله بین هسته‌ها زیاد است دستیابی به همجوشی غیرممکن است. برای حل این مشکل به ناچار باید نگاهی به محیط خورشید داشته باشیم چرا که در آنجا منبع عظیم انرژی از طریق همجوشی آزاد می‌شود. در خورشید به دلیل وجود دما و فشار بسیار بالا و همچنین تعداد بسیار زیاد ذرات در واحد حجم، سطح مقطع و یا احتمال وقوع برای انجام واکنش‌های همجوشی به اندازه کافی بزرگ است و در نتیجه انرژی بسیار عظیمی درون خورشید آزاد می‌شود. پس برای انجام همجوشی در روی زمین باید محیطی با دما، فشار و چگالی بسیار بالا فراهم آوریم. اما آیا به راحتی می‌توان به چنین محیطی دست یافت؟