

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

وزارت اطلاعات و ارتباطات
جمهوری اسلامی ایران

بسم الله الرحمن الرحيم

بررسی چرخه میونی سیستم کاتالیزور میونی در مخلوط

D / T

با در نظر گرفتن تشکیل مولکولهای دو میونی

بوسیله

علی هاتف

پایان نامه

ارائه شده به دانشکده تحصیلات تکمیلی به عنوان بخشی از فعالیتهای تحصیلی

لازم برای اخذ درجه کارشناسی ارشد

در رشته

فیزیک

از

دانشگاه شیراز

شیراز، ایران

015680

ارزیابی و تصویب شده توسط کمیته پایان نامه با درجه عالی

امضاء اعضای کمیته پایان نامه:

.....
دکتر محمد رضا اسکندری، استاد بخش فیزیک (رئیس کمیته)

.....
دکتر محمود مرادی، استاد یار بخش فیزیک

.....
دکتر حمید نادگران، استاد یار بخش فیزیک

تقديم به دوست و برادر عزيزم

دکتر نادر هاتف

سپاسگزاری

سپاس خدای را که منت گذاشت تا بنده حقیر در راه علم و دانش گام بردارم و ذره ای از خدمت به خلق را انجام داده باشم و سپاس پدر و مادرم را که صعوبت این راه را برایم هموار نمودند ، باشد که ثمره عمرشان ، مثمر ثمر واقع شود و سپاس اساتید محترمم بویژه جناب آقای دکتر اسکندری را که همچون شمعی روشن ره راه من بوده اند.

امیدوارم که خداوند همه ایشان را و مرا قرین مرحمت و لطف خویش قرار دهد .

چکیده

بررسی چرخه میونی سیستم کاتالیزور میونی در مخلوط

D/T

با در نظر گرفتن تشکیل مولکولهای دو میونی

توسط:

علی هاتف

چرخه میونی در همجوشی کاتالیزور میونی تابع پارامترهائی نظیر دما، ضریب چسبندگی میونی، چگالی هیدروژن مایع و کسر غلظتهای انتخابی ایزوتوپهای هیدروژن است این بستگی پارامترها در مطالعات همجوشی کاتالیزور میونی سه جسمی مورد توجه قرار گرفته است. در کارهای تحقیقاتی اخیر رفتارهای پایه ای تشکیل مولکولهای چهار جسمی $pp\mu\mu$ و $tt\mu\mu$ ، $dt\mu\mu$ ، $pt\mu\mu$ ، $dd\mu\mu$ مورد مطالعه قرار گرفته و نشان داده شده است که آهنگهای تشکیل واکنشهای هسته ای برای چنین مولکولهای چهار جسمی به مقدار قابل ملاحظه ای بزرگتر از مولکولهای سه جسمی هسته های مشابه یعنی $pp\mu$ و $tt\mu$ ، $dt\mu$ ، $pt\mu$ ، $dd\mu$ است و بخصوص برای $dt\mu\mu$ آهنگ همجوشی برابر $R_f(dt) \approx 2 \times 10^{12} - 6 \times 10^{13} s^{-1}$ گزارش شده است که حدود ۴۰ مرتبه از آهنگ همجوشی $dt\mu$ بزرگتر است. اهمیت واکنشهای مطرح شده ما را بر این داشت تا در همجوشی کاتالیزور میونی مخلوط D/T آثار تشکیل مولکولهای چهار جسمی فوق را جستجو کنیم. در این کار تحقیقاتی به علت عدم وجود تمام داده های مورد نیاز، فقط شاخه اصلی تشکیل مولکولهای چهار جسمی $dt\mu\mu$ را بررسی کرده ایم و برای این منظور شبکه واکنش جامع مربوط به مخلوط D/T با در نظر گرفتن تشکیل مولکولهای دو میونی چهار جسمی را در نظر گرفته و معادلات دینامیکی حاکم بر آن

در حالت پایا برای بازه دمائی $1500^{\circ}K - 1000$ در ازاء چگالی های مختلف و غلظت های نسبی دوتریوم و تریتیوم با در نظر گرفتن بستگی های ضریب چسبندگی مؤثر میون به چگالی غلظت تریتیوم و دما، حل و ضرائب تکثیر میونی $X_{dt\mu}$ و $X_{dt\mu\mu}$ که به ترتیب برای حالت های $dt\mu$ و $dt\mu\mu$ می باشند، محاسبه و بهینه ضرائب میونی $X_{dt\mu}$ و $X_{dt\mu\mu}$ تعیین شده است. نظر به اینکه اندازه آهنگ تشکیل مولکول های چهار جسمی $dt\mu\mu$ تا به حال تعیین نشده است مقدار آن با توجه به شواهد فیزیکی موجود حداکثر به اندازه آهنگ چسبندگی میون به دوترون $10^{11} s^{-1}$ و حداقل به اندازه آهنگ تشکیل مزومولکول های $dt\mu$ ، یعنی $10^9 s^{-1}$ انتخاب گردیده است. نتایج محاسبات برای ضریب تکثیر میونی و مقایسه آنها با جواب های تجربی موجود پیش بینی می کند که آهنگ تشکیل مولکول های چهار جسمی حدود $10^9 s^{-1}$ است، یعنی اگر میون به حد کافی در دسترس باشد، این آهنگ در همان محدوده آهنگ تشکیل مولکول های سه جسمی $dt\mu$ است. در ادامه بررسی ها با استفاده از آهنگ تشکیل مولکول های چهار جسمی $dt\mu\mu$ به دست آمده و سایر داده های موجود، ضریب تکثیر میونی محاسبه شده است و از مقایسه نتایج حاصل از این محاسبات با جواب های تجربی موجود در مورد ضریب تکثیر میونی مخلوط D/T بدون در نظر گرفتن تشکیل مولکول های چهار جسمی، مشاهده می شود که عدم اعمال واکنش های چهار جسمی، در حالت هایی که میونها با شدت زیاد تزریق نمی شود، تأثیر قابل ملاحظه ای در نتایج محاسبات مولکول های سه جسمی ندارد و برای حصول بازده های همجوشی بزرگ با برخورد چهار جسمی نیاز به شدت های بزرگتر میون تابشی در هر پالس است که در حال حاضر طراحی آن در مراکز تحقیقاتی مورد بررسی است.

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
فهرست جداول.....	پنج
فهرست نمودارها.....	شش
فصل اول: مروری برواکشهای هسته ای.....	۱
فصل دوم: رآکتورهای همجوشی کنترل شده.....	۸
۱-۲) روش محصور سازی مغناطیسی.....	۱۰
۱-۲-الف) توکامک.....	۱۲
۱-۲-ب) استلراتور.....	۱۳
۲-۲) روش محصور سازی اینرسی.....	۱۷
۲-۲-الف) سیستم لیزری شیوا.....	۱۹
۲-۲-ب) سیستم لیزری نوا.....	۱۹
۲-۳) طرح پیشنهادی رآکتور قدرت همجوشی.....	۱۹
فصل سوم: پارامترهای مورد استفاده در همجوشی هسته ای.....	۲۲
۱-۳) انرژی همجوشی هسته ای.....	۲۲
۱-۳-الف) تهیه سوخت.....	۲۳
۱-۳-ب) دافعه الکترواستاتیکی.....	۲۴
۲-۳) توان همجوشی و آهنگ واکنش.....	۲۷
۳-۳) معادلات دینامیکی حاکم بر واکنشها.....	۳۰
فصل چهارم: مروری بر همجوشی از طریق کاتالیزور میونی.....	۳۴
۱-۴) معرفی پارامترهای مهم در همجوشی از طریق کاتالیزور میونی.....	۳۶
۱-۴-الف) تولید میون.....	۳۶
۱-۴-ب) آهنگ تشکیل مزواتم ها.....	۳۹
۱-۴-ج) واکنش انتقالی.....	۴۰
۱-۴-د) آهنگ تشکیل مزومولکولها.....	۴۲
۱-۴-ه) چسبندگی و برهنه سازی.....	۴۴

فصل ۵: همجوشی از طریق کاتالیزور میونی با در نظر گرفتن تشکیل مزومولکولهای	
دومیونی در مخلوط D/T	۴۸
۱-۵) معرفی شبکه واکنش جامع مربوط به مزومولکولهای سه جسمی.....	۴۹
۲-۵) معرفی شبکه واکنش جامع مربوط به مزومولکولهای چهار جسمی.....	۵۱
۳-۵) معرفی معادلات سینتیکی حاکم بر شبکه واکنش همجوشی بادر نظرگرفتن	
تشکیل مزومولکولهای چهار جسمی دومیونی.....	۵۱
۴-۵) نسبت تکثیر انرژی و بازده چرخه میونی در مخلوط دو گاز D/T با در نظر	
گرفتن تشکیل مزومولکولهای چهار جسمی.....	۵۲
۵-۵) محاسبه ضرائب تکثیر میونی در مخلوط D/T با در نظر گرفتن تشکیل	
مزومولکولهای چهار جسمی $dt\mu\mu$ در شرائط پایا.....	۵۵
۶-۵) محاسبات عددی.....	۵۷
فصل ششم: نتیجه گیری.....	۸۴
پیوست الف) حل معادلات سینتیکی حاکم بر شبکه واکنش همجوشی با در نظرگرفتن	
تشکیل مزومولکولهای چهار جسمی دومیونی.....	۸۶
مراجع.....	۹۰

صفحه عنوان و چکیده به زبان انگلیسی

فهرست جداول

صفحه	عنوان
۱۶	جدول (۱-۲): دستگاه های همجوشی مبتنی بر محصور سازی مغناطیسی.....
۴۵	جدول (۱-۴): مقادیر عددی $\lambda_{dt\mu-1}$ ، $\lambda_{dt\mu-d}$ و λ_{dt} در محدوده دمایی $100^\circ K$ تا $1400^\circ K$
۵۹	جدول (۱-۵): مقادیر عددی مورد نیاز برای محاسبه ضریب تکثیر میونی در اثر تشکیل مزومولکولهای دو میونی چهار جسمی.....
۶۰	جدول (۲-۵) تا جدول (۵-۵): مقادیر عددی $Y_{dt\mu}$ ، $X_{dt\mu\mu}$ ، $Yield$ و $Y_{dt\mu}$ در ازاء $\lambda'_a = 10^{10} s^{-1} - 10^{12} s^{-1}$ و بهینه $c_i = 60\%$ در محدوده دمایی $\phi = 1LHD$ و $T = 100-1400^\circ K$
۶۴	جدول (۶-۵): مقادیر عددی ضرائب تکثیر میونی محاسبه شده بدون در نظر گرفتن تشکیل مزومولکولهای چهار جسمی ($Y_{dt\mu}$) و بدر نظر گرفتن تشکیل مزومولکولهای چهار جسمی ($Yield$) و مقادیر ضرائب تکثیر میونی اندازه گیری شده (X^{exp}) در مخلوط D/T در ازاء دماهای مختلف $300^\circ K$ ، $500^\circ K$ ، $800^\circ K$ و 90% ω_s^{eff} و $C_d = 165$ و $C_i = 135$ و $10^9 s^{-1} \leq \lambda'_a \leq 10^{12} s^{-1}$

فهرست اشکال

صفحه	عنوان
	شکل (۱-۱): انرژی کل سالیانه مورد نیاز جهان براساس پیش بینی های رشد جمعیت و پیش بینی انرژی سرانه مورد نیاز به وسیله کمیسیون انرژی اتمی امریکا..... ۲
۳	شکل (۲-۱): انرژی مصرفی جهان برحسب سال..... ۳
۴	شکل (۳-۱): تغییرات انرژی بستگی بر هستک برحسب عدد جرمی..... ۴
۵	شکل (۴-۱): نمودار شکافت U ۵
۱۱	شکل (۱-۲): محصورسازی به کمک میدان مغناطیسی..... ۱۱
۱۲	شکل (۲-۲): روش اساسی محصور ساز مغناطیسی در توکامک..... ۱۲
۱۴	شکل (۳-۲): شمائی از راکتور همجوشی توکامک و استلراتور..... ۱۴
۱۵	شکل (۴-۲): طرح یک استلراتور از نوع $W7-X$ ۱۵
۱۸	شکل (۵-۲): مراحل مختلف همجوشی با روش محصور سازی اینرسی..... ۱۸
۲۰	شکل (۶-۲): لیزر نوا..... ۲۰
۲۱	شکل (۷-۲): شمائی از راکتور قدرت همجوشی..... ۲۱
۲۶	شکل (۱-۳): نمایش پتانسیل الکترواستاتیک برای برخورد های یون-یون..... ۲۶
	شکل (۲-۳): تقاطع دو شعاع ذره که واکنش همجوشی $a + b \rightarrow d + e$ را ایجاد می کند..... ۲۸
۲۹	شکل (۳-۳): سطح مقطع همجوشی دوتریم روی سپر تریتوم..... ۲۹
	شکل (۴-۳): پارامتر سیگما-وی برای سوخته های همجوشی گوناگون که به وسیله توزیع یونی ماکسولی مشخص شده اند..... ۳۱
	شکل (۱-۴): الف) سد کلونی بین هسته های دوتریوم و تریتوم. ب) سد کلونی توسط اتم خنثی و کوچک از بین خواهد رفت..... ۳۷
۳۸	شکل (۲-۴): تولید میون بصورت طبیعی در اثر برخورد پرتو کیهانی به جو زمین..... ۳۸
۴۰	شکل (۳-۴): تولید میون بطور مصنوعی از طریق بمباران کردن هسته های کربن..... ۴۰
۴۱	شکل (۴-۴): نمودار آهنگ انتقال میونی از دوتریوم به تریتوم (λ_{dt}) برحسب دما..... ۴۱
۴۴	شکل (۵-۴): مکانیزم های مختلف تشکیل مزومولکولها در مخلوط D/T ۴۴
۴۷	شکل (۶-۴): نمودار ضریب چسبندگی ω_s^{eff} برحسب $\phi\sqrt{C_i}$ ۴۷

فهرست اشکال

عنوان	صفحه
شکل (۷-۴): بستگی ω_s^{eff} به C_f و ϕ را نشان می دهد.....	۴۷
شکل (۱-۵): شبکه واکنش جامع مخلوط $D T$ بدون در نظر گرفتن تشکیل مزومولکولهای دومیونی و چهار جسمی	۵۰
شکل (۲-۵): شبکه واکنش جامع همجوشی در مخلوط D/T با در نظر گرفتن تشکیل مزومولکولهای دومیونی چهار جسمی.....	۵۳
شکل (۳-۵) تا شکل (۱۶-۵): تغییرات ضریب تکثیر میونی کل (Yeild) در دمای $T=100-1400^\circ K$ بر حسب کسر غلظت تریتیوم (C_f %).....	۶۵
شکل (۱۷-۵): بستگی ضریب تکثیر میونی کل به دما (T) و کسر غلظت تریتیوم C_f %	۷۹
شکل (۱۸-۵): تغییرات $Yield$ و $Y_{dt\mu}$ در دمای $T=1200^\circ K$ و $\lambda'_a = 10^9 s^{-1}$ بر حسب کسر غلظت تریتیوم (C_f).....	۸۰
شکل (۱۹-۵): تغییرات $Yield$ و $Y_{dt\mu}$ در دمای $T=1300^\circ K$ و $\lambda'_a = 10^9 s^{-1}$ بر حسب کسر غلظت تریتیوم (C_f).....	۸۱
شکل (۲۰-۵): تغییرات $Yield$ در دمای $T=1200^\circ K$ و $\lambda'_a = 10^9 s^{-1}$ در ازاء $0 \leq \phi \leq 1$ و $0 \leq C_f \leq 1$	۸۲
شکل (۲۱-۵): تغییرات $Yield$ در دمای $T=1300^\circ K$ و $\lambda'_a = 10^9 s^{-1}$ در ازاء $0 \leq \phi \leq 1$ و $0 \leq C_f \leq 1$	۸۳

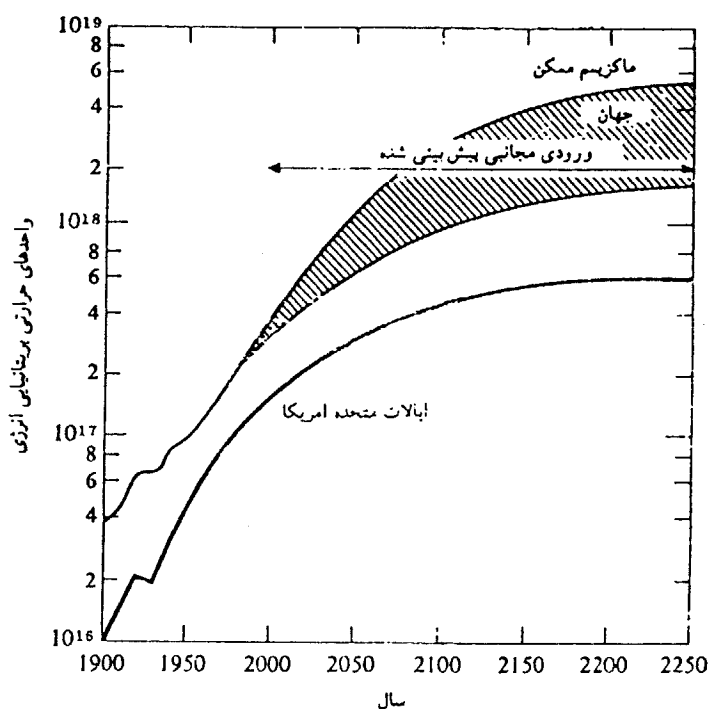
فصل اول

مروری برواکنشهای هسته ای

سطح زندگی بشر همواره با کاربرد انرژی برای انجام کارها ارتباط کامل داشته است این استفاده از انرژی با اولین کاربرد چرخ شروع شده و با کارهای مصریان قدیم، وسائل تولید قدرت نیوکامن و وات ادامه یافت و به فنون پیشرفته و سطح زندگی بشر معاصر رسیده است. جنگهای بزرگ تاریخ مثالهایی از انرژی مصرف شده به مقدار زیاد را نشان می دهد. از نظر تاریخی به استثنای چند صد سال اخیر، چوب منبع اولیه انرژی بشر را تشکیل می داده است در حقیقت امروزه در بسیاری از نقاط جهان هنوز چوب یکی از منابع اصلی تولید انرژی است. در اواسط سالهای ۱۸۰۰/۱۱۷۹ سوختهای فسیلی جانشین چوب گردید. در حال حاضر به نظر می رسد که نفت جانشین زغال سنگ شده است. در آینده بدون شک سوختهای هسته ای جایگزین سوختهای فسیلی خواهد شد. اغلب پیش بینیهای مربوط به انرژی مورد نیاز در آینده ای نزدیک بر مبنای تحلیلی از رشد جمعیت و مصرف سرانه انرژی است. نمونه ای از این پیشگویی در شکل (۱-۱) نشان داده شده است [۱]. پاسخگویی به این خواسته های بسیار زیاد، نیازمند منابع

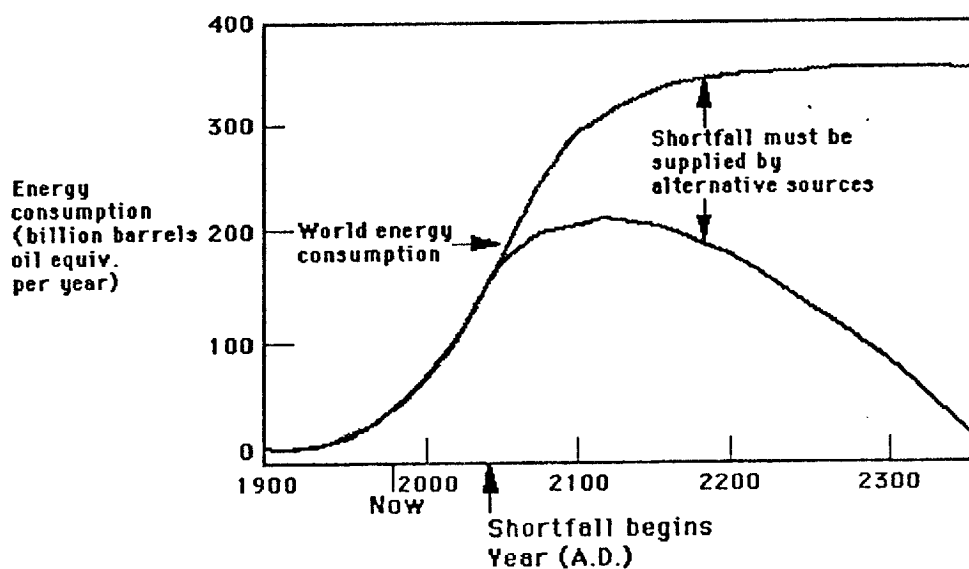
مختلف انرژی خواهد بود. در حال حاضر منابع انرژی که عملاً قابل استفاده اند عبارتند از:

الف) سوختهای فسیلی، ب) آب جاری، ج) باد، د) جزر و مد اقیانوسها، ه) انرژی خورشید، و) انرژی گرمایی زمین، ز) هسته های شکافت پذیر، ح) هسته های همجوشی پذیر.



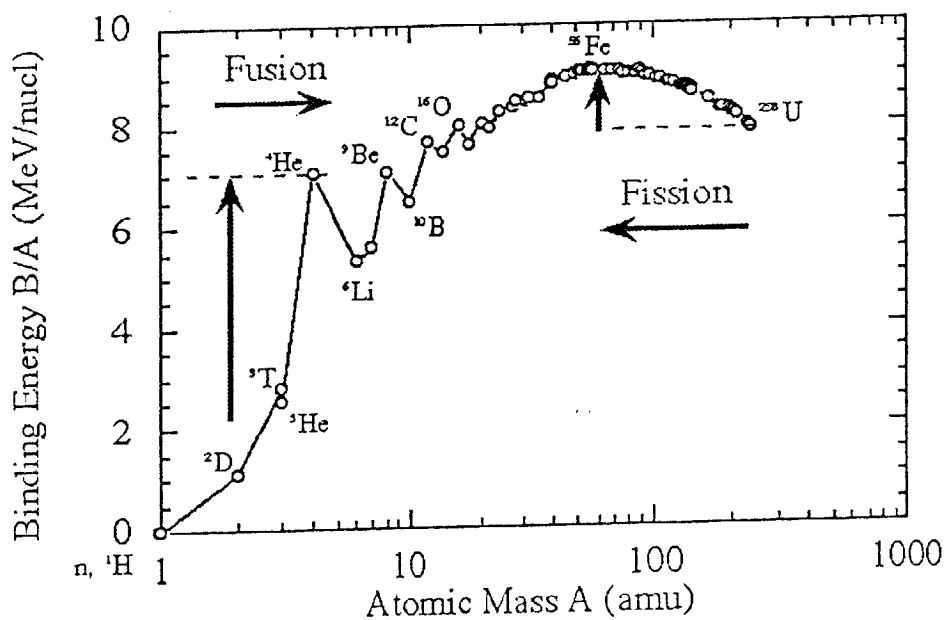
شکل (۱-۱): انرژی کل سالیانه مورد نیاز جهان براساس پیش بینی های رشد جمعیت و پیش بینی انرژی سرانه مورد نیاز به وسیله کمیسیون انرژی اتمی امریکا [۱].
 زمانی خواهد رسید که تمام سوختهای فسیلی مورد استفاده قرار گرفته باشند و انرژی فقط از سایر منابع و سوختهای هسته ای به دست بیاید. درباره زمان تهی شدن منابع سوختهای فسیلی چندین برآورد انجام شده است، که گستره آنها بین ۲۵ تا ۲۰۰ سال است با وجود این نکته قابل اهمیت این است که انرژی مورد نیاز جهان، سوختهای فسیلی قابل بهره برداری به طریق اقتصادی را پشت سر خواهد گذاشت بنابراین منابع انرژی دیگری باید برای پاسخگویی به خواسته های انرژی مورد نیاز جهان

جایگزین شود. سهم باد، اقیانوس، جزر و مد، انرژی گرمائی زمینی و خورشیدی و آب جاری بسیار محدود است و مخارج آنها بیشتر از آن است که در آینده نزدیک بصورت درصد قابل ملاحظه ای از کل انرژی تولید شده در آیند. بدین ترتیب سوختهای هسته ای و زغال سنگ بصورت تنها منابع اقتصادی برای نیازهای بشر می باشند شکل (۱-۲) نشانگر مصرف انرژی سالانه برحسب زمان می باشد که محور افقی آن نشانگر سال و محور عمودی آن نشانگر مصرف انرژی جهان می باشد. نمودار پایین مقدار انرژی قابل تأمین از سوختهای فسیلی را نشان می دهد در صورتیکه نمودار بالائی انرژی مورد استفاده جهانی را نشان می دهد. ملاحظه می شود که از حوالی سالهای ۲۰۴۰ به بعد مشکل اساسی تأمین سوخت گرمائی ظاهر می گردد و از آن به بعد در حالیکه مصرف انرژی افزایش می یابد تأمین سوخت فسیلی دچار مشکلات می گردد و سوختهای دیگر بایستی جایگزین شود.



شکل (۱-۲): انرژی مصرفی جهان برحسب سال [۱].

با پیشرفت علم فیزیک هسته ای در اوایل قرن بیستم توجه بشر به انرژیهای زیاد ناشی از واکنشهای هسته ای به عنوان منبع عظیمی از انرژی جلب شد. از همان آغاز مطالعات روی تولید انرژی هسته ای با توجه به منحنی متوسط انرژی بستگی بازاء هر نوکلئون نسبت به عدد جرمی شکل (۳-۱) دو راه پیشنهاد گردید راه اول شکافت هسته ای و راه دوم همجوشی هسته ای [۱]. همانطورکه در شکل دیده می شود انرژی بستگی بازاء هر نوکلئون، برای هسته های واقع در ناحیه عدد جرمی $A=60$ به بیشینه مقدار خود می رسد بنابراین هرگاه دو هسته سبک به یکدیگر پیوندند و هسته ای با جرم متوسط تشکیل دهد (همجوشی) مقداری انرژی آزاد خواهد شد و هرگاه هسته سنگینی به دو پاره با جرم متوسط تقسیم شود (شکافت) باز هم مقداری انرژی آزاد خواهد شد.



شکل (۳-۱): تغییرات انرژی بستگی بر هستک بر حسب عدد جرمی.

شکافت هسته ای که نمودار آن در شکل (۴-۱) نشان داده شده است هنگامی صورت می گیرد که یک هسته شکافت پذیر نوترونی را جذب کند. جذب نوترون سبب برهم خوردن تعادل نیروهای داخلی بین نوترونها و پروتونها در هسته می شود. هسته به دو هسته سبکتر تقسیم می شود و بطور متوسط دو یا سه نوترون گسیل می گردد.