

روز اطلاعات و ارتباطات  
تیم مدیران

۳۱۹۷۸

وزارت اطلاعات وزارت علوم ایران  
تعمیرات وزارت علوم ایران  
تعمیرات وزارت علوم ایران

۱۳۸۰ / ۷ / ۳۰

بسم الله الرحمن الرحيم

مطالعه آهنگ چرخش میون در همجوشی  $\mu d d$  با در نظر گرفتن  
انتقال میون از  $\mu d$  به ایزوتوپهای هلیم

بوسیله

روح الله قیصری

پایان نامه

ارائه شده به دانشکده تحصیلات تکمیلی به عنوان بخشی از فعالیت های  
تحصیلی لازم برای اخذ کارشناسی ارشد

در رشته

فیزیک

از

015683

دانشگاه شیراز

شیراز، ایران

ارزیابی و تصویب شده توسط کمیته پایان نامه با درجه: عالی

امضاء اعضاء کمیته پایان نامه:

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

..... دکتر محمد مهدی گلشن، استادیار بخش فیزیک

..... دکتر عبدالناصر ذاکری، استادیار بخش فیزیک

شهریور ماه ۸۰

۳/۹/۸۰

## سپاسگزاری

اینک که به یاری پروردگار انجام این رساله به پایان رسید، لازم میدانم که از زحمات استاد گرانقدرم جناب آقای دکتر محمد رضا اسکندری که در تهیه و تنظیم این پایان نامه مرا یاری نمودند و زحمات فراوانی برای اینجانب کشیدند تقدیر و تشکر به عمل آورم. همچنین از اعضای محترم کمیته دفاع، آقایان دکتر محمد مهدی گلشن و دکتر عبدالناصر ذاکری کمال تشکر را دارم و توفیق همگی آنها را از خداوند متعال خواستارم.

تقدیم به: روح والای پدرم که یادش مرا زنده نگه داشته است

## چکیده

مطالعه آهنگ چرخش میون در همجوشی  $\mu dd$  با در نظر گرفتن انتقال میون از  $\mu d$  به ایزوتوپهای هلیم.

توسط:

روح اله قیصری

مطالعات قبلی کاتالیزور میونی D-D ، نشان داده است که نتایج حاصل از تئوری با جوابهای حاصل از تجربی همخوانی ندارد. در این پایان نامه سیستم همجوشی با سوخت خالص دوتریم در حالت ناپایا با زمان مطالعه و تأثیر انتقالات میون از  $\mu d$  به ایزوتوپهای هلیم تولیدی که باعث ناپایداری سیستم همجوشی می شود بررسی شده است. نتایج محاسبات مربوطه در سه دمای ۲۵ K، ۷۰ K و ۱۵۰ K با نتایج حاصل از آزمایش به ازاء  $(\text{Cm}^{-3}) \sim 10^{\wedge} 10 \mu\text{N}$  ، مقایسه گردیده و نشان داده شده است که هنوز مقدار خطای حاصل از این تئوری به طور متوسط کمتر از ۹ درصد است. محاسبات نشان می دهد که درصد تأثیر انتقالات تعویضی ذکر شده در مقدار سیکل چرخشی میون در محدوده  $10^{-2}$  -  $10^{-7}$  درصد است که اصلاً قابل ملاحظه نیست.

در پایان کار سیستم را در شرایط مختلف نظیر تشدید ، غیر تشدید و راندوم بررسی کرده ایم و نشان داده شده است که به

ازاء چگالیهای یونی  $LHD$   $2,3 > \Phi$  در شرایط تشدید مولکول  $\mu dd$  ، سیستم هایبرید آن می تواند بهره ور شود.

## فهرست مطالب

عنوان	صفحه
فصل اول: مقدمه.....	۱
۱-۱- مقایسه انرژی های شکافت و همجوشی.....	۲
۲-۱- فاصله هسته ها در همجوشی.....	۴
۳-۱- واکنشهای همجوشی هسته های سبک.....	۵
فصل دوم: سیستم های همجوشی.....	۷
۱-۲- آهنگ انجام واکنش D-D و T-D و He-D متناسب با انرژی آزاد شده.....	۱۱
۲-۲- مودهای مصرف D-D.....	۱۲
۲-۲- الف- مود D خالص.....	۱۴
۲-۲- ب- مود اسکات (نیمه کاتالیزد) D.....	۱۵
۳-۲- تولید ذره زیر هسته ای میون در شتاب دهنده ها و عمل کاتالیز آن.....	۱۶
۴-۲- همجوشی در D-D و محیط های دیگر هیدروژنی از طریق کاتالیزور میونی.....	۱۷
۵-۲- گسترش اقماری نیرو گاههای d-h.....	۲۰
۶-۲- سیستم های هایبرید و توان مفید.....	۲۱
فصل سوم: مکانیزم تشکیل مولکولهای میون دار در سیستم ناپایا.....	۲۴
۱-۳- تشکیل $\mu d$ و $\mu d d$ و $\mu d h$ .....	۲۴
۲-۳- انتقال میون از $\mu d$ در حالت پایه به $He^{3,4}$ .....	۲۶
فصل چهارم: معرفی شبکه، آهنگ چرخش میون و محاسبات عددی.....	۴۱
۱-۴- شبکه سیستم $\mu CF$ و طرح آن.....	۴۱
۲-۴- معادلات حاکم بر سیستم همجوشی.....	۴۳
۳-۴- معرفی آهنگ چرخش میون به عنوان پارامتر اصلی.....	۴۵
۴-۴- محاسبات عددی.....	۴۷

فصل پنجم: محاسبات عددی و نتیجه گیری..... ۴۹

مراجع..... ۷۰



## فهرست اشکال

عنوان	صفحه
شکل ۱- متوسط انرژی بستگی به ازاء هر نوکلئون بر حسب عدد جرمی.....	۱
شکل ۱-۲-۱- الف: فشردگی مغناطیسی ب: اینرسی پ: کاتالیزور میونی.....	۹
شکل ۲-۲- نمونه طراحی قرص سوخت در سیستم ICF.....	۹
شکل ۱-۱-۲- پارامتر ۵-۷ برای سوخت های همجوشی گوناگون که بوسیله توزیع یونی ماکسولی مشخص شده است.....	۱۳
شکل ۱-۴-۲- نمایش مربوط به واکنش تولید مولکول میون $\mu d$ به عنوان شاخه اصلی سیستم.....	۱۹
شکل ۱-۶-۲- سطح مقطع های تکثیر نوترون که برای نوترون حاصل از همجوشی $d+t$ امکان پذیر است.....	۲۲
شکل ۱-۱-۳- الف-۱- سطوح انرژی برای تشکیل تشدیدي MMC.....	۲۶
شکل ۱-۱-۳- الف-۲- نمودار آهنگ تشکیل MMC بر حسب دما که در آن F اسپین $\mu d$ و اسپین $\mu d$ است.....	۲۷
شکل ۱-۱-۳- الف-۳- ساختار اسپینی $\mu d$ و $\mu d$ ( $v=J=1$ ) و طریق انتقالات.....	۲۸
شکل ۱-۱-۳- الف-۴- نمودار متوسط آهنگ تشکیل $\mu d$ بر حسب دما.....	۲۹
شکل ۱-۱-۳- پ-۱- سطح مقطع های الاستیک $\sigma_{ii}$ ( $i=1,2$ ) و غیر الاستیک $\sigma_{ij}$ ( $i \neq j$ ) بر حسب انرژی مولکول D که از تئوری بدست آمده.....	۲۰
شکل ۱-۱-۳- پ-۲- آهنگ کانال برگشتی: حالت تشدیدي (منحنی ۱) و حالت غیر تشدیدي (منحنی ۲)، جمع آهنگ تشدیدي (منحنی ۳) و نقاط از آزمایش بدست آمده اند.....	۳۱
شکل ۱-۱-۳- پ-۳: آهنگ پراکندگی.....	۳۲
شکل ۱-۱-۳- پ-۴: آهنگ تبادل اسپینی $1/2 \rightarrow 3/2$ بر حسب دما در دوتریم خالص.....	۳۳
شکل ۱-۱-۳- ت-۱: آهنگ تشکیل مولکول میونی $\mu dt$ بر حسب دما.....	۳۴

- شکل ۳-۲-۱- سطح مقطع غیر الاستیک بین  $\mu d$  و  $\text{He}$ ، انرژی  $\mu d$  و  $E$  انرژی هلیوم، منحنی (۱) مربوط به  ${}^3\text{He}$  و منحنی (۲) مربوط به  ${}^4\text{He}$  است..... ۳۷
- شکل ۳-۲-۲- نمودار  $\lambda_{d,{}^4\text{He}}$  بر حسب دما..... ۳۷
- شکل ۳-۲-۳- نمودار  $\lambda_{d,{}^3\text{He}}$  بر حسب دما..... ۳۷
- شکل ۳-۲-۴- نمایی از کانالهای اصلی انتقال میون به هلیوم..... ۳۹
- شکل ۳-۲-۵- طیف مربوط به اشعه  $X$  در هر دو حالت کوانتومی  $J=0$  و  $J=1$  مربوط به  $(d\mu^3\text{He})^*$  (a) و  $(d\mu^4\text{He})^*$  (b) به صورت تئوری، آزمایشی..... ۳۹
- شکل ۴-۱-۱- شبکه واکنش برای میون در محیط پیشنهادی دوتریم-دوتریم با در نظر گرفتن انتقالهای ممکن میون از دوتریم به هسته های هلیوم تولیدی..... ۴۲
- شکل ۵-۱- توزیع نوترونی به ازاء  $\phi = 1$  در دمای 30K (شرایط تشکیل تشدید  $\mu dd$ )..... ۶۲
- شکل ۵-۲- توزیع نوترونی به ازاء  $\phi = 1$  در دمای 30K (شرایط تشکیل راندوم  $\mu dd$ )..... ۶۳
- شکل ۵-۳- توزیع نوترونی به ازاء  $\phi = 1$  در دمای 30K (شرایط تشکیل تشدید  $\mu dd$ )..... ۶۴
- شکل ۵-۴- توزیع نوترونی به ازاء  $\phi = 1$  در دمای 300K (شرایط تشکیل راندوم  $\mu dd$ )..... ۶۵
- شکل ۵-۵- توزیع نوترونی محاسبه شده به ازاء  $\phi = 0.02$  در دمای 25.5K..... ۶۶
- شکل ۵-۶- توزیع نوترونی آزمایشی به ازاء  $\phi = 0.02$  در دمای 25.5K. منحنی های خط چین ( $F = 1/2, 3/2$ ) مربوط به حالت هایی است که اتم میونی  $\mu d$  با اسپین  $F$ ، در تشکیل  $\mu dd$  شرکت کند..... ۶۶

شکل ۵-۷- توزیع نوترونی به ازاء  $\phi = 0.02$  در دمای 150K محاسبه شده در این

رساله ..... ۶۶

شکل ۵-۸- توزیع نوترونی آزمایشی به ازاء  $\phi = 0.02$  در دمای 150K . منحنی های

خط چین ( $F = 1/2, 3/2$ ) مربوط به حالت هایی است که اتم میونی  $\mu d$  با

اسپین  $F$ ، در تشکیل  $\mu dd$  شرکت کند..... ۶۶

## فهرست جداول

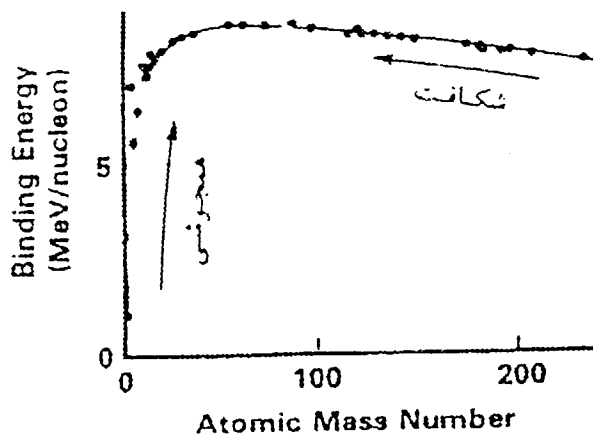
صفحه	عنوان
۱۰.....	جدول ۱-۲.....
۵۱.....	جدول ۱-۵.....
۵۲.....	جدول ۲-۵.....
۵۴.....	جدول ۳-۵.....
۵۵.....	جدول ۴-۵.....
۵۶.....	جدول ۵-۵.....
۵۷.....	جدول ۶-۵.....
۵۸.....	جدول ۷-۵.....
۵۹.....	جدول ۸-۵.....
۶۰.....	جدول ۹-۵.....

## فصل اول

### مقدمه

رشد جمعیت با نیاز انسانها به انرژی نسبت مستقیم دارد. از اواسط قرن حاضر جمعیت جهان دو برابر، و نیاز انسانها برای انرژی سه برابر شد. احتمال می رود که شارژ گاز طبیعی بین پنجاه تا صد سال آینده بکلی تمام شود و یا دیگر سوزاندن آنها به عنوان تولید انرژی قابل توجیه نباشد. لذا باید فکری اساسی کرد.

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 به ایزاء هرنوکلیون، برحسب عددجرمی (شکل ۱)، دو راه پیشنهاد گردید. راه اول شکافت هسته ای و راه دوم همجوشی هسته ای [1,2].



شکل ۱: متوسط انرژی بستگی به ایزاء هرنوکلیون برحسب عدد جرمی [1].

به علت مشکلات وابسته به پدیده شکافت مخصوصاً آلودگی ناشی از پسماندهای شکافت که اکثراً رادیواکتیویته های بسیار فعال می باشند، همچنین موارد استفاده های تسلیحاتی از بعضی موارد نظیر پلوتونیم از یک طرف

و محدود بودن منابع سوخت آنها از طرف دیگر (۱۰۰-۵۰ سال آینده بدون استفاده از راکتورهای زاینده) باعث می شوند تا توجه محققین به قسمتهای دیگر منحنی، یعنی آزاد سازی انرژی از طریق همجوشی هسته ای جلب شود. و با الهام گرفتن از اینکه انرژی ناشی از خورشید و سایر ستاره ها بر اساس فرآیند همجوشی است، بر آن شدند تا فرآیندهای همجوشی را در روی زمین به عنوان منابع انرژی مورد بررسی قرار دهند. فرآیندهای همجوشی علاوه بر اینکه منبع جدیدی از انرژی هستند مزیت‌های دیگری هم دارند که به بعضی از این مزایا می توان اشاره کرد.

۱- فراوانی و قابل دسترس بودن سوخته‌های همجوشی.

۲- انرژی آزاد شده به ازاء هر نوکلئون سوخت در همجوشی هسته ای بیش از فرآیندهای شکافت است.

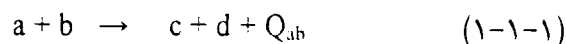
۳- قابل کنترل بودن فرآیندهای همجوشی بسیار ساده تر از فرآیندهای شکافت است.

۴- نوترون تنها ماده رادیواکتیو در محصولات همجوشی D/D و D/T می باشد که دارای نیمه عمر کوتاهی بوده و با بکاربردن بلانکتهای مناسب قابل کنترل می شود. بنابراین مشکل پسماندهای رادیواکتیو واکنش‌های شکافت به صورت عمده در همجوشی وجود ندارد.

می توان از معایب پدیده شکافت به وقایع تاریخی انفجار در نیروگاه‌های هسته ای چرنوبیل و تری مایل آیلند اشاره کرد که به علت غیر قابل کنترل بودن بعضی سیستم های آنها مشکلات عدیده ای را به بار آوردند.

#### ۱-۱: مقایسه انرژی‌های شکافت و همجوشی:

به عنوان یک واکنش عمومی فرآیند زیر را در نظر می گیریم.



که در آن  $Q_{ab}$ ، انرژی آزاد شده، از رابطه زیر محاسبه می شود.

$$Q_{ab} = [(m_a + m_b) - (m_c + m_d)]c^2 = -\Delta m_{ab}c^2 \quad (2-1-1)$$

که در آن  $\Delta m_{ab}$ ، اختلاف جرم واکنش نام دارد. به روشنی اگر  $\Delta m_{ab} < 0$  باشد،  $Q_{ab}$  مثبت یعنی واکنش خود به خودی است و در غیر این صورت اگر

$Q_{ab} < 0$  باشد،  $\Delta m_{ab}$  منفی است و برای پیشرفت واکنش برای تولید هسته های  $c$  و  $d$  مقداری انرژی به عنوان انرژی اولیه لازم می شود. معادله (۱-۱-۲) همان شکل بسیار آشنای  $E=mc^2$ ، فرمول رابطه جرم-انرژی اینشتین، می باشد واکنش (۱-۱-۱) واکنش کلی برای واکنش های همجوشی و شکافت می باشد.

این ایده مهم تبادل جرم انرژی را می توان به شکل زیر تقویت کرد: تعداد  $Z$  پروتون ایزوله شده، هر کدام دارای جرم  $m_p$ ، تعداد نوترون ایزوله شده دارای جرم هر کدام  $m_n$  را در نظر می گیریم، اگر  $A=Z+N$  نوکلئون با هم ترکیب شوند و هسته ای با جرم در حال سکون  $m_A$  را ایجاد کنند، میتوان اختلاف جرم نهایی و جرم ایزوله شده را با  $\Delta m$  نشان دهیم.

$$\Delta m = m_A - (Zm_p + Nm_n) \quad (۱-۱-۳)$$

نکته مهم این است که  $\Delta m < 0$  می باشد و می توان این کاهش جرم را به صورت زیر نوشت.

$$-(\Delta m/A)c^2 = [(Zm_p + Nm_n) - m_A]c^2 / (Z+N) \quad (۱-۱-۴)$$

که نشانگر میانگین انرژی به ازاء یک نوکلئون است. اسم انرژی بستگی به این کمیت داده شده و بستگی آن به عدد جرمی  $A$  در شکل (۱) نشان داده شده است. تمام سیستم های هسته ای بگونه ای طراحی شده اند که مقداری از این انرژی پیوستگی استخراج شود. همان گونه که در شکل (۱) نشان داده شده است، شکافت در ناحیه ای انجام می گیرد که عدد جرمی  $A$  زیاد است و این ناحیه در برگیرنده شکسته شدن یک هسته سنگین به هسته های کوچکتر بوسیله جذب نوترون است. درحالیکه همجوشی در برگیرنده ترکیب دو هسته سبک برای تشکیل دو یا سه محصول می باشد که حداقل یک هسته محصول سنگین تر از هسته های شرکت کننده در همجوشی (قبل از واکنش) می باشد [۱].

شرط لازم و کافی جهت انجام واکنشهای شکافت و همجوشی رابطه زیر است .

$$Q_{ab} + T_0 > 0 \quad (۱-۱-۵)$$

که در آن  $T_0$  انرژی جنبشی هسته  $a$  در دستگاه مرکز جرم می باشد [۳]. با آوردن یک مثال، مقدار انرژی که به ازاء هر نوکلئون، از شکافت و همجوشی