

دانشگاه پیام نور

دانشکده:

علوم

گروه:

فیزیک

عنوان پایان نامه (رساله)

محاسبه آهنگ واپاشی فوتونی مولکول $pd\mu$

پایان نامه:

کارشناسی ارشد

در رشته:

فیزیک

استاد راهنما:

دکتر محمد رضا اسکندری

۱۳۸۷ / ۲ / ۱۳

ماه و سال انتشار

۸۶/۴/۳۱

۱ ۴ ۳ ۱ ۱۳



بسمه تعالی

تاریخ
شماره
پیوست

صورت جلسه دفاع از پایان نامه

دانشگاه جامع پیام نور استان فارس

جلسه دفاع از پایان نامه خانم/آقای یاسمن عابد دانشجوی کارشناسی ارشد

رشته فیزیک گرایش هسته ای دانشگاه پیام نور مرکز شیراز با عنوان:

محاسبه به آهنگ همجوشی فوتونی مولکولی $p\mu$

در ساعت ۱۰-۱۲ تاریخ ۸۶/۴/۳۱ با حضور اعضای کمیته نامبرده در زیر بر گزار گردید و با

نمره ~~۳۰~~ و درجه ارزشیابی ----- مورد تأیید قرار گرفت.

اعضای کمیته

امضا	از دانشگاه	مرتبه علمی	نام و نام خانوادگی	اعضای کمیته
	شیراز	استاد	محمد رضا اسکندری	۱- استاد راهنما
	پیام نور تهران	استاد	پرویز پرورش	۲- استاد مشاور
	پیام نور شیراز	استادیار	عبدالرسول قرائتی	۳- داور جلسه
	پیام نور شیراز	- استادیار	نرگس عباسی	۴- نماینده دانشگاه

ملاحظات:

سپاسگزاری

خداوند بزرگ را می ستایم که توفیقی عطا فرمود تا این پایان نامه را در حد توان علمی خویش به اتمام رسانم .

بدینوسیله از استاد ارجمند جناب دکتر محمد رضا اسکندری که همواره از راهنمائیهای ایشان در تدوین این رساله استفاده کرده ام .تشکر وقدر دانی می نمایم .

چکیده

محاسبه آهنگ همجوشی فوتونی مولکول $p\mu$

خداوند با آفرینش خورشید نه تنها به کره خاکی انرژی رایگان ارزانی داشته است بلکه به بشر می آموزد انرژی پاک تولید نماید. کل انرژی که از خورشید به زمین می رسد تقریباً 7×10^{17} کیلو وات ساعت است که این مقدار بیش از 30000 بابر اشکال انرژی است که در وسایل ساخت بشری مورد استفاده قرار می گیرد، بنا بر این اگر بتوان توسط همجوشی حداقل $\frac{1}{30000}$ انرژی را که خداوند به کره زمین ارزانی می دارد تولید نمود بشر از بابت مصرف انرژی مشکلی نداشته، محیط زیست را آلوده نخواهد کرد.

یکی از اساسی ترین معیارهای پیشرفت دانش و فن هر کشور میزان دستیابی آن به منبع انرژی ارزان، آسان و پاک است. از آنجا که تبدیل قسمت عمده انرژی خورشید به اشکال گوناگون امری با بازده کمتر بوده است در عرض 40 سال گذشته دانشمندان بسیاری پیوسته به فکر ساخت شبه خورشید های کوچکی بوده اند و هم اکنون کشورهای صنعتی در این امر شتابان می تازند. در ایران نیز در حالیکه از عمر همجوشی هسته ای بیش از 40 سال نمی گذرد تحقیقات و پژوهش در همجوشی هسته ای کم و بیش 20 سال سابقه دارد. اگر امروز در همجوشی گامی به جلو بگذاریم قطعاً در دهه آینده که نیروگاههای همجوشی جانشین نیروگاههای همجوشی فسیلی و... خواهند شد با این صنعت بیگانه نخواهیم بود.

با پیشرفت علوم و تکنولوژی، در زمینه فرایند شکافت، بشر توانست راکتورهای هسته ای را طراحی نماید و از انرژی تولید شده در آن برای مصارف خود استفاده نماید. ولی تا کنون راکتورهای هسته ای که بتواند همجوشی را انجام داده و انرژی همجوشی را به صورت کنترل شده و مداوم و ارزان در اختیار بشر قرار دهند ساخته نشده است. منتها تحقیقات در این زمینه انجام گرفته و در حال انجام است و نتایج امیدوار کننده ای حاصل گردیده است.

تا کنون فرایند همجوشی در مخلوط سه گاز دوتریم-تریتم و پرتون (${}^1_1H, {}^3_1T, {}^2_1D$) توسط میون به عنوان کاتالیزور مورد بحث و بررسی قرار گرفته و نتایج مفیدی حاصل شده است. اما در این کار تحقیقاتی ما به بررسی واپاشی فوتونی در مولکول $p d \mu$ می پردازیم به همین منظور ابتدا شبکه واکنشهای $\mu c f$ را در مخلوط سه گاز را با در نظر گرفتن دوتریم در حالت اورتو و پارا تعیین کرده و سپس از روی این شبکه ها معادلات حاکم را بر شبکه نوشته و آنرا برای غلظتهای مختلف حل می کنیم. آنگاه به حل معادله شرودینگر و محاسبه ψ برای مولکول $p d \mu$ پرداخته و در نهایت آهنگ واپاشی فوتونی این مولکول را محاسبه کرده.

جوابهای که به وسیله روش تیوری بدست آمده همخوانی خوبی با جوابهای آزمایشگاهی دارد و این مطلب حاکی از آن است که فرضیات استفاده شده در این کار فرضیات مناسبی است.

فهرست مطالب

صفحه	عنوان
چهار	فهرست جداول
پنج	فهرست نمودار
1	فصل اول: مقدمه
4	1-1) انرژی همجوشی هسته ای
4	1-1-الف) انرژی همجوشی هسته ای
6	1-2) دافعه الکترواستاتیکی
9	فصل دوم:
10	1-2) مروری بر همجوشی از طریق کاتالیزور میونی
12	2-2) معرفی پارامترهای مهم در همجوشی از طریق کاتالیزور میونی
12	2-2-الف) تولید میون
15	2-2-ب) آهنگ تشکیل مزو اتم ها
15	2-2-ج) واکنش انتقالی
16	2-3) آهنگ تشکیل مزومولکولها
21	2-4) تعداد همجوشی
22	2-5) چسبندگی

24.....	فصل سوم :معادلات حاکم بر چرخه
25.....	(1-3)تشکیل اتم های $d\mu$
28.....	(2-3)تشکیل مولکول میونی $dd\mu$
29.....	(3-3)آهنگ همجوشی در مولکولهای میونی وچسبیدن میون
30.....	(4-3)تشکیل مولکول $pd\mu$
31.....	(5-3) معادلات حاکم بر چرخه
34.....	(6-3) محاسبات عددی
38.....	فصل چهارم :
39.....	(1-4)روش وردشی برای مساله چند جسمی
39.....	(2-4)هامیلتونی سیستم Nذره ای
40.....	(1-2-4) ذرات یکسان
40.....	(2-2-4)بر همکنش های دو ذره
41.....	(3-2-4)برهمکنش الکترو استاتیک
41.....	(4-2-4)برهمکنش اتم- اتم
41.....	(5-2-4) طول پراکندگی برای برهم کنش های محدود
43.....	(6-2-4)نمایش ماتریسی
45.....	(3-4)روش وردشی خطی
47.....	(1-3-4)طیف مولکول H_2^+
52.....	(2-3-4)ارتعاش هسته ها در مولکولها
52.....	(3-3-4)فرضیه بورن- اپنهايمر

54.....	4-4) معادله شرو دینگر برای حرکت هسته.....
55.....	4-5) پراکندگی در انرژی پایین.....
59.....	4-6) پراکندگی تشدیدی.....
62.....	فصل پنجم: محاسبه آهنگ واپاشی فوتونی مولکول $p d \mu$
63.....	5-1) بررسی چرخه میونی در مخلوط H / D
64.....	5-2) تئوری محاسبه یونهای غیر متقارن $p d \mu$
67.....	5-3) محاسبه همجوشی در کانال همجوشی یون متقارن بار $p d$
69.....	فصل ششم: بحث و نتیجه گیری.....
73.....	مراجع.....

فهرست جداول

صفحه	عنوان
19.....	جدول (1-2) مقادیر عددی $\lambda_{dt}, \lambda_{dt\mu-t}, \lambda_{dt\mu-d}$ در محدوده دمائی $100^{\circ}K$ تا $1400^{\circ}K$
33.....	جدول (1-3) مقادیر عددی برای محاسبه آهنگ چرخه میونی در دوتریوم جامد D_2
36.....	جدول (2-3) مقادیر $N_{d\mu}^{\frac{1}{2}}, N_{d\mu}^{\frac{3}{2}}, N_{dd\mu}, N_{p\mu}$ در ازاء $\varphi = 5$ و $C_p = 0.25, C_{pa} = 0.249, C_{or} = 0.501$
37.....	جدول (3-3) مقادیر عددی $N_{pd\mu}^{J=0}, N_{pd\mu}^{J=1}, N_{pd\mu}^{J=1*}, N_{pd\mu}^{J=2}$ در ازاء $\varphi = 5$ و $C_p = 0.25, C_{pa} = 0.249, C_{or} = 0.501$
70.....	جدول (1-6) پهنای واپاشی فوتونی محاسبه شده برای دو حالت اسپینی pd و مقایسه آن با داده های قبلی

فهرست نمودارها

عنوان	صفحه
شکل 1-1: الف) فشردگی مغناطیسی (ب) فشردگی اینرسی (پ) همجوشی به شیوه کاتالیزور میونی	3
شکل (1-2): نمایش پتانسیل الکترواستاتیکی برای برخورد های یون- یون	8
شکل (1-2): الف) سد کولنی بین هسته های دوتریوم و تریتیوم. ب) سد کولنی توسط اتم خنثی و کوچک از بین خواهد رفت	12
شکل (2-2): تولید میون به صورت طبیعی در اثر برخورد پرتوکیهانی به جو زمین	14
شکل (3-2): تولید میون به طور مصنوعی از طریق بمباران کردن هسته های کربن	14
شکل (4-2) نمودار λ_{dt} بر حسب دما	16
شکل (5-2): الف) تشکیل غیر تشدید (ب) تشکیل تشدید	18
شکل (6-2) چرخه میونی در مخلوط $H/D/T$	21
شکل (7-2) شبکه واکنش جامع برای میون در محیط D/T	23
نمودار (1-3): وابستگی $\lambda_{dt}^{\frac{3}{2} \rightarrow \frac{1}{2} scat}$ به دما در حالت مایع	26
نمودار (2-3): وابستگی $\lambda_{dt}^{\frac{3}{2} \rightarrow \frac{1}{2} back}$ به دما در حالت مایع	27
شکل (3-3): ساختار فوق ریز برای اتم $d\mu$ که اختلاف انرژی بین دو حالت $F = \frac{3}{2}$	
شکل (3-3): ساختار فوق ریز برای اتم $d\mu$ که اختلاف انرژی بین دو حالت $F = \frac{1}{2}$ برابر است با (0.0485ev) و اختلاف انرژی بین دو حالت $S = \frac{1}{2}$ و $S = \frac{3}{2}$	28

- شکل (3-4) : شبکه واکنش همجوشی در دوتریوم با در نظر گرفتن اورتو و پارا..... 34
- شکل (5-3): شبکه واکنش همجوشی در مخلوط H/D 35
- شکل (1-4): رانش کولنی و انرژی الکترونی ترکیب می شوند تا منحنی یک مینیمم R_0 داشته باشد..... 48
- شکل (2-4) : نتیجه محاسبات وردشی برای H_2^+ 51
- شکل (3-4) مقایسه سطح مقطع برخورد $d\mu-d$ در حالت $L=0$ با در نظر گرفتن فرضیه بورن اینهایمر با منحنی سه جسمی در حالت جامد..... 57
- شکل (4-4) مقایسه سطح مقطع برخورد $t\mu-d$ در حالت $L=0$ با در نظر گرفتن فرضیه بورن اینهایمر با منحنی سه جسمی در حالت جامد..... 58
- شکل (5-4) مقایسه سطح مقطع برخورد $t\mu-t$ در حالت $L=0$ با در نظر گرفتن فرضیه بورن اینهایمر با منحنی سه جسمی در حالت جامد..... 58
- شکل (6-4) : $V_{eff} = V(r) + \frac{\hbar^2 l(l+1)}{2m r^2}$ بر حسب r و برای $l \neq 0$ به صورت $\frac{\hbar^2 l(l+1)}{2m r^2}$ و برای $l=0$ به صورت $V(r)$ است..... 59
- شکل (1-5) : مختصات ژاکوبی برای سیستم $ab\mu$ 64
- شکل (2-5): الف) نمودار $E_{(u)}$ بر حسب R است . ب) نمودار $E_{(g)}$ بر حسب R است که در $R_0 = 0.23 \times 10^{-9} \text{ cm}$ دارای مینیمم است..... 66

شکل (3-5): واکنش های که برای مولکول pdu رخ می دهد در حالت الف) مولکول pdu از طریق M_1 یک تابش γ انجام می دهد و 3He با μ ترکیب شده و 3He را می دهد ب) p, d تحت تاثیر ماتریس E_0 تبدیل به 3He شده و μ را آزاد می کند..... 68

شکل (1-6): نتایج واپاشی میونی (سه نمودار بالایی) و واپاشی گاما (سه نمودار نهایی) مولکول pdu 71

فصل اول

مقدمه

همجوشی عبارت است از ترکیب دو هسته سبکتر برای تشکیل هسته سنگین تر که دارای انرژی پیوستگی بیشتری است. تحقیقات در زمینه همجوشی هسته ای را می توان در دوروش کلی تقسیم کرد.

در نوع اول که همجوشی داغ می نامیم از دو عامل بالا بردن دما و چگالی جهت افزایش شانس برخورد استفاده می شود و روشهای مورد استفاده از این نوع همجوشی عبارتند از

الف) همجوشی از طریق محصورشدگی مغناطیسی (MCF)

ب) همجوشی از طریق محصور شدگی لختی (ICF)

نوع دوم، همجوشی سرد است که نیاز به دمای بالا نمی باشد و یکی از روشهای عملی این نوع همجوشی، همجوشی با کاتالیزور میونی است.

روشی که به طور گسترده پژوهش شده است روش فشردگی از طریق مغناطیسی می باشد که شامل یونیزه کردن گاز هیدروژن اولیه و گرم کردن آن تا دمای نسبتا بالا برای افزایش واکنش همجوشی است و به دلیل دافعه کولنی لازم است یونها فشرده شوند و این کار به وسیله میدان مغناطیسی صورت می گیرد.

روش دومی که بیشتر برای رسیدن به همجوشی معمول است، فشردن مواد همجوشی کننده به وسیله نیروهای اینرسی است. این روش همجوشی در بر گیرنده قرص های کوچک است که به وسیله لایه های فشارنده احاطه شده است پالس غلیظی از ذرات باردار یا پرتومغناطیسی، از جهات مختلف که به طور یکنواخت توزیع شده با قرص برخورد می کنند در نتیجه لایه آخری، موج فشار را به سوی درون ایجاد می کند این موج فشار چگالی قلب را افزایش می دهد و پیش از فرو پاشی قرص بایستی واکنشهای همجوشی به حد کافی صورت گیرد.

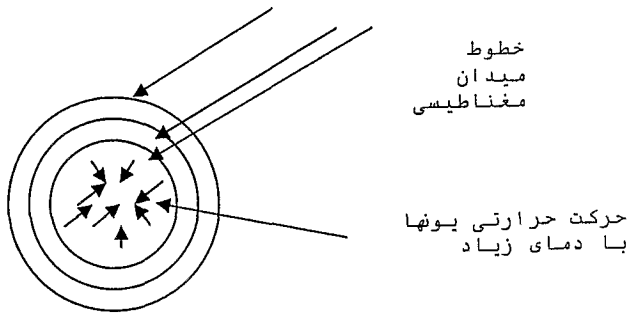
هر کدام از روش های فوق بر اساس اصل دادن انرژی کافی به ذرات برای چیرگی بر نیروهای کولنی پایه گذاری شده است. روش متفاوت و جالب توجه روشی است که نیازمند دمای بالا نباشد و پدیده دافعه کولنی را حذف کند. این روش را به این گونه توصیف می کنیم:

از بین ذرات زیر هسته ای ذره میون دارای زمان عمر کوتاهی است که باری برابر با الکترون دارد و جرم آن خیلی بیشتر از جرم الکترون است بنا بر این میون ممکن است وارد مدار بوهر هسته هیدروژن شود هیدروژن میوندار ممکن است به هسته هیدروژن دیگر نزدیک شود و در نتیجه احتمال همجوشی را افزایش دهد و به دنبال یک واکنش همجوشی میون با احتمال زیاد رها می شود و در نتیجه برای چسبیدن به هسته هیدروژن

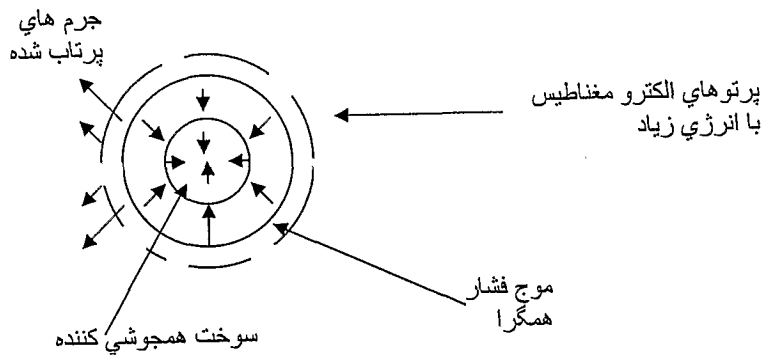
دیگر نزدیک شود در نتیجه احتمال همجوشی را افزایش دهد و تکرار این چرخه تا قبل از اینکه میون واپاشی کند ادامه خواهد داشت. این فرایند همجوشی، به شیوه کاتالیزور میونی معروف است [1].

در شکل 1-1 هر کدام از فرایندهای همجوشی فوق الذکر آمده است.

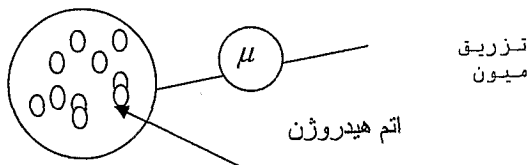
الف) فشردگی
مغناطیسی



ب) فشردگی اینرسی



پ) همجوشی به شیوه کاتالیزور میونی



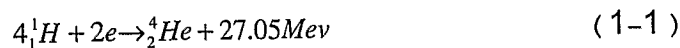
شکل 1-1: الف) فشردگی مغناطیسی (ب) فشردگی اینرسی (پ) همجوشی به شیوه کاتالیزور میونی [2]

1-1) انرژی همجوشی هسته ای

انجام هر فرایند همجوشی همراه مشکلاتی می باشد که عمده ترین آنها تهیه سوخت مورد نیاز و وجود دافعه کولنی می باشد که هر یک مورد بحث قرار می گیرد [2]:

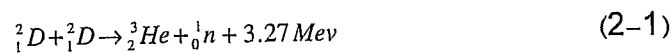
1-1- الف) انرژی همجوشی هسته ای

خورشید کره عظیمی با شعاع $7 \times 10^8 m$ و جرم $2 \times 10^{30} kg$ است که $9.3 \times 10^{21} Kcal$ انرژی در ثانیه در فضا منتشر می کند. هسته هیدروژن یک تک پروتون است وقتی این پروتون با پروتون دیگری جهت تشکیل هسته بزرگتر ترکیب گردد پایداری بیشتری کسب خواهد کرد. واکنش هسته ای زیر را در نظر بگیرید:

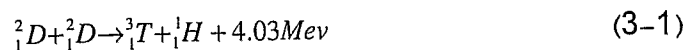


تابش مداوم خورشید ناشی از این همجوشی است. جای بسیاری خوشبختی است اگر مابتوانیم از چنین واکنشی در زمین بهره مند شویم. چرا که هیدروژن به اندازه کافی در زمین یافت می شود، و همچنین محصول همجوشی، هلیم گاز بی اثر و پایداری است که مفید بوده و زیان آور نیست. اما به واسطه پایین بودن آهنگ واکنش فوق در یک نیروگاه کوچک توان آزاد شده از رابطه (1-1) قابل ملاحظه نخواهد بود.

هیدروژن موجود در زمین شامل دو تریوم (${}^2_1H, {}^3_1D$) است و دوتریوم در واکنش های همجوشی زیر با آهنگ واکنش نسبتاً مساوی شرکت می کند:



یا

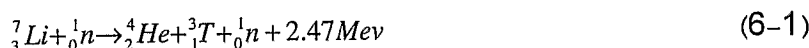


که در آن 3T ، تریتم، ایزوتوپ دیگری از هیدروژن است. آهنگ واکنشهای (2-1) و (3-1) خیلی بالاتر از واکنش (1-1) است. دو تریوم موجود در 10^{20} لیتر در آب های روی زمین می تواند 7.5×10^9 کالری انرژی همجوشی تولید کند. این انرژی برای رفع احتیاجات 10^{10} سال کفایت می کند [3]. اما نظر به اینکه سطح مقطع واکنشهای (2-1) و (3-1) چندان بالا نیست با علم و تکنولوژی فعلی بشر، نمی توان به چنین انرژی با بازده مناسب دسترسی پیدا کرد.

یکی از واکنشهای همجوشی که بیشترین سطح مقطع یا احتمال وقوع را دارد عبارت است از:



در این رابطه 3T ماده رادیو اکتیوی با واپاشی از نوع بتا نیمه عمر 12 سال است. تریتم به صورت طبیعی موجود نیست و از طریق واکنش های زیر بدست می آید:



در راکتورهای همجوشی، واکنش های (4-1) و (5-1) و (6-1) به طور همزمان انجام می گیرد. نوترونهای تولید شده در واکنش (4-1) در هر یک یا در هر واکنش (5-1) و (6-1) شرکت می کنند، و بر عکس تریتم تولید شده در هر یک از واکنشهای (5-1) و (6-1) یا هر دو، در واکنش (4-1) مصرف می شود از ترکیب واکنش های (4-1) و (5-1) خواهیم داشت:



این رابطه نشان می دهد که سوختهای اصلی در واکنش $D-T$ ، لیتیم و دو تریوم می باشند. معادن لیتیم دنیا عمدتاً در آمریکا، کانادا و چند کشور آفریقایی قرار دارند. کل لیتیم

معدنی حدود $9 \times 10^9 \text{ Kg}$ است که توسط واکنش همجوشی (1-7) انرژی تولید خواهد کرد همچنین آب دریا شامل دوتریم با غلظت 158 ppm و لیتیم با غلظت 0.17 ppm می باشد انرژی همجوشی حاصل از کل لیتیم موجود در آب دریا 6×10^6 کالری است [3]. در حقیقت همجوشی هسته ای گنجینه ای است که می تواند مسئله انرژی را کاملاً بر طرف کند. اما خداوند این نعمت بی انتها را به سادگی در اختیار ما قرار نداده و این است که تا کنون نوع بشر در جهت دستیابی به آن مشقات بسیاری را متحمل شده است.

2-1) دافعه الکترواستاتیکی

واکنش همجوشی عمومی زیر را در نظر می گیریم و برای آن نیروهای موثر در انجام همجوشی را مورد مطالعه قرار می دهیم.

$$a+b \rightarrow (ab) \rightarrow d+e+Q_{ab} \quad (8-1)$$

یکی از نیروهای موثر جاذبه نیوتنی در مورد هر جفت جرم m_a و m_b است که به وسیله رابطه زیر ارایه می شود.

$$F_g = \frac{Gm_a m_b}{r^2} \quad (9-1)$$

محاسبه ساده ای نشان میدهد که برای جرم های هسته ای مورد نظر، این نیرو به گونه ای چشمگیر ضعیفتر از نیروهای الکترو استاتیک و نیروهای هسته ای مربوط به هسته ها است و در نتیجه می توان از آن چشمپوشی کرد.

نیروی الکترواستاتیک مهم بین دو ذره با بارهای q_a و q_b که به فاصله r از هم قرار دارند به وسیله قانون کولن ارایه شده است

$$F = \frac{1}{4\pi\epsilon} \frac{q_a q_b}{r^2} \quad (10-1)$$

و برای دو بار مشابه به صورت دافعه و برای دو بار غیر مشابه جاذبه است و برای حالت الکترواستاتیک، انرژی پتانسیل به شکل زیر است

$$U = \frac{1}{4\pi\epsilon} \frac{q_a q_b}{r} \quad (11-1)$$

که در آن فاصله جدایی بین دو ذره $r \geq r_a + r_b$ است و r_a و r_b شعاع معادل دو ذره باردار است. برای هسته های با بارهای مشابه انرژی پتانسیل در فاصله تماس $r = r_a + r_b$ را سدکولنی می نامیم.

بر اساس مطالعات نیروهای الکترواستاتیکی این در واقع کمترین انرژی جنبشی ذرات واکنش کننده است تا بتوانند بر دافعه الکترواستاتیکی چیره شده و برای غالب شدن نیروهای جاذبه هسته ای به حد کافی به هم نزدیک شوند برای یونهای هیدروژن این انرژی محاسبه شده حدود 300Kev می باشد [2]. بررسی پدیده تونل زنی در مکانیک کوانتومی یک احتمال غیر صفر برای نفوذ از سد کولنی در انرژی کمتر را فراهم می سازد. این احتمال برای نفوذ از روابط زیر محاسبه می شود.

$$P_c \cong \exp(-\gamma \frac{q_a q_b}{V_r}) \quad (12-1)$$

که در آن V_r سرعت نسبی ذرات حرکت کننده و γ عددی ثابت است در نتیجه حتی یون دارای انرژی نسبتاً اندک احتمال همجوشی با یون دیگر را دارد اگر چه این احتمال کوچک و اندک است. در فاصله نسبتاً نزدیک نیروهای جاذبه هسته ای نیرومند حاکم می شوند و هسته مرکب تشکیل می شود انرژی جنبشی ذرات آغاز کننده با انرژی پتانسیل هسته ای به دست آمده بین تمام نوکلئونها پخش می شود در شکل 1-2 بر خی از نکات ذکر شده است.