



بیست و یکمین کنفرانس هشتای ایران

۶ و ۷ اسفند ماه ۱۳۹۳ دانشگاه اصفهان

تأثیر شدت پالسباریکه یونی بر روی دما و چگالی هدف در همجوشی محصور شدگی لختی

باغستانی، سمیه*؛ غلام زاده، لیلیا^۲؛ شریفیان، مهدی^۱

^۱ دانشگاه یزد، دانشکده فیزیک، گروه اتمی - مولکولی

^۲ دانشگاه یزد، دانشکده فیزیک، گروه هسته‌ای

چکیده:

در همجوشی محصورشدگی لختی هدف توسط باریکه‌های یونی یا لیزری متراکم می‌گردد. هنگامی که هدف با باریکه‌های یون سنگین به طور مستقیم متراکم می‌شود، پارامترهای پالس ورودی: شامل توان ورودی، انرژی ورودی و شکل پالس از اهمیت شایانی برخوردار هستند. هر پالس از دو قسمت ضعیف و قوی تشکیل شده است که در این مقاله اثر افزایش پالس قوی را بر روی دما و چگالی هدف در پایان متراکم سازی مورد بررسی قرار داده‌ایم. برای این بررسی، معادلات هیدرودینامیکی حاکم بر هدف سوخت را با استفاده از روش تفاضل محدود در حوزه زمان حل کرده‌ایم. نتایج شبیه سازی نشان می‌دهد افزایش توان ورودی موجب افزایش دما و کاهش چگالی هدف می‌گردد.

کلید واژه: همجوشی، هدف، باریکه یون سنگین، شکل پالس، توان ورودی.

مقدمه

هدف در همجوشی محصورشدگی لختی توسط باریکه‌های لیزری یا باریکه‌های یون سنگین به دو صورت مستقیم و غیرمستقیم متراکم می‌شود [۱-۳]. باریکه‌های یونی به دلیل داشتن آهنگ تکرار بالا و بازده بالا نسبت به راه اندازه‌های لیزری بهتر هستند. باریکه یونی باید شکل مناسبی داشته باشد تا انرژی مورد نیاز متراکم سازی فراهم گردد. باریکه یون سنگین هنگامی که به طور مستقیم به هدف برخورد می‌کند در هدف نفوذ کرده و مقداری از انرژی اش را به هدف منتقل می‌کند که با گذشت زمان انرژی جنبشی باریکه تبدیل به انرژی حرارتی شده و باعث افزایش دمای هدف می‌گردد و هنگامی که دمای سوخت در حد چند کیلو الکترون ولت برسد همجوشی هسته‌ای آغاز خواهد شد [۱، ۲].

در این مقاله یک نمونه هدف، توسط باریکه یونی بیسموت به طور مستقیم متراکم می‌شود و با استفاده از حل معادلات هیدرودینامیکی، دما و چگالی سوخت را برای یک پالس دلخواه شبیه سازی می‌کنیم. طراحی باریکه فرودی و طراحی هدف مناسب، مهمترین شرایط در همجوشی محسوب می‌شوند [۴، ۵].

شرح کار

برای بررسی هیدرودینامیکی هدف از معادلات نویر استوکس^۱ استفاده می‌کنیم. با حل این معادلات می‌توان تغییرات چگالی و دما را در طول شعاع ساچمه بدست آورد. معادلات پیوستگی جرم، نیرو و انرژی به ترتیب عبارتند از:

$$\frac{d\rho}{dt} = -\rho \nabla \cdot u \quad (1)$$

^۱Navier-Stokes equation



بیست و یکمین کنفرانس هشتای ایران

۶ و ۷ اسفند ماه ۱۳۹۳ دانشگاه اصفهان

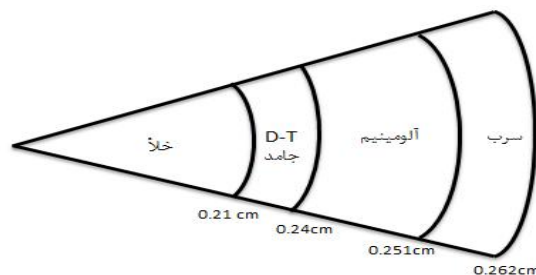
$$\rho m \frac{du}{dt} + \nabla P = 0 \quad (2)$$

$$\frac{dE}{dt} + P \nabla \cdot u = Q \quad (3)$$

ρ چگالی سیال، u سرعت سیال، m جرم یونی، P فشار، E انرژی هدفرا مشخص می‌کند و Q چشمه انرژی است که با محاسبه توان توقف باریکه یون سنگین [۶، ۷] در هدف مورد نظر بدست می‌آید. با حل معادله (۱) می‌توانیم تغییرات چگالی وابسته به زمان را بدست آوریم و تغییرات دما با حل معادلات (۲) و (۳) و معادلاتی از حالت [۸] بدست می‌آید. این معادلات را با روش تفاضل محدود [۹] و با استفاده از برنامه‌ای که در نرم افزار متلب نوشته‌ایم، در مختصات کروی و به صورت یک بعدی حل کرده‌ایم و نتایج را در ادامه گزارش می‌کنیم.

۱- طراحی هدف

همانطور که گفتیم یکی از موارد مهم در همجوشی محصورشدگی لختی مشخصات هدف می‌باشد. در هدف‌های چند لایه، ناحیه مرکزی خلأ یا گازی از سوخت است تا هنگام متراکم شدن شرایط مناسب اشتعال فراهم گردد، ناحیه مرکزی توسط لایه‌ای از سوخت جامد پوشیده می‌شود. لایه بعد را با موادی با عدد اتمی بالا قرار می‌دهند و لایه آخر بعنوان انتقال دهنده باریکه یون سنگین به هدف می‌باشد. نکته ای که باید در طراحی هدف رعایت کنیم این است که باید لایه‌های بیرونی سنگین‌تر از لایه‌های داخلی باشند تا عمل متراکم سازی به خوبی انجام گیرد [۴]. هدفی که ما در نظر گرفتیم یک هدف کروی است که مشخصات آن در شکل (۱) آمده است و توسط باریکه یونی بیسموت به طور مستقیم متراکم شده است.



شکل ۱: یک نمونه هدف دلخواه برای طرح راه انداز مستقیم.

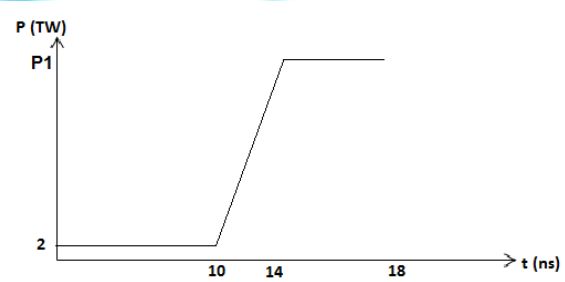
۲- باریکه یون سنگین

مشخصات باریکه یونی هم یکی دیگر از عوامل مهم در همجوشی محصورشدگی لختی می‌باشد. باریکه یونی به صورت دو پالس ضعیف و قوی به هدف منتقل می‌شود. پالس ضعیف به ساچمه برخورد کرده اولین موج شوک را به وجود می‌آورد و سپس پالس قوی به هدف تابیده می‌شود و باعث ایجاد شرایط مناسب همجوشی می‌گردد که ما در این مقاله به بررسی تأثیر پالس قوی بر روی هدف پرداخته‌ایم. شکل (۲) نشان دهنده شکل پالس ورودی می‌باشد.



بیست و یکمین کنفرانس هشتای ایران

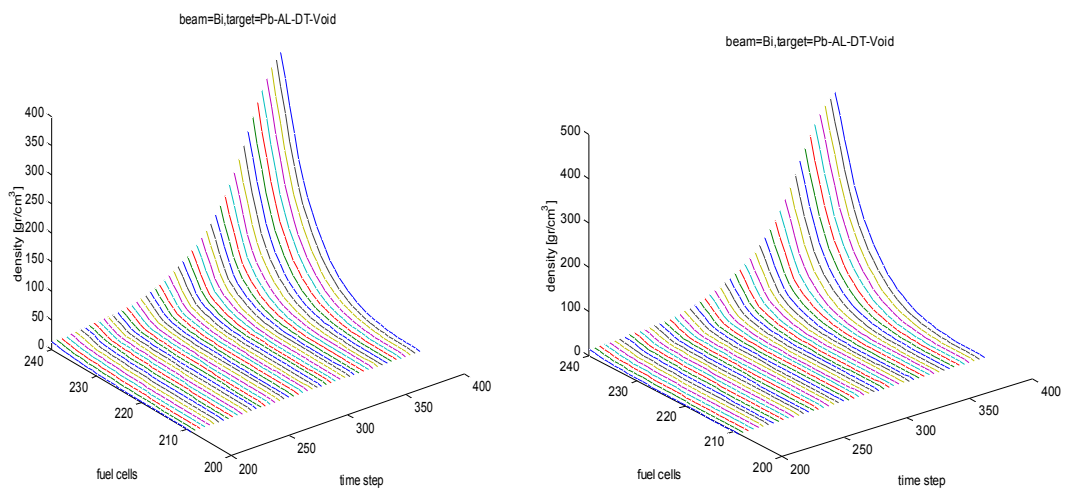
۶ و ۷ اسفند ماه ۱۳۹۳ دانشگاه اصفهان



شکل ۲: توان ورودی باریکه یون بیسموت با انرژی یونی ۱۰ گیگا الکترون ولت که به صورت دو پالس ضعیف و قوی است.

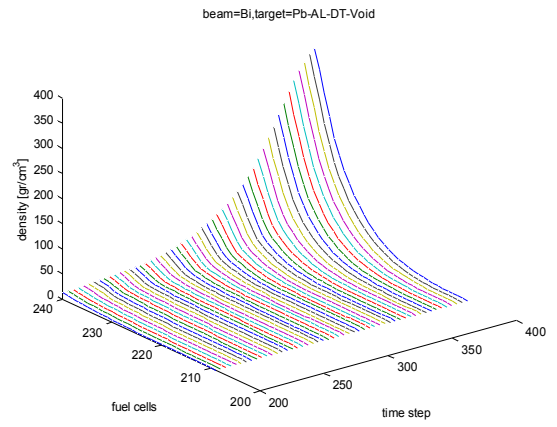
نتایج

ما P_1 را برابر با مقادیر مختلف ۲۰۰ TW، ۵۰۰ TW و ۷۰۰ TW در نظر گرفته که به ترتیب انرژی ۱/۲، ۳/۰۱۶ و ۴/۲ مگاژول را به هدف وارد می کند و تأثیر آن ها را بر روی مقادیر دما و چگالی هدف مورد بررسی قرار می دهیم. در شکل های ۳، ۴ و ۵ تغییرات چگالی را بر حسب لایه های سوخت و گام زمانی برای سه مقدار مختلف توان رسم شده است.



شکل ۳:

تغییرات چگالی هدف برای توان ورودی $P_1=200$ TW. شکل ۴: تغییرات چگالی هدف برای توان ورودی $P_1=500$ TW.





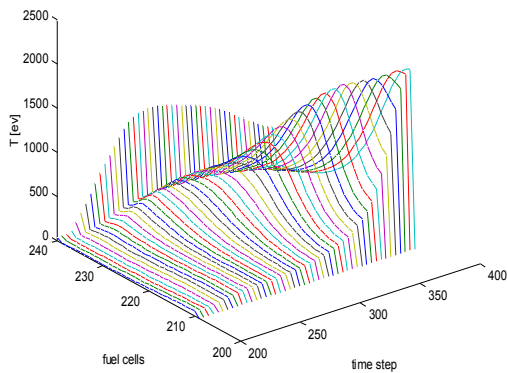
بیست و یکمین کنفرانس هشتای ایران

۶ و ۷ اسفند ماه ۱۳۹۳ دانشگاه اصفهان

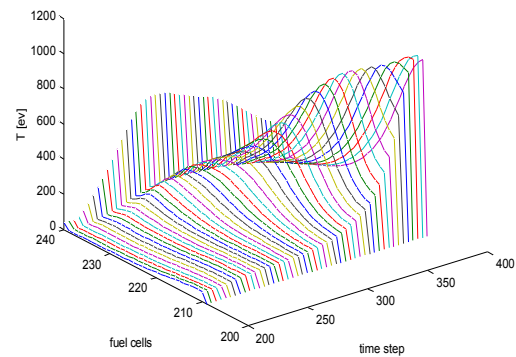
شکل ۵: تغییرات چگالی هدف برای توان ورودی $P_1=700\text{TW}$.

با توجه به این شکل‌ها، چگالی برای پالس ورودی $P_1=200\text{TW}$ با زمان افزایش بیشتری نسبت به دو پالس ورودی دیگر پیدا می‌کند. دلیل این برتری این است که موج شوکی که در اثر پالس قوی به وجود می‌آید باعث به وجود آمدن گرمای اضافه می‌شود و به همین دلیل هدف زودتر به دمای همجوشی می‌رسد که این نتیجه مشابه نتایج بدست آمده در مقاله تهیر^۲ و همکارانش می‌باشد [۵]. بنابراین شکل ۴ و ۵ چون دارای توان بیشتری هستند زودتر به دمای همجوشی می‌رسند و این امر موجب می‌شود تا چگالی شکل ۴ و ۵ نسبت به شکل ۳ کمتر باشد. در شکل‌های ۶، ۷ و ۸ دمای هدف برحسب لایه‌های سوخت و گام زمانی برای مقادیر مختلف توان ورودی رسم شده‌اند.

beam=Bi,target=Pb-AL-DT-Void

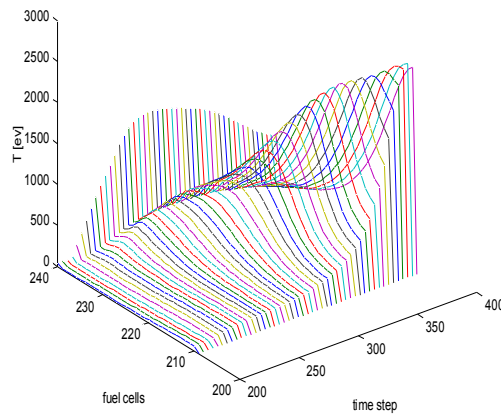


beam=Bi,target=Pb-AL-DT-Void



شکل ۶: تغییرات دمای هدف برای توان ورودی $P_1=200\text{TW}$. شکل ۷: تغییرات دمای هدف برای توان ورودی $P_1=500\text{TW}$.

beam=Bi,target=Pb-AL-DT-Void



^۲N.A. Tahir



بیست و یکمین کنفرانس هسته‌ای ایران

۶ و ۷ اسفند ماه ۱۳۹۳ دانشگاه اصفهان

شکل ۸: تغییرات دمای هدف برای توان ورودی $P_1=700TW$.

همانطوری که در شکل‌های ۶، ۷ و ۸ می‌بینیم با افزایش پالس قوی باریکه یون بیسموت، دمای هدف افزایش یافته است.

ما همچنین بهره هدف که نسبت انرژی خروجی به انرژی ورودی است را برای مقادیر مختلف توان ورودی محاسبه کرده ایم که ۶۶، ۱۵۵ و ۲۰۱ به ترتیب برای انرژی‌های ورودی ۱/۲، ۳/۰۱۶ و ۴/۲ مگا ژولمی باشد. بنابراین توان ورودی $P_1=700TW$ به دلیل بهره بالاتر برای هدف مورد نظر مناسب تر است.

بحث و نتیجه گیری

هرچه شدت پالس دوم بیشتر باشد موج شوکی که به وجود می‌آید باعث افزایش گرمای هدف مورد نظر می‌شود و این امر موجب می‌شود تا هدف زودتر به دمای مورد نیاز همجوشی برسد بنابراین چگالی هدف نسبت به زمانی که شدت پالس قوی کمتر است کاهش می‌یابد. می‌توان نتیجه گرفت که تأثیرات شدت پالس دوم بر روی دمایی سوخت مستقیم است یعنی با افزایش شدت پالس قوی این پارامتر افزایش می‌یابد ولی باعث کاهش چگالی سوخت می‌گردد. با توجه به بهره بدست آمده باریکه یون بیسموت با پالس قوی $700TW$ برای هدف مورد نظر مناسب تر است.

مراجع

- [۱] Pfalzner, S., An introduction to inertial confinement fusion. 2006: CRC Press.
- [۲] ATZENI, S., The physics of inertial fusion. 2004.
- [۳] Kawata, S., et al., Direct-indirect mixed implosion mode in heavy ion inertial fusion. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment, **577**(1-2): p. 332-336. 2007.
- [۴] Basko, M., High gain DT targets for heavy ion beam fusion. Nuclear fusion, **32**: p. 1515.1992.
- [۵] Tahir, N.A. and K.A. Long, Numerical simulation and theoretical analysis of implosion, ignition and burn of heavy-ion-beam reactor-size ICF targets. Nuclear Fusion, **23**(7): p. 887.1983.
- [۶] Mehlhorn, T.A., Finite material temperature model for ion energy deposition in ion-driven ICF targets, p. Medium: X; Size: Pages: 49.1980.
- [۷] Ogoyski, A.I., T. Someya, and S. Kawata, Code OK1—Simulation of multi-beam irradiation on a spherical target in heavy ion fusion. Computer Physics Communications, **157**(2): p. 160-172. 2004.
- [۸] More, R.M., et al., A new quotidian equation of state (QEOS) for hot dense matter. Physics of Fluids (1958-1988), **31**(10): p. 3059-3078. 1988.



بیست و یکمین کنفرانس هسته‌ای ایران

۷ و ۸ اسفند ماه ۱۳۹۳ دانشگاه اصفهان

- [۹] Boris, J.P., et al., LCPFCT-A flux-corrected transport algorithm for solving generalized continuity equations, DTIC Document. 1993.