

$$G = \bar{\eta} G_F = \left(\eta_c \frac{E_{dc}}{E_d} + \eta_{ig} \frac{E_{dig}}{E_d} \right) G_F \quad (1)$$

اما چنانچه $\eta_c = \eta_{ig}$ یا $E_{dig} \ll E_{dc}$ باشد، که عموماً چنین حالتی وجود دارد [۱] و انرژی اشتعال DT در سوخت های $DT - poor$ خیلی کمتر از انرژی تراکم است، آنگاه رابطه به شکل $G = \eta_c G_F$ بدست می آید. از این رو در بررسی های آینده بر روی پارامتر G_F کار می کنیم. برای مطالعه وابستگی بهره سوخت به انرژی تراکم^۱ و خصوصیات سوخت رابطه G_F را به صورت کلی زیر می نویسیم:

$$G_F = \frac{m \varepsilon_{DT} f_b}{E_{DT} + E_{ig}} \quad (2)$$

که ε_{DT} انرژی ویژه واکنش همجوشی DT معادل مقدار $3.34 \times 10^{11} J/g$ است. هم چنین m جرم سوخت، f_b کسر سوختن می باشد. مقدار انرژی تراکم E_{DT} در مقایسه با همجوشی اشتعال جرقه مرکزی کمتر است و عامل تعیین کننده در بهره ی انرژی در روش اشتعال سریع، انرژی اشتعال E_{ig} خواهد بود.

گرمایش هم چگالی بوسیله باریکه یون سبک

در مقایسه با باریکه الکترونی، یون ها بسیار کمتر تحت تاثیر پدیده های پلاسمای تجمعی قرار می گیرد و خط سیر مستقیم الخطی دارد. یون های سبک، مشابه الکترون ها، می تواند به سبب برهمکنش لیزر-پلازما در یک هدف تولید گردد، حال آنکه باریکه یون سنگین می بایست بوسیله ی یک راه انداز خارجی تولید شده و به هدف انتقال یابد. انتقال یون بوسیله میدان الکتریکی خود-سازگار مورد ممانعت قرار نمی گیرد. به این سبب که یون های شتابدار شده بوسیله میدان جدایی بار در نزدیکی چگالی بحرانی بسیار سنگین تر بوده و در هدف به همراه یکدیگر با الکترون ها به صورت یک باریکه خنثی نفوذ می کند. واضح است که پیشرفت امکان انجام اشتعال سریع بوسیله یون های پرانرژی باید بر اساس بازده تبدیل نور لیزر به انرژی باریکه یونی و مقیاس گذاری پارامترهای باریکه برحسب مشخصات لیزر باشد.

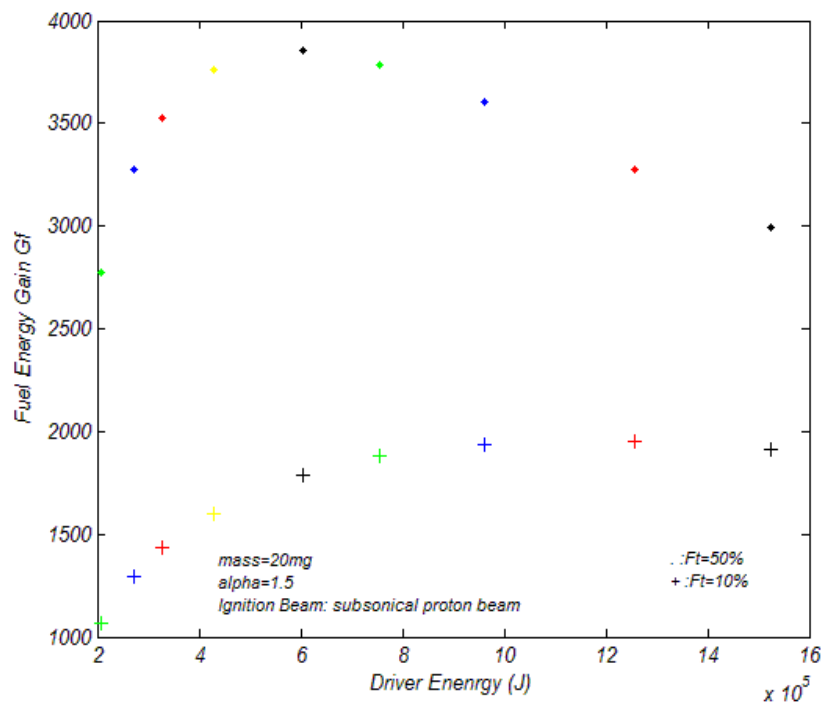
در مورد گرم شدن بخشی از سوخت فشرده شده توسط باریکه ی پروتونی، می توانیم دو وضعیت را در نظر بگیریم. یکی اینکه شدت باریکه ی پروتونی به قدری کم باشد که گرم شدن سوخت با سرعتی کمتر از

سرعت صوت و یا به عبارتی به صورت فروصوتی (Subsonical) پیش رود و دیگری اینکه شدت باریکه ی پروتونی به قدری زیاد باشد که گرم شدن سوخت به صورت فوق صوتی (Supersonical) پیش رود. رابطه ی انرژی باریکه کمینه برای اشتعال فرو صوتی را بر طبق محاسبات منبع [۲] می توان به صورت زیر نوشت:

$$E_{pb, \min} \cong 4.3 \times 10^3 \left(\frac{R}{\rho_0} \right) \quad MJ \quad (3)$$

ρ_0 چگالی سوخت اصلی و R برد باریکه پروتونی است. شرایط اشتعال بواسطه ی دینامیک اشتعال ناحیه داغ تعیین می گردد که خود به برد ذرات برای راه انداختن اشتعال وابسته است. بهره انرژی هدف به مقادیر ویژه ی دمای ناحیه ی داغ و پارامتر ICF بستگی دارد.

در منحنی بهره انرژی بر حسب انرژی راه انداز می توان مشاهده نمود که بیشینه ی بهره در همان انرژی راه اندازی است که بیشینه ی منحنی بهره برای باریکه الکترونی. زیرا نوع باریکه اشتعال در مقدار بهره ی انرژی تاثیر خواهد داشت و انرژی تراکم اولیه ارتباطی با انرژی اشتعال ندارد (شکل ۱).

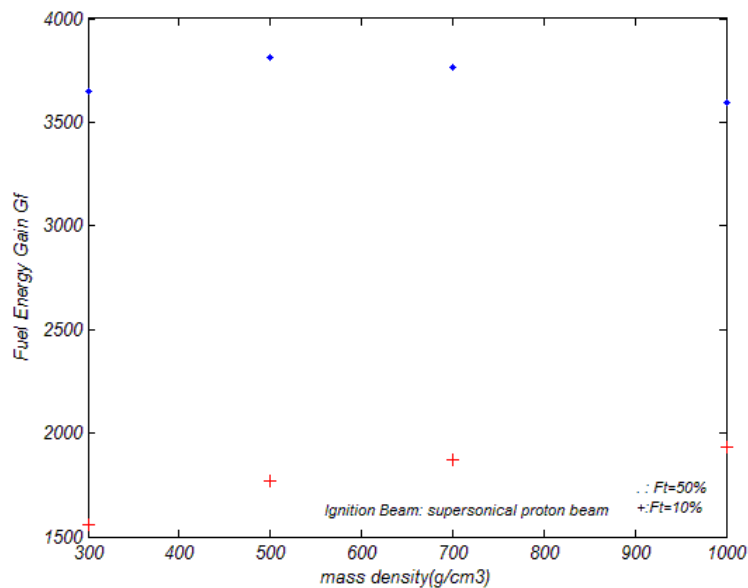


شکل ۱: منحنی بهره انرژی سوخت بر حسب انرژی راه انداز

رابطه ی انرژی باریکه کمینه برای اشتعال فوق سریع را بر طبق محاسبات منبع [۳] می توان به صورت زیر نوشت:

$$E_{pb, \min} \cong \begin{cases} 2.56 \times 10^4 \left(\frac{R^4}{\rho_0^2} \right) & MJ & R \geq 0.25 \text{ g/cm}^2 \\ 10^5 \rho_0^{-2} & kJ & R \leq 0.25 \text{ g/cm}^2 \end{cases} \quad (4)$$

تفاوتی که از مقایسه ی نمودار بهره ی انرژی بر حسب چگالی در باریکه پروتونی با سرعت انتشار بیش از سرعت نور و کمتر از آن می توان دریافت؛ این است که در حالتی که برد باریکه پروتونی بیشتر از مقدار حدی مربوط به سرعت صوت ($R = 0.25 \text{ g/cm}^2$) بهره ی انرژی سوخت بیشتری قابل دریافت خواهد بود (شکل ۱). بنابراین می توان نتیجه گرفت مقدار بهینه ی برد باریکه بیشتر از 0.25 g/cm^2 است. اما برای داشتن دیدی مناسب تر می بایست باریکه اشتعال یون های سبک دیگر به جز پروتن نیز مورد بررسی قرار می گیرد.



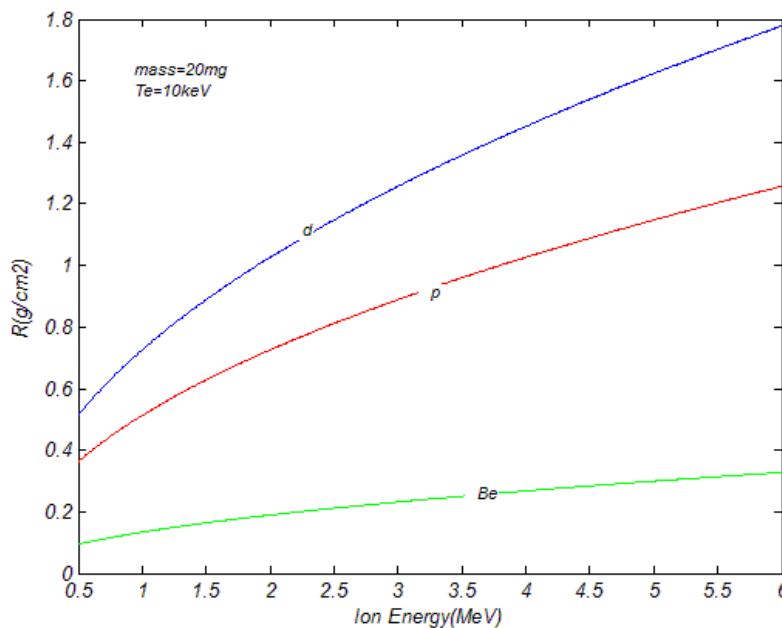
شکل ۲: منحنی بهره انرژی سوخت بر حسب چگالی سوخت

بحث و نتیجه گیری:

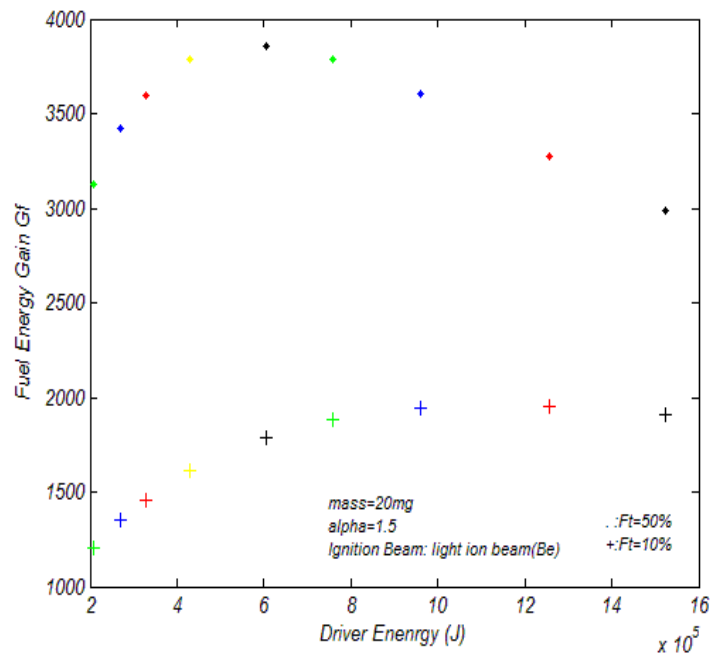
تفاوت باریکه های یون سبک در برد آنها است؛ چرا که برد ذرات باریکه یون سبک بر حسب لگاریتم کولن و انرژی ذرات باریکه تعیین می گردد. لگاریتم کولن خود به عدد اتمی باریکه وابسته است. رابطه ی برد باریکه یون سبک بر طبق آنچه در منبع [۴] آمده است به صورت زیر خواهد بود:

$$R = \frac{0.08}{\Lambda Z^2} \sqrt{AT_e^3 \varepsilon} \quad (5)$$

ε انرژی یون و در دامنه چند MeV است و T_e نیز بر حسب keV سنجیده می شود. در منحنی برد بر حسب انرژی یون، برد سه باریکه یونی P, D, Be مورد مقایسه قرار می گیرد. شکل (۳) نشان می دهد که دوترون بیشترین برد را در دامنه انرژی یون $1-6 MeV$ دارد. شکل (۴) نیز منحنی بهره بر حسب انرژی راه انداز را برای باریکه Be و درصد تریتیوم 10% و 50% در ساچمه سوخت اولیه نشان می دهد



شکل ۳: منحنی برد بر حسب انرژی یون برای یه باریکه دوتریم، پروتون و برلیوم



شکل ۴: منحنی بهره انرژی سوخت بر حسب انرژی راه انداز

برای باریکه پروتونی با انرژی یون 0.5MeV در چگالی 300g/cm^3 با برد 0.34g/cm^2 انرژی اشتعال برابر 4kJ است همان گونه که در منبع [۲] نیز بیان شده است و این عدد قابل مقایسه با مقدار 3kJ تخمین زده شده در منبع [۵] به ازای $R=0.3\text{g/cm}^2$ می باشد. بهره ی هدف نیز بسیار نزدیک به مقدار بدست آمده در این پژوهش است. اما برای باریکه برلیوم این انرژی در انرژی یون 1.5MeV مشاهده می شود.

مراجع:

- [1] S. Atzeni, M.L. Ciampi, Nucl. Fusion, Vol. 37, No, 12 (1997).
- [2] A. R. Piriz and M. M. Sanchez, Phys. Plasmas, Vol. 5, No. 7, July (1998).
- [3] M. Tabak et al., Phys. Plasmas 1, 1626 (1994).
- [4] V. Yu. Bychenkov et al., Plasma Physics Reports, Vol. 27, No. 12, pp. 1017-1020 (2001).
- [5] Max Tabak, et al., Phys. Plasmas 1, 1626 (1994).