

عمدتاً در فرآیندهای برانگیختگی حاصل از برخورد الکترون با اتم‌ها و یون‌ها و از طریق تابش ترمزی گسیل می‌کنند [۳]. ماهیت بلند برد نیروی کولنی سبب می‌شود که در پلازما، با مجموعه وسیعی از انواع حرکات، که در گاز یونیزه نشده وجود ندارد، روبه‌رو شویم. نیروی کولنی بین ذرات باردار، تعیین‌کننده رفتار جمعی، است. منظور از رفتار جمعی حرکاتی است که نه تنها به شرایط موضعی، بلکه به حالت پلازما در مناطق دور نیز بستگی دارد [۳].

پارامترهای پلازما

هر پلازما با چند ویژگی مهم مشخص می‌شود که عبارت‌اند از: طول دمای (λ_D)، بسامد پلازما (ω_p) و پارامتر پلازما (Λ) [۳].

طول دمای

یکی از مشخصات اساسی رفتار پلازما، توانایی آن برای ایجاد حفاظ در مقابل میدان الکتریکی اعمال‌شده، است؛ فاصله‌ای را که در آن میدان الکتریکی (E) اعمال شده به $1/e$ مقدار اولیه‌اش کاهش می‌یابد، طول دمای گویند که به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$\lambda_D = \left(\frac{\epsilon_0 K T_e}{n e^2} \right)^{1/2}$$

که در آن n چگالی پلازما، K ثابت بولتزمن، e بار الکترون، ϵ_0 ثابت گذردهی خلأ و T_e دمای الکترون طول است. اگر ابعاد فیزیکی پلازما L خیلی بزرگ‌تر از λ_D باشد؛ بنابراین هر جایی که تمرکز موضعی از بار به وجود آید یا پتانسیل‌های خارجی به سیستم اعمال شود، در مقابل آنها حفاظی در یک فاصله کوتاه در مقایسه با L ایجاد می‌شود و باعث می‌شود که قسمت عمده پلازما، از میدان‌های الکتریکی قوی حفظ شود. ملاک پلازما بودن یک گاز یونیزه، این است که چگالی‌اش آنقدر بزرگ باشد که طول دمای خیلی کوچک‌تر از L شود.

بسامد پلازما

آهنگ نوسانات جمعی الکترون‌ها، وقتی از حالت تعادلشان دور می‌شوند. اگر فرکانس نوسانات نوعی پلازما ω و زمان

Plasma

گازی از الکترون‌ها، یون‌ها و اتم‌های خنثی که رفتار جمعی از خود نشان می‌دهد.

لانگمویر در سال ۱۹۲۹م اولین بار، کلمه یونانی پلازما را برای توصیف یک گاز یونیزه استفاده کرد. او ناحیه‌ای از گازها را که نسبتاً خالی از میدان هستند و در آن بارهای مثبت و منفی در توازن‌اند، پلازما نامید. البته باید خاطر نشان کرد که قبل از لانگمویر، در سال ۱۸۷۹ سر ویلیام کروکس، برای نخستین بار، ویژگی‌های گاز یونیزه در لوله‌های تخلیه الکتریکی را مورد مطالعه قرار داد. او پیشنهاد کرد گازهای یونیزه به مثابه حالت چهارم ماده نام‌گذاری شوند. توجه به پلازما در دهه‌های بعد، به عللی از جمله: تأثیر پلازما بر انتشار امواج رادیویی، واکنش‌های گداخت هسته‌ای، گسترش استفاده از فلئوئور تابی، کلیدهای جریان بالا، کوره‌های قوسی، ساخت لیزر و غیره افزایش یافت [۱،۲].

از آنجا که درون ستارگان و جو آنها، ابرهای گازی و اغلب هیدروژن، فضای بین ستارگان به صورت پلازما است، می‌توان گفت تقریباً بیش از ۹۹ درصد ماده موجود در طبیعت، در حالت پلازما است. زبان‌های بسیار بزرگ، هنگام کسوف از جنس پلازما هستند، به‌خاطر اینکه شامل گازهای داغ‌تری هستند که از درون خورشید خارج می‌شوند. در نزدیکی خود ما، وقتی که جو زمین را ترک می‌کنیم، بلافاصله با پلاسمایی مواجه می‌شویم که شامل کمربندهای تشعشعی وان آلن و بادهای خورشیدی هستند.

در مقابل پلازما، به صورت طبیعی، روی زمین به ندرت یافت می‌شود. پلاسماهایی که در روی زمین به‌طور طبیعی یافت می‌شوند، شامل آذرخش، تابش ملایم شفق قطبی، گازهای داخل لامپ فلورسان یا لامپ نئون و یونیزاسیون مختصر گازهای خروجی یک موشک هستند؛ بنابراین می‌توان گفت که ما در یک درصدی از عالم زندگی می‌کنیم که در آن، پلازما به‌طور طبیعی یافت نمی‌شود. پلاسماهای رساناهای الکتریکی و گرمایی بسیار خوبی هستند، رسانای آنها، حتی بهتر از بهترین رساناهای فلزی عمل می‌کند. پلازما چشمه سرشار گسیل تابش الکترومغناطیسی است و این تابش‌ها را

متوسط بین برخوردهای انجام شده τ باشد، برای اینکه گاز یونیزه شده مانند پلازما عمل کند، لازم است که $\omega t > 1$ باشد.

پارامتر پلازما

تعداد ذرات باردار داخل کره دبابی است که به صورت زیر تعریف می شود:

$$\Lambda = \frac{4}{3} \pi n \lambda_D^3$$

علاوه بر شرط اول، خاصیت رفتار جمعی ایجاب می کند که:

$$\Lambda \gg 1$$

باشد [۳].

شیوه‌های بررسی پلازما

سه شیوه که به کمک آن، می توان پلازما را بررسی کرد، عبارت‌اند از: نظریه جنبشی تعادل، نظریه مدار و نظریه هیدرومغناطیسی ماکروسکوپی [۴].

۱- نظریه جنبشی تعادل، که مبتنی بر آمار ماکسول بولتزمن است، نشان می دهد که چنانچه بار خارجی q در پلازما قرار داشته باشد، در فاصله‌ای مرسوم به طول دبابی توسط پلازما محافظت می شود. یعنی پتانسیل کولمبی حفاظت نشده دبابی و $\frac{q}{4\pi\epsilon_0 r}$ با $\frac{q}{4\pi\epsilon_0 r} e^{-r/\lambda_D}$ تعویض می شود، که در آن λ_D طول دبابی و r فاصله بار q تا پلازما می باشد.

۲- نظریه مدار، مبتنی بر حرکت ذرات باردار در میدان‌های الکتریکی و مغناطیسی است. اعمال میدان الکتریکی ثابت، روی پلازما باعث ایجاد حفاظ نازکی از بار فضایی در مواد و انرژی قسمت عمده پلازما می شود و از تأثیر میدان حفاظت می کند. از طرفی، در یک میدان مغناطیسی یکنواخت ذره‌ای به جرم m_p به آزادی در امتداد خطوط میدان حرکت می کند و درعین حال، به دور آن می چرخد. مدار حاصل مارپیچی است که شعاع آن، معروف به شعاع لارمور، برابر است با:

$$R = \frac{m_p V_{\perp}}{qB}$$

که در آن V_{\perp} سرعت عمود بر میدان مغناطیسی بار آزاد و B میدان مغناطیسی اعمال شده است. گشتاور مغناطیسی یک ذره آزاد از نوع دیامغناطیسی است. برای نگه داشتن پلازما، نیاز به ظرف داریم ولی این ظرف چیزی به غیر از کاسه‌ای فرضی نیست که دیواره‌هایش میدان مغناطیسی است. ظرف مغناطیسی میدانی نایکنواخت و همگرا اطراف پلازما است که هرچه از پلازما دور می شویم، مقدارش قوی تر می شود. اگر میدان غیریکنواخت باشد، هنگامی که ذره در امتداد خطوط همگرای میدان، به درون میدان قوی تر حرکت کند، به دور مارپیچ تنگ‌تری خواهد چرخید، و درعین حال سرعت ذره کاهش می یابد و درنهایت معکوس خواهد شد. نتیجه حاصل یک آینه مغناطیسی است.

۳- نظریه هیدرومغناطیسی مبتنی است بر قانون نیروی ماکروسکوپی برای حجم واحد $\mathbf{F}_V = \mathbf{J} \times \mathbf{B} - \nabla P$ که در آن J چگالی جریان و ∇P گرادیان فشار سیال است. در این نظریه، پلازما به مثابه شاره کلاسیک در نظر گرفته می شود که از معادلات هیدرودینامیک پیروی می کند. بحث هیدرومغناطیسی، تنها توصیف ماکروسکوپی از پلازما است. این بحث هنگامی که مسافت آزاد میانگین در مقایسه با طول دبابی خیلی کوچک باشد، تقریب خوبی است.

کاربردهای پلازما

با توجه به اینکه پلازماها را می توان با دو عامل چگالی و دما مشخص کرد، کاربردهای پلازما، ناحیه وسیعی از چگالی و دما را پوشش می دهد. از جمله کاربردهای پلازما، می توان به موارد زیر اشاره کرد [۳]:

تخلیه‌های گازی

قدیم‌ترین کار با پلازما، مربوط به لانگمیر و همکارانش در ۱۹۲۰م می شود. تحقیقات در این زمینه، از نیاز به توسعه لوله‌های خلأ با توانایی حمل جریان‌های قوی سرچشمه می گرفت. تخلیه‌های گازی در یکسو کننده‌های جیوه‌ای، مسیر جرقه، قوس‌های جوشکاری، لامپ‌های نئون و فلورسان و تخلیه‌های رعد و برق رؤیت‌پذیر است.

از جمله دیگر کاربردهای پلازما می‌توان به موارد زیر

اشاره کرد [۳]:

پلاسمای حالت جامد

لیزرهای گازی

چاقوی پلازما

تلویزیون پلازما

تفنگ الکترونی

لامپ پلازما

پلاسمای سرد برای از بین بردن باکتری‌ها

مداخل مرتبط

انرژی مغناطیسی؛ تابش کیهانی؛ لیزر.

کتابشناسی

- [1] Tonks, Lewi. "The birth of plasma". *American Journal of Physics*, vol.35, 1967.
- [2] Sturrock, Peter A. *Plasma Physics*. Cambridge University Press, 1994.
- [3] Chen, Francis F. *Introduction to Plasma Physics and Controlled Fusion*, vol. 1. Springer Science, 1984.
- [4] Reitz, John R.; et al. *Foundations of Electromagnetic Theory*. Addison-Wesley, 1993.

مجید طاهری

هم‌جوشی گرما هسته‌ای کنترل شده

پژوهش‌های انجام شده در نیمه دوم قرن بیستم، نشان می‌دهند که تنها چاره برای رفع مشکل انرژی، گداخت هسته‌ای است. گداخت هسته‌ای همان فرآیندی است که در خورشید و ستارگان رخ می‌دهد. در این واکنش‌ها، برخلاف شکافت، هسته‌های اتم‌های سبک مانند هیدروژن و ایزوتوپ‌های آن، با هم ترکیب می‌شوند و هسته‌های سنگین‌تری به وجود می‌آورند. از آنجا که برای انجام واکنش میان هسته‌ها، هسته‌هایی که دارای بار مثبت هستند، باید بسیار به هم نزدیک شوند؛ باید برای کاهش نیروی دافعه بین هسته‌ها از عناصری با کمترین عدد اتمی مانند هیدروژن و هلیوم استفاده شود و برای غلبه بر نیروی دافعه بین آنها، هسته‌ها باید سرعت بسیار زیادی داشته باشند؛ یعنی سوخت باید بسیار داغ باشد که در این حالت، به صورت پلازما در خواهد آمد. تحقیقات نشان می‌دهند که برای انجام واکنش گداخت به صورت خودنگهدار در یک رآکتور گداخت، باید دمای پلازما به بیش از یک حد آستانه (چند ده میلیون درجه کلوین) برسد و چگالی لازم، به مدت‌زمان مناسبی محصور شود. بررسی‌ها نشان داده‌اند که مناسب‌ترین سوخت، برای رآکتورهای گداخت هسته‌ای مخلوط دوتریم و تریتم است.

فیزیک فضا

کاربرد مهم دیگر پلازما در مطالعه فضای اطراف زمین است.

تبدیل انرژی مگنتوهیدرودینامیک و پیش‌رانش یونی

پژوهشگاه مواد و انرژی

در تبدیل انرژی مگنتوهیدرودینامیک از یک شار غلیظ پلازما که به داخل یک میدان مغناطیسی پیش رانده می‌شود، برای تولید جریان الکتریکی استفاده می‌شود. نیروی لورنتزی باعث می‌شود که یون‌ها به طرف بالا و الکترون‌ها به سمت پایین سوق داده شوند و دو الکتروود را به پتانسیل‌های مختلفی باردار سازند. همین اصل، منتها به صورت معکوس در توسعه موتورهای یونی به کار برده شده است.