



دانشگاه پیام نور

پایان نامه

برای دریافت درجه کارشناسی ارشد

در رشته فیزیک حالت جامد

دانشکده فیزیک

گروه علوم پایه

عنوان پایان نامه: بررسی ویژگی های تنگش پلازما در دستگاه پلاسمای کانونی دنا

استاد راهنما: دکتر محمد امیر حمزه تفرشی

استاد مشاور: دکتر محمد رضا بنام

نگارش: فاطمه نصیری

تیر 1389

تقدیم به دوست و همراه همیشگی ام

همسر مهربانم

و تقدیم به پدر و مادرم؛

همه ی آن چه را که از نتایج تحقیقات در عرصه این موضوع بدست
آوردم، پیشکش نگاه های مهربان مادرم و دست های گرم پدرم می
کنم، نگاه و دستانی که به یقین پل موفقیتیم بود.

تقدیر و تشکر

با سپاس از خدای رحمان که اراده کرد تا من زیبا بیاموزم و به گونه ای زیبا زندگی کنم. حال که به لطف پروردگار، این پایان نامه به اتمام رسید، لازم می دانم از زحمات تمام عزیزانی که در طول این مدت راهنما و مشوقم بودند صمیمانه سپاسگزاری نمایم. در آغاز از همسر عزیزم، مادر مهربان و پدر بزرگووارم که در تمام لحظات زندگی همواره، همراه و مشوقم هستند، نهایت سپاس و قدردانی را دارم. از استاد بزرگووارم، جناب آقای دکتر محمد امیر حمزه تفرشی که در طول این مدت با تشویق و دلگرمی راهنما و همراهم بوده اند بی نهایت سپاسگزارم. از استاد گرانقدرم، جناب آقای دکتر محمدرضا بنام، که مشاوره این پایان نامه را بر عهده داشتند، کمال تشکر و قدردانی را دارم. از دوست عزیزم، خانم سهیلا اکبری که در طول این مدت و در لحظات مختلف از محبت و مهربانی بی دریغش بهره مند بودم، سپاسگزارم. هم چنین تمامی عزیزانی که نامشان ذکر نشده ولی یادشان در اعماق قلبم باقی است، بی اندازه سپاسگزارم و برایشان آرزوی داشتن لحظاتی تُوأم با آرامش و موفقیت را دارم.

چکیده

این پروژه شامل چهار فصل است. فصل اول به موضوع دینامیک تنگش پلاسما و کاربرد پلاسمای کانونی پرداخته است، در فصل دوم رفتار جریان پلاسما در دو مدل مدر و فیلیپوف از سیستم های پلاسمای کانونی مورد بررسی قرار گرفته و دو مکانیزم تولید نوترون در این دستگاه بیان شده است. در فصل سوم قسمت های مختلف دستگاه پلاسمای کانونی دنا شرح داده شده و با استفاده از مدل نظری ML رفتار پلاسما در این دستگاه مورد بررسی قرار گرفته است.

در نهایت در فصل چهارم با معرفی رابطه بنت و استفاده از این رابطه، پارامترهای دستگاه دنا مورد بحث و بررسی قرار گرفته است. در واقع با استفاده از رابطه بنت، تأثیر فاکتور کیفی جرم (f_m)، جریان تخلیه (I) و ارتفاع تنگش (h) در دمای تنگش بررسی شد، این بررسی نشان داد که استفاده مستقیم از رابطه بنت در مورد دستگاه دنا کارساز نبوده و در مواردی منجر به کسب نتایج غیر معقول می شود و با استفاده از داده های تجربی دستگاه پلاسمای کانونی دنا، موضوع دمای یون های دوتریم در هنگام وقوع گداخت مورد بررسی قرار گرفته است. این بررسی نشان داد که با استفاده از تعداد نوترون های تولید شده می توان دمای پلاسمای تنگیده شده را به صورت تقریبی محاسبه کرد.

فهرست مطالب

صفحه

عنوان

فصل اول

مقدمه

- 1-1 پلاسما..... 1
- 2-1 گداخت هسته ای 1
- 3-1 تنگش پلاسما 3
- 1-3-1 فیزیک تنگش 4
- 4-1 سیستم های پلاسمای کانونی 11
- 5-1 خصوصیات و کاربرد های پلاسمای کانونی پلاسمای کانونی 11

فصل دوم

چگونگی کانونی شدن پلاسما

- 1-2 چگونگی کانونی شدن پلاسما در دستگاه پلاسمای کانونی 14
- 2-2 حرکت لایه پلاسمای کانونی نوع مدر 16
- 3-2 چگونگی عملکرد پلاسمای کانونی مدل فیلیپوف 17
- 4-2 پرتو های تولید شده در دستگاه پلاسمای کانونی 18
- 1-4-2 تولید پرتو ایکس 19
- 2-4-2 تولید پرتو نوترون 19
- 5-2 مکانیزم های تولید نوترون و ضریب ناهمسانگردی 21

- 22.....6-2 تولید نوترون در دستگاه پلاسمای کانونی مگا ژول
- 23.....7-2 تولید نوترون در دستگاه پلاسمای کانونی سریع 400 ژول
- 24.....8-2 تولید نوترون در دستگاه پلاسمای کانونی FN_II

فصل سوم

دستگاه پلاسمای کانونی دنا و مدل ML

- 25.....1-3 دستگاه پلاسمای کانونی دنا
- 27.....1-1-3 پیچه روگوفسکی
- 32.....2-1-3 پیچه اندازه گیری مشتق جریان
- 33.....3-1-3 شمارنده نوترون
- 34.....4-1-3 آشکارساز فوتومالیتی پلایر
- 36.....5-1-3 دوربین روزنه سوزنی
- 37.....6-1-3 آشکارساز پرتو ایکس نرم
- 37.....7-1-3 آشکارساز پرتو ایکس سخت
- 37.....8-1-3 پروب مغناطیسی سیستم دنا
- 39.....2-3 معرفی مدل ML
- 42.....1-2-3 تنگش شعاعی
- 45.....2-2-3 گسترش شعاعی
- 47.....3-2-3 حرکت محوری
- 49.....4-2-3 انعکاس موج ضربه
- 50.....3-3 پاره ای از نتایج علمی حاصل از دنا

- 50..... 1-3-3 تاثیر فاکتور f_m و f_i
- 51..... 2-3-3 اثر فشار گاز
- 51..... 3-3-3 اثر ولتاژ تخلیه

فصل چهارم

رابطه بنت و تنگش پلاسما

- 52..... 1-4 معرفی و اثبات رابطه بنت
- 54..... 2-4 رابطه بنت و پارامترهای دستگاه دنا
- 54..... 1-2-4 محاسبه دمای تنگش دوتریم
- 56..... 2-2-4 میزان وابستگی دما و ارتفاع تنگش دوتریم
- 57..... 3-2-4 میزان وابستگی دما و جریان تخلیه در تنگش دوتریم
- 59..... 4-2-4 میزان وابستگی دما و f_m در تنگش دوتریم
- 61..... 3-4 محاسبه تعداد برخوردها در واحد زمان و حجم
- 65..... 4-4 محاسبه سطح مقطع واکنش D-D در دستگاه دنا
- 66..... 5-4 محاسبه تعداد نوترون های گرما هسته ای
- 68..... 6-4 تولید نوترون های گرما هسته ای در دستگاه دنا
- 70..... 7-4 خلاصه و نتیجه گیری و پیشنهاد برای پژوهش های آتی
- 72..... 1-7-4 خلاصه نتایج
- 72..... 2-7-4 پیشنهاد برای پروژه های آتی
- 73..... مراجع

فهرست شکل ها و جدول ها

صفحه	عنوان
3.....	شکل 1-1
4.....	شکل 2-1
4.....	شکل 3-1
14.....	شکل 1-2
16.....	شکل 2-2
17.....	شکل 3-2
18.....	شکل 4-2
23.....	شکل 5-2
24.....	شکل 6-2
24.....	شکل 7-2
26.....	شکل 1-3
27.....	شکل 2-3
28.....	شکل 3-3
29.....	شکل 4-3
31.....	شکل 5-3

32.....	شكل 6-3
34.....	شكل 7-3
35.....	شكل 8-3
36.....	شكل 9-3
37.....	شكل 10-3
38.....	شكل 11-3
40.....	شكل 12-3
41.....	شكل 13-3
57.....	شكل 1-4
58.....	شكل 2-4
59.....	شكل 3-4
63.....	شكل 4-4
66.....	شكل 5-4
62.....	جدول 1-4
64.....	جدول 2-4
65.....	جدول 3-4
67.....	جدول 4-4
68.....	جدول 5-4

Abstract

This dissertation includes four chapters. The first chapter discusses the dynamic of plasma pinch and plasma focus applications. In the second chapter, the plasma current behavior in both Filippov and Mather models of plasma focus facilities and the mechanisms of neutron production are presented. In the third chapter, the components of a plasma focus facility are described.

Finally, in the fourth chapter, by using the Bennet relation, the Dena facility parameters are investigated. In fact, by using the Bennet relation, the influence of the mass decrease factor (f_m), plasma current (I) and pinch height (h) on pinch temperature was investigated. The study showed that at least for the Dena facility, using the Bennet relation as a straight forward equation, can lead to unreasonable results (in some cases).

Also, by using the experimental data from the Dena plasma focus facility, the ion temperature during the fusion of deuterium plasma was investigated. This study showed that by using the neutron yield, the pinch temperature can be estimated.

Payame Noor University

**Submitted Partial Fulfillment of the requirements for the Degree of M.Sc
In solid state Physics**

Department of Physics

Title

investigation Characteristics of the plasma pinch in Dena plasma focus device

Supervisor:

Dr. Mohammad Amirhamzeh Tafreshi

Advisor:

Dr. Mohamad reza Benam

By:

Fatemeh Nasiri

July,2010

فصل 1- مقدمه

1-1- پلاسما

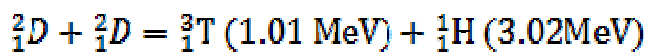
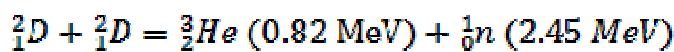
در سال 1923 لانگ موئیر (M.Langmuir) و تنکس (Tanx) [1] دو فیزیکدان آمریکائی اعلام کردند که پلاسما به گاز یونیده شده‌ای اطلاق می‌شود که همه یا بخش قابل توجهی از اتم‌های آن یک یا چند الکترون از دست داده و به یون‌های مثبت تبدیل شده است. وقتی دمای گاز افزایش می‌یابد در دماهای خاصی (معمولاً بیشتر از 3000 درجه سانتی گراد) مولکول‌های گاز به اتم‌ها تجزیه می‌شوند. در اثر افزایش بیشتر حرارت، الکترون‌ها از قید اتم‌ها آزاد می‌شوند. به این گاز که از هسته‌های آزاد با بار مثبت و الکترون‌های آزاد با بار منفی تشکیل شده است پلاسما گویند. تعریف دیگری نیز برای پلاسما وجود دارد که می‌گوید پلاسما گاز شبه خنثایی متشکل از ذرات باردار و خنثی است که رفتار جمعی از خود ارائه می‌دهد. منظور از رفتار جمعی، حرکتی است که نه تنها به شرایط موضعی، بلکه به حالت پلاسما در مناطق دور نیز بستگی دارد. اختلاف قابل توجه میان خصوصیات پلاسما و یک گاز خنثی، عمدتاً به علت اثر میدان‌های الکتریکی و مغناطیسی بر پلاسما است.

یکی از روش‌های تولید پلاسما، انجام تخلیه الکتریکی است. در این حالت به علت اختلاف دمای اجزای تشکیل دهنده (الکترون‌ها، یون‌ها و اتم‌های خنثی) این پلاسما در تعادل حرارتی نخواهد بود. در پلاسمای بدست آمده از این روش، متوسط انرژی جنبشی الکترون‌ها (به علت جرم کمتر) بیشتر از یون‌ها و یون‌ها بیشتر از اتم‌ها و مولکول‌های خنثی می‌باشد (معمولاً پلاسما مخلوطی از اجزاء با دماهای مختلف است).

1-2 - گداخت هسته‌ای

یکی از کاربردهای پلاسما، توانائی تولید واکنش‌های گداخت هسته‌ای است. در گداخت هسته‌ای، هسته‌های سبک (مثل هیدروژن) با یکدیگر ترکیب و به هسته‌های سنگین‌تر (مثل هلیوم) تبدیل می‌شوند. در اثر این واکنش، مقداری از جرم هسته‌های اولیه به انرژی جنبشی هسته‌های ثانویه تبدیل می‌شود (فرآیندی که در خورشید و ستارگان رخ می‌دهد و منبع نور و گرمای آن‌ها است). از آنجایی که در آزمایشگاه‌ها، احتمال واکنش هسته‌های هیدروژن بسیار کم است، از ایزوتوپ‌های سنگین هیدروژن (دوتریم و تریتم) استفاده می‌شود.

واکنش گداخت در اثر برخورد میان هسته های سبک ایجاد می شود. در انرژی های برخورد پایین، سطح مقطع برخوردهای منجر به گداخت هسته ای کوچک است، چون سد کولنی از نزدیک شدن هسته ها به یکدیگر جلوگیری می کند. بنابراین به منظور برخورد دو پروتون برای ایجاد واکنش گداخت هسته ای، باید انرژی جنبشی مربوط به سرعت نسبی دو پروتون از انرژی پتانسیل U_0 نیروی کولمبی بیشتر باشد. یکی از معروفترین واکنش های گداخت هسته ای، واکنش گداخت دوتریوم - دوتریوم است که به صورت زیر می باشد.



در نتیجه واکنش فوق، جرم کل کاهش پیدا کرده و در عوض آن مقادیر ذکر شده انرژی، به صورت انرژی جنبشی محصولات واکنش آزاد خواهند شد. طبیعتاً انرژی آزاد شده، تابعی از سطح مقطع واکنش و چگالی یون ها می باشد.

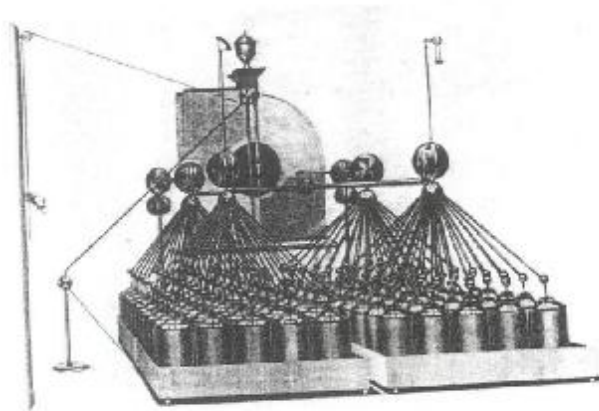
در صورتی که قبل از انجام واکنش گداخت، سرعت یکی از ذرات خیلی بیشتر از سرعت ذره دیگر باشد، نوع واکنش، "گداخت هسته ای پرتو-هدف" است. اگر قبل از انجام واکنش گداخت، سرعت هر دو هسته زیاد باشد، نوع واکنش "گداخت گرما هسته ای" نامیده می شود [2و3]

برای اینکه احتمال برخورد یون ها در همجوشی افزایش یابد، باید دمای یون ها، چگالی یون ها و زمان محصورسازی افزایش یابد. دمای زیاد برای آن است که بتوان از سد پتانسیل کولنی هسته ها گذشت. چگالی زیاد باعث می شود که احتمال برخورد های موفق منجر به گداخت هسته ای، افزایش یابد. ضمن آن که اگر قرار باشد مقادیر قابل ملاحظه ای از انرژی توسط گداخت هسته ای تولید شود، باید هسته های متعددی در مدت زمانی محدود، به صورت پی در پی در واکنش گداخت شرکت کنند.

1-3- تنگش پلاسما

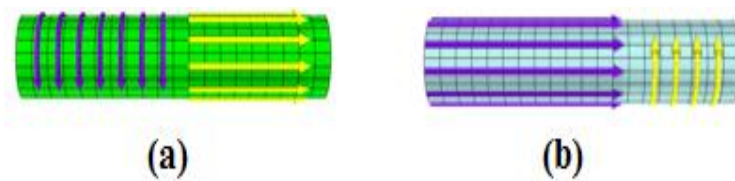
فشرده شدن پلاسما در جهت عرضی، بوسیله میدان مغناطیسی ناشی از جریان پلاسما (در هنگام تخلیه الکتریکی)، به "اثر تنگش" معروف است. به عبارت دیگر تراکم الکترومغناطیسی پلاسما، تنگش نامیده می شود. در سال 1934 [4] با در نظر گرفتن پدیده تنگش جریان الکتریکی، توسط میدان مغناطیسی خودش، مطالعات و تحقیقات زیادی انجام شده، که در نهایت منجر به ساخت سیستم های تخلیه الکتریکی چون تنگش تتا، تنگش زد و پلاسما ی کانونی شده است. تنگیده شدن پلاسما علاوه بر تولید پرتوهای ایکس نرم، ایکس سخت، یونی و الکترونی، در صورت استفاده از گاز مناسب، می تواند منجر به وقوع پدیده گداخت هسته ای و آزاد شدن ذرات نوترون شود. پس از تنگیده شدن پلاسما، عمده ترین علت از بین رفتن آن بروز و تحول ناپایداری سوسیسی $m=0$ در پلاسما می باشد.

اولین دستگاهی که می توان آن را دستگاه تنگش زد نامید، در سال 1790 در کشور هلند ساخته شد. این وسیله توسط شخصی بنام "مارتینوس ون ماروم" طراحی شد. دستگاه در واقع یک بانک انرژی متشکل از یکصد خازن با انرژی در حدود 1 کیلوژول بود، که در سیمی به طول یک متر تخلیه می شد [5] (شکل 1-1).



شکل 1-1- طرح شماتیک دستگاه تاریخی تنگش زد که در سال 1790 توسط «مارتینوس ون ماروم» ساخته شده است.

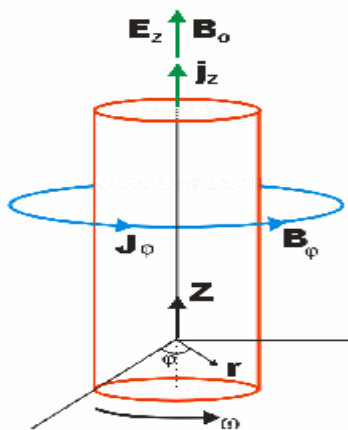
در دستگاه های تنگش تتا (**θ -Pinch**)، جریان پلاسما در جهت سمتی یک میدان مغناطیسی محوری موجود می آورد. در حالی که در دستگاه های تنگش زد (**Z-Pinch**)، جریان پلاسما در جهت محوری یک میدان مغناطیسی در جهت سمتی موجود می آورد که قادر است سطح مقطع پلاسما را متراکم کند. در شکل (2-1) تنگش زد و تتا نشان داده شده است، خطوط زرد راستای جریان را نشان می دهند و خطوط بنفش نشان دهنده جهت میدان مغناطیسی هستند.



شکل 2-1- (a) - تنگش زد و (b) - تنگش تتا را نشان می دهند.

1-3-1- فیزیک تنگش

در دستگاه های تنگش زد که شامل آند و کاتد است و دارای تقارن استوانه ای است، با اتصال اختلاف پتانسیلی نسبتا زیاد بین آند و کاتد، گاز موجود در این قسمت یونیزه شده و به این ترتیب حجمی استوانه ای از پلاسما تولید می شود و جریانی الکتریکی در امتداد محور استوانه (محور z) بوجود می آید [6] (شکل 3-1).



شکل 3-1- جریان تنگش و میدان مغناطیسی حاصل از آن.

جریانی که در این سیستم به وجود می آید تابع شعاع استوانه است. با توجه به موضوع تقارن استوانه ای می توان رابطه جریان را به صورت زیر تعریف کرد.

$$I(r) = 2\pi \int_0^{r_a} r j_z dr \quad (1-1)$$

در رابطه فوق r_a بیشینه شعاع استوانه پلاسمای محصور شده و j_z چگالی جریان است. چنین جریانی میدان مغناطیسی سمتی $B_\theta(r)$ القا می کند:

$$B_\theta(r) = \frac{\mu_0 I(r)}{2\pi r} \quad (1-2)$$

برهمکنش چگالی جریان (\vec{j}) با میدان مغناطیسی سمتی (\vec{B}) نیرویی شعاعی (\vec{F})، به سمت داخل ستون پلازما تولید می کند:

$$\vec{F} = \vec{j} \times \vec{B} \quad (1-3)$$

که در دستگاه مختصات استوانه ای شکل آن به صورت زیر است:

$$F_r \hat{r} = -j_z B_\theta \hat{r} \quad (1-4)$$

این نیرو در نهایت ستون پلازما را تا حد شعاع حداقل و یا به عبارت دیگر شعاع تنگش $r = r_a$ متراکم می کند، بنابراین می توان گفت که شعاع پلازما به شرطی که جریان از یک حد بحرانی بیشتر باشد، تا یک شعاع حداقل که شعاع تنگش نامیده می شود $r = r_a$ کاهش می یابد. برای یک پلاسمای متعادل و نسبتاً ساکن (plasma in a quasi static equilibrium) که در لحظه تنگش ظاهر می شود، می توان از معادله پایستگی اندازه حرکت که در واقع همان قانون دوم نیوتون است، استفاده نمود.

$$m \left(\frac{d\vec{u}}{dt} \right) = \vec{F} \quad (1-5)$$

در رابطه فوق \vec{F} برآیند برداری نیروهایی است که به سیال دو مؤلفه ای (الکترون و یون) پلاسما وارد می شود و m و \vec{u} نیز به ترتیب جرم و سرعت متوسط سیال می باشند.

از آنجائیکه سرعت متوسط سیال تابعی از \vec{x} و t است خواهیم داشت:

$$\frac{d\vec{u}}{dt} = \frac{\partial \vec{u}}{\partial t} + \left(\frac{\partial \vec{u}}{\partial x}\right)\left(\frac{\partial x}{\partial t}\right) + \left(\frac{\partial \vec{u}}{\partial y}\right)\left(\frac{\partial y}{\partial t}\right) + \left(\frac{\partial \vec{u}}{\partial z}\right)\left(\frac{\partial z}{\partial t}\right) = \frac{\partial \vec{u}}{\partial t} + (\vec{u} \cdot \vec{\nabla})\vec{u}$$

(۱-۶)

با فرض این که m و n به ترتیب جرم و چگالی ذره (اعم از الکترون و یا یون) باشند، در صورت ضرب رابطه (1-6) در nm ، جمله $(\vec{u} \cdot \vec{\nabla})\vec{u}$ نشان دهنده میزان خروجی خالص اندازه حرکت سیال از یک عنصر حجمی دیفرانسیلی آن، به بیرون خواهد بود.

بطور کلی معادلات پایستگی اندازه حرکت برای سیال یونی و الکترونی را می توان به صورت زیر نمایش داد:

$$n_i \cdot m_i \left[\frac{\partial \vec{u}_i}{\partial t} + (\vec{u}_i \cdot \vec{\nabla})\vec{u}_i \right] = -\vec{\nabla} \cdot \vec{P}_i + n_i e (\vec{E} + \vec{u}_i \times \vec{B}) + \vec{R}_{ei} - n_i m_i \vec{u}_i \mathcal{V}_{in}$$

(۱-۷)

$$n_e \cdot m_e \left[\frac{\partial \vec{u}_e}{\partial t} + (\vec{u}_e \cdot \vec{\nabla})\vec{u}_e \right] = -\vec{\nabla} \cdot \vec{P}_e - n_e e (\vec{E} + \vec{u}_e \times \vec{B}) - \vec{R}_{ei} - n_e m_e \vec{u}_e \mathcal{V}_{en}$$

(۱-۸)

در روابط بالا، n_e ، n_i ، m_e و m_i به ترتیب نشان دهنده چگالی یون، چگالی الکترون، جرم یون، جرم الکترون، سرعت متوسط یون ها و سرعت الکترون ها هستند، e بار الکترونی، \mathcal{V}_{in} و \mathcal{V}_{en} به ترتیب فرکانس های برخوردی مربوط به انتقال اندازه حرکت از یون ها به اتم های خنثی و

الکترون ها به اتم های خنثی هستند، \vec{E} و \vec{B} نیز به ترتیب میدان های الکتریکی و مغناطیسی، \vec{R}_{ei} آهنگ انتقال اندازه حرکت از الکترون ها به یون ها و $\vec{v} \cdot \vec{P}_i$ و $\vec{v} \cdot \vec{P}_e$ به ترتیب دیورژانس های تانسورهای فشار مربوط به یون و الکترون می باشند.

در صورتیکه طرفین روابط (1-7) و (1-8) را در n ضرب کنیم خواهیم داشت :

$$nn_i m_i \left[\frac{\partial \vec{u}_i}{\partial t} + (\vec{u}_i \cdot \vec{\nabla}) \vec{u}_i \right] = -n(\vec{v} \cdot \vec{P}_i) + nn_i e(\vec{E} + \vec{u}_i \times \vec{B}) + n\vec{R}_{ei} - nn_i m_i \vec{u}_i v_{in} \quad (1-9)$$

$$nn_e m_e \left[\frac{\partial \vec{u}_e}{\partial t} + (\vec{u}_e \cdot \vec{\nabla}) \vec{u}_e \right] = -n(\vec{v} \cdot \vec{P}_e) - nn_e e(\vec{E} + \vec{u}_e \times \vec{B}) - n\vec{R}_{ei} - nn_e m_e \vec{u}_e v_{en} \quad (1-10)$$

حال اگر این روابط را با یکدیگر جمع کنیم خواهیم داشت:

$$nn_i m_i \frac{\partial \vec{u}_i}{\partial t} + nn_e m_e \frac{\partial \vec{u}_e}{\partial t} + nn_i m_i (\vec{u}_i \cdot \vec{\nabla}) \vec{u}_i + nn_e m_e (\vec{u}_e \cdot \vec{\nabla}) \vec{u}_e = -n\vec{v} \cdot (\vec{P}_i + \vec{P}_e) + ne(n_i - n_e)\vec{E} + n(n_i e \vec{u}_i - n_e e \vec{u}_e) \times \vec{B} - n(n_i m_i \vec{u}_i v_{in} + n_e m_e \vec{u}_e v_{en}) \quad (1-11)$$

با فرض شبه خنثی بودن پلاسما ($n_i = n_e$) تعداد ذرات را $n = n_i = n_e$ در نظر گرفته که به این ترتیب چگالی جرمی سیال با فرض $m_e \ll m_i$ برابر می شود با:

$$\rho_m = n_i m_i + n_e m_e = n(m_i + m_e) \approx n m_i$$

چگالی جریان و نیز فشار سیال را نیز می توان به صورت زیر تعریف نمود.

$$\vec{J} = n_i e \vec{u}_i - n_e e \vec{u}_e$$

$$\mathbf{P} = \mathbf{P}_e + \mathbf{P}_i$$

جهت ساده تر کردن موضوع می توان از تقریب های زیر نیز استفاده نمود که معمولاً برای پلاسمایی که در حالت تنگش بسر می برد صدق می کند:

- صرفنظر کردن از جملات مربوط به اینرسی الکترون ها، با توجه به اینکه $m_e \ll m_i$ است.

- صرفنظر نمودن از اثرات برخورد های یون-اتم و یا الکترون-اتم و یا به عبارت دیگر صرفنظر کردن از فرکانس های ν_{in} و ν_{en} .

- با فرض همسانگرد بودن تانسورهای \vec{P}_i و \vec{P}_e (بطوریکه دیورژانس بخش ناهمسانگرد این تانسورها صفر شود) به عبارت دیگر:

$$\begin{cases} \vec{\nabla} \cdot \vec{P}_e = \vec{\nabla} P_e \\ \vec{\nabla} \cdot \vec{P}_i = \vec{\nabla} P_i \end{cases}$$

- بالاخره با فرض این که سرعت سیال برابر با سرعت یونی باشد:

$$(\vec{u}_i \cdot \vec{\nabla}) \vec{u}_i = (\vec{u} \cdot \vec{\nabla}) \vec{u}$$

رابطه (1-11) بصورت زیر خلاصه می شود یعنی:

$$\rho_m \left(\frac{\partial \vec{u}}{\partial t} \right) + \rho_m (\vec{u} \cdot \vec{\nabla}) \vec{u} = \vec{J} \times \vec{B} - \vec{\nabla} P \quad (1-12)$$