بسم الله الرحمن الرحيم

دانشگاه الزهرا(س)
دانشکده علوم پایه

پایان نامه
جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد
رشتهٔ فیزیک اتمی و ملکولی

عنوان
شبیه سازی ذره ایی ناپایداری های امواج الکترومغناطیسی در پلاسما

استاد راهنما
دکتر محمود رضا روحانی

استاد مشاور
دکتر حسین حکیمی پژوه

دانشجو
مرجان چابک سوار
مهر ماه سال ۱۳۸۸

دانشگاه الزهرا

شماره:.....
تاریخ:.....

بسمه تعالی

صورتجلسه دفاعیه ارشد

به موجب نامه شماره ۸۴۰۱۰۵۵ مورخ ۸۸/۵/۲۶ جلسه دفاع از پایان نامه خانم مرجان چالسپار دانشجوی رشته فیزیک دانشکده علوم پایه با شماره دانشجویی ۸۵۱۴۵۵۸۰۰۱ در روز چهارشنبه مورخ ۸۸/۷/۸ تحت عنوان بررسی خواص ناپایداری امواج الکترومغناطیسی در پلاسما در اتاق سمینار گروه فیزیک برگزار گردید

ابتدا خانم مرجان چالسپار گزارشی از کارپژوهشی خود را ارائه کردند و سپس به سوالات اعضای حاضر در جلسه پاسخ دادند. در پایان هیأت داوران رساله دانشجو را با نمره ۱۹/۷۵ و امتیاز عالی مورد قبول قرار دادند/ ندادند.

هیأت داوران:

۱- استاد راهنما محمدرضا رضا

۲- استاد مشاور حسن علی یزدانی

۳- داور خارج هادی اشرفی

۴- داور داخل محمد مهرآذر

نام و نام خانوادگی مدیر گروه: محمدرضا رضا امضاء

نام و نام خانوادگی رئیس دانشکده: رضا ثابت داریان امضاء
یا نماینده دانشکده در شورای تحصیلات تکمیلی دانشگاه

۱۱/۹/۸۸

تقدیم به

پدر مهربان و مادر عزیزم

که در راه آموختن همیشه یار و یاور و مشوقم بودند.

سپاس پروردگار را

او معلم بود و بدین قرار کسی بود که واژه آرمانهای شکوهمند و اندیشه های بلند و رؤیا های زندگی که به آدمی قوت می دهند و او را برمی کشند، را به ایمان تکرار می کرد.

او به اعتقادی راسخ می دانست که امید آدمی، نه وابسته امکانات اوست و نه پنهان به توانایی و خویشتنی که در بستری مناسب کشت نکرده باشد و برنیامده باشد. امید، نهفته به آن خلوص و اشتراک و تأثیرپذیری است که اندیشمند و شاعر و قدیس و نیز انسانی که رؤیاهایی به سر می پروراند، در این مفاهیم در می یابد و برمی انگیزد.

او انسان را درمان می کرد نه به درشت نمایی قدرتهایی که در دنیای بیرونی آنها بود، بلکه در کشت و کار جهان درونی خویش.

با سپاس و تشکر فراوان از راهنمایی ها و زحمات بی دریغ اساتید محترم و گرامی آقای دکتر روحانی و آقای دکتر حکیم پژوه که درطول این مدت صبورانه راهنمای من بودند.

همچنین از آنجائیکه قسمتی از کار این پایان نامه نتیجه کار گروهی می باشد، شایسته است که از دوستانم خانمها سحر درویش ملا و مینا جمشیدی که در این کار با هم همکاری داشتیم نیز تشکر کنم.

از منیژه چابک سوار خواهر عزیزم نیز بخاطر کمک ها و همراهیش قدر دانی می کنم.

چکیده

محیطهای پلاسمایی، از نظر فیزیکی بسیار پیچیده هستند و بررسی آنها به روش تجربی پرهزینه است و از طرف دیگر هنگامیکه پلاسما با آزمایش روبرو می شود، رفتار غیر خطی از خود نشان می دهد. بنابراین دانشمندان برای بررسی این محیط از روشهای شبیه سازی استفاده می کنند.

از آنجائیکه موضوع این پایان نامه شبیه سازی ذره ایی ناپایداریهای امواج الکترومغناطیسی در پلاسماست، پس از توضیح مختصری راجع به مفاهیم پایه ای فیزیک ناپایداری در پلاسما به معرفی روش شبیه سازی ذره ایی در یک بعد و دو بعد پرداخته و سپس توضیحاتی راجع به مراحل مختلف کد یک بعدی و دو بعدی که نوشته شده است، ارائه می گردد.

در فصل آخر هم نتایج بررسی این شبیه سازی در یک بعد برای پدیده ناپایداری دو جریانی بررسی می شود. صحت کد در دو بعد در حالت الکترو استاتیکی با توجه به ثابت بودن انرژی اثبات شده است. در این فصل در حالت دو بعدی الکترو مغناطیسی نیز ناپایداری امواج الکترومغناطیسی ارائه گردیده است. مشاهده می شود که با ورود یک موج تخت به پلاسما امواج طولی در پلاسما با دامنه ای قابل ملاحظه رشد می کند و نرخ این رشد نیز اندازه گیری شده است. نمودار های انرژی نیز در این رابطه بررسی میشوند.

فهرست مطالب

۱ مقدمه

۱-۱ شبیه سازی ذره ای (PIC-Simulation).....۴

۲ مفاهیم اولیه

۲-۱ مفاهیم اولیه پلاسما.....۸

۲-۱-۱ طول دبای.....۹

۲-۱-۲ فرکانس پلاسمایی.....۱۰

۲-۲ روشهای مختلف بررسی پلاسما.....۱۱

۲-۳ خودسازگار بودن میدانهای پلاسما و اثرات غیر خطی.....۱۳

۲-۴ روشهای کلی بررسی مسئله و جایگاه شبیه سازی.....۱۳

۲-۵ معیارهای لازم جهت انتخاب روش شبیه سازی.....۱۵

۲-۵-۱ سازگاری.....۱۵

۲-۵-۲ دقت.....۱۵

۲-۵-۳ پایداری.....۱۶

۲-۵-۴ کارآیی.....۱۶

۲-۶ مفاهیم اولیه ناپایداری.....۱۷

۲-۶-۱ دسته بندیهای ناپایداری.....۱۸

۲-۶-۱-۱ ناپایداری های فضای مکان.....۱۹

۲-۶-۱-۲ ناپایداری های فضای سرعت.....۱۹

۲-۶-۱-۳ ناپایداری های الکترواستاتیک.....۱۹

۲-۶-۱-۴ ناپایداری های الکترومغناطیسی.....۲۰

۲-۶-۲ روشهای آنالیز ناپایداری.....۲۰

۳ ناپایداری در پلاسما

۳-۱ ناپایداری دو جریانی.....۲۲

۳-۲ ناپایداری رامان.....۲۸

۳-۲-۱ آنالیز ناپایداری رامان.....۳۱

۳-۲-۲ رابطه پراکندگی.....۳۸

۳-۲-۳ ناپایداری $2\omega_{pe}$ ۴۲

۴ شبیه سازی ذره ایی(Particle-In Cell)

۴-۱ مقدمه.....۴۸

۴-۲ مفاهیم کد عددی.....۴۹

۴-۲-۱ شبکه ۴۹
۴-۲-۲ نقاط فاز ۴۹
۴-۲-۳ الگوریتم مسئله ۵۰
۴-۲-۴ ابعاد شبیه سازی ۵۱
۴-۳ بی بعد سازی ۵۱
۴-۴ شبیه سازی معادلات میدان ۵۲
۴-۵ محاسبه چگالی جریان و بار ۶۰
۴-۶ شبیه سازی انتشار موج ۶۳
۴-۶-۱ موج الکترومغناطیس ۶۳
۴-۶-۲ پالس گاؤسی ۶۵
۴-۷ شبیه سازی حرکت تک ذره ۷۰
۴-۷-۱ حرکت در حالت یک بعدی ۷۰
۴-۷-۲ حرکت در حالت دو بعدی ۷۱
۴-۷-۳ بررسی حرکت در میدان $\vec{B} = B_z\hat{z}$ و $\vec{E} = 0$ با فرض $B_z = cte$ ۷۳
۴-۷-۴ بررسی حرکت در میدان $\vec{B} = B_z\hat{z}$ و $\vec{E} = E_x\hat{x} + E_z\hat{z}$ با فرض
$B_z , E_x , E_z = cte$ ۷۵
۴-۸ درونیابی ۷۸

۴-۹ برونیابی.....۷۸

۴-۹-۱ تعیین $P(x)$ بر حسب چند جمله ای های لاگرانژ.....۷۸

۴-۱۰ بحث انرژی.....۷۹

۴-۱۱ حل معادله پواسون.....۸۱

۴-۱۲ معادلات پیوستگی.....۸۱

۴-۱۳ تصحیح میدان.....۸۲

۴-۱۴ شرایط پایستگی.....۸۳

۵ نتایج شبیه سازی

۵-۱ کد شبیه سازی شده یک بعدی الکترواستاتیکی.....۸۴

۵-۱-۱ آزمایش درستی کد.....۸۴

۵-۱-۲ پایداری انرژی.....۸۴

۵-۱-۳ تحلیل و بررسی نتایج کد یک بعدی برای پدیده دو جریانی.....۸۶

۵-۱-۴ نتیجه گیری کد یک بعدی.....۸۸

۵-۲ کد شبیه سازی شده دو بعدی الکترواستاتیکی.....۸۹

۵-۳ کد شبیه سازی شده دو بعدی الکترومغناطیسی.....۹۰

۵-۳-۱ نتایج بدست آمده از کد دو بعدی.....۹۳

نتیجه گیری.....۱۰۷

پیشنهادات.....۱۰۷

مراجع.....١٠٨

فهرست شکلها

(شکل ۱-۱)..... ۲

(شکل ۳-۱).....۲۴

(شکل ۳-۲).....۲۶

(شکل ۳-۳).....۲۸

(شکل ۴-۱).....۵۵

(شکل ۴-۲).....۵۶

(شکل ۴-۳).....۵۷

(شکل ۴-۴).....۵۷

(شکل ۴-۵).....۶۱

(شکل ۴-۶).....۶۱

(شکل ۴-۷).....۶۴

(شکل ۴-۸).....۶۵

(شکل ۴-۹).....۶۶

(شکل ۴-۱۰).....۶۷

(شکل ۴-۱۱).....۶۸

(شکل ۴-۱۲).....۶۹

(شکل ۴-۱۳).....۷۰

(شکل ۴-۱۴).....۷۲

(شکل ۴-۱۵).....۷۵

(شکل ۴-۱۶).....۷۷

(شکل ۴-۱۷).....۸۰

(شکل ۵-۱).....۸۵

(شکل ۵-۲).....۸۶

(شکل ۵-۳).....۸۷

(شکل ۵-۴).....۸۸

(شکل ۵-۵).....۹۰

(شکل ۵-۶).....۹۳

(شکل ۵-۷).....۹۵

(شکل ۵-۸).....۹۵

(شکل ۵-۹).....۹۶

(شکل ۵-۱۰).....۹۶
(شکل ۵-۱۱).....۹۶
(شکل ۵-۱۲).....۹۶
(شکل ۵-۱۳).....۹۷
(شکل ۵-۱۴).....۹۷
(شکل ۵-۱۵).....۹۷
(شکل ۵-۱۶).....۹۷
(شکل ۵-۱۷).....۹۷
(شکل ۵-۱۸).....۹۷
(شکل ۵-۱۹).....۹۸
(شکل ۵-۲۰).....۹۸
(شکل ۵-۲۱).....۹۸
(شکل ۵-۲۲).....۹۸
(شکل ۵-۲۳).....۹۸
(شکل ۵-۲۴).....۹۸
(شکل ۵-۲۵).....۹۸

(شکل ۵-۲۶).....۱۰۰

(شکل ۵-۲۷).....۱۰۱

(شکل ۵-۲۸).....۱۰۲

(شکل ۵-۲۹).....۱۰۲

(شکل ۵-۳۰).....۱۰۳

(شکل ۵-۳۱).....۱۰۵

(شکل ۵-۳۲).....۱۰۶

(شکل ۵-۳۳).....۱۰۶

(شکل ۵-۳۴).....۱۰۷

فهرست جداول

(جدول ۵-۱)..... ۸۵

(جدول ۵-۲)..... ۸۹

(جدول ۵-۳)..... ۹۴

فصل اول

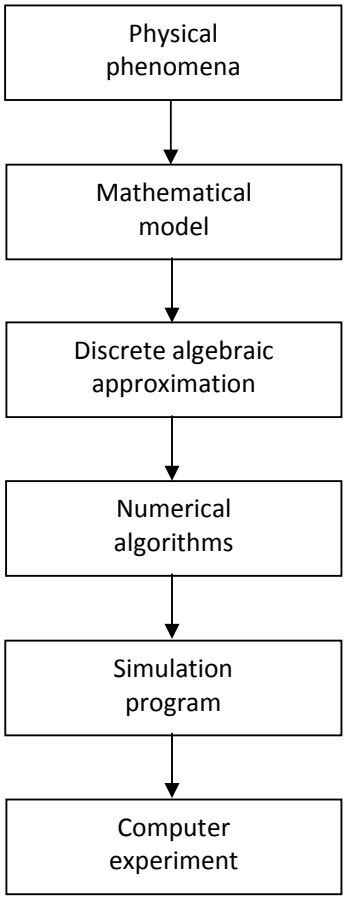
مقدمه

پلاسما چهارمین حالت ماده است. حدود ۹۹ درصد جهان از پلاسما ساخته شده است. این تخمین هرچند ممکن است دقیق نباشد ولی تخمین معقولی است از اینکه ستارگان که بیشتر جرم عالم را تشکیل می دهند به دلیل دمای بالایشان درحالت پلاسما قرار دارند. اما ما در درصدی ازجهان زندگی می کنیم که پلاسما به طور طبیعی در آن کم است. اولین بار لانگمور لغت پلاسما را برای قسمت شبه خنثی که در اثر تخلیه الکتریکی بوجود آمد به کار برد. از آن زمان به بعد، به دلیل نقش اساسی که پلاسما در درک پدیده های اختر فیزیکی و ژئوفیزیکی همانند مطالعه انتشار امواج الکترومغناطیسی در یونسفر، مطالعه ستارگان و کیهان شناسی داشت مورد توجه قرار گرفت. تا دهه ۵۰ بیشتر تحقیقات پلاسما مربوط به این پدیده ها بود. ولی پس از آن این علم در بسیاری از جنبه های زندگی کاربرد پیدا کرد[۱].

از آنجائیکه محیط های پلاسمایی، محیط های فیزیکی پیچیده ای هستند که بررسی آن به روش تجربی بسیار پر هزینه است و هنگامی که پلاسما با آزمایش روبرو می شود معمولا غیر خطی رفتار می کند که شامل برهم کنش هم زمان تعداد زیادی مدهای جمعی پلاسماست. چگونگی رسیدن پلاسما، این محیط بسیار پیچیده؛ به حالتی که ما مشاهده می کنیم فرای توانایی ما برای محاسبه است. از این رو، امروزه بسیاری از دانشمندان برای مطالعه پدیده های

مختلف در پلاسما، وقت خود را صرف پیدا کردن مدل ها و روشهای مختلف شبیه سازی خوب و مناسب برای این سیستم ها کرده اند.

روش شبیه سازی کامپیوتری جزء دسته علوم محاسباتی است و روشی است که در آن نقطه آغاز کار، بررسی علمی مدل ریاضی پدیده مورد نظر می باشد. معادلات مدل ریاضی باید به فرم جبری گسسته سازی شوند تا برای حل عددی قابل درک باشند. معادلات گسسته سازی شده زمانیکه به عنوان یکسری دستورات کامپیوتری بیان می شوند، توصیف کننده مدل شبیه سازی هستند که به صورت یک برنامه شبیه سازی کامپیوتری در می آید. به طور کلی مراحل اصلی در بر پایی یک آزمایش کامپیوتری به صورت زیر است:



(شکل ۱-۱) مراحل اصلی برپایی یک آزمایش کامپیوتری

در زمان t=0 حالت اولیه سیستم در یک ناحیه محدود از فضا که روی سطوح آن شرایط مرزی بر قرار و مشخص است (جعبه محاسباتی)، تعیین می گردد.

مهمترین قسمت یک برنامه شبیه سازی، چرخه بازه زمانی است که در آن حالت فیزیکی سیستم در زمان با یک بازه زمانی کوچک(DT) پیشروی می کند.

حتی در ساده ترین محاسبات به روش شبیه سازی، اطلاعات بسیار حجیمی تولید می شود که نیازمند یک بررسی علمی است تا از آن نتایجی به شکل قابل فهم و درک بدست آید. این اطلاعات حجیم به هیچ وجه محدود نیستند از اینرو بیشترین تلاش دانشمندان این قسمت از علم معطوف به بدست آوردن روشهای شبیه سازی خوبی برای سیستم های فیزیکی می باشد که توسط منابع کامپیوتری محدودیکه در دسترس است، قابل بررسی باشند.

روش های گسسته سازی بکار رفته در روش های شبیه سازی شامل سه دسته است:

۱- روش اختلاف محدود[۱] (ریچ مایر[۲] و مورتن[۳] ۱۹۷۳)

۲- روش عنصر محدود[۴] (استرنگ[۵] و فیکس[۶] ۱۹۷۳)

۳- روش ذره ایی[۷]

در این پایان نامه به مدل شبیه سازی ذره ای به تفصیل پرداخته شده است. در ابتدا روش شبیه سازی ذره ای توضیح داده شده است. سپس بخش های مختلف کدی که به زبان فرترن نوشته شده است معرفی می شود. در فصل سوم توضیح مختصری از فیزیک پدیده ناپایداری دو

---

۱ Finite-difference methods
۲ Richmyer
۳ Morton
۴ Finite-element methods
۵ Strang
۶ Fix
۷ Particle methods

جریانی و ناپایداری رامان آورده شده است. همچنین آزمایش های متعددی برای اطمینان از صحت عملکرد کد، انجام شده و نتایج عددی آن با نتایج تحلیلی مقایسه شده است[۲].

۱-۱ شبیه سازی ذره ای (PIC-Simulation)

مدل شبیه سازی ذره ای به سه دسته عمده تقسیم بندی می شود:

۱) مدل ذره-ذره (PP) که شامل بر هم کنش های مستقیم بین ذرات است و از همه نظر روش ساده ای محسوب می شود. حالت فیزیکی سیستم در زمان t با مکان و سرعت ذرات تعیین می شود. حلقه زمانی با استفاده از نیروهای برهمکنشی و معادلات حرکت، حالت سیستم را در زمان dt تعیین می کنند که با تکرار این حلقه حالات سیستم در زمانهای مختلف مشخص می شود.

۲) مدل ذره- شبکه (PM)، مدلی است که فقط شامل بر هم کنش های ذرات با میدان ها است و در این روش برخورد ها مهم نیستند. در این روش نیروها در هر نقطه بر اساس یک فرمول بندی مشخص می شوند و میدانها برای محاسبه پتانسیل بکار می روند. اگر چه نتیجه کمی سریعتر بدست می آید ولی دقت عمل کمتر است و بنابراین محاسبه نیرو با روش ذره- ذره انجام می شود. کمیات میدان که تقریبا همه فضای فیزیکی سیستم را پر کرده است، بوسیله آرایه ای از نقاط شبکه نمایش داده می شود. عملگرهای دیفرانسیلی مثل ∇^2، بوسیله تقریبهای اختلاف - محدود روی شبکه جایگزین می شوند. پتانسیل ها و نیروها در مکان ذرات بوسیله درون یابی[۸] مقادیریکه روی نقاط شبکه مشخص شده اند، تعیین می گردند. چگالیها روی نقاط شبکه نیز بوسیله تخصیص صفات ذرات (بار یا جریان) به نزدیکترین نقاط شبکه

---

۸ Interpolation