وزارت علوم، تحقیقات و فناوری
دانشگاه شهید مدنی آذربایجان
دانشکده علوم پایه
گروه فیزیک اتمی

پایان نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد در رشته فیزیک اتمی
گرایش پلاسما

عنوان

نظریه‌ی غیرخطی امواج غبار صوتی در پلاسمای چهار مؤلفه‌ای شامل الکترون، پوزیترون، یون و غبار

استاد راهنما:
دکتر عبدالرسول اسفندیاری

استاد مشاور:
مهندس مسعوداکبری

پژوهشگر:
الهام اله ویردی زاده

اسفند ۱۳۹۲

تبریز، ایران

تقدیم به

روح پاک پدرم و سایه ی پر مهر مادرم

سپاس گزاری...

حمد بی‌پایان خداوند منان را که ما را لایق معلمانی دانسته که عظمت آنان بی‌متنها، هدایتشان بی‌نظیر و هم‌نوایی با آنان سعادت است.

بر خود لازم می‌دانم از زحمات بی‌دریغ اسطوره ی مهربانی، مادر بزرگوارم صمیمانه تشکر کنم و بر دستان پر عطوفت این عزیز بوسه‌ی عشق نهم.

از استاد گرانقدر جناب آقای دکتر عبدالرسول اسفندیاری که با راهنمایی و مساعدت عالمانه‌ی خود راه‌گشای این پژوهش گشتند و مرا قدم به قدم تا به انجام رسانیدن این پروژه هدایت کردند، صمیمانه سپاس گزاری می کنم.

همچنین از جناب آقای مهندس مسعود اکبری استاد مشاور بزرگوارم به پاس تمام کمک هایی که کردند، صمیمانه سپاس گزارم.

از اساتید گرانقدر جناب آقای دکتریحیی اکبری، جناب آقای دکتر محمدقربانعلیلو و جناب آقای دکتر کاظم جمشیدی کمال تشکررادارم.

از دوست عزیزم سرکارخانم مرضیه افسری ،دانشجوی دکترای فیزیک که در تدوین این پایان‌نامه مرایاری نمودند، بی‌نهایت ممنونم.

در پایان از خانواده ام که همواره در تمام مراحل تحصیل مرایاری نمودند، تشکر می‌نمایم.

الهام اله ویردی زاده

چکیده

یکی از ویژگی های مهم پلاسما، انتشار امواج مختلف در آن است.در این کار با استفاده از مدل هیدردینامیکی، انتشار امواج غبارصوتی پریودیک و سالیتونی در یک پلاسمای حاوی ذرات غباری گرم، الکترون ها، پوزیترون ها ویون ها مطالعه می شود. ابتدابا خطی سازی معادلات اساسی، رابطه پاشندگی خطی برای امواج غبارصوتی پیدا می شود. سپس با استفاده از روش شبه پتانسیل برنولی و استخراج معادله انرژی وجود امواج غیرخطی پریودیک و سالیتونی بررسی می شود. ملاحظه می شود که امواج غبارصوتی پریودیک وسالیتونی ترقیقی می توانند در سیستم پلاسمای مورد نظر منتشر شوند که بستگی به پارامترهای مختلف پلاسما دارند.

کلمات کلیدی: :امواج غبارصوتی، پلاسمای الکترون- پوزیترون، یون و غبار، روش شبه پتانسیل سقدی اف، روش شبه پتانسیل برنولی

فهرست مطالب

فهرست مطالب ث

مقدمه ح

۱ مقدمه ای بر پلاسما و پلاسمای غباری و امواج غیرخطی ۱

۱.۱ مقدمه ۲

۲.۱ امواج در پلاسما ۵

۳.۱ غیرخطیت در فیزیک پلاسما ۶

۱.۳.۱ سالیتون ۷

۲.۳.۱ تاریخچه‌ی سالیتون‌ها ۸

۳.۳.۱ شکل گیری و انتشار ساختارهای غیرخطی در پلاسماها ۱۲

۴.۱ پلاسماهای غباری ۱۳

۱.۴.۱ کاربردهای پلاسمای غباری ۱۴

۲.۴.۱ خصوصیات اساسی پلاسمای غباری ۱۵

۳.۴.۱ خنثاییت ماکروسکوپی ۱۵

۴.۴.۱ حفاظ دبای ۱۶

۵.۴.۱ فرکانس مشخصه ۱۹

۵.۱ امواج در پلاسماهای غباری ۲۲

۱.۵.۱ امواج غبارصوتی ۲۲
۲.۵.۱ امواج یون صوتی غباری ۲۳

۲ تئوری غیرخطی امواج غبارصوتی درپلاسمای الکترون، یون و ذرات غبار ۲۵
۱.۲ مقدمه ۲۶
۲.۲ معادلات اساسی ۲۸
۳.۲ محاسبه رابطه پاشندگی خطی ۲۹
۴.۲ معادلات نرمالیزه ۳۰
۵.۲ محاسبه‌ی تابع شبه پتانسیل ۳۱
۱.۵.۲ استفاده از تبدیل گالیله ای ۳۱
۲.۵.۲ محاسبه چگالی ذرات غباری ۳۲
۳.۵.۲ محاسبه معادله ی انرژی ۳۳
۴.۵.۲ تابع شبه پتانسیل ۳۴
۶.۲ بررسی وجود امواج سالیتونی غبارصوتی ۳۵
۷.۲ رسم شکل ها ۳۷
۸.۲ نتایج ۴۰

۳ تئوری غیرخطی امواج غبار صوتی در پلاسمای الکترون، پوزیترون، یون و غبار ۴۱
۱.۳ مقدمه ۴۲
۲.۳ معادلات اساسی ۴۴
۳.۳ محاسبه‌ی رابطه پاشندگی خطی ۴۷
۴.۳ آنالیز غیرخطی ۴۹
۱.۴.۳ استفاده از تبدیلات گالیله ۴۹
۲.۴.۳ تابع شبه‌پتانسیل ۵۱

۵.۳ شرایط وجود ساختارهای غیرخطی ۵۳
۶.۳ رسم شکل ها و تحلیل عددی ۵۵
۷.۳ نتایج ۶۶

مراجع ۶۷

مقدمه

حوالی سال ۱۹۲۷ واژه پلاسما اولین بار توسط تونک[۱] و لانگمیر[۲] ابداع شد و به صورت محیطی از گاز یونیزه شده ای که شامل الکترون و یون باشد تعریف می شود. این محیط بعدا به عنوان حالت چهارم ماده شناخته شد که۹۹ درصد جهان را تشکیل داده است.در سال ۱۹۹۰ آنجلیز[۳]با ارائه مقاله ای وجود یک نوع دیگری از پلاسما را گزارش دادند. این پلاسمای جدید به عنوان پلاسمای غبارآلود نام گرفت. پلاسمای غبارآلود شامل پلاسمای یون-الکترون با ذرات باردار ریزی با اندازه میکرون و زیر میکرون می باشد.

وجود این نوع پلاسماها در ابرهای بین ستاره ای، منظومه شمسی، ستاره های دنباله دار، قمرهای سیارات و... گزارش شده است.همچنین در آزمایشگاه این نوع پلاسماها ظاهر شده است. عوامل فوق باعث گردید که پلاسماهای غبارآلود به عنوان موضوع جدیدی تحت مطالعه قرار بگیرد.

در زمینه ی پلاسماهای غباری مقالات زیادی در مجلات معتبر علمی به چاپ رسیده است. این موضوع را دانشمندان و محققان زیادی از قبیل شوکلا[۴]، کاو[۵]، مامون [۶]وغیره دنبال می کنند.

ذرات غبار تحت فرایندهای مختلفی باردار شده اند و بررسی آن ها به عنوان موضوع جدیدی به شمار می رود. اندرکنش بین ذرات غبار با الکترون ها، یون ها وخود ذرات باعث بوجود آمدن

[۱] Tonks
[۲] Langmuir
[۳] Angelis
[۴] Shokla
[۵] Kaw
[۶] Momun

موضوعات جالبی از قبیل امواج گردیده است. در این راستا ما نیز در این پژوهش به بررسی انتشار امواج غیرخطی در پلاسماهای غباری چند مولفه ای غیر مغناطیده خواهیم پرداخت.

پدیده های موجود در پلاسما انتشار امواج را می توان به صورت خطی و غیر خطی بررسی کرد.امروزه جریان اصلی پژوهش های پلاسما به سمت غیرخطی است زیرا در حقیقت یکی از ویژگی های اساسی هر محیط پلاسمایی غیرخطیت و پاشندگی است [۱]. هنگامی که دامنه های نوسانات امواج بلند باشد دیگر معادلات خطی معتبر نیست و باید از نظریه ی غیرخطی برای بررسی این امواج استفاده کرد.

برخی معادلات غیرخطی پاسخ های منحصربه فردی دارند که با گذشت زمان شکلشان را حفظ کرده و پهن نمی شوند، آن ها را به اصطلاح موج سالیتونی می نامند. بر خلاف امواج خطی، امواج غیر خطی با هم برهم کنش می کنند. با این همه، جواب های موج منفرد برخی از معادلات غیرخطی در برخورد با یکدیگر پایداری قابل ملاحظه ای نشان می دهند و از برهم کنش با هم بدون تغییر شکل خارج می شوند. به همین خاطر مشخصه ی ذره ای است که آن ها را سالیتون نامیده اند.

در فصل اول این پایان نامه ابتدا تعریف مقدماتی پلاسما بیان شده است. سپس مرور کلی بر امواج در پلاسما، غیرخطیت در فیزیک پلاسما که شامل امواج سالیتونی و کاربرد این امواج می باشد را آورده ایم. و در ادامه ی این فصل با پلاسمای غباری و مشخصه های این نوع پلاسما و امواج در پلاسمای غباری را خواهیم داشت.

در فصل دوم به بررسی امواج غبارصوتی سالیتونی دامنه بلند در پلاسمای سه مولفه ای شامل الکترون، یون وغبار با استفاده از روش سقدی اف [۷]می پردازیم. روش غیرخطی پتانسیل سقدی اف روش دقیق و بدون تقریب می باشد که حضور امواج سالیتونی را در این پلاسما پیشگویی می

[۷] Sagdeev

کند.نشان داده شده است که با افزایش بار غبار، دامنه سالیتون و عدد ماخ افزایش می یابد و با افزایش عدد ماخ دامنه سالیتون نیز افزایش می یابد.

در فصل سوم مدل معادلاتی برای بررسی امواج خطی و غیرخطی در یک پلاسمای چهار مولفه ای غیر مغناطیده شامل الکترون، پوزیترون، یون و غبار،بدون برخورد معرفی شده است که حل غیرخطی کامل مجموعه معادلات اساسی توسط روش شبه پتانسیل برنولی [۸]صورت گرفته است و با حل عددی محدوده وجود امواج غبارصوتی پریودیک و سالیتونی ترقیقی مشخص شده است.

[۸] Bernoulli

فصل ۱

مقدمه ای بر پلاسما و پلاسمای غباری و امواج غیرخطی

۱.۱ مقدمه

حدود ۹۹ درصد این جهان از پلاسما تشکیل یافته است که به عنوان حالت چهارم ماده درنظر می‌گیرند و به صورت گاز یونیزه شده‌ای که الکترون‌ها و یون‌های آن از همدیگرجداشده‌اند تعریف می‌کنیم.

درفضای اطراف ماذرات ریزی وجود دارند که ما آن‌ها را به عنوان ذرات غبار می‌نامیم.اندرکنش بین ذرات غبار و پلاسما ناحیه تحقیقاتی جالبی را در فیزیک باز کرده است که پلاسماهای غبارآلود[۱] نامیده می شود یعنی پلاسماهایی که هم شامل ذرات باردار وهم شامل الکترون‌ها و یون‌ها می‌باشد. پلاسماها تقریبا درهمه جای عالم یافت می شوند. گستره‌ی وجود آنها از ابرهای بین ستاره‌ای تا مراکز متراکم ستاره‌ها متغیر است. وجه مشخصه‌ی تمامی آنها یک چیز است: ماده‌ی تشکیل دهنده‌ی آن‌ها (به‌طور جزئی یا کلی) یونیزه است.

علاوه بر این‌ها در اینجا و بر روی زمین می‌توان شاهد انواع گوناگونی از پدیده‌های پلاسمایی هم از نوع طبیعی و هم از نوع ساخته دست بشر،باشیم.

پلاسماهای طبیعی مانند آذرخش[۲] ،آتش برای همگان آشنا هستند؛ علاوه بر آن‌ها بسیاری از پلاسماهای مصنوعی تولید شده، نظیر لامپ‌های نئون[۳]،لامپ‌های فلوئورسان [۴]، وصفحات تلویزیون پلاسما حتی برای آن‌هایی که با فیزیک آشنایی چندانی ندارند نیز شناخته شده هستند.پیشینه‌ی فیزیک پلاسما به مطالعه‌ی فارادی [۵]در زمینه‌ی تخلیه‌های الکتریکی باز می گردد.

در آغاز این مطالعات،بسیاری از فیزیک‌دانان و پژوهشگران در حال تحقیق در مورد تخلیه‌های الکتریکی در گازهای یونیزه در دهه ۱۹۲۰ توسط لانگمیر و وتونک انجام شد[۲، ۳]. به تدریج

[۱] Dusty plasma
[۲] Lighting
[۳] neon sings
[۴] Flouorescent lights
[۵] Faraday

تحقیقات پلاسما به سمت زمینه‌های دیگری گسترش یافت ،که در این میان سه مورد بطور نسبی از اهمیت بیشتری برخوردار بودند.

اول اینکه توسعه مخابرات رادیویی منجر به شناخت یونسفر [۶]شد،یک سقف پلاسمایی در بالای جو زمین که باعث انعکاس و گاهی جذب امواج رادیویی می‌شود.باآغازمطالعات بر روی انتشار امواج رادیویی در یونسفر،یک طیف گسترده از امواج پلاسمایی تشخیص داده شد که در یک تفکیک کلی شامل امواج منتشر شونده در امتداد خطوط میدان مغناطیس وامواج منتشر شونده عمود بر خطوط میدان مغناطیسی می‌شوند.

دوم اینکه فیزیکدانان نجومی پی بردند که بخش عظیمی از عالم شامل پلاسما است و اینکه فهم فرایندهای فیزیک نجومی مستلزم یک فهم بهتر از فیزیک پلاسما می‌باشد. این مورد بخصوص برای خورشیداز اهمیت بالایی برخوردار بود، بطوریکه لکه‌های خورشیدی [۷]به شدت مغناطیده باعث ظهور بسیاری از پدیده‌های پلاسمایی پیچیده از قبیل شراره های خورشیدی [۸] می‌شد. هانس آلفون[۹] در این حوزه پیشگام بود،کسی که در حدود سال۱۹۴۰ نظریه‌ی مگنتو هیدرودینامیک [۱۰]، یا MHD ،را پایه ریزی کرد که در آن پلاسما اساسا به‌عنوان یک سیال رسانا در نظر گرفته می شود.

نهایتا، مورد سوم تحقیقات همجوشی جهت دستیابی به یک منبع انرژی در دسترس برای آینده است. خورشیدباآمیختن هسته‌های هیدروژن برای شکل‌گیری هلیم انرژی‌اش را از دست می‌دهد، اما این فرایند همجوشی گرما هسته‌ای به دماها و فشارهای بسیار بالایی نیاز دارد، نظیر اینکه در مرکز خورشید یافت می شود.

[۶] Ionosphere
[۷] Sunspots
[۸] Solar flares
[۹] Hannes Alfven
[۱۰] Magentohydrodynamics

به‌هرحال، با توجه به اینکه گاز در چنین دماهایی تبدیل به پلاسما می‌شود، ایده‌ای که بر می‌آیداین است که پلاسما را در یک میدان مغناطیسی به دام بیندازیم. بدون اینکه عملا در تماس با هر دیواره‌ای باشد.

امواج در پلاسماها یک مجموعه‌ی بهم پیوسته از ذرات و میدانهایی است که با یک مکانیسم تکرار شونده و پریودیک منتشر می شوند.

یک پلاسما در حقیقت یک سیال شبه خنثی است که رسانای الکتریکی است. در ساده‌ترین شکل،پلاسما ساخته شده از الکترون‌های آزاد و یون‌های مثبت است، اما ممکن است شامل گونه‌های یونی متنوع، پوزیترون،ذرات غباری، ذرات خنثی و غیره باشد. یک پلاسما در اثر رفتار جمعی که از خودبروز می‌دهد بامیدان‌های الکتریکی و مغناطیسی کوپل می‌شود. این محیط در هم تنیده ومتشکل از ذرات ومیدان‌ها یک طیف وسیع از امواج را در برمی گیرد.

در نظر گرفتیم که حدود ۹۹درصداز ماده‌ی قابل رؤیت عالم گازی است که در حالت پلاسمایی قرار دارد. پس منطقی است که فرض کنیم که باقیمانده‌ی ماده‌ی موجود در عالم، یعنی همان۱ درصد باقیمانده، اکثرا متشکل از ذرات جامدی باشد که اصطلاحاً به آن‌ها ذرات غبار اطلاق می‌شود[۴، ۵، ۶]. بنابراین پلاسماها و ذرات غبار دو جزء اصلی تشکیل دهنده‌ی عالم هستند. اثر متقابل بین این دو(پلاسما و ذرات غبار) باعث ظهور یک حوزه تحقیقاتی جدید و جالب به‌نام پلاسماهای غباری شده است.

پلاسمای غباری، در یک گستره‌ی پهناور از محیط‌های کیهانی و آزمایشگاهی قابل تشخیص است.[۷، ۸]

پلاسماهای غباری در محیط های آزمایشگاهی و فرایندهای صنعتی نیز پیدا می‌شوند.در محیط های آزمایشگاهی،دانه‌های غبار می‌توانند یون‌ها و الکترون‌ها را از زمینه‌ی پلاسما جمع کنند و معمولا در نتیجه تحرک بالاتر الکترون ها بطور منفی باردار می‌شوند.

دانه‌های باردار شده غبار می‌توانند به‌طور موثری الکترون‌ها و یون‌ها را از زمینه‌ی پلاسما جمع کنند و باعث تغییراتی در پارامترهای پلاسما و فرایندهای دسته جمعی در چنین سیستم‌هایی شوند. به همین جهت اخیرا به مدهای جدید، پتانسیل الکتروستاتیکی، واتلاف انرژی اجسام باردار در پلاسمای غباری توجه ویژه‌ای شده است و در حال حاضر این موضوعات یک حوزه‌ی سریعا در حال رشد در فیزیک پلاسمای غباری به حساب می‌آیند. [۹] . علاوه بر این،به خاطر فرآیند باردار شدن ذرات غباری، انواع متعددی ار امواج الکتروستاتیکی و الکترومغناطیسی در پلاسماهای غباری می‌توانند منتشر شوند.

موضوعات جدیدی که در یک سری بررسی‌های آزمایشگاهی مرتبط با پلاسماهای غباری توجه زیادی را در محافل علمی به خود جلب کرده‌اند عبارتند از:مشاهدات مخروط های ماخ[۱۱] [۱۰]، و سالیتون‌ها[۱۱]، کریستال‌های پلاسمایی[۱۲] [۱۲، ۱۳، ۱۴، ۱۵]وشکل‌گیری گاف‌ها و نواحی تهی‌گونه [۱۳]در این پلاسماها(نواحی‌ای در پلاسمای غباری که آن هیچ ذره‌ی غباری وجود ندارد) [۱۶].

۲.۱ امواج در پلاسما

مهمترین مشخصه‌ی پلاسماها وجود رفتارهای دسته جمعی آنهاست.پلاسماها به واسطه‌ی حرکت الکترون‌ها، یون‌ها و ذرات غباری و همچنین وجود میدان‌های الکتریکی و مغناطیسی کوپل شده با این ذرات می‌توانند انواع متنوعی از مدهای موجی رادر خود پوشش دهند[۴، ۹، ۱۹] البته باید توجه داشته باشیم که ذرات غباری نسبت به الکترون‌ها و یون‌ها بسیار متفاوت هستند: زیرا جرم آنها معمولا می تواند میلیون‌ها برابر جرم یون‌ها و بار آن‌ها چندین برابر بار الکترون‌ها باشد و علاوه بر این، بار آن‌ها می‌تواند افت‌وخیز داشته باشد وثابت نباشد. این ویژگی‌ها می تواند به‌نوبه‌ی خود

[۱۱] Makh cones
[۱۲] Plasma crystal
[۱۳] Void-like regions

یک طیف وسیع از امواج را سبب شود.

وقتی که در پلاسما یک اختلال در چگالی پیش بیاید، پلاسما واکنش نشان می‌دهد وتلاش می‌کند که خود رابه نحوی بازآرایی کند که به حالت تعادل اولیه باز گردد. در این میان ، تفاوت در جرم‌های حاملهای بار این اجازه را به محیط نمی‌دهد که به یک تعادل ایستا برسد، و نیروهای بازگرداننده نظیر گرادیان فشار،برهمکنش‌های کولمبی به نحوی عمل می کنند که محیط مدهای موجی تولید می کند.

بسته به رژیم فرکانسی، مدهای موجی بسیار متنوعی را می‌توان مورد مطالعه قرار داد. بعنوان مثال،برای امواج فرکانس بالا،تنها باید حرکت الکترون ها را درنظر گرفت،در حالیکه یون‌ها ثابت فرض می‌شوند.

ودر بررسی امواج فرکانس پایین، دینامیک یون‌ها را باید در نظر گرفت: حرکت یون‌ها باعث ایجاد اختلال در چگالی می‌شوند، در حالی که الکترون‌های سبک و پر تحرک برای ایجاد حفاظ واکنش نشان میدهند. در این مورد که دینامیک یون‌ها حکم‌فرماست ،در یک پلاسمای غیرمغناطیده شاهد وجود امواج الکتروستاتیکی یون-صوتی[۱۴] خواهیدبود.

۳.۱ غیرخطیت در فیزیک پلاسما

یک پلاسما ذاتا یک محیط غیرخطی است. در تقریب خطی،با فرض اینکه دامنه ی اختلال کوچک است،انواع مختلفی از ناپایداری‌ها و نوسانات در پلاسما بحث می‌شود و نشان داده می شود که موج حاصل یا میرا است و یا ناپایدار.

هنگامی‌که دامنه‌ی موج بزرگ می‌شود تقریب خطی دیگر معتبر نیست. اثرات غیرخطی هنگامی

[۱۴] Ion-Acustic (IA)

ظاهر می‌شوند که یک موج پلاسمایی دامنه بلند توسط عوامل خارجی برانگیخته شود.
به عنوان مثال، هنگامی که پاشندگی و غیرخطیت در یک موج یون-صوتی به تعادل برسند واثر یکدیگر راخنثی کنند.یک پالس موجی سالیتونی یون-صوتی می تواند بدون تغییر شکل در پلاسما انتشار یابد.

۱.۳.۱ سالیتون

یک پالس موج یا اغتشاش دلخواه را می‌توان به‌عنوان یک ترکیب خطی از قطارهای موج سینوسی بافرکانس‌های مختلف در نظر گرفت. اگر هر یک از قطارهای موج خطی با سرعت یکسانی در محیط منتشر شوند،آنگاه آن محیط را غیر پاشنده [۱۵]می‌نامیم و پالس موج بدون تغییر شکل در محیط منتشر می شود.اما اگرسرعت هر کدام از قطارهای موج در محیط متفاوت باشد،آنگاه پالس موج در محیط پخش می‌شود وآن محیط را پاشنده می‌نامیم.
حال اگر اثرات غیر خطی در هنگام انتشار موج در محیط نقش داشته باشند، ویژگی جدیدی ظهور پیدا می کند: قله‌ی موج نسبت به بقیه‌ی موج سریعتر حرکت می‌کند، به عبارت دیگر نقاط با دامنه‌ی بلند از نقاط با دامنه‌ی کوتاه جلو می‌افتند و دچار واژگونی می‌شود و سرانجام فرو می‌افتد. اما در نتیجه‌ی تقابل اثرات پاشندگی و غیرخطیت، امکان شکل گیری و انتشار ساختارهای غیرخطی پایدار در محیط نیز وجود دارد که به آنها سالیتون می‌گوییم.[۲۰، ۲۱، ۲۲]
سالیتون‌ها پس از برخورد با یکدیگر و در برهمنکش‌ها شکل و سرعتشان را حفظ می‌کنند. وبه عنوان مجموعه‌ای گسترده از جواب‌های معادلات دیفرانسیل جزئی غیرخطی ضعیف پاشنده ناشی می‌شوند که سیستم‌های فیزیکی را توصیف می‌کنند.
به بیان دیگر،سالیتون به دسته خاصی از جواب‌های موضعی یک معادله غیرخطی موج گفته می شود که با شکل، ارتفاع و سرعت ثابت به پیشروی و انتشار در محیط ادامه می‌دهند. البته توافق

[۱۵]Nondispersive

عام بر سر تعریف سالیتون وجود ندارد ودر منابع مختلف سالیتون را به صورت‌های متفاوت تعریف می‌کنند. یافتن تعریفی منفرد و مورد توافق از یک سالیتون مشکل است.
سالیتون‌ها برای مدت‌های مدیدی به عنوان یک گونه‌ی خاص از اموج سالیتونی شناخته می‌شدندزمانی در محیط ظاهر می‌شوندکه غیرخطیت (وابستگی سرعت انتشار به دامنه‌ی موج)وپاشندگی(وابستگی سرعت انتشار به فرکانس موج)با یکدیگر به موازنه در بیایند.

۲.۳.۱ تاریخچه‌ی سالیتون‌ها

به لحاظ تاریخی، امواج سالیتونی برای اولین بار در سال ۱۸۳۴ توسط مهندس جوان اسکاتلندی به نام جان اسکات راسل [۱۶]،در جریان آزمایشاتش در کانال یونیون[۱۷] برای بدست آوردن رابطه‌ی بین سرعت یک قایق و نیروی پیش برنده آن، مشاهده شدند [۱۶، ۱۷، ۲۲] راسل نتایج مشاهداتش را در سال ۱۸۴۴ به انجمن علمی بریتانیا ارائه کرد [۲۳] . قسمتی از گزارش او به شرح زیر است:
من معتقدم که باید از طریق توصیف چند و چون پدیده ای که اولین آشنایی من با آن بود، آن را به نحو مقتضی معرفی کنم. من در حال مشاهده ی حرکت قایقی بودم که توسط یک جفت اسب به سرعت در امتداد یک کانال آب کشیده می شد، هنگامی‌که قایق بطور ناگهانی ایستادتوده ی نه چندان بزرگی از آب کانال که باید در حرکت باقی می ماند، در جلو دماغه ی قایق و درحالت یک تلاطم شدید انباشته شد، سپس بطور ناگهانی در حالی‌که دماغه ی قایق را ترک می کرد،با سرعت زیادی به جلو حرکت کرد. می شد فرض کرد که آن توده‌ی آب بلند، مسطح، هموار، و خوب شکل یافته به فرم یک موج سالیتونی بلند است که بدون تغییر شکل یا کاهش سرعت به مسیر خود در امتداد کانال ادامه می دهد. من در حالی‌که سوار بر اسب بودم آن را که با سرعت تقریبی هشت و نه دهم مایل بر ساعت(حدود ۴ متر بر ثانیه)به جلو پیش می‌رفت دنبال کردم و از آن سبقت گرفتم،

[۱۶] John Scptt Russell
[۱۷] Union

این موج که تقریباً سی فوت(حدود ۱۰ متر)طول و یک فوت و نیم (حدود نیم متر)ارتفاع داشت، در حالی‌که شکل اولیه اش را حفظ کرده بود به مسیرخود ادامه داد. ارتفاع آن موج به تدریج کم شد و پس از یک تعقیب دو، سه مایلی (چندین کیلومتر) آنرا در پیچ و خم کانال گم کردم. این مشاهده راسل را بر آن داشت که این امواج را بیشتر مورد بررسی قرار دهد. او آزمایشهایی ترتیب داد که در آنها وزنه هایی را از یک انتهای یک کانال آب طولانی، اما کم عمق رها می کرد. در طول سالهای بعد، او این آزمایشها را در تانکرها و کانال های آب برای مطالعه ی امواج سالیتونی تکرار کرد، و دریافت که آنچه که به دنبال آنست باید یک موجود دینامیکی مستقل باشد که با شکل و سرعت ثابت به حرکت خود ادامه می دهد. او با استفاده از آزمایشات خودچهار نتیجه زیر را بنا نهاد[۲۳]:

۱) امواج سالیتونی دارای شکلی به فرم$hsech^2\left[k\left(x-vt\right)\right]$ هستند.

۲)یک توده ی اولیه ی آب که به اندازه کافی بزرگ باشد می تواند دو یا چند موج سالیتونی مستقل تولید کند؛

۳) امواج سالیتونی بدون هیچ تغییر شکلی از یکدیگر عبور می کنند؛

۴)یک موج با ارتفاع h که در یک کانال آب به عمق d سرعت عبور می کند، دارای سرعتvو پهنایlاست که با عبارت زیر داده می شوند:

$$l=\sqrt{\frac{4d^3}{3h}}, v=\sqrt{g\left(d+h\right)}$$

که در آن g شتاب گرانش است.عبارت بالا نشان می دهد که یک موج سالیتونی دامنه بلند نسبت به یک موج دامنه کوتاه سریعتر حرکت می کند و پهنای آن کمتر است.(در طول این آزمایشها $\frac{d}{h}<1$ در نظر گرفته شده است).

انجمن های ریاضیاتی نتایج آزمایشات راسل را نپذیرفتند. اری[۱۸] در سال ۱۸۴۵ در کتابش تحت

[۱۸] Airy

عنوان جریانها و امواج ، نظریه ی امواج بلند را بنا نهاد، که در آن رابطه ای بین سرعت یک موج و دامنه ی آن پیدا کرده بود .[۲۴] نتایج آزمایشات راسل با نظریه ی غیرخطی اری ، که پیش بینی می کرد یک موج با دامنه ی معین نمی تواند بدون تغییر شکل منتشر شود، در تناقض بودند. بر طبق این نظریه موج باید دچار افتادگی شود و سرانجام دچار شکست بشود.

اری برطبق نظریه اش نتیجه گرفت که یک موج سالیتونی نمی تواند وجود داشته باشد؛ و این منجر به یک جدال و کشمکش بین راسل و اری شد. از طرف دیگر، استوکس [۱۹] در سال ۱۸۴۷ نشان داد که امکان وجود امواج با دامنه ی محدود و شکل پایدار در آب عمیق وجود دارد،، اما آنها نوسانی هستند. در سال ۱۸۶۵ بزین[۲۰]آزمایش هایی را گزارش کرد که در کانال بورگون[۲۱] انجام شده بودند و نتایج مشاهدات راسل را تأییدمی کردند.

جدال بر سر آزمایش های راسل از آن جهت بود که نظریه ی غیرخطی در آب کم عمق،پاشندگی را که بطور کلی از افتادگی موج جلوگیری می کند، نقض می کرد. این مشکل در سال۱۸۷۱ توسط جوزف بوزینسک[۲۲]و به روش مستقل دیگری توسط لورد ریلی[۲۳]در سال۱۸۷۶ حل شد[۲۵]. که سهم مهمی در مبحث امواج سالیتونی دارد. او نشان داد اگر از اتلاف صرفنظر کنیم، افزایش در سرعت موج موضعی که مربوط به دامنه ی معین است، بوسیله ی کاهش در سرعت موج که مربوط به پاشندگی است، به موازنه می رسند و منجر به یک موج با شکل پایدار می شود.

سر انجام در سال ۱۸۹۵ این جدال توسط کورت وق[۲۴] و دی رایز[۲۵]با ارائه ی یک مدل معادلاتی و توصیف کننده ی انتشار امواج با طول موج بلند در آب نسبتاً کم عمق است، حل شد آنها نشان دادندجواب‌هایی که راسل برای امواج سالیتونی ارائه کرده بود در حقیقت جواب های معادله ی

[۱۹] Stokes
[۲۰] Bazin
[۲۱] Bourgogne
[۲۲] Joseph Boussinesq
[۲۳] Lord Rayleigh
[۲۴] Korteweg
[۲۵] de Vries