چکیده

در این پایان نامه مدولاسیون دامنه امواج شبکه غبار که در یک بلور پلاسماي غبار آلود سه بعدي *bcc* انتشار مي یابند، با استفاده از تقریب پیوستگي بررسي شده است.
یک بلور پلاسماي غبار آلود با دانه هاي غباري، با جرم و بار الکتریکي ثابت در نظر گرفته مي شود. رابطه پاشندگي و سرعت گروه براي امواج شبکه غبار طولي منتشر شده در بلور را به دست مي آوریم. سپس با استفاده از روش اختلال کاهنده در مي یابیم که معادله حاکم بر دامنه اولین هارمونیک جابجایي از معادله شرودینگر غیر خطي پیروي مي کند.

لغات کلیدي: امواج شبکه غبار، بلور پلاسماي غبار آلود سه بعدي *bcc*، پلاسماي غبار آلود، پلاسما، معادله شرودینگر غیر خطي

فهرست

عنوان
صفحه
فصل اوّل: بلور پلاسمای غبارآلود سه بعدی
1
1-1 مقدمه
2
2-1 پلاسما
3
3-1 پلاسمای غبارآلود
3
4-1 تبلور پلاسمای غبار آلود
4
5-1 معرفی انواع ساختارهای بلوری
7
6-1 روش های آزمایشگاهی تشکیل و مشاهده بلورها
11
1-6-1 مثالی آزمایشگاهی برای تشکیل شبکه های بلوری 11
2-6-1 تاثیر افزایش قدرت
14
7-1 هم زیستی ساختارها
14
فصل دوم: سالیتون ها
16
1-2 مقدمه
17
2-2 سالیتون
17
3-2 انواع سالیتون ها
18
4-2 خواص سالیتون ها
21

2-5 برخی از معادلاتی که جواب سالیتونی دارند
22
2-6 حل معادله غیرخطی شرودینگر (NLS)
23
2-7 شرط پایداری پاسخ معادله غیرخطی شرودینگر (NLS 25)

فصل سوم: رفتارغیر خطی موج طولی در شبکه سه بعدی بلور پلاسمای غبار آلود
26
3-1 مقدمه
27
3-2 تحلیل شبکه
28
3-3 انتشار موج طولی خطي در امتداد محور ها در شبکه سه بعدی 31
3-4 رفتار غیر خطی موج طولی در شبکه سه بعدی بلور پلاسمای غبار آلود 33
3-5 تقریب پیوستار
38
3-6 مدولاسیون دامنه وبدست آوردن معادله شرودینگر غیر خطی در شبکه 40
نتیجه گیری
46
مرجع ها
49

فصل اول

بلور پلاسماي غبارآلود سه بعدي

1-1 مقدمه

اگرچه در سال 1934 ميلادي، ويگنر، اولين مدل بلوري را ارائه كرد، اما از مشاهده ساختارهاي بلوري كه توسط ذرات غبار باردار در يک پلاسماي غبارآلود شكل مي گيرند، بيش از دو دهه نمي گذرد. براي اولين بار در سال 1986 ميلادي، ايكزي به صورت تئوري امكان ايجاد بلورهاي كولني توسط ذرات غبار در يک پلاسماي غبارآلود را پيش بيني كرد[1]. از سال 1986 ميلادي تا سال 1992 ميلادي تلاش هاي فراواني براي يافته هاي بيشتر صورت گرفت و نهايتاً هاماگوشي و فاروكي توانستند شكل گيري جامدهاي كولني را شبيه سازي كنند[2]. از سال 1992 تا 1994 ميلادي آزمايش هاي متعددي براي مشاهده بلورهايي كه توسط ذرات غبار ساخته مي شوند، انجام شد، درنهايت براي اولين بار، در سال 1994 ميلادي، سه گروه به طور مجزا و در آزمايشهايي كاملاً متفاوت، مشاهدات تجربي خود را گزارش كردند[3-5]. از آن به بعد تا كنون مقالات زيادي در رابطه با مشاهدات آزمايشگاهي و شبيه سازي كامپيوتري صورت گرفته است، ولي كارهاي تئوري در اين رابطه بسيار اندک مي

باشند. امروزه اين بلورها كاربرد وسيعي در صنعت يافته اند، براي مثال مي توان از آنها براي ساخت صفحه هاي نمايش استفاده كرد. به علت توليد آسان، زمان واهلش كوتاه، رويت آسان، زمان به تعادل رسيدن كوتاه، تشخيص آسان و كنترل راحت تر مي توان از اين نوع بلورها، به عنوان مدلي براي بررسي معايب، انتشار امواج، ناپايداري هاي مختلف، گذار فاز و... در بلورهاي واقعي بهره گرفت. همچنين مي توان از آن ها به عنوان مدلي براي نانو بلور هايي با تعداد محدودي از صفحات شبكه، استفاده كرد. در اين فصل ابتدا تعريفي كلي از مفاهيم اوليه (پلاسما، پلاسماي غبار آلود، بلور پلاسماي غبار آلود،...) ارائه مي دهيم، سپس انواع شبكه ها را معرفي كرده و به بررسي شرايط تشكيل آن ها مي پردازيم.

2-1 پلاسما

براي نخستين بار، در سال 1923 ميلادي لانگموئير هنگامي كه روي پديده تخليه الكتريكي كار مي كرد، ستون مثبت در لامپ تخليه الكتريكي را كه محتوي الكترون، يون و ذرات خنثي بود، پلاسما نام نهاد. از آنجا كه پلاسما از گرم كردن گاز خنثي بدست مي آيد و از قوانين حاكم بر مايعات و گازها پيروي نمي كند، پلاسما را حالت چهارم ماده نيز مي نامند. گستره دمايي بزرگ ( ) و گستره وسيع تغيير چگالي ( ) از ويژگي هاي بارز پلاسماست. در يک پلاسما ميانگين بار مثبت و بار منفي در حجم ماكروسكوپي و در زمان طولاني با يكديگر برابر است و يا به عبارتي پلاسما گازي، شبه خنثي است. از ديگر ويژگي هاي پلاسما رفتار جمعي ذرات آن است. رفتار جمعي منشأ يكي از مهمترين ويژگي هاي پلاسما است. وقتي پتانسيل الكتريكي در پلاسما ايجاد شود، الكترونها و يون ها تحت تأثير اين

پتانسيل حركت كرده و پوششي در مقابل آن ايجاد مي كنند، وجود اين حفاظ ديدن پتانسيل از فاصله دور را ناممكن مي كند. اين پوشش حفاظ دباي ناميده مي شود. تحقيقات نشان مي دهد كه بيش از 99% جهان را پلاسما فرا گرفته است، براي مثال پلاسما را مي توان در آزمايشگاهها، رعد و برق، لامپ تلويزيون، فضاي بين سيارات، ستاره هاي دنباله دار و خارج از جو زمين يافت. به همين علت آگاهي از رفتار پلاسما، اهميت ويژه اي يافته است.

3-1 پلاسماي غبارآلود

پلاسمايي كه علاوه بر ذرات يونيزه و ذرات خنثي از تعداد زيادي ذرات سنگين تشكيل شده باشد، پلاسماي غبارآلود ناميده مي شود. اين نوع پلاسما براي اولين بار در سال 1980 ميلادي، در فضا مشاهده شد. اين ذرات سنگين كه به ذرات غبار شهرت دارند، بسيار سنگين تر از ذرات باردار هستند و اندازه آن ها در محدوده نانومتر تا ميكرومتر قرار مي گيرد. جنس اين ذرات در آزمايشگاه معمولاً از اكسيد سيليكن، اكسيد تيتانيوم و كربن انتخاب مي شوند، و در طبيعت از جنس يخ، كربن و فريت هستند. دانه هاي غبار اغلب به صورت منفي باردار مي شوند و ممكن است بتوانند تا

الكترون نيز بار منفي دريافت كنند. پلاسماي غبارآلود در شرايطي كه اختلال هاي خارجي وجود نداشته باشد، از لحاظ ماكروسكوپي خنثي است. پلاسماي غبارآلود به طور گسترده در حلقه هاي سياره اي، محيط ميان ستاره اي و دنباله ستاره دنباله دار موجود است. از اين نوع پلاسما در تكنولوژي نيمه هاديها براي توليد ميكروچيپ ها استفاده مي شود. ذرات غباري كه وارد محيط پلاسما مي شوند نه نتها تركيب الكترون و يون ها را تغيير مي دهند بلكه بر مد هاي امواج نيز تاثير مي گذارند. بين دو دانه غبار در اثر باردار شدن انرژي پتانسيل الكتروستاتيک به صورت

(1-1)

پديد مي آيد و به انرژي پتانسيل برهم كنش دباي-هاكل و يا يوكاوا شهرت دارد. كه در آن، بار الكتريكي روي هر دانه غبار، ، فاصله بين دو دانه غبار، ، ضريب گذردهي خلا و ، طول دباي است، و به شكل زير بيان مي شود

(2-1)

ميانگين انرژي جنبشي ذرات غبار، به دما وابسته است، و به صورت زير نشان داده مي شود

(3-1)

كه در آن ، ثابت بولتزمان و ، دماي ذرات مي باشد.

4-1 تبلور پلاسماي غبارآلود

در يک پلاسماي غبارآلود، تبلور، زماني رخ مي دهد كه چگالي ذرات غبار در پلاسما به اندازه كافي زياد باشد. در اين حالت فاصله بين ذرات كوچكتر از طول دباي خواهد شد و ذرات انرژي جنبشي كمتري كسب مي كنند، بنابراين انرژي برهم كنش الكترواستاتيک ذرات غبار برابر يا بزرگتر از انرژي گرمايي آن مي شود. در پلاسما ايجاد اين شرايط، به سختي امكان پذير است، ولي در يک پلاسماي غبارآلود، به علت بار الكتريكي بزرگ روي ذرات غبار، پتانسيل برهم كنش كولمبي بزرگي ايجاد مي شود. اگر انرژي برهم كنش الكترواستاتيک بسيار بزرگتر از انرژي گرمايي باشد، گذار فاز رخ مي دهد، در اين حالت سيستم از فاز سيال به فاز جامد گذار مي كند، و يا به اصطلاح بلوري مي شود. پارامتر جفت شدگي، عامل اصلي تعيين كننده شكل گيري بلورها توسط ذرات غبار است و به صورت نسبت انرژي پتانسيل الكترواستاتيكي به انرژي حرارتي يا جنبشي تعريف مي شود. مقدار بحراني اين پارامتر 172 مي باشد و تنها در صورتي كه پارامتر جفت شدگي، بيشتر از مقدار بحراني باشد، ذرات غبار تشكيل يک ساختار منظم مي دهند. پارامتر جفت شدگي به صورت زير نشان داده مي شود

(4-1)
، پارامتري بدون بعد است.
به طور كلي را در سه حالت بررسي مي كنند
حالت اول
اگر باشد، همان طور كه از شكل پيداست دانه هاي غبار به طور منظم در كنار يكديگر صف آرايي مي كنند و همانند اجزاي تشكيل دهنده يک جسم جامد كه ساختاري منظم دارند عمل مي كنند.

شكل (1-1) : ساختار منظم دانه هاي غبار براي حالت دوم

در صورتي كه باشد، چنانچه ملاحظه مي كنيد، دانه هاي غبار باردار به صورت تقريباً كاتوره اي در كنار هم قرار مي گيرند و مانند اجزاي تشكيل دهنده مايعات عمل مي كنند.

شكل (1-2) : ساختار نا منظم دانه هاي غبار براي
حالت سوم

اگر باشد دانه هاي غبار به صورت كاملاً كاتوره اي و نامنظم، مانند شكل (1-3) در پلاسماي غبارآلود حركت مي كنند، و در تشبيه همانند اجزاي تشكيل دهنده گازها عمل مي كنند در اين حالت امكان تشكيل بلور به طور كلي از بين مي رود.

شكل(1-3) : ساختار كاملاً نامنظم دانه هاي غبار براي

1-5 معرفي انواع ساختارهاي بلوري

معروف ترين ساختاري كه توسط دانه هاي غبار در دو بعد شكل مي گيرد، ساختاري است كه دانه هاي غبار در گوشه ها و مركز يک شش ضلعي منتظم

قرار گرفته و به ساختار شش گوشي ساده معروف است.

شکل(1-4) : بلور دو بعدي شش گوشی ساده

ساختارهاي مشاهده شده، در سه بعد، از تنوع بيشتري برخوردارند. اين ساختار ها بر اساس نام گذاري ساختارها در فيزيک حالت جامد، نام گذاري مي شوند. در ادامه به معرفي ساختارهاي مشاهده شده مي پردازيم.
الف) معروف ترين ساختاري که در سه بعد دانه هاي غبار به ايجاد آن تمايل دارند، همان طور که در شکل (1-5)، ملا حظه مي کنيد، ساختاري است که دانه هاي غبار در هشت گوشه و مرکز يک مکعب جايگيري مي کنند. اين ساختار همانند ساختار در فيزيک حالت جامد است]4[.

شکل(1-5) : بلور سه بعدي

ب) ساختار غالب بعدي ساختاري است که دانه هاي غبار در هشت گوشه و مرکز وجوه مکعب قرار مي گيرند و به ساختار معروف است]4[.

شکل (1-6) : بلور سه بعدي

پ) شکل (1-7) چهارده دانه غبار را نشان مي دهد که در دوازده گوشه يک شش گوشی سه بعدي قرار مي گيرند، دو دانه غبار نيز در مرکز دو قاعده اين شش گوشی جايگيري مي کنند، و به ساختار معروف است. اين ساختار گونه اي از شش گوشی ساده بوده، و در اغلب موارد به همين نام شناخته مي شود[4].

شکل(1-7) :بلور سه بعدي

ت) ساختار بعدي از دو شبکه براوه ساده شش گوشي که در هم نفوذ کرده اند به دست مي آيد و به ساختار تنگ پکيده شش گوشي يا معروف است[9].

شکل(1-8) :بلور سه بعدي

ث) ساختاري که در شکل (1-9) نشان داده شده است ساختاري است که در آن دانه هاي غبار ساختار به جاي يک مکعب روي يک مکعب مستطيل صف آرايي کرده اند و به ساختار معروف است[6].

شکل(1-9) :بلور سه بعدي

ج) در شکل (1-10) ساختاري نشان داده شده است که در آن دانه هاي غبار ساختار به جاي شکل گيري روي مکعب روي يک مکعب مستطيل جايگيري کرده اند و به ساختار شهرت دارد[7].

شكل(1-10) :بلور سه بعدي

1-6 روش هاي آزمايشگاهي تشكيل و مشاهده بلورها

معروف ترين روش هايي كه ذرات غبار را به ايجاد يک ساختار منظم مجبور مي كنند، عبارتند از

1- استفاده از دام الكترواستاتيك متقارن و كنترل صريح قدرت .

اين روش جزء اولين و معروفترين آزمايشهايي بود كه انجام شد]4و6و8و9[.

2- كنترل اندازه ذرات غبار]7[.

3- تخليه تابشي (افروخته) .

ساختارهاي سه بعدي در نواحي شبه خنثي اولين بار تحت اين آزمايش مشاهده شدند]10[.

1-6-1 مثالي آزمايشگاهي براي تشكيل شبكه هاي بلوري

تصويري كه در شكل (1-11) مشاهده مي كنيد نماي جانبي يک دستگاه ساز است، و يكي از معروفترين دستگاه هاي آزمايشگاهي توليد پلاسما است.

شكل(1-11) : نماي جانبي دستگاه ساز

اجزاي تشكيل دهنده اين دستگاه عبارتند از:

1- الكترودي تو خالي ، كه به يک دستگاه ساز با فركانس كوپل شده است. (از الكترود تو خالي به خاطر افزايش سطح آزاد سازي الكترون ها و ولتاژكشي كمتر استفاده مي كنند).

2- الكترودي كه به علت خطر برق گرفتگي به زمين متصل است و شيارهايي براي حبس ذرات غبار سنگين و بزرگ درآن تعبيه شده است.
3- پنجره اي شيشه اي نيز در بالاي دستگاه، براي مشاهده بلورها توسط ميكروسكوپ اپتيكي، نصب شده است.

براي توليد پلاسما در اين سيستم از گاز آرگون با فشاري معادل استفاده مي شود. در اثر برخورد الكترون هاي پر انرژي كه از الكترود تو خالي مي آيند، گاز آرگون يونيزه شده و به تبديل مي شود. و الكترون هاي آزاد شده پلاسماي زمينه را تشكيل مي دهند. ذرات غبار را از تركيب سايلن و اكسيژن به دست مي آورند، و اين تركيب اكسيد سيليكن را نتيجه مي دهد. نسبت فشارهاي پاره اي ذرات اوليه براي توليد ذرات غبار را همواره يک در نظر مي گيرند، و فشار كل سيستم را در مرحله توليد پلاسما، زير نگه مي دارند. دماي الكترون ها و يون ها به ترتيب و است. در مرحله توليد ، قدرت را روي تنظيم مي كنند. براي افزايش راندمان توليد، ميدان مغناطيسي محوري (100-50) را به سيستم اعمال كرده، و بعد از شكل گيري ذرات غبار در سيستم جريان گازهاي واكنش پذير به سيستم را قطع مي كنند. ميدان مغناطيسي نيز در اين مرحله از سيستم حذف مي شود. چنانچه قدرت را به حدود و فشار آرگون را به برسانيم، ذرات غبار با بار منفي و اندازه اي حدود در ساختارهاي منظمي كنار يكديگر قرار مي گيرند. در آزمايشگاه، بلور پلاسماي غبار آلود معمولاً بالاي الكترود منفي، جايي كه در آن نيروهاي وارد بر ذرات غبار در امتداد قائم با هم به توازن مي رسند، تشكيل مي شود. نيروي جاذبه ذرات سنگين و بزرگ، بر نيروي ناشي از ميدان الكتريكي، غلبه كرده، و اين ذرات را در شيارهاي مخصوص، ته نشين مي كند. در اين مرحله بنابر شرايط مختلف بلورهاي نام برده شده در قسمت هاي الف تا ج تشكيل مي شوند. براي مشاهده اين

ساختارها همان طور که در شکل (1-11) مشاهده مي کنيد، از يک ميکروسکوپ اپتيکي که بالاي دستگاه سوار شده استفاده مي کنند. اين ميکروسکوپ تصاوير ذرات روشن شده توسط ليزر را دريافت کرده، و توسط يک ثبت کننده ويدئويي ديجيتال، تصاوير، نشان داده مي شوند. براي مثال شکل (1-12) نماي بالايي ساختار منظمي از ذرات روشن شده به وسيله نور ليزر را نشان مي دهد. اگر ارتفاع ميکروسکوپ اپتيکي را به آهستگي تغيير دهيم مي توان به وسيله مقايسه دقيق اختلاف ناچيز تصاوير ذراتي که در سطوح مختلف شبکه قرار دارند، نوع ساختار را مشخص کرد. با دقت در اين ساختار مي توان دريافت که ذرات همانند ساختار شش گوشی در کنار يکديگر قرار گرفته اند.

شکل(1-12) : ساختار هگزاگونال ساده

در قدرت کم اين ذرات به جز نوسانات کوچک حول موقعيت تعادل خود حرکت ديگري ندارند و همين نوسانات جزئي از محور عمودي بلور باعث جدايي سطوح شبکه در شکل بالا شده است. با تعديل درست پارامترهاي پلاسما چيدمان ذرات تغيير مي يابند، و ساختارهاي ديگر نيز قابل مشاهده مي باشند]4و9[.

1-6-2 تاثير افزايش قدرت

با افزايش قدرت از ، به ، دامنه نوسان ذرات افزايش مي يابد، و اين نوسانات سبب جدايي هايي بزرگتر از آنچه در اولين حالت وجود داشت، مي شوند و ساختارهاي نامنظمي پديد مي آورند. وقتي قدرت ، را به رسانديم دامنه نوسانات باز هم بزرگتر شده و به حالتي مي رسيم که در اصطلاع به آن فاز مايع مي گويند.

(a) (b) (c)

شكل(1-14) : تاثير قدرت روي ساختار بلوري شبكه c ,b (a ,)

1-7 هم زيستي ساختارها

در قدرت كم، مي توانيم نواحي را بيابيم كه در آن نواحي ساختارهاي شبكه اي متفاوت در كنار هم صف آرايي كرده اند مانند آنچه در شكل (1-15) مشاهده مي شود. دربالا و سمت چپ تصوير، ساختار و در پايين و سمت راست تصوير ساختار همزمان توسط ذرات غبار شكل گرفته اند[4]. در آزمايشگاه ساختار هاي بلوري خوب معمولاً وقتي پارامتر جفت شدگي از مرتبه است مشاهده مي شوند. اگر در يک سيستم اين ثابت، از اين مقدار كمتر باشد ذرات ساختار هايي را تشكيل مي دهند كه از ساختار هاي منظم و تناوبي مورد انتظار ما پيروي نمي كنند.

شكل (1-15) : همزيستي ساختارهاي بلوري

فصل دوم
سالیتون ها

2-1 مقدمه

مطالعه روي رفتار غيرخطي مواد و امواج از اوايل قرن نوزدهم متداول بوده است. بررسي امواج روي سطح آب و معرفي معادله غيرخطي كورته وگ و دي وريس ( )، از اولين مطالعات، روي رفتار غيرخطي امواج بوده است. اگرچه در اغلب محيط هاي فيزيكي نظير سيالات، فيبرهاي اپتيكي و ... امواج غيرخطي مطالعه مي شوند، ولي بيشترين بررسي ها در پلاسما و پلاسماي غبارآلود، صورت گرفته است. در سال 1965 ميلادي، زاباسكي و كراسكل، روي برخورد بسته موج هاي منفرد (سالیتون ها)، تحقيقات جالبي انجام دادند. آن ها دريافتند، وقتي اين موج ها به يكديگر برخورد مي كنند، انرژي و سرعت اوليه آن ها تغيير نمي كند. در حالت كلي اين بسته هاي موج در برهم كنش با يكديگر مانند ذرات رفتار مي كنند. علت نام گذاري آن ها به نام سالیتون نيز از اين واقعيت سرچشمه مي گيرد. امرزه سالیتون ها به واسطه خواص ويژه اي كه دارند، در بسياري از زمينه هاي علمي مورد توجه مي باشند. بدين جهت در اين فصل ابتدا به بررسي مفهوم سالیتون پرداخته، سپس سالیتون ها را دسته بندي كرده و به بحث در مورد انواع مختلف آن ها مي پردازيم. حل معادله غيرخطي شرودينگر و ويژگي پاسخ اين معادله را نيز بررسي خواهيم كرد.

2-2 سالیتون

از ديدگاه رياضي سالیتون ها جواب هايي از معادلات ديفرانسيل غيرخطي با مشتقات جزئي

انتگرال پذير هستند. هر سيستمي كه با اين معادلات قابل توصيف باشد، يک سيستم انتگرال پذير يا كامل ناميده مي شود. اين سيستم ها بسيار نادر و استثنايي هستند. در طبيعت سالیتون ها به صورت برآمدگي هاي ثابت و موضعي در يک محيط غيرخطي توصيف مي شوند، اما در طبيعت به علت وجود اصطكاک، فرسايش، نيرو هاي خارجي و ... سالیتون هاي واقعي وجود ندارند. بنابراين در سيستم هاي طبيعي با شبه سالیتون ها مواجه هستيم. از ديدگاه ذره اي سالیتون به صورت يک انرژي متناهي و متمركز شده كه نهايتاً موجودي غيرخطي است، توصيف مي شود. در واقع سالیتون جواب خاصي از يک معادله موج غيرخطي است كه در برخي شرايط خاص رخ مي دهد. البته بايد توجه داشت كه تمام معادلات موج غيرخطي جواب سالیتوني ندارند. سرعت يک سالیتون به ارتفاع و پهناي آن وابسته است، هر چه ارتفاع يک سالیتون بلندتر و پهناي آن كم تر باشد، سرعت حركت سالیتون بيشتر مي شود. بنابراين سالیتون هاي با ارتفاع بلند، قادرند سالیتون هاي با ارتفاع كوتاه را جا بگذارند.

3-2 انواع سالیتون ها

هر سالیتون با توجه به شكلي كه دارد، شناخته مي شود. به طور كلي سالیتون ها را مي توان به دو صورت زير دسته بندي كرد.

1- سالیتون روشن

سالیتوني كه برآمدگي دارد را سالیتون روشن مي ناميم.

شكل (2-1) :سالیتون روشن

اين نوع سالیتون ها در فيبرهاي اپتيكي، سيستم هاي آكوستيكي و پلاسمايي و ... يافت مي شوند. سالیتون هاي روشن كاربرد بسيار وسيعي در ارتباطات اپتيكي و فتونيک دارند.

2- سالیتون تاریک

اگر سالیتون به صورت یک فرورفتگي باشد، آن را سالیتون تاریک مي نامیم. سالیتون هاي تاریک نیز به دو نوع سالیتون سیاه و سالیتون خاکستري تقسیم مي شوند. سالیتون هاي سیاه، سالیتون هایي هستند که دامنه آن ها در مرکز دامنه اشان به صفر میل مي کند.

شکل (2-2): سالیتون سیاه

دامنه سالیتون هاي خاکستري همان طور که در شکل زیر نشان داده شده، در مر کزشان صفر نمي شود.

شکل (2-3): سالیتون خاکستري

در این تصاویر، جابجایي یک ذره نسبت به زمان، وقتي که یک موج سالیتوني از آن عبور مي کند، نشان داده شده است. سالیتون هاي تاریک نسبت به سالیتون هاي روشن بسیار کمیاب ترند و در چند سیستم محدود دیده شده اند. این نوع سالیتون ها از آن جهت تاریک نامیده مي شوند که براي اولین بار در اپتیک غیرخطي، آنجایي که موج به صورت یک ناحیه تاریک منتشر مي شود، دیده شدند. سالیتون ها به دو صورت پالسي و بسته اي منتشر مي شوند، یعني یا یک تک موج نقش سالیتون را دارد که همان صورت پالسي سالیتون است و یا اینکه پوش چند موج که شبیه به یک تک موج پالس مانند است، نقش سالیتون را بازي مي کند، که همان حالت بسته اي سالیتون ها است. شکل هاي زیر انتشار بسته اي سالیتون روشن و سالیتون سیاه را نشان مي دهند.

شکل (2-4): انتشار بسته اي سالیتون روشن

شکل (2-5) : انتشار بسته اي سالیتون سیاه

2-4 خواص سالیتون ها

سالیتون ها، داراي رفتاري ذره مانند هستند. این امواج قادرند مسافتي طولاني را بدون تغییر شکل حرکت کنند. با توجه به شرایط محیطي که این نوع امواج منتشر مي شوند، سرعتشان نیز ثابت مي ماند. بنابراین مهم ترین خواص سالیتون ها که آن ها را به موجوداتي منحصر به فرد تبدیل کرده است، خاصیت پایداري آن ها است. در حالت کلي به امواجي که سرعت و شکلشان با زمان تغییر نمي کند، امواج سولیتاري گفته مي شود. خاصیت منحصر به فرد دیگر سالیتون ها، حفظ شکل و سرعت این نوع امواج، بعد از برخورد با سالیتون هاي دیگر است. دو سالیتون در حین برخورد با هم ترکیب شده و موجي با دامنه اي کوتاه تر از موج بزرگتر و دامنه اي بلندتر از موج کوچک تر ایجاد مي کنند. وقتي سالیتون ها از یکدیگر عبور مي کنند، شکل و سرعت اولیه خود را بدست مي آورند، اما با یک جابجایي فاز مواجه مي شوند، یعني دو موج در همان موقعیت قبل از بر خورد نیستند، ولي سرعت و شکل قبل از برخورد را حفظ کرده اند.

شکل (2-6) : برخورد دو سالیتون

اگر در یک محیط مادي بسته موجي انتشار یابد، به علت خاصیت پاشندگي محیط هاي مادي، این بسته موج با انتشار درون محیط، به امواج تشکیل دهنده آن پاشیده مي شود، به طوري که هر موج با سرعت خاص خود حرکت مي کند. بنابراین سرعت هر موج با دیگري متفاوت خواهد بود، و همه این امواج با سرعت برآیندي به نام سرعت گروه حرکت خواهند کرد. علت این امر آن است که

بسته موج، تركيبي از تعدادي موج با فركانس هاي متفاوت است. چون محيط پاشنده است، سرعت بخش هاي مختلف آن تابعي از فركانس همان بخش است. در شرايط خاص، اثرهاي پاشندگي محيط هاي مادي و غيرخطي مقابل يكديگر قرار گرفته، به توازن مي رسند. به عبارتي از توازن عامل پاشندگي و عامل غيرخطي، شكل و سرعت موج در طول دستگاه فضا و زمان حفظ خواهند شد. در اين صورت موج پايدار است.

5-2 برخي از معادلاتي كه جواب سالیتوني دارند

تعداد معادلاتي كه داراي جواب سالیتوني هستند، به بيش از چهل معادله مي رسند. در اين جا به ذكر چند مورد بسنده شده است.

جدول (2-1) : معادلات سالیتوني

معادله	صورت معادله	جواب معادله
Kdv		
Modified kdv		
Generalized kdv		
NLS		

از ميان اين معادلات، به حل معادله غيرخطي شروديـنگر اكتفا مي كنيم.

6-2 حل معادله غير خطي شروديـنگر

فرم كلي معادله شروديـنگر به صورت زير است (2-1)

که یک معادله دیفرانسیل انتگرال پذیر است. از آنجایي که این معادله ساختاري شبیه به معادله شرودینگر در کوانتوم مکانیک دارد، آن را معادله غیرخطي شرودینگر مي نامند. (در اینجا، معادل پتانسیل در کوانتوم است). ، ترم غیرخطي و ، عامل پاشندگي نامیده مي شود. این معادله نقش مهمي در تئوري انتشار بسته هاي موج در سیستم هاي فیزیکي پاشنده دارد. بسیاري از سیستم هاي غیرخطي، جواب هارمونیک زیر را دارند

(2-2)

که در آن دامنه به قدر کافي کوچک است. مي خواهیم سیستمي را بررسي کنیم که حالت اصلي آن یک جواب هارمونیک خطي است و با وجود اینکه این اثرات خطي بسیار بزرگ هستند، اما از اثرات غیرخطي نیز نمي توان صرف نظر کرد. بسته موجي را در نظر بگیرید که فرکانس علاوه بر وابستگي به (محیط پاشنده) به دامنه نیز وابسته باشد (مدولاسیون دامنه) در این صورت است. تغییر و حول مقدار مرکزي را کند در نظر بگیرید. در این صورت چند جمله اول از بسط تیلور را حفظ مي کنیم

(3-2)

با استفاده از تعاریف ، و و همچنین و خواهیم داشت

(4-2)

در دستگاه مختصات متحرک ، معادله (2-4) را مي توان به صورت زیر نوشت

(5-2)

معادله دیفرانسیل (2-5) همان معادله دیفرانسیل غیر خطي شرودینگر است. این معادله دیفرانسیل انتگرال پذیر بوده و پاسخ سالیتوني به صورت زیر دارد

(6-2)

که در آن است.

و ثابت هاي اختیاري هستند. در واقع معادله بیانگر رفتار پوش موج است.