بسم الله الرحمن الرحيم

دانشگاه پیام نور

مرکز شیراز

پایان نامه

برای دریافت مدرک کارشناسی ارشد

رشته فیزیک حالت جامد

گروه فیزیک

عنوان پایان نامه :

ارتباط چرخنده‌ی ضربه‌ای کوانتمی تعمیم یافته با مدل آندرسون

فاطمه بهادری

استاد راهنما : دکتر عبدالرسول قرائتی

مهرماه ۱۳۹۰

تاریخ : .....
شماره : .....
پیوست : .....

جمهوری اسلامی ایران
وزارت علوم، تحقیقات و فناوری

دانشگاه پیام نور استان فارس
باسمه تعالی

صورتجلسه دفاع از پایان‌نامه دوره کارشناسی ارشد

جلسه دفاع از پایان نامه دوره کارشناسی ارشد **خانم فاطمه بهادری** دانشجوی رشته **فیزیک گرایش حالت جامد** به شماره دانشجویی **۸۷۰۰۰۰۳۷۳** با عنوان:

" ارتباط چرخنده ی ضربه‌ای کوانتومی تعمیم‌یافته با مدل آندرسون "

با حضور هیات داوران در روز **پنج‌شنبه** مورخ **۱۳۹۰/۷/۱۰** ساعت **۸** صبح در محل ساختمان **غدیر دانشگاه پیام نور شیراز** برگزار شد و هیأت داوران پس از بررسی، پایان‌نامه مذکور را شایسته نمره به عدد ۱۹/۰ به حروف نوزده صحیح با درجه عالی تشخیص داد.

ردیف	نام و نام خانوادگی	هیأت داوران	مرتبه دانشگاهی	دانشگاه	امضاء
۱	دکتر عبدالرسول قرائتی جهرمی	راهنما	دانشیار	پیام نور شیراز	
۲	دکتر رضاخرداد	داور	استادیار	یاسوج	
۳	دکتر شمس‌الملوک خوشدل	نماینده تحصیلات تکمیلی	استادیار	پیام نور شیراز	

رئیس اداره تحصیلات تکمیلی

شیراز- شهرک گلستان، بلوار دهخدا
قبل از نمایشگاه بین المللی
تلفن : ۳-۶۲۲۲۲۴۰-۰۷۱۱
دورنگار: ۶۲۲۲۲۴۹-۰۷۱۱
صندوق پستی :۱۳۶۸ - ۷۱۹۵۵
www.spnu.ac.ir
Email : admin@spnu.ac.ir

اینجانب **فاطمه بهادری** دانشجوی ورودی سال **۱۳۸۷** مقطع کارشناسی ارشد رشته **فیزیک حالت جامد** گواهی می نمایم چنانچه در پایان نامه خود از فکر، ایده و نوشته دیگری بهره گرفته‌ام با نقل قول مستقیم یا غیر مستقیم منبع و ماخذ آن را نیز در جای مناسب ذکر کرده‌ام . بدیهی است مسئولیت تمامی مطالبی که نقل قول دیگران نباشد بر عهده خویش می دانم و جوابگوی آن خواهم بود .

دانشجو تائید می‌نماید که مطالب مندرج در این پایان نامه نتیجه تحقیقات خودش می‌باشد و در صورت استفاده از نتایج دیگران مرجع آن را ذکر نموده است .

نام و نام خانوادگی دانشجو **فاطمه بهادری**

تاریخ و امضاء

اینجانب **فاطمه بهادری** دانشجوی ورودی سال **۱۳۸۷** مقطع کارشناسی ارشد رشته **فیزیک حالت جامد** گواهی می نمایم چنانچه بر اساس مطالب پایان نامه خود اقدام به انتشار مقاله ، کتاب ، و ... نمایم ضمن مطلع نمودن استاد راهنما ، با نظر ایشان نسبت به نشر مقاله ، کتاب ، و ... و به صورت مشترک و با ذکر نام استاد راهنما مبادرت نمایم .

نام و نام خانوادگی دانشجو **فاطمه بهادری**

تاریخ و امضاء

کلیه حقوق مادی مترتب از نتایج مطالعات ، آزمایشات و نوآوری ناشی از تحقیق موضوع این پایان نامه مطعلق به دانشگاه پیام نور می باشد .

مهرماه ۱۳۹۰

تقدیم به

پدر و مادر دلسوز و مهربانم

خدایا چنانم کن که از هیبت پدر و مادم به سان هیبت پادشاهی ستمگر بیمناک باشم، و به ایشان همسان مادری دلسوز نیکی کنم. خدایا، فرمانبری از آنان و نیکی به ایشان را در نظرم از خواب در چشمان خواب آلود لذیذتر ساز، و آن را در سینه‌ام از نوشیدن شربتی خوش گوار بر کام تشنه لبان گوارا‌تر دار تا خواسته‌های ایشان را بر خواسته‌ی خود و خرسندی آنان را بر خرسندی خویش مقدم دارم، و نیکی آنان را هر چند کم بی شمار پندارم و نیکی خود را به ایشان هر چند پر شمار کم انگارم.

و تقدیم به

همسر عزیزم که همواره حامی‌ام بوده است.

سپاسگزاری

سپاس بیکران پروردگار را که به انسان قدرت اندیشیدن بخشید تا به یاری این موهبت راه ترقی و تعالی را بپیماید و سپاس از این که عنایات الهی شامل حال اینجانب شد تا با بضاعت اندک علمی خویش، با کمک استاد گرانقدرم جناب آقای **دکتر عبدالرسول قرائتی**، استاد محترم گروه فیزیک این رساله را به پایان برسانم.

چکیده

ارتباط چرخنده‌ی ضربه‌ای کوانتمی تعمیم یافته با مدل آندرسون

توسط: فاطمه بهادری

در این پایان‌نامه به کمک مدل چرخنده ضربه‌ای کوانتمی تعمیم یافته و ارتباط آن با مدل آندرسون، طول جایگزیدگی را به طور تحلیلی به‌دست می‌آوریم. برای این منظور، چرخنده یک بعدی برای پتانسیل ویژه‌ای را در نظر می‌گیریم که در فاصله‌های زمانی مساوی، ضربه‌ای به آن اعمال می‌شود. تحول تابع موج را بین دو ضربه متوالی توسط ماتریس یکانی محاسبه می‌کنیم. عناصر ماتریس یکانی به طور توانی کاهش می‌یابند. با تبدیل آن به مدل همبستگی قوی برای حرکت الکترون در ساختار بلوری یک بعدی، طول جایگزیدگی را به طور تحلیلی به دست می‌آوریم. در پایان با رسم توابع موج چرخنده ضربه‌ای به کمک نرم‌افزار Matlab، شرایط جایگزیدگی را تحت تأثیر دوره‌ی تناوب T مورد بررسی قرار می‌دهیم.

واژه‌های کلیدی: چرخنده ضربه‌ای، جایگزیدگی آندرسون، مدل همبستگی قوی، نگاشت استاندارد

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فهرست نمودارها ط

فصل اول پدیده‌ی جایگزیدگی آندرسون

۱-۱ مقدمه..... ۲

۱-۲ تاریخچه مدل آندرسون..... ۲

۱-۳ جایگزیدگی آندرسون در حالت یک‌بعدی..... ۵

فصل دوم پتانسیل دوره‌ای و روش تنگ‌بست

۲-۱ مقدمه..... ۱۲

۲-۲ پتانسیل دوره‌ای و قضیه‌ی بلاخ..... ۱۳

۲-۳ مدل تنگ‌بست در ساختار بلور مکعبی..... ۱۶

۲-۴ تقریب تنگ‌بست تراز اتمی..... ۱۸

۲-۵ مدل آندرسون و روش تنگ‌بست..... ۲۰

فصل سوم چرخنده‌ی ضربه‌ای

۳-۱ مقدمه..... ۲۳

۳-۲ نگاشت استاندارد..... ۲۵

۳-۳ فضای فاز..... ۲۷

۳-۴ محاسبه تابع موج چرخنده ضربه‌ای..... ۳۰

۳-۵ محاسبه تابع موج چرخنده ضربه‌ای در حالات خاص..... ۳۳

۳-۶ حالت‌های تشدید و غیر تشدید..... ۴۴

۳-۶-۱ حالت‌های تشدید..... ۴۵

۳-۶-۲ حالت‌های غیرتشدید..... ۵۲

فصل چهارم ارتباط چرخنده ضربه‌ای با مدل آندرسون

۴-۱ مقدمه..... ۵۹

۴-۲ چرخنده ضربه‌ای و محاسبه طول جایگزیدگی..... ۶۰

۴-۳ ارتباط چرخنده ضربه‌ای با مدل آندرسون..... ۶۳

۴-۴ حل معادله تنگ‌بست..... ۶۵

فصل پنجم نتایج و پیشنهادات

۵-۱ نتایج..... ۷۰

۵-۲ پیشنهادات..... ۷۱

فهرست منابع ۷۲

فهرست نمودارها

نمودار **صفحه**

فصل سوم

۳-۱ الف نمایش سطح مقطع مسیر با فضای فاز (x,I) در زمان‌های $t=nT$ به ازاء $k=0.5$ ۲۶

۳-۱ ب شبیه به نمودار (۳-۱ الف) به ازاء $k=1$ ۲۷

۳-۱ ج شبیه به نمودار (۳-۱ الف) به ازاء $k=4$ ۲۷

۳-۲ الف نمایش تغییرات پتانسیل به ازاء $k=1$ و $b=0$ ۲۸

۳-۲ ب شبیه به نمودار (۳-۲ الف) به ازاء $k=1$ و $b=0.5$ ۲۸

۳-۲ ج شبیه به نمودار (۳-۲ الف) به ازاء $k=1$ و $b=0.99$ ۲۸

۳-۳ الف نمایش فضای فاز سیستم به ازاء $k=0.5$ و $b=0$ ۲۹

۳-۳ ب شبیه به نمودار (۳-۳ الف) به ازاء $k=0.5$ و $b=0.2$ ۲۹

۳-۳ ج شبیه به نمودار (۳-۳ الف) به ازاء $k=0.5$ و $b=0.6$ ۳۰

۳-۳ د شبیه به نمودار (۳-۳ الف) به ازاء $k=0.5$ و $b=0.99$ ۳۰

۳-۴ نمایش عناصر ماتریس A_{ml} بر حسب m به ازاء $l=1$، $E=0$، $b=0$ و $\hbar=1$ ۴۲

۳-۵ نمایش عناصر ماتریس A_{ml} بر حسب m به ازاء $l=1$، $E=0$، $k=1$ و $\hbar=1$ ۴۲

۳-۶ نمایش عناصر ماتریس A_{ml} بر حسب m به ازاء $l=40$، $E=0$، $b=0$ و $\hbar=1$. با گذشت زمان تأثیر ضربه‌های قبل و بعد از ضربه‌ی $l=40$ به تدریج کاهش می‌یابند و مفهوم تنگ‌بست را به خوبی نشان می‌دهد ۴۳

۳-۷ نمایش عناصر ماتریس A_{ml} بر حسب m به ازاء $l = 40$، $E = 0$، $k = 1$ و $\hbar = 1$. مانند نمودار ۳-۶ با گذشت زمان تأثیر ضربه‌های قبل و بعد از ضربه‌ای $l=40$ به تدریج کاهش می‌یابند.....۴۴

۳-۸الف نمایش تابع موج چرخنده ضربه‌ای پس از ۱۰۰۰ضربه به ازاء $T/4\pi=1/2$ و $k = 0.5$ و $b=0.1$ ۴۵

۳-۸ب نمایش تابع موج چرخنده ضربه‌ای پس از ۱۰۰۰ضربه به ازاء $T/4\pi=1/2$ و $k = 0.5$ و $b=0.99$. با افزایش مقدار b تابع موج شروع به پهن شدن می‌کند..... ۴۶

۳-۹الف نمایش تابع موج چرخنده ضربه‌ای پس از ۱۰۰۰ضربه به ازاء $T/4\pi=1/2$ و $k = 2$ و $b=0.1$. در مقایسه با نمودار ۳-۸الف با افزایش مقدار k تابع موج پهن شده است.....۴۶

۳-۹ب نمایش تابع موج چرخنده ضربه‌ای پس از ۱۰۰۰ضربه به ازاء $T/4\pi=1/2$ و $k = 2$ و $b=0.99$ ۴۷

۳-۱۰الف نمایش تابع موج چرخنده ضربه‌ای پس از ۱۰۰۰ضربه به ازاء $T = 4\pi$ و $k = 0.1$ و $b=0.2$ ۴۸

۳-۱۰ب نمایش تابع موج چرخنده ضربه‌ای پس از ۱۰۰۰ضربه به ازاء $T = 4\pi$ و $k = 0.1$ و $b=0.99$. در مقایسه با نمودار ۳-۱۰الف با افزایش مقدار b تابع موج گسترده شده است.....۴۸

۳-۱۱الف نمایش تابع موج چرخنده ضربه‌ای پس از ۱۰۰۰ضربه به ازاء $T=4\pi(3/7)$ و $k = 2$ و $b=0.1$ ۴۹

۳-۱۱ب نمایش تابع موج چرخنده ضربه‌ای پس از ۱۰۰۰ضربه به ازاء $T=4\pi(3/7)$ و $k = 2$ و $b=0.99$. در مقایسه با نمودار ۳-۱۱الف با افزایش مقدار b تابع موج گسترده شده است.....۵۰

۳-۱۲الف نمایش تابع موج چرخنده ضربه‌ای پس از ۱۰۰۰ضربه به ازاء $T=4\pi(9/17)$ و $k=2$ و $b=0.1$ ۵۰

۳-۱۲ب نمایش تابع موج چرخنده ضربه‌ای پس از ۱۰۰۰ضربه به ازاء $T=4\pi(9/17)$ و $k=2$ و $b=0.5$. در مقایسه با نمودار ۳-۱۲الف با افزایش مقدار b تابع موج به سمت جایگزیدگی پیش رفته است..... ۵۱

۳-۱۲ج نمایش تابع موج چرخنده ضربه‌ای پس از ۱۰۰۰ضربه به ازاء $T=4\pi(9/17)$ و $k=2$ و $b=0.99$. در این حالت تابع موج تغییر ناگهانی پیدا کرده و به سرعت پهن شده است..... ۵۱

۳-۱۳الف نمایش تابع موج چرخنده ضربه‌ای پس از ۱۰۰۰ضربه به ازاء $T=4\pi(sqrt(2))$ و $k=0.1$ و $b=0.1$..... ۵۳

۳-۱۳ب نمایش تابع موج چرخنده ضربه‌ای پس از ۱۰۰۰ضربه به ازاء $T=4\pi(sqrt(2))$ و $k=0.1$ و $b=0.5$ در مقایسه با نمودار ۳-۱۳الف با افزایش مقدار b تابع موج همچنان جایگزیده است..... ۵۳

۳-۱۳ج نمایش تابع موج چرخنده ضربه‌ای پس از ۱۰۰۰ضربه به ازاء $T=4\pi(sqrt(2))$ و $k=0.1$ و $b=0.99$ در مقایسه با نمودار ۳-۱۳الف با افزایش مقدار b تابع موج جایگزیدگی خود را حفظ کرده است..... ۵۴

۳-۱۴الف نمایش تابع موج چرخنده ضربه‌ای پس از ۱۰۰۰ضربه به ازاء $T=4\pi(sqrt(2))$ و $k=1$ و $b=0.1$در مقایسه با نمودار۳-۱۳الف با افزایش مقدار k تابع موج تغییر محسوسی نکرده است..... ۵۴

۳-۱۴ب نمایش تابع موج چرخنده ضربه‌ای پس از ۱۰۰۰ضربه به ازاء $T=4\pi(sqrt(2))$ و $k=1$ و $b=0.5$ در مقایسه با نمودار ۳-۱۴الف با افزایش مقدار b تابع موج جایگزیده است.....۵۵

۳-۱۴ج نمایش تابع موج چرخنده ضربه‌ای پس از ۱۰۰۰ضربه به ازاء $T=4\pi(sqrt(2))$ و $k=1$ و $b=0.99$ در مقایسه با نمودار ۳-۱۴الف با افزایش مقدار b تابع موج جایگزیده است.....۵۵

۳-۱۵الف نمایش تابع موج چرخنده ضربه‌ای پس از ۱۰۰۰ضربه به ازاء $T=4\pi(sqrt(2))$ و $k=10$ و $b=0.1$ در مقایسه با نمودار ۳-۱۳الف با افزایش ۱۰ برابری مقدار k تابع موج هنوز جایگزیده است۵۶

۳-۱۵ب نمایش تابع موج چرخنده ضربه‌ای پس از ۱۰۰۰ضربه به ازاء $T=4\pi(sqrt(2))$ و $k=10$ و $b=0.5$ در مقایسه با نمودار ۳-۱۴الف با افزایش مقدار b,k تابع موج تغییر چندانی نکرده است.....۵۶

۳-۱۵ج نمایش تابع موج چرخنده ضربه‌ای پس از ۱۰۰۰ضربه به ازاء $T=4\pi(sqrt(2))$ و $k=10$ و $b=0.99$ در مقایسه با نمودار ۳-۱۴الف با افزایش زیاد مقدار b,k تابع موج جایگزیده مانده است.....۵۷

فصل چهارم

٤-۱الف نمایش تغییرات طول جایگزیدگی (L) به ازاء مقادیر k ، b ، $E=100$ ۶۱

۴-۱ب نمایش تغییرات طول جایگزیدگی (L) به ازاء مقادیر k ، b ، $E=0$ ۶۲

۴-۱ج نمایش تغییرات طول جایگزیدگی (L) به ازاء مقادیر k ، b ، $E=0$. به ازاء تغییرات $0<k<10$ طول جایگزیدگی به تدریج وابستگی خود را به b از دست می‌دهد.....۶۳

۴-۲ عناصر ماتریس W_r برحسب r به ازاء $k=1$ و $E=0$. با افزایش مقدار b شیب نمودار کم شده و این به معنای افزایش مقدار عناصر W_r است.....۶۸

فصل اول

پدیده جایگزیدگی آندرسون

۱-۱ مقدمه

مطالعه‌ی رسانندگی الکتریکی در واقع از اصول فیزیک ماده چگال است. نظریه‌ی کوانتمی رسانندگی الکتریکی، تصویری از الکترونی است که تحت اثر بی‌نظمی در طول جامد انتشار می‌یابد. مفهوم اصلی در توصیف انتشار الکترون، مسافت آزاد میانگین است که برابر است با طول میانگینی که الکترون در طی مسیر بین دو برخورد متوالی طی می‌کند. الکترون مسیری زیگزاگ مانند را طی می-کند. مسافت آزاد میانگین، طول زیگزاگ‌هاست. لازم به ذکر است که بزرگی ضریب انتشار برای حرکت الکترون، متناسب با مسافت آزاد میانگین است[۱].

یکی از ویژگی‌های حرکت الکترون در جامد بی‌نظم(رسانا ونارسانا)، بحث جایگزیدگی[1] آن است. آندرسون[2] نشان داد که طبیعت تابع موج ذرات کوانتومی در پتانسیل‌های تصادفی تحت شرایط خاصی جایگزیده است[۲]. وقتی طول جایگزیدگی[3] تابع موج ذرات کوانتومی کاهش یابد از رسانایی بلور کاسته می‌شود و در صورتی که جایگزیدگی افزایش یابد رسانایی افزایش می یابد[۳و۲].

مدل چرخنده ضربه‌ای[4] تحت شرایطی آشوبناک می شود. این مدل به روش‌های مختلفی از دیدگاه کلاسیکی و کوانتومی مورد مطالعه قرار گرفته است[۴]. مدل چرخنده ضربه‌ای در شاخه‌های مختلف فیزیک لیزر و فیزیک حالت جامد و... کاربرد دارد. یکی از کاربردهای این مدل، ارتباط با مدل همبستگی قوی[5] آندرسون در فیزیک حالت جامد با پتانسیل قطری، برای هدایت الکترون است، که وقتی پتانسیل تصادفی باشد، مدل آندرسون حاصل می شود[۵و۲].

۱-۲ تاریخچه مدل آندرسون

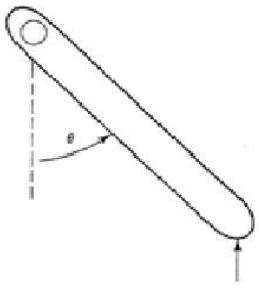
در چند دهه گذشته، فیزیکدانان با در نظر گرفتن چندین مدل کلاسیکی، بی‌نظمی را مطالعه کرده‌اند.

---

[1] Localization
[2] P. W. Anderson
[3] Localization length
[4] Kicked rotator
[5] Tight binding

یکی از مدل‌های مشهور، نگاشت استاندارد است که اولین بار توسط تیلور[1] معرفی شد[۶]. و توسط چریکوف[2] با جزئیات زیادی مورد مطالعه قرار گرفت[۷و۸].

نگاشت استاندارد به گونه‌های مختلف تعبیر می‌شود. در یکی از این تعابیر چرخنده‌ای به طول l و به جرم m فرض می‌شود که در فاصله زمان‌های مساوی T ضربه‌ای به شدت $kT\sin\theta$ به آن وارد می‌شود(شکل ۱-۱).



شکل ۱-۱. تصویری از چرخنده‌ی ضربه‌ای

هامیلتونی چنین سیستمی به صورت زیر است،

$$H = \frac{P_\theta^2}{2ml^2} + kT\cos(\theta)\sum_{n=-\infty}^{\infty}\delta(t-nT) \qquad (۱-۱)$$

که در آن θ و P_θ زاویه و تکانه زاویه‌ای ذره و kT دامنه نیرو است. هامیلتونی (۱-۲) در حد $T\to 0$ به هامیلتونی یک پاندول ساده تبدیل می‌شود که تعبیر دیگری از سیستم (۱-۲) است. نقاط ثابت نگاشت استاندارد (۱-۱) توسط محققین مختلفی مورد مطالعه قرار گرفته است[۱۲-۹]. برای سیستم (۱-۱)، از دیدگاه کلاسیک نشان داده شد که به ازاء $kT\geq 0.97163$، سیستم بی‌نظم می‌شود[۱۸-۱۳و۷]. از آن به بعد مطالعه نظم در سیستم‌های کوانتومی مورد بررسی و مطالعه قرار گرفته است، بر اساس این مطالعات نشان داده شد که دامنه تابع موج در سیستم‌های کوانتومی بی‌نظم، به طور نمایی جایگزیده، ولی در سیستم های پایدار، تناوبی می باشد[۲۱-۱۹].

[1] J. B. Taylor
[2] B. V. Chirikov

هوگ[1] و هیوبرمن[2] ثابت کردند که برای سیستم‌های کوانتومی بسته که پتانسیل آنها متناوب است، بی-نظمی وجود نخواهد داشت[۲۳و۲۲].

گرمپل[3] و دیگران، مدل چرخنده ضربه‌ای را در نظر گرفتند و نشان دادند که مدل‌های ضربه‌ای به صورت

$$H = -\frac{\hbar^2}{2}\frac{d^2}{d\theta^2} + kV(\theta)\sum_n \delta(t-nT) \qquad (۲-۱)$$

که در آن پتانسیل به‌صورت $V(\theta) = 2\arctan(k\cos(\theta)/2 - \varepsilon)$ است، را می‌توان با تبدیل‌هایی به مدل همبستگی قوی یا مدل آندرسون تبدیل کرد[۲۵و۲۴]. (مدل آندرسون، شبکه های بلوری یک بعدی را که دارای پتانسیل تصادفی ایستا هستند، توصیف می‌کند.) و نشان می‌دهند که طول جایگزیده γ^{-1} که از محاسبات عددی به دست می آورند، با آن‌چه که توسط تالس[4] به طور تحلیلی محاسبه شده، یکسان است[۲۶].

دورزی[5] و دیگران، پتانسیل سیستم (۱-۲) را به صورت $V(\theta) = 2\arctan(k\cos(\theta)/2)$ در نظر گرفته‌اند، که در حد kهای کوچک نگاشت استاندارد است. آن‌ها تغییرات مقدار انتظاری انرژی را بر حسب زمان به‌طور عددی مطالعه کرده‌اند[۲۷].

افزایش هر درجه‌ی بی‌نظمی منجر به کاهش رسانندگی می‌شود. این موضوع در یک برلیان خالص توسط فیلیپ آندرسون در سال ۱۹۵۸ بررسی شد. او عقیده‌ی خود را در مورد جایگزیدگی الکترون این چنین بیان کرد: اگر در شبکه، ناخالصی بیشتر از یک حد بحرانی باشد انتشار الکترون متوقف خواهد شد و الکترون جایگزیده می‌شود. وی با کمک مات[6]، ایف[7] و ریگل[8] پیش‌بینی کرد که عمل انتقال الکترون زمانی اتفاق می‌افتد که مسافت آزاد میانگین کوچکتر از طول موج باشد. در عمل هیچ موجی وجود ندارد که برای آن موج مسافت آزاد میانگین کوچکتر از طول موج براگ آن شود. این

---

[1] J. Hogg
[2] B. A. Huberman
[3] D. R. Grempel
[4] D. J. Thouless
[5] B. L. Dorizzi
[6] Mott
[7] Ioffe
[8] Regal

توقف یا جایگزیدگی الکترون نتیجه‌ی شگفت‌آوری برای رسانندگی فلزات است که منجر به تبدیل مواد رسانا به نارسانا می‌شود واین دقیقاً برعکس آن چیزی است که در ابررساناها اتفاق می‌افتد(در ابررساناها با سرد کردن یک نمونه‌ی فلزی، فلز در یک دمای بحرانی T_c ، تحت یک گذار فاز از حالتی با مقاومت ویژه‌ی الکتریکی معمولی به حالت ابررسانایی می‌رسد)[۲۸و۱].
جایگزیدگی آندرسون ابتکاری در فیزیک حالت جامد بود. وقتی انتشار(پخش شدگی) به سمت صفر میل کند، رسانندگی نیز کاهش می‌یابد. برای آن‌که جایگزیدگی آندرسون اتفاق بیافتد تقریباً همه‌ی حالت‌های تک‌الکترونی باید تحت بی‌نظمی جایگزیده شوند.

در این فصل با مفهوم جایگزیدگی و مدل آندرسون در یک‌بعد آشنا می‌شویم. در فصل ۲ مدل همبستگی قوی را با استفاده از نظریه‌ی بلاخ[1] بیان کرده و شرایط رسانندگی فلزات را مطابق این مدل توضیح می‌دهیم. در فصل ۳ مدل چرخنده‌ی ضربه‌ای را در نظر گرفته و تابع موج آن را به‌طور تحلیلی به ازاء چندین پتانسیل خاص محاسبه می‌کنیم و جایگزیدگی تابع موج چرخنده‌ی ضربه‌ای را در انتهای فصل ۳ مورد بحث قرار می‌دهیم. در پایان، در فصل ۴ ارتباط مدل چرخنده‌ی ضربه‌ای را با مدل آندرسون به صورت تحلیلی به دست آورده و جایگزیدگی مدل چرخنده‌ی ضربه‌ای را با استفاده از مدل آندرسون توضیح داده و با نتایج به دست آمده در فصل ۳ مقایسه می‌کنیم.

۱-۳ جایگزیدگی آندرسون در حالت یک بعدی

کارهای زیادی روی رفتار الکترون در جامدات بی‌نظم صورت گرفته است. یکی از ویژگی‌های حرکت الکترون در جامد بی‌نظم (رسانا یا نارسانا)، بحث جایگزیدگی آن است. در این بخش رفتار الکترون را با استفاده از جایگزیدگی آندرسون مورد مطالعه قرار می‌دهیم[۳۴-۲۹].
در فیزیک حالت جامد ، بی‌نظمی به سه دسته تقسیم می شوند: توپولوژیک ، ارتعاشی و جایگزینی. حالت بی‌نظمی توپولوژیکی، زمانی اتفاق می‌افتد که اتم‌ها در ساختار بلوری، جدا از هم و به صورت تصادفی قرار گرفته باشند. این نوع بی‌نظمی در جامدات آمورف (بی‌شکل) به چشم می‌خورد.

[1] Bloch theorem

در حالت بی‌نظمی ارتعاشی، بی‌نظمی ناشی از اثر دما است، در این حالت اتم‌های گرم شده حول وضعیت تعادلی خود ارتعاش می کنند.

بی‌نظمی جایگزینی، به کاتوره‌ای بودن جنس اتم‌ها در شبکه مربوط می شود. به عنوان مثال، در طول یک راستا در آلیاژ برنج با دنباله‌ای از اتم‌های مس و روی در حالت منظم به صورت

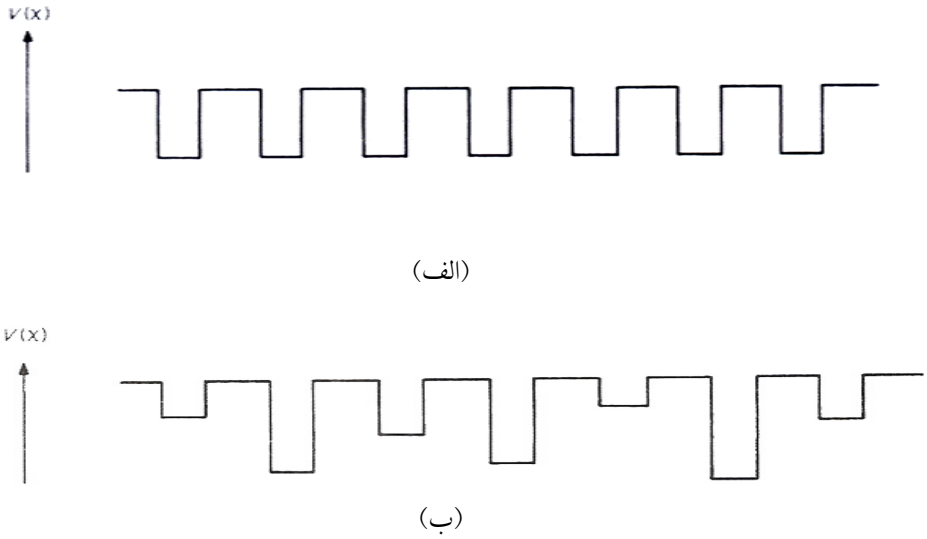
Cu Zn Cu Zn Cu Zn…

روبه‌رو می‌شویم. در حالت دیگر ممکن است دنباله‌ای به صورت نامنظم

Cu Zn Zn Zn Cu Zn Cu Cu…

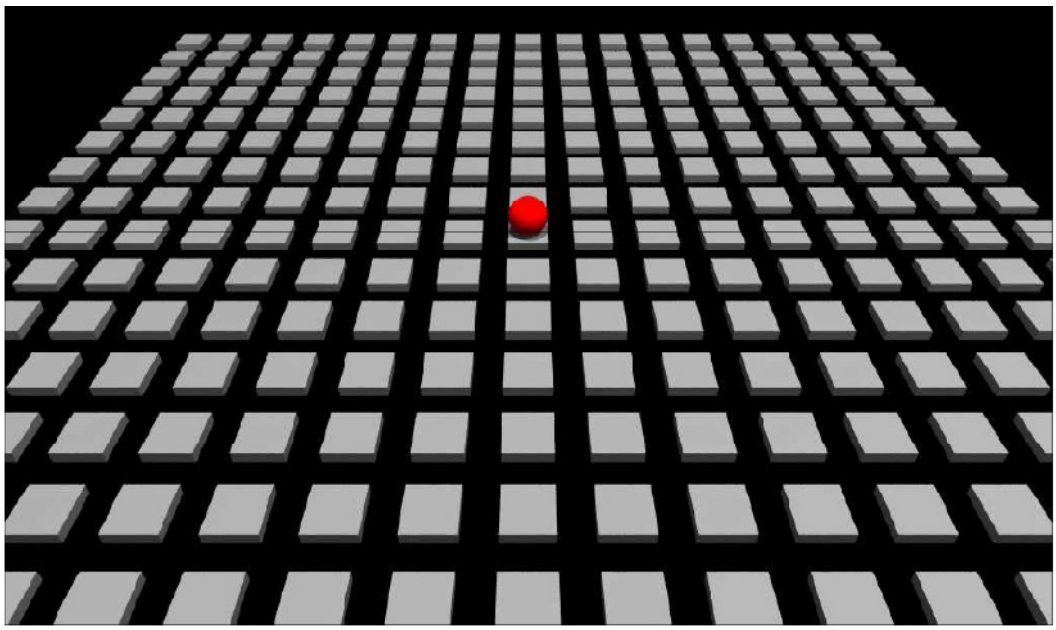
دیده شود. به دلیل توزیع کاتوره‌ای اتم‌ها در جایگاه‌ها، قضیه بلوخ قابل استفاده نیست و بدون عدد کوانتومی k توصیف خاصیت الکترونی میسر نمی‌شود. از سوی دیگر این مواد فلز می‌باشند و با محاسبات مدل درود به خوبی توصیف می‌شوند[۳۵]. با توجه به این‌که تابع موج الکترون در فلزات گسترده و در عایق‌ها جایگزیده می‌باشد، در صورتی که جایگزیدگی به علت بی‌نظمی زیاد در شبکه باشد، جایگزیدگی آندرسون نامیده می‌شود[۲۹].

آندرسون دنباله‌ای از چاه‌های پتانسیل تصادفی را در نظر گرفت، طوری که پتانسیل‌ها دارای بی‌نظمی به اندازه‌ی کافی بزرگ باشند، در این صورت الکترون در فضا جایگزیده خواهد شد، در صورتی‌که بی‌نظمی اندک باشد تابع موج گسترده است.

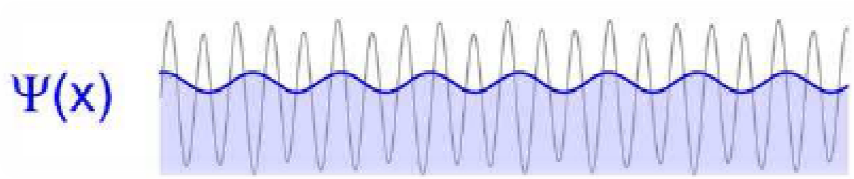


شکل ۱-۲. نمایش پتانسیل در شبکه: (الف) پتانسیل تناوبی. (ب) پتانسیل تصادفی در شبکه آندرسون.

به عنوان مثال، الکترونی را در نظر بگیرید که در شبکه دوره‌ای یک بعدی زیر حرکت می‌کند (شکل ۱-۳). به دلیل نبود هیچ‌گونه بی‌نظمی، الکترون در طول شبکه حرکت می‌کند و تابع موج آن به‌صورت گسترده خواهد بود (شکل ۱-۴).



شکل ۱-۳. الکترون در شبکه دوره‌ای یک بعدی



شکل ۱-۴. تابع موج گسترده الکترون

اما زمانی که بی‌نظمی در شبکه وجود داشته باشد (شکل ۱-۵)، الکترون به‌تدریج از حرکت باز می‌ایستد و تابع موج آن به صورت جایگزیده در می‌آید(شکل ۱-۶)[۳۶].