بسم الله الرحمن الرحيم

کلیه حقوق مادی مترتب برنتایج مطالعات، ابتکارات و

نو آوری های ناشی از تحقیق موضوع این پایان نامه

متعلق به دانشگاه رازی است.

دانشکده علوم
گروه فیزیک

پایان نامه جهت اخذدرجه کارشناسی ارشد رشته فیزیک

گرایش حالت جامد

عنوان پایان نامه

ابررسانایی دردمای بالا باپایه آهن

استادراهنما:

دکتررستم مرادیان

نگارش:

نوشین رشیدی

اسفند ماه 1391

تشکر و سپاس

ازاستاد ارجمند و بزرگوارم آقای پروفسور رستم مرادیان، که از محضر علم و اخلاق ایشان بهره بردم و راهنماییهای ارزشمندشان راهگشایم بوده است، قدردانی می نمایم.

ازجناب آقای دکتر علی فتحعلیان ودکتر حمزه موسوی که به عنوان داور داخلی، زحمت قرائت پایان‌نامه وحضور در جلسه دفاع را بر عهده گرفتند، تشکر میکنم.

پدرو مادر بزرگوار، مهربان و صبورم که همواره حامی و پشتیبان من بودند و هرچه را دارم بعد از خداوند مدیون ایشان هستم.

با آرزوی موفقیت برای تمام کسانی که مرا صادقانه در این دوره همراهی کرده و از هیچ کمکی فروگذار نکردند.

تقدیم

پدر و مادر عزیزم

چکیده

مطالعه ابررسانایی در مواد لایه بندی شده بر پایه آهن در سال 2006 آغاز شد . درسال 2008 ابررسانایی با پایه آهن با ابررسانایی در $LaFeAsO_{1-x}F_x$ با دمای گذار ابررسانایی $T_C = 26\ K$ ترقی کرد.این مواد جزء ابررساناهای دمای بالا محسوب می شوند که دمای گذار آنها به بالای $T_C = 55\ K$ می رسد. دمای بحرانی در این ترکیبات تابعی از تزریق یا فشار خارجی می باشد. به طور کلی 5 ساختار برای ابررساناهای دمای بالا با پایه آهن یافت شده است. ویژگی مشترک این ساختار های لایه بندی شده یک لایه مسطح دووجهی از اتم های آهن اتصال یافته با چهار ضلعی های یون های پنیکتوژن (P, As) یا کالکوژن (S, Se, Te) است که بالا وپایین این لایه ها عناصر نادر زمین ،عناصر قلیایی، قلیایی خاکی ،اکسیژن یا فلوراین به صورت توده های دنبال هم چیده شده اندواین لایه ها را مسدود کرده اند.دمای گذار بالای ابررسانایی از این لایه های آهن سر چشمه می گیرد .اینجا ما به طور خلاصه نتایج تئوری وتجربی ساختارهای الکترونیکی ومغناطیسی وخصوصیات ابررسانایی ابررساناهای بر پایه Fe وترکیبات مربوط به آن را مرور خواهیم کرد.

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فصل اول:مقدمه ای بر ابر رسانایی

1 -1-تاریخچه.....2

1-2- خواص ابررسانایی.....3

1-2-1- مقاومت صفر.....4

1-2-2- اثرمایسنر.....6

1-2-3 -خواص مغناطیسی یک ابررسانا.....6

1 -3-عمق نفوذ.....9

1-4- طول همدوسی.....10

1-5 - جفت های کوپر.....10

1-5-1-پتانسیل تاخیری جفت شدگی.....10

1-5-2-پراکندگی جفت های کوپر.....12

1 -6- نظریه *BCS* 12

1-7- ابررساناهای دمای بالا.....13

فصل دوم:ابر رسانایی در دمای بالا

2 -1-ابررسانایی در دمای بالا 15

2-2ساختار بلوری ابررساناهای دمای بالا.....17

2-2-1-شبکه پروسکایت.....17

2-2-2-انواع شبکه پروسکایت.....18

2-2-3-خواص ساختاری ابر رساناهای دمای بالا.....21

2 - 3 -کشف ابررساناهای دمای بالا با پایه های دیگر.....23

2-4-ابررساناهای دمای بالا با پایه آهن 24

2-4-1-ساختمان بلوری ابررساناهای پایه آهن 25

فصل سوم :ترکیبات نوع ReOFeAs

3-1-ترکیبات نوع $ReOFeAs$ 33

3-2-بلورشناسی وخصوصیات فیزیکی اساسی ترکیبات تزریق شده..... 35

3-2-1-ساختار بلوری..... 35
3-2-2-تزریق الکترون..... 37
3-2-3 -تزریق حفره 40
3-2-4- جانشینی زیر شبکه Fe 42
3-2-5-میدان های بحرانی 43
3-2-6- اثر فشار روی T_C 44
3-3-خصوصیات مغناطیسی..... 48

3-3-1-ساختارمغناطیسی..... 48
3-3-2-دیاگرام فاز..... 48
3-3-ساختارالکترونیکی 50

فصل چهارم.: ترکیبات نوع AFe_2As_2وسایرترکیبات با پایه آهن

4-1- ساختار بلوری و ساختار الکترونیکی..... 55

4-1-1- ساختار بلوری 55
4-1-2- ساختار الکترونیکی 56
4-1-3- $(Sr_3Sc_2O_5)Fe_2As_2$ ودیگر ترکیبات مشابه..... 58
4- 2 -ابررسانایی 60

4-2-1-تزریق..... 60
4-2-2 -همزیستی ابررسانایی ومغناطیس..... 64
4-2-3 - اثر فشار..... 65
4-3 -مغناطیس..... 69

4-3-1- ترکیبات استوکیومتریک 69
4-3-2- ترکیبات تزریق شده..... 71
4-4- دیگر ترکیبات بر پایه Fe 73

4-4-1-ترکیبات نوع $FeSe,FeTe$ 73
4-4-2- ترکیبات نوع $LiFeAs$ 75
4-4- ترکیبات $AFFeAs(A=Ca,Sr)$ 76

4-4- نتایج..... 77

منابع.....78

فهرست شکل

شکل 1-1.....5
شکل 1-2.....5
شکل 1-3.....7
شکل 1-4.....8
شکل 1-5.....8
شکل 1-6.....9
شکل 1-7.....11
شکل 1-8.....11
شکل 1-9.....12
شکل1-10.....12
شکل 1-2.....18
شکل 2-2.....19
شکل 3-2.....19
شکل 4-2.....20
شکل 5-2.....26
شکل 6-2.....27
شکل2-7.....28
شکل 8-2.....28
شکل 9-2.....29
شکل 10-2.....29
شکل 11-2.....30
شکل 2- 12.....31

شکل 3- 1.....33
شکل 3-2.....34
شکل 3- 3.....36
شکل 3- 4.....37
شکل 3- 5.....38
شکل 3-6.....39
شکل 3-7.....40
شکل 3-8.....41
شکل 3-9.....42
شکل 3-10.....44
شکل 3-11.....45
شکل 3-12.....46
شکل 3-13.....47
شکل 3-14.....49
شکل 3-15.....50
شکل 3-16.....51
شکل 3-17.....52
شکل 3-18.....53
شکل 4-1.....56
شکل 4-2.....57
شکل 4-3.....58
شکل 4-4.....59
شکل 4-5.....61
شکل 4-6.....61

شکل 4-7.....63
شکل 4-8.....64
شکل 4-9.....65
شکل 4-10.....66
شکل 4-11.....67
شکل 4-12.....67
شکل 4-13.....68
شکل 4-14.....69
شکل 4-15.....71
شکل 4-16.....72
شکل 4-17.....74
شکل 4-18.....76

فهرست جدول

جدول2-1.....16
جدول3-1.....37

مقدمه

می دانیم که برای یک رسانای متعارف مقاومت صفر $(\rho = 0)$ وجودندارد.حتی در $T = 0$رسانندگی محدوداست امابرای ابررسانامقاومت الکتریکی صفروجوددارد.واضح است که حالت ابررسانایی ازحالت نرمال متفاوت است پس برای ابررسانا یک گذارفازمتفاوت مطرح میشود. درآن زمان خالص ترین فلزقابل دسترس جیوه بودودرتلاش برای به دست آوردن رفتاریک فلزخیلی خالص اونس مقاومت جیوه خالص رااندازه گیری کرد.اومتوجه شد موقعی که درجه حرارت به سمت صفرتنزل داده میشود به جای اینکه مقاومت به آرامی کاهش داده شود دردرجه حرارت 4 درجه کلوین ناگهان افت پیدا می کرد وپایین ترازاین درجه حرارت جیوه هیچ گونه مقاومتی ازخود نشان نمیداد. همچنین این گذارناگهانی به حالت بی مقاومتی فقط مربوط به خلوص فلزنمی شد وحتی اگرجیوه ناخالص بوداتفاق می افتاد.پایین تراز4درجه کلوین جیوه به یک حالت دیگری ازخواص الکتریکی که کاملاً باحالت شناخته شده قبلی متفاوت است می رود واین حالت تازه ابررسانایی نام گرفت. ابررساناهای بادمای گذارزیر30درجه کلوین جزءابررساناهای متعارف وابررساناهای بالای 30درجه کلوین جزءابررساناهای دمای بالامحسوب می شوند [1] .کشف شگفت انگیز پدیده ابررسانایی درمواد لایه بندی شده برپایه آهن بادمای گذاری که به حدود55درجه کلوین یا بیشترمیرسد،منجربه انتشارهزاران مقاله دراین باب شده است.اگرچه یک توافق عمومی درباره طبیعت نامتعارف حالت های جفت های کوپر دراین سیستم هاوجوددارداماچندین پرسش اساسی ازجمله نقش مغناطیس ،طبیعت شیمیایی وساختاری پارامترهای قابل تنظیم و... وجوددارد وتحقیق دراین باره هنوز ادامه دارد.ابررساناهای جدید بر پایه آهن شامل 5ساختاراصلی است که $Re\,OFeAs$ (Re: عناصر نادر زمین)، $AFe_2As_2 (A = Ba, Sr, Ca)$ ، $LiFeAs$ و $FeSe(FeTe, Fes)$ هستند.دمای گذار این ترکیبات با به کاربردن فشاریا جانشینی های شیمیایی به بالای 55درجه کلوین رسانده می شود.فشار خارجی وجانشینی های شیمیایی دو راه برای افزایش دمای گذار ترکیبات ابررسانایی هستند.آنچه که سبب وقوع ابررسانایی در این ترکیبات می شود،لایه های $FeAs$ است.[2]

فصل اول

مقدمه ای بر ابر رسانایی

1-1-تاریخچه

یکی ازمهمترین کشفیات علم فیزیک دراوایل قرن بیستم کشف پدیده ابررسانایی بود.این کشف نیازبه مایع کردن هلیوم داشت که اولین باردرسال 1908میلادی صورت گرفته بود.اونس وهمکارانش درسال1911مشاهده کردند که مقاومت ویژه جیوه در4/2کلوین به طورناگهانی ازبین می رود.دما اززیرنقطه جوش هلیم به 4/2کلوین افزایش یافت وپژوهشگران متوجه شدند که دراین دما جیوه مقاومت ازدست رفته اش را بازیافت وبه این ترتیب پدیده ابررسانایی کشف شد.درسال1913اونس نشان داد که افزایش چگالی جریان به بیش ازیک حد معینی که جریان بحرانی نامیده می شود ولتاژی را درنمونه ایجاد می کند.همچنین مشخص شد که این مقدارجریان بحرانی با کاهش دما افزایش پیدا می کند.ادامه تحقیقات وی منجربه کشف میدان مغناطیسی بحرانی شد.آزمایشها نشان داد که یک مقداربحرانی میدان مغناطیسی ابررسانایی را ازبین می برد ومقدارآن تابعی ازدماست. مقادیربحرانی جریان ومیدان مغناطیسی بهم مربوطند ومیدان مغناطیسی ایجاد شده درسطح ابررسانا توسط جریان بحرانی معادل با میدان بحرانی است .اونس درسال 1914با ادامه آزمایشهای خود کشف کرد جریانی که دریک حلقه ابررسانا ایجاد میشود مادامی که نمونه درحالت ابررسانایی قراردارد ، بدون هیچ کاهشی درمقدارش ثابت باقی می ماند.حضورچنین جریانهای ماندگاربه طورمشخص نشانگرصفربودن مقاومت درحالت ابررسانایی است.رسانای کامل بودن به تنهایی برای ابررسانا نامیدن یک جسم کافی نیست بلکه جسم ابررسانا خصوصیت مهم وویژه دیگری نیز دارد وآن دیامغناطیس بودن کامل آن است.به دنبال دسترسی پژوهشگران به دماهای پایین تاکمی پس ازنیمه اول قرن بیستم طی سه دوره متمایز تاریخی خواص متفاوت این مواد مورد بررسی قرارگرفت. دوره اول همانطورکه گفته شد با کشف وجود یک جریان بحرانی ویک میدان مغناطیسی بحرانی توسط اونس شروع شد.درسال1933کشف اثرمایسنر[1]نگرش جدیدی ازابررسانایی ایجاد کرد.یک ابررسانا نه تنها دارای مقاومت صفراست ، بلکه به طورهمزمان شارمغناطیسی را ازخود می راند.به این ترتیب دوره دوم پس ازگذشت 20سال ازدوره اول با کشف رفتارغیرعادی ظرفیت گرمایی وکشف اثرمایسنر-اوکسنفلد[2] درسال1933آغازشد.پس ازاین دودوره، دوره سوم با ارائه نظریه گینزبرگ لاندائو[3] درسال1953آغازگردید.درسال1957نظریه BCS ارائه شد.درادامه تلاش برای دستیابی به ابررساناهای با دمای گذاربالاتر(ابررساناهای دمای بالا) وکشف

1.Meissner
2.Meissner-Ochsenfeld
3.Ginzburg-Landau

ابررساناهای اکسید مس درسال1986به عنوان نقطه عطفی درتاریخ ابررسانایی محسوب شد. درباره ابررساناهای دمای بالا می توان گفت که درابتدای قرن بیستم تلاش همه فیزیکدانان درراستای یافتن ماده ای ابررسانا دردمای اتاق بوده است.ماده ابررسانایی که بتواند دردمای اتاق میدان مغناطیسی وجریان الکتریکی بالایی را به طورهمزمان تحمل کند.مشکل اساسی همه ابررساناهای متعارف پایین بودن دمای گذارآنهاست.پیش بینی های نظری وهمچنین دمای گذارپایین این ترکیبات کشف شده حد بالای 40-30درجه کلوین رابه دست میداد. همه ترکیبات ابررسانای دمای بالا درچند خصوصیت اصلی مشترکند وآن این است که ناهمسانگردند وخواص متفاوتی را درجهات مختلف بلوری ازخود نشان می دهند. ساختاربلوری لایه لایه دارند وهمگی دارای صفحات CuO_2 درساختارخودهستند[3]. ابررساناهای دمای بالا با پایه آهن صفحات $Fe-As$ رادرساختارخود به عنوان صفحاتی که دروقوع ابررسانایی نقش مهمی راایفا می کنند، دارند. درسال 2008 ابررسانایی در26درجه کلوین برای ترکیب $LaFeAsO$ گزارش شد.درهمان سال نیز شایعات ابررسانایی در50درجه کلوین منتشرشد.تاآن زمان ابررساناهایی کشف شده بودند که دمای گذارآنها به 30درجه کلوین می رسید.بابه کاربردن فشاردمای گذارترکیب $LaFeAsO$ به43 درجه کلوین رسانده شد. وبا جانشینی عنصرلانتانیم بادیگرعناصرنادرزمین وبه دست آوردن یک ترکیب آلاییده دمای گذارآن به55 درجه کلوین رسانده شدپس با به کاربردن فشاروجانشینی های شیمیایی می توان دمای گذارابررسانایی را بالا برد[4].

2-1 خواص ابررسانایی

ابررسانایی به طورکلی دارای دودسته خواص"وابسته به نوع ماده" و"مشترک"هستند.برای مثال بسیاری ازخواص معمول مانند ظرفیت گرمایی ودمای بحرانی وابسته به جنس ماده هستنددرحالی که مقاومت الکتریکی ومیدان مغناطیسی درونی صفربین همه آنهامشترک است.اصلی ترین خواص ابررسانایی عبارتند از: [5]

1.مقاومت الکتریکی صفروتوان عبورچگالی جریان الکتریکی بسیاربالا(خواص الکتریکی)

2. تولید میدان مغناطیسی بسیارقوی (خواص مغناطیسی)

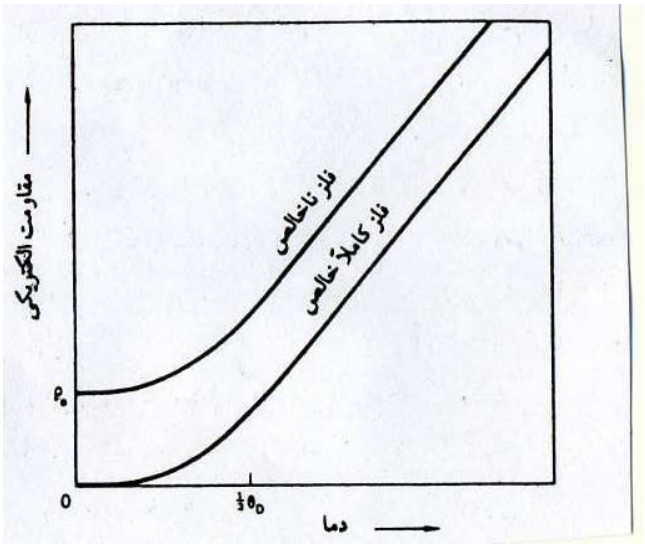
1.خواص الکتریکی:درابررساناها توضیح حالت الکتریکی به کمک مکانیک کوانتومی ممکن است.طبق نظریه تعویض فونونی،جریان الکتریکی حاصل ازیک الکترون آزاد نیست بلکه ازجفت های کوپرناشی می شود.این جفت الکترون به هم متصل شده وبا تعویض فونون هاکنارهم باقی می مانند.

2.خواص مغناطیسی:ابررساناهامیدان مغناطیسی خارجی راازخود دفع می کنندازاینروقطعه آهنرباروی ابررسانامعلق می ماند.این خاصیت اثرمایسنرنامیده می شود.

1-2-1- مقاومت صفر

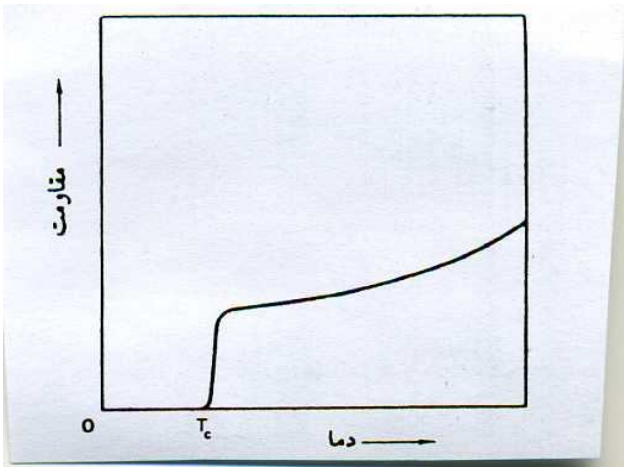
ساده ترین روش اندازه گیری مقاومت قراردادن آن درمدارالکتریکی است که درآن Iجریان و Vولتاژ دوسرنمونه می باشد ومقاومت نمونه به وسیله قانون اهم داده می شود.

$(R=V/I)$. اگرولتاژصفرباشد به این معنی است که مقاومت صفراست دریک رسانای نرمال ممکن است جریان الکتریکی به عنوان سیالی ازالکترونها که درمیان یون های سنگین شبکه حرکت می کنند،تصورشود.الکترون هابه طورمداوم با یونهای شبکه برخورد می کنند.درطی هربرخورد،مقداری ازانرژی به وسیله نقاط شبکه جذب می شودوبه گرما تبدیل می شود که انرژی جنبشی ارتعاشی یون های شبکه نام دارد.انرژی حمل شده به وسیله جریان پراکنده می شود.این پدیده مقاومت الکتریکی نام دارد.درابررساناوضعیت متفاوت است.دریک ابررسانای متعارف الکترون های منفرد نمی توانندررسانندگی نقش داشته باشند،بلکه این کارتوسط جفت های کوپرکه درنزدیکی سطح فرمی قراردارند انجام می شود.این جفت ها یک نیروی جاذبه ای میان الکترونها ازطریق تبادل فونون راموجب می شوند.به دلیل کوانتوم مکانیک طیف انرژی جفت های کوپرشامل یک گاف انرژی است.به این معنی که یک مقدارانرژی می نیمم ΔE وجوددارد،که بزرگترازانرژی گرمایی شبکه kTاست.که درآن kثابت بولتزمن وTدمای شبکه است[5].می توان یک الکترون راکه طبیعت موجی دارد توسط یک موج تخت که درهمان جهت پیش می رود نشان داد.یکی ازخواص موج تخت این است که می تواندازمیان یک ساختارتناوبی کامل بدون اینکه درجهات دیگر پراکنده شود عبور کند.درنتیجه یک الکترون می تواند ازمیان یک شبکه بلوری ایده آل بدون این که اندازه حرکت الکترون جهت اصلی خودش راازدست بدهدعبورکند.دواثرمهم هستندکه می تواند حالت ایده آل شبکه بلوری رابه هم بزنند ومقاومت ایجاد کنند.نوسانهای گرمایی وناخالصی ویا نقص بلوری الکترون های هدایت متحرک راپراکنده می کنندومقاومت الکتریکی را ایجاد می نمایند.وقتی دما درجهت صفرمطلق کاهش داده می شود،مقاومت مخصوص باید به صفرنزدیک شود.با وجود این مقاومت صفرراکه انتظارمی رود یک نمونه کامل ایده آل فرضی به دست آورد،اگربتوان آن را تا صفرمطلق سردکرد،پدیده ابررسانایی نمی گوییم.هیچ نمونه حقیقی ازفلزات نمی تواند کاملا خالص باشد والزاماً داری ناخالصی خواهد بود.درنتیجه همیشه یک مقدارمقاومت مخصوص باقی مانده(ρ درشکل 1-1)که حتی درپایینترین درجه حرارت باقی می ماند وجود دارد.هرچه فلزناخالص ترباشدمقدار ρ بیشترخواهدبود. [5]



شکل1-1. تغییرات مقاومت الکتریکی فلزات با درجه حرارت[1]

اما بعضی فلزات وقتی سرد می شوند مقاومت الکتریکی کاهش پیدامی کند اماوقتی به چند درجه بالای صفرمطلق می رسند،ناگهان تمام نشانه های مقاومت الکتریکی را ازدست می دهند(شکل1-2)دراین حال گفته می شود که آنها به حالت ابررسانایی منتقل شده اند.انتقال به حالت ابررسانایی ممکن است با وجود اینکه فلزناخالص باشد اتفاق بیفتد[1].



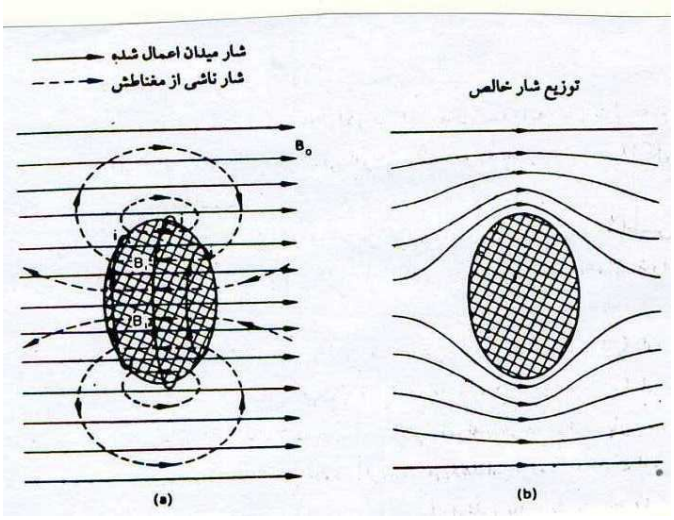
شکل 1-2.ناپدیدشدن مقاومت یک ابررسانادردمای پایین[1]

1-2-2- اثرمایسنر

رسانای کامل بودن به تنهایی برای ابررسانا نامیدن یک جسم کافی نیست، بلکه جسم ابررساناخصوصیت ویژه مهم ولازم دیگری دارد وآن دیامغناطیس کامل بودن آن است.به این معنی که اگرماده درحضورمیدان تاحالت ابررسانش سردشود،شارازداخل آن طردشده وابررسانابه صورت یک جسم دیامغناطیس کامل ($B = 0$)عمل می کند.همچنین صرف نظرازاینکه میدان درحالت ابررسانش اعمال شود(سرمایش درمیدان صفر، ZFC)یا اینکه درحالت بهنجاراعمال شود وسپس نمونه سردشود (سرمایش درحضورمیدان، FC)، شارمغناطیسی ازابررسانا رانده می شود.بایدتوجه کردرفتاری که توسط مایسنرواوکسنفلد مشاهده شد ازرفتاری که توسط یک رسانای کامل درگذاربه حالت رسانش به نمایش گذارده می شود کاملاً متفاوت است وبرخلاف رسانای کامل، گذارازحالت ابررسانشی به حالت بهنجاریک فرآیند کاملاً بازگشت پذیراست[3].

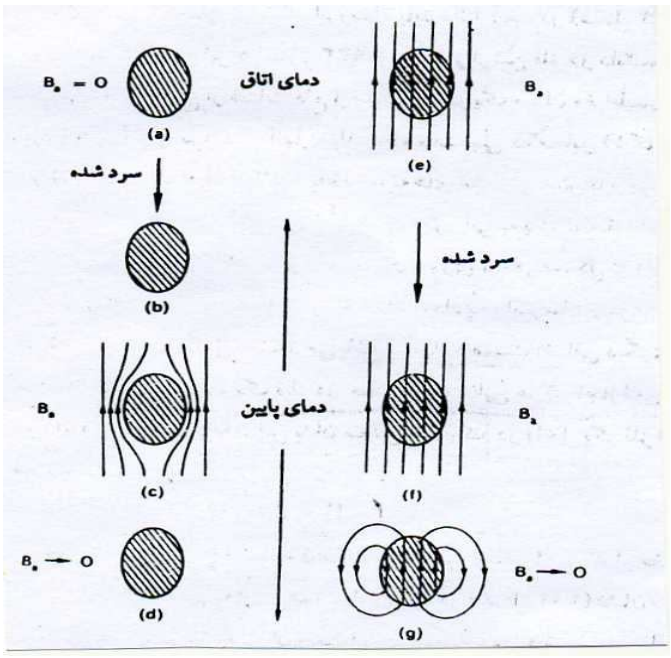
1-2-3- خواص مغناطیسی یک ابررسانا

برای اینکه یک ابررسانا را بهتربشناسیم تاثیرمیدان مغناطیسی یک ابررسانا وهادی کامل رابحث خواهیم کرد.رفتاریک هادی کامل را درنظرمی گیریم.تصورکنید که نمونه درغیاب میدان مغناطیسی مقاومت خودراازدست بدهد یعنی سرد شود وسپس میدان مغناطیسی اعمال شود.چون مقاومت در اطراف یک مسیر بسته فرضی در داخل فلز صفر است ،چگالی شارمغناطیسی که این مسیر را در برمی گیرد درفلزنمی تواند تغییر کند پس بایدحتی بعدازاعمال میدان نیزصفرباقی بماند.درحقیقت اعمال میدان مغناطیسی جریانهای القایی بدون مقاومتی رادرسطح نمونه ایجادمی کند.به نحوی که چگالی شارمغناطیسی ایجاد شده توسط این جریانها دقیقاً مساوی ومختلف الجهت باچگالی شارمیدان اعمال شده باشد که در شکل (1-3a)نشان داده شده است.به سبب اینکه این جریانها میرا نمی شوند چگالی شارخالص داخل فلزدرسطح صفرباقی می ماند.این جریانهای سطحی غالباً جریانهای پوششی نامیده می شوند.توزیع خالص چگالی شارکه نتیجه مجموع چگالی شار حاصل از جریان وچگالی شار میدان اعمال شده می باشد در شکل (1-3b)نشان داده شده است

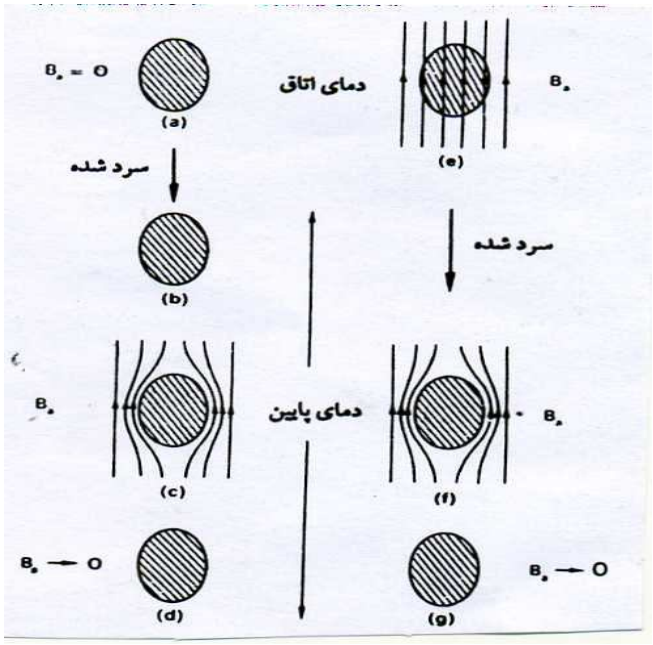


شکل 1-3.توزیع شارمغناطیسی اطراف یک جسم دیامغناطیس کامل[1]

حال اگرمیدان اعمال شده را به صفرتنزل دهیم نمونه درحالت اصلی غیرمغناطیسی خود باقی خواهد ماند.این موارد به ترتیب درشکل(1-4) از a تا dنشان داده شده است.حال تصورکنید که میدان مغناطیسی B_aبه نمونه ای که بالاترازدمای گذارخود قراردارد اعمال شود (e1-4).بیشترفلزات (به غیرازفلزات ویژه فرومغناطیس،آهن وکبالت ونیکل)دارای ضریب نفوذ مغناطیسی نسبی خیلی نزدیک به واحد می باشند.درنتیجه چگالی شاردرداخل عیناً مساوی شارمیدان اعمال شده می باشد.اکنون نمونه تا درجه حرارت پایین سرد می شود،درنتیجه مقاومت الکتریکی خود را ازدست می دهد.این ازدست دادن مقاومت الکتریکی تاثیری درمغناطیس پذیری ندارد وتوزیع شاربدون تغییرخواهد ماند.(1-4 f).سپس میدان مغناطیسی رابه صفرکاهش میدهیم.چگالی شاردرداخل فلزعوض نمی شود ونمونه یک مغناطیس دائمی پیدامی کند(1-4g) .در cو f شکل (1-4) نمونه تحت شرایط یکسانی ازدما و میدان مغناطیسی قراردارد.اما حالت مغناطیس شدگی کاملاً دردوحالت متفاوت است.به طورمشابه dوgدوحالت متفاوت مغناطیس شدگی درشرایط مساوی عوامل خارجی ازخودنشان میدهند.مشاهده می کنیم که حالت مغناطیس شدگی یک هادی کامل تنها توسط شرایط خارجی تعیین نمی شود بلکه به ترتیب اینکه عوامل خارجی اعمال می شوندبستگی دارد.پس یک ابررساناخاصیت اضافی دیگری که یک فلزبدون مقاومت ندارد،داراهستند.یک فلزدرحالت ابررسانایی هرگزاجازه ورود شارمغناطیسی را به داخل خود نمیدهد.درحالی که داخل یک فلزی که فقط بدون مقاومت است ممکن است شارمغناطیسی باشد ویا نباشد که به شرایط بستگی دارد.مغناطیس شدگی هادی کامل به ترتیبی که حالت نهایی میدان مغناطیسی ودرجه حرارت اعمال شده به جسم به دست آید ، بستگی خواهد داشت.اما مغناطیس شدگی یک ابررسانا فقط به مقادیرمیدان اعمال شده ودرجه حرارت بستگی داردوبه ترتیبی که اندازه گرفته می شوند وابسته نیست(شکل1-5)[1].



شکل**4-1**.رفتارمغناطیسی یک هادی کامل. $(a),(b)$ نمونه درغیاب میدان بدون مقاومت می شود. (c)میدان مغناطیسی به نمونه بدون مقاومت اعمال شده است. (d)میدان مغناطیسی حذف شده است. $(e),(f)$نمونه درمیدان مغناطیسی اعمال شده بدون مقاومت می شود. (g)میدان مغناطیسی اعمال شده حذف شده است.**[1]**



شکل **5-1**.رفتارمغناطیسی یک ابررسانا: $(a),(b)$ نمونه درغیاب میدان بدون مقاومت می شود. (c) میدان مغناطیسی به نمونه ابررسانا اعمال می شود. (d) میدان مغناطیسی حذف شده است. $(e),(f)$ نمونه درمیدان مغناطیسی خارجی ابررسانا می شود. (g) میدان مغناطیسی اعمال شده برداشته می شود.**[1]**