

صلى الله عليه وسلم



دانشگاه پیام نور

مرکز شیراز

پایان نامه

برای دریافت مدرک کارشناسی ارشد

رشته فیزیک حالت جامد

گروه فیزیک

عنوان پایان نامه :

دینامیک فلاکسون‌های اتصالات جوزفسون با عایقی با ضخامت

متغیر

نجمه فتحی

استاد راهنما : دکتر عبدالرسول قرائتی

مهر ۱۳۹۰

اینجانب **نجمه فتحی** دانشجوی ورودی سال ۱۳۸۷ مقطع کارشناسی ارشد رشته فیزیک حالت جامد گواهی می‌نمایم 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 می‌دانم و جوابگوی آن خواهم بود. دانشجو تأیید 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 **نجمه فتحی**

تاریخ و امضاء

اینجانب **نجمه فتحی** دانشجوی ورودی سال ۱۳۸۷ مقطع کارشناسی ارشد رشته فیزیک حالت جامد گواهی می‌نمایم 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 **نجمه فتحی**

تاریخ و امضاء

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

مهر ۱۳۹۰

تقدیم:

به پدرم، بزرگ استادم که درس تلاش و زندگی را از او آموختم.
به مادرم، بلندتکیه گاهم، منظر صبر و مهربانی که هرچه دارم از اوست.
دو وجود مقدسی که توانشان رفت تا من به توانایی رسم
و موهبتشان سپیدی گرفت تا من سپید روی شوم.
و برادری مهربان که چون کوهی استوار تکیه گاهم هستند.

و تقدیم به تمام عزیزانی که به بهای دردشان آموختم آئین تلاش را.

سپاسگزاری

خدای راسپاس می گویم که با استعانت از حضرتش پس از تلاشی پی گیر مراحل تحقیق و نگارش این پایان نامه را به اتمام رساندم. در اینجا بر خود می دانم که از زحمات بی دریغ، تلاش های بی وقفه و راهنمایی های ارزشمند استاد گرامی جناب آقای دکتر عبدالرسول قرائتی راستای انجام این پایان نامه شکر و قدر دانی نمایم.

چکیده

دینامیک فلاکسون‌های اتصالات جوزفسون با عایقی با ضخامت متغیر

توسط: نجمه فتحی

فلاکسون‌ها در اتصالات جوزفسون مانند سالیتون‌های معادله سینوسی گوردن رفتار می‌کنند. به منظور کنترل آن‌ها، یک دی‌الکتریک با ضخامت متغیر را بین دو ابررسانا قرار داده ایم. در این پایان نامه، ابتدا ضخامت دی‌الکتریک را تابع مکان در نظر می‌گیریم و پاسخ‌های تحلیلی معادله سینوسی گوردن را در این محیط به دست می‌آوریم. در مرحله بعد با استفاده از انرژی پتانسیل و جنبشی فلاکسون در مکانیک کلاسیک، رابطه بین سرعت فلاکسون و ضخامت دی‌الکتریک را به طور تحلیلی می‌یابیم. با استفاده از این رابطه تعیین می‌کنیم که فلاکسون تا چه مکانی می‌تواند در دی‌الکتریک نفوذ کند و در چه مکانی منعکس می‌شود.

فهرست مطالب

صفحه	عنوان
۱	پیش‌گفتار
	فصل اول: ابرسانا
۴	۱-۱ تاریخچه ابرسانایی
۵	۲-۱ اثر مایسنر
۶	۳-۱ انواع ابرساناها
۶	۱-۳-۱ ابرسانای نوع ۱
۷	۲-۳-۱ ابرسانای نوع ۲
۸	۴-۱ نظریه ابرسانایی
۸	۱-۴-۱ جفت کوپر
۹	۲-۴-۱ نظریه BCS
۹	۵-۱ عمق نفوذ میدان مغناطیسی
۱۰	۶-۱ معادلات لندن
۱۱	۷-۱ کوانتس شار در یک حلقه ابرسانا
۱۳	۸-۱ مهمترین خواص ابرساناها
۱۵	۱۰-۱ کاربردهای ابرساناها
	فصل دوم: سالیتون و معادلات دیفرانسیل غیر خطی با پاسخ سالیتونی
۱۸	۱-۲ تاریخچه سالیتون‌ها
۲۱	۲-۲ امواج منفرد و سالیتون‌ها
۲۲	۳-۲ معادلات غیر خطی با پاسخ سالیتونی
۲۲	۱-۳-۲ حل دقیق معادله کورتوگ دوری (KdV)
۲۵	۲-۳-۲ معادله سینوسی گوردن (SG)

فصل سوم: اتصالات جوزفسون و معادله سینوسی گوردن حاکم بر آن‌ها

- ۲۹ ۱-۳ تاریخچه اثر جوزفسون
- ۳۰ ۲-۳ اتصال جوزفسون و انواع آن
- ۳۱ ۳-۳ روابط بنیادی اثر جوزفسون
- ۳۴ ۴-۳ عمق نفوذ
- ۳۶ ۵-۳ فلاکسون‌ها
- ۳۸ ۶-۳ چگونگی مشاهده فلاکسون‌ها
- ۴۰ ۷-۳ معادله حاکم بر اتصال جوزفسون در یک میدان مغناطیسی خارجی
- ۴۳ ۸-۳ جریان بیشینه در اتصال جوزفسون در ولتاژ صفر
- ۴۶ ۹-۳ معادل الکتریکی اتصال جوزفسون بدون اتلاف
- ۴۹ ۱۰-۳ معادل الکتریکی اتصال جوزفسون با اتلاف
- ۵۱ ۱۱-۳ اسکوییدها (*SQUID*)
- ۵۲ ۱-۱۱-۳ اسکویید *DC*
- ۵۳ ۲-۱۱-۳ اسکویید *RF*

فصل چهارم: دینامیک فلاکسون‌های اتصالات جوزفسون با عایقی با ضخامت متغیر

- ۵۶ ۱-۴ دینامیک فلاکسون‌ها در اتصالات جوزفسون با عایقی با ضخامت متغیر
- ۶۰ ۲-۴ حرکت مرکز جرم سالیتون
- ۶۰ ۳-۴ رابطه سرعت فلاکسون با ضخامت دی الکتریک
- ۶۲ ۴-۴ نتایج عددی
- ۶۲ ۱-۴-۴ عایق به صورت سد
- ۶۴ ۲-۴-۴ عایق به صورت پله
- ۶۶ ۳-۴-۴ عایق به صورت سطح شیبدار
- ۶۸ ۴-۴-۴ عایق به صورت معادله درجه دوم

فصل پنجم: نتیجه گیری و پیشنهادات

۷۰

۱-۵ نتیجه گیری

۷۱

۲-۵ پیشنهادات

۷۲

فهرست منابع

فهرست شکل‌ها

صفحه	عنوان
	فصل اول
۴	۱-۱ گذار ابرسانایی جیوه
۶	۲-۱ نمایش اثر مایسنر در ابرسانا
۷	۳-۱ ابرسانای نوع ۱
۸	۴-۱ ابرسانای نوع ۲
	۵-۱ (الف) برهم کنش جفت کوپر و تشکیل دو الکترون.
۸	(ب) تشکیل جفت کوپر.
۹	۶-۱ نفوذ شار مغناطیسی به داخل سطح ابرسانا، میدان در سطح H_0
۱۲	۷-۱ مسیر انتگرال گیری در یک ابرسانا
	فصل دوم
۲۷	۱-۲ منحنی کینک و پاد کینک
	فصل سوم
۳۰	۱-۳ انواع اتصالات جوزفسون
	۲-۳ (الف) اتصال جوزفسون کنارهم با عایق ضعیف
۳۱	(ب) تابع موج جفت کوپر در ابرسانا
۳۲	۳-۳ تراز انرژی در یک اتصال جوزفسون با ولتاژ معین اعمال شده V .
۳۴	۴-۳ برش نیمه نامتناهی از یک ابرسانا در میدان خارجی
۳۵	۵-۳ نفوذ میدان مغناطیسی به داخل ابرسانا
۳۶	۶-۳ λ_r عمق نفوذ جوزفسون و λ_l عمق نفوذ لندن

- ۳۷ ۷-۳ نمای مقطع عرضی یک اتصال جوزفسون بلند و نمایش فلاکسون
- ۳۸ ۸-۳ حرکت جریان بایاس در یک اتصال جوزفسون روی هم افتاده
- ۳۹ ۹-۳ (الف) میدان مغناطیسی خود تولید شده متناسب با $\varphi_x(x)$ ؛ (ب) یک فلاکسون در یک اتصال جوزفسون بلند برای یک چرخش 2π با اختلاف فاز $\varphi(x)$
- ۳۹ ۱۰-۳ حرکت فلاکسون در اتصال حلقوی
- ۴۰ ۱۱-۳ حرکت ابرجریان در اتصال جوزفسون در یک میدان مغناطیسی
- ۴۰ ۱۲-۳ برش یک اتصال جوزفسون، و نمایش مسیر انتگرال گیری
- ۴۴ ۱۳-۳ توزیع جریان در اتصال جوزفسون
- ۴۵ ۱۴-۳ بیشینه ابرجریان شارشی بر حسب میدان مغناطیسی خارجی
- ۴۶ ۱۵-۳ نمونه اتصال جوزفسون
- ۴۶ ۱۶-۳ معادل الکتریکی اتصال جوزفسون
- ۴۹ ۱۷-۳ معادل الکتریکی اتصال جوزفسون با اتلاف
- ۵۲ ۱۸-۳ ساختار اسکویید دو پیوندگاهی (DC)
- ۵۳ ۱۹-۳ ساختار اسکویید تک پیوندگاهی (RF)
- ۵۳ ۲۰-۳ تغییرات Φ_e نسبت به کوانتس شار

فصل چهارم

۱-۴ تحول زمانی رفتار ذره‌ای سالیتون در بازه $0 \leq x \leq 40$ ، در برخورد با سد با ارتفاع $h = 1.3$ و

۶۴

پهنای $a = 5$

۲-۴ تحول زمانی رفتار ذره‌ای سالیتون در بازه $0 \leq x \leq 40$ ، در برخورد با پله با ارتفاع $h = 1.4$

۶۵

۳-۴ (الف) تحول زمانی رفتار ذره‌ای فلاکسون با سرعت $v = 0$ در بازه $0 \leq x \leq 40$ ، در برخورد با

۶۶

سطح شیبدار

۳-۴ (ب) تحول زمانی مرکز جرم فلاکسون با سرعت $v = 0$ ، با استفاده از معادله (۴-۳۱) در پتانسیل

۶۶

سطح شیبدار

۳-۴ (ج) تحول زمانی رفتار ذره‌ای فلاکسون با سرعت $v = 0.25$ در بازه $0 \leq x \leq 40$ ، در برخورد با

۶۷

سطح شیبدار

۳-۴ (د) تحول زمانی مرکز جرم فلاکسون با سرعت $v = 0.25$ ، با استفاده از معادله (۴-۳۱) در

۶۷

پتانسیل سطح شیبدار

۴-۴ (الف) تحول زمانی رفتار ذره‌ای فلاکسون در بازه $0 \leq x \leq 40$ ، در برخورد با نوسانگر هماهنگ

۶۸

۴-۴ (ب) تحول زمانی مرکز جرم فلاکسون، با استفاده از معادله (۴-۳۱) در پتانسیل نوسانگر

۶۸

هماهنگ

پیش‌گفتار

سال‌های زیادی از کشف ابررساناها می‌گذرد اما هنوز بررسی روی خواص مرموز ابررساناها ادامه دارد و روز به روز از اهمیت بیشتری برخوردار می‌شود. ابررساناها کاربردهای زیادی دارند از جمله استفاده از آن‌ها در قطعات الکترونیکی با حساسیت و دقت بالا، تابش سنج‌ها، تشدید کننده‌های بسامد بالا، دستگاه *MRI* در پزشکی و قطعات بسیار حساس با نام اتصال جوزفسون که ساختار بسیار ساده اما کاربرد بسیار زیادی دارند. ساختار آن‌ها به این صورت است که دو ابررسانا توسط یک عایق به هم متصل شده اند، و اگر این عایق بسیار نازک باشد جفت کوپر می‌تواند بین این دو ابررسانا تونل بزند و باعث ایجاد یک جریان بین آن دو شود.

هدف اصلی ما در این پایان‌نامه معرفی اتصالات جوزفسون و بررسی معادلات حاکم بر آن در حالت کلی و روشن کردن پاسخ این معادلات، که به شکل سالیتون هستند. و همچنین بررسی دینامیک سالیتون‌ها در اتصالات جوزفسون خاص است. که حالت‌های اتصال جوزفسون خاص، تغییر پارامتر-هایی است که ما در این اتصالات بوجود می‌آوریم.

برای این منظور ابتدا در فصل اول به معرفی ابررساناها و انواع آن‌ها می‌پردازیم و با الکترو دینامیک ابررساناها مبتنی بر معادلات لندن آشنا می‌شویم و کاربردهای جامعی از آن‌ها را بیان می‌کنیم. در فصل دوم، سالیتون‌ها را معرفی می‌کنیم و دو معادله غیر خطی، کورتگ دوری *KdV* و سینوسی گوردن *SG*، را که دارای پاسخ سالیتونی هستند معرفی می‌کنیم. در فصل سوم، اتصالات جوزفسون را معرفی کرده و معادله حاکم بر این اتصالات را به دست می‌آوریم و با مقایسه با فرم کلی معادله غیر خطی سینوسی گوردن نشان می‌دهیم که این معادله، حالتی از معادله سینوسی گوردن است. و در ادامه کاربردهایی از اتصالات جوزفسون، نظیر تداخل سنج کوانتومی ابررسانشی را بیان می‌نماییم، که کاربردهای زیادی در روش‌های اندازه‌گیری میدان‌های مغناطیسی بسیار کوچک دارد. در فصل چهارم، با تغییر در ضخامت دی الکتریکی که بین دو ابررسانای اتصال جوزفسون قرار دارد یک اتصال جوزفسون با ساختاری خاص بوجود آورده و معادله حاکم بر این حالت خاص را به دست می‌آوریم

و پاسخ‌های عددی و تحلیلی آن را بررسی می‌کنیم. و مثال‌های متعددی از این معادله را نشان می‌دهیم. در نهایت در فصل پنجم، روی مطالب ارائه شده، مرور اجمالی نموده و نتیجه‌گیری می‌نماییم.

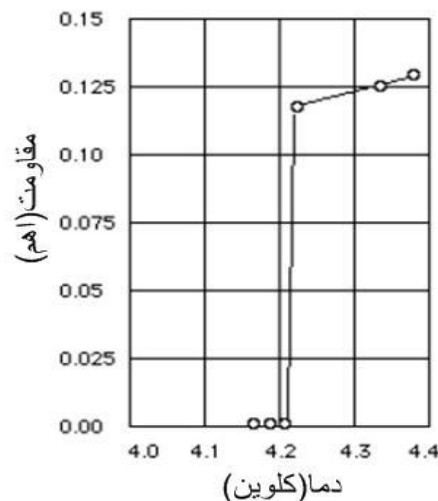
فصل اول

أبر رسانا

۱-۱ تاریخچه ابرسانایی

ابرسانایی توسط پروفیسور اچ. کامرلینگ اونس^۱، در سال ۱۹۱۱ زمانی که وی سرگرم آزمایش بود، مشاهده شد. اونس دریافت که اگر جیوه در هلیوم مایع یعنی حدود $4/2$ کلوین قرار گیرد، مطابق شکل ۱-۱ مقاومت الکتریکی آن از بین می رود. آشکار بود که نمونه باید دستخوش گذاری به حالت جدیدی با مقاومت الکتریکی صفر شده باشد که در آن زمان ناشناخته بود. این پدیده را ابرسانایی نامیدند و این یافته اونس منجر به اعطای جایزه نوبل فیزیک در سال ۱۹۱۳ به وی شد [۱].

مدت کوتاهی پس از کشف ابرسانایی در جیوه، این خاصیت در سایر فلزات مانند: قلع، سرب، ایندیم، آلومینیوم، نئوبیم، و غیره یافت شد. امروزه می دانیم که تعداد زیادی آلیاژ و ترکیبات بین فلزی نیز ابرسانا هستند. علاوه بر آن دریافت برای هر یک از مواد ابرسانا، دمایی به نام دمای بحرانی T_c وجود دارد که وقتی ماده از این دما سردتر شود، جسم ابرسانا می گردد و در دماهای بالاتر از این دما، جسم دارای مقاومت الکتریکی است [۲،۳].



شکل ۱-۱ گذار ابرسانایی جیوه

دمای بحرانی عناصر مختلف متفاوت است. مثلاً دمای بحرانی جیوه حدود ۵ کلوین، سرب ۹ کلوین و در نئوبیم دمای بحرانی به ۲۳ کلوین نیز می رسد. البته فلزات رسانایی مانند طلا، Nb_3Ge ،

¹ H. Kamerlingh Onnes

و Nb_3Sn ۹/۲ کلوین می‌باشد و بعضی آلیاژها و ترکیبات مانند نقره و حتی مس نیز هستند که تلاش برای رسیدن مقاومت ویژه‌شان به صفر بی نتیجه مانده است و مشخص نیست اگر به صفر مطلق برسند مقاومت آنها چقدر خواهد بود. لذا از همین ابتدا تلاش برای تولید ابررسانایی با دمای بحرانی بالاتر شروع شد. در سال ۱۹۸۶ ابررسانایی در دماهای بالا کشف شد دمای بحرانی این ابررسانا بیش از ۹۰ کلوین است. برای مثال دمای بحرانی ابررسانای $Tl_2Ba_2Ca_2Cu_3O_{10}$ ، ۱۲۵ کلوین است. بالاترین مقدار تأیید شده دمای بحرانی در فشار معمولی یک اتمسفر، ۱۳۵ کلوین و متعلق به $HgBa_2Ca_2Cu_3O_8$ و دمای بحرانی ۱۶۵ کلوین نیز در ترکیباتی از اکسید مس-جیوه و البته تحت فشارهای خیلی بالا گزارش شده است. نظریه‌های کنونی ابررسانایی نمی‌توانند ابررسانایی دمای بالا را توضیح دهند. از نظر عملی ابررساناهای دمای بالا کاربردهای بسیار بیشتری دارند، زیرا در دماهایی ابررسانا می‌شوند که راحت‌تر قابل ایجاد هستند. پژوهش برای یافتن موادی که دمای بحرانی آنها باز هم بیشتر باشد، همچنین برای یافتن نظریه‌ای برای توضیح ابررسانایی دمای بالا همچنان ادامه دارد. زیرا ابررسانایی پدیده‌ای کوانتومی است و نمی‌توان آن را با فیزیک کلاسیک به مانند یک رسانای مطلوب توصیف کرد.

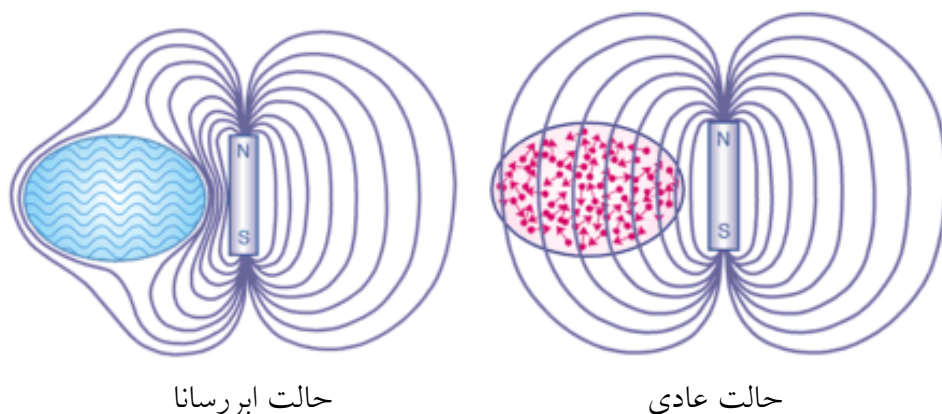
با توجه به کاربردهای مختلف ابررساناها، بسیاری از تلاش‌ها بر افزایش دمای عملکرد ابررساناها تا دستیابی به دمای اتاق متمرکز شده است [۴،۵].

۱-۲ اثر مایسنر

بعد از کشف ابررساناها، تا چند سال تصور می‌شد رفتار مغناطیسی ابررسانا مانند رساناهای کامل است. اما در سال ۱۹۳۳ مایسنر و اوشن فلد^۱ دریافتند اگر ماده مورد آزمایش قبل از ابررسانا شدن در میدان مغناطیسی باشد، شار از آن عبور می‌کند ولی وقتی در حضور میدان به دمای بحرانی برسد و ابررسانا گردد دیگر هیچ گونه شار مغناطیسی از آن عبور نخواهد کرد و تبدیل به یک دیا مغناطیس کامل می‌شود که شدت میدان مغناطیسی درون آن صفر خواهد بود، ($B=0$). آنها توزیع شار در خارج نمونه‌های قلع و سرب را که در میدان مغناطیسی B تا زیر دمای گذار سرد شده بودند اندازه گیری، و مشاهده کردند که ابررسانا دیا مغناطیس کامل گردید و تمام شار به بیرون رانده شد. این آزمایش نشان داد که ماده‌ی ابررسانا چیزی بیشتر از ماده رسانای کامل است. بر اساس ویژگی مهم

¹ W. Meissner and R.Ochsenfeld

ابرساناها، فلزات در حالت ابرسانایی هرگز اجازه نمی‌دهند که چگالی شار مغناطیسی در درون آنها وجود داشته باشد، شکل ۱-۲.



شکل ۱-۲ نمایش اثر مایسنر در ابرسانا

به عبارت دیگر در داخل ابرسانا همیشه $B = 0$ است. این پدیده به اثر مایسنر^۱ معروف شد [۸-۶, ۲].

۱-۳ انواع ابرساناها

ابرساناها با توجه به رفتار فیزیکی، به دو گروه مختلف که به ابرساناهای نوع ۱ و ۲ معروفند، دسته بندی می‌شوند.

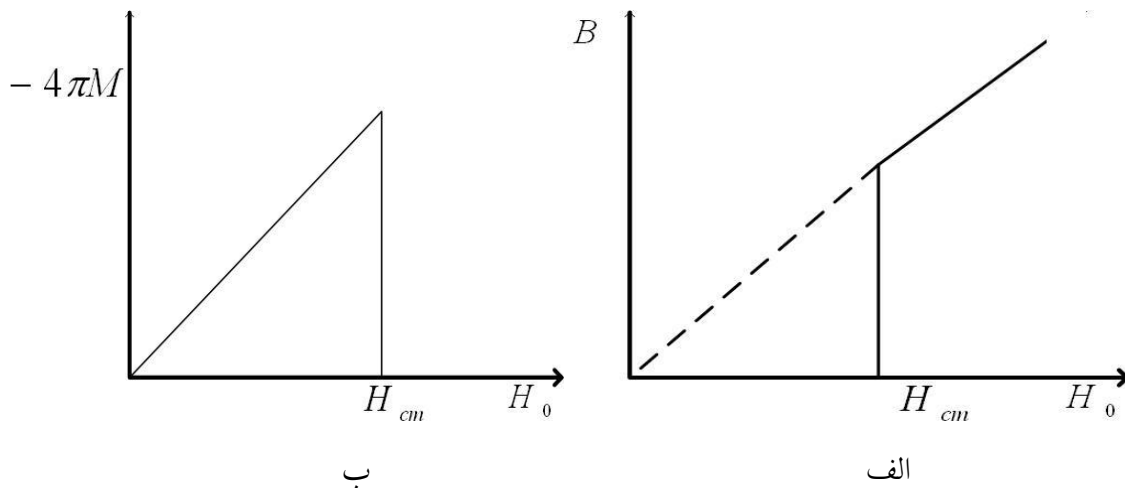
بیشتر عناصر در شرایط ابرسانایی، رفتار ابرسانایی از نوع ۱ را از خود نشان می‌دهند اما تعداد کمی از عناصر و بیشتر آلیاژها عموماً رفتار ابرسانایی از نوع ۲ را بروز می‌دهند. از لحاظ مغناطیسی، ابرساناهای نوع ۱ دارای دو محدوده و ابرساناهای نوع ۲ دارای ۳ ناحیه برای فعالیت هستند.

۱-۳-۱ ابرسانای نوع ۱

فرض می‌کنیم که یک ابرسانا در میدان مغناطیسی خارجی H_0 قرار دارد. اگر نمونه ابرسانا نوع ۱ با افزایش میدان مغناطیسی در ابتدا شار مغناطیسی درون نمونه تغییری نمی‌کند یعنی $H = 0$ باقی می‌ماند. ولی زمانی که میدان مغناطیسی به مقدار H_{cm} برسد، خاصیت ابرسانایی در این نمونه از بین می‌رود و میدان مغناطیسی به درون آن نفوذ می‌کند. مقدار بحرانی میدان مغناطیسی خارجی است که ابرسانایی را از بین می‌برد و تابع دماست و در دمای بحرانی، میدان بحرانی برابر صفر است

^۱ Meissner effect

(مطابق شکل ۳-۱). رابطه شار مغناطیسی B و میدان مغناطیسی H_0 به این صورت است،
 $B = H_0 + 4\pi M$ ، گشتاور مغناطیس در واحد حجم است.



شکل ۳-۱ ابرسانای نوع ۱. الف) شار مغناطیسی بر حسب میدان مغناطیسی. ب) گشتاور مغناطیسی بر حسب میدان مغناطیسی

۲-۳-۱ ابرسانای نوع ۲

اگر یک ابرسانای نوع ۲ درون میدان مغناطیسی قرار گیرد در ابتدا ابرسانا همه میدان را به بیرون می‌راند و عملاً هیچ شار میدانی در نمونه وجود ندارد. ولی با افزایش میدان زمانی که میدان به مقدار معین H_{cm_1} می‌رسد نفوذ میدان به درون استوانه آغاز می‌شود، که این میدان به میدان بحرانی پایین‌تر معروف است. با افزایش بیشتر میدان مغناطیسی خارجی، القای میدان مغناطیس به درون نمونه افزایش می‌یابد تا زمانی که میدان درون نمونه با میدان خارجی برابر می‌شود و نمونه ما به حالت کاملاً عادی بر می‌گردد، که برابری میدان خارجی با میدان داخلی نمونه در H_{cm_2} رخ می‌دهد که میدان بحرانی بالا نام دارد (مطابق شکل ۴-۱). [۱, ۴, ۶, ۸].