

بِسْمِ اللّٰهِ الرَّحْمٰنِ الرَّحِیْمِ



دانشگاه آزاد اسلامی
واحد تهران مرکزی
دانشکده علوم پایه، گروه فیزیک

پایان نامه جهت دریافت درجه کارشناسی ارشد (M.Sc)

رشته فیزیک گرایش بنیادی

عنوان:

مقاومت ویژه در حالت گردابی در ابررساناها در دمای بحرانی بالا

استاد راهنما:

دکتر محمود ابراهیم زاده پوستچی

استاد مشاور:

دکتر صمد فرخی

پژوهشگر:

آرش حسن زاده

زمستان ۱۳۹۰

با تشکر از دکتر ابراهیم زاده ، دکتر فرخی و
همچنین تمامی دوستانی که در این امر مرا یاری
نمودند و پدر و مادر دلسوز و فداکارم.

بسمه تعالی

تعهدنامه اصالت پایان نامه کارشناسی ارشد

اینجانب آرش حسن زاده دانشجوی کارشناسی ارشد رشته فیزیک گرایش بنیادی با شماره دانشجویی ۸۷۰۰۰۲۵۴۳۰۰ اعلام مینمایم که کلیه مطالب مندرج در این پایان نامه با عنوان:

مقاومت ویژه در حالت گردابی در ابررساناها در دمای بحرانی بالا

حاصل کار پژوهشی خود بوده و چنانچه دستاوردهای پژوهشی دیگران را مورد استفاده قرار داشته باشم، طبق ضوابط و رویه های جاری، آنرا ارجاع داده و در فهرست منابع ذکر نموده ام. علاوه بر آن تاکید می نماید که این پایان نامه قبلا برای احراز هیچ مدرک هم سطح، پایین تر یا بالاتر ارائه نشده و چنانچه در هر زمان خلاف آن ثابت شود، بدینوسیله متعهد می شوم، در صورت ابطال مدرک تحصیلی ام توسط دانشگاه، بدون کوچکترین اعتراض آن را بپذیرم.

تاریخ و امضاء

بسمه تعالی

در تاریخ:

دانشجوی کارشناسی ارشد آقای آرشد حسن زاده از پایان نامه خود دفاع نموده و با
نمره ۱۶/۵ بحروف شانزده و نیم و با درجه
مورد تصویب قرار گرفت.

امضاء استاد راهنما

بسمه تعالی دانشکده علوم پایه گروه فیزیک ***** (این چکیده به منظور چاپ در پژوهش نامه دانشگاه تهیه شده است)	
نام واحد دانشگاهی : تهران مرکزی کد واحد : ۱۰۱	کد شناسایی پایان نامه : ۱۰۱۳۰۲۱۱۹۰۱۰۱۰
عنوان پایان نامه : مقاومت ویژه در حالت گردابی در ابررساناها در دمای بحرانی بالا	
نام و نام خانوادگی : آرش حسن زاده شماره دانشجویی : ۸۷۰۰۰۲۵۴۳۰۰ رشته تحصیلی : فیزیک بنیادی	تاریخ شروع پایان نامه : ۹۰/۴/۶ تاریخ اتمام پایان نامه : زمستان ۱۳۹۰
استاد راهنما : دکتر محمود ابراهیم زاده پوستچی استاد مشاور : دکتر صمد فرخی	
آدرس و شماره تلفن : تهران خیابان سعادت آباد خیابان ۱۶ غربی پلاک ۱۷ واحد ۲۶ تلفن: ۰۹۱۲۶۹۳۴۹۱۸-۲۲۳۶۵۷۷۱	
هدف اصلی در این پروژه شناخت پدیده ابررسانایی و بررسی آن از چشم اندازهای گوناگون در محدوده ی دانش فیزیکی است که از آنجمله بهمطالعه رفتار غیر عادی ابررساناهای دمای بالا در نزدیکی دمای بحرانی و تحقیق در مورد گذار فاز از دیدگاه کوانتومی و ساختار شبکه ای می توان اشاره نمود .	
در این تحقیق، در ابتدا سعی شده در خصوص تاریخچه ی کشف ابررسانایی و مواد ابررسانا و مفاهیم کلی در ارتباط با این پدیده و خواص آن به زبان ساده بحث شود. سپس به تفصیل با افزودن دیدگاه کوانتومی (رفتار موجی - ذره ای) و همینطور پارامترهای شبکه ای، موارد نامبرده در فصل اول بیان شده است. با توضیح مفاهیمی از قبیل فاز و طول همدموسی ، اثر مایسنر ، اثر ایزوتوپی ، میدان مغناطیسی بحرانی و غیره در فصل دوم ، فصل سوم را به بررسی ابررسانایی در ترمودینامیک اختصاص می دهیم. پس از روابط لاندنو عمق نفوذ و نظریه ی گینزبرگ-لاندنو به بیان علمی دو نوع از ابررساناها پرداخته و تفاوتها و شباهتهای HTSC ها با ابررسانای معمولی و خواص غیر عادی آن مورد نظر است. روند تحقیق در فصل چهارم مشابه فصل قبل بوده با این تفاوت که این بار این پدیده را از دید الکترو دینامیکی بسط داده ایم که از آن جمله ، به چگالی جریان بحرانی (J_c)، میدان مغناطیسی بحرانی (B_m) ، میخکوبش شار مغناطیسی و حالت گردابی و حرکات گردشارها و در پایان آن گذارهای فاز و اثرات دانه ای و ساختاری و برخی نواقص شبکه ای مورد بررسی قرار گرفتند. در این تحقیق هدف اصلی ، بررسی مقاومت ویژه ی ابررساناهای دمای بالا می باشد که بدین منظور در فصل آخر پس از بحث تکمیلی در خصوص عناصر و آلیاژهای ابررسانا و همینطور داده های آزمایشی جمع آوری شده از منابع مربوطه در طول فصول این پروژه نگاهی هم به مقاومت حالت عادی برخی کوپراتها و هدایت حرارتی آنها می اندازیم زیرا یک نظریه میکروسکوپی ابررسانایی با دمای بحرانی بالا بایستی قادر به توضیح هم خواص ابررسانایی و هم خواص عادی کوپراتها باشد. علاوه بر داده های هدایت الکتریکی و حرارتی برای طراحی ابررساناهای دمای بالای حجمی جهت کاربردهای توانی لازم هستند. همچنین در پایان به تعدادی کاربردهای مهم در صنایع و اهداف پیش رو میپردازیم که از این حیث قابل تامل است که ساخت ابررسانای با دمای بحرانی نزدیکتر به دمای اتاق باعث انقلابی عظیم در فناوریهای گوناگون می شود که تا کنون نظیر آن در تاریخ بشری انگشت شمار بوده است .	

نظر استاد راهنما برای چاپ در پژوهش نامه دانشگاه :
 مناسب است
 تاریخ و امضاء :
 مناسب نیست

فهرست مطالب

صفحه

عنوان

چکیده ۱

فصل اول : پدیده , تاریخچه و مواد ابرسانایی ۲

۱-۱ مقدمه ۲

۲-۱ حرکت به سمت صفر مطلق ۲

۳-۱ کشف ابرسانایی ۴

۴-۱ مفهوم مقاومت صفر ۶

۵-۱ رفتار مغناطیسی ویژه یک ابرسانا ۶

۶-۱ نفوذپذیری و پذیرفتاری یک ابرسانا ۷

۷-۱ خاصیت منحصر به فرد ابرسانا ۷

۸-۱ انواع ابرسانا ۷

۹-۱ مواد ابرسانا ۸

۱-۹-۱ عناصر ۸

۲-۹-۱ آلیاژها ۹

۱۰-۱ کشفی نا امید کننده ۱۰

فصل دوم : حالت ابرسانایی و برخی مشخصه ها در آن

۱۱

۱-۲ ابرسانایی و مکانیک کوانتوم ۱۱

۱-۱-۲ دوگانگی ذره-موج ۱۱

۲-۱-۲ فرمیون و بوزون ۱۳

۳-۱-۲ مقاومت صفر ۱۶

۴-۱-۲ منشاء شکل گیری یک جفت کوپر ۱۷

- ۲-۱-۵ اثر جوزفسون ۲۰
- ۲-۲-۲ حالت ابر رسانایی ۲۱
- ۲-۳-۳ فاز همدوسی ۲۵
- ۲-۴-۴ طول همدوسی ۲۷
- ۲-۴-۱ معادله پیپارد و طول همدوسی ۲۸
- ۲-۴-۲ اندازه یک جفت الکترون ۳۱
- ۲-۴-۳ تشابه بین مرتبه فضایی با برد بلند در یک جامد و مرتبه فاز در یک ابر رسانا ۳۲
- ۲-۵-۵ میدان مغناطیسی بحرانی ۳۳
- ۲-۶-۶ اثر مایسنر ۳۴
- ۲-۷-۷ اثر ایزوتوپ ۳۶
- ۲-۸-۸ اثر ایزوتوپ در ابررسانای با دمای بحرانی بالا ۳۷
- ۲-۹-۹ گاف انرژی ۳۸
- ۴۱ فصل سوم : خواص ترمودینامیکی ابررساناها
- ۳-۱-۱ حالت ابررسانایی در ترمودینامیک ۴۱
- ۳-۱-۱-۱ گرمای نهان گذارهای ابررسانایی ۴۶
- ۳-۱-۲ ظرفیت گرمایی ابررساناها ۴۶
- ۳-۱-۳ جفت شدگی قوی ۴۸
- ۳-۲-۲ معادلات لندن و عمق نفوذ ۵۰
- ۳-۲-۳ تئوری گینزبرگ-لانداو ۵۳
- ۳-۴-۴ ابررساناهای نوع یک و دو ۵۸
- ۳-۴-۱ چگونه یک هسته ی نرمال در حالت آمیخته شکل می گیرد ؟ ۶۳
- ۳-۴-۲ میدان بحرانی بالایی ۶۴
- ۳-۵-۵ چرا ماده های دارای T_c بالا ، تمایل به بودن در دسته ی نوع دوم را دارند ؟ ۶۵
- ۳-۶-۶ چرا بدست آوردن T_c بالاتر بشدت مشکل می باشد ؟ ۶۶

- ۷-۳ خصوصیات ابرساناهای با دمای بحرانی بالا ۶۸
- ۱-۷-۳ تشابه بین **HTSC** و ابرساناهای متداول ۷۰
- ۲-۷-۳ خواص غیر معمول **HTSC** ها ۷۰
- ۸-۳ انرژی فرمی و سرعت فرمی ابرساناها ۷۱
- ۹-۳ مقایسه ی کاپریت های با دمای بالا با فلزهای معمولی در ارتباط با مقاومت حالت نرمال ۷۴
- فصل چهار : خواص الکترودینامیکی و گذار فاز در حالت گردابی HTSC**
- ۷۵
- ۱-۴ جریان بحرانی ۷۵
- ۱-۱-۴ جریان بحرانی در حالت آمیخته ۷۶
- ۲-۴ میخکوبش شار مغناطیسی ۷۶
- ۳-۴ جداسازی حلقه های شار مغناطیسی ۷۷
- ۴-۴ جریان بحرانی در ابرساناهای با دمای بحرانی بالا ۷۸
- ۱-۴-۴ اثر ساختار ۷۸
- ۵-۴ مدل **RSJ** یک **HTSC** ۷۹
- ۶-۴ اثر دانه ای بر ابرسانایی ۸۲
- ۷-۴ اندازه گیری چگالی جریان بحرانی (J_c) ۸۴
- ۸-۴ شار مغناطیسی و تعریف J_c ۸۵
- ۹-۴ ناهمسانگردی ها در ابرساناهای با دمای بالا ۸۶
- ۱۰-۴ میخکوبش شار مغناطیسی در ابرساناهای با دمای بالا ۸۹
- ۱۱-۴ نواقص ستونی و میخکوبش شار مغناطیسی ۹۰
- ۱-۱۱-۴ میخکوبش شار مغناطیسی در **HTSC** ها با استفاده از پنیک های حلقه ای ۹۲
- ۱۲-۴ نتایج تجربی درباره ی معرفی مراکز میخکوبش شار مغناطیسی در **HTSC** ها ۹۵
- ۱-۱۲-۴ رشد ذوب ساختار ۹۶
- ۲-۱۲-۴ معرفی فاز دوم (ناهمگنی شیمیایی) ۹۶

- ۳-۱۲-۴ نواقص گسترده (نقص ستونی) ۹۶
- ۱۳-۴ نمودارهای فاز مغناطیسی **HTSC** ها ۹۷
- ۱۴-۴ ذوب **FLL** به علت سایز کاهش یافته ی ξ_{GL} ۱۰۰
- ۱-۱۴-۴ اثر سایز کاهش یافته ی ξ_{GL} ۱۰۰
- ۱۵-۴ گذار کاسترلیتز-تولس-برنزینسکی ۱۰۱
- ۱۶-۴ تاثیر پارامتر ناهمسانگردی γ بر انتقالهای فاز حلقه ای ۱۰۲

فصل پنج : مروری بر مقاومت ویژه ابررساناهای دمای بالا و نتیجه گیری

۱۰۴

۱-۵ مقدمه ۱۰۴

۲-۵ بررسی تکمیلی عناصر ابررسانا ۱۰۴

۳-۵ آلیاژهای ابررسانا ۱۰۵

۴-۵ بررسی مقاومت ویژه برخی کوپراتها ۱۰۷

۵-۵ نتیجه گیری ۱۲۱

فهرست منابع ۱۲۴

چکیده انگلیسی ۱۲۵

فهرست جدول ها

عنوان	صفحه
جدول (۱-۲) چندین ابر رسانای مهم	۲۲
جدول (۲-۲) مقادیر ضریب اثر ایزوتوپ برای چندین عنصر	۳۷
جدول (۳-۲) گاف انرژی ($2\Delta_0$) (در $O^0 K$) برای بعضی از عناصر	۳۹
جدول (۱-۳) پارامتر های شبکه ای ابررساناهای بر پایه Hg	۷۲
جدول (۲-۳) : مقایسه ی پارامتر های تخمین زده شده برای $Hg - 1223$ و $Y-123$	۷۲
جدول (۳-۳) : برخی از پارامتر های فیزیکی $La-Sr-Cu-O$	۷۳
جدول (۱-۴) : مقایسه بین پارامتر های ابررساناهای متداول و ابررسانای دمای بالای $Y-Ba-Cu-O$	
	O
جدول (۲-۴) : دمای ذوب شبکه ی FL برای برخی از $HTSC$ ها	۸۸
جدول (۳-۴) : پارامتر های حالت ترمودینامیکی ابررسانایی ، ابررساناهای بر پایه Hg در مقایسه با	
	YBCO
جدول (۱-۵) : مقاومت ویژه الکتریکی ابر رساناهای کوپرات متفاوت در $T=250K$	۱۱۷

فهرست نمودارها

عنوان	صفحه
نمودار (۱-۱): وابستگی دمایی مقاومت یک فلز عادی و یک ابر رسانا ۵	
نمودار (۱-۲) تابع کرنل $K(R)$ در برابر R (باز نمایی طول همدوسی) ۲۹	
نمودار (۲-۲) میدان مغناطیسی بحرانی به عنوان تابع درجه حرارت ۳۳	
نمودار (۳-۲) . چگالی و اشغال حالات در غیاب ابررسانایی (a) در حالت پایه ابررسانایی (b) حالت ابررسانایی در دمای معین (c) ۳۸	
نمودار (۴-۲) : گاف انرژی نسبت به درجه حرارت ۳۹	
نمودار (۱-۳) انرژی های آزاد G_S و G_N نسبت به میدان مغناطیسی کاربردی ۴۳	
نمودار (۲-۳) : وابستگی دمای گرمای ویژه الکتریکی یک رسانا در حالت های نرمال و ابررسانایی ۴۵	
نمودار (۳-۳): گرمای نهان یک ابررسانا ۴۵	
نمودار (۴-۳) : افت نفوذ میدان مغناطیسی در نصف فضای ابررسانایی (موجود برای $x \geq 0$) ۵۳	
نمودار (۵-۳): تغییر عمق نفوذ و n_S بر حسب دما ۵۳	
نمودار (۶-۳): ابررساناهای (a) نوع یک و (b) نوع دو ۵۹	
نمودار (۷-۳) مغناطش در برابر میدان مغناطیسی کاربردی برای ابررساناهای نوع یک و دو ۶۰	
نمودار (۸-۳) میدان مغناطیسی بحرانی بعنوان تابعی از دما برای ابررساناهای نوع یک (a) و نوع دو (b) ۶۱	

نمودار (۳-۹) ساختار یک خط گرداب (a) پارامتر نظم (b) چگالی جریان (c) میدان محلی ۶۳

نمودار (۳-۱۰): انرژی تبادل بین الکترون ها ۶۷

نمودار (۴-۱): رفتار ابر مقاومتی ۸۳

نمودار (۴-۲): (a) نمودار ابررسانای با دمای بحرانی بالا (b) ممان مغناطیسی نسبت به دما ۹۲

نمودار (۴-۳): نمودار فاز مغناطیسی (a) ابررسانای متداول نوع دوم و (b) یک HTSC ۹۷

نمودار (۴-۴): نمودار فاز قیاسی برای ذوب FL جامد برای (a) YBCO و (b) BSCCO

۱۰۱

نمودار (۴-۵): رفتار خط برگشت ناپذیری مغناطیسی برای دو حالت مختلف اکسیداسیون فیلم

BSCCO ۱۰۲

نمودار (۵-۱): نمودار فازی ابررسانایی نیویم-تیتانیم که کاربرد بسیار در صنعت دارد

۱۰۶

نمودار (۵-۲): تغییرات در دمای T_c و $\mu H_2 O$ به عنوان تابعی از غلظت تیتانیم در آلیاژ

نیویم-تیتانیم ۱۰۷

نمودار (۵-۳): تراکم حاملها n در فلزات ۱۰۹

نمودار (۵-۴): تراکم حامل ها، n، در کوپراتهای متفاوت ۱۰۹

نمودار (۵-۵): مقاومت های ویژه الکتریکی داخل صفحه (چپ) و خارج صفحه (راست) چند تک

بلور $YBa_2Cu_3O_{7-5}$ ۱۱۰

نمودار (۵-۶): وابستگی دمایی مقاومت های ویژه الکتریکی داخل و خارج صفحه برای یک بلور

$YBa_2Cu_3O_7$ ۱۱۱

نمودار (۵-۷): مقاومت های ویژه الکتریکی، ρ_a ، ρ_b ، ρ_c بر حسب دما برای دو بلور A (بالا) و

B (پایین) Bi-2212 ۱۱۲

نمودار (۵-۸): مقاومت ویژه الکتریکی داخل صفحه (چپ) و خارج صفحه (راست) تک بلور های

$La_{2-x}Ba_xCuO_4$ بر حسب تراکم Ba_x

۱۱۳

نمودار (۵ - ۹) : مقاومت ویژه الکتریکی داخل صفحه (چپ) و خارج صفحه (راست) تک بلورهای

$\text{Bi}_{2/1}\text{Sr}_{1/9}\text{Ca}(\text{Cu}_{1-x}\text{Zn}_x)_2\text{O}_Y$ به صورت تابعی از مقدار x, Zn ۱۱۴

نمودار (۵ - ۱۰) : اثر جانشینی مخلوط Sr/Ca روی مقاومت الکتریکی ویژه عادی ۱۱۴

نمودار (۵ - ۱۱) : مقاومت ویژه الکتریکی $\text{Bi}_{2/1}\text{Ca}_{0/95}\text{Y}_{0/05}\text{Cu}_2\text{O}_8$ ۱۱۵

نمودار (۵ - ۱۲) : : مقاومت ویژه الکتریکی داخل صفحه ρ_{ab} تک بلور های Bi-2212 بر حسب

فشار جزئی اکسیژن ۱۱۶

نمودار (۵ - ۱۳) : مقاومت ویژه الکتریکی Hg-1223 چند بلوری به صورت تابعی از دما. بازپخت

اکسیژن منجر به افزایش مقدار T بعلاوه یک کاهش مقاومت ویژه الکتریکی حالت عادی می شود

۱۱۶

فهرست شکل ها

<u>صفحه</u>	<u>عنوان</u>
	شکل (۱-۱) دمای بحرانی مربوط به عناصر ابررسانا در جدول تناوبی ۹
	شکل (۱-۲) الکترون شبه ذره ماکروسکوپی حبس شده در یک جعبه کوچک ۱۳
	شکل (۲-۲) ذرات مرکب شامل فرمیونها که بنا به عدد کلی اسپین به بوزون یا فرمیون تبدیل می شود ۱۴
	شکل (۳-۲): توزیع ذرات مایکروسکوپی در لایه های گسسته انرژی در دمای صفر مطلق. فرمیونها در چپ و بوزونها در راست ۱۴
	شکل (۴-۲) رویهم افتادگی ذرات گاز وقتی دما کاهش می یابد. ۱۵
	شکل (۵-۲) تولید نیروی جاذب بین الکترون ها در یک کریستال ۱۸

شکل (۶-۲) اثر جوزفسون در ۲ ابررسانای متصل از طریق یک لایه عایق نازک ۲۰

شکل (۷-۲) درجه حرارت بحرانی در برابر سال کشف ۲۴

شکل (۸-۲): (a) فازهای مرکز جرم جفت ها در فاصله ξ قفل می شوند (b) جایگیری با

مرتبۀ فاز بلند برد ۲۷

شکل (۹-۲) اثر مایسنر در a برای $T > T_c$ یا $H > H_c$, رسانای معمولی در $T < T_c$ و

$H < H_c$, ماده ابررساناست ۳۵

شکل (۱-۳) شبکه ی سه ضلعی گرداب ها در حالت آمیخته ۶۲

شکل (۱-۴) مدل خزش شار مغناطیسی **HTSC a** پیوندگاه جوزفسون بین دو دانه ۷۹

شکل (۲-۴) مدل **RSL** برای **HTSC** ها ۸۰

شکل (۳-۴) میخکوبش شار مغناطیسی به شکل پنکیک (کلوچه) ۹۱

شکل (۴-۴) مقایسه دو شکل کلی از برخورد خطوط شار مغناطیسی دو لایه ای **CuO₂**. (خطوط

افقی) وقتی که میدان **H** با محور **c** زاویه θ می سازد.

۹۳

شکل (۵-۴) تفاوت در نظم مغناطیسی و ابررسانایی یکسان ۹۹

چکیده:

هدف اصلی در این پروژه شناخت پدیده ابررسانایی و بررسی آن از چشم اندازهای گوناگون در محدوده ی دانش فیزیکی است که از آن جمله به مطالعه رفتار غیر عادی ابررساناهای دمای بالا در نزدیکی دمای بحرانی و تحقیق در مورد گذار فاز از دیدگاه کوانتومی و ساختار شبکه ای می توان اشاره نمود .

در این تحقیق، در ابتدا سعی شده در خصوص تاریخچه ی کشف ابررسانایی و مواد ابررسانا و مفاهیم کلی در ارتباط با این پدیده و خواص آن به زبان ساده بحث شود. سپس به تفصیل با افزودن دیدگاه کوانتومی (رفتار موجی - ذره ای) و همینطور پارامترهای شبکه ای، موارد نامبرده در فصل اول بیان شده است. با توضیح مفاهیمی از قبیل فاز و طول همدوسی، اثر مایسنر، اثر ایزوتوپی، میدان مغناطیسی بحرانی و غیره در فصل دوم، فصل سوم را به بررسی ابررسانایی در ترمودینامیک اختصاص می دهیم. پس از روابط لاندن و عمق نفوذ و نظریه ی گینزبرگ-لانداو به بیان علمی دو نوع از ابررساناها پرداخته و تفاوتها و شباهتهای HTSC ها با ابررسانای معمولی و خواص غیر عادی آن مورد نظر است. روند تحقیق در فصل چهارم مشابه فصل قبل بوده با این تفاوت که این بار این پدیده را از دید الکترودینامیکی بسط داده ایم که از آن جمله، به چگالی جریان بحرانی (J_c)، میدان مغناطیسی بحرانی (B_m)، میخکوبش شار مغناطیسی و حالت گردابی و حرکات گردشها و در پایان آن گذارهای فاز و اثرات دانه ای و ساختاری و برخی نواقص شبکه ای مورد بررسی قرار گرفتند. در این تحقیق هدف اصلی، بررسی مقاومت ویژه ی ابررساناهای دمای بالا می باشد که بدین منظور در فصل آخر پس از بحث تکمیلی در خصوص عناصر و آلیاژهای ابررسانا و همینطور داده های آزمایشی جمع آوری شده از منابع مربوطه در طول فصول این پروژه نگاهی هم به مقاومت حالت عادی برخی کوپراتها و هدایت حرارتی آنها می اندازیم زیرا یک نظریه میکروسکوپی ابررسانایی با دمای بحرانی بالا بایستی قادر به توضیح هم خواص ابررسانایی و هم خواص عادی کوپراتها باشد. علاوه بر داده های هدایت الکتریکی و حرارتی برای طراحی ابررساناهای دمای بالایی حجمی جهت کاربردهای توانی لازم هستند.

همچنین در پایان به تعدادی کاربردهای مهم در صنایع و اهداف پیش رو میپردازیم که از این حیث قابل تامل است که ساخت ابررسانای با دمای بحرانی نزدیکتر به دمای اتاق باعث انقلابی عظیم در فناوریهای گوناگون می شود که تا کنون نظیر آن در تاریخ بشری انگشت شمار بوده است .

فصل اول : پدیده , تاریخچه و مواد ابررسانایی

۱-۱ مقدمه:

اگر دمای فلزات مختلف را تا دمای معینی (دمای بحرانی) پایین آوریم پدیده شگرفی در آنها اتفاق می افتد که طی آن به ناگهان مقاومتشان را در برابر عبور جریان برق تا حد صفراز دست خواهند داد. و تبدیل به ابررسانا خواهند شد. (البته موادی مانند نقره نیز هستند که مقاومت ویژه شان حتی در دمای صفر درجه کلوین نیز صفر نمی شود). هر چند در این دما میتوان بسیاری از مواد را ابررسانا نمود محققان برای رسیدن به چنین دمایی مجبورند از هلیوم مایع و یا هیدروژن استفاده کنند که بسیار گرانند .

امروزه ابررسانایی را در موادی ایجاد می کنند که دمای بحرانشان زیادتیر از ۷۷ درجه کلوین است که برای رسیدن به چنین دمایی از ازت مایع استفاده می کنند که نقطه جوشش ۷۷ درجه کلوین است.

۲-۱ حرکت به سمت صفر مطلق

پدیده ابررسانایی تنها در درجه حرارت های پایین مشاهده شده است. بنابراین، نخست به بررسی تلاشهای صورت گرفته و دستاوردهای حاصله در مسیر رسیدن به درجه حرارت یا دمای صفر مطلق می پردازیم.

یک روش بسیار متعارف میعان سازی گاز، فشردن سازی آنها است. این باعث می شود که مولکول های گاز نزدیک تر بیایند، و نقش نیروهای چسبندگی افزایش یابد که این فرایند انتقال گاز-مایع را ممکن می سازد. هر چند که، در درجه حرارت های بالاتر از نقطه بحرانی، این امکان وجود ندارد که گاز را به مایع تبدیل کنیم، هر چند که فشار زیاد اعمال می گردد. بنابراین، سردسازی گاز نخست پیش از فشردن سازی آن ضروری است. در ۱۸۷۷، دانشمند فرانسوی کاپلی در میعان سازی اکسیژن در یک دمای $90/2 \text{ k}$ موفق

گردیده ۶ سال بعد، نیتروژن در $77/4\text{ K}$ میعان شد. هیدروژن به صورت میعان سازی شده در دمای $20/4\text{ K}$ یافت شد. این فرایند توسط آقای جیمز دوار در سال ۱۸۹۸ ممکن شد، کسی که یک محفظه خلاء را اختراع نمود، که حتی امروزه برای ذخیره هیدروژن مایع مورد استفاده قرار می گیرد. هلیوم در سال ۱۸۶۹ در طیف تاجهای خورشیدی کشف شد. برای مدت زمان طولانی، نتوانستند آن را در زمین کشف کنند. فقط در ۱۸۹۵ بود که آقای ویلیام رامزی آن را در بین گازهای آزاد شده یافت آن هم زمانی که مواد معدنی مشخص گرمادهی شدند. در پایان قرن نوزدهم، این نکته بدیهی بود که نقطه جوش هیلوم حتی پایین تر از نقطه جوش هیدروژن بود. در اواخر ۱۸۹۰، دانشمند هلندی آقای اونس آزمایشهای خود را با هدف میعان سازی هلیوم شروع نموده در نهایت این نکته مطرح شد که دمای انتقال $4/2\text{ k}$ است و میعان سازی در سال ۱۹۸۰ حاصل شد.

هلیوم مایع اغلب به صورت مایع کوانتوم نامگذاری می شود. این یک نمایش جالب از این حقیقت است که رفتار کوانتومی ممکن است از طریق عناصر ماکروسکوپی مصداق یابد.

مایعی که او بدان اشاره می کند حتی در صفر مطلق مایع است (هر چند که در 0 K ، اصلاً هیچ حرکت حرارتی وجود ندارد) این به خاطر تراکم یا غلظت بسیار پایین هلیوم مایع است؛ که ۸ برابر بالاتر از آب می باشد. بنابراین اتمهای سبک و هلیوم بی جنبش در سطح وسیعی جدا می شوند. صفر تقریباً مطلق، قانون فیزیک کوانتوم آن را از تبدیل شدن به جامد منع می کند، یعنی مفهوم کلاسیک معمول که : اتم ها کاملاً در صفر مطلق بی حرکت هستند درست نمی باشد.

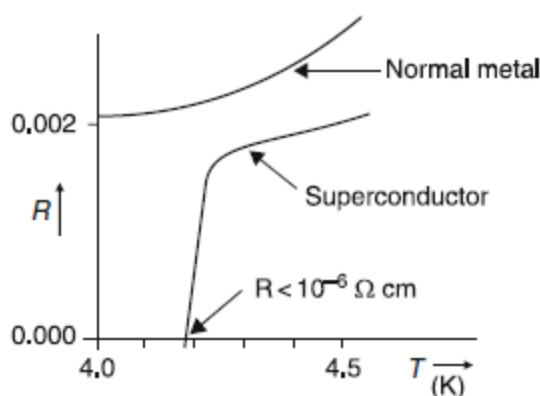
با دستیابی به دمای ثبت شده پایین و کسب هلیوم مایع، اونس در صدد مطالعه سیستماتیک ویژگیهای ماده در درجه حرارت پایین برآمد.

۱-۳ کشف ابر رسانایی

حفظ درجه حرارت هلیوم مایع یک نوع یا سیستم جدید درجه حرارت های پایین را مطرح نمود و این سیستم توسط اونس در سال ۱۹۱۱ کشف شد، در حالی که در جستجو

و کشف ویژگی های الکتریکی جیوه منجمد بود زمانی که مقاومت الکتریکی جیوه کاملاً در نزدیکی به 4.2 k نا پدید شد. در عبارات خود او، آزمایش هیچ شکی را بر جای نگذاشت، تا جایی که صحت اندازه گیری مطرح بود، مقاومت کم رنگ شد. در همین زمان، یک چیز غیر منتظره اتفاق افتاد. به صورت تدریجی نا پدید شدن اتفاق نیافتاد، اما به صورت ناگهانی اتفاق افتاد. از 1/500، مقاومت در 4.2 k تا یک میلیون سقوت می کند. در پایین ترین درجه حرارت، (1.5 k) می توان این نکته را کشف کرد که مقاومت یک هزار میلیون کمتر از مقاومت موجود در دمای عادی شده بود. بنابراین جیوه در 4.2 k وارد یک حالت جدید شده است که به دلیل ویژگی های الکتریکی مشخص آن، می تواند به صورت "حالت ابر رسانایی" نامگذاری شود.

پدیده ابر رسانایی در کاهش مقاومت الکتریکی در یک دمای معین مصداق دارد که به صورت دمای بحرانی نامگذاری شده است و بیانگر T_c است (نمودار ۱-۱). هر چند ناخالصیهای مغناطیسی دمای گذار T_c را پایین می آورند، ولی در حالت کلی دمای گذار T_c به مقادیر کم ناخالصی زیاد حساس نیست. البته تحقیقات در درجات حرارت پایینتر ممکن است ابر رساناهای جدیدی را بشناساند، اما دلیل اساسی برای این که تمام فلزات حتی در صفر مطلق باید خاصیت ابر رسانایی از خود نشان دهند وجود ندارد. جدیدترین داده ها نشان می دهند که مقاومت خاص یک ابر رسانا زیر $10^{-27} \Omega\text{-cm}$ است. این می تواند با مقاومت ویژه مس (یک رسانای فوق العاده) مقایسه گردد که $10^{-9} \Omega\text{-cm}$ است. بنابراین، هیچ شکی وجود ندارد که ما به بررسی رسانایی ایده آل می پردازیم (کاهش کلی مقاومت الکتریکی).



نمودار ۱-۱: وابستگی دمایی مقاومت یک فلز عادی و یک ابر رسانا.

کشفاونس توسط تعداد بسیاری از مطالعات آزمایشی پیگیری شد. مواد ابر رسانایی جدید پیش تر کشف شد و ویژگی های فیزیکی آنها مورد مطالعه قرار گرفتند. (Saxena, 2009, 2-3)

۱-۴ مفهوم مقاومت صفر

مفهوم این که یک فلز ابر رسانا دارای هیچ نوع مقاومتی نیست، در حقیقت به این معنی است که موقعی که جریان از آن عبور کند ولتاژی در دو سر فلز مشاهده نمی شود و هیچگونه انرژی از عبور جریان تولید نمی شود. این مطلب البته در مورد جریان مستقیم با مقدار ثابت صحیح است. اگر جریان تغییر کند یک میدان الکتریکی تشکیل شده و مقداری توان تلف می کند. برای دانستن دلیل این امر باید رفتار الکترونهای هدایت را در ابر رساناها مورد مطالعه قرار دهیم.

۱-۵ رفتار مغناطیسی ویژه یک ابر رسانا

در سال ۱۹۳۳ مایسنر و اوئن فلر دو دانشمند آلمانی توزیع شار مغناطیسی را در خارج از فلزات قلع و سرب که در یک میدان مغناطیسی تا دمای گذار سرد شد بود اندازه گیری کردند.