

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشگاه شهید چمران اهواز

دانشکده علوم

شماره پایان نامه: ۹۳۱۴۷۱۹۶

پایان نامه کارشناسی ارشد رشته فیزیک

گرایش حالت جامد

عنوان:

ساخت ابررسانای $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ با فرآیند ذوبی و بررسی خواص آن

استاد راهنما:

دکتر مرتضی زرگروشتری

استاد مشاور:

دکتر سید ابراهیم موسوی قهفرخی

نگارنده:

محمدعلی کارونی

شهریور ۱۳۹۳

این اثر را اگر منشرلی باشد

تقدیم به

روح مادر صبور و مهربانم

مهربانی که دعای خیرش همیشه بدرقه می راهم بوده و هست.

الهی نام تو ما را اجواز، مهر تو ما را اجاز، شناخت تو ما را امان، لطف تو ما را اعیان. (مناجات نامه خواجه عبدالله انصاری)

سپاس و ستایش تهالایق ذات بی‌همتای اوست، رحمانی که تعلیم نمود آدمی را قبل از آفرینش که «ان اسکرلی و لوالدیک» و آموخت آدمی را به شکر و قدردانی، از این روبر خود لازم می‌دانم سپاس گویم عزیزانی را که اگر مهر، کجک و لطفشان نبود این حقیر را نیز توان نوشتن این اثر نبود. تختت از خانواده‌ی عزیزم، پدر مهربان و استوارم که در تمام مراحل زندگی، همواره تکیه‌گاهم بودن، خواهر مهربان و دلسوز و برادر عزیزم کمال اتقان و سپاس را دارم. خدمت استاد عزیز و پر تلاش آقای دکتر زرگر شوشتری که همواره با تعهد، تفکر و تبسم پشتیبان و همراه ما بودن مراتب ارادت و تشکر را عرض می‌نمایم. از استاد مشاور نفیم و متواضع آقای دکتر سید ابراهیم موسوی قعفرخی کمال تشکر و قدردانی را دارم. از آقایان دکتر فربهر و دکتر حاجتی که تقبل زحمت نموده و داوری این اثر را به عهده گرفته و آقای دکتر کاظمی نژاد ناظر جلسه دفاعیه کمال تشکر و قدردانی را دارم و نیز از تمامی اساتید گروه فنریک دانشگاه شهید چمران عزیزانی که از ایشان بسیار آموختم سپاس گزارم. از تمامی عوامل گروه فنریک به ویژه خانم صافی‌خانی و آقای فرزعه تشکر می‌نمایم. در پایان از دوستان و هم‌راهان عزیز و راستین به ویژه آقایان، علیرضا محمدیان، سید سلمان فاضلی، بهمن رستمی، حبیب‌الله بشام، نعمت‌الله بهمن، امیرپور حقی، سالار قربانی و تمامی دانشجویان ورودی ۹۰ کمال تشکر را دارم.

فهرست مطالب

۱	فصل اول
۲	۱-۱ مروری بر تاریخچه‌ی دمای پایین
۲	۲-۱ پدیده ابرسانایی
۴	۳-۱ اثر مایسنر
۵	۴-۱ انواع ابرسانا براساس خواص مغناطیسی
۵	۵-۱-۱ ابرسانای نوع I
۶	۵-۱-۲ ابرسانای نوع II
۷	۵-۱ میخ‌کوبی شار
۸	۶-۱ مکان‌های میخ‌کوبی شار
۹	۶-۱-۱ مکان‌های میخ‌کوبی طبیعی
۱۰	۶-۱-۲ مکان‌های میخ‌کوبی مصنوعی
۱۰	۷-۱ مقدمه‌ای بر ابرسانای دمای بالا
۱۲	۸-۱ ابرسانای $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$
۱۵	۹-۱ کاربرد ابرساناها
۱۷	فصل دوم
۱۸	۱-۲ مقدمه‌ای بر روش ذوبی
۲۰	۲-۲ ساختار YBCO در دمای بالا و واکنش‌های پری‌تکتیک

۲۵	۳-۲ انواع روش ذوبی
۲۷	۴-۲ فرآیند MTG
۲۸	۱-۴-۲ فرآیند اصلاح شده MTG
۳۰	۵-۲ فرآیند QMG
۳۱	۶-۲ فرآیند MPMG
۳۳	۷-۲ فرآیند PMP
۳۴	۸-۲ حالت بحرانی و مدل بین
۳۵	۱-۸-۲ نیروی میخ‌کوبی
۳۶	۲-۸-۲ نیروی میخ‌کوبی و گرادیان شار
۳۷	۳-۸-۲ مدل بین
۴۰	۹-۲ مدل بین و ابررساناهای دمای بالا
۴۳	۳. فصل سوم
۴۴	۱-۳ مقدمه
۴۴	۲-۳ ابزارها و وسایل مورد استفاده
۴۴	۱-۲-۳ کوره‌ی ذوبی
۴۸	۲-۲-۳ کوره‌ی استوانه‌ای
۴۸	۳-۳ ساخت نمونه
۴۸	۱-۳-۳ ساخت نمونه به روش QMG
۵۱	۱-۱-۳-۳ نکاتی در مورد فرآیند ذوب

۵۲.....	۲-۳-۳ ساخت نمونه به روش MPMG
۵۵.....	۳-۳-۳ ساخت نمونه به روش MTG
۵۸.....	۴-۳ بهینه‌سازی
۵۸.....	۱-۴-۳ روش تاگوچی
۶۲.....	۵-۳ بهینه‌سازی روش ساخت MPMG با روش تاگوچی
۶۴.....	۱-۵-۳ ساخت نمونه‌ها با فرآیندهای طراحی شده توسط الگوی تاگوچی
۶۸.....	۶-۳ آنالیز نمونه
۶۸.....	۱-۶-۳ آنالیز پراش اشعه‌ی X
۶۹.....	۲-۶-۳ آنالیز SEM
۷۰.....	۳-۶-۳ آنالیز VSM
۷۲.....	۴. فصل چهارم
۷۳.....	۱-۴ مقدمه
۷۳.....	۲-۴ دمای گذار
۷۶.....	۳-۴ چگالی جریان بحرانی
۷۸.....	۴-۴ بررسی الگوهای پراش اشعه‌ی X نمونه‌ها
۸۳.....	۵-۴ بررسی تصاویر SEM
۸۶.....	۶-۴ بررسی آزمایش VSM نمونه‌ها
۸۸.....	۱-۶-۴ محاسبه‌ی چگالی جریان بحرانی با استفاده از مدل بین
۸۹.....	نتیجه‌گیری

۹۰ پیشنهادات

۹۱ مراجعها

فهرست شکل‌ها

- شکل ۱-۱ اونز (سمت راست) و تکنسین ارشد آزمایشگاهش گریت فلیم (سمت چپ) در آزمایشگاه مایع سازی هلیوم ۳
- شکل ۲-۱ صفر شدن مقاومت جیوه در $4/2\text{ K}$ ۳
- شکل ۳-۱ رفتار ابررسانا الف و رسانای ایده‌آل ب در برابر میدان مغناطیسی ۴
- شکل ۴-۱ نمودار M-H و H-T ابررسانای نوع I ۵
- شکل ۵-۱ نمودار M-H و H-T برای ابررسانای نوع II ۶
- شکل ۶-۱ نفوذ گردشارها به درون نمونه ابررسانا و شبکه مثلثی گردشارها ۷
- شکل ۷-۱ الف حرکت شار در نمونه بدون نقص، ب و ج میخ‌کوبی شار در نمونه‌هایی با نقص نقطه‌ای و نقص ستونی ۸
- شکل ۸-۱ مکان‌های میخ‌کوبی طبیعی در ابررسانای YBCO ۹
- شکل ۹-۱ نقص‌های مصنوعی به صورت یک، دو و سه بعدی ۱۰
- شکل ۱۰-۱ روند تاریخی کشف ابررساناها ۱۱
- شکل ۱۱-۱ تأثیر مقدار اکسیژن بر رفتار YBCO ۱۲
- شکل ۱۲-۱ وابستگی دمای گذار به مقدار اکسیژن ۱۳
- شکل ۱۳-۱ ساختار ارتورومبیک الف و ساختار تتراگونال ب در ترکیب YBCO ۱۴
- شکل ۱۴-۱ چرخ طیار ۱۶
- شکل ۱-۲ طرح‌واره‌ای از عملکرد فرآیند ذوبی ۱۹
- شکل ۲-۲ الگوی XRD نمونه‌ی YBCO در گستره‌ی دماهای $900\text{ }^{\circ}\text{C}$ تا $1170\text{ }^{\circ}\text{C}$ ۲۱
- شکل ۳-۲ نمودار دو فازي سیستم Y-Ba-Cu-O ۲۲
- شکل ۴-۲ الف محبوس شدن ذره‌ی Y_{211} در ماتریس Y_{123} ، ب ذرات Y_2O_3 همراه با فاز

- مایع، ج تشکیل فاز Y_{123} ، Y_{211} ، $BaCuO_2$ و فاز CuO در اثر واکنش پری تکتیک ۲۳
- شکل ۵-۲ نمونه YBCO حرارت دهی شده تا $1100^\circ C$ ، فاز Y_{211} توسط فاز مایع احاطه شده است ۲۴
- شکل ۶-۲ ترتیب و محدوده دمایی واکنش های شکل گرفته در YBCO ۲۵
- شکل ۷-۲ ریزنگار نوری برای نمونه ی ساخته شده به روش MTG ۲۷
- شکل ۸-۲ نمودار حرارت دهی روش MTG ۲۸
- شکل ۹-۲ ریزساختار نمونه ی ساخته شده به روش MTG اصلاح شده ۲۹
- شکل ۱۰-۲ نمودار حرارت دهی روش MTG اصلاح شده ۲۹
- شکل ۱۱-۲ نمودار حرارت دهی روش QMG ۳۰
- شکل ۱۲-۲ ریزنگار نوری نمونه ی ساخته شده به روش QMG ۳۱
- شکل ۱۳-۲ نمودار حرارت دهی روش MPMG ۳۲
- شکل ۱۴-۲ ریزنگار نوری نمونه MPMG ۳۲
- شکل ۱۵-۲ تاثیر Pt در کاهش اندازه ذرات فاز Y_{211} ، الف نمونه با Pt اضافه شده و ب نمونه بدون Pt ۳۳
- شکل ۱۶-۲ نمودار حرارت دهی روش PMP ۳۴
- شکل ۱۷-۲ تصاویر SEM نمونه ی PMP ۳۴
- شکل ۱۸-۲ برهم کنش بین گردشارها ۳۵
- شکل ۱۹-۲ رابطه ی بین گرادیان شار و J_c ۳۸
- شکل ۲۰-۲ منحنی مغناطش ابررسانای نوع II ۳۹
- شکل ۲۱-۲ منحنی مغناطش نمونه ی YBCO ساخته شده به روش حالت جامد ۴۱
- شکل ۲۲-۲ منحنی مغناطش نمونه YBCO ساخته شده به روش QMG ۴۱
- شکل ۲۳-۲ رابطه ی خطی بین ضخامت و ΔM ۴۲

شکل ۱-۳	کوره‌ی ذوبی	.....	۴۵
شکل ۲-۳	کلیدهای کنترل کننده‌ی کوره‌ی ذوبی	.....	۴۶
شکل ۳-۳	نمایی از قسمت متحرک کوره‌ی ذوبی	.....	۴۷
شکل ۴-۳	نمایی از قسمت فوقانی کوره‌ی ذوبی	.....	۴۷
شکل ۵-۳	کوره‌ی استوانه‌ای	.....	۴۸
شکل ۶-۳	نمودار تکلیس و ذوب نمونه QMG	.....	۴۹
شکل ۷-۳	نمودار پخت نمونه QMG	.....	۵۰
شکل ۸-۳	نمودار اکسیژن‌دهی نمونه QMG	.....	۵۱
شکل ۹-۳	نمودار تکلیس و ذوب نمونه MPMG	.....	۵۳
شکل ۱۰-۳	نمودار پخت نمونه‌ی MPMG	.....	۵۴
شکل ۱۱-۳	نمودار اکسیژن‌دهی نمونه MPMG	.....	۵۴
شکل ۱۲-۳	نمودار تکلیس نمونه‌ی MTG	.....	۵۵
شکل ۱۳-۳	نمودار پخت حالت جامد نمونه MTG	.....	۵۶
شکل ۱۴-۳	نمودار پخت نمونه‌ی MTG	.....	۵۷
شکل ۱۵-۳	نمودار اکسیژن‌دهی نمونه‌ی MTG	.....	۵۷
شکل ۱۶-۳	منوی نرم‌افزار بهینه‌سازی تاگوچی	.....	۵۹
شکل ۱۷-۳	پنجره نرم‌افزار بهینه‌سازی تاگوچی	.....	۵۹
شکل ۱۸-۳	پنجره نرم‌افزار بهینه‌سازی تاگوچی	.....	۶۰
شکل ۱۹-۳	پنجره نرم‌افزار بهینه‌سازی تاگوچی	.....	۶۰
شکل ۲۰-۳	پنجره نرم‌افزار بهینه‌سازی تاگوچی	.....	۶۰
شکل ۲۱-۳	منوی نرم‌افزار بهینه‌سازی تاگوچی	.....	۶۱
شکل ۲۲-۳	منوی نرم‌افزار بهینه‌سازی تاگوچی	.....	۶۱

- شکل ۳-۲۳ پنجره نرم افزار بهینه سازی تاگوچی ۶۲
- شکل ۳-۲۴ نمودار تکلیس و ذوب نمونه های ساخته شده به روش MPMG جهت فرآیند بهینه سازی ۶۴
- شکل ۳-۲۵ نمودار پخت نمونه ی YBCOPA ۶۵
- شکل ۳-۲۶ نمودار پخت نمونه ی YBCOPB ۶۶
- شکل ۳-۲۷ نمودار پخت نمونه ی YBCOPC ۶۶
- شکل ۳-۲۸ نمودار پخت نمونه ی YBCOPD ۶۷
- شکل ۳-۲۹ نمودار اکسیژن دهی نمونه های بهینه شده با روش تاگوچی ۶۷
- شکل ۳-۳۰ بازتاب پرتوها از صفحات بلوری ۶۹
- شکل ۳-۳۱ نمایی از میکروسکوپ الکترونی (SEM) ۷۰
- شکل ۳-۳۲ نمایی کلی از دستگاه VSM استفاده شده در این رساله ۷۱
- شکل ۴-۱ نمودار دمای گذار نمونه ی QMG ۷۴
- شکل ۴-۲ نمودار دمای گذار نمونه ی MPMG ۷۴
- شکل ۴-۳ نمودار دمای گذار نمونه ی MTG ۷۵
- شکل ۴-۴ نمودار دمای گذار برای نمونه های QMG, MPMG و MTG به صورت هم زمان . ۷۵
- شکل ۴-۵ نمودار V-J نمونه ی QMG ۷۶
- شکل ۴-۶ نمودار V-J نمونه ی MPMG ۷۷
- شکل ۴-۷ نمودار V-J نمونه ی MTG ۷۷
- شکل ۴-۸ نمودار V-J برای نمونه های QMG, MPMG و MTG به صورت هم زمان ۷۸
- شکل ۴-۹ الگوی پراش اشعه ی X نمونه ی QMG ۷۹
- شکل ۴-۱۰ الگوی پراش اشعه ی X نمونه ی MPMG ۸۰
- شکل ۴-۱۱ الگوی پراش اشعه ی X نمونه ی MTG ۸۰

- شکل ۴-۱۲ الگوی پراش اشعه‌ی X نمونه‌ی YBCOPA ۸۱
- شکل ۴-۱۳ الگوی پراش اشعه‌ی X نمونه‌ی YBCOPB ۸۱
- شکل ۴-۱۴ الگوی پراش اشعه‌ی X نمونه‌ی YBCOPC ۸۲
- شکل ۴-۱۵ الگوی پراش اشعه‌ی X نمونه‌ی YBCOPD ۸۲
- شکل ۴-۱۶ تصویر SEM نمونه پس از فرآیند سردسازی سریع ۸۴
- شکل ۴-۱۷ تصویر SEM نمونه‌ی ساخته شده به روش QMG ۸۵
- شکل ۴-۱۸ تصویر SEM نمونه‌ی ساخته شده به روش MPMG ۸۵
- شکل ۴-۱۹ تصویر SEM نمونه‌ی ساخته شده به روش حالت جامد ۸۶
- شکل ۴-۲۰ VSM نمونه‌ی ساخته شده به روش QMG ۸۷
- شکل ۴-۲۱ VSM نمونه‌ی ساخته شده به روش MPMG ۸۷

فهرست جدول‌ها

- جدول ۱-۱ ثابت‌های شبکه در ساختار تتراگونال و ارتورومبیک ۱۴
- جدول ۱-۲ واکنش‌های پری‌تکتیک ۲۱
- جدول ۲-۲ واکنش پری‌تکتیک و دمای انجام واکنش ۲۴
- جدول ۳-۲ مروری بر روش‌های ذوبی ۲۶
- جدول ۱-۳ پارامترهای روش ذوبی و سطوح آن ۶۲
- جدول ۲-۳ الگوی طراحی شده برای آزمایش‌ها توسط نرم‌افزار تاگوچی ۶۳
- جدول ۳-۳ مشخصات دقیق آزمایش‌های طراحی شده توسط الگوی تاگوچی ۶۳
- جدول ۱-۴ سطح مقطع و چگالی جریان بحرانی نمونه‌های ساخته شده به روش QMG،
MPMG و MTG ۷۸
- جدول ۲-۴ درصد فازهای موجود در نمونه‌ها ۸۳

نام خانوادگی: کارونی	نام: محمدعلی	شماره دانشجویی: ۹۰۱۴۷۰۷
عنوان پایان نامه: ساخت ابررسانای $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ با فرآیند ذوبی و بررسی خواص آن		
استاد راهنما: دکتر مرتضی زرگرشوشتری		
استاد مشاور: دکتر سید ابراهیم موسوی قهفرخی		
درجه تحصیلی: کارشناسی ارشد	رشته: فیزیک	گرایش: حالت جامد تجربی
دانشگاه: شهید چمران اهواز	دانشکده: علوم	گروه: فیزیک
تاریخ فارغ التحصیلی: ۹۳/۶/۲۵		تعداد صفحه: ۹۷
کلید واژه ها: ابررسانای $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ ، روش ذوبی، دمای پری تکتیک، چگالی جریان بحرانی، روش QMG، روش MPMG، روش MTG، میخ کوبی شار.		
<p>چکیده: هدف این رساله ساخت ابررسانای $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ با فرآیند ذوبی و بررسی خواص آن است. ابررسانای $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ با سه روش QMG، MPMG و MTG ساخته شد. در روش QMG و MPMG از پودرهای Y_2O_3، $BaCO_3$ و CuO به عنوان مواد اولیه استفاده شد. پودرهای مخلوط و آسیا شده تا دمای $1400^\circ C$ حرارت دهی شده و ذوب شدند. مذاب به دست آمده فوراً در دمای اتاق با استفاده از دو صفحه‌ی مسی سرد شد. مجدداً ماده‌ی به دست آمده تا دمای $1100^\circ C$ حرارت دهی شده و پس از چند دقیقه، سریعاً تا دمای پری تکتیک خنک شد. پس از آن سردسازی نمونه تا دمای اتاق با آهنگ نسبتاً سریعی انجام شد. نمونه‌ها نهایتاً در دمای $600^\circ C$ تحت شارش گاز اکسیژن قرار گرفته و اکسیژن دهی شدند. تفاوت دو روش QMG و MPMG در آسیا نمودن نمونه پس از ذوب در دمای $1400^\circ C$ در روش MPMG می‌باشد. در روش MTG، $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ تهیه شده به روش حالت جامد تا دمای $1100^\circ C$ حرارت دهی شده و پس از چند دقیقه سریعاً تا دمای پری تکتیک خنک شد، پس از آن با آهنگ نسبتاً سریعی تا دمای اتاق سرد شد. نمونه‌ی به دست آمده نهایتاً در دمای $600^\circ C$ تحت شارش گاز اکسیژن قرار گرفته و اکسیژن دهی شد. از مهم‌ترین ویژگی این روش‌ها می‌توان به تولید ذرات فاز Y_{211} و حصر آن‌ها در ماتریس Y_{123} اشاره کرد که منجر به افزایش میخ کوبی شار می‌شود. الگوهای پراش اشعه‌ی X وجود فازهای Y_{211} و Y_{123} را تأیید می‌کند. همچنین تصاویر SEM نمونه‌ها بیان‌گر پیوستگی دانه‌ها و کاهش خلل و فرج می‌باشد. آزمایش VSM نمونه‌ها نیز بیان‌گر افزایش پهنای منحنی پسماند است که از دلایل آن می‌توان به افزایش نقاط میخ کوبی شار اشاره کرد. چگالی جریان بحرانی نمونه‌ها با روش چهار میله محاسبه شد. مقدار J_c برای نمونه‌های QMG، MPMG و MTG به ترتیب مقدار $46.8 A/cm^2$، $44.2 A/cm^2$ و $21.5 A/cm^2$ به دست آمد.</p>		

از زمان کشف ابرساناها، محققین همواره به دنبال کاربردی کردن این مواد و استفاده از آنها در صنعت و تجارت بوده‌اند. از عوامل مهم در کاربردی شدن این مواد میزان مقدار چگالی جریان بحرانی است. به واسطه افزایش چگالی جریان بحرانی ابرساناها، کاربردهای بیشتری در زمینه‌های پزشکی، حمل و نقل، دستگاه‌های ذخیره انرژی و تجهیزات مغناطیسی پیدا کرده‌اند. پارامترهای بسیاری در افزایش چگالی جریان بحرانی مؤثر می‌باشند که از جمله می‌توان به روش ساخت اشاره کرد. روش ذوبی از روش‌های مؤثر در افزایش چگالی جریان بحرانی می‌باشد. هدف این رساله، ساخت ابرسانای $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ با فرآیند ذوبی و بررسی خواص آن می‌باشد. این رساله در چهار فصل نگارش شده است. در فصل اول در مورد تاریخچه‌ی ابرسانایی، تعریف پدیده‌ی ابرسانایی و انواع ابرساناها بحث شده است. پس از آن در این فصل در خصوص نقاط میخ‌کوبی شار، ابرسانای دمای بالا و کاربرد ابرساناها مباحثی به اختصار بیان شد. خصوصیات روش ذوبی، واکنش‌های رخ داده در دمای بالا و انواع روش ذوبی مطالبی است که در فصل دوم به‌طور مبسوط بیان شده است. در فصل سوم، روند عملی ساخت نمونه‌ها با روش‌های گوناگون تا آزمایش‌های صورت گرفته جهت مشخصه‌یابی نمونه‌ها به تفصیل مورد بحث قرار گرفت. نهایتاً در فصل چهارم، نتایج به دست آمده مورد بحث و بررسی قرار گرفته است. در پایان پیشنهادهای جهت تکمیل و ادامه‌ی این روند ارائه شد. ان شاء الله، امید می‌رود که این رساله قدمی هرچند کوچک و ناچیز، اما مؤثر در کمک به دانشجویان و محققین جهت رشد و اعتلای علمی کشور باشد.

۱. فصل اول

مقدمه ای بر ابررسانایی

۱-۱ مروری بر تاریخچه‌ی دمای پایین

با توجه به وقوع پدیده ابرسانایی در دمای پایین، در ابتدا تلاش‌های صورت گرفته برای رسیدن به دماهای پایین و نزدیک صفر مطلق مورد بحث قرار می‌گیرد. یک راه بسیار رایج در دستیابی به دماهای پایین، میعان گازها از طریق فشردن می‌باشد. در سال ۱۸۷۷ دانشمند فرانسوی لوئیس پائول کایتت^۱ اکسیژن را مایع کرد و به دمای $90,2 \text{ K}$ دست یافت. ۶ سال بعد نیتروژن در $77,4 \text{ K}$ مایع شد. فیزیکدان اسکاتلندی جیمز دیوئر^۲ توانست، هیدروژن را در دمای $20,4 \text{ K}$ مایع کند، مایع کردن هیدروژن در سال ۱۸۹۸ روی داد. هلیوم در سال ۱۸۶۹ در طیف تاج خورشید کشف شد، ولی در زمین تا سال ۱۸۹۵ ناشناخته باقی ماند. سرانجام شیمیدان اسکاتلندی سر ویلیام رمزی^۳ آن را در میان گازهای منتشرشده از مواد معدنی خاصی که حرارت داده شدند، کشف کرد. در پایان قرن ۱۹ مشخص شد که نقطه‌ی جوش هلیوم حتی از هیدروژن هم پایین‌تر است، نهایتاً فیزیکدان هلندی هایک کامرلینگ اونز^۴ موفق به مایع کردن هلیوم در دمای $4,2 \text{ K}$ شد، این امر در سال ۱۹۰۸ محقق شد [۱].

۲-۱ پدیده ابرسانایی

با مایع شدن هلیوم، امکان مطالعه بر روی خواص مواد در دمای پایین (نزدیک به صفر مطلق) میسر شد. اונز رفتار الکتریکی مواد در دمای پایین را بررسی می‌کرد. با توجه به پیش‌بینی نظریه‌ها، مقاومت الکتریکی طلا و پلاتین به دلیل وجود ناخالصی در آنها تا دمای حدود یک کلوین صفر نشد. اونز از جیوه‌ی جامد خالص که از چند بار تقطیر به دست آورده بود، استفاده کرد و در روز ۸ آوریل ۱۹۱۱ از بین رفتن مقاومت ویژه جیوه را در $4,2 \text{ K}$ کلوین مشاهده نمود. او صفر شدن مقاومت الکتریکی جیوه را ابرسانایی و دمای صفر شدن مقاومت را دمای گذار (T_c) نامید [۲]. دمای گذار،

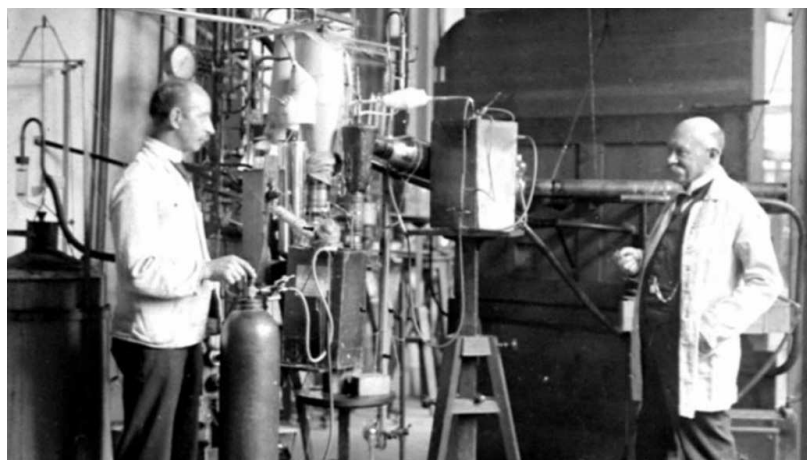
¹ Louis Paul Cailletted

² James Dewar

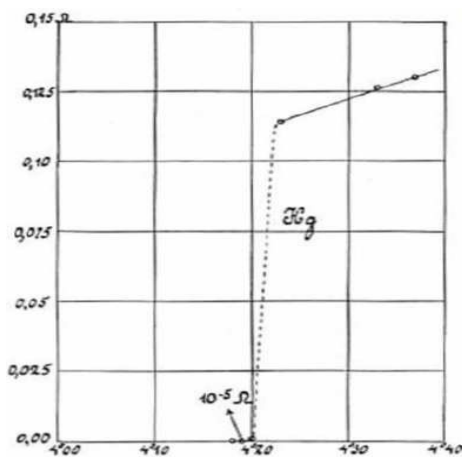
³ Sir William Ramsay

⁴ Heike Kamerlingh Onnes

دمایی است که در دماهای پایین‌تر از آن، ماده هیچ‌گونه مقاومتی در برابر عبور جریان الکتریکی از خود نشان نمی‌دهد و در دماهای بالاتر از آن، در اثر عبور جریان از ماده مقاومت ظاهر می‌شود. پس از کشف پدیده ابررسانایی در جیوه، ابررسانایی در بسیاری از عناصر فلزی جدول تناوبی، آلیاژها و ترکیبات بین فلزی^۱ کشف شد [۳]. شکل ۱-۱ اوزن و همکارش را در آزمایشگاه، و شکل ۲-۱ نمودار صفر شدن مقاومت جیوه در 4.2 K را نشان می‌دهد.



شکل ۱-۱ اوزن (سمت راست) و تکنسین ارشد آزمایشگاهش گریت فلیم^۲ (سمت چپ) در آزمایشگاه مایع سازی هلیوم [۴].



شکل ۲-۱ صفر شدن مقاومت جیوه در 4.2 K [۴].

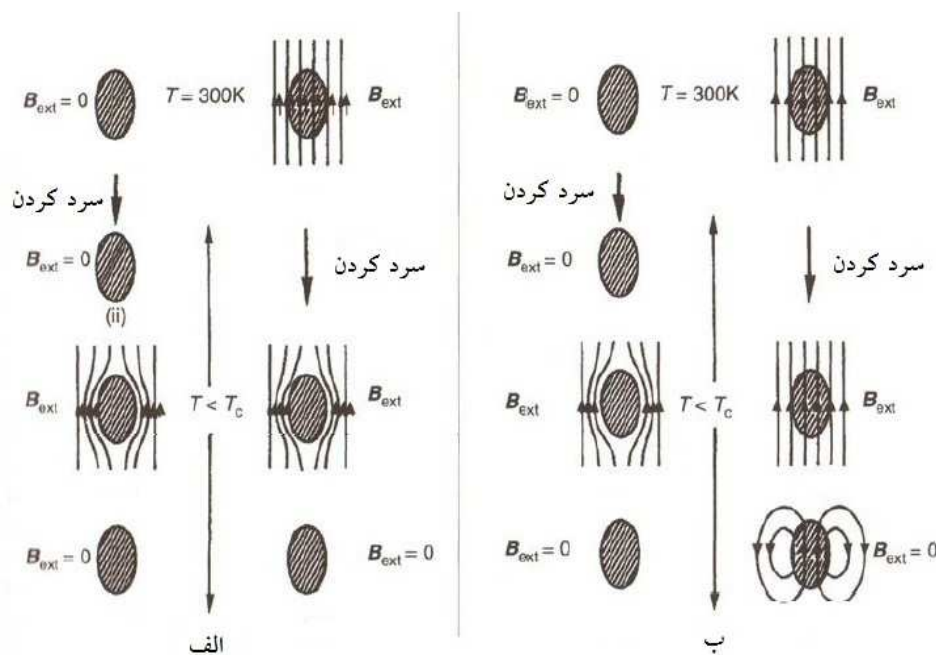
^۱ Intermetallic Compounds

^۲ Gerrit Flim

۳-۱ اثر مایسنر

پیش از سال ۱۹۳۳ همه بر این باور بودند که ابررسانا چیزی بیش از یک رسانای ایده‌آل نیست، ولی آزمایش‌های مایسنر^۱ و اشنفلد^۲ نشان داد که این باور درستی نیست. آن‌ها پی بردند که در $T < T_c$ شار مغناطیسی درون نمونه‌ی ابررسانا، مستقل از روش انتخابی برای سرد کردن نمونه همواره صفر است [۵]. در واقع نمونه‌ی ابررسانا همواره میدان مغناطیسی را طرد کرده و یک دیامغناطیس کامل است، ولی در مورد رسانای ایده‌آل با توجه به شکل ۳-۱ به نحوه‌ی سرد شدن نمونه بستگی دارد.

$$\mathbf{B} = \mu_0 (\mathbf{H} + \mathbf{M}) \quad \& \quad \mathbf{B} = 0 \quad \longrightarrow \quad \mathbf{H} = -\mathbf{M} \quad ۱-۱$$



شکل ۳-۱ رفتار ابررسانا الف و رسانای ایده‌آل ب در برابر میدان مغناطیسی [۶].

این ویژگی طرد شار مغناطیسی منجر به پدیده شناوری آهن‌ربا روی ابررسانا می‌شود که به اثر مایسنر معروف است.

¹ Meissner

² Ochenfeld