



گزارش رصد فرصت‌های فناوری

بررسی پیشرفت‌های اخیر در ابررسانایی دمای اتاق

مرتضی افتخار

اسفند ۱۳۹۷

چکیده

در قرن اخیر یکی از پدیده‌های تاثیرگذار در عرصه علمی و فناوری پدیده ابررسانایی بوده است، این پدیده کاربردهای فراوان و کلیدی در فناوری‌های پیشرفته دارد. این پدیده در دماهای پایین قابل مشاهده و استفاده می‌باشد لذا کشف ابررسانایی در دمای اتاق به منزله انقلابی در صنایع و کاربردهای آن است و از این رو یکی از اهداف همیشگی دانشمندان این عرصه می‌باشد. همان‌طور که در بسیاری از عرصه‌ها نظیر الکترونیک، پزشکی و مهندسی مواد، فناوری نانو راه‌گشا و کلید حل مسائل بوده است در این مسئله نیز تاکنون این رویکرد سهم شایانی در کشف و ساخت مواد ابررسانا کرده است و یکی از ابزارهای کارای این عرصه بوده است که پیش‌بینی می‌شود در آینده نیز کارگشا باشد. اخیراً گزارش‌هایی حول مشاهده آثار ابررسانایی در دمای اتاق منتشر شده است. تعداد قابل توجهی از این گزارش‌ها آزمایش و شبیه‌سازی‌هایی روی مواد با ساختار نانو بوده است و نتایج هر گروه مربوط به دسته‌ای از خواص ابررساناها می‌باشد. از این بین تنها یکی از این گروه‌ها مدعی کشف ابررسانا در نزدیکی دمای اتاق شده است. از طرفی دیگر تایید کشف ابررسانایی در این موارد به معنی امکان به کارگیری این دستاورد در فناوری‌های مربوط نمی‌باشد، زیرا مشخصات هندسی ابررسانا نیز در کاربرد آن‌ها تعیین کننده می‌باشد. علاوه بر این در هر یک از موارد کاربرد یکی از خواص ابررساناها مورد نظر می‌باشد، لذا صرف کشف ابررسانایی در دمای اتاق به معنی قابلیت بکارگیری و تجاری‌سازی نمی‌باشد. با وجود این که ابررسانایی دمای اتاق بر پایه مواد نانو به طور قطعی تایید نشده است و در صورت تایید برآورد مالی مشخصی برای ساخت آن ارائه نشده است، با این حال احتمالاً امکان استفاده آن‌ها در مواردی محدود وجود دارد. دسترسی ساده و ارزان به نیتروژن مایع از یک طرف و دشواری فنی دسترسی فشارهای بالا از طرف دیگر موجب جلوگیری از ورود دیگر کشفیات این عرصه به بازار فناوری خواهد شد. به طور قطع کشفیات اخیر جامعه علمی گام‌های مهمی در عرصه ابررسانایی بوده است، ولی گام اصلی در ابررسانایی دمای اتاق زمانی برداشته می‌شود که ابررسانای سرامیکی جدید یا گونه‌ای جدید از ابررساناها در دمای اتاق کشف گردند.

کلید واژه‌ها : ابررسانایی، دمای اتاق، فشار اتاق، نانو ذرات، تغییر فاز، پذیرایی مغناطیسی.

فهرست مطالب

۶	۱ مقدمه
۶	۱.۱ تاریخچه
۸	۲.۱ فناوری نانو و پیشرفت علم
۱۰	۲ خواص الکتریکی و مغناطیسی ابررسانا
۱۴	۳ انواع ابررسانایی
۱۶	۴ ابررسانایی دمای بالا
۱۷	۵ ابررسانایی و بازار فناوری
۱۸	۶ ابررسانایی دمای اتاق
۲۳	۷ نتیجه گیری

فهرست تصاویر

- ۱.۱ هیکه کامرلینگ اونز (سمت راست) و گریت فلیم (سمت چپ)، رئیس متخصص فنی او،
دستگاه میعان هلیوم کامرلینگ اونز در آزمایشگاه لیدن، ۱۹۱۱. [۱] ۷
- ۲.۱ تغییرات مقاومت الکتریکی برای مواد ابررسانا (خط قرمز) و غیر ابررسانا (خط آبی) [۲] ۷
- ۱.۲ رویه بحرانی یک ابررسانای نوعی، محورها عبارت‌اند از دما، میدان مغناطیسی و جریان
الکتریکی. [۴] ۱۱
- ۲.۲ میدان مغناطیسی بحرانی (در دمای صفر کلوین) بر حسب دمای بحرانی (در غیاب میدان
مغناطیسی) برای ابررساناهای نوع ۱ [۷] ۱۱
- ۳.۲ اثر مایسنر، طرد میدان مغناطیسی از درون ابررسانا بعد از عبور از دمای گذار. [۵] ۱۱
- ۴.۲ تغییرات پذیرایی مغناطیسی بر حسب میدان خارجی برای مواد ابررسانا نوع ۱ (خط قرمز) و
ابررسانا نوع ۲ (خط آبی) [۳] ۱۲
- ۵.۲ تعلیق یک ابررسانای دمای بالا بر روی یک آهن‌ربا [۳] ۱۳
- ۱.۳ تغییر فاز ابررسانای نوع ۱ و نوع ۲، دو نقطه گذار برای ابررسانای نوع ۲ وجود دارد [۶] ۱۴
- ۲.۳ شکل‌گیری گردابه‌های جریان در فاز مخلوط ابررساناهای نوع ۲، نمودار چپ برای دمای
پایین‌تر (کوچک شدن نواحی نفوذ میدان مغناطیسی) و نمودار راست برای دمای بالاتر
(بزرگ شدن نواحی نفوذ میدان مغناطیسی) [۷] ۱۵
- ۳.۳ حبس خطوط مغناطیسی در ابررسانای نوع ۲ [۹] ۱۵
- ۱.۴ گاه‌شمار کشف ابررساناها و دمای بحرانی آن‌ها. خطوط مختلف مربوط به پایه ابررسانایی
می‌باشد [۳] ۱۶
- ۱.۶ طرد میدان مغناطیسی همزمان با خیس شدن گرافن توسط آلکان‌های مختلف (هگزان در بالا
و هپتان در پایین)، خط چین نشانگر زمان روشن شدن میدان مغناطیسی خارجی و فلش زمان
تزریق آلکان مذکور [۱۳] ۱۹

- ۲.۶ سمت چپ: نمودار تغییرات مقاومت الکتریکی بر حسب دما در میدان‌های مغناطیسی متفاوت برای یک نوار به ضخامت ۲۵ نانومتر از نانوذرات، سمت راست: نمودار تغییرات میدان مغناطیسی بحرانی بر حسب دما برای داده‌های نمودار سمت چپ [۱۴] ۱۹
- ۳.۶ تکرار الگوی اختلال در زیر دمای گذار [۱۵] ۲۰
- ۴.۶ رفتار مقاومت نمونه‌های مختلف لانتانوم هیدرید بر حسب دما، خط مشکی نمایانگر دمای اتاق است [۱۷] ۲۱
- ۵.۶ سمت چپ: رفتار مقاومت لانتانوم هیدرید بر حسب دما تحت اثر میدان مغناطیسی خارجی؛ سمت راست میدان مغناطیسی بحرانی لانتانوم هیدرید بر حسب دما (خطوط برون یابی با استفاده از رابطه جینزبرگ-لاندائو می باشند) [۱۷] ۲۱
- ۶.۶ تغییرات مقاومت نمونه لانتانوم هیدرید بر حسب دما، نقاط آبی مربوط به فرایند سرمایش و نقاط قرمز مربوط به فرایند گرمایش می باشند [۱۸] ۲۲

فصل ۱

مقدمه

۱.۱ تاریخچه

پدیده ابررسانایی اولین بار در ۸ آوریل ۱۹۱۱ توسط فیزیکدان هلندی، هیکه کامرلینگ اونز^۱ در دانشگاه لیدن مشاهده و گزارش شد (شکل ۱.۱) [۱]. این دانشمند که بر روی محفظه‌های دمای پایین کار می‌کرد سه سال قبل به کمک گریت فلیم^۲، رئیس متخصص فنی خود، موفق به میعان گاز هلیوم شده بود. او در حین بررسی خواص جیوه در دمای زیر ۴٫۲ کلوین (۲۶۹- درجه سانتی‌گراد)، متوجه افت ناگهانی مقاومت الکتریکی این عنصر شد. در عموم رساناها با کاهش دما رسانندگی به تدریج افت می‌کند و حتی در دماهای بسیار پایین به صفر نمی‌رسد. اما در ابررساناها، بعد از گذر از دمای خاصی که به آن دمای بحرانی^۳ می‌گویند، به دلیل تغییر فاز، ساختار نمونه تغییر می‌کند و خاصیت مذکور را در خود بروز می‌دهد (شکل ۲.۱). بعد از آن، ابررسانایی در عناصر متعددی و برخی ترکیبات آن‌ها نظیر قطع (کشف ۱۹۱۳، دمای بحرانی ۳٫۷۲ کلوین، ۲۶۸- درجه سانتی‌گراد)، آلومینیوم (کشف ۱۹۵۸، دمای بحرانی ۱٫۲ کلوین، ۲۷۲- درجه سانتی‌گراد) و نیوبیوم (کشف ۱۹۵۴، دمای بحرانی ۹٫۲۶، ۲۶۴- درجه سانتی‌گراد) نیز مشاهده شد. در سال ۱۹۵۷ تئوری ابررسانایی توسط سه دانشمند آمریکایی به نام‌های جان باردین^۴، رابرت شریفی^۵ و لئون کوپر^۶ تحت عنوان تئوری BSC مدل‌سازی و توجیح شد و با این کار جایزه نوبل سال ۱۹۷۲ را از آن خود کردند.

ابررسانایی مشاهده شده در عناصر و ترکیبات آن‌ها حول این عناصر منحصر به دماهای حول صفر کلوین است و تا سال ۱۹۸۶ گمان می‌رفت نظریه BCS مانع مشاهده پدیده ابررسانایی در دماهای بالاتر از ۳۰ کلوین (۲۴۳- درجه سانتی‌گراد) می‌شود. این امر موجب تصور برخی دانشمندان مبتنی بر بسته شدن پرونده ابررسانایی

^۱Heike Kamerlingh Onnes

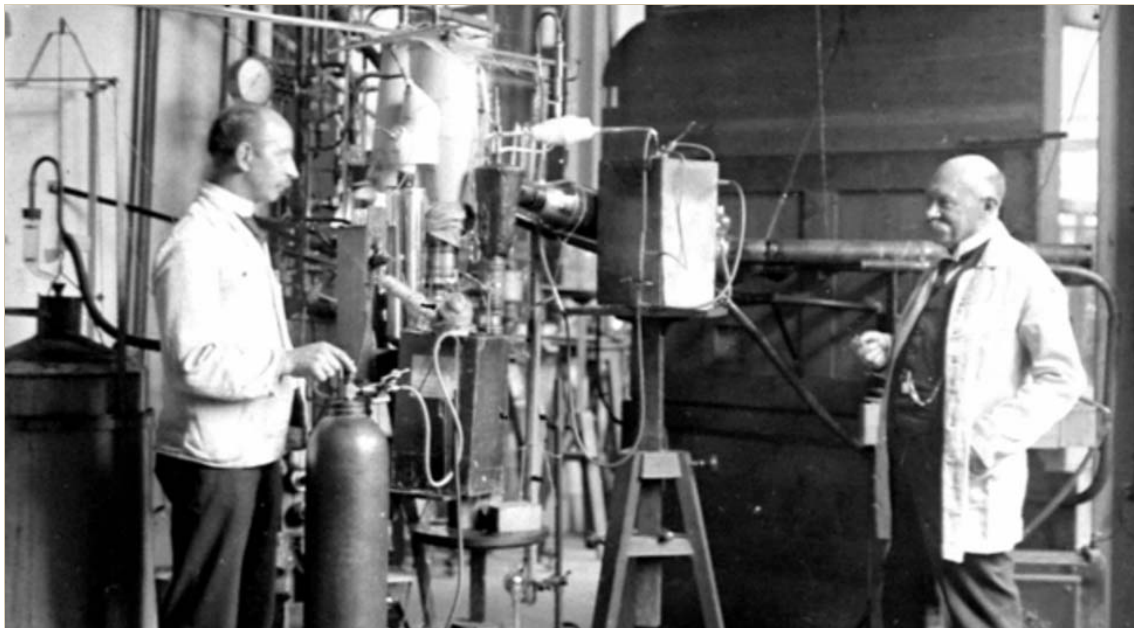
^۲Gerrit Flim

^۳Critical Temperature

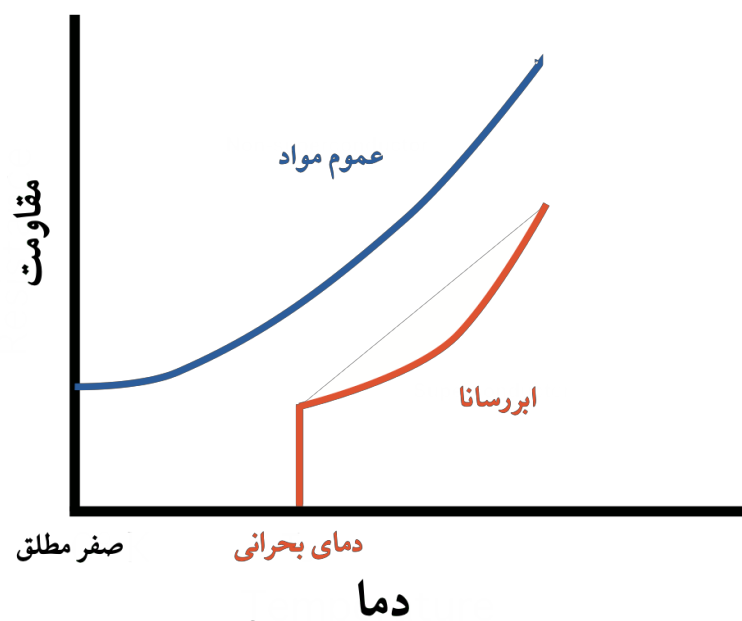
^۴John Bardeen

^۵Robert Schrieffer

^۶Leon Cooper



شکل ۱۰۱: هیکه کامرلینگ اونز (سمت راست) و گریت فلیم (سمت چپ)، رئیس متخصص فنی او، دستگاه میعان هلیوم کامرلینگ اونز در آزمایشگاه لیدن، ۱۹۱۱. [۱]



شکل ۲۰۱: تغییرات مقاومت الکتریکی برای مواد ابرسانا (خط قرمز) و غیر ابرسانا (خط آبی) [۲]

شد. اما در سال ۱۹۸۶ با مشاهده ابرسانایی در ترکیب لانتانیوم و مس، با دمای بحرانی ۳۵ کلوین (۲۳۷- درجه سانتی‌گراد)، جایزه نوبل سال ۱۹۸۷ را به خود اختصاص دادند تا باب جدیدی در این عرصه گشوده شود و دانشمندان را ترغیب کرد تا به تلاش برای کشف و تولید ابررسانا در دمای اتاق ادامه دهند. پس از آن ترکیبات بسیاری با خاصیت ابرسانایی کشف شده‌اند، از قبیل جایگذاری ایتريوم با لانتانوم در ترکیب قبل با دمای بحرانی ۹۲ کلوین (۱۸۱- درجه سانتی‌گراد) و ترکیبات سرامیکی که شامل عناصری مانند جیوه، باریوم، کلسیم، مس و اکسیژن که دمای بحرانی بین ۱۳۸-۱۳۳ کلوین (۱۴۰-۱۳۵- درجه سانتی‌گراد) دارند. تفاوت جالب توجه این ترکیبات با عناصر ابررسانا این است که اغلب این مواد در دمای اتاق دی‌الکتریک و نارسانا می‌باشند. لذا این فرض که ماده ابررسانا الزاما می‌بایست یک ماده رسانا باشد فرضی مردود می‌باشد. در سال ۲۰۰۸ خانواده ترکیبات یونی ابررساناها توسط هیدرو هوسونو^۷ کشف شد. بالاترین دمای بحرانی گزارش شده برای این دسته از ابررساناها ۵۵ کلوین (۲۱۸- درجه سانتی‌گراد) می‌باشد. در سال‌های اخیر دماهای بالاتر ابرسانایی بر پایه هیدروژن معرفی شده‌اند که تحت فشارهای بالا (مرتبه بزرگی ۱۰۰ گیگا پاسکال - ۱۰۰۰۰۰ اتمسفر) و دمای بحرانی ۲۰۳ کلوین (۷۰- درجه سانتی‌گراد) قابل ساخت می‌باشند. تاکنون ۶ جایزه نوبل برای تحقیق در زمینه ابرسانایی به ۱۵ دانشمند این عرصه اهدا شده است و تلاش دانشمندان در این عرصه همچنان ادامه دارد. دلیل دیگر علاقه دانشمندان، مهندسان و سرمایه‌گذاران به ابرسانایی کاربردهای فراوان و کلیدی آن در عرصه فناوری‌های پیشرفته مانند دستگاه ام آر آی^۸، قطارهای فوق سریع و مگنت‌های حبس پلاسما در توکاماک‌ها^۹ و شتاب‌دهنده‌های ذرات^{۱۰} و ساخت دستگاه اسکویید^{۱۱} و کوانتوم کامپیوترها^{۱۲} می‌باشد. تاکنون دو دسته ابررسانا کشف شده‌اند که به دسته اول ابرسانایی نوع ۱ و به دسته دوم ابرسانایی نوع ۲ می‌گویند. عموم عناصر ابررسانای نوع ۱ و ابرسانایی مشاهده شده در ترکیبات و برخی عناصر ابرسانایی نوع ۲ می‌باشد. در بخش‌های بعد به تفصیل به خواص ابررساناهای نوع ۱ و ۲ پرداخته خواهد شد [۳] [۸].

۲.۱ فناوری نانو و پیشرفت علم

فناوری نانو عبارت است از دست‌کاری و چینش مواد در ابعاد اتمی و مولکولی یا در ابعاد ۱۰۰-۱ نانومتر. از آن‌جا که در این ابعاد با خواص کوانتومی مواد رو به رو هستیم خواصی که مشاهده می‌کنیم مربوط به دنیای کوانتوم می‌باشد و در نتیجه عرصه پژوهشی نانو بررسی خواصی از ماده می‌باشد که در ابعاد مذکور بروز پیدا می‌کند. فناوری نانو یک عرصه بین رشته‌ای می‌باشد که در طیف گسترده‌ای از علوم و کاربردها حضور دارد، من جمله علم سطح، شیمی ارگانیک، بیولوژی مولکولی، فیزیک نیمه رسانا و مهندسی مولکولی. به دلیل گستردگی

^۷Hideo Hosono

^۸MRI: Magnetic Resonance Imaging

^۹Tokamak

^{۱۰}Particle Accelerator

^{۱۱}SQUID: Superconducting Quantum Interference Devices

^{۱۲}Quantum Computer

و تنوع کاربردهای این فناوری کشورهای مختلف سرمایه‌گذاری بزرگی در این عرصه کرده‌اند، برای نمونه در سال ۲۰۱۲ آمریکا ۳,۷ میلیارد دلار، اتحادیه اروپا ۱,۲ میلیارد دلار و ژاپن ۷۵۰ میلیون دلار در فناوری نانو سرمایه‌گذاری کرده‌اند. اولین ایده‌ها در زمینه فناوری نانو در سال ۱۹۵۹ توسط ریچارد فاینمن^{۱۳} در یکی از سخنرانی‌هایش مطرح شد. فناوری نانو در دهه ۱۹۸۰ شکل گرفت. از ابتدای دهه ۱۹۸۰ میلادی طراحی و ساخت ساختمان‌ها هر روزه شاهد نوآوری‌های جدیدی در زمینه مصالح کارآمدتر و پربازده‌تر در مقاومت، شکل‌پذیری، دوام و توانایی بیشتری نسبت به مصالح سنتی دارد. تحلیل گران بر این باورند که فناوری نانو، زیست فناوری^{۱۴} و فناوری اطلاعات و ارتباطات^{۱۵} سه قلمرو علمی هستند که انقلاب سوم صنعتی را شکل می‌دهند.

^{۱۳}Richard Feynman

^{۱۴}Biotechnology

^{۱۵}ICT: Information & Communication Technology

فصل ۲

خواص الکتریکی و مغناطیسی ابررسانا

در تئوری BCS پدیده ابررسانایی با معرفی زوج الکترون‌های کوپر مدل‌سازی می‌شود. بدین صورت که تمامی الکترون‌های موجود در لایه رسانش این ماده پس از گذار از دمای بحرانی وارد یک حالت تبهگن با انرژی پایین‌تر می‌شوند و به اصطلاح تشکیل زوج‌های کوپر^۱ می‌دهند. لازم به ذکر است ساز و کار تشکیل زوج‌های کوپر در ابررسانا متفاوت می‌باشد. تنها ساز و کار ارائه شده برهمکنش فونون-الکترون^۲ می‌باشد که توسط تئوری BCS قابل توجیح است، مانند ابررساناهای عناصر و پایه هیدروژن. به اصطلاح به این ابررساناها مرسوم^۳ می‌گویند. در مقابل ساز و کار تشکیل زوج‌های کوپر برای ابررساناهای سرامیکی (برای مثال پایه مس) مشخص نیست و اصطلاحاً به آن‌ها ابررسانای نامرسوم^۴ می‌گویند.

در این حالت هر الکترون با تمامی الکترون‌های دیگر لایه آخر در یک تراز انرژی قرار می‌گیرند و برهمکنش آن‌ها با هم حذف می‌شود. نتیجه این امر افت ناگهانی مقاومت و بروز پدیده ابررسانایی می‌باشد. هر عامل خارجی که موجب شکستن زوج‌های کوپر شود موجب از بین رفتن خاصیت ابررسانایی در ماده مورد نظر می‌شود. از جمله این عوامل می‌توان افزایش دما، افزایش جریان الکتریکی یا میدان مغناطیسی نام برد. لذا علاوه بر دمای بحرانی، یک میدان مغناطیسی بحرانی^۵ و یک جریان الکتریکی بحرانی^۶ نیز برای هر ماده ابررسانا می‌توان تعریف کرد (شکل‌های ۴.۲ و ۲.۲ و ۱.۲)

در الکترومغناطیس با فرض مقاومت صفر و حل معادلات ماکسول می‌توان خواص اولیه و جالب توجه ابررساناها پیش‌بینی کرد. اولین خاصیتی که با حل معادلات نتیجه می‌شود عدم وجود خطوط مغناطیسی در ابررسانا می‌باشد. به عبارت دیگر ابررسانا از ورود خطوط مغناطیسی درونش جلوگیری می‌کند که به اصطلاح به آن آنتی فرومغناطیس کامل می‌گویند. به این پدیده اثر مایسنر^۷ می‌گویند. این پیش‌بینی به سادگی و با انجام

^۱Cooper Pairs

^۲Electron-Phonon Interaction

^۳Conventional

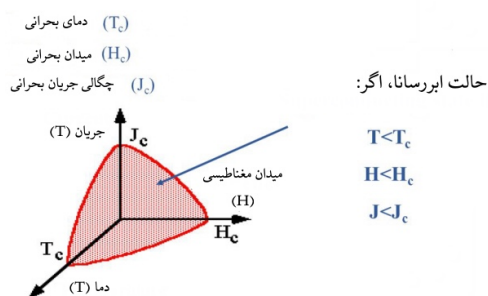
^۴Unconventional

^۵Critical Magnetic Field

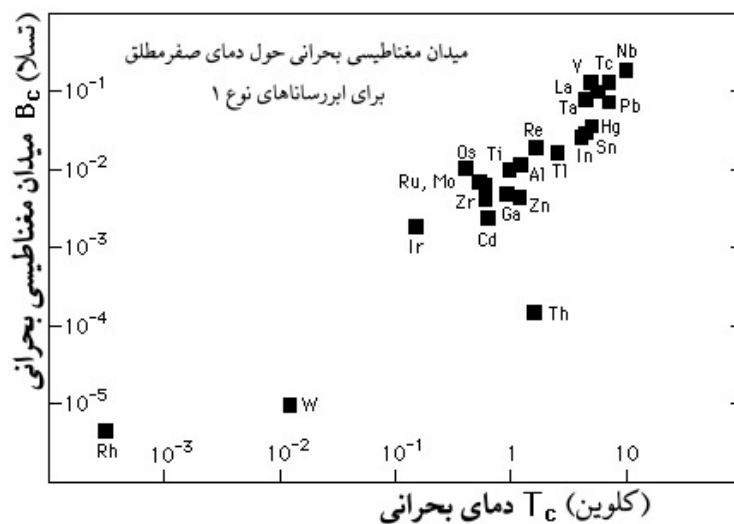
^۶Critical Electrical Current

^۷Meissner Effect

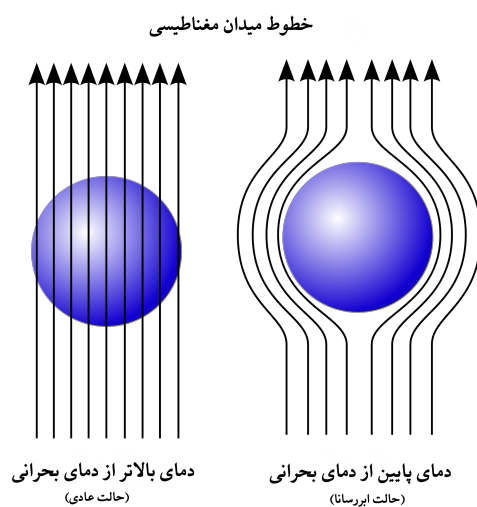
نمودار فاز ابررساناها



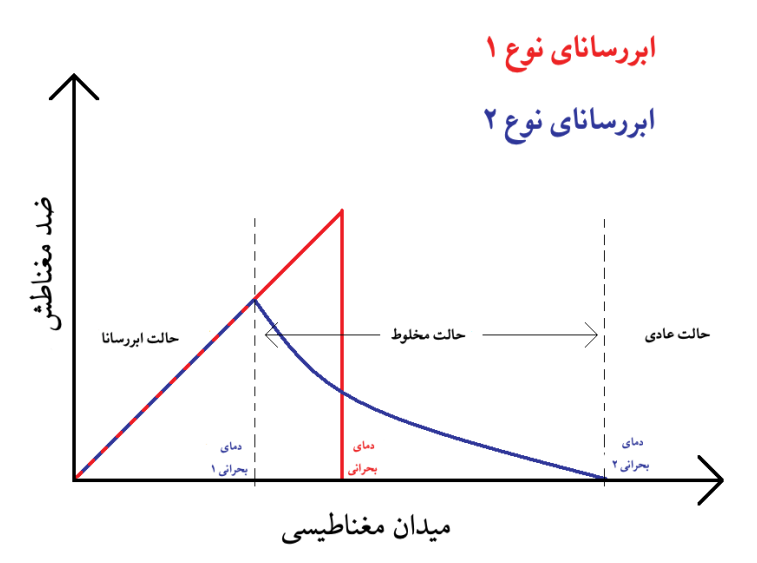
شکل ۱۰۲: رویه بحرانی یک ابررسانای نوعی، محورها عبارتند از دما، میدان مغناطیسی و جریان الکتریکی. [۴]



شکل ۲۰۲: میدان مغناطیسی بحرانی (در دمای صفر کلوین) بر حسب دمای بحرانی (در غیاب میدان مغناطیسی) برای ابررساناهای نوع ۱ [۷]

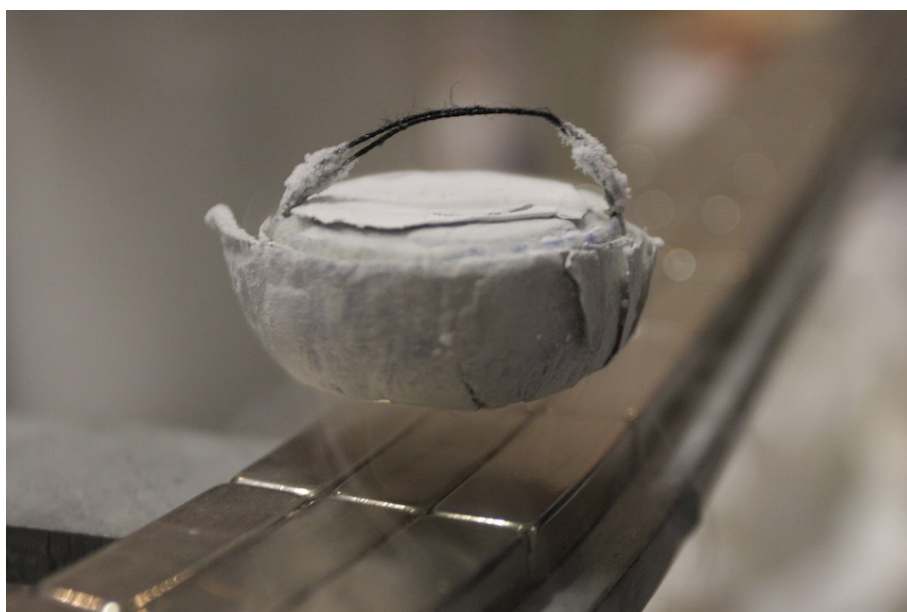


شکل ۳۰۲: اثر مایسنر، طرد میدان مغناطیسی از درون ابررسانا بعد از عبور از دمای گذار. [۵]



شکل ۴.۲: تغییرات پذیری مغناطیسی بر حسب میدان خارجی برای مواد ابرسانا نوع ۱ (خط قرمز) و ابرسانا نوع ۲ (خط آبی) [۳]

آزمایش تعلیق قابل صحنه‌گذاری می‌باشد. آزمایش تعلیق شامل یک آهن‌ربای قوی و یک قطعه ابرسانا می‌باشد. با قرار دادن ابرسانا بر روی آهن‌ربا یا زیر آن می‌توان تعلیق قطعه ابرسانا را مشاهده نمود (شکل ۵.۲). این خاصیت دلیل اصلی توجه به این مواد در ساخت قطارهای فوق سریع شده است. از طرف دیگر به دلیل طرد میدان مغناطیسی توسط ابرساناها، این ماده برای کنترل، تمرکز و شکل دادن به میدان‌های مغناطیسی قابل استفاده می‌باشد که در ساخت دستگاه ام آر آی، راکتورهای جوش هسته‌ای و شتاب دهنده‌های سنکرونی اهمیت بسزایی دارند [۸].



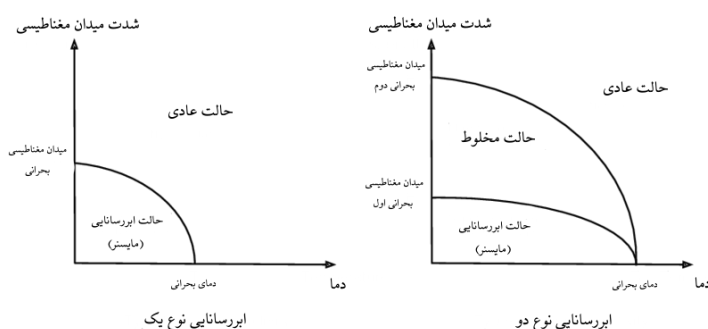
شکل ۵.۲: تعلیق یک ابررسانای دمای بالا بر روی یک آهنربا [۳]

فصل ۳

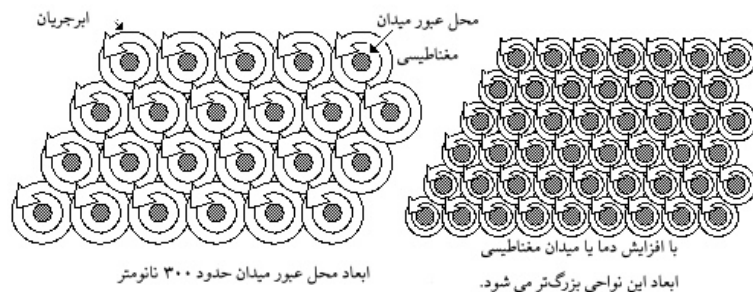
انواع ابرسانایی

همان طور که مطرح شد دو نوع ابرسانایی تاکنون کشف شده است. تفاوت ابرساناهای نوع ۱ و نوع ۲ تغییر فاز آن‌ها است، بدین صورت که در ابرساناهای نوع ۱ در دمای بحرانی تمامی خطوط مغناطیسی از ماده طرد شده و بعد از شکل گرفتن ابرسانا دیگر خطوط مغناطیسی در ابرسانا وجود نخواهند داشت. در طرف دیگر تغییر فاز ابرساناهای نوع ۲ در دو مرحله انجام می‌گیرد، در مرحله اول با وجود تشکیل ابرسانا (تشکیل زوج‌های کوپر) خطوط مغناطیسی به کلی از ماده طرد نشده و به صورت گروه‌هایی در نقاط محدودی از ماده باقی می‌مانند (شکل ۱.۳ و ۲.۳) و پس از عبور از نقطه بحرانی دوم آن خطوط نیز به کلی از ابرسانا حذف شده و مشابه ابرساناهای نوع ۱ می‌شوند.

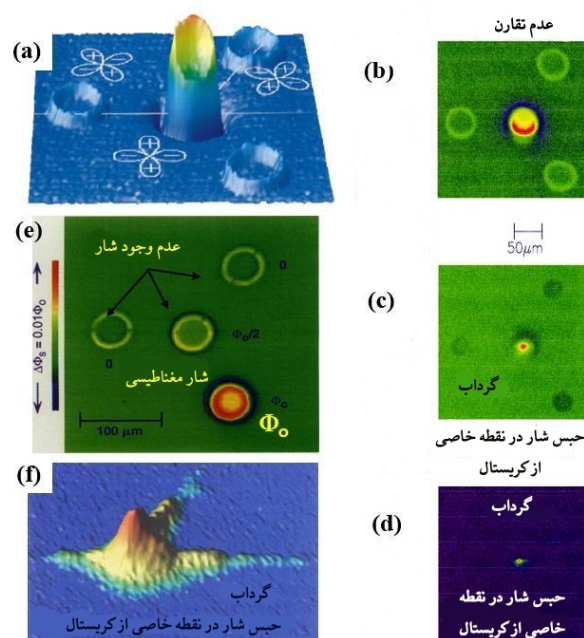
از پدیده‌های جالبی که در ابرساناهای نوع ۲ قابل مشاهده است ذره‌ای (کوانتومی) بودن میدان مغناطیسی می‌باشد، بدین معنا که میدان مغناطیسی از خطوط حقیقی که بسته‌های این میدان هستند تشکیل شده‌اند (شکل ۳.۳).



شکل ۱.۳: تغییر فاز ابرسانای نوع ۱ و نوع ۲، دو نقطه گذار برای ابرسانای نوع ۲ وجود دارد [۶]



شکل ۲.۳: شکل گیری گردابه‌های جریان در فاز مخلوط ابررساناهای نوع ۲، نمودار چپ برای دمای پایین‌تر (کوچک شدن نواحی نفوذ میدان مغناطیسی) و نمودار راست برای دمای بالاتر (بزرگ شدن نواحی نفوذ میدان مغناطیسی) [۷]



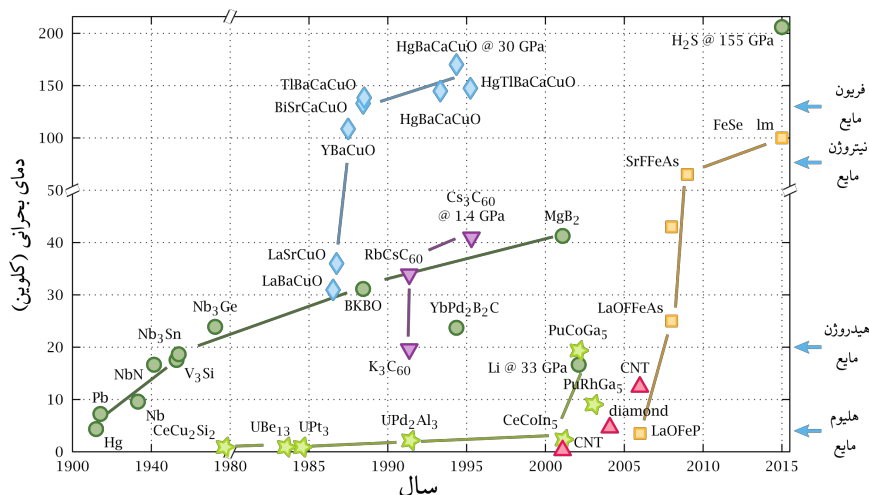
شکل ۳.۳: حبس خطوط مغناطیسی در ابررسانای نوع ۲ [۹]

فصل ۴

ابرسانایی دمای بالا

همان طور که ذکر شد ابرسانایی پدیده‌ای می‌باشد که در اثر به وجود آمدن نوعی نظم در انرژی‌های پایین (دمای پایین) در برخی مواد به وجود می‌آید و مشاهده این پدیده در دماهای بالا امری دشوار می‌باشد. ولی از آن جا که ترویج کاربردها و تجاری‌سازی ابرسانایی منوط به دسترسی آسان و بصره می‌باشد دانشمندان کماکان بدنبال یافت ترکیبات ابرسانا در دماهای بالاتر می‌باشند. اصطلاح ابرسانای دمای بالا به ابرسانا های بالای دمای ۳۰ کلوین اطلاق می‌شود. ترکیبات ابرسانایی دمای بالا بر اساس عناصر پایه به چند دسته تقسیم می‌شوند، آلیاژها (مانند آلیاژ نوبیوم و تیتانیوم)، سرامیک‌ها (مانند اکسید مس، آهن و منیزیم دی بورید) از این قبیل می‌باشند. ترکیبات ابرسانا به همراه دمای گذار و برخی دسته بندی‌ها در شکل ۱.۴ آمده است.

[۸]



شکل ۱.۴: گاه‌شمار کشف ابرساناها و دمای بحرانی آن‌ها. خطوط مختلف مربوط به پایه ابرسانایی می‌باشد [۳]

فصل ۵

ابرسیانایی و بازار فناوری

خواص ویژه ابررسیانایی نظیر مقاومت صفر و برهمکنش شدید آن‌ها با میدان مغناطیسی موجب کاربردهای کلیدی آن در عرصه‌های مختلف شده است. بر اساس گزارشات موجود بازار فناوری ابررسیانایی از ۳,۴ میلیارد دلار در سال ۲۰۱۶ به ۵,۳ میلیارد در سال ۲۰۲۱ خواهد رسید که رشد ترکیبی سالیانه ۹,۴٪ پیش‌بینی شده است [۱۰]. در گزارش دیگر ارزش بازار ابررسیانایی در سال ۲۰۱۷ را ۶,۱ میلیارد دلار تخمین زده‌اند و پیش‌بینی کرده‌اند با رشد ترکیبی سالیانه ۷,۵٪ ارزش این بازار به ۸,۸ میلیارد دلار خواهد رسید [۱۱]. گستردگی عرصه‌ها و کاربردهای ابررسیانایی شایسته تهیه گزارشی مجزا می‌باشد.

فصل ۶

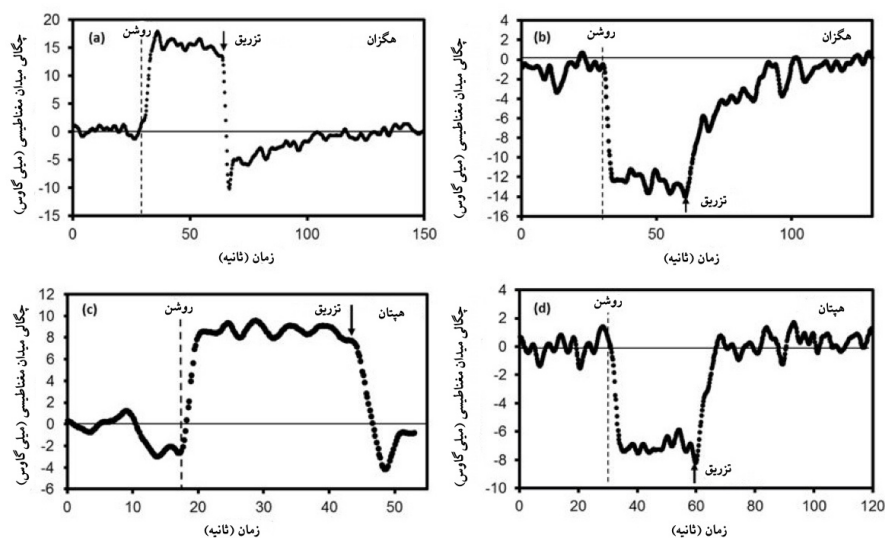
ابرسانایی دمای اتاق

از زمان کشف پدیده ابرسانایی، ابرسانایی دمای اتاق هدف بسیاری از دانشمندان و محققان این عرصه بوده است و تا به حال گروه‌های متعددی تلاش به کشف و ساخت ابرسانا در دمای اتاق نموده‌اند. تاکنون ۷ گروه مدعی مشاهده خواص ابرسانایی در مواد مختلف کرده‌اند.

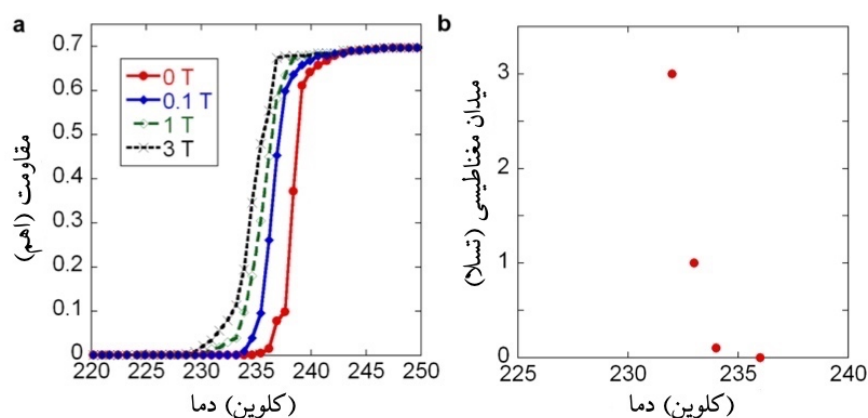
اولین گزارش مربوط به گروهی آلمانی بوده که کار خود را در قالب مقاله‌ای در سپتامبر ۲۰۱۷ منتشر کردند. تحقیقات این گروه بر روی ذرات گرافیت با اشکال خاص بوده که بر اساس محاسبات مستعد مشاهده این پدیده بوده است. نتایج حاصل در این کار حاکی از وجود شواهد ابرسانایی دو بعدی در سطوح خاص این ماده بوده که دمای گذار آن حدود ۳۵۰ کلوین (۷۷ درجه سانتی‌گراد) تقریب زده شده است. در نتایج این کار پیشنهاد شده است این نواحی به صورت دقیق‌تر بررسی گردد تا بتوان به آگاهی بهتری از سازوکار این مشاهده دست یافت [۱۲].

گزارش دوم مربوط به گروهی ژاپنی می‌باشد که نتایج کار خود را در ژانویه ۲۰۱۸ اعلام نموده‌اند. این گروه بر روی خواص مغناطیسی گرافن تک لایه‌ای در تماس با آلکان کار کرده‌اند و گزارش کرده‌اند که گرافن تک لایه‌ای که توسط آلکانی خیس شود میدان مغناطیسی را از خود دفع می‌کند و مدعی شده‌اند که این پدیده مصداق پدیده مایسنر (دفع میدان مغناطیسی توسط ابرسانا) در دمای اتاق می‌باشد. از آنجا که آزمایش روی گرافن تک لایه‌ای انجام شده است این گزارش نیز مربوط به ابرسانایی دو بعدی می‌باشد. آلکان‌های بکار گرفته شده در این کار هپتان و هگزان می‌باشند (شکل ۱۰۶) [۱۳].

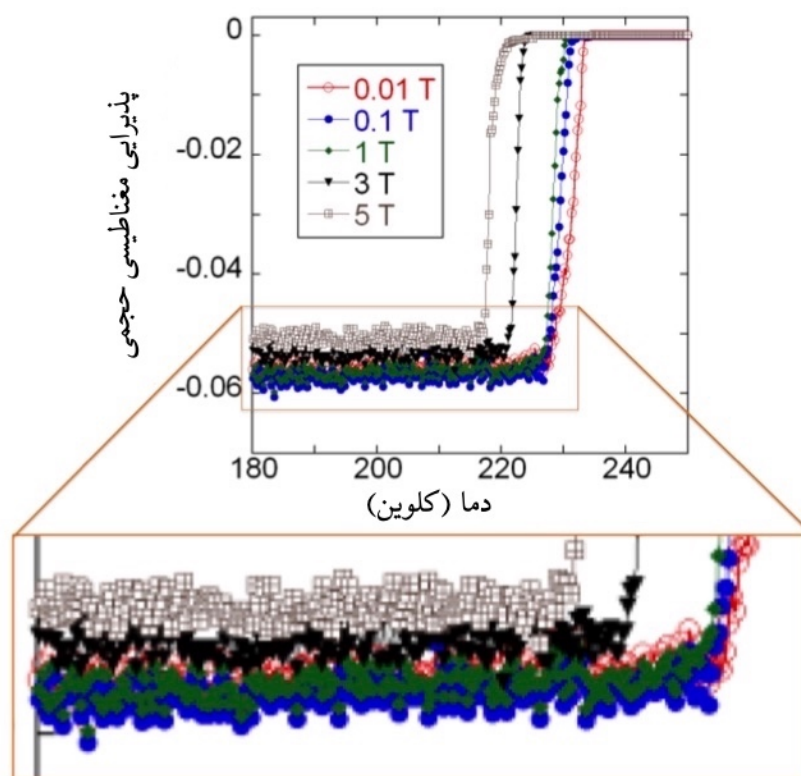
گزارش سوم مربوط به گروهی هندی می‌باشد که نتایج کار خود را در جوئن ۲۰۱۸ اعلام نمودند. این گروه روی خواص الکتریکی و مغناطیسی نانوذرات نقره محفوظ در ماتریسی از طلا کار کرده‌اند و مدعی مشاهده تغییر فاز در خواص الکتریکی و مغناطیسی این ذرات شده‌اند. دمای بحرانی این تغییر فاز ۲۳۶ کلوین (۳۷- درجه سانتی‌گراد) گزارش شده است که مقاومت بعد از تغییر فاز به زیر 10^{-4} اهم افت می‌کند که این عدد محدودیت دقت اندازه‌گیری دستگاه‌های آن‌ها گزارش شده است (شکل ۲۰۶) [۱۴].



شکل ۱.۶: طرد میدان مغناطیسی همزمان با خیس شدن گرافن توسط آلکان‌های مختلف (هگزان در بالا و هپتان در پایین)، خط چین نشانگر زمان روشن شدن میدان مغناطیسی خارجی و فلش زمان تزریق آلکان مذکور [۱۳]



شکل ۲.۶: سمت چپ: نمودار تغییرات مقاومت الکتریکی بر حسب دما در میدان‌های مغناطیسی متفاوت برای یک نوار به ضخامت ۲۵ نانومتر از نانوذرات، سمت راست: نمودار تغییرات میدان مغناطیسی بحرانی بر حسب دما برای داده‌های نمودار سمت چپ [۱۴]



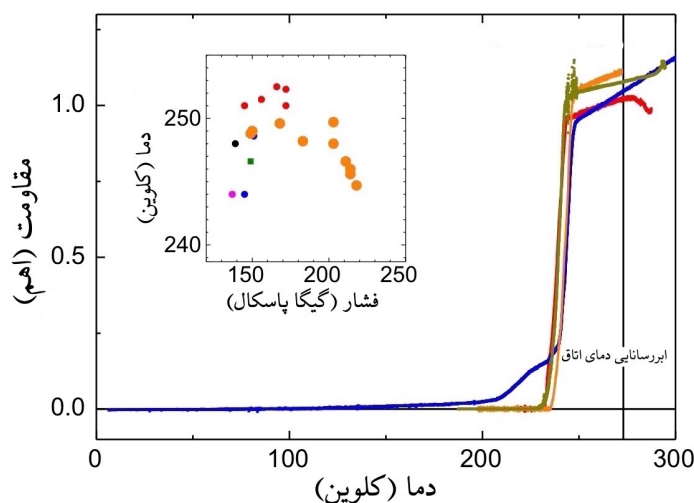
شکل ۳.۶: تکرار الگوی اختلال در زیر دمای گذار [۱۵]

از آن جا که نمودار تغییرات میدان مغناطیسی بحرانی برحسب دما در این نمونه با ابررساناهای نوع ۱ و ۲ متفاوت می باشد (شکل ۱.۳) به نظر می رسد در صورت تایید ادعای این پژوهش، گروه جدیدی از ابررساناها می بایست معرفی شوند.

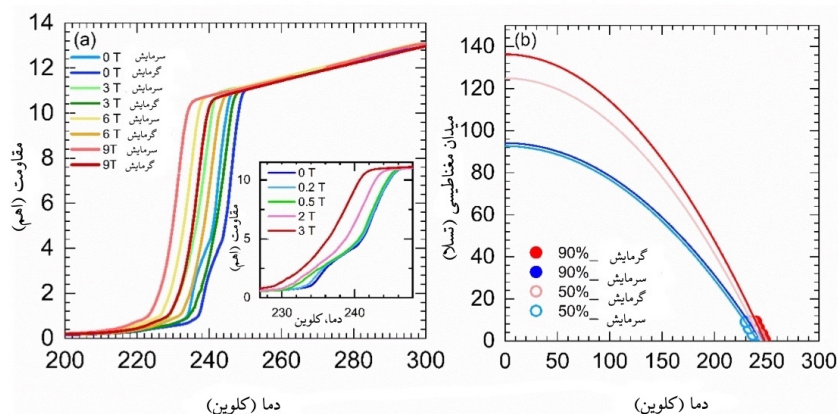
در مورد این گزارش بحث هایی مطرح است که ممکن از نتایج این کار را زیر سوال ببرد، مورد اصلی تکرار الگوی اختلال مربوط به دو میدان مغناطیسی متفاوت در نمودار پذیرایی مغناطیسی بر حسب دما می باشد. از آن جا که انتظار داریم الگوی اختلال ها کاملاً تصادفی باشد این تکرار الگو مطلوب نمی باشد (شکل ۳.۶) [۱۵].

در گزارش های دیگری که در این زمینه ارائه گشته است از روش ها و تئوری های متداول ابررسانایی و به همین دلیل در جامعه علمی با استقبال بیشتری روبه رو شده است. رویه به کار گرفته شده در این سه گزارش پیش بینی های قبلی دانشمندان مبتنی بر احتمال مشاهده این پدیده در ترکیبات هیدروژن دار بوده است. ساز و کار ابررسانایی در این مواد مقتضی فشار زیاد می باشد. گزارش اول که در ژانویه ۲۰۱۹ منتشر شده است صرفاً محاسبه و شبیه سازی در دو ترکیب یتریوم هیدرید می باشد که دمای گذار برای یکی ۲۹۰ کلوین (۱۷ درجه سانتی گراد) و برای دیگری ۳۱۰ کلوین (۳۷ درجه سانتی گراد) در فشار ۳۰۰ گیگا پاسکال می باشد [۱۶].

گزارش دوم در دسامبر ۲۰۱۸ منتشر شده است و تنها ادعای مشاهده کامل پدیده ابررسانایی در دمای اتاق می باشد. این پژوهش بر ترکیب لانتانوم هیدرید انجام شده و نتایج شبیه سازی و آزمایش ها حاکی از مشاهده این پدیده در دمای ۲۵۰ کلوین (۲۳- سانتی گراد) در فشار ۱۷۰ گیگا پاسکال می باشند. این دستاورد پرشی به

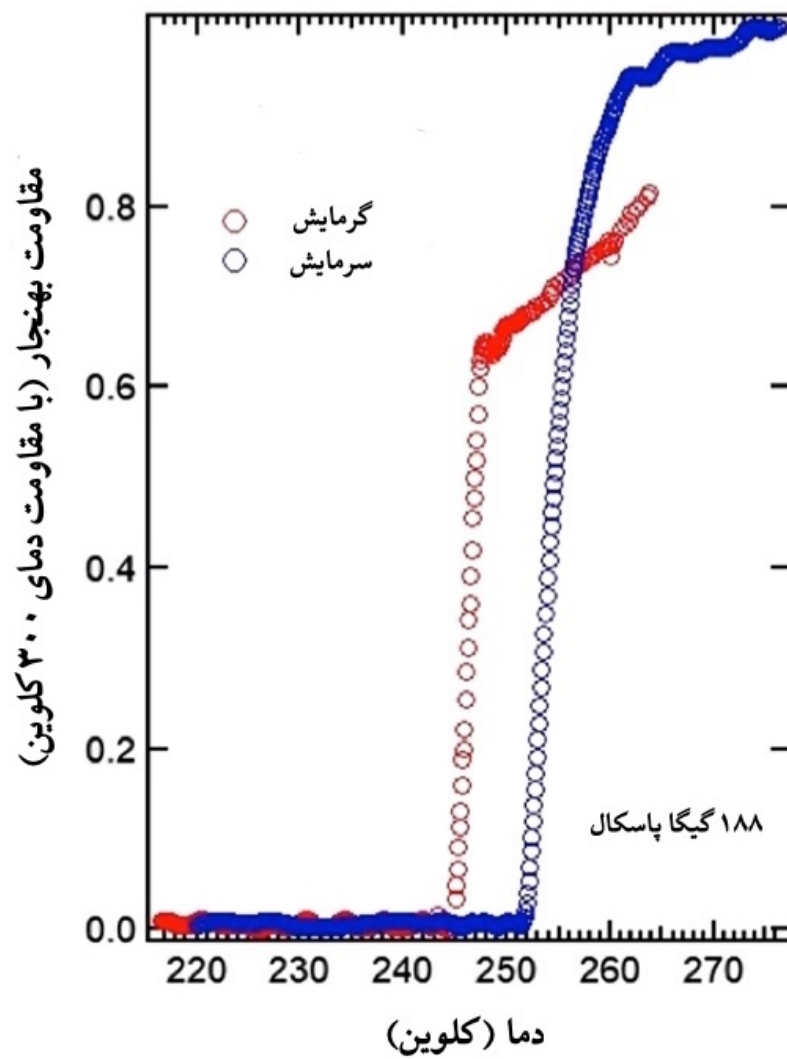


شکل ۴.۶: رفتار مقاومت نمونه‌های مختلف لانتانوم هیدرید بر حسب دما، خط مشکی نمایان گر دمای اتاق است [۱۷]



شکل ۵.۶: سمت چپ: رفتار مقاومت لانتانوم هیدرید بر حسب دما تحت اثر میدان مغناطیسی خارجی؛ سمت راست میدان مغناطیسی بحرانی لانتانوم هیدرید بر حسب دما (خطوط برون یابی با استفاده از رابطه جینزبرگ-لانداو می باشند) [۱۷]

اندازه ۵۰ کلین در این رده از ابررساناهای پایه هیدروژن می باشد (شکل ۴.۶ و ۵.۶) [۱۷]. گزارش سوم روی نمونه‌هایی مشابه پژوهش قبل (ترکیب لانتانوم و هیدروژن) انجام شده است و با وجود تفاوت اندک جزئیات نتایج آن‌ها کار آن‌ها تاییدی بر ابررسانایی در این مواد می باشد و از این حیث می توان این دو گزارش را جدی ترین قدم‌ها در مسیر ابررسانایی دمای اتاق تلقی کرد (شکل ۶.۶) [۱۸]. در کنار این گزارش‌ها در جامعه علمی، یک ثبت اختراع نیز توسط نیروی دریایی آمریکا در فوریه ۲۰۱۹ ثبت شده است که ادعا کرده است با استفاده از القای پیزوالکتریک به ابررسانایی دمای اتاق دست یافته‌اند. از آن‌جا که جزئیات در این اختراع ارائه نشده است و از حیث فنی توضیح داده نشده است استقبالی از طرف جامعه علمی دریافت نکرده است و نمی توان نظری در مورد صحت و سقم این مورد گزارش داد [۱۹].



شکل ۶.۶: تغییرات مقاومت نمونه لانتانوم هیدرید بر حسب دما، نقاط آبی مربوط به فرایند سرمایش و نقاط قرمز مربوط به فرایند گرمایش می باشند [۱۸]

فصل ۷

نتیجه گیری

با توجه به برآورد اقتصادی قابل توجه بازار ابرسانایی، این عرصه از نامزدهای توجه برای سرمایه‌گذاری‌های علمی فناوری پیش رو می‌باشد. ولی از آن جا که فناوری‌های موجود منوط به کار در دماهای پایین (و در برخی موارد فشارهای بالا) می‌باشد و فناوری‌های پیشرفته دیگر پیشنهاد آن می‌باشد ورود مستقیم به بازار آن هم با چالش‌های مالی و هم زمانی رو به رو خواهد بود.

با کارهایی که اخیراً در این عرصه انجام شده است احتمال دارد با سرمایه‌گذاری بر ابرسانای پایه نانوذرات بتوان پیشنهادها و فناوری‌های مربوط را نادیده گرفت و از مسیر سریع‌تر و کم هزینه‌تری به محصولاتی که این فناوری به ارمغان می‌آورد دست پیدا کرد. از طرفی دیگر تایید کشف ابرسانایی در موارد بالا به معنی امکان به کارگیری این دستاورد در فناوری‌های مربوط نمی‌باشد، زیرا مشخصات هندسی ابرسانا تعیین کننده کاربردهای آن می‌باشد، به طور مثال ابرسانای در یک و دو بعد در شتاب‌دهنده‌ها و دستگاه‌های ام‌آر‌آی کاربردی نیستند. علاوه بر این در هر یک از موارد کاربرد ابرساناها یکی از خواص این مواد مورد نظر می‌باشد، برای مثال در شتاب‌دهنده‌ها عدم اتلاف جریان و در قطارهای فوق سریع قابلیت دفع میدان مغناطیسی توجه مهندسان و طراحان را به خود جلب کرده است، لذا صرف کشف ابرسانایی دمای اتاق در نانو ذرات و گرافن به معنی قابلیت بکارگیری و تجاری‌سازی نمی‌باشد ولی در صورت تکرار نتایج و تایید قطعی آن‌ها امکان بکارگیری آن‌ها در مواردی محدود وجود دارد.

کشف ابرسانای دمای اتاق در ترکیبات هیدروژنی نیز به معنی ورود آن‌ها به مصارف علمی و تجاری نمی‌باشد، زیرا این ابرسانایی تحت فشار بسیار بالا بدست می‌آید و قابلیت رقابت با ابرساناهایی که در فشار اتاق و با نیتروژن مایع در دسترس هستند نمی‌باشد. با وجود اهمیت بالای علمی این کشف پیش‌بینی نمی‌شود کشفیات بعدی در این مسیر نیز قابلیت رقابت با ابرساناهایی حاضر در صنعت و علم را نخواهند داشت، زیرا از لحاظ تئوری بروز این پدیده در مواد هیدریدی ملزم به فشارهای بالا می‌باشد.

در مجموع به دلیل دسترسی ساده و ارزان به نیتروژن مایع، تلاش‌ها و دستاوردهای حال حاضر در عرصه ابرسانایی را صرفاً پیشروی علمی دانست ولی امکان تغییر این منوال وجود دارد؛ به طور مثال در صورت کشف

گونه‌های جدیدی از ابررساناهای سرامیکی در دمای بالاتر؛ زیرا این ابررساناهای نامرسوم نیازی به فشار مضاعف ندارند و به سادگی می‌توانند با ابررساناهای موجود رقابت کنند.

کتاب نامه

- [۱] Dirk van Delft; Peter Kes: The Discovery of Superconductivity, Physics Today, 2010
- [۲] Questions & Answers in MRI: <http://mriquestions.com/superconductivity.html>
- [۳] Wikipedia: <https://en.wikipedia.org/wiki/Superconductivity>
- [۴] 3D Complex Numbers: <http://3dcomplexnumbers.net/2017/02/18/cern-stuff-on-super-conductivity-and-a-primer-on-the-general-theorem-of-pythagoras/>
- [۵] Wikipedia: https://en.wikipedia.org/wiki/Meissner_effect
- [۶] Irwin Yousept: Optimal Control of Non-Smooth Hyperbolic Evolution Maxwell Equations in Type-II Superconductivity, SIAM J. Control Optim., 55(4), 2305–2332. 2017
- [۷] Hyper Physics: <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/Solids/scbc.html>
- [۸] Wikipedia: <https://fa.wikipedia.org/wiki/ابرسانایی>
- [۹] Hyun-Tak Kim: High-Tc mechanism through analysis of diverging effective mass for $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{6+x}$ and pairing symmetry in cuprate superconductors; 2017
- [۱۰] Research & Markets: <https://www.researchandmarkets.com/research/wnczkj/global?w=12>
- [۱۱] Research & Markets: <https://www.researchandmarkets.com/research/6pdjj9/superconductors>
- [۱۲] Pablo D. Esquinazi et al: Evidence for room temperature superconductivity at graphite interfaces
- [۱۳] Yasushi Kawashima: Observation of the Meissner effect at room temperature in single-layer graphene brought into contact with alkanes

- [१५] Dev. Kumar Thapa; Anshu. Pandey: Evidence for Superconductivity at Ambient Temperature and Pressure in Nanostructures
- [१६] Brian Skinner: Repeated noise pattern in the data of arXiv:1807.08572, “Evidence for Superconductivity at Ambient Temperature and Pressure in Nanostructures”
- [१७] Christoph Heil, Simone di Cataldo: Superconductivity in sodalite-like yttrium hydride clathrates.
- [१८] A. P. Drozdov, P. P. Kong, V. S. Minkov: Superconductivity at 250 K in lanthanum hydride under high pressures.
- [१९] Maddury Somayazulu, Muhtar Ahart, Ajay K. Mishra: Evidence for Superconductivity above 260 K in Lanthanum Superhydride at Megabar Pressures.
- [२०] S. C. Pais: Piezoelectricity-induced Room Temperature Superconductor; United States, Patent Application Publication.