

سورة التين

١٠٦٣

مرکز اطلاعات درک عملی بزرگ  
تسبیح درک



دانشگاه سیستان و بلوچستان

تحصیلات تکمیلی

۱۳۸۲ / ۵ / ۳۰

پایان نامه کارشناسی ارشد فیزیک کاربردی

مطالعه آثار مغناطوتنگش در آلیاژ

$\text{Pr}_6\text{Fe}_{11}\text{Ga}_3$

استاد راهنما:

دکتر ناصر تجبر

استاد مشاور:

محمد گشتاسبی راد

تحقیق و نگارش:

امیر علوی

خرداد ۱۳۸۲

۴۹۰۱۷

بِسْمِ اللّٰهِ الرَّحْمٰنِ الرَّحِیْمِ

**صفحه الف**

این پایان نامه با عنوان **مطالعه آثار مغناطونگش در آلیاژ  $Pr_7Fe_{11}Ga_3$**  قسمتی از برنامه آموزشی دوره کارشناسی ارشد فیزیک گرایش حالت جامد توسط دانشجو **امیر علوی** تحت راهنمایی استناد پایان نامه آقای **دکتر ناصر تجبر** تهیه شده است. استفاده از مطالب آن بمنظور اهداف آموزشی با ذکر مرجع و اطلاع کتبی به حوزه تحصیلات تکمیلی دانشگاه سیستان و بلوچستان مجاز می باشد.

امضاء دانشجو

این پایان نامه  $\frac{7}{10}$  واحد درسی شناخته می شود و در تاریخ ۸۷/۰۳/۰۸ **شش** توسط هیئت داوران بررسی و نمره **بسیار خوب** با درجه عالی ..... به آن تعلق گرفت.

نام و نام خانوادگی	امضاء	تاریخ
۱- استاد راهنما: <b>دکتر ناصر تجبر</b>		۸۷/۰۳/۰۸
۲- استاد مشاور: <b>دکتر محمد گشتاسبی راد</b>		۸۷/۰۳/۰۸
۳- داور ۱: <b>دکتر محمود ذوالفقاری</b>		
۴- داور ۲: <b>دکتر محمد مهدی مهرانچا</b>		۸۷/۰۳/۰۸
۵- تحصیلات تکمیلی: <b>دکتر محمد نبیا گرگیج</b>		

## چکیده

در این تحقیق خواص مغناطی و الاستیکی آلیاژ  $\text{Pr}_7\text{Fe}_{11}\text{Ga}_3$  و نیز اثر گرمادهی نمونه بر این خواص برای اولین بار اندازه گیری و مطالعه شده است. امروزه آلیاژهای ساخته شده از عناصر خاکی نادر و عناصر واسط، بهترین ترکیبات برای تهیه آهنرباهای دائمی شناخته می شوند. ترکیبات  $\text{RE}_7\text{Fe}_{14}\text{B}$  (RE نماینده عناصر خاکی نادر)، جدیدترین خانواده از این نوع هستند که در مراجع علمی با علامت اختصاری ۱-۱۴-۲ نمایش داده می شوند. تحقیقات انجام شده نشان داده اند که ناخالص سازی این ترکیبات با عناصر غیرمغناطیسی، مثل Al، Si، Ga و ...، باعث تغییر محسوس خواص فیزیکی این قبیل آهنرباها می شود، که از آن جمله می توان به بهبود واگردانی مغناطیسی و استحکام مکانیکی اشاره کرد. معلوم شده است که این مهم عمدتاً از طریق تشکیل فاز فرعی  $\text{RE}_7\text{Fe}_{14-x}\text{M}_x$  (M  $\equiv$  Ga یا Si یا Al) در نمونه های ناخالص شده ۱-۱۴-۲ حاصل می شود. با توجه به خواص فیزیکی بسیار متنوع فازهای فرعی  $\text{RE}_7\text{Fe}_{14-x}\text{M}_x$  که می تواند تغییر قابل ملاحظه ویژگیهای فیزیکی آهنرباهای ۱-۱۴-۲ را به همراه داشته باشد، لذا مطالعه خواص فیزیکی آنها به موازات اهمیت یافتن روز افزون آلیاژهای ۱-۱۴-۲ مورد توجه محققان مغناطیس بوده است. همچنین، ساختار بلوری و اسپینی ویژه آلیاژهای  $\text{RE}_7\text{Fe}_{14-x}\text{M}_x$ ، زمینه مناسبی را برای مطالعه برهم کنشهای مغناطیسی فراهم می آورد، که توجه خاص فیزیکدانان به این آلیاژها را به همراه داشته است. علاوه بر دو مورد بالا، امکان استفاده از آلیاژهای  $\text{RE}_7\text{Fe}_{14-x}\text{M}_x$  به عنوان نگه دارنده هیدروژن، باعث اهمیت آنها در زمینه فن آوری شده است. ویژگیهای یاد شده انگیزه انتخاب آلیاژ  $\text{Pr}_7\text{Fe}_{11}\text{Ga}_3$  در تحقیق حاضر بوده است. آلیاژ  $\text{Pr}_7\text{Fe}_{11}\text{Ga}_3$  از طریق ذوب مخلوط عناصر اولیه در یک کوره القایی ساخته شد. برای مطالعه اثر گرمادهی، بخشی از آلیاژ اولیه در حضور گاز آرگون درون یک کپسول کوارتز محبوس و در دمای  $600^\circ\text{C}$  به مدت هشت روز گرمادهی شد. ریزساختار نمونه ها توسط میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) و ساختار بلوری آنها به وسیله پراش پرتو X بررسی شد. انبساط گرمایی و مغناطوتنگش نمونه ها در بازه دمایی ۷۷ تا ۳۰۰ کلوین و در حضور میدانهای مغناطیسی به بزرگی تا ۱,۵ T با استفاده از پیمانه کرنشی اندازه گیری شد. مغناطومقاومت و رسانندگی الکتریکی نیز به روش چار اتصالی اندازه گیری شد.

یک

نتایج پراش پرتو X نشان داد که هر دو نمونه تا حد مطلوبی از یک فاز  $\text{Pr}_7\text{Fe}_{11}\text{Ga}_3$  تشکیل شده- اند، و اندازه بلورکها در نمونه گرمادهی شده به مراتب بزرگتر از نمونه اصلی است. تصاویر میکروسکوپ الکترونی نیز نتیجه اخیر را تأیید می کنند.

در نمونه بازپخت نشده  $\text{Pr}_7\text{Fe}_{11}\text{Ga}_3$  در ناحیه دماهای پایین، با اعمال میدانهای کوچک به علت قفل شدگی دیواره حوزه های مغناطیسی، تغییر بعد دیده نمی شود. ولی با افزایش میدان به مقادیر بزرگتر از میدان ناهمسانگردی، نمونه مغناطیده شده و تغییر بعد می دهد. مغناطوتنگش در میدان ثابت، در میدانهای ضعیف تقریباً صفر است و با افزایش دما در میدان ثابت، تأثیر میدان محسوس می شود، به نحوی که در حدود  $130\text{K}$ ، مغناطوتنگش از یک بیشینه پهن می گذرد.

در نمونه بازپخت شده، در ناحیه دماهای پایین، اندازه مغناطوتنگش ناهمسانگرد با افزایش میدان خارجی کاهش می یابد و در حدود دمای  $250\text{K}$  از صفر می گذرد. در دماهای بالاتر از این دما، مغناطوتنگش ناهمسانگرد با افزایش میدان خارجی افزایش می یابد. اندازه نسبتاً کوچک مغناطوتنگش واداشته در دماهای پایین ناشی از قفل شدگی بسیار قوی دیواره حوزه های مغناطیسی است. منشاء میکروسکوپیکی این قفل شدگی ناهمسانگردی مغناطوبلوری نسبتاً بزرگ زیر شبکه Pr است که با افزایش دما به سرعت کاهش می یابد. همین عامل باعث تغییر شیب منحنی مغناطوتنگش بر حسب دما در دمایی کمتر از  $200\text{K}$  می شود، که دمای تغییر شیب تابعی از شدت میدان خارجی است.

انبساط گرمایی آلیاژ  $\text{Pr}_7\text{Fe}_{11}\text{Ga}_3$  نشان می دهد که ایجاد نظم مغناطیسی در دماهای کمتر از دمای کوری توأم با مغناطوتنگش خودبه خودی حجمی محسوسی است. با کاهش دما تا حدود  $130$  درجه زیر دمای کوری، مغناطوتنگش حجمی در دو مرحله به طور چشمگیری افزایش می یابد که ناشی از افزایش مغناطوتنگش نمونه با کاهش دماست.

مجموعه این نتایج نشان می دهند که تشکیل فاز  $\text{Pr}_7\text{Fe}_{11}\text{Ga}_3$  در یک آهنربای ۱-۱۴-۲ آلائیده شده با Ga می تواند ویژگیهای مغناطوالاستیکی آن آهنربا را تغییر دهد.

تقدیم به حضرت دوست که به من توان آموختن داد.

تقدیم به پدر و مادر عزیزم که در همه مراحل زندگی پشتیبان من هستند.

تقدیم به همسر عزیزم که همیشه یار و یاور من است.

تقدیم به خواهر و برادر عزیزم که دوستشان دارم.

## با تشکر از

جناب آقای دکتر ناصر تجبر که سرپرستی این پایان نامه را به عهده گرفتند و در همه مراحل انجام آن مرا از راهنمایی های خود بهره مند ساختند.

جناب آقای دکتر محمدرضا علی نژاد و جناب آقای دکتر احمد امیرآبادی زاده که صمیمانه تجربیات خود را در اختیار من قرار دادند.

فصل اول: مفاهیم بنیادی.....	۱
مقدمه.....	۲
میدان مغناطیسی.....	۲
میدان القای مغناطیسی.....	۲
میدان مغناطیسی بر حسب چگالی جریان.....	۳
میدان دو قطبی مغناطیسی.....	۵
انرژی و نیروی موثر بر توزیع جریان جایگزیده در یک میدان القای مغناطیسی خارجی.....	۹
مغناطش.....	۱۱
ارتباط بین میدانهای مغناطیسی $H$ ، $B$ و مغناطش $M$ .....	۱۲
مغناطش اشباعی.....	۱۲
کوانتس.....	۱۳
برهم کنش کولنی و انرژی تبادل.....	۱۵
برهم کنش اسپین - مدار.....	۱۷
برهم کنش ابرتبادل.....	۱۸
فصل دوم: خواص مغناطیسی مواد.....	۱۹
مقدمه.....	۲۰
قانون کوری.....	۲۰



تراوانی و پذیرفتاری.....	۲۲
مواد مغناطیسی.....	۲۲
مواد فرومغناطیس.....	۲۲
مواد پارامغناطیس.....	۲۷
مواد دیامغناطیس.....	۲۸
مواد پادفرومغناطیس.....	۲۸
مواد فری مغناطیس.....	۲۹
حوزه‌های مغناطیسی.....	۲۹
حرکت دیواره حوزه‌های مغناطیسی در اثر اعمال میدان.....	۳۲
ناهمسانگردی و انواع آن.....	۳۳
انواع ناهمسانگردی.....	۳۳
ناهمسانگردی در بلور مکعبی.....	۳۴
ناهمسانگردی در بلور شش گوشه.....	۳۹
منشأ فیزیکی ناهمسانگردی بلوری.....	۴۰
روشهای اندازه گیری ناهمسانگردی.....	۴۱
روش محاسبه ناهمسانگردی با استفاده از منحنی مغناطش.....	۴۲
ناهمسانگردی شکل.....	۴۶
ناهمسانگردی ترکیبی.....	۴۹
فرایند مغناطیس شدگی.....	۵۱

اعمال میدان در یک جهت دلخواه بر ماده‌ای با یک محور آسان.....	۵۳
مغناطش در میدانهای ضعیف.....	۵۵
مغناطش در میدانهای قوی.....	۵۷
<b>فصل سوم: روشهای تجربی.....</b>	۵۸
مقدمه.....	۵۹
آثار تغییر مغناطش.....	۵۹
مغناطوتنگش حجمی.....	۵۹
مغناطوتنگش ژول.....	۶۰
اثر وایدمن.....	۶۱
اثر $\Delta E$ .....	۶۲
مغناطوتنگش مواد همسانگرد.....	۶۲
محاسبه مغناطوتنگش.....	۶۴
اندازه گیری مغناطوتنگش، روش پیمانہ کرنشی.....	۶۶
آثار شکل بر مغناطوتنگش.....	۷۰
وابستگی مغناطوتنگش به میدان خارجی.....	۷۱
مغناطوتنگش در زاویه $\theta$ نسبت به میدان مغناطیسی.....	۷۲
مغناطوتنگش مواد ناهمسانگرد.....	۷۳
کاربردهای مغناطوتنگش.....	۷۳
کاربردهای مغناطوتنگش خودبه خودی.....	۷۳

کاربردهای مغناطوتنگش ژول.....	۷۴
کاربردهای مغناطوتنگش صفر.....	۷۴
رسانش در میدان مغناطیسی.....	۷۵
وابستگی دمایی مقاومت در فلزات.....	۷۵
<b>فصل چهارم: مطالعه خواص فیزیکی آلیاژ <math>\text{Pr}_6\text{Fe}_{11}\text{Ga}_3</math></b> .....	۷۷
مقدمه.....	۷۸
خصوصیات آلیاژ $\text{Pr}_6\text{Fe}_{11}\text{Ga}_3$ .....	۷۸
تهیه آلیاژ $\text{Pr}_6\text{Fe}_{11}\text{Ga}_3$ .....	۸۰
بررسی ریزساختار.....	۸۰
نقش پراش پرتو X آلیاژ $\text{Pr}_6\text{Fe}_{11}\text{Ga}_3$ .....	۸۲
روش پیمانه کرنشی جهت اندازه گیری مغناطوتنگش و انبساط گرمایی.....	۸۳
مراحل آماده سازی نمونه و نصب پیمانه کرنشی روی آن.....	۸۵
رفتار مغناطوتنگش واداشته در میدان ثابت.....	۸۹
رفتار مغناطوتنگش واداشته در دمای ثابت.....	۹۱
بررسی رفتار مغناطوتنگش نمونه بازبخت شده.....	۹۵
مغناطوتنگش واداشته در میدان ثابت.....	۹۸
انبساط گرمایی.....	۱۰۱
مغناطومقاومت.....	۱۰۶
<b>جمع بندی</b> .....	۱۰۸

## فصل اول

### مفاهیم بنیادی

- ۱-۱ میدان مغناطیسی
- ۲-۱ میدان القای مغناطیسی
- ۳-۱ میدان مغناطیسی بر حسب چگالی جریان
- ۴-۱ میدان دوقطبی مغناطیسی
- ۵-۱ انرژی و نیروی موثر بر توزیع جریان جایگزیده در یک میدان القای مغناطیسی خارجی
- ۶-۱ مغناطش
- ۷-۱ ارتباط بین میدانهای مغناطیسی  $H$ ،  $B$  و مغناطش  $M$
- ۸-۱ مغناطش اشباعی
- ۹-۱ کوانتس
- ۱۰-۱ برهم کنش کولنی و انرژی تبادل
- ۱۱-۱ برهم کنش اسپین-مدار
- ۱۲-۱ برهم کنش ابرتبادل

## مقدمه

وقتی میدان مغناطیسی در حجمی از فضا تولید می‌شود، به این معنی است که انرژی آن حجم تغییر کرده و یک گرادیان انرژی و در نتیجه نیرویی تولید شده که می‌توان توسط یک بار الکتریکی متحرک یا توسط رسانای حامل جریان یا توسط گشتاور وارد بر دو قطبی مغناطیسی مانند آهنربای دائمی یا توسط بازجهت‌گیری اسپینی اتمها، آنرا مشاهده کرد.

بارالکتریکی متحرک می‌تواند میدان مغناطیسی تولید کند مانند سیم حامل جریان برق. آهنربای دائمی نیز توسط حرکت مداری و اسپینی الکترونهای خود، میدان مغناطیسی تولید می‌کند. یک میدان مغناطیسی روی هر دو نوع جریان اشاره شده بالا اثر می‌گذارد [۱].

بهرتر است قبل از هرگونه مطالعه خواص مغناطیسی مواد، از نحوه تولید میدان مغناطیسی و چگونگی تأثیر آن بر مواد شناخت داشته باشیم.

## ۱-۱ میدان مغناطیسی

جریانی به شدت یک آمپر، عبوری از رسانایی به شکل میله مستقیم به طول بینهایت، یک میدان مغناطیسی به بزرگی  $H = \frac{1}{4\pi}$  با واحد آمپر بر متر به فاصله شعاعی یک متر از خود تولید می‌کند، که مستقل از محیط پیرامون آن است.

## ۲-۱ میدان القای مغناطیسی

وقتی میدان مغناطیسی در یک محیط تولید شود، پاسخ آن محیط به میدان مغناطیسی را القای مغناطیسی  $\vec{B}$  یا چگالی شار مغناطیسی نامند. هر محیطی یک پاسخ خاص به میدان مغناطیسی اعمالی بر خود را دارد و رابطه بین القای مغناطیسی و میدان مغناطیسی خاصیتی از محیط است که آن را تراوانی  $\mu$  نامند:

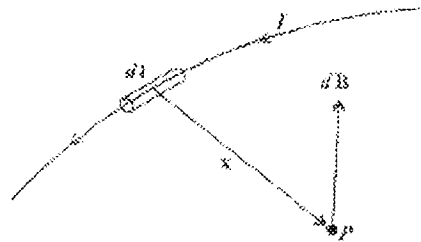
$$\vec{B} = \mu \vec{H} \quad (1-1)$$

جایی در فضا که میدان مغناطیسی حضور دارد شار مغناطیسی  $\Phi$  وجود خواهد داشت که با واحد وبر اندازه‌گیری می‌شود که مقدار آن به ساختار محیط بستگی دارد. یک وبر مقدار شار مغناطیسی است که وقتی در مدت یک ثانیه به مقدار صفر می‌رسد، نیروی محرکه‌ای معادل یک ولت از یک حلقه رسانا که شار از میان آن می‌گذرد تولید کند. چگالی شار واحد  $Wb/m^2$  به عنوان القای مغناطیسی  $\vec{B}$  شناخته می‌شود که به آن تسلا هم گویند. القای مغناطیسی  $\vec{B}$  به اندازه یک تسلا نیرویی برابر یک نیوتن بر متر روی سیم حامل جریان یک آمپر که عمود بر جهت  $\vec{B}$  است اعمال می‌کند. در بعضی محیطها،  $\vec{B}$  تابع خطی از  $\vec{H}$  است، یعنی  $\vec{B} = \mu_0 \vec{H}$  که برای محیط خلأ  $\mu_0$  یک ثابت جهانی با واحد  $H/m$  است. برای محیطهای دیگر خصوصاً در محیطهای فرومغناطیس،  $\vec{B}$  نه تنها تابع خطی از  $\vec{H}$  نیست، بلکه تک مقدار نیز می‌باشد و رابطه بین  $\vec{B}$  و  $\vec{H}$  در چنین محیطهایی به صورت  $\vec{B} = \mu \vec{H}$  است که  $\mu$  لزوماً مقدار ثابتی ندارد.

### ۱-۳ میدان مغناطیسی بر حسب چگالی جریان

بیو و ساوار در سال ۱۸۲۰ میلادی موفق شدند به روش تجربی القای مغناطیسی  $\vec{B}$  را بر حسب جریان عبوری از یک سیم بدست آورند. مطابق شکل ۱-۱ اگر  $dl$  المان طول یک سیم در جهت جریان باشد و  $I$  جریان عبوری از سیم و  $x$  فاصله  $dl$  تا نقطه مشاهده  $\vec{B}$  باشد خواهیم داشت:

$$d\vec{B} = kI \frac{d\vec{l} \times \vec{x}}{|\vec{x}|^3} \quad (۲-۱)$$



شکل ۱-۱ القای مغناطیسی  $d\vec{B}$  ناشی از المان جریان  $Idt$ .

ثابت  $k$  به اندازه و بعد در سیستم واحدهای مورد استفاده بستگی دارد. در سیستم واحدهای گوسی که در آن جریان برحسب esu و القای مغناطیسی برحسب emu اندازه گرفته می شود،  $k = \frac{1}{c}$  بدست می آید که  $c$  سرعت نور در خلأ است. در سیستم SI،  $k = \frac{\mu_0}{4\pi} = 10^{-7} \text{ N/A}^2$  یا  $\text{H/m}$  است که  $\mu_0$  گذردهی خلأ می باشد.

با توجه به قانون بیوساوار، القای مغناطیسی را می توان بصورت کلی برای یک چگالی جریان  $\vec{J}(X)$  بصورت زیر نوشت:

$$\vec{B}(x) = \frac{\mu_0}{4\pi} \int \vec{J}(x') \times \frac{\vec{x} - \vec{x}'}{|\vec{x} - \vec{x}'|^3} d^3x' \quad (3-1)$$

این معادله را می توان بصورت زیر نوشت:

$$\vec{B}(x) = \frac{\mu_0}{4\pi} \vec{\nabla} \times \int \frac{\vec{J}(x')}{|\vec{x} - \vec{x}'|} d^3x' \quad (4-1)$$

در نتیجه  $\vec{\nabla} \cdot \vec{B} = 0$  است. اگر در هر جایی از فضا،  $\vec{\nabla} \cdot \vec{B} = 0$  باشد، در این صورت  $\vec{B}$  بایستی، کرل یک میدان برداری  $\vec{A}(x)$  باشد که پتانسیل برداری نامیده می شود و می توان نوشت:

$$\vec{B}(x) = \vec{\nabla} \times \vec{A}(x) \quad (5-1)$$

از محاسبه  $\vec{\nabla} \times \vec{B}$  نیز به نتیجه زیر می رسیم:

$$\vec{\nabla} \times \vec{B} = \mu_0 \vec{J}(x) \quad (6-1)$$

در نتیجه خواهیم داشت:

$$\vec{A}(x) = \frac{\mu_0}{4\pi} \int \frac{\vec{J}(x')}{|\vec{x} - \vec{x}'|} d^3x' + \vec{\nabla} \Psi \quad (7-1)$$

مراکز اطلاعات انرژی علمی ایران  
تماس: ۰۲۱-۸۸۸۸۸۸۸۸