



آشنایی با

مواد مغناطیسی

(میراث دوم)

جلد اول

بی. دی. کالیتی، سی. دی. گرامدم

ترجمه

مهدی خدایی، رامین دهقان، محمد مهدی طهرانچی

مرکز نشر دانشگاهی



مرکز نشر دانشگاهی

Introduction to Magnetic Materials

Second Edition

B. D. Cullity, C. D. Graham

John Wiley & Sons, 2009

آشنایی با مواد مغناطیسی

(ویراست دوم)

جلد اول

تألیف بی. دی. کالیتی، سی. دی. گراهام

ترجمه مهدی خدایی، رامین دهقان، محمدمهدی طهرانچی

ویراسته نیلوفر مرادی، مرسن انوری، هاجر جمشیدپور

نمایه‌سازی: ناهید چریقی

نسخه‌پرداز: نازلین خسروی، منیر حسینی

طراح جلد: سمیه عابدینی

حروفچین و صفحه‌آرا: شیلا افشاری

مرکز نشر دانشگاهی

چاپ اول ۱۳۹۵

تعداد ۵۰۰

چاپ و صحافی: هدف

تومان ۱۹۵۰۰

نشانی فروشگاه مرکزی: خیابان انقلاب، روبه‌روی سینما سیده، پاساژ خیبری، تلفن: ۶۶۴۱۰۶۸۶، ۶۶۴۰۸۸۹۱
نشانی فروشگاه و نمایشگاه دائمی: خیابان دکتر بهشتی، خیابان خاگانی، پش خیابان دهم، شماره ۵۰، تلفن: ۸۱۷۲۵۹۵۴

فروش اینترنتی: www.bookiup.ir

حق چاپ برای مرکز نشر دانشگاهی محفوظ است

فهرست‌نویسی پیش از انتشار کتابخانه ملی جمهوری اسلامی ایران



17127164182920011111

سرشناسه: کالیتی، برنارد دنیس Cullity, Bernard Dennis

عنوان و نام پدیدآور: آشنایی با مواد مغناطیسی / بی. دی. کالیتی، سی. دی. گراهام: ترجمه مهدی خدایی، رامین دهقان، محمدمهدی طهرانچی.

مشخصات نشر: تهران: مرکز نشر دانشگاهی، ۱۳۹۳.

مشخصات ظاهری: ج: تصویر، نمودار.

فروست: مرکز نشر دانشگاهی: ۱۴۷۷. فیزیک: ۱۶۱.

شابک: 978-964-01-8197-3 دوره: 3-978-964-01-1477-3 ج. ۱

وضعیت فهرست‌نویسی: فیا

یادداشت: عنوان اصلی: Introduction to magnetic materials, 2nd ed, c2009.

یادداشت: کتاب حاضر قبلاً تحت عنوان «مقدمه‌ای بر مواد مغناطیسی» توسط انتشارات دانشگاه صنعتی شاهرود در سال ۱۳۹۳ فیا گرفته است.

عنوان دیگر: مقدمه‌ای بر مواد مغناطیسی.

موضوع: مغناطیس

موضوع: مواد مغناطیسی

شناسه افزوده: گراهام، چاد دی.

(Graham, C. D. Chad D)

شناسه افزوده: طهرانچی، محمدمهدی، ۱۳۴۴- مترجم

شناسه افزوده: دهقان، رامین، ۱۳۵۷- مترجم

شناسه افزوده: خدایی، مهدی، ۱۳۶۱- مترجم

شناسه افزوده: مرکز نشر دانشگاهی

رده‌بندی کنگره: الف ۱۳۹۳ ۷۵۳/۲/۲۲

رده‌بندی دیویی: ۵۳۸/۴

شماره کتابشناسی ملی: ۳۵۹۱۱۵۵

بسم الله الرحمن الرحيم

فهرست

صفحه	عنوان
نه	پیشگفتار ویراست دوم
سیزده	پیشگفتار ویراست اول
۱	۱ تعاریف و یکاها
۱	۱-۱ مقدمه
۳	۲-۱ سیستم یکاهای cgs-emu
۶	۳-۱ گشتاور مغناطیسی
۸	۴-۱ شدت مغناطش
۹	۵-۱ دو قطبیهای مغناطیسی
۱۰	۶-۱ اثر مغناطیسی جریانهای الکتریکی
۱۳	۷-۱ مواد مغناطیسی
۲۱	۸-۱ سیستم یکای SI

۲۳	۹-۱	منحنیهای مغناطش و حلقه‌های پسماند
۲۷		مسائل
۲۹	۲	روشهای تجربی
۲۹	۱-۲	مقدمه
۳۰	۲-۲	ایجاد میدان با سیملوله
۴۲	۳-۲	ایجاد میدان با آهنربای الکتریکی
۴۵	۱-۲	ایجاد میدان با آهنرباهای دائمی
۴۸	۴-۲	اندازه‌گیری قدرت میدان
۵۷	۵-۲	اندازه‌گیری پتانسیل مغناطیسی در مدارهای بسته
۶۱	۷-۲	میدان‌های وابسته
۶۶	۸-۲	سپر معادسیسم
۶۷	۹-۲	ضرایب و مغناطش
۸۰	۱۰-۲	اندازه‌گیریهای مغناطیسی در مدارهای باز
۸۵	۱۱-۲	ابزار اندازه‌گیری مغناطش
۹۵	۱۲-۲	مدارهای مغناطیسی و تراوایی سنجها
۱۰۳	۱۳-۲	اندازه‌گیری پذیرفتاری
۱۰۹		مسائل
۱۱۲	۳	دیامغناطیس و پارامغناطیس
۱۱۲	۱-۳	مقدمه
۱۱۳	۲-۳	گشتاور مغناطیسی الکترونها
۱۱۶	۳-۳	گشتاور مغناطیسی اتم
۱۱۶	۴-۳	نظریه دیامغناطیس
۱۱۷	۵-۳	مواد دیامغناطیس
۱۱۷	۶-۳	نظریه کلاسیک پارامغناطیس
۱۲۷	۷-۳	نظریه کوانتومی پارامغناطیس
۱۴۱	۸-۳	مواد پارامغناطیسی

۱۴۶	مسائل
۱۴۸	۴ فرومغناطیس
۱۴۸	۱-۴ مقدمه
۱۵۱	۲-۴ نظریه میدان مولکولی
۱۶۶	۳-۴ نیروهای تبادل
۱۷۱	۴-۴ نظریه نواری
۱۸۱	۵-۴ آلیاژهای فرومغناطیس
۱۸۷	۶-۴ آنترکریستالی
۱۸۸	۷-۴ نظریه‌های فرومغناطیس
۱۹۰	۸-۴ آنالیز مغناطیسی
۱۹۳	مسائل
۱۹۴	۵ پاد فرومغناطیس
۱۹۴	۱-۵ مقدمه
۱۹۹	۲-۵ نظریه میدان مولکولی
۲۱۰	۳-۵ پراش نوترون
۲۲۰	۴-۵ عناصر نادر خاکی
۲۲۲	۵-۵ آلیاژهای پاد فرومغناطیس
۲۲۳	مسائل
۲۲۴	۶ فری مغناطیس
۲۲۴	۱-۶ مقدمه
۲۲۸	۲-۶ ساختار فریتهای مکعبی
۲۳۱	۳-۶ مغناطش اشباع
۲۳۴	۴-۶ نظریه میدان مولکولی
۲۴۳	۵-۶ فریتهای شش گوشه
۲۴۶	۶-۶ سایر مواد فری مغناطیس

۶-۷ خلاصه: انواع مغناطیس

مسائل

۷ ناهمسانگردی مغناطیسی

۱-۷ مقدمه

۲-۷ ناهمسانگردی در بلورهای مکعبی

۳-۷ ناهمسانگردی در بلورهایی با ساختار شش گوش

۴-۷ منشأ فیزیکی ناهمسانگردی بلوری

۵-۷ اندازه‌گیری ناهمسانگردی

۶-۷ اندازه‌گیری ناهمسانگردی (از منحنیهای مغناطش)

۷-۷ ثابتهای ناهمسانگردی

۸-۷ مواد پس‌بلور

۹-۷ ناهمسانگردی در مواد ساده و مغناطیس

۱۰-۷ ناهمسانگردی شکلی

۱۱-۷ ناهمسانگردی مختلط

مسائل

۸ مغناطوتنگش و اثرهای تنش

۱-۸ مقدمه

۲-۸ پدیده مغناطوتنگش تک‌بلور

۳-۸ مغناطوتنگش پس‌بلورها

۴-۸ منشأ فیزیکی اثر مغناطوتنگش

۵-۸ اثر تنش بر خواص مغناطیسی

۶-۸ تأثیر تنش بر پدیده مغناطوتنگش

۷-۸ کاربرد پدیده مغناطوتنگش

۸-۸ اثر ΔE

۹-۸ مغناطومتقاومت

مسائل

۳۴۵

۳۴۷

۳۵۱

۳۵۳

۳۵۵

۳۵۶

پیوست ۱ انرژیها و میدانهای دوقطبی

پیوست ۲ داده‌هایی از عناصر فرومغناطیس

پیوست ۳ تبدیل یکاها

پیوست ۴ ثوابت فیزیکی

نمایه

پیشگفتار ویراست دوم

بی. دی (بارنی) (۱۹۷۸-۱۹۱۷) نویسنده، مستعد در موضوعات فنی بود. وی توانست موضوعات پیچیده را به شیوه‌ای روشن، منسجم و موجز بیان کند که کتابهایش هم در میان دانشجویان و هم مدرسان پرطرفدار شده نخستین کتاب او، در زمینه پراشر پرتو X، اصول بلورشناسی و ساختار و پرتوهای X را به نسلهایی از متالورژیستها آموخته است. این کتاب نخستین بار در سال ۱۹۶۷، با ویرایش دوم در سال ۱۹۷۸ چاپ شد و سومین نسخه بروزرشده آن در سال ۲۰۰۱ به کمک استوارت آر. استوک به چاپ رسید. کتابش در زمینه مواد مغناطیسی در سال ۱۹۸۲ منتشر شد و آن هم موفق بود. این کتاب سالهای زیادی در چاپ باقی ماند و از آن به طور گسترده‌ای، بصورت مبانی و معرفی موضوعات گوناگون مغناطیس، اندازه‌گیریهای مغناطیسی، و مواد مغناطیسی به‌طور گسترده‌ای استفاده کردند. انجمن مغناطیس مؤسسه مهندسين برق و الکترونیک (IEEE) سالها پرداخت هزینه‌های چاپ دوباره و چندباره کتابهای کلاسیک و مقالات در زمینه مغناطیس را برعهده گرفته است که به‌ویژه می‌توان چاپ چندباره کتاب تاریخی فرومغناطیس آر. ام. بوزورث در سال ۱۹۹۳ را نام برد که چاپ اولش در سال ۱۹۵۲ بوده است. کتاب آشنایی با مواد مغناطیسی کالیتی از دیگر نامزدهای چاپ مجدد بود، اما پس از برخی مباحثات، تصمیم گرفتند، به جای آن نسخه‌ای تصحیح شده و بروز تهیه شود. من سالها اندیشه چنین بازبینی و اصلاحی را در سر می‌پروراند و برای چنین کاری داوطلب شدم. این کار بیش از آنچه پیش‌بینی می‌کردم، طول کشید، و در پایان تغییراتی کمتر از آنچه انتظار می‌رفت، اعمال کردم.

کالیتی به صراحت برای نوآموزان مغناطیس، دانشجویان کارشناسی، و دانشجویان سال اول کارشناسی ارشد بدون پیش زمینه آگاهی از موضوع و تنها با دانش عمومی مقطع کارشناسی از شیمی، فیزیک، و ریاضی نوشته است. او بر اندازه‌گیریها و مواد، به ویژه موادی که در مهندسی کاربرد و اهمیت دارند، تأکید کرده است. برخوردش با پدیده کوانتومی پایه‌ای است. من به دقت متن اصلی را، از حیث دیدگاه و سازماندهی، بررسی قسمتهای اصلی را کلاً بدون تغییر باقی گذاشته‌ام. تغییرات اساسی شامل موارد زیر است:

۱- من هر دو واحد egs و SI را به کار برده‌ام، در حالی که کالیتی تنها egs را برگزیده بود. بی شک به کار بردن هر دو یکا سبب ناپختگی و تکرار شده است، ولی اگر (که امیدوارم) کتاب، مانند نسخه اصلی، مثالهای زیادی مفید باقی بماند، سیستم یکاهای SI به طور فرایندهای اهمیت خواهد داشت. ۱- ریسهای اندازه‌گیری را به طور کامل تجدید نظر و اصلاح کرده‌ام. گالوانومتر بالیستیک و شار سنج پیچیده متحرک را در یک جا ای خلاصه کرده‌ام. انتگرال گیر الکترونیکی همراه با مغناطش سنج گرا دیان متناوب (SQUID)، کاربرد کامپیوتر در جمع آوری داده‌ها را ارائه کرده‌ام. هیچ جای شگفتی نیست. ۳- فصلی تازه - زمینه مواد مغناطیسی به منظور استفاده در کامپیوترها و فصل خلاصه‌ای بر رفتار مغناطیسی ابر رساناها آورده‌ام.

۴- آلیاژهای مغناطیسی آهک رفته‌اند. این باهای دائمی عناصر نادر خاکی را افزوده‌ام، رفتار ساختار و انرژی دیواره حوزه را بسط داده‌ام. برخی کارها روی اثر تنشهای مکانیکی بر حرکت دیواره حوزه (موضوع مورد توجه ویژه کالیتی) را حذف کرده‌ام.

من راههای گوناگونی برای حل مسائل مکانیک کوانتومی در نظر گرفتم. همان طور که پیش از این گفتم عملکرد کالیتی، در این زمینه، کلی بوده است. پدیده‌های کوانتومی در بیشتر قسمتهای بسیار کم به کار رفته‌اند. یک امکان حذف کامل این مبحث و کاربردین فیزیک کلاسیک است. ایده شرح دادن این شیوه را به سرعت کنار گذاشتم. به غیر از محدودیتها، شخ سی ام، فکر نمی‌کردم بتوان متنی کاربردی، در زمینه مکانیک کوانتومی را به یک یا دو فصل از کتاب جدا کرد که اساساً با دیگر موضوعات سروکار داشته باشد. در پایان، تا حد زیادی با کتاب اصلی کالیتی همراه شدم. آن کتاب، بدون تظاهر به منسجم بودن و شاخ و برگ دادن، توجه و علاقه شما را جلب می‌کند.

منابع

تمامی نویسندگان کتابهای فنی، از جمله کالیتی در سال ۱۹۷۲، از گستردگی نوشتارهای فنی و اینکه امکان ندارند حتی با بخش کوچکی از آن پیش بروند، ناراحت‌اند. پس از سالها به دقت کار کردن با این کتاب، از این حقیقت آگاه شدم که این کتاب، با وجود منسوخ و قدیمی شدن بسیاری از مراجع

آن، همچنان سودمند باقی مانده است. همچنین متقاعد شدم که خوانندگان نسخه ویرایش شده، اساساً بر دو دسته خواهند بود: نوآموزان که نیاز یا علاقه ندارند از پیشامدهای متن فراتر بروند و دسته دیگر دانشجویان سطوح بالاتر و پژوهشگران خواهند بود که به آشنایی به جستجوی کامپیوتری متون علمی دسترسی دارند که به آنها اطلاعات بروز موضوعات مورد علاقه‌شان را، به جای اطلاعات قدیمی، خواهد داد. بنابراین، بیشتر منابع، را حذف کرده‌ام. منابعی که باقی مانده‌اند، درون متن جاسازی کرده‌ام، که به کارهای اصلی قدیمی، یا منابع ویژه اطلاعات برای موضوعات خاص، یا به متن کتاب ویرایش دوم (در سال ۲۰۰۷) مربوط‌اند. بدون شک این تصمیم برخی خوانندگان را ناخشنود خواهد کرد و شاید بی‌انصافی نوشتاری آشکاری باشد، ولی احساس کردم، برای ادامه، این تنها راه علم، ممکن باشد.

در اینجا من خواهم از ران گولدفارب و همکارانش در مؤسسه ملی دانش و فناوری، در بولدر کولورادو، برای خریدن و نقد هر فصل از کتاب کمال قدردانی را ابراز کنم. من بیشتر پیشنهادهای ایشان را پذیرفته‌ام.

سی. دی. گراهام

فیلا دلفیا، پنسیلوانیا

می ۲۰۰۸

پیشگفتار ویراست اول

یک قطب‌نمای جیبی بردارید. روی میز بگذارید، و به عقربه راهنمای آن نگاه کنید. عقربه به اطراف تکان می‌خورد، به نوسان در می‌آید و در پایان ساکن می‌شود و کم‌وبیش جهت شمال را نشان می‌دهد. در این شرایط، دو راز وجود دارد. اولین راز منشأ میدان مغناطیسی زمین است که عقربه را جهت می‌دهد. دومین راز منشأ مغناطیسی عقربه است که اجازه می‌دهد جهت‌گیری کند. این کتاب درباره راز دوم است و حقیقتاً راز است، زیرا هر چند مغناطیس، به طور کلی، مغناطیس آهن، به طور خاص، شناخته شده است، هنوز نمی‌توان از آهن اولیه پیش‌بینی کرد که آهن کاملاً مغناطیسی باشد.

این کتاب به نوآموزان اختصاص دارد. منظور از نوآموزان دانشجویان سال آخر کارشناسی یا سال اول مقطع تحصیلات تکمیلی در رشته‌های مهندسی است که تنها در پایان سال اول مقطع کارشناسی در رشته‌های فیزیک و علم مواد را خوانده‌اند که تمامی مهندسان یا افراد دیگر با پیشینه مشابه می‌گذرانند. در تألیف کتاب فرض کردیم هیچ‌گونه شناختی از خود مغناطیس ندارید.

افرادی که به مغناطیس علاقه‌مند می‌شوند، معمولاً پیش‌زمینه‌های متفاوتی از مطالعه این موضوع دارند. آنها متالورژیست و فیزیکدان، مهندس برق و شیمیدان، یا مهندس سرامیک و زمین‌شناس‌اند. هریک از مبانی نظریه اتمی، بلورشناسی، مدارهای الکتریکی، و شیمی بلور دانش متفاوتی دارند. تلاش کرده‌ام نگارش این کتاب برای تمامی گروه‌ها قابل درک باشد. از این‌رو، برخی از بخش‌های کتاب برای بیشتر خوانندگان، و نه همه آنها، تا حد زیادی ابتدایی خواهد بود.

با وجود آنکه سیستم یکاهای mks در الکتریسیته عمومیت دارد، بیشتر متخصصان مغناطیس هم در آزمایشگاه و هم در کارخانه هنوز با سیستم cgs کار می‌کنند. دانشجو نیز باید این زبان را دیر یا زود یاد بگیرد. از این رو، زبان نوشتاری این کتاب در سیستم cgs است.

نوآموز مغناطیس با گروهی از یکاهای عجیب و حتی اندازه‌گیرهای عجیبت‌ر سردرگم می‌شود. این موضوع بیشتر در سطح نظری وجود دارد که دانشجو هیچ‌گونه درک فیزیکی و حقیقی از کمیت‌های گوناگون مورد نظر ندارد، زیرا به هیچ روی از چگونگی سنجش این کمیت‌ها آگاه نیست. بدین منظور، بر روشهای سنجش در این کتاب تأکید کرده‌ام. همه فصل دوم به متداولترین روشهای سنجش اختصاص دارد، در حالی که شیوه‌های تخصصی را در فصلهای بعد به تناسب توصیف کرده‌ام. این کتاب به چهار بخش تقسیم شده است:

۱- یکاهای روشهای اندازه‌گیری

۲- انواع نواحی، تناوب، تناوب، برای مثال، میان فرومغناطیس و پارامغناطیس.

۳- پدیده‌ها در مواد مغناطیسی قوی، مانند ناهمسانگردی مغناطیسی و مغناطوتنگش.

۴- مواد مغناطیسی جاری و دار هایشان.

منابعی که از تعداد بسیار زیادی متن مغناطیس برگزیده‌ام، در کل بر دو نوع مقالات مروری و کلاسیک استوارند، به همراه دیگر منابعی که برای توضیح نوشته‌هایی خاص در متن نیاز داریم. علاوه بر این، فهرستی از کتابها، به همراه اختصاری از محتوای آنها را نیز ارائه کرده‌ام.

مغناطیس ریشه در روزگار باستان دارد. هیچ‌کس نمی‌داند که چه زمانی اولین مغناطیس طبیعی، یعنی اکسید طبیعی آهن مغناطیده با آذرین شدن، پیدا شد و کشف کردند که دیگر تکه‌های مغناطیس یا تکه‌های آهن را می‌ربایند. این موضوع موجب کشف خرافات و موهومات شده بود. گیلبرت در قرن شانزدهم فرمولبندی برخی اصول مشخص مغناطیس را آغاز کرد.

اواخر قرن نوزدهم و اوایل قرن بیستم مشارکت کوری لانتزون، وایس، کی ویش از ده سال به وقوع پیوست. می‌توان گفت، تا چهل سال پس از آن، پژوهش در زمینه مغناطیس متوقف شد، به جز کار چند پژوهشگر مشتاق که در این زمینه شگفتیهایی یافتند و مرحوم پروفیسور استونر با فصاحت شرح داده است:

گوناگونی بسیار پدیده فرومغناطیس، چالش دیربای در مهارت آزمایش و در دیدگاه فیزیکی تطبیق نتایج، گستره وسیع کاربردهای بالفعل و بالقوه مواد فرومغناطیس، و مشخصه بنیادی مسائل نظری اساسی همگی جمع شده‌اند تا به فرومغناطیس گستره‌ای از جذابیتها ببخشند که با محدودیت آشکارس، یعنی ویژگیهای خاص شمار محدود مواد، شدیداً در تضاد است.

سپس، با پایان جنگ جهانی دوم، این اشتیاق دوباره زنده شد و مطالعه مغناطیس امروزه فعالیت از پیش ادامه دارد. این تجدید علاقه به طور کلی از سه پیشرفت حاصل شده است:

۱- ماده جدید. دسته‌ای کاملاً جدید از مواد مغناطیسی، یعنی فریتها، آشکار شد که آن را شرح دادند و به کار گرفتند.

۲- ابزار جدید. پراش نوترون که ما را قادر می‌سازد گشتاور مغناطیسی تک‌اتمها را بررسی کنیم، درک تازه‌ای از رشته مغناطوسیمی به ما داده است.

۳- کاربرد جدید. پیدایش کامپیوترها، که در آنها ادوات مغناطیسی نقش اساسی دارند، پژوهش روی مواد مغناطیسی جدید و قدیمی را برانگیخته است.

در نگارش این کتاب، دو اندیشه بارها و بارها به ذهنم رسیده است. اول آنکه مغناطیس موضوعی به‌ویژه هائیک است، بدین معنا که همه جا حضور دارد و بخشی از زندگی روزانه ماست و هنوز بیشتر ما، و همچنین مهندسان از این نکته ناآگاهند یا فراموش کرده‌اند که زندگی‌شان بدون مغناطیس کاملاً صاف خواهد بود. هیچ‌گونه نیروی الکتریکی که می‌شناسیم، موتورهای الکتریکی، رادیو، و تلوزیون وجود نداشت. اگر الکتریسیته و مغناطیس دو دانش خواهرخوانده باشند، دانش مغناطیس یقیناً رابطه‌ای که تجربه است. نکته دوم وارونی عجیب نقشهای معمول دانشگاه و آزمایشگاههای صنعتی در ایالات متحده، در زمینه پژوهش مغناطیس است. در حالی که امریکاییها سهم زیادی در دانش مشترک بین‌المللی مواد مغناطیسی داشته‌اند، در اصل، همه این سهمها از صنعت برخاسته است. این موضوع در کشور ما، اگر و دیگر موضوعات صحت ندارد. ادعا نمی‌کنم که علت این ناهماهنگی را می‌دانم، اما زمان آن رسیده است که دانشگاهها نیز شرکت کنند. بیشتر کتابهای فنی نتیجه تلاشهای مشارکتی بوده است. بزرگترین اینک نویسنده‌ای معتبر در آن زمینه نوشته باشد، و من همکاران زیادی داشته‌ام. صنعتگران بسیاری سرمایه دانش و تجربه‌های گرانبهای خود را به رایگان در اختیار قرار داده‌اند. افراد زیادی نیز تمهیدات اصلی خود را در اختیار قرار داده‌اند. افرادی که اسامی آنها را در ادامه آورده‌ام برخی بخشهای کتاب را خوانده یا مرا در نکات مشکل کمک کرده‌اند: چارلز آلن، جوزف ج. بکر، ای.می. برکوویتز، یوید کوهن، ن. ف. فیوره، س. د. گراهام، ج. ر. روبرت ج. هایس، یوجین و. هنری، کونیز هرینگ، جراردل، جونز، فرد. لوپورسکی، والترس. میلر، ر. پاؤنت، و. ا. پ. وولفارت. از این افراد و دیگران که مرا در آموزش مغناطیس یاری دادند، تشکر می‌کنم.

ب. د. کالیتی

نوتردام، ایندیانا

فوریه، ۱۹۷۲