

مبانی و مسائل الکترو مغناطیس

مؤلفان:

دکتر منصور خرم

مریم گودرزی

محمد بامداد

(اعضای هیأت علمی دانشگاه آزاد اسلامی واحد بروجرد)



۱۳۹۵

سرشناسه	: خرم، منصور.
عنوان و نام پدیدآور	: مبانی و مسایل الکترومغناطیس / مولفان منصور خرم، مریم گودرزی، محمد بامداد.
مشخصات نشر	: بروجرد: دانشگاه آزاد اسلامی، واحد بروجرد، ۱۳۹۵.
مشخصات ظاهری	: س، ۴۴۶ ص: مصور، نمودار.
شابک	: 978-964-10-4474-1: ۱۲۰۰۰۰ ریال
وضعیت فهرست نویسی	: فیبا
یادداشت	: کتابنامه.
موضوع	: الکترومغناطیس -- راهنمای آموزشی (عالی)
موضوع	: Electromagnetism -- Study and teaching (Higher)
موضوع	: الکترومغناطیس -- مسائل، تمرینها و غیره (عالی)
موضوع	: Electromagnetism -- Problems, exercises, etc. (Higher)
شناسه افزوده	: گودرزی، مریم.
شناسه افزوده	: بامداد، محمد.
شناسه افزوده	: دانشگاه آزاد اسلامی، واحد بروجرد
رده‌بندی کنگره	: ۱۳۰۲-خ/۴۶۰-QC۷۶
رده‌بندی دیویی	: ۵۳۷.۷۶
شماره کتابشناسی ملی	: ۶۲۴۱۶۵



دانشگاه آزاد اسلامی بروجرد

مبانی و مسایل الکترومغناطیس

مؤلفان:

دکتر منصور خرم، مریم گودرزی، محمد بامداد

ناشر: دانشگاه آزاد اسلامی واحد بروجرد

مدیر مسؤول: دکتر علی آریابور

ناظر چاپ: حسام یاریار

چاپ و صحافی: نویسنده

نوبت چاپ: اول/ ۱۳۹۵

شمارگان: ۲۰۰۰

بها: ۱۲۰۰۰ تومان

شابک: ۹۷۸-۹۶۴-۱۰-۴۴۷۴-۱

حق چاپ برای ناشر محفوظ است

بروجرد- میدان نواب - خیابان یادگار امام - مجتمع دانشگاهی امام خمینی (ره)

تلفکس ۰۶۶-۴۲۵۱۸۰۱۳

Email: Publisher@iaub.ac.ir

سخن ناشر

به نام خداوند لوح و قلم
حقیقت نگار وجود و عدم
خدايي که داننده رازهاست
نخستين سرآغاز آغازهاست

دانشگاه آزاد اسلامی به عنوان یکی از ارکان نظام آموزش عالی کشور در چشم انداز بیست ساله خود، توسعه کیفی را به طور جدی، منظر قرار داده است. دانشگاه آزاد اسلامی بروجرد به عنوان یکی از با سابقه ترین واحدهای دانشگاهی سطح کشور با عنایت به پتانسیل های موجود و در راستای این حرکت عظیم علمی و فرهنگی و به منظور ایجاد، عدم، دقت و هماهنگی بیشتر در اجرای کلیه امور مربوط به تأمین منابع آموزشی مورد نیاز و هم چنین تشویق و ترغیب محققان، مؤلفان و مترجمان دانشگاهی به نگارش و ترجمه کتب معتبر علمی، شورای انتشارات علمی خود را تشکیل داد. بدیهی است که ورود به این عرصه خطیر جز با استمداد از خداوند متعال و چشم بستن داشتن از محققان و پژوهشگران و استادان ارجمند امکان پذیر نیست. لذا از همه صاحب نظران استدعا می شود ما را از نقطه نظر ها و راهنمایی های ارزشمند خود بهره مند سازند. در پایان بر خود لازم می دانم از معاونت پژوهش و فناوری دانشگاه آزاد اسلامی به سبب برقراری شرایط و بستر مناسب انجام فعالیت های حوزه پژوهش واحد در بخش توسعه فعالیت های چاپ و نشر، تشکر و قدردانی نمایم. ضمناً شایسته است از فعالیت ها و تلاش های آقای دکتر منصور خرم، خانم مریم گودرزی و آقای محمد بامداد در تألیف کتاب مبانی و مسائل الکترومغناطیس سپاسگزاری خود را ابراز نمایم.

دکتر مجید شمس

رئیس دانشگاه آزاد اسلامی واحد بروجرد

پیشگفتار مولفین

همانگونه که اجرام در فضای پیرامون خود میدان گرانشی تولید می کنند که سبب جذب سایر اجرام می گردند، ذرات باردار ساکن و متحرک نیز به ترتیب تولید میدانهای الکتریکی و مغناطیسی می کنند که این میدانها قادرند به دیگر اجرام پیرامون خود نیرویی وارد کنند که به نیروی لورنتس موسوم است. میدانهای الکتریکی و مغناطیسی و شکل ترکیبی آنها موسوم به میدان الکترومغناطیسی از دید فیزیکی و مهندسی بسیار حائز اهمیتند. نظریه حاکم بر میدانهای الکترومغناطیسی در حوزه های وسیعی همچون؛ رادار، ارتباطات ماهواره ای، گیرنده های رادیویی و تلویزیونی، تشخیص و کنترل از راه دور، ستاره شناسی رادیویی، تجهیزات ماکروویو، ارتباطات فیبر نوری، تبدیل انرژی الکترومکانیکی، دستگاه های تشخیص و درمان پزشکی و... نمود عملی پیدا کرده است.

از آنجا که موج الکترومغناطیسی مرکب از میدانهای متعامد الکتریکی و مغناطیسی است و میدانها کمیتهای برداری هستند، برای مطالعه این امواج نخست لازم است قدری با عملیات برداری آشنا شویم. در این کتاب، در دو فصل اول به عملیات بر روی بردارها پرداخته شده است. در فصل اول با عملیات جبری بردارها، شامل جمع و تفریق و ضرب آنها آشنا می شویم و انواع دستگاه های مختصات متعامد سه بعدی معرفی می شوند. در فصل دوم نیز به حساب بردارها پرداخته شده و دو نوع عملیات انتگرال گیری و دیفرانسیل گیری از کمیتهای برداری شناسایی خواهند شد. در این دو فصل به هیچ یک از قوانین و اصول فیزیکی حاکم بر میدانهای الکتریکی و مغناطیسی اشاره ای نشده است و موضوع این دو فصل صرفاً ریاضی است.

در ادامه، سه موضوع اصلی شامل الکتروستاتیک (الکتریسته ساکن)، مغناطوستاتیک (مغناطیس ساکن) و الکترومغناطیس (الکتریسته و مغناطیس غیر ساکن) به طور مجزا مورد بررسی واقع شده‌اند. فصلهای ۳ تا ۷ به موضوع الکتروستاتیک می‌پردازند که با معرفی دو اصل موضوع الکتروستاتیک آغاز شده و با محاسبه میدان و پتانسیل الکتریکی حاصل از توزیع بار الکتریکی ساکن در خلاء و محیطهای دی‌الکتریک ادامه می‌یابد. در این راه با دو قانون گوس و کولمب آشنا می‌شویم و خواهیم دید که این دو قانون نتایجی ضروری از یکدیگر هستند. سپس انرژی الکتروستاتیک محاسبه می‌شود. الکتروستاتیک به کمک آن انرژی مطرح می‌گردد. شاید یکی از زیباترین مباحث کتاب در دو فصل ۵ و ۶ در مورد بارهای متحرک و خورد که در آنجا محاسبه‌ی توزیع میدان و پتانسیل الکتریکی حاصل از شرایط مرزی مشخص می‌گردد. برای حل این نوع مسائل، دو روش حل معادله لاپلاس (فصل ۶) بارهای تصویری (فصل ۷)، برمی‌خواهند شد.

پس از مبحث الکتروستاتیک، در فصل ۸ به موضوع بارهای متحرک و جریان دائم ناشی از حرکت پایدار آنها پرداخته می‌شود. اصل پایستگی بار و قوانین دو گانه‌ی کرشوف در این فصل معرفی خواهند شد. همچنین، در این فصل رسانندگی محیطهای مادی و مقاومت الکتریکی آنها مورد مطالعه قرار خواهند گرفت.

در فصلهای ۹ تا ۱۱ به موضوع مغناطوستاتیک پرداخته خواهد شد. در اینجا نیز با معرفی دو اصل موضوع در خصوص میدان مغناطیسی ساکن، به محاسبه میدان و پتانسیل مغناطیسی حاصل از توزیع جریانهای ثابت در خلاء و محیطهای مغناطیسی مبادرت می‌گردد. برای این منظور با دو قانون آمپر و بیوساوار آشنا می‌شویم و خواهیم دید که این دو قانون که علاوه بر هم سازگار و هم‌ارز هستند انرژی مغناطوستاتیک و نیروی مغناطیسی ناشی از آن در فصل ۱۱ معرفی خواهند شد.

در فصل ۱۲، نخست قانون القای فارادی معرفی شده و یکی از اصول موضوع الکتروستاتیک که در فصل ۳ به طور ناقص معرفی شده بود، تکمیل می‌گردد. سپس، با معرفی یک تناقض آشکار بین یکی از اصول موضوع مغناطوستاتیک و معادله بیوستگی، ضمن معرفی یک جریان الکتریکی غیررسانشی موسوم به جریان جابجایی، آن اصل موضوع نیز کامل می‌گردد. این اصل موضوع که شکل

کامل یافته‌ی قانون مداری آمپر است، همراه با سه اصل موضوع دیگر معادلات چهار گانه ماکسول را تشکیل می‌دهند. در ادامه فصل ۱۲ شرایط مرزی امواج الکترومغناطیسی در مرزهای رسانا و دی‌الکتریک معرفی می‌گردند.

در فصل ۱۳ از ترکیب معادلات ماکسول، روابط جدیدی موسوم به معادلات موج الکترومغناطیسی به دست می‌آیند که مسئول انتشار آن امواج هستند. همچنین، با فرض تغییرات زمانی هماهنگ، معادلات موج مستقل از زمان موسوم به معادلات هلمهولتز برای فازور میدانها به دست خواهند آمد. در نهایت، دسته بسیار مهمی از امواج الکترومغناطیس موسوم به امواج تخت موضوع فصل ۱۴ خواهد بود. در این فصل، ضمن بررسی انتشار امواج تخت در محیط‌های دی‌الکتریک، انتشار انرژی الکترومغناطیسی با مفروضه‌ی برداری موسوم به بردار پوینتینگ مطرح خواهد شد.

در این کتاب سعی بر درک قویین فیزیکی بوده است نه اثبات آنها. به همین علت، ضمن معرفی ساده و روان قوانین الکترومغناطیس و تبیین پرداختن به پیچیدگیهای غیر ضروری اثبات آنها، مسائل متعددی در غالب مثال مطرح و تحلیل شده است. به عبارت دیگر، در این کتاب تلاش شده است تا موضوع الکترومغناطیس به صورت کاربردی و در غالب مثالهای متعدد حل شده آموزش داده شود به نحوی که در هر فصل تعداد مثالهای حل شده بسیار بیش از مسائل منتخب آخر فصل می‌باشند. موضوعات هر فصل کم و مختصر در نظر گرفته شده‌اند که سبب افزایش تعداد فصلها شده است که این خود سبب درک موضوعی بهتر شده و مانع از خستگی و طاقت فرسایی خواننده می‌گردد. در پایان کتاب نیز منابعی که بتوانند به خواننده جهت درک بهتر مفاهیم کمک کنند گردآوری شده است. مجموعه‌ای از پارامترهای مهم فیزیکی و روابط و قضایای ریاضی پرکاربرد در حیطه کتاب گنجانده شده است. همچنین، جهت دسترسی سریع موضوعی به مطالب کتاب، واژه‌نامه‌ای حاوی عناوین و لغات مهم و کلیدی در انتهای آن آورده شده است. امیدواریم که با تلاش ناچیز خود قدری از راه بزرگی که دانشجویان و علاقمندان به مفاهیم الکترومغناطیس در پیش روی خود دارند را هموار ساخته باشیم.

این کتاب را می‌توان در دو نیم سال متوالی و در دو درس سه یا چهار واحدی برای دانشجویان فنی مهندسی و فیزیک به طور کامل تدریس نمود. همچنین، می‌توان برای یک درس سه واحدی مطالب مناسب منطبق بر سرفصلهای آموزشی آن درس را از درون این کتاب انتخاب نمود.

در اینجا بر خود لازم میدانیم از حسن توجه ریاست محترم دانشگاه آزاد اسلامی واحد بروجرد جناب آقای دکتر مجید شمس و معاونت محترم پژوهش و فناوری دانشگاه جناب آقای دکتر حمدرضا معظمی گودرزی و نیز از مدیر محترم انتشارات علمی جناب آقای حسام یاریار در فراهم ساختن زمینه چاپ و نشر کتاب مساعدت داشته‌اند، صمیمانه تشکر و قدردانی نمائیم. پایان بر خود فرض میدانیم که از زحمات بیدریغ و دلسوزانه‌ی سرکار خانم مهندس فرشته دالوند که در ویرایش این کتاب قبول زحمت فرمودند کمال تشکر را داشته باشیم.

منصور خرم

مریم گودرزی

محمد بامداد

فهرست

صفحه

عنوان

۱ آنالیز برابری و دستگاه‌های مختصات متعامد

۱	 مقدمه	۱-۱
۲	 جمع و تفریق برداری	۲-۱
۴	 ضرب بردارها	۳-۱
۵	 ضرب عددی یا نقطه‌ای	۱-۳-۱
۷	 ضرب برداری	۲-۳-۱
۸	 ضرب سه بردار	۳-۳-۱
۹	 دستگاه‌های مختصات متعامد	۴-۱
۱۲	 دستگاه مختصات کارتزین	۱-۴-۱
۱۶	 دستگاه مختصات استوانه‌ای	۲-۴-۱
۲۱	 دستگاه مختصات کروی	۳-۴-۱
۲۷	 مسائل	

۲ حساب بردارها

۲۹	 مقدمه	۱-۲
۲۹	 انتگرال‌های برداری	۲-۲
۳۶	 گرادیان یک میدان عددی	۳-۲
۳۹	 دیورژانس یک میدان برداری	۴-۲
۴۵	 کرل یک میدان برداری	۵-۲

صفحه	عنوان
۴۹	۶-۲ لاپلاس یک میدان عددی
۵۱	۷-۲ دو اتحاد صفر
۵۴	مسائل

۳ مبانی میدان الکتریسته ساکن

۵۷	۱-۳ مقدمه
۵۸	۱-۳ قانون کولمب
۵۹	۲-۳ فیزییات اصلی الکتریسته ساکن در فضای آزاد
۶۱	۴-۳ شدت میدان الکتریکی
۶۳	۱-۴-۳ میدان الکتریکی حاصل از توزیع بار گسته
۶۸	۲-۴-۳ میدان حاصل از توزیع بار پیوسته
۷۲	۵-۳ قانون گوس و کاربردها
۷۹	۶-۳ پتانسیل الکتریکی
۸۱	۱-۶-۳ پتانسیل حاصل از توزیع گسته بار
۸۳	۲-۶-۳ پتانسیل حاصل از توزیع پیوسته بار
۸۶	۷-۳ رساناها در میدان الکتریسته ساکن
۹۱	مسائل

۴ الکتریسته ساکن در دی الکتریک‌ها

۹۳	۱-۴ مقدمه
۹۴	۲-۴ دی الکتریکها در میدان الکتریکی ساکن
۹۴	۱-۲-۴ بار معادل در دی الکتریکهای قطبیده
۹۷	۳-۴ بردار جابجایی الکتریکی و ضریب دی الکتریک
۱۰۲	۱-۳-۴ مقاومت دی الکتریک

صفحه

عنوان

۱۰۳	شرایط مرزی الکتریسته ساکن در دی الکتریکها	۴-۴
۱۰۸	مسائل	

۵ انرژی و نیروهای الکتروستاتیک

۱۱۱	مقدمه	۵-۱
۱۱۲	تفریبت و خازن	۵-۲
۱۱۶	تساعل خازنها	۵-۳
۱۱۶	اتصال سری خازنها	۵-۳-۳
۱۱۷	اتصال موازی خازنها	۵-۳-۲
۱۲۲	انرژی در میدان الکترستاتیک	۵-۴
۱۲۸	نیروهای الکتروستاتیک	۵-۵
۱۳۳	مسائل	

۶ حل مسائل مقدار مرزی (۱) - روش حل معادلات

۱۳۵	مقدمه	۶-۱
۱۳۶	معادلات پواسون و لاپلاس	۶-۲
۱۴۰	مسائل مقدار مرزی در مختصات کارتزین	۶-۳
۱۵۰	مسائل مقدار مرزی در مختصات استوانه‌ای	۶-۴
۱۵۹	مسائل مقدار مرزی در مختصات کروی	۶-۵
۱۶۸	مسائل	

۷ حل مسائل مقدار مرزی (۲) - روش تصاویر

۱۷۱	مقدمه	۷-۱
۱۷۲	بار نقطه‌ای و صفحات تخت رسانا	۷-۲

صفحه	عنوان
۱۷۶	۳-۷ بار خطی و استوانه رسانای موازی
۱۷۹	۴-۷ بار نقطه‌ای و کره رسانا
۱۸۳	مسائل

۸ جریانهای الکتریکی دائم

۱۸۵	۱-۸ مقدمه
۱۸۶	۱-۸ چگالی جریان و قانون اهم
۱۹۱	۳-۸ نیرو محرکه الکتریکی و قانون ولتاژ کرشوف
۱۹۴	۴-۸ معادله پیوستگی و قانون جریان کرشوف
۱۹۶	۵-۸ اتلاف توان و قانون توان
۱۹۸	۶-۸ شرایط مرزی پتانسیل و جریان
۲۰۵	۷-۸ محاسبه مقاومت
۲۱۱	مسائل

۹ میدانهای مغناطیسی ساکن

۲۱۵	۱-۹ مقدمه
۲۱۸	۲-۹ اصول موضوع مغناطیس ساکن در فضای آزاد
۲۲۴	۳-۹ پتانسیل مغناطیسی برداری
۲۲۶	۴-۹ قانون بیوساوار و کاربردهای آن
۲۳۴	۵-۹ پتانسیل مغناطیسی عددی
۲۳۶	مسائل

۱۰ مغناطیس ساکن در مواد مغناطیسی

۲۴۱	۱-۱۰ مقدمه
-----	------------------

صفحه

عنوان

۲۴۲	 مغناطش و چگالی های جریان آن	۲-۱۰
۲۴۵	 چگالی های بار مغناطیسی معادل	۳-۱۰
۲۴۸	 شدت میدان مغناطیسی و نفوذپذیری نسبی	۴-۱۰
۲۵۰	 مدارهای مغناطیسی	۵-۱۰
۲۵۷	 رفتار مواد مغناطیسی	۶-۱۰
۲۶۳	 رابطه مرزی میدان های مغناطیسی ساکن	۷-۱۰
۲۶۸	 مسائل	

۱۱ انرژی و نیروی مغناطیسی

۲۷۳	 مقدمه	۱-۱۱
۲۷۴	 القای خودی و متقابل	۲-۱۱
۲۸۶	 انرژی مغناطیسی	۳-۱۱
۲۸۹	 ۱-۳-۱۱ انرژی مغناطیسی بر حسب میدان مغناطیسی	
۲۹۱	 نیروها و گشتاورهای مغناطیسی	۴-۱۱
۲۹۲	 ۱-۴-۱۱ اثر هال	
۲۹۳	 ۲-۴-۱۱ نیروها و گشتاورها در رساناهای حامل جریان	
۳۰۱	 ۳-۴-۱۱ نیرو و گشتاور بر حسب انرژی مغناطیسی ذخیره شده	
۳۰۱	 دستگاهی از مدارهای مغناطیسی با شار ثابت	
۳۰۳	 دستگاهی از مدارهای مغناطیسی با جریان ثابت	
۳۰۵	 ۴-۴-۱۱ نیرو و گشتاور بر حسب القای متقابل	
۳۰۷	 مسائل	

۱۲ القای فارادی و معادلات ماکسول

۳۱۱	 مقدمه	۱-۱۲
-----	-------------	------

صفحه	عنوان
۳۱۲	۲-۱۲ قانون القای فارادی
۳۱۳	۱-۲-۱۲ مدار ساکن در میدان مغناطیسی وابسته به زمان
۳۱۴	۲-۲-۱۲ ترانسفورماتورها
۳۱۵	ترانسفورماتور ایده آل
۳۱۶	ترانسفورماتور واقعی
۳۱۷	۳-۲-۱۲ رسانای متحرک در میدان مغناطیسی ساکن
۳۱۹	۴-۲-۱۲ مدار متحرک در میدان مغناطیسی وابسته به زمان
۳۲۶	۳-۱۲ معادلات ماکسول
۳۳۰	۴-۱۲ شرایط مرزی میدانهای الکترومغناطیس
۳۳۱	۱-۴-۱۲ رزونانس دو محیط خطی بدون اتلاف
۳۳۱	۲-۴-۱۲ مرز مشترک الکترونیک و رسانای کامل
۳۳۴	مسائل

۱۳ معادلات موج الکترومغناطیس

۳۳۷	۱-۱۳ مقدمه
۳۳۸	۲-۱۳ توابع پتانسیل
۳۴۱	۳-۱۳ معادلات موج غیر همگن و حل آنها
۳۴۴	۴-۱۳ معادلات موج همگن
۳۴۵	۵-۱۳ هماهنگیهای زمانی و فازورها
۳۴۷	۶-۱۳ میدان الکترومغناطیس هماهنگ زمانی
۳۴۹	۷-۱۳ میدانهای بدون چشمه در محیطهای ساده
۳۵۴	۸-۱۳ طیف الکترومغناطیس
۳۵۶	مسائل

۱۴ امواج الکترومغناطیسی تخت

۳۵۹	 مقدمه	۱-۱۴
۳۶۰	 امواج تخت در محیطهای بدون اتلاف	۲-۱۴
۳۶۴	 اثر داپلر	۳-۱۴
۳۶۶	 امواج الکترومغناطیسی عرضی	۴-۱۴
۳۶۹	 تابش امواج تخت	۵-۱۴
۳۷۳	 امواج تخت در محیط با اتلاف	۶-۱۴
۳۷۴	 ۱-۶-۱۴ ی الکترومغناطیسی کم اتلاف	
۳۷۵	 رساناهای خوب	۷-۱۴
۳۷۹	 سرعت گروه	۸-۱۴
۳۸۳	 توان الکترومغناطیسی و برد	۹-۱۴
۳۸۷	 چگالیهای توان لحظه‌ای و متوسط	۱۰-۱۴
۳۹۳	 مسائل	
۳۹۷	 منابع	

ضمیمه‌ها

	واحد‌ها و نمادها	الف
۴۰۰	 الف-۱ واحد بین‌المللی کمیت‌های اصلی (MKSA)	
۴۰۰	 الف-۲ واحد کمیت‌های غیر اصلی	
۴۰۲	 الف-۳ پیشنهادها	

ب ثابت‌های مهم فیزیکی

صفحه	عنوان
۴۰۳	ب-۱ ثابتهای فضای آزاد، الکترون و پروتون
۴۰۳	ب-۲ گذردهی الکتریکی نسبی مواد
۴۰۴	ب-۳ نفوذپذیری مغناطیسی نسبی مواد
۴۰۴	ب-۴ گذردهی الکتریکی نسبی مواد
	ب روابط مهم ریاضی
۴۰۵	ب-۱ قضایای مهم برداری
۴۰۶	ب-۲ عبارتهای مهم دیفرانسیلی در دستگاه مختصات عام
۴۰۶	ب-۳ انتگرالهای مهم
۴۰۹	ت واژه‌نامه فارسی - انگلیسی
۴۱۹	ث واژه‌نامه انگلیسی - فارسی

www.ketaboo.ir