

فیزیکِ دو

درسنامه الکتریسیته و مغناطیس

فیروز آرش



نوپردازن

این اثر، مشمول قانون حمایت مولفان و مصنفان و هنرمندان مصوب ۱۳۴۸ است. هرکس تمام یا قسمتی از این اثر را بدون اجازه ناشر، نشر یا پخش کند، مورد پیگرد قانونی قرار خواهد گرفت.

سرشناسه : آرش، فیروز، ۱۳۳۲-
عنوان و نام‌پدیدآور : فیزیک دو درسنامه الکتریسته و مغناطیس
مشخصات نشر : تهران: نوپردازان، ۱۳۹۳.
مشخصات ظاهری : هفده، ۷۶۱ص: مصور، جدول، نمودار؛ ۲۲×۲۹ س.م.
شابک : 978-964-975-234-1
وضعیت فهرست نویسی : فیپای مختصر
یادداشت : این مدرک در آدرس <http://opac.nlai.ir> قابل دسترسی است.
یادداشت : کتابنامه.
یادداشت : نمایه.
شماره کتابشناسی ملی : ۳۶۶۱۹۳۶



نوپردازان

فیزیک دو (الکتریسته و مغناطیس)

تالیف دکتر فیروز آرش

ناشر نوپردازان

قطع رحلی

نوبت چاپ اول

تاریخ زمستان ۱۳۹۳

تیراژ ۱۵۰۰

صفحات ۷۸۰

شابک ۹۷۸-۹۶۴-۹۷۵-۲۳۴-۱

لیتوگرافی نورنگ ۷۷۵۲۹۳۶۳-۷۷۵۳۱۰۲۷

چاپ و صحافی طرفه ۵۵۲۶۹۲۸۷-۸

۲۵۰۰۰ تومان

کتابیران: تهران، میدان انقلاب، ابتدای خیابان آزادی، خیابان دکتر قریب، بعد از فرصت شیرازی،

پلاک ۷، تلفن: ۶۶۵۶۶۵۰۹ - ۱۸

نوپردازان: تهران، خیابان لبافی‌نژاد، بین اردیبهشت و فروردین، پلاک ۲۲۸

تلفن: ۶۶۴۱۴۲۷۴ - ۶۶۴۱۴۵۱۵ - ۶۶۴۱۱۱۷۳ - ۶۶۴۹۴۴۰۹

WWW.Ketabiran.ir

فروش اینترنتی

پیشگفتار

کتاب «فیزیک دو» به پدیده‌های الکتریکی و مغناطیسی می‌پردازد؛ برآمده از درس‌نامه‌های من در چندین سال تدریس درس الکتریسیته و مغناطیس است. این درس‌نامه‌ها برای آن دسته از دانشجویهای فیزیک نوشته شده است که آگاهانه به فیزیک روی آورده‌اند و آن را پیشه‌ی آینده‌ی خود برگزیده‌اند. با این حال، برای دانشجویهای جدی‌تر رشته‌ی مهندسی برق و الکترونیک هم سودمند است. در آخرین بازنویسی آن با پرسش‌هایی روبرو شدم که در این پیشگفتار با شما در میان می‌گذارم: می‌بایست از خودم می‌پرسیدم برای چه کسانی می‌نویسم؛ چه چیزی در آن گنجانده شده است که آن را از کتاب‌های دیگری که در بازار ایران وجود دارد، متمایز می‌کند؟ پاسخ پرسش نخست را در بالا آوردم: برای دانشجویهای رشته‌ی فیزیک نوشته شده است. این‌ها دانشجویهای سال اول یا دوم‌اند. آنچه در این کتاب گنجانده شده است، برای دانشجویهایی است که نخستین بار با درس الکتریسیته و مغناطیس آشنا می‌شوند. می‌خواستم در سطحی که مناسب دانشجوی سال اول یا دوم رشته‌ی فیزیک است، دانشی به تقریب کامل از الکتریسیته و مغناطیس به‌دست بدهم. خاستگاه کتاب توصیف اصول پایه و نشان دادن برخی کاربردهای آن است. اما چشمی هم در آماده کردن دانشجو برای درس پیش‌رفته‌تر الکترومغناطیس دارد.

نگارش به‌سامان این کتاب از سال ۱۳۸۸ آغاز شد. از آن هنگام تاکنون، به تقریب، هر سال آن را بازنویسی کرده‌ام. انگیزه‌ی نگارش این کتاب همان است که در پیشگفتار «فیزیک یک» آورده‌ام و در اینجا بازگو نخواهم کرد. بخشی از آن انگیزه، در رنگی دیگر هنوز با من است: آموزش دانشگاهی ما در چند سال گذشته با دشواری‌های جدی روبرو شده است و توجه چندانی به آن نمی‌شود. نگارش این کتاب گامی برای بهبود این وضع است و امیدوارم سودمند باشد. نسخه‌های اولیه‌ی این کتاب برای چندین سال در اینترنت در دسترس همگان بود و نگارنده اظهار نظرهای زیادی از خوانندگان دریافت کرده است که گویا آن نسخه‌ها سودمند بوده‌اند. نسخه‌ای که اینک برای چاپ آماده شده است، آخرین ویرایش آن با افزوده‌های فراوان است.

در این کتاب، پدیده‌های الکتریکی و مغناطیسی را از دیدگاه یک فیزیک‌پیشه بررسی کرده‌ام و کوشیده‌ام به دانشجو پیام‌زنام تا هیچ باوری، حتی بدیهی، را بدون پشتوانه‌ی منطقی نپذیرد. این دیدگاه‌چیره در این کتاب است. برای پیش بردن این نگاه، هر از گاهی ناگزیر شدم تا جایی که حجم کتاب اجازه می‌داد، موضوع را فراتر از سطح «پذیرفته شده» برای فیزیک پایه ۲ پیش ببرم و به برخی مفاهیم‌ها بپردازم که شاید دانشجو به‌طور معمول در درس رسمی‌تر الکترومغناطیس با آن‌ها روبرو می‌شود. اما این بدان معنی نیست که این کتاب می‌تواند جایگزین کتابی برای درس الکترومغناطیس شود. با این حال، این احساس آزاردهنده همواره همراه من بوده است که برای آموختن الکترومغناطیس، دانستن و فهمیدن اندرونی درس فیزیک پایه ۲ بسیار مهم است. به گمان من، بخش بزرگی از درس الکترومغناطیس ۱ با موضوع‌هایی سپری می‌شود که می‌توان آنها را در فیزیک پایه ۲ آموخت. آن بخش از اندرونی این کتاب که بیرون از دایره‌ی فیزیک ۲ «پذیرفته شده» قرار دارد با ستاره (*) نشانه‌گذاری شده است. تدریس این بخش‌ها به‌گونه‌ای اختیاری است و بستگی به زمان و خواست استاد درس دارد که به آنها بپردازد یا نپردازد. راستش، برای من همیشه عجیب بوده است که چرا دانشجو نمی‌داند یا درک روشنی از این ندارد که پدیده‌های الکترومغناطیسی به‌چارچوب مرجع وابسته است. بنابراین، در فصل‌های ۱۰ و ۱۱ این

کتاب کوشیده‌ام این مهم را به‌طور نام و ناگزیر شدم به نسبت خاص و تبدیل‌های لورنتس هم بپردازم. پیوست آخر کتاب با جزئیات بیشتر این موضوع را دنبال می‌کند.

کوشیده‌ام که کتاب را بی‌نیاز از اطلاعات بیرونی بکنم تا بر روی پاهای خود بایستد. بنابراین، هر جا که لازم بوده است، برخی یادآوری‌ها و آموزش‌های ریاضی را در متن فصل‌ها و یا به‌صورت پیوست همان فصل گنجانده‌ام.

آموزش فیزیک در کل و الکتریسیته و مغناطیس به‌ویژه، بدون آشنایی با ریاضیات شدنی نیست. جیمز کلارک مکسول، تدوین‌کننده علم الکترومغناطیس این نیازمندی را در جمله‌ی کوتاهی به زیبایی بیان می‌کند: «برای فهمیدن علم الکترومغناطیس دانشجوی باید خود را با انبوهی از ریاضیات آشنا کند. از بر کردن رابطه‌ها بازدارنده‌ی جدی برای پیشرفت‌های بعدی است». فیزیک را باید فهمید تا بتوان از آن استفاده کرد و از زیبایی‌های آن سرخوش شد. هر جا که وسوسه‌ی از بر کردن بر شما چیره شد، بدانید که با فهمیدن دشواری دارید. از آن دوری کنید، زیرا کمکی ماندگار برای شما نخواهد بود. برای آسان کردن فهمیدن، مثال‌های فراوانی در این کتاب گنجانده شده است. برخی از این مثال‌ها جالب‌برانگیزند. مسئله‌های زیادی هم در پایان هر فصل وجود دارد. هر مثال و هر مسئله برای روشن کردن نکته‌ای گنجانده شده است که در متن کتاب از آن سخن رفته است. بکوشید نخست صورت هر مثال را تا پایان آن بخوانید. داده‌های آن را مشخص کنید، ببینید به کدام قانون یا اصلی مربوط است و سپس بکوشید روشی برای حل آن بیورانید و آن را به انجام برسانید. اگر پاسخ مثال را خودتان به دست آوردید، برای خاطر جمع شدن از درستی حل خود، به پاسخ و حل داده شده در کتاب نگاه کنید. اگر حل خودتان را تا جایی پیش بردید و دیگر توان ادامه‌اش را نداشتید. مشکل خود را یادداشت کنید و سپس حل داده شده را نگاه کنید. با این کار درمی‌یابید که چه چیزی را نفهمیده‌اید یا نکته‌ای را نادیده گرفته‌اید. گام نخست فهمیدن این است که بدانیم چه چیزی را نمی‌فهمیم. پیش از آن که رویکرد خودتان را بیازمایید، خواندن حل مثال سودمند نخواهد بود.

دانشجوی فیزیک نباید فکر کند که با از بر کردن و آموختن روش ثابت مکانیکی می‌تواند مفهوم‌های فیزیکی را بیاموزد. آموزش فیزیک، درک مفهوم و اندرون‌های قانون‌های طبیعت است، استدلال‌بندی است. یادگیری آن به روشی بسیار متفاوت از نگاه کردن و به‌خاطر سپردن رابطه‌ها یا مثال‌ها نیاز دارد. درک مفهومی و کلامی در فیزیک بسیار مهم است و انتظار بر آن است که استاد درس و کلاس‌های حل تمرین آن را برآورده کنند. با این حال، کوشیده‌ام تا جایی که شدنی است، این انتظار را در خود این نوشته برآورده کنم؛ زیرا در بسیاری از دانشگاه‌های ما آزمایشگاه و کلاس‌های حل تمرین مناسب وجود ندارند و گاهی استاد درس هم از چیرگی لازم برخوردار نیست. وجود مثال‌های حل شده‌ی فراوان در متن کتاب می‌کوشد این کاستی‌های ممکن را برطرف کند. مثال‌ها به این خاطر در این کتاب گنجانده نشده است که دانشجوی بخواند آنها را به یاد بسپارد، بلکه به این دلیل است که طرح کلی را از آنها به دست بیاورد. درگیر شدن شخصی خود دانشجوی در فرایند «یادگیری» فیزیک بسیار مهم است. به چه خوبی فیزیک بیاموزید، نمره‌ی خوبی از درس‌تان بگیرید، و مهم‌تر این‌که از یادگیری لذت ببرید، همگی بستگی به این دارد که با چه شوری خود را در فرایند یادگیری درگیر کنید. بی‌تفاوت بودن به و جدا ماندن از فرایند یادگیری دستاورد بسیار ناخوشایندی خواهد داشت. اگر بتوانید با فرایند یادگیری درگیر شوید و شور یادگیری داشته باشید، زندگی هم برای‌تان آسان و لذت‌بخش خواهد شد؛ نتیجه‌ی تلاش‌تان به بار خواهد نشست. توجه کنید که من از «یادگیری» سخن می‌گویم و نه از «درس دادن». از آغاز این کتاب، پافشاری من بر یادگیری است. یادگیری گزینه‌ای است که شما انتخابش می‌کنید و با انتخاب‌تان آن را کنترل می‌کنید. یادگیری فرایند «کنا» است، اما درس آموزی «ناکنا» است. بنابراین، بستگی به خودتان دارد که فرایند آموزش خود را چگونه برگزینید: می‌توانید بنشینید و منتظر باشید که موضوع به زور در ذهن شما تزریق بشود یا این‌که با درگیر شدن و دخالت کردن شخصی آن را یاد بگیرید.

پیشنهاد من این است: این کتاب و در واقع، هر کتاب فیزیک را، دوبار بخوانید: یک بار بخشی را که موضوع کلاس درس روز بعدتان است، پیش از آغاز کلاس، مثلاً شب قبل، بخوانید. نکته‌هایی که به نظر‌تان مهم می‌آید، در دقتی بنویسید. چیزهایی را هم که

نمی‌فهمید در آن دفتر بنویسید. با این کار با آگاهی به کلاس درس خواهید رفت و در کلاس می‌فهمید که استاد درس درباره‌ی چه چیزی سخن می‌گوید. می‌توانید گنگی‌های خوانش نخست را برطرف کنید و پرسش‌های معنی‌دار بکنید. به زبان دیگر، در کلاس، دانشجوی بی‌طرف، ناکارآمد و شنونده‌ی تنها نخواهید بود. خوانش دوم را پیش از آغاز حل تمرین‌های خانگی انجام دهید. این سبب می‌شود که نکات مهم و اصلی یادآوری بشوند و شما را برای حل تمرین‌هایتان آماده کند. حل تمرین بخش جدا نشدنی آموزش فیزیک است. شما را به اندیشیدن وامی‌دارد و نیز روش اندیشیدن نقادانه را به شما می‌آموزد. این نه تنها برای آموزش فیزیک مهم است، بلکه وظیفه‌ای است که دانشگاه باید به درستی از عهده‌ی انجام آن برآید. البته، درس‌های دیگری هم شما داشته‌اید و خواهید داشت که با مسئله همراه است. مانند درس‌های ریاضی. اما بین مسئله‌های ریاضی و فیزیک یک تفاوت مهم است. در ریاضی بیشتر وقت‌ها معادله‌ای داده می‌شود و شما باید آن را حل کنید. در فیزیک، نخست باید معادله‌ای را بیابید و سپس آن را حل کنید. این تفاوت کوچکی نیست و برای یافتن معادله‌ی مسئله‌تان، فهمیدن اندرونی فیزیک لازم است.

پدیده‌های الکتریکی و مغناطیسی در همه‌ی جنبه‌های زندگی روزانه همراه ما هستند. از تپش قلب و ارتباط‌های عصبی گرفته تا اتو و یخچال، دیس ماهواره و تلفن همراه، کارت بانکی و خیلی چیزهای دیگر که از شماره خارج‌اند. در پایان خیلی از فصل‌های کتاب، بخشی به کاربردهای عملی می‌پردازد. در متن فصل‌ها هم از این دسته کاربردها وجود دارند. اگرچه کوشیده‌ام آنها را تا جایی که ممکن است به روشنی توضیح بدهم، اما وجه برجسته‌ی این کتاب نیستند. کتاب، به کارکرد، طراحی و ساخت ابزار الکتریکی بی‌شمار که در زندگی روزانه با آنها سروکار داریم، نمی‌پردازد؛ آنها در گستره‌ی مهندسی الکترونیک و برق است. بنابراین، اگر هدف شما آموختن کارکرد ابزار و ماشین‌های الکتریکی است، شاید بپرسید این کتاب به چه درد شما می‌خورد؟ پاسخ من ساده است: مهندس برق و الکترونیک پیش از آن‌که بخواهد اصول الکتریسیته و مغناطیس را در طراحی ابزار و کاربردهای عملی به‌کار برد، بیش از هر کس دیگری باید با بنیادهای علمی الکتریسیته و مغناطیس آشنا باشد و آنها را بفهمد. پس، اگر درک ژرفی از بنیادهای این موضوع نداشته باشید هرگز در اندیشه‌ی مهندس چیره‌دست برق و الکترونیک شدن هم نباشید. با خواندن بخش‌های «کاربردهای عملی» خواهید دید که به راحتی بسیاری از ابزارهای پیچیده که هر روز از آنها استفاده می‌کنید، بر پایه‌ی اصول و قانون‌های ساده‌ی فیزیک استوارند. اگر آنها را خوب بفهمید، هیچ چیزی جلو شما را نمی‌گردد که یکی از آفرینندگان آن ابزارها و یا ابزارهای نو دیگر باشید. در واقع، دانشجوی خوب فیزیک هیچ‌گاه نیازمند کار نیست، بلکه خود می‌تواند یک کارآفرین شایسته باشد. در نگارش این کتاب از منابع زیادی استفاده شده است. نام و نشان آنها در کتاب‌شناسی آمده است. اما لازم است از دو کتاب سودمند و آموزنده جداگانه نام ببرم:

David J. Griffiths, Introduction to Electrodynamics, 2nd edition, Prentice Hall, 1989.

Edward M. Purcell, Electricity and Magnetism, 2nd edition, McGraw-Hill Book company, 1985.

از هر دو بهره‌ی فراوان برده‌ام. خواندن آنها را در هر سطحی به خواننده‌ی پرسشگر پیشنهاد می‌کنم. نگارش این کتاب را وام‌دار خیلی‌ها هستم. پیش از همه، همسرم، نازک، است که با تشکیلی خود، امکان نوشتن آن را فراهم کرد. ساعت‌های درازی که بسیاری شب‌ها تا سپیده دوام می‌یافت، او را تنها گذاشتم و به آماده کردن این کتاب پرداختم. شکوه‌ای از او نشنیدم. یاری است که گام به گام مرا همراهی کرده است. سخت است که واژه‌ای بیابم و از او سپاس‌گزاری کنم. وام‌دار دانشجوهای فیزیک دانشگاه تفرش هستم. کتاب را در شکل «درس‌نامه» نخست برای آنها فراهم کردم و با آنها مناسب بودنش را آزمودم. از همه‌ی آنان و دیگرانی که نسخه‌های اینترنتی آن را خوانده‌اند و برداشت‌های خود را در اختیار من گذاشته‌اند، سپاس‌گزارم. به ویژه باید از آقای کمیل مزرعی نام ببرم و از ایشان تشکر کنم که نه تنها نسخه‌های اولیه‌ی این کتاب را خوانده‌اند و به کلاس‌شان شناسانده‌اند، بلکه پیشنهادهایشان هم راه‌گشا بوده است.

از دکتر وحید کریمی پور سپاس گزارم که همواره مرا در نوشتن تشویق کرده‌اند. نسخه‌ی خام این کتاب را به کلاس درس‌شان شناساندند و بخش‌هایی از آن را خواندند. از دکتر حمیدرضا سپنجی برای پشتیبانی و دلگرمی‌های همیشگی‌شان بسیار سپاس گزارم. آقای دکتر اتفاقی خطر کردند و این کتاب را برای تدریس در کلاس‌شان برگزیدند. این البته دلیری می‌خواهد و شایسته‌ی ارج‌گذاری فراوان است. متشکرم.

از هم‌کارهایم در دانشگاه تفرش، به‌ویژه، دکتر امیر قلعه، دکتر پروانه نظرزاده و دکتر ناصر راسخی نژاد سپاس‌گزارم که با پرس و جویهایشان از به سرانجام رسیدن این نوشته، علاقمندی‌شان را به من یادآوری می‌کردند.

باید از آقای دکتر محمدابراهیم ابوکاظمی یاد و تشکر کنم که راه انتشار این نوشته و «فیزیک یک» را فراهم کردند.

خانم مریم دارابی کار سخت صفحه‌بندی، تصحیح و حروف‌چینی این کتاب را به عهده داشتند. بی‌تردید، بدون تلاش و شکیبایی ایشان، این نوشته آماده نمی‌شد. کار ایشان ستودنی است و من از ایشان سپاس‌گزارم.

مسئله‌های آخر فصل‌های این کتاب حل شده‌اند و همکارهایی که آن را برای تدریس کلاسی‌شان برگزینند می‌توانند نسخه‌ای از آنها را از نگارنده بخواهند.

فیروز آرش،

تهران، پاییز ۱۳۹۳

۲۹	۲-۲-۱	خط‌های میدان
۳۴	۲-۳	دوقطبی الکتریکی
۳۴	۲-۳-۱	میدان الکتریکی دوقطبی الکتریکی
۳۶	۲-۳-۲	دوقطبی الکتریکی در میدان الکتریکی
۳۷	۲-۳-۳	انرژی پتانسیل دوقطبی الکتریکی
۴۰	۲-۴	توزیع پیوسته‌ی بار
۵۹	۲-۵	کاربردهای عملی
۵۹	۲-۵-۱	الکتریسیته‌ی مالشی و ساکن: داستان لنگه جوراب و پیراهن
۶۰	۲-۵-۲	دستگاه‌های فتوکپی و چاپ لیزری
۶۳		مثال‌های تکمیلی
۶۶		آزمون کوتاه و چندگزینه‌ای
۷۰		مسئله‌ها

فصل ۳ انرژی آرایه‌ی بار ۷۷

۷۷	۳-۱	پتانسیل و انرژی پتانسیل
۸۰	۳-۲	پتانسیل الکتریکی در میدان یکنواخت
۸۱	۳-۳	پتانسیل الکتریکی بار نقطه‌ای
۸۲	۳-۳-۱	انرژی پتانسیل مجموعه‌ی بارها
۸۶	۳-۳-۲	پتانسیل توزیع پیوسته‌ی بار
۸۷	۳-۴	به دست آوردن میدان الکتریکی از پتانسیل الکتریکی
۹۳	۳-۵	گرادیان و هم‌پتانسیل‌ها
۹۵	۳-۶	یک کاربرد فیزیکی: انرژی بلور یونی
۹۷	۳-۷	کاربردهای عملی
۱۰۲		مثال‌های تکمیلی
۱۰۳		آزمون‌های کوتاه چندگزینه‌ای و پرسش‌های مفهومی
۱۰۶		مسئله‌ها

فصل ۴ قانون گاوس ۱۰۹

۱۰۹	۴-۱	خط‌های میدان الکتریکی
۱۱۰	۴-۲	شار میدان الکتریکی
۱۱۵	۴-۳	قانون گاوس
۱۱۵	۴-۳-۱	شکل انتگرالی قانون گاوس
۱۱۷	۴-۳-۲	کاربردهای قانون گاوس
۱۳۰	۴-۳-۳	شکل دیفرانسیلی قانون گاوس
۱۳۶	۴-۴	یک کاربرد عملی: پالایشگاه الکتروستاتیک
۱۳۸	۴-۵	قضیه‌ی ارنشاو

۴-۶	رساناها	۱۳۹
۴-۶-۱	تعریف	۱۳۹
۴-۶-۲	ویژگی های الکتریکی رسانا	۱۴۰
۴-۶-۳	بارهای القایی	۱۴۳
۴-۶-۴	نیروی الکتریکی وارد بر بار سطحی در روی رسانا و فشار الکتروستاتیکی	۱۴۹
۴-۷	کشش و فشار الکتریکی	۱۵۴
۴-۸	حرکت ذره ی باردار در میدان الکتریکی یکنواخت	۱۵۴
۴-۹	انرژی میدان الکتریکی	۱۵۶
۴-۱۰	پیوست ۱: اثبات قضیه ی دیورژانس	۱۵۸
۴-۱۰-۱	تعریف دیورژانس	۱۵۸
۴-۱۰-۲	قضیه ی بنیادی دیورژانس	۱۵۹
۴-۱۱	مثال های تکمیلی	۱۶۱
۴-۱۲	مسئله ها	۱۶۴
۴-۱۳	آزمون های کوتاه چندگزینه ای	۱۶۸

فصل ۵ پتانسیل، انرژی الکتروستاتیکی و شرایط مرزی

۵-۱	کرل (تاو) میدان الکتریکی $E(r)$	۱۷۳
۵-۲	محاسبه ی مستقیم $\nabla \times E$	۱۷۴
۵-۳	نکاتی پیرامون پتانسیل الکتریکی	۱۷۶
۵-۴	معادله های پواسن و لاپلاس	۱۸۶
۵-۵	انرژی الکتروستاتیکی	۱۸۷
۵-۶	یک کاربرد عملی: انرژی شکافت هسته ای	۱۹۲
۵-۷	نکاتی پیرامون انرژی الکتروستاتیکی	۱۹۴
۵-۸	شرایط مرزی در الکتروستاتیک	۱۹۶
۵-۹*	عملگر لاپلاسی: لاپلاسیان	۱۹۹
۵-۱۰	معادله ی لاپلاس	۲۰۳
۵-۱۱	بسط چندقطبی	۲۰۹
۵-۱۲	مثال های تکمیلی	۲۱۳
۵-۱۳	پیوست	۲۱۷
۵-۱۴	آزمون های کوتاه و چندگزینه ای	۲۱۹
۵-۱۵	مسئله ها	۲۲۲

فصل ۶ میدان های الکتریکی در رساناها و پیرامون آنها

۶-۱	پیش گفتار	۲۲۷
۶-۲	ماده ی رسانا در میدان الکتریکی	۲۲۸
۶-۳	مسئله ی عمومی	۲۲۹

۲۳۵	۶-۴* روش بارهای تصویر
۲۴۶	۶-۵ خازن و ظرفیت خازن
۲۴۸	۶-۶ محاسبه‌ی ظرفیت خازن
۲۵۱	۶-۷* آرایه‌ی با بیش از دو رسانا
۲۵۵	۶-۸ باردار کردن خازن و انرژی انباشته در آن
۲۶۰	۶-۹ به هم بستن خازن‌ها
۲۶۰	۶-۹-۱ ترکیب موازی خازن‌های
۲۶۱	۶-۹-۲ ترکیب سری خازن‌ها
۲۶۶	۶-۱۰ کاربردهای عملی
۲۶۸	مثال‌های تکمیلی
۲۷۲	آزمون‌های کوتاه و چندگزینه‌ای
۲۷۵	مسئله‌ها

فصل ۷ میدان‌های الکتروستاتیک در ماده ۲۸۱

۲۸۱	۷-۱ دی‌الکتریک‌ها
۲۸۵	۷-۲ میدان جسم قطبیده، نمایش پتانسیل و بارهای القایی
۲۸۷	۷-۳ ماده‌ی دی‌الکتریک در میدان الکتریکی: دی‌الکتریک خطی
۲۸۸	۷-۴ قانون گاوس در محیط دی‌الکتریک
۳۰۱	۷-۵ خازن انباشته با دی‌الکتریک
۳۰۱	۷-۵-۱ خازن گسسته از باتری
۳۰۱	۷-۵-۲ خازن متصل به باتری
۳۰۶	۷-۶ شرایط مرزی در سطح دی‌الکتریک
۳۱۱	۷-۷ نیروی بین بارها در محیط دی‌الکتریک
۳۱۲	۷-۸ انرژی در سامانه‌های دی‌الکتریک
۳۱۳	۷-۹ نیروی وارد به دی‌الکتریک
۳۱۸	۷-۱۰ کاربردهای عملی
۳۲۰	مثال‌های تکمیلی
۳۲۲	آزمون‌های کوتاه و چندگزینه‌ای
۳۲۴	مسئله‌ها

فصل ۸ جریان و مقاومت ۳۲۷

۳۲۷	۸-۱ جریان الکتریکی
۳۲۸	۸-۲ چگالی جریان
۳۳۱	۸-۳ جریان پایا و پایداری بار الکتریکی
۳۳۲	۸-۴ رسانایی الکتریکی و قانون اهم
۳۴۰	۸-۵ مدار الکتریکی

۳۴۰	۸-۶ انرژی و توان الکتریکی
۳۴۴	۸-۷ نیروی محرکه‌ی الکتریکی
۳۴۷	۸-۸ شبکه‌های مقاومت
۳۵۲	۸-۹ قانون‌های کرک‌هوف
۳۵۵	۸-۱۰ قضیه‌ی تئین
۳۵۸	۸-۱۱ مدار RC
۳۶۳	۸-۱۲ کاربردهای عملی
۳۶۷	مثال‌های تکمیلی
۳۷۰	آزمون‌های کوتاه و چندگزینه‌ای
۳۷۲	مسئله‌ها

فصل ۹ میدان‌های مغناطیسی ۳۷۵

۳۷۵	۹-۱ پیش‌گفتار
۳۷۷	۹-۲ تعریف میدان مغناطیسی و قانون نیروی لورنتس
۳۸۱	۹-۳ کاربردهای قانون نیروی لورنتس
۳۸۵	۹-۴ کار نیروی مغناطیسی
۳۸۶	۹-۵ نیروی مغناطیسی وارد به سیم حامل جریان الکتریکی
۳۸۹	۹-۶ گشتاور وارد به حلقه‌ی جریان
۳۹۱	۹-۷ دوقطبی مغناطیسی در میدان نایکنواخت
۳۹۴	۹-۸ چگالی جریان
۳۹۴	۹-۸-۱ چگالی جریان سطحی
۳۹۵	۹-۸-۲ چگالی جریان حجمی
۳۹۸	۹-۹ اثر هال
۴۰۰	* ۹-۱۰ اندازه‌گیری بار متحرک
۴۰۲	۹-۱۱ میدان الکتریکی در چارچوب‌های متفاوت
۴۰۵	۹-۱۲ میدان ذره‌ی باردار نقطه‌ای که با سرعت ثابت حرکت می‌کند
۴۰۹	۹-۱۳ نیرویی که بر بار آزمون متحرک وارد می‌شود
۴۱۲	* ۹-۱۴ برهم‌کنش بین دو ذره‌ی در حال حرکت
۴۱۶	۹-۱۵ ابزار اندازه‌گیری
۴۱۹	۹-۱۶ کاربردهای عملی
۴۲۱	پوست حل کامل مثال ۹-۲
۴۲۴	آزمون‌های کوتاه و چندگزینه‌ای
۴۲۸	مسئله‌ها

فصل ۱۰ چشمه‌ی میدان مغناطیسی ۴۳۳

۴۳۳	پیش‌گفتار
-----	-----------

۴۳۳	۱۰-۱ میدان مغناطیسی جریان پایا: قانون بیو-ساوار
۴۴۸	۱۰-۲ میدان مغناطیسی یک دوقطبی مغناطیسی نقطه‌ای
۴۵۰	۱۰-۳ پیچیدگی هلمهولتز
۴۵۳	۱۰-۴ قانون بیو-ساوار و چگالی جریان
۴۶۰	پرسش‌های مفهومی و آزمون‌های چندگزینه‌ای
۴۶۱	مسئله‌ها

فصل ۱۱ قانون آمپر ۴۶۵

۴۶۵	۱۱-۱ برخی ویژگی‌های میدان مغناطیسی
۴۶۹	۱۱-۲ کاربردهای قانون آمپر
۴۷۹	* ۱۱-۳ سرشت میدان مغناطیسی: واگرایی (دیورژانس) و تاو (کرل) میدان B
۴۸۰	۱۱-۴ پتانسیل برداری
۴۸۳	۱۱-۵ پتانسیل برداری سیم حامل جریان: بازآفرینی قانون بیوساوار
۴۸۱	* ۱۱-۶ پتانسیل برداری حلقه‌ی جریان و بسط چندقطبی مغناطیسی
۴۹۰	* ۱۱-۷ تبدیل میدان‌ها
۴۹۴	۱۱-۸ پتانسیل برداری، پراش الکترون و اثر بوهم-آهارونوف
۴۹۵	۱۱-۸-۱ پراش الکترون از دوشکاف
۴۹۷	۱۱-۸-۲ بازگشت به اثر بوهم-آهارونوف
۴۹۷	پیوست: محاسبه‌ی انتگرال $\int_V (\mathbf{J} \cdot \nabla) \frac{\mathbf{r}}{r} d\tau$
۴۹۹	آزمون‌های کوتاه و چندگزینه‌ای
۵۰۱	مسئله‌ها

فصل ۱۲ الکتروستاتیک ۵۰۵

۵۰۵	۱۲-۱ قانون اهم
۵۱۲	۱۲-۲ الکتریسیته‌ی جو
۵۱۵	۱۲-۳ نیروی محرکه
۵۱۷	۱۲-۴ نیروی محرکه‌ی حرکتی: قانون فاراده
۵۲۵	۱۲-۵ قانون لنتز
۵۳۰	۱۲-۶ قانون فاراده و القاء الکترومغناطیسی
۵۳۲	* ۱۲-۷ محاسبه‌ی میدان الکتریکی
۵۳۸	۱۲-۸ مولدها
۵۴۰	۱۲-۹ جریان‌های اِدی (سرگشت)
۵۴۱	کاربردهای عملی قانون فاراده
۵۴۵	مسئله‌ها
۵۵۰	آزمون‌های کوتاه و چندگزینه‌ای

فصل ۱۳ القاوری و انرژی مغناطیسی ۵۵۳

۵۵۳	۱۳-۱ القاء متقابل
۵۵۶	۱۳-۲ خود القاء
۵۶۲	۱۳-۳ انرژی در میدان های مغناطیسی
۵۶۵	۱۳-۴** محاسبه ی انرژی میدان مغناطیسی: حالت عمومی
۵۶۸	۱۳-۵ تولید و نابود کردن انرژی مغناطیسی
۵۶۸	۱۳-۵-۱ تولید انرژی مغناطیسی
۵۶۹	۱۳-۵-۲ از بین بردن انرژی مغناطیسی
۵۷۰	۱۳-۶ مدارهای مغناطیسی
۵۷۰	۱۳-۶-۱ خود القایی و تعمیم قانون کرکھوف
۵۸۲	۱۳-۷ انتقال تنش با میدان های مغناطیسی
۵۸۵	۱۳-۸ بار الکتریکی در میدان مغناطیسی متغیر با زمان
۵۸۷	۱۳-۹ به هم بستن خود القاء ها و برهم کنش مدارها
۵۸۹	پایست: حل عمومی مدار RLC
۵۹۲	مسئله ها
۵۹۴	آزمون های کوتاه و چندگزینه ای

فصل ۱۴ مدارهای جریان متناوب ۵۹۷

۵۹۷	۱۴-۱ نوسان گر میرا: یک مقایسه
۵۹۹	۱۴-۲ نیروی محرکه ی متناوب
۶۰۰	۱۴-۳ مدارهای ساده ی جریان متناوب
۶۰۰	۱۴-۳-۱ مدار مقاومت
۶۰۲	۱۴-۳-۲ مدار خود القاء
۶۰۳	۱۴-۳-۳ مدار خازن
۶۰۴	۱۴-۳-۴ مدار RL
۶۰۵	۱۴-۳-۵ مدار RC
۶۰۶	۱۴-۳-۶ زمان و رفتار گذرا
۶۰۷	۱۴-۴ مدار سری RCL
۶۱۰	۱۴-۵ پآگیری (امپدانس)
۶۱۰	۱۴-۶ تشدید
۶۱۳	۱۴-۶-۱ توان در مدارهای با جریان متناوب
۶۱۴	۱۴-۶-۲ بهنای قله ی توان
۶۱۵	۱۴-۷ مبدل یا ترانسفورماتور
۶۱۶	۱۴-۸ مدار موازی RCL
۶۲۴	۱۴-۹ نمایش های مختلط
۶۳۰	۱۴-۱۰ برخی کاربردهای عملی

۶۳۶	مثال‌های تکمیلی.....
۶۳۹	آزمون‌های کوتاه و چندگزینه‌ای.....
۶۴۰	مسئله‌ها.....

فصل ۱۵ معادله‌های مکسول و امواج الکترومغناطیسی ۶۴۳

۶۴۳	۱۵-۱ جریان جابه‌جایی.....
۶۴۸	۱۵-۲ معادله‌های مکسول و بار مغناطیسی.....
۶۵۰	۱۵-۳** فرمول‌بندی پتانسیلی الکتروستاتیک.....
۶۵۲	۱۵-۴ امواج الکترومغناطیسی.....
۶۵۲	۱۵-۴-۱ معادله‌ی موج.....
۶۵۵	۱۵-۴-۲ موج تخت.....
۶۵۶	۱۵-۴-۳ شرط‌های پایانی.....
۶۶۲	۱۵-۴-۴ موج ایستاده‌ی الکترومغناطیسی.....
۶۶۳	۱۵-۵ بردار پویستینگ.....
۶۷۰	۱۵-۶ انتقال انرژی.....
۶۷۴	۱۵-۷ تکانه و فشار تابشی.....
۶۷۴	۱۵-۸ تولید موج الکترومغناطیسی با آنتن.....
۶۷۶	۱۵-۹ تولید موج تخت.....
۶۷۹	۱۵-۱۰ تولید موج الکترومغناطیسی سینوسی.....
۶۸۲	۱۵-۱۱ کاربردهای عملی.....
۶۸۴	مثال‌های تکمیلی.....
۶۸۷	آزمون‌های کوتاه و چندگزینه‌ای.....
۶۸۸	مسئله‌ها.....

فصل ۱۶ مواد مغناطیسی ۶۹۳

۶۹۳	۱۶-۱ پیشگفتار.....
۶۹۵	۱۶-۲ گشتاور مغناطیسی اتم.....
۶۹۸	۱۶-۳ دوقطبی مغناطیسی در میدان خارجی.....
۶۹۹	۱۶-۴ اسپین و گشتاور مغناطیسی اسپینی الکترون.....
۷۰۱	۱۶-۵ پذیرفتاری مغناطیسی.....
۷۰۳	۱۶-۶ مغناطش.....
۷۰۵	۱۶-۷ قانون آمپر در ماده‌ی مغناطیده.....
۷۰۸	۱۶-۸ پذیرفتاری و تراوایی مغناطیسی.....
۷۱۰	۱۶-۹ فرومغناطیس.....
۷۱۴	* ۱۶-۱۰ معادله‌های مکسول در درون ماده.....
۷۱۷	۱۶-۱۱ کاربردهای عملی.....
۷۱۹	آزمون‌های کوتاه و چندگزینه‌ای.....

پیوست: تبدیل‌های لورنتس ۷۲۱

۷۲۱	۱. چارچوب‌های لخت (هم‌رو)
۷۲۱	۱-۱ سامان‌دهی دستگاه مختصات
۷۲۲	۱-۲ سامان‌دهی چارچوب لخت هم‌رو
۷۲۳	۱-۳ تبدیل گالیله
۷۲۳	۱-۴ ناوارد بودن برهم‌کنش‌های گرانشی تحت تبدیل گالیله
۷۲۵	۱-۵ موج صوتی تحت تبدیل گالیله
۷۲۷	۱-۶ سردرگمی فیزیک‌دان‌های سال‌های ۱۸۰۰
۷۲۸	۱-۷ تبدیل فضا و زمان
۷۳۰	۱-۸ تبدیل چشمه و میدان
۷۳۰	۱-۸-۱ تبدیل چشمه‌ی میدان: چگالی بار ρ و چگالی جریان J
۷۳۱	۱-۸-۲ تبدیل میدان‌های E و B
۷۳۳	۱-۹ تبدیل پتانسیل‌ها

پاسخ مسئله‌های پایان فصل‌ها ۷۳۵

کتابشناسی ۷۵۱

نمایه ۷۵۳