

بسم الله الرحمن الرحيم



دانشگاه افسری امام علی (ع)

معاونت پژوهش

الکترومغناطیس

سید عیسی کرانیان

مجید امیرزاده

۱۳۹۳

سرشناسه : کرانیان، سید عیسی، ۱۳۴۸ -

عنوان و نام پدیدآور : الکترومغناطیس / عیسی کرانیان، مجید امیرزاده.

مشخصات نشر : تهران : دانشگاه افسری امام علی (ع)، معاونت پژوهشی، ۱۳۹۳.

مشخصات ظاهری : ۲۸۸ ص: مصور، جدول، نمودار.

شابک : ۹۷۸-۶۰۰-۶۸۷۴-۷۹-۱

وضعیت فهرست نویسی : قیفا

موضوع : الکترومغناطیس

موضوع : مدارهای الکترونیکی

موضوع : مدارهای الکترومغناطیس

شماره افزوده : امیرزاده، مجید، ۱۳۶۲ -

شابک افزوده : دانشگاه افسری امام علی (ع)، معاونت پژوهشی

رده بندی کنگره : ۶۲۰/۵۴-۱۳۹۳ / QC۷۶۰

رده بندی دیویی : ۵۳۰

شماره کتابشناسی ملی : ۶۵۹۸۶۲۱

عنوان کتاب:

الکترومغناطیس

مؤلف:

سید عیسی کرانیان - مجید امیرزاده

ویراستار و صفحه آرا:

بابک نیازی

طراح جلد:

علی محمدی

مدیر مسئول انتشارات:

حمیدرضا بیات

ناشر:

انتشارات دانشگاه افسری امام علی (ع)

شمارگان:

۱۰۰۰ نسخه

قیمت:

۱۸۰۰۰۰ ریال

نوبت چاپ:

اول، ۱۳۹۳

شابک:

۹۷۸-۶۰۰-۶۸۷۴-۷۹-۱

صندوق پستی:

۱۳۱۷۸۹۳۴۷

تلفن:

۶۶۴۶۷۴۴۴

پست الکترونیک:

Imamali.nashr93@gmail.com

نشانی: تهران، خیابان امام خمینی<sup>(۱)</sup>، روبروی مجلس سابق، دانشگاه افسری امام علی<sup>(۲)</sup>

کلیه حقوق برای دانشگاه افسری امام علی<sup>(۲)</sup> محفوظ است.

## سخن انتشارات معاونت پژوهش دانشگاه افسری امام علی<sup>(ع)</sup>

دانشگاه افسری امام علی<sup>(ع)</sup> با توجه به قدمت و سابقه حرفه‌ای خود، سال‌ها است که با تهیه و تدوین کتب علمی، نظامی و آموزشی مورد نیاز، سعی در تعالی روز به روز دانش علمی دانشجویان این دانشگاه دارد؛ و با هدف پرورش دانشجویان دانش‌مدار، هوشمند و متعهد، در راستای پاسداری و دفاع از تمامیت ارضی نظام مقدس جمهوری اسلامی ایران، گام‌های استوار و مؤثری برداشته است.

بر اساس مصوبات شورای پژوهشی و آموزشی دانشگاه، چاپ و نشر کتاب‌های آموزشی و کمک آموزشی به‌لحاظ کار قرار گرفته و در راستای تحقق این اهداف، با حمایت از تألیف، گردآوری و ترجمه‌ی کتب علمی، نخست منابع درسی مورد نیاز تأمین گردیده و در مرحله بعد، تدوین منابع علمی، کمک آموزشی و پژوهشی در دستور کار قرار گرفته است.

برای چاپ کتاب، علاوه بر ارزش علمی، می‌بایست اهداف عالی ارتش جمهوری اسلامی ایران، اهتمام به محتوای ارزشی و معنوی کتاب، هماهنگی با سرفصل‌های وزارت علوم و کاربردی و تخصصی کردن کتاب‌های تدوین شده و ... لحاظ شود که دشواری‌ها و موانع راه بر هیچ یک از صاحب‌نظران پوشیده نیست.

امید آنکه گام‌های ارزشمند و مفیدی که برداشته شده، سرآغاز حرکت و پویایی بیش از پیش این دانشگاه مقدس باشد.

از این‌رو از تمامی منتقدان، استادان و هیأت‌های علمی تمامی دانشگاه‌های کشور یاری و مدد می‌جویم تا آنکه هر گونه کاستی و نقص‌های احتمالی را هرچه کم و ناچیز باشند، متذکر گردند.

ان شاء...

## پیشگفتار

سپاس خدای قادر را که در قلبمان عشق آفرید و در مغزمان اندیشه، در بازویمان همت و در دیمه نهاد و از قلممان نقشی که به یادگار ماند، آفریننده‌ای که چندان عجایب و ظرایف در خلقت زمین، «این کوچک در کایناتش» نشان داده است که برق در چشم و نور را در قلب هر اندیشمندی به جوش آورده است. به سوگندی که حضرت حق بر قلم داده است و حرمتش را به ملکوت اعلا رسانده است، قلم به دست گرفتیم و از لطف کردگار، عبادتی کردیم که نورش همچنان در وجودمان جاری است و به نوشتن آنچه پیش رویتان است، انجامید.

اهمیت علوم پایه در درک پدیده‌ها به عنوان زیر بنای علوم دیگر بر هیچ کس پوشیده نیست و در این میان علوم نظامی با گستردگی مباحث خود از این قاعده مستثنی نمی‌باشد. کتاب حاضر با عنوان الکترومغناطیس شامل مباحث الکتروستاتیک، مدارها و میدان مغناطیسی به ارزش سه ۳ واحد درسی که در ۲ ساعت در هفته برای رشته‌های فنی و علوم پایه در نظر گرفته شده است. از همکاری و هم‌فکری اساتید گروه فیزیک و شیمی و مساعدت‌های ریاست محترم دانشکده علوم پایه و کلیه دست‌اندرکاران مدیریت پشتیبانی آموزش، چاپ و انتشارات دانشگاه که امکان نشر این اثر را فراهم نموده‌اند، تشکر و قدردانی می‌گردد. در خاتمه اذعان می‌داریم، با همه دقت و وسواسی که در تهیه و تدوین بکار رفته است، بی‌شک مطالب عاری از خطا و لغزش نمی‌باشد، تنها لطف و عنایت استادان، صاحب‌نظران و دانشجویان گرامی در یادآوری اشکالات، می‌تواند کمک ارزنده‌ای در رفع و جبران کاستی‌ها باشد. پیشاپیش از این محبت و همکاری سپاسگزاریم.

|     |                                                              |
|-----|--------------------------------------------------------------|
| ۱   | فصل اول: بار الکتریکی                                        |
| ۱-۱ | مقدمه                                                        |
| ۲   | ۲-۱ سابقه تاریخی الکترومغناطیس                               |
| ۳   | ۳-۱ ساختار اتمی ماده                                         |
| ۴   | ۴-۱ بار الکتریکی و برهم کنش آن‌ها                            |
| ۵   | ۵-۱ خاصیت بارهای سطحی در الکتریسته ایستا                     |
| ۶   | ۶-۱ رسانا، نارسانا و نیمرسانا                                |
| ۷   | ۷-۱ قانون کولن                                               |
| ۸   | ۸-۱ یکای بار الکتریکی                                        |
| ۹   | ۹-۱ اصل برهم نهی                                             |
| ۱۰  | ۱۰-۱ مقایسه قانون گرانش نیوتن و قانون الکرواستاتیک کولن      |
| ۱۱  | ۱۱-۱ ویژگی‌های بار الکتریکی                                  |
| ۱۲  | ۱۲-۱ مثال‌های نمونه                                          |
| ۱۳  | ۱۳-۱ نکات تکمیلی درس                                         |
| ۱۴  | ۱۴-۱ انواع توزیع بار                                         |
| ۱۷  | مسائل                                                        |
| ۲۲  | فصل دوم: میدان الکتریکی                                      |
| ۲۳  | ۱-۲ مقدمه                                                    |
| ۲۳  | ۲-۲ معرفی چند میدان برداری                                   |
| ۲۳  | ۳-۲ بررسی نظریه (تئوری) میدان و نظریه کنش از راه دور         |
| ۲۴  | ۴-۲ تعریف و محاسبه میدان الکتریکی                            |
| ۲۵  | ۵-۲ خطوط میدان                                               |
| ۲۸  | ۶-۲ اصل برهم نهی و روش محاسبه میدان برای توزیع بارهای پیوسته |
| ۲۸  | ۷-۲ بار نقطه‌ای در میدان الکتریکی یکنواخت                    |
| ۲۹  | ۸-۲ دوقطبی الکتریکی                                          |
| ۲۹  | ۹-۲ دوقطبی در میدان الکتریکی                                 |
| ۳۱  | ۱۰-۲ مثال‌های نمونه                                          |
| ۴۵  | مسائل                                                        |

|                                                                          |     |
|--------------------------------------------------------------------------|-----|
| فصل سوم: قانون گاوس.....                                                 | ۵۲  |
| ۱-۳- مقدمه.....                                                          | ۵۳  |
| ۲-۳- شار میدان الکتریکی.....                                             | ۵۳  |
| ۳-۳- بررسی چشمه‌ها و چاهک‌ها در میدان الکتریکی.....                      | ۵۴  |
| ۴-۳- تعریف شار میدان الکتریکی.....                                       | ۵۵  |
| ۵-۳- بیان ریاضی شار میدان الکتریکی.....                                  | ۵۵  |
| ۶-۳- قانون گاوس.....                                                     | ۵۸  |
| ۷-۳- رابطه بین قانون گاوس و قانون کولن.....                              | ۵۸  |
| ۸-۳- توزیع بار الکتریکی روی یک رسانای منزوی.....                         | ۵۹  |
| مسائل.....                                                               | ۶۶  |
| فصل چهارم: پتانسیل الکتریکی.....                                         | ۷۵  |
| ۱-۴- مقدمه.....                                                          | ۷۶  |
| ۲-۴- پتانسیل و اختلاف پتانسیل الکتریکی.....                              | ۷۶  |
| ۳-۴- اختلاف پتانسیل اطراف یک بار نقطه‌ای.....                            | ۷۷  |
| ۴-۴- سطوح هم‌پتانسیل.....                                                | ۷۷  |
| ۵-۴- رابطه بین پتانسیل و میدان الکتریکی.....                             | ۷۹  |
| ۶-۴- رابطه بین میدان الکتریکی و اختلاف پتانسیل در میدان غیر یکنواخت..... | ۸۰  |
| ۷-۴- پتانسیل حاصل از یک بار نقطه‌ای.....                                 | ۸۳  |
| ۸-۴- پتانسیل گروه بارهای نقطه‌ای.....                                    | ۸۵  |
| ۹-۴- پتانسیل حاصل از یک دوقطبی.....                                      | ۸۷  |
| ۱۰-۴- انرژی پتانسیل الکتریکی.....                                        | ۹۱  |
| ۱۱-۴- بررسی کیفی انرژی پتانسیل الکتریکی.....                             | ۹۳  |
| ۱۲-۴- انرژی پتانسیل یا کار انجام شده بر روی بار آزمون $q$ .....          | ۹۳  |
| ۱۳-۴- اصل برهم نهی.....                                                  | ۹۵  |
| ۱۴-۴- انرژی پتانسیل الکتریکی ناشی از دستگاهی از بارهای نقطه‌ای.....      | ۹۶  |
| ۱۵-۴- محاسبه $E$ با استفاده از $V$ .....                                 | ۹۸  |
| مسائل.....                                                               | ۱۰۳ |

|     |                                                   |
|-----|---------------------------------------------------|
| ۱۰۷ | فصل پنجم: خازن و دی الکتریک                       |
| ۱۰۸ | ۱-۵- مقدمه                                        |
| ۱۰۸ | ۲-۵- خازن چیست؟ (طرح کلی یک خازن)                 |
| ۱۰۸ | ۳-۵- ظرفیت خازن و یکای آن                         |
| ۱۰۹ | ۴-۵- موارد استفاده خازن‌ها                        |
| ۱۰۹ | ۵-۵- محاسبه ظرفیت خازن با صفحات موازی (خازن مسطح) |
| ۱۱۱ | ۶-۵- محاسبه ظرفیت خازن استوانه‌ای                 |
| ۱۱۳ | ۷-۵- محاسبه ظرفیت خازن کروی                       |
| ۱۱۴ | ۸-۵- اتصال متوالی خازن‌ها                         |
| ۱۱۵ | ۹-۵- اتصال موازی خازن‌ها                          |
| ۱۱۷ | ۱۰-۵- محاسبه انرژی ذخیره شده در خازن              |
| ۱۱۷ | ۱۱-۵- چگالی انرژی                                 |
| ۱۲۱ | ۱۲-۵- خازن مسطح با دی الکتریک                     |
| ۱۲۳ | ۱۳-۵- تئوری اتمی دی الکتریک‌ها                    |
| ۱۲۵ | ۱۴-۵- دی الکتریک‌ها و قانون گاوس                  |
| ۱۲۷ | ۱۵-۵- بردارهای سه‌گانه الکتریکی                   |
| ۱۲۸ | ۱۶-۵- مثال‌های نمونه                              |
| ۱۳۶ | مسائل                                             |
| ۱۴۲ | فصل ششم: جریان و مقاومت                           |
| ۱۴۳ | ۱-۶- مقدمه                                        |
| ۱۴۳ | ۲-۶- جریان الکتریکی در یک رسانا                   |
| ۱۴۳ | ۳-۶- تعریف جریان الکتریکی                         |
| ۱۴۴ | ۴-۶- جهت جریان و یکای جریان الکتریکی              |
| ۱۴۴ | ۵-۶- چگالی جریان                                  |
| ۱۴۵ | ۶-۶- محاسبه سرعت سوق حامل‌های بار در رسانا        |
| ۱۴۶ | ۷-۶- مقاومت الکتریکی و قانون اهم                  |
| ۱۴۷ | ۸-۶- مقاومت ویژه                                  |
| ۱۴۷ | ۹-۶- هدایت ویژه یا رسانندگی ویژه                  |
| ۱۴۷ | ۱۰-۶- محاسبه مقاومت یک سیم رسانا                  |

| صفحه | عنوان                                                        |
|------|--------------------------------------------------------------|
| ۱۴۸  | ۱۱-۶ - چگونگی تغییر مقاومت اجسام با دما                      |
| ۱۴۹  | ۱۲-۶ - میدان الکتریکی در نیمه‌رسانا بزرگتر از رسانا          |
| ۱۴۹  | ۱۳-۶ - هم‌ارزی رابطه رسانندگی جریان و رسانش گرمایی           |
| ۱۴۹  | ۱۴-۶ - محاسبه مقاومت ویژه فلزات با استفاده از مفهوم سرعت سوق |
| ۱۵۰  | ۱۵-۶ - توان الکتریکی                                         |
| ۱۵۱  | مسائل                                                        |
| ۱۵۴  | فصل هفتم: نیروی محرکه الکتریکی و مدارها                      |
| ۱۵۵  | ۱-۷ - مقدمه                                                  |
| ۱۵۵  | ۲-۷ - نیروی محرکه الکتریکی                                   |
| ۱۵۶  | ۳-۷ - اجزا تشکیل دهنده مدار ساده تک حلقه‌ای                  |
| ۱۵۷  | ۴-۷ - محاسبه جریان در یک مدار ساده تک حلقه‌ای                |
| ۱۵۸  | ۵-۷ - قواعد محاسبه اختلاف پتانسیل در مدار                    |
| ۱۵۸  | ۶-۷ - مدار دارای مقاومت داخلی                                |
| ۱۵۹  | ۷-۷ - به هم بستن مقاومت‌ها به صورت متوالی                    |
| ۱۶۰  | ۸-۷ - محاسبه اختلاف پتانسیل بین دو نقطه از یک مدار           |
| ۱۶۳  | ۹-۷ - مدارهای چند حلقه‌ای                                    |
| ۱۶۴  | ۱۰-۷ - به هم بستن مقاومت‌ها به صورت موازی                    |
| ۱۶۶  | ۱۱-۷ - وسایل اندازه‌گیری شدت جریان، اختلاف پتانسیل و مقاومت  |
| ۱۶۷  | ۱۲-۷ - مدارهای RC                                            |
| ۱۶۸  | ۱۳-۷ - ثابت زمانی مدار                                       |
| ۱۶۸  | ۱۴-۷ - فرآیند شارژ خازن                                      |
| ۱۶۹  | ۱۵-۷ - فرآیند دشارژ خازن                                     |
| ۱۷۱  | مسائل                                                        |
| ۱۷۷  | فصل هشتم: میدان مغناطیسی                                     |
| ۱۷۸  | ۱-۸ - مقدمه                                                  |
| ۱۷۸  | ۲-۸ - تاریخچه و منشأ علم مغناطیس                             |
| ۱۷۸  | ۳-۸ - میدان مغناطیسی                                         |
| ۱۷۹  | ۴-۸ - شار میدان مغناطیسی                                     |
| ۱۷۹  | ۵-۸ - محاسبه نیروی مغناطیسی وارد بر یک ذره باردار            |

|     |                                                         |
|-----|---------------------------------------------------------|
| ۱۸۰ | ۶-۸- یکای میدان مغناطیسی                                |
| ۱۸۱ | ۷-۸- باریکه‌ای از الکترون‌ها                            |
| ۱۸۲ | ۸-۸- روش محاسبه تاسون                                   |
| ۱۸۳ | ۹-۸- اثر میدان مغناطیسی بر روی سیم حامل جریان           |
| ۱۸۶ | ۱۰-۸- گشتاور نیروی وارد بر دوقطبی مغناطیسی (حلقه جریان) |
| ۱۸۹ | ۱۱-۸- انرژی پتانسیل دوقطبی مغناطیسی                     |
| ۱۹۰ | ۱۲-۸- اثر هال                                           |
| ۱۹۲ | ۱۳-۸- محاسبه چگالی حامل‌های بار به وسیله اثر هال        |
| ۱۹۳ | ۱۴-۸- بارهای در حال دوران                               |
| ۱۹۶ | ۱۵-۸- سیکلوترون و سنکروترون                             |
| ۲۰۰ | مسائل                                                   |
| ۲۰۶ | فصل نهم: قانون آمپر                                     |
| ۲۰۷ | ۱-۹- مقدمه                                              |
| ۲۰۷ | ۲-۹- ارتباط جریان با میدان مغناطیسی                     |
| ۲۰۷ | ۳-۹- قانون آمپر                                         |
| ۲۰۹ | ۴-۹- مقایسه قانون آمپر                                  |
| ۲۱۴ | ۵-۹- دو رسانای موازی                                    |
| ۲۱۷ | ۶-۹- میدان مغناطیسی حاصل از یک سیم‌لوله                 |
| ۲۲۱ | ۷-۹- قانون بیوساوار                                     |
| ۲۳۱ | مسائل                                                   |
| ۲۳۷ | فصل دهم: معادلات ماکسول                                 |
| ۲۳۸ | ۱-۱۰- مقدمه                                             |
| ۲۳۸ | ۲-۱۰- قانون القاء فارادی                                |
| ۲۳۹ | ۳-۱۰- قانون لنز                                         |
| ۲۴۱ | ۴-۱۰- خود القایی                                        |
| ۲۴۲ | ۵-۱۰- مدار $R-L$                                        |
| ۲۴۳ | ۶-۱۰- انرژی ذخیره شده در میدان مغناطیسی                 |
| ۲۴۳ | ۷-۱۰- القای متقابل                                      |
| ۲۴۴ | ۸-۱۰- توسان LC                                          |

| صفحه | عنوان                                                      |
|------|------------------------------------------------------------|
| ۲۴۷  | ۹-۱۰- نویسان جرم و فتر .....                               |
| ۲۴۸  | ۱۰-۱۰- نویسانگر L-C .....                                  |
| ۲۴۹  | ۱۱-۱۰- نویسانهای میرا در یک مدار RLC .....                 |
| ۲۵۱  | ۱۲-۱۰- جریان متناوب .....                                  |
| ۲۵۳  | ۱۳-۱۰- مقاومت، خازن و سیمپیچ در جریان متناوب .....         |
| ۲۵۷  | ۱۴-۱۰- مدار R-C در جریان متناوب .....                      |
| ۲۵۹  | ۱۵-۱۰- مدار R-L در جریان متناوب .....                      |
| ۲۶۱  | ۱۶-۱۰- مدار RLC در جریان متناوب .....                      |
| ۲۶۳  | ۱۷-۱۰- تشدید یا رزونانس .....                              |
| ۲۶۵  | ۱۸-۱۰- توان در مدارهای جریان متناوب .....                  |
| ۲۶۶  | ۱۹-۱۰- قانون گوس برای میدان مغناطیسی .....                 |
| ۲۶۶  | ۲۰-۱۰- میدان مغناطیسی القایی .....                         |
| ۲۶۸  | ۲۱-۱۰- معادلات ماکسول .....                                |
| ۲۶۸  | ۲۲-۱۰- امواج الکترومغناطیس .....                           |
| ۲۶۹  | ۲۳-۱۰- رابطه طول موج و فرکانس امواج الکترومغناطیسی .....   |
| ۲۷۳  | ۲۴-۱۰- انتقال انرژی و بردار پونین-تینگ .....               |
| ۲۷۳  | ۲۵-۱۰- رابطه بردارهای میدانها در امواج الکترومغناطیس ..... |
| ۲۷۷  | مسائل .....                                                |
| ۲۸۰  | پیوستها .....                                              |
| ۲۸۸  | منابع .....                                                |