

خواص الکترونی مواد

(Electronic Properties of Materials)

مؤلف: Rolf E. Hummel

ترجمہ: ابراہیم قاسمی

بہار ۱۳۹۵



سازمان اسناد و کتابخانه ملی جمهوری اسلامی ایران

سرشناسه	: هامل، رولف ا.، ۱۹۳۴ - م.
عنوان و نام پدیدآور	: Hummel, Rolf E.
مشخصات نشر	: خواص الکترونی مواد / [رولف ا. هامل] : ترجمه ابراهیم قاسمی.
مشخصات ظاهری	: اصفهان، نجنگان شریف، ۱۳۹۵.
شابک	: ۵۷۴ ص.
وضعیت فهرست نویسی	: ۳۰۰۰۰ ریال ۹۷۸-۶۰۰-۹۶۳۶۷-۱-۶
یادداشت	: فیبا
موضوع	: عنوان اصلی: Electronic properties of materials, c2011.
موضوع	: فیزیک حالت جامد
موضوع	: نظریه نوار انرژی جامدات
موضوع	: الکترونیک - - مواد صنعتی
موضوع	: مهندسی برق - - مواد صنعتی
شناسه افروده	: قاسمی، ابراهیم، ۱۳۶۹ - مترجم
رده بندی کنگره	: QC۱۷۶/۰۲۹۰۳۹
رده بندی دیویی	: ۴۱/۵۲
شماره کتابشناسی ملی	: ۴۲۱۰۰۰



عنوان اصلی اثر: *Electronic Properties of Materials*

خواص الکترونی مواد

مؤلف: Rolf E. Hummel

مترجم: ابراهیم قاسمی

نوبت چاپ: اول

سال نشر: ۱۳۹۵

شمارگان: ۲۰۰

صفحه آرا: سوسن یوسفی نژاد

ناظر چاپ: اسماعیل پولادی

قیمت: ۳۰۰۰۰ تومان

ISBN: 978-600-96367-1-6

شابک: ۹۷۸-۶۰۰-۹۶۳۶۷-۱-۶

اصفهان - خیابان پیر - جنب پل هوایی - مجتمع تجاری پگاه - واحد شماره ۱۱

فکس: ۳۱-۳۶۶۲۲۴۹۹

تلفن: ۳۱-۳۶۶۲۲۶۹۰

eghasemi92@gmail.com

کتاب حاضر که به خوانندگان من، اصول فیزیک حالت جامد را معرفی می‌کند و سپس به سمت ارائه خواص الکتریکی، نوری، مغناطیسی و حرارتی مواد، پیش می‌رود، در طول ۲۵ سال در چاپ بوده است، در واقع از ۱۹۸۵ که اولین ویرایش آن چاپ شد، همواره این کتاب به چاپ مجدد رسیده است. خوشبختانه به مقبولیت کاملاً مطلوبی در میان دانشجویان، اساتید و دانشمندان رسیده است؛ به این دلیل که درک مطالب بیان‌شده بسیار ساده بوده و توجه عمده کتاب بر مفاهیم می‌باشد و فرمول‌های ریاضی، بیش از حد به کار نرفته‌اند، آن‌ها این کتاب را تحسین کرده‌اند. بنده نسبت به تمام نظریاتی که از طریق نامه‌های شخصی یا بررسی‌های مجلات علمی و مطالب در اینترنت، به دستم رسیده است، سپاسگزارم.

ویرایش سوم در ۲۰۰۱ چاپ شده است و چاپ تجدیدنظرشده این ویرایش، در ۲۰۰۵ به چاپ رسید. ناشر بنده تشخیص داد که در این مقطع، چاپ یک ویرایش جدید کاملاً به‌جا خواهد بود، بنابراین این فرصت به من داده شد تا قسمت‌هایی که متحمل پیشرفت‌های چشمگیری شده‌اند را به‌روزرسانی کنم. بنده این روز را، را با بی‌میلی انجام دادم، چون هر ویرایش جدید، حجم کتاب (و متأسفانه قیمت آن) را افزایش می‌دهد. هدف من این نیست که در مورد خواص الکترونی مواد، یک دایره‌المعارف را ارائه کنم. هنوز فکری به دستم که این کتاب باید تنها دارای مطالبی باشد که می‌توانند به راحتی در دوره ۱۵ هفته/۳-واحدی، پوشش داده شوند. از این‌رو، مطالب اضافه شده، به جدیدترین پیشرفت‌ها در این زمینه محدود شده است. در واقع، اصول این کتاب، به خصوص در بخش I و ابتدای بخش‌های II تا V، اساساً بدون تغییر مانده است. با این حال، موضوعات جدید در "قسمت‌های کاربردی" اضافه شده‌اند، مانند منابع روشنایی ذخیره - انرژی، لامپ‌های فلورسانس فشرده، دیودهای نشر - نور آلی (OLED)، فتوولتائیک‌های آلی (سلول‌های Si^+/Si)، پیرهای نوری، پیروالکتریسته، حافظه‌های تغییر - فاز، دیسک‌های بلوری (اشعه - آبی)، دیسک‌های جداکاره هولوگرافیک، پدیده‌های گالوانوالکتریکی (با تأکید بر تمام زمینه‌های باتری‌های اولیه و آلی - سارز)، گرافن، اثر کوانتومی هال، نیمه‌رساناهای پایه - آهن (پنیکتیدها) و غیره، که تنها موضوعات اندکی از آن‌ها می‌باشند. خواننده باید این مطالب را مهم و آموزشی تلقی کند.

مطابق معمول، کتابی با این گستردگی موضوعات ارائه شده، به مشورت همکاران نیاز دارد. بنده از دکترها، پاول هولوی، ولفگنگ سیگماند، ژیاژنگ ژو، فرانکی سو، جاکوب جونز، تیری دابروکا،

تمام دانشگاه فلوریدا، دکتر مارکوس رتمایر (friedrich-Shiller-Universitat Jenda, Germany) و
گریف وایس، پاسخگزار هستم.

گینزویل، فلوریدا رالف ای. هامل

سپتامبر ۲۰۱۰

www.ketab.ir

کتاب‌ها به‌ندرت به پایان می‌رسند. در بهترین حالت، کنار گذاشته می‌شوند. ویرایش دوم "خواص الکترونی مواد" به مدت ده سال در استفاده بوده است. در طول این مدت، هرگاه این کتاب به چاپ‌های مجدد می‌رسید، ناشر بنده، فرصت‌های زیادی را برای به‌روزرسانی و توسعه این کتاب فراهم می‌کرد. حدود شش دوره چاپ مجدد کتاب انجام شد. سرانجام، آشکار شد که مطالب بسیار زیادی باید اضافه شود تا پیشرفت‌های طوفانی حاصل‌شده در زمینه مواد الکتریکی، نوری و مغناطیسی را توضیح دهد. مشخصاً، بخش‌های بسط‌یافته در نمایشگرهای صفحه-تخت (کریستال‌های مایع، ادوات الکترولوئینسانس، نمایشگرهای نشر میدان و نمایشگرهای پلاسما) اضافه شده‌اند. بعلاوه، پیشرفت‌های اخیر در LEDهای نشر آبی و سبز و فوتونیک نیز بررسی شده‌اند. ادوات ذخیره‌سازی مغناطیسی نیز بحمل پیشرفت‌های جدیدی شده است. از این‌رو، حافظه‌های مغناطیسی-نوری، ادوات مغناطی-مقاومتی و مد مغناطیسی جدید نیز باید پوشش داده می‌شدند. قسمت‌های مربوط به خواص دی‌الکتریک، فرروالکتریک، پروالکتریک، الکتروستریکسیون و خواص ترموالکتریک نیز گسترده شده‌اند. البته، تمام کتاب به‌روز و به‌روزرسانی شده، به‌روزرسانی شده و بهتر شده است. با این حال، بیشترین تغییری که ایجاد کرده‌ام، دلیل تمام روابط بود که دارای خروجی‌هایی با واحدهای-SI شوند. عمده‌تاً در تمام دنیا و تقریباً در تمام مجلات علمی بین‌المللی، استفاده از این سیستم واحد مورد نیاز می‌باشد. اگر دانشجویان امروزی آموزش ببینند که از آن استفاده کنند، یک نسل دیگر در این زمینه "از دست خواهد رفت". به عبارت دیگر، بسیار مهم است که دانشجویان با واحدهای SI راحت باشند.

اگر دزدی ادبی بالاترین شکل چابلوسی باشد، پس درواقع نسبت به دزد چابلوسی شده است. بخش‌های قابل توجهی از ویرایش اول، کلمه به کلمه، در یک کتاب دیگر توسط یک استاد در مدرس (شهری در هند) استفاده شده است، بدون این که اشاره شود منبع این مطالب - است! علاوه بر آن، کپی‌هایی از ویرایش‌های نخست و دوم، بدون اجازه ناشر یا نویسنده در کشورهای آسیایی به چاپ رسیده است. بعلاوه، ترجمه به زبان کره‌ای نیز چاپ شده است. البته، بنده اعتقاد دارم که افراد باید به حقوق دارنده مالکیت معنوی این کتاب، احترام بگذارند.

بنده نسبت به نظرات بسیار مساعد و پیشنهادات منتشرشده توسط اساتید و دانشجویان از دانشگاه

فلوریدا و دیگر دانشکده‌هایی که به بهتر شدن کتاب کمک کردند، سپاسگزارم. دکتر اچ. روفر از Wacker Siltronic AG، دوباره بنده را از پیشرفت‌های بسیار جدید در زمینه ساخت ویفر، آگاه ساختند. پروفیسور جان رینولدز (دانشگاه فلوریدا) در مورد روندهای فعلی در مورد پلیمرهای رسانا، به بنده آموزش دادند. دکترها، رجینا و گرد مولر (شرکت Agilent) نسبت به پیشرفت‌های جدید LED، بنده را آگاه ساختند. پروفیسور پاول هولوی (دانشگاه فلوریدا) بسیاری از دیدگاه‌ها در زمینه فاسفرسان‌ها (مواد فروزنده) و نمایشگرهای صفحه تخت را با من به اشتراک گذاشتند. ولکمار گرولد (MPI Stuttgart) هرگاه که نیاز به کمک داشته‌ام، دریغ نکرده است. بنده از تمام آن‌ها تشکر می‌کنم.

کینزویل، فلوریدا رالف ای. هامل

اکتبر ۲۰۰۰

برای یک نویسنده کاملاً رضایت‌بخش است که بداند حاصل افکار او، به صورت کاملاً مساعد توسط دانشجویان و نیز اساتید پذیرفته شده است و در نتیجه می‌تواند هدف مفیدی را محقق کند. این کتاب در زمینه خواص الکترونی فلزات، آلیاژها، نیمه‌رساناها، عایق‌ها، سرامیک‌ها و مواد پلیمری، توسط بسیاری از دانشگاه‌های ایالات متحده و نیز خارج از آن، به کار رفته است، احتمالاً به این دلیل که مطالب بیان‌شده را به راحتی می‌توان درک کرد. حال، کتاب چندین بار تجدید چاپ شده است (و در میان آن‌ها چندین چاپ دزدی در کشورهای آسیایی می‌باشد). بنده نسبت به تمام خوانندگان، به دلیل پذیرش کتاب و نظرات دلگرم‌کننده‌ای که دریافت کرده‌ام، سپاسگزار هستم.

بنده نسبت به تغییرات احتمالی در ویرایش دوم، کاملاً به دقت فکر کرده‌ام. همواره فضا برای پیشرفت وجود دارد. این بار، چندین تغییر واژه، حذف‌شدگی و اضافه کردن مطالب جدید انجام شده است. بنده در برابر سبک برای بسط قابل توجه کتاب با افزودن موضوعات کاملاً جدید، مقاومت کردم. با این وجود، چندین بحث در مورد پیشرفت‌های جدید باید اضافه می‌شدند. در میان آن‌ها، بحث در مورد ابررساناهای سرامیکی (ما بالا) اصول معینی از زمینه اپتوالکترونیک که در حال پیشرفت سریع می‌باشد، قابل ذکر هستند. علاوه بر این، احساس کردم که خوانندگان در زمینه آموختن کاربردهای عملی‌تر که از مفاهیم فیزیکی بیان می‌شود، حاصل می‌گردند، علاقه‌مند خواهند بود. از این رو، ویرایش دوم انواع مشترک ترانزیستورهای اثر-میدانی (مانند JFET، MOSFET و MESFET)، ادوات نیمه‌رسانا کوانتومی، حافظه‌های الکتریکی (مانند DRAM، S-RAM)، و حافظه‌های برنامه‌پذیر-قابل پاک شدن فقط خواندنی الکتریکی و مدارهای منطقی در کامپیوترها را توصیف می‌کند. همچنین گسترشی در فصل در مورد ساخت دستگاه نیمه‌رسانا، ایجاد شد. است. مکانیزم‌های اصلی مربوط به برخی از ادوات مصرفی، مانند زیروگرافی، پخش‌کننده‌های دیسک نوری و کامپیوترهای نوری نیز مورد بحث قرار گرفته است.

بخش III (خواص مغناطیسی مواد) بسط یافته است تا جزئیات بیشتری در مورد حوزه‌های مغناطیسی، مانند الایسته مغناطیسی، فررومغناطیس‌های آمورف، جدیدترین پیشرفت‌ها در آهن‌رباهای دائمی، مواد ضبط مغناطیسی جدید و حافظه‌های مغناطیسی-نوری را شامل گردد.

هرگاه که مناسب بوده است، حقایق اقتصادی در مورد فرایندهای ساخت با فروش، ارائه شده‌اند. در پاسخ به درخواست‌های مکرر، جواب‌های مسائل عددی در پیوست ارائه شده است.

بنده نسبت به مشورت ارزشمند و تخصصی از سوی تعدادی از همکاران، مانند پروفیسور ولکمار گرولد، دکتر دبتر هاگمن، دکتر اچ. روفر، آقای دیوید مالون، پروفیسور کریس باتیچ، پروفیسور رالف هاس، پروفیسور رابرت پارک، پروفیسور راجیو سینگ، و پروفیسور کن واتسون، سپاسگزار هستم. خانم آنجلیکا هاگمن، و به میزان کم‌تری، دخترم، سیرکا هامل، تصاویر جدید را رسم کرده‌اند. برای صبوریشان از آن‌ها تشکر می‌کنم.

گینزویل، فلوریدا رالف ای. هامل

۱۹۹۳

کتاب حاضر در مورد خواص الکتریکی، نوری، مغناطیسی و حرارتی مواد، در بسیاری از جهات، متفاوت از کتب مقدماتی در مورد فیزیک حالت جامد، می باشد. بیش از همه، این کتاب برای مهندسين تأليف شده است، به خصوص مهندسين مواد و برق که می خواهند درک اصولی از ادوات نیمه رسانا، مواد مغناطیسی، لیزرها، آلیاژها و غیره بدست آورند. دوم، این کتاب بیشتر بر مفاهيم متمرکز می شود و توجه خاصی به فرمول های ریاضیاتی ندارد که موجب می شود درک مطالب ساده گردد. از این رو، این کتاب آماده سازی کامل برای مطالعه کتاب ها، رساله ها، یا مقالات مجله های تخصصی پیشرفته را فراهم می کند. سوم، این کتاب یک دائرة المعارف نمی باشد. انتخاب موضوعات، به مطالبی که مهم بوده و می توانند در یک دوره ترم ۱۵- هفته ای، پوشش داده شوند، محدود شده است. برای اساتیدی که قصد دارند در دوره -و- ترمی این کتاب را ارائه کنند، موضوعات تکمیلی برای درک عمیق تر اضافه شده است (این قسمت ها توسط [*] مشخص شده اند). چهارم، کتاب حاضر، تدریس کریستالوگرافی، پراش اشعه -X- نفوذ، جذب اشعه -X- غیره را به دوره هایی که مختص این موضوعات هستند، واگذار می کند. مطابق معمول، دانشجویان مهمانی این مطالب را در ابتدای میانه دوره تحصیلی خود، می آموزند. با این حال، در هر قسمتی که در بوده، برخی از این موضوعات به خواننده یادآوری شده است. پنجم، این کتاب به صورت مشخص به بحث هایی جامع تقسیم شده است که می توانند به صورت مستقل مطالعه شوند. تمام آن ها بر مبنای بحث های هستند، "اصول نظریه الکترونی"، چون نظریه الکترونی در مورد مواد یک ابزار پایه ای می باشد که همرا با آن عمده خواص ماده را می توان درک کرد. نظریه الکترونی مدرن جامدات، نسبتاً پیچیده است. با این حال، نسبت من این نیست که دانشجو در تمام زمینه نظریه کوانتومی، خبره شود. این کار به کتب تخصصی تر واگذار می شود. در عوض، مفاهيم مکانیک کوانتوم اصلی تنها به میزانی معرفی شده اند که برای درک عام مواد مورد نیاز می باشد. ششم، بسیاری از کاربردهای عملی، در متن و نیز قسمت های مساله، بحث شده اند به این ترتیب دانشجویان می توانند نسبت به تمام ادواتی که در هر روز به کار می روند، دانش بدست آورند. در آخر، من بررسی خواص الکترونی مواد را مشابه با پوشش خواص الکتریکی مواد، انجام داده ام. این کار به دلیل میل شخصی می باشد و به این دلیل که احساس می شود، یک توصیف با جزئیات بیشتر در مورد خواص نوری مورد نیاز است، چون بیشتر سایر نوشته ها در مورد فیزیک حالت جامد، فضای بسیار کمی را به این موضوع اختصاص می دهند. باید در ذهن داشت که در سال های اخیر، به دلیل کاربرد احتمالی در

ادوات ارتباطات و نیز تأثیرات آن در درک ساختار الکترونی مواد، خواص نوری توجه بسیار زیادی را جلب کرده است.

فلسفه و مباحث کتاب حاضر، از نوشته‌های تدریس بنده بدست آمده است که در طول بیش از ۲۰ سال تدریس، آن‌ها را جمع‌آوری کرده‌ام. یک ویرایش اولیه از بخش‌های I و II، چندین سال قبل در مجله 4, (1982) Educational modules for Materials science and engineering 4,1 (1982) منتشر شد.

با رضایت خانواده امیدوار هستم که دانشجویانی که این کتاب را خوانده و با آن کار می‌کنند، از آن لذت ببرند، به همان اندازه که من از سیاحت در زمینه جذاب خواص فیزیکی مواد، لذت می‌برم.

هر کاری، از پیش‌بینی نویسنده و همکاران یا دانشجویان، سود می‌برد. بنده به‌صورت ویژه از پروفیسور آر.تی. دهوف، ساکن گزاد، قسم که تمام نوشته اولیه را خواند و با ذهن کنج‌کاو خود کمک کرد تا بسیاری از نکات در ارائه، روشن شوند. پروفیسور کن واتسن، بخش مربوط به مغناطیس را مطالعه کرده و پیشنهادات بسیار مفیدی را ارائه کرد. سایر همکارانی که بنده به آن‌ها مدیون هستم، پروفیسور فرد لیندهوم، پروفیسور تری اورلاند، دکتر سیگفرید هوفمن هستند. دخترم، سیرکا هامل، با مهارت خود به‌عنوان یک هنرمند، به من کمک کرد در آخر، بنده مدیون خانواده، اساتید دانشگاه و ریاست دپارتمان مهندسی و علم مواد دانشگاه فلوریدا، هستم، برای ایجاد فضایی هماهنگ که مهم‌ترین لازمه خلاقیت می‌باشد.

کینزویل، فلوریدا، رالف، ای. هامل

کتاب حاضر "خواص الکترونی مواد" یکی از مهم‌ترین منابع درسی رشته مهندسی و علم مواد می‌باشد و مرجع درسی بسیاری از دانشگاه‌های معتبر جهان به شمار می‌رود. این کتاب به پنج بخش کلی تقسیم می‌شود؛ نخست در بخش I با عنوان اصول نظریه الکترونی، پیش‌نیازهای درک خواص الکترونی مطرح می‌گردد و در بخش II خواص الکتریکی مواد، مشخصاً خواص الکتریکی فلزات و آلیاژها، زمینه بسیار مهم نیمه‌رساناها و سایر مواد مورد بررسی قرار می‌گیرد و توجه خاصی به بحث تولید ادوات الکترونیکی شده است. در بخش III خواص نوری مواد، رویکردی مشابه با بخش II تکرار می‌شود و در پایان کاربردهای بسیار فراوان خواص نوری و اهمیت توجه به آن، اشاره می‌شود. در بخش IV خواص مغناطیسی مواد، اصول درک خواص مغناطیسی ارانه و کاربردها و زمینه‌های تحقیق و توسعه در این زمینه مطرح می‌گردد. در بخش آخر V خواص حرارتی مواد، با تمرکز کم‌تری به این زمینه پرداخته می‌شود و کاربردهای آن نیز ارائه می‌گردند.

به‌واقع زمینه‌های مورد بررسی در این کتاب بسیار مهم و حتی استراتژیک هستند. گستره این زمینه‌ها از ادوات بسیار کوچک کوانتومی تا ادوات حجیم مغناطیسی می‌باشد. سود سرمایه‌گذاری در این زمینه‌ها بسیار قابل توجه است، به‌طوری‌که در زمینه تولید ادوات میکروالکترونیک، قیمت ماده نهایی ۱۰ میلیون برابر ماده ابتدایی است. به‌دفعات با توجه به این مطالب در متن اشاره شده است. بنابراین ترجمه این کتاب ارزشمند و حتی تألیف کتاب‌هایی در این زمینه کاملاً موجه است.

این کتاب با دید مهندسی تألیف شده است و مشخصاً مختص مهندسی مواد، مهندسین الکترونیک، رشته فیزیک و زمینه نوظهور نانو تکنولوژی، می‌باشد. درواقع مباحث مطرح شده در آن، عمدتاً به‌صورت بین‌رشته‌ای می‌باشند و پیشرفت در این زمینه به همکاری پیوسته رشته‌های مختلف نیاز دارد. استفاده از دانش در این سطح با بهره‌گیری از فقط مهندسین یک رشته، به هیچ‌وجه امکان‌پذیر نیست. این دسته از زمینه‌ها کاملاً بین‌رشته‌ای می‌باشند و جهت پیشرفت و توسعه صنعت مواد الکترونیک، کاربردهای نوری و کاربردهای مغناطیسی، همکاری بین مهندسین رشته‌های مختلف ضروری است. این کتاب مرجع اصلی درس سه واحدی "خواص الکترونی مواد" در رشته مهندسی مواد خواهد بود. مبحث خواص الکترونی مواد، هم‌ردیف با دروس خواص فیزیکی مواد و خواص

مکانیکی مواد می باشد.

در آخر بایستی از زحمات پدر، مادر و برادرم تشکر کنم که بدون صبوری و زحمات آن‌ها، انجام این کار غیرممکن بود. اساتید هر کشور پایه‌گذار پیشرفت آن کشور هستند، بنده تشکر بسیار ویژه‌ای نسبت به تمامی اساتید دارم، راهنمایی و نحوه آموزش آن‌ها بوده است که بنده ترغیب به انجام این کار شده‌ام. همچنین از آقای رضا اسماعیلی بابت انجام هماهنگی‌های لازم و خانم حسابی بابت ویراستاری متن سپاسگزار هستم. در آخر نیز بایستی از آقای مهندس یاسین اختری تشکر کنم که زحمت آماده‌سازی تصاویر و جداول را پذیرفتند.

ابراهیم قاسمی

۱۳۹۴

فہرست مطالب

شماره صفحه

I		پیشگفتار ویرایش چهارم
III		پیشگفتار ویرایش سوم
V		پیشگفتار ویرایش دوم
VII		پیشگفتار ویرایش نخست
IX		پیشگفتار مترجم
XI-XVII		فهرست مطالب

بخش I- اصول نظريه الكترونى

فصل ۱- مقدمه ۳

فصل ۲- ۱- تابک موج- ذره ۷

مسائل ۱۵

فصل ۳- معادله شرودینگر ۱۷

۳.۱ معادله شرودینگر مستقل از زمان ۱۷

۳.۲ معادله شرودینگر وابسته به زمان ۱۸

۳.۳ خواص ویژه مسائل نوسانی ۱۹

مسائل ۲۰

فصل ۴- جواب معادله شرودینگر در چهار مسأله خاص ۲۱

۴.۱ الکترون‌های آزاد ۲۱

۴.۲ الکترون در یک چاه پتانسیل (الکترون بسته) ۲۳

۴.۳ سد پتانسیل متناهی (پدیده تونلی) ۲۹

۴.۴ الکترون در یک میدان متناوب یک کریستال (حالت جامد) ۳۳

مسائل ۴۲

فصل ۵- نوارهای انرژی در کریستال‌ها ۴۵

۵.۱ طرح‌های ناحیه یک بعدی ۴۵

۵.۲ نواحی بریلوئن یک- و دو-بعدی ۵۱

۵.۳ نواحی بریلوئن سه بعدی ۵۵

۵.۴ سلول‌های ویگنر-سیتز ۵۵

۵.۵ بردارهای انتقال و شبکه معکوس ۵۸

۵.۶ باندهای الکترون آزاد ۶۳

۵.۷ ساختار نواری برخی از فلزات و نیمه رساناها ۶۷

۵.۸ متجنی‌ها و صفحه‌های هم انرژی ۷۱

مسائل ۷۳

۷۵	فصل ۶- الکترون در یک کریستال
۷۵	۶.۱ انرژی فرمی و سطح فرمی
۷۶	۶.۲ تابع توزیع فرمی
۷۸	۶.۳ دانسیته حالت‌ها
۸۱	۶.۴ تابع کامل دانسیته حالت‌ها در درون یک باند
۸۱	۶.۵ تراکم جمعیت
۸۳	۶.۶ نتایج مدل نواری
۸۴	۶.۷ جرم مؤثر
۸۸	۶.۸ نتیجه‌گیری
۸۸	مسائل
۹۱	پیشنهادهای برای مطالعه بیشتر

بخش II - خواص الکتریکی مواد

۹۵	فصل ۷- رسانایی الکتریکی در فلزات و آلیاژها
۹۵	۷.۱ مقدمه
۹۵	۷.۲ مرور
۹۸	۷.۳ رسانندگی - نظریه الکترون در فلزات
۱۰۱	۷.۴ رسانندگی - فرضیات مکانیک کوانتوم
۱۰۷	۷.۵ نتایج تجربی و تفسیر آن‌ها
۱۰۷	۷.۵.۱ فلزات خالص
۱۰۸	۷.۵.۲ آلیاژها
۱۱۱	۷.۵.۳ منظم شدن
۱۱۱	۷.۶ ابررسانایی
۱۱۴	۷.۶.۱ نتایج تجربی
۱۲۰	۷.۶.۲ نظریه
۱۲۴	۷.۷ پدیده‌های ترموالکتریکی
۱۲۶	۷.۸ پدیده‌های گالوانو-الکتریکی (باطری‌ها)
۱۲۶	۷.۸.۱ سلول‌های اولیه
۱۳۰	۷.۸.۲ سلول‌های ثانویه
۱۳۵	۷.۸.۳ نکات پایانی
۱۳۷	مسائل

۱۳۹	فصل ۸ - نیمه‌رساناها
۱۳۹	۸.۱ ساختار نواری
۱۴۱	۸.۲ نیمه‌رساناهای ذاتی
۱۴۷	۸.۳ نیمه‌رساناهای غیر ذاتی
۱۴۷	۸.۳.۱ دهنده‌ها و پذیرنده‌ها
۱۴۹	۸.۳.۲ ساختار نواری
۱۵۰	۸.۳.۳ وابستگی تعداد حامل‌ها به دما

۱۵۱	 ۸.۳.۴ رسانندگی
۱۵۲	 ۸.۳.۵ انرژی فرمی
۱۵۳	 * ۸.۴ جرم مؤثر
۱۵۳	 ۸.۵ اثر هال
۱۵۶	 ۸.۶ نیمه رساناهای ترکیبی
۱۵۸	 ۸.۷ ادوات نیمه رسانا
۱۵۸	 ۸.۷.۱ اتصالات فلز-نیمه رسانا
۱۵۹	 ۸.۷.۲ اتصالات یکسوز (اتصالات سد شائکی)
۱۶۴	 ۸.۷.۳ اتصالات اهمی (فلز کاری)
۱۶۵	 ۸.۷.۴ یکسوز p-n (دیود)
۱۶۸	 ۸.۷.۵ دیود زنر
۱۷۰	 ۸.۷.۶ سلول خورشیدی (دیود نوری)
۱۷۴	 * ۸.۷.۷ دیود نوری بهمنی
۱۷۵	 * ۸.۷.۸ دیود لیزر
۱۷۷	 ۸.۷.۹ ترانزیستور
۱۸۷	 * ۸.۷.۱۰ ادوات نیمه رسانا کوانتومی
۱۹۱	 ۸.۷.۱۱ ساخت ادوات نیمه رسانا
۲۰۲	 * ۸.۷.۱۲ مدارهای دیدن ال و اثرات حافظه
۲۱۳	 مسائل

۲۱۷	 فصل ۹- خواص الکتریکی پلیمر، سرامیک‌ها، دی الکتریک‌ها و مواد آمورف
۲۱۷	 ۹.۱ فلزات آلی و پلیمرهای رسانا
۲۲۸	 ۹.۲ رسانایی یونی
۲۳۲	 ۹.۳ رسانایی در اکسیدهای فلزی
۲۳۴	 ۹.۴ مواد آمورف
۲۳۹	 ۹.۴.۱ زیروگرافی
۲۴۱	 ۹.۵ خواص دی الکتریک
۲۴۶	 ۹.۶ فرروالکتریسته، پیزوالکتریسته، الکتروستریکسیون و پیروالکتریسته
۲۵۰	 مسائل
۲۵۱	 پیشنهادات برای مطالعه بیشتر (بخش II)

بخش III - خواص نوری مواد

۲۵۵	 فصل ۱۰- ثابت‌های نوری
۲۵۵	 ۱۰.۱ مقدمه
۲۵۶	 ۱۰.۲ ضریب شکست، n
۲۵۸	 ۱۰.۳ ثابت میرایی، k
۲۶۲	 ۱۰.۴ عمق نفوذ مشخصه، W ، و جذب کنندگی، α
۲۶۴	 ۱۰.۵ بازتاب پذیری، R ، و گیل دمی، T
۲۶۶	 ۱۰.۶ رابطه هاگنی - رابینز
۲۶۷	 مسائل

۲۶۹	فصل ۱۱ نظریه اتمی در خواص نوری
۲۶۹	۱۱.۱ مرور کلی
۲۷۲	۱۱.۲ الکترون‌های آزاد بدون میرایی
۲۷۵	۱۱.۳ الکترون‌های آزاد همراه با میرایی (نظریه الکترون آزاد کلاسیک فلزات)
۲۸۰	۱۱.۴ موارد خاص
۲۸۰	۱۱.۵ بازتاب پذیری
۲۸۱	۱۱.۶ الکترون‌های بسته (نظریه الکترون آزاد کلاسیک در مواد دی‌الکتریک)
۲۸۶	۱۱.۷ * بررسی روابط لورنتز در حالت‌های خاص
۲۸۶	۱۱.۷.۱ فرکانس‌های بالا
۲۸۶	۱۱.۷.۲ میرایی کوچک
۲۸۷	۱۱.۷.۳ جذب و نزدیکی ν
۲۸۷	۱۱.۷.۴ نوسان گر
۲۸۸	۱۱.۸ رات الکترون‌های آزاد و نوسان‌گرهای هم‌آهنگ در ثابت‌های نوری
۲۸۹	مسائل
۲۹۱	فصل ۱۲ بررسی خواص نوری به وسیله مکانیک کوانتوم
۲۹۱	۱۲.۱ مقدمه
۲۹۱	۱۲.۲ جذب نور توسط انتقال‌های بین باندها و درون باندها
۲۹۶	۱۲.۳ طیف‌های نوری مواد
۲۹۷	۱۲.۴ * پراکندگی
۳۰۳	مسائل
۳۰۵	فصل ۱۳ کاربردها
۳۰۵	۱۳.۱ سنجش خواص نوری
۳۰۵	* ۱۳.۱.۱ آنالیز کرامرز - کروینگ (روابط پراکندگی)
۳۰۶	* ۱۳.۱.۲ الیومتری طیف سنجی
۳۱۰	* ۱۳.۱.۳ بازتاب سنجی اختلافی
۳۱۲	۱۳.۲ طیف‌های نوری فلزات خالص
۳۱۲	۱۳.۲.۱ طیف‌های بازتاب
۳۱۸	* ۱۳.۲.۲ نوسان‌های پلاسما
۳۲۰	۱۳.۳ طیف‌های نوری آلیاژها
۳۲۴	* ۱۳.۴ منظم شدن
۳۲۷	* ۱۳.۵ خوردگی
۳۲۸	۱۳.۶ نیمه رساناها
۳۳۳	۱۳.۷ عایق‌ها (مواد دی‌الکتریک و الیاف‌های شیشه)
۳۳۶	۱۳.۸ نشر نور
۳۳۶	۱۳.۸.۱ نشر خودبه خود
۳۴۰	۱۳.۸.۲ نشر القایی (لیزرها)
۳۴۵	۱۳.۸.۳ لیزر هلیوم - نئون
۳۴۶	۱۳.۸.۴ لیزر دی‌اکسید کربن

۳۴۶	۱۳۸.۵ لیزر نیمه رسانا
۳۴۹	۱۳۸.۶ لیزرهای نیمه رسانای شکاف نوار مستقیم در برابر شکاف نوار غیر مستقیم
۳۴۹	۱۳۸.۷ طول موج نور منتشر شده
۳۵۱	۱۳۸.۸ چگالی جریان آستانه‌ای
۳۵۲	۱۳۸.۹ لیزرهای اتصال همسان در برابر لیزرهای اتصال ناهمسان
۳۵۴	۱۳۸.۱۰ مدولاسیون لیزر
۳۵۵	۱۳۸.۱۱ تقویت کننده لیزر
۳۵۶	۱۳۸.۱۲ لیزرهای چاه کوانتومی
۳۵۷	۱۳۸.۱۳ دیودهای نشر نور (LED)
۳۶۰	۱۳۸.۱۴ دیودهای آلای نشر نور (OLED)
۳۶۴	۱۳۸.۱۵ سلول‌های فتوولتائیک آلای (OPVC)
۳۶۷	۱۳۸.۱۶ نمایشگرهای کریستال مایع (LCD)
۳۶۹	۱۳۸.۱۷ نمایش مایه مخفی تخت تابشی
۳۷۲	۱۳.۹ اپتوالکترونیک مجتمع
۳۷۳	۱۳.۹.۱ موج‌های غیرفعال
۳۷۵	۱۳.۹.۲ موج‌برها - الکترونیک
۳۷۷	۱۳.۹.۳ سوئیچ‌ها و مدولاتورها - نوری
۳۷۸	۱۳.۹.۴ جفت شدن و مجس سازی - دستگاه
۳۸۱	۱۳.۹.۵ اتلاف‌های انرژی
۳۸۲	۱۳.۹.۶ فتونیک
۳۸۳	۱۳.۹.۷ فیبرهای نوری
۳۸۵	۱۳.۱۰ ادوات ذخیره سازی نوری
۳۹۰	۱۳.۱۱ کامپیوتر نوری
۳۹۴	۱۳.۱۲ نشر اشعه X
۳۹۶	مسائل
۳۹۸	پیشنهادات برای مطالعه بیشتر (بخش III)

بخش IV خواص مغناطیسی مواد

۴۰۳	فصل ۱۴ اصول مغناطیس
۴۰۳	۱۴.۱ مقدمه
۴۰۴	۱۴.۲ مفاهیم اولیه در مغناطیس
۴۰۸	۱۴.۳ واحدها
۴۰۹	مسائل
۴۱۱	فصل ۱۵ پدیده‌های مغناطیسی و مفهوم آن‌ها - تگرش کلاسیک
۴۱۱	۱۵.۱ مرور کلی
۴۱۱	۱۵.۱.۱ دیامغناطیس
۴۱۳	۱۵.۱.۲ پارامغناطیس
۴۱۷	۱۵.۱.۳ فرومغناطیس

۴۲۴	 آنتی فررومغناطیس
۴۲۶	 فری مغناطیس
۴۳۰	 نظریه لانژوین در مورد دیامغناطیس
۴۳۳	 نظریه لانژوین (مدار الکترون) در مورد پارامغناطیس
۴۳۸	 نظریه میدان مولکولی
۴۴۱	 مسائل

۴۴۵	 فصل ۱۶ نگرش های مکانیک کوانتوم در مغناطیس
۴۴۵	 ۱۶.۱ پارامغناطیس و دیامغناطیس
۴۵۰	 ۱۶.۲ فررومغناطیس و آنتی فررومغناطیس
۴۵۶	 مسائل

۴۵۹	 فصل ۱۷ کاربردها
۴۵۹	 ۱۷.۱ مقدمه
۴۵۹	 ۱۷.۲ فولادها: الکتربک (مواد مغناطیس نرم)
۴۶۰	 ۱۷.۲.۱ اتلاف های هسته
۴۶۲	 ۱۷.۲.۲ جهت گیری دانه ای
۴۶۴	 ۱۷.۲.۳ ترکیب مواد هسته
۴۶۵	 ۱۷.۲.۴ فررومغناطیس های آمورف
۴۶۵	 ۱۷.۳ آهنرباهای دائمی (مواد مغناطیس سخت)
۴۶۹	 ۱۷.۴ ضبط کردن مغناطیسی و مموری های مغناطیسی
۴۷۶	 ۱۷.۴.۱ نکات آخر
۴۷۶	 مسائل
۴۷۸	 پیشنهادات برای مطالعه بیشتر (بخش IV)

بخش ۷ خواص حرارتی مواد

۴۸۱	 فصل ۱۸ خواص حرارتی مواد
۴۸۱	 ۱۸.۱ مقدمه

۴۸۵	 فصل ۱۹ اصول خواص حرارتی
۴۸۵	 ۱۹.۱ حرارت، کار و انرژی
۴۸۶	 ۱۹.۲ ظرفیت حرارتی، C'
۴۸۶	 ۱۹.۳ ظرفیت حرارتی ویژه، C
۴۸۷	 ۱۹.۴ ظرفیت حرارتی مولی، C_v
۴۹۰	 ۱۹.۵ رسانایی حرارتی، K
۴۹۰	 ۱۹.۶ معادله گاز ایده آل
۴۹۲	 ۱۹.۷ انرژی جنبشی گازها
۴۹۴	 مسائل

۴۹۵	فصل ۲۰ ظرفیت حرارتی
۴۹۵	۲۰.۱ نظریه کلاسیک (اتمی) ظرفیت حرارتی
۴۹۷	۲۰.۲ رویکردهای مکانیک کوانتوم - فونون
۴۹۷	۲۰.۲.۱ مدل اینشتین
۵۰۱	۲۰.۲.۲ مدل دبی
۵۰۳	۲۰.۳ مشارکت الکترون در ظرفیت حرارتی
۵۰۷	مسائل

۵۰۹	فصل ۲۱ هدایت حرارتی
۵۰۹	۲۱.۱ هدایت حرارتی در فلزات و آلیاژها - رویکرد کلاسیک
۵۱۲	۲۱.۲ هدایت حرارتی در فلزات و آلیاژها - نگرش مکانیک کوانتوم
۵۱۳	۲۱.۳ هدایت حرارتی در مواد دی الکتریک
۵۱۶	مسائل

۵۱۷	فصل ۲۲ بساط حرارتی
۵۱۹	مسائل
۵۲۰	پیشنهادات برای مطالعه بیشتر (بخش V)

۵۲۳-۵۵۲	پوست ها
---------	---------