



فیزیک حالت جامد ۲

(رشته فیزیک)

www.ketab.ir

دکتر امیرعباس صبوری دودران

سرشناسه	: صیوری دودران، امیرعباس، ۱۳۴۹ -
عنوان و نام پدید آور	: فیزیک حالت جامد ۲ (رشته فیزیک)// امیرعباس صیوری دودران.
وضعیت ویراست	: ویراست ۲
مشخصات نشر	: تهران: دانشگاه پیام نور، ۱۳۹۷.
مشخصات ظاهری	: یازده، ۲۹۵ ص: مصور، جدول.
فروست	: دانشگاه پیام نور، ۲۴۷۶. گروه فیزیک، ۱/۶۰
شابک	: 978 - 964 - 14 - 0523 - 8
وضعیت فهرست نویسی	: فیبا.
موضوع	: فیزیک حالت جامد - آموزش برنامه‌ای
موضوع	: Solid state physics -- Programmed instruction
موضوع	: فیزیک حالت جامد - مسائل، تمرین‌ها و غیره (عالی)
موضوع	: Solid state physics -- Problems, exercises, etc. (Higher)
خاصه روده	: دانشگاه پیام نور.
شناسه افزودن	: Payam Noor University
رده بندی مگره	: ۱۳۹۷ ۲ف۹ص/۱۷۶/۵ QC
رده بندی دیویی	: ۵۳۰/۴۱۰۷۱
شماره کتابشناسی ملی	: ۵۲۷۰۳۸۲



نوبت چاپ: اول

شمارگان: ۱۰۰

فیزیک حالت جامد ۲

مؤلف: دکتر امیرعباس صیوری دودران

ویراستار علمی: دکتر عباس صف‌زاده

قیمت: ۲۱۵۰۰۰ ریال

تهیه و تولید: دفتر تدوین و تولید کتب و سوان آموزشی

لیتوگرافی، چاپ و صحافی: مرکز چاپ و توزیع دانشگاه پیام نور

شابک: ۹۷۸ - ۹۶۴ - ۱۴ - ۰۵۲۳ - ۸

ISBN: 978 - 964 - 14 - 0523 - 8

فروش این کتاب فقط از طریق نمایندگی‌های دانشگاه پیام نور مجاز می باشد و فروش

آن در سایر مراکز فروش کتاب موجب تعقیب قانونی فروشنده خواهد گردید

(کلیه حقوق مادی و معنوی این اثر محفوظ و متعلق به دانشگاه پیام نور است. تولید، کپی یا خلاصه‌برداری، نشر و ترجمه، چاپ، افست، توزیع گسترده، تهیه CD و ... این اثر یا بخشی از آن اعم از متن، طرح پشت و روی جلد و... بدون اخذ مجوز کتبی از معاونت فناوری و پژوهش دانشگاه خلاف مقررات و تعرض به حقوق مادی و معنوی دانشگاه است. متخلفین وفق قانون حمایت از مولفان و مصنفان و هنرمندان دارای مسئولیت حقوقی و کیفری بوده و تحت پیگرد قرار می گیرند.)

آدرس فروشگاه مرکزی چاپ و انتشارات دانشگاه پیام نور: تهران، خیابان شهید رجایی،

نرسیده به تقاطع آزادگان، جنب ورزشگاه یادآوران. تلفن: ۵۵۵۰۲۱۰۴ - ۵۵۰۹۸۳۸

سایت فروش اینترنتی: <http://digibook.pnu.ac.ir>

فهرست مطالب

پیشگفتار	نه
فصل اول. ساختار الکترونی برآمدهات	۱
هدف کلی	۱
هدف‌های یادگیری	۱
مقدمه	۲
۱-۱ فلزات از منظر کلاسیکی	۲
۱-۱-۱ مدل درود	۴
۱-۱-۲ تقریب زمان واهلش	۶
۱-۱-۳ شکست‌های مدل درود	۱۰
۲-۱ فلزات از منظر کوانتومی	۱۴
۲-۱-۱ مدل الکترون آزاد	۱۵
۲-۱-۲ نوارهای انرژی در جامدات	۱۷
۲-۱-۳ الکترون در یک بلور ایده‌ئال	۱۹
۲-۲-۱ شرط پراش الکترون‌های ظرفیت	۳۰
۲-۲-۲ برهم‌کنش الکترون با پتانسیل تناوبی ضعیف (مدل الکترون تقریباً آزاد)	۳۳
۳-۱ رویکرد دیگر در ساختار الکترونی جامدات برای الکترون‌های مغزی	۳۹
۱-۳-۱ مدل تنگ‌بست	۴۰
۲-۳-۱ جرم مؤثر حامل‌های بار	۵۱
۴-۱ سطح فرمی	۵۴
۱-۴-۱ اثر دوهااس-ون آلفن	۶۹
خلاصه فصل اول	۷۳
خودآزمایی چهارگزینه‌ای فصل اول	۷۴
خودآزمایی تشریحی فصل اول	۷۷

۸۳	فصل دوم. نیم رساناها، نارساناها (دی الکتریک ها) و خواص نوری جامدات
۸۳	هدف کلی
۸۳	هدف های یادگیری
۸۴	مقدمه
۸۴	۱-۲ نیم رساناها
۸۴	۱-۱-۲ ساختار بلوری نیم رساناها
۸۵	۲-۱-۲ ساختار الکترونی نیم رسانا
۹۳	۳-۱-۲ محاسبه چگالی الکترون n و حفره p در نوارهای رسانش و ظرفیت
۹۸	۴-۱-۲ ناخالصی در نیم رسانا (نیم رساناهای غیرذاتی)
۱۰۴	۵-۱-۲ احتمال پرتشدگی ترازهای ناخالصی های بخشنده و پذیرنده
۱۰۶	۶-۱-۲ پتانسیل شیمیایی نیم رساناهای غیرذاتی و اثرات دما بر آن
۱۰۹	۱-۱-۱ خواص ترابرد الکتریکی در نیم رساناها
۱۱۲	۸-۱-۲ حامل های اقلیت در نیم رساناها
۱۱۳	۹-۱-۲ اثر سال در نارسانا
۱۱۸	۲-۲ نارساناها (دی الکتریک ها)
۱۱۸	۱-۲-۲ خواص دی الکتریک مواد
۱۲۱	۲-۲-۲ دی الکتریک با نم های قطبیده ذاتی و غیرذاتی در حضور میدان الکتریکی
۱۲۳	۳-۲-۲ محاسبه قطبش الکتریک دی الکتریک
۱۲۵	۴-۲-۲ قطبش پذیری یونی یک دی الکتریک یونی در حضور میدان الکتریکی
۱۲۶	۵-۲-۲ فروالکتریک ها
۱۲۷	۳-۲ خواص نوری مواد
۱۲۷	۱-۳-۲ رفتار مواد در معرض نور مرئی
۱۴۱	۲-۳-۲ پدیده جذب از نقطه نظر ساختار نوری
۱۵۱	۴-۲ اکسیتون ها
۱۵۱	۱-۴-۲ اکسیتون های آزاد (اکسیتون وانیر)
۱۵۵	۲-۴-۲ اکسیتون فرنکل
۱۶۴	خلاصه فصل دوم
۱۶۴	خودآزمایی چهارگزینه ای فصل دوم
۱۶۹	خودآزمایی تشریحی فصل دوم
۱۷۳	فصل سوم. خواص مغناطیسی جامدات
۱۷۳	هدف کلی
۱۷۳	هدف های یادگیری
۱۷۶	۱-۳ خواص مغناطیسی گاز الکترونی بدون برهم کنش در حضور میدان B
۱۷۶	۱-۱-۳ گشتاور مغناطیسی
۱۷۸	۲-۱-۳ مغناطش الکترون های سرگردان در فلز
۱۹۵	۲-۳ اثرات میدان مغناطیسی بر الکترون های شبه مغزی مواد
۱۹۶	۱-۲-۳ رفتار پارامغناطیسی الکترون های شبه مغزی در حضور میدان B

۲۱۳	۲-۲-۳ قانون هوند
۲۱۷	۳-۳ مغناطش یک سیستم با برهم کنش
۲۱۷	۱-۳-۳ نظریه هایزنبرگ
۲۱۷	۱-۱-۳-۳ برهم کنش گشتاور دو قطبی های مغناطیسی
۲۱۹	۲-۳-۳ انرژی تبادلی
۲۲۶	۳-۳-۳ فرومغناطیس
۲۳۰	۴-۳-۳ پادفرومغناطیس
۲۳۱	۵-۳-۳ محاسبه مدل میدان متوسط وایس برای یک پادفرومغناطیس
۲۳۴	۶-۳-۳ فری مغناطیس
۲۳۵	۷-۳-۳ امواج اسپینی فرومغناطیسی
۲۴۰	۸-۳-۳ امواج اسپینی پادفرومغناطیسی
۲۴۲	۹-۳-۳ دهان پارامغناطیسی
۲۵۲	خلاصه فصل سوم
۲۵۲	خودآزمایی چهارگزینه ای فصل سوم
۲۵۶	خودآزمایی تشریحی فصل سوم
۲۶۱	فصل چهارم. خواص آبرسانان
۲۶۱	هدف کلی
۲۶۱	هدف های یادگیری
۲۶۲	مقدمه
۲۶۲	۱-۴ فلزات بهنجار و آبرساناها
۲۶۶	۲-۴ شدت میدان مغناطیسی بحرانی - اثر مایستر
۲۶۸	۳-۴ آبرسانی نوع اول و دوم
۲۷۰	۴-۴ معادلات لندن
۲۷۸	۵-۴ تله افتادن شارمغناطیسی در داخل یک آبرسانی حفره دار
۲۷۸	۱-۵-۴ شاره کوانتیزه در داخل یک حلقه آبرسانا
۲۸۰	۶-۴ مدل BCS
۲۸۲	۱-۶-۴ اثرات جرم ایزوتوپی در آبرساناها
۲۸۴	۲-۶-۴ تونل زنی آبرساناها
۲۸۴	۳-۶-۴ رفتار ظرفیت گرمایی در آبرسانا
۲۸۷	خلاصه فصل چهارم
۲۸۸	خودآزمایی چهارگزینه ای فصل چهارم
۲۹۰	خودآزمایی تشریحی فصل چهارم
۲۹۱	پاسخنامه خودآزمایی های چهارگزینه ای فصل ها
۲۹۳	جداول
۲۹۵	منابع

پیشگفتار

در رابطه با فیزیک نالت، مد به دلیل گستردگی و نیز ارتباط مستقیم آن با ریاضیات پیشرفته، الکترومغناطیس، اپتیک، بد رشناسی، شیمی و... به سختی می توان کتابی در حجم کم نوشته شود که اولاً مطالب ساده باشد، ثانیاً پیوستگی مطالب در آن رعایت شود. از این رو در نگارش این کتاب بسیار تلاش نمودم تا خودخوان بودن این کتاب تأمین شود ولی این کتاب به دلایل گفته شده دارای کم و ناست هایی است که از استادان محترم و دانشجویان عزیز تقاضا دارم با خواندن آن هرگز به انتقاد و یا اشکالاتی چه محتوایی و چه نگارشی را به آدرس ایمیل داده شده، ارسال کرد. تا در ویرایش های بعدی، برطرف شود. لازم به ذکر است با توجه به اینکه این درس یکی از دروس استثنائی در مقطع کارشناسی است، در هنگام نگارش کتاب فرض شده است دانشجویان، در درس ریاضی فیزیک (۱ و ۲)، مکانیک کوانتومی (۱ و ۲)، الکترومغناطیس (۱ و ۲)، ترمودینامیک و مکانیک آماری آشنا هستند.

در مقطع کارشناسی رشته فیزیک، دانشجویان گرایش فیزیک حالت جامد، در درس تخصصی سه واحدی با عنوان فیزیک حالت جامد ۱ را می گذرانند. در کتاب فیزیک حالت جامد ۱ ما با موضوعاتی مانند: بلور، متشکل از اتم ها در یک شبکه با یک آرایش منظم، ساختارهای مختلف بلور، انواع پیوندهای اتمی، ارتعاشات شبکه ای، خواص گرمایی جامدات، نظریه الکترون های آزاد و اثرات پتانسیل یون های شبکه بر ساختار الکترونی جامدات آشنا شدیم.

در نگارش کتاب حالت جامد ۲ سعی شده است اولاً پیوستگی لازم را با کتاب حالت جامد ۱ داشته باشد و ثانیاً در جهت معرفی دیگر خواص فیزیکی جامدات گام

بردارد. شناخت هر چه بهتر ساختار الکترونی جامدات، این توانمندی را در اختیار ما می‌گذارد که بتوانیم ویژگی‌های دیگر جامدات مانند: خواص اپتیکی، خواص مغناطیسی، خواص آبرسانایی.... را توصیف کنیم. علاوه بر فلزات، آشنایی با دیگر مواد مانند نیم‌رساناهای ذاتی و غیرذاتی، دی‌الکتریک‌ها و آبرساناها از تلاش‌های دیگر این کتاب است. این کتاب از چهار فصل تشکیل شده است. فصل اول، در ادامه رویکرد نواری جامدات از کتاب حالت جامد ۱، به ساختار الکترونی جامدات می‌پردازد. این فصل به معرفی ساده‌ترین مدل برای الکترون‌های رسانش فلزات (مدل الکترون تقریباً آزاد) و روش تنگ‌بست برای الکترون‌های مقید به هسته اتم‌های شبکه بلوری پرداخته است. فصل دوم، به ساختار الکترونی نیم‌رساناها به عنوان کاربردی‌ترین مواد در صنعت الکترونیک، توجه شده است. با توجه به اندازه گاف انرژی بین نوار ظرفیت و رسانش این دسته از مواد (مرتبه تقریباً $2\text{eV} - 0.5$) نه فقط دارای خواص جذبی و عبوری نور مرئی است بلکه در مابین رفتاری عایق‌گونه و در دماهای بالا رفتاری فلزگونه از خود نشان می‌دهند. در بسیاری دیگر از مواد، نارساها (عایق‌ها) هستند، با گاف انرژی نسبتاً بزرگی که برای یک بلور ایده‌آل، از آن، جذب نور مرئی نخواهیم داشت و در مقابل عبور نور مرئی کاملاً شفاف هستند (سند اساسی). در فصل سوم با در نظر گرفتن خواص الکترونی جامدات و به‌کارگیری روش ساختار نواری مواد (فصل‌های ۱ و ۲) به خواص مغناطیسی برخی از مواد می‌پردازد که منجر به دسته‌بندی آن‌ها از لحاظ مغناطیسی (فرومغناطیس، فری‌مغناطیس و پادفرومغناطیس) می‌شود. این دسته از مواد در حضور میدان مغناطیسی رفتارهای پارامغناطیسی یا دیامغناطیسی از خود نشان می‌دهند. با برانگیختگی مغناطیسی این دسته از مواد می‌توان امواج اسپین (مگنون) ایجاد کرد. از دیگر خواص جالب برخی از مواد، خواص آبرسانایی است که موضوع فصل ۴ این کتاب است. در صورت دستیابی به خواص آبرسانایی در محدوده دمای اتاق که از آرزوهای بشر امروزی است، می‌توان انقلاب بزرگی در صنعت پدید آورد.

در داخل هر فصل به نکات مهمی به‌طور مشخص و مجزا اشاره شده و برخی دیگر از آن‌ها در پاورقی و پیوست‌ها جهت تکمیل مطالب، آورده شده است که به خوانندگان محترم توصیه می‌شود به آن‌ها توجه نمایند.

لازم است از جناب آقای دکتر علیرضا صفارزاده که با وسعت نظر و نکته‌سنجی ارزشمندشان من را مرهون لطف خود قرار دادند و از رهنمودهای ایشان به کرات در کتاب

استفاده کرده‌ام و و نیز از کلیه همکاران محترم تدوین مخصوصاً مدیریت محترم تدوین جناب آقای دکتر مهران فرج‌اللهی و معاون محترم تدوین جناب آقای حمیدرضا فرنی و کارشناسان محترم تدوین سرکار خانم آزیتا ابراهیم‌نیا و سرکار خانم فاطمه بنی‌جمالی به خاطر زحمات بی‌دریغشان در راستای چاپ این کتاب، کمال سپاسگزاری و امتنان را دارم. این کتاب را به همسر و فرزندانم به خاطر صبوری‌شان در طی نگارش این کتاب تقدیم می‌دارم.

امیرعباس صبوری‌دودران^۱

پاییز ۹۶

www.ketab.ir