



فیزیک مواد جامد

Physics of Solid Materials

دکتر هومان شکراللهی

استاد مهندسی و علم مواد دانشگاه صنعتی شیراز

RICEST

سرشناسه	: شکرالهی، هومان
عنوان و نام پدیدآور	: فیزیک مواد جامد = Physics of solid materials / هومان شکرالهی.
مشخصات نشر	: شیراز: وزارت علوم، تحقیقات و فناوری، معاونت پژوهشی، مرکز منطقه‌ای اطلاع‌رسانی علوم و فناوری، ۱۳۹۷.
مشخصات ظاهری	: ل، ۴۳۰ص: مصور، جدول، نمودار.
شابک	: 978-600-9820-54-2
وضعیت فهرست نویسی	: فیپا
موضوع	: جامدات
موضوع	: Solids
موضوع	: فیزیک حالت جامد
موضوع	: Solid state physics
موضوع	: ماده -- خواص
موضوع	: Matter -- Properties
شناسه افزوده	: ایران. وزارت علوم، تحقیقات و فناوری. مرکز منطقه‌ای اطلاع‌رسانی علوم و فناوری
شناسه افزوده	: Regional information center for science and technology
رده بندی کنگره	: QC۱۷۶/ش ۹ف ۱۳۹۷
رده بندی دیویی	: ۴۱/۵۳۰
شماره کتابشناسی ملی	: ۵۴۱۱۱۲۶



فیزیک مواد جامد / دکتر هومان شکرالهی

ناشر: انتشارات مرکز منطقه‌ای اطلاع‌رسانی علوم و فناوری

شابک: ۹۷۸-۶۰۰-۹۸۲۰۵-۴-۲

انتشارات: ۰۷۱-۳۶۴۶۸۴۵۲

نمبر: ۰۷۱-۳۶۴۶۸۳۵۲

صفحه خانگی: www.ricest.ac.ir

پست الکترونیک: publication@ricest.ac.ir

شیراز، بلوار جمهوری، خیابان جام جم، مرکز منطقه‌ای اطلاع‌رسانی علوم و فناوری،

اداره انتشارات، کدپستی: ۷۱۹۴۶۹۴۱۷۱

سخن مؤلف

خداوند را شاکرم که بنده را توفیق داد تا بتوانم این کتاب را به علاقه‌مندان علم خواص فیزیکی مواد مهندسی تقدیم کنم. تاکنون کتاب‌های متعددی در زمینه‌ی خواص فیزیکی مواد به زبان فارسی نوشته شده است، کتاب حاضر سعی دارد به گونه‌ای به فیزیک مواد مهندسی بپردازد که برای کلیه‌ی علاقه‌مندان در زمینه‌های مهندسی مواد، مهندسی برق-الکترونیک، فیزیک و تا حدی شیمی مفید واقع شود. متن کتاب حاضر به گونه‌ای است که برای کلیه‌ی مخاطبین به ویژه دانشجویانی که درس‌های کافی در زمینه‌ی فیزیک حالت جامد را نگذرانده‌اند، قابل درک باشد. انگیزه‌ی اصلی تألیف این کتاب اضافه کردن یک منبع درسی مناسب مقدماتی به زبان فارسی برای درس فیزیک حالت جامد است. کتاب حاضر علاوه بر اینکه می‌تواند بطور مشخص به عنوان منبع درسی در درس‌های خواص مغناطیسی مواد و سرامیک‌های مغناطیسی پیشرفته در رشته‌ی کارشناسی ارشد الکتروسرامیک مورد استفاده قرار گیرد، می‌تواند به عنوان منبع کمکی برای درس-های فیزیک حالت جامد، کوانتوم و خواص مواد پیشرفته استفاده شود. بی‌شک کتاب حاضر دارای نواقص و کمبودهای زیادی است که امیدوارم مخاطبان محترم این جانب را از نظرات سازنده‌ی خود آگاه سازند.

تقدیم به روح بزرگ پدرم،
به پاس زحمات بی‌کرانش

RICEST

تشکر و قدردانی

در پایان بر خود لازم می‌دانم از کلیه‌ی عزیزانی که در تألیف این کتاب اینجانب را یاری کردند، تشکر کنم. در ابتدا از دوست گرامی آقای دکتر عرب که بدون همکاری ارزشمند و خالصانه‌ی ایشان تهیه‌ی کتاب حاضر با این کیفیت امکان پذیر نبود، تشکر فراوان دارم. از آقای مهندس صمدی به دلیل طراحی جلد کتاب سپاسگزارم. از داوران محترم که زحمت داوری کتاب را قبول کرده و با نقطه نظرات سازنده‌ی خود در بهبود کیفیت کتاب تاثیرگذار بوده اند، کمال تشکر را دارم. از معاونت محترم پژوهشی دانشگاه صنعتی شیراز به دلیل همکاری‌شان تشکر می‌کنم. در پایان از ریاست محترم مرکز منطقه‌ای اطلاع‌رسانی علوم و فناوری و پایگاه استنادی علوم جهان اسلام، جناب آقای دکتر دهقانی و همچنین جناب آقای دکتر صالحی معاون محترم اداری-مالی این مرکز به دلیل مساعدت‌شان در چاپ کتاب حاضر، کمال تشکر را دارم.

RICEST

RICEST

فهرست مطالب

فصل اول

۳	..... پیوندهای شیمیایی
۴	..... ۱-۱- پیرونی های بین اتمی
۵	..... ۲-۱- پیوند واندروالس
۶	..... ۳-۱- پیوند کووالانسی
۸	..... ۴-۱- پیوند فلزی
۹	..... ۵-۱- پیوند یونی
۱۳	..... ۶-۱- عوامل تاثیرگذار
۱۴	..... تمرین های نمونه

فصل دوم

۱۷	..... ساختمان بلوری جامدات
۲۱	..... ۱-۲- تقارن و ساختمان بلوری
۲۲	..... ۲-۲- شبکه بلوری
۲۳	..... ۳-۲- سلول واحد
۲۵	..... ۴-۲- ساختمان بلوری
۲۵	..... ۵-۲- سیستم بلوری
۲۶	..... ۱-۵-۲- شبکه های براوه
۲۸	..... ۲-۵-۲- صفحات شبکه و شاخص های میلر
۲۹	..... ۶-۲- گروه های نقطه ای
۲۹	..... ۱-۶-۲- بازتاب صفحه ای، گروه C_s
۳۰	..... ۲-۶-۲- چرخش، گروه C_n
۳۲	..... ۳-۶-۲- مرکز تقارن
۳۳	..... ۴-۶-۲- محور وارون
۳۳	..... ۵-۶-۲- ترکیب محور چرخش و صفحه ای آینه ای

۳۴	۷-۲- تقارن و بلور شناسی.....
۴۰	۸-۲- گروه فضایی.....
۴۳	۹-۲- سلول واحد اولیه یا پایه.....
۴۸	۱۰-۲- شبکه‌ی معکوس یا وارون.....
۵۱	۱۱-۲- مناطق بریلوئین.....
۵۴	۱-۱۱-۲- منطقه‌ی بریلوئین برای شبکه‌ی مکعبی ساده:.....
۵۵	۲-۱۱-۲- منطقه‌ی بریلوئین برای شبکه‌ی FCC.....
۵۶	۳-۱۱-۲- منطقه‌ی بریلوئین برای شبکه‌ی BCC.....
۵۸	۴-۱۱-۲- منطقه‌ی بریلوئین برای شبکه‌ی هگزاگونال.....
۶۱	۱۲-۲- مرزهای بریلوئین.....

فصل سوم

۶۹	توابع توزیع آماری.....
۷۱	۱-۳- توزیع کلاسیکی ماکسول - بولتزمن.....
۷۳	۲-۳- توزیع کوانتومی بوز- اینشتین.....
۷۵	۳-۳- توزیع کوانتومی فرمی- دیراک.....
۷۶	۴-۳- نکاتی در مورد انرژی فرمی.....
۷۸	تمرین‌های نمونه.....

فصل چهارم

۸۱	گاز فرمی الکترون آزاد و تشکیل جامد.....
۸۲	۱-۴- نظریه‌ی تشکیل جامد.....
۸۶	۲-۴- چگالی حالت‌ها و سطح فرمی.....
۹۲	۳-۴- دمای فرمی.....
۹۳	۴-۴- تشکیل کره فرمی.....
۹۷	تمرین‌های نمونه.....

فصل پنجم

- انرژی فرمی و مناطق بریلوئین ۱۰۳
- ۱-۵- ارتباط مناطق بریلوئین و سطح فرمی ۱۰۴
- ۲-۵- گاف انرژی در مدل الکترون تقریباً آزاد ۱۰۷
- ۳-۵- عدد موج بحرانی ۱۱۰
- ۴-۵- مناطق گسترده، کاهش یافته ۱۱۳
- ۵-۵- جرم موثر ۱۱۵
- ۶-۵- کمیت‌های فیزیکی در مرز و درون منطقه بریلوئین ۱۱۷
- ۷-۵- ارتباط ابعاد اتم و ابعاد بلور ۱۲۲
- تمرین‌های نمونه ۱۲۳

فصل ششم

- الکترون در شرایط پتانسیل مختلف ۱۳۷
- ۱-۶- نظریه‌ی بلاخ ۱۳۹
- ۲-۶- الکترون در شرایط پتانسیل مختلف ۱۴۲
- ۱-۲-۶- الکترون آزاد در جامد ۱۴۲
- ۲-۲-۶- الکترون آزاد در جامد بلوری ۱۴۳
- ۳-۲-۶- الکترون تحت تاثیر پتانسیل نامحدود ۱۴۵
- ۴-۲-۶- سد پتانسیل محدود ۱۴۸
- ۵-۲-۶- الکترون در میدان پتانسیل تناوبی بلور ۱۵۱
- تمرین‌های نمونه ۱۶۰

فصل هفتم

- رسانایی ۱۶۵
- ۱-۷- نظریه‌ی کلاسیکی رسانش ۱۶۷
- ۲-۷- نظریه‌ی کوانتومی رسانش ۱۷۱

- ۱۷۴-۳-۷- وابستگی دمایی رسانش.....
- ۱۷۵-۴-۷- تاثیر فشار.....
- ۱۷۶-۵-۷- عوامل متالورژیکی.....
- ۱۷۸- تمرین های نمونه.....

فصل هشتم

- ۱۸۱- نیمه رساناها.....
- ۱۸۲- ۱-۸- سازوکار برانگیختگی.....
- ۱۸۳- ۲-۸- انرژی گرمایی.....
- ۱۸۴- ۳-۸- اعمال میدان الکتریکی.....
- ۱۸۵- ۴-۸- تابش الکترومغناطیس.....
- ۱۸۵- ۵-۸- انواع نیمه رساناها.....
- ۱۸۵- ۱-۵-۸- نیمه رسانای ذاتی.....
- ۱۸۶- ۲-۵-۸- نیمه رساناهای غیر ذاتی.....
- ۱۸۸- ۶-۸- انرژی فرمی.....
- ۱۹۰- ۷-۸- هدایت الکتریکی در نیمه رساناهای ذاتی.....
- ۱۹۲- ۸-۸- هدایت الکتریکی در نیمه رساناهای غیر ذاتی.....
- ۱۹۴- ۹-۸- نیمه رساناهای مستقیم و غیر مستقیم.....
- ۱۹۷- ۱۰-۸- حفره‌ی سبک، حفره‌ی سنگین و حفره‌های تجزیه شده.....
- ۱۹۸- تمرین های نمونه.....

فصل نهم

- ۲۰۳- خواص دی الکتریک.....
- ۲۰۴- ۱-۹- دوقطبی های الکتریکی.....
- ۲۰۵- ۲-۹- قطبش.....
- ۲۰۷- ۱-۲-۹- قطبش الکترونی.....

۲۰۹	۲-۲-۹- قطبش یونی
۲۱۰	۳-۲-۹- قطبش چرخشی
۲۱۵	۳-۹- ثابت دی الکتریک
۲۱۵	۱-۳-۹- مفهوم فیزیکی
۲۱۷	۲-۳-۹- روابط حاکم
۲۲۰	۳-۳-۹- میدان موضعی در دی الکتریک
۲۲۲	۴-۳-۹- میدان متناوب
۲۳۰	۵-۹- انواع مواد دی الکتریک
۲۳۰	۱-۵-۹- پیزوالکتریک
۲۳۲	۲-۵-۹- فروالکتریک
۲۴۲	۶-۹- مقاومت دیالکتریک
۲۴۳	تمرین‌های نمونه

فصل دهم

۲۴۷	ابر رساناها
۲۴۹	۱-۱۰- اثر دما، میدان مغناطیسی و جریان
۲۵۱	۲-۱۰- انواع ابررساناها
۲۵۳	۳-۱۰- اثر مایسنر
۲۵۵	۴-۱۰- منشاء میکروسکوپی ابررسانایی (نظریه BCS)
۲۵۷	۵-۱۰- معادله‌ی لندن
۲۶۲	تمرین‌های نمونه

فصل یازدهم

۲۶۵	خواص مغناطیسی
۲۶۶	۱-۱۱- منشاء خاصیت مغناطیسی (خاصیت مغناطیسی الکترون منفرد)
۲۶۷	۲-۱۱- حرکت مداری و اسپینی

- ۲۶۷.....۱-۲-۱۱- حرکت مداری
- ۲۶۹.....۲-۲-۱۱- حرکت اسپینی (ذاتی).....
- ۲۷۱.....۳-۲-۱۱- اندازه حرکت زاویه‌ای کل
- ۲۷۲.....۳-۱۱- نسبت ژیرومغناطیس.....
- ۲۷۳.....۴-۱۱- قوانین هوند
- ۲۷۸.....۵-۱۱- اثر گرما بر رفتار مغناطیسی مواد منظم (امواج اسپینی).....
- ۲۸۴.....۶-۱۱- دلیل تشکیل نواحی مغناطیسی.....
- ۲۸۵.....۱-۶-۱۱- انرژی تبادلی.....
- ۲۸۶.....۲-۶-۱۱- انرژی مگنتواستاتیک.....
- ۲۸۷.....۳-۶-۱۱- انرژی ناهمسانگردی بلوری.....
- ۲۸۹.....۴-۶-۱۱- انرژی تغییر بعد مغناطیسی.....
- ۲۸۹.....۵-۶-۱۱- انرژی دیواره.....
- ۲۹۰.....۷-۱۱- حلقه (پسماند).....
- ۲۹۴.....۸-۱۱- دیامغناطیس
- ۲۹۵.....۹-۱۱- پارامغناطیس
- ۲۹۸.....۱۰-۱۱- فرومغناطیس
- ۳۰۰.....۱-۱۰-۱۱- نظریه‌ی میدان مولکولی
- ۳۰۵.....۲-۱۰-۱۱- مغناطش خود به خود در فلزات فرومغناطیس.....
- ۳۱۲.....۱۱-۱۱- آنتی فرومغناطیس
- ۳۱۵.....۱۲-۱۱- فری مغناطیس.....
- ۳۱۷.....تمرین‌های نمونه.....

فصل دوازدهم

- ۳۲۱..... خواص گرمایی
- ۳۲۲.....۱-۱۲- فونون
- ۳۲۴.....۲-۱۲- انرژی نوسان گر هماهنگ ساده.....

۳۲۶	۳-۱۲- زنجیر اتمی نامحدود.....
۳۲۶	۱-۳-۱۲- یک اتم در سلول واحد.....
۳۳۰	۲-۳-۱۲- دو اتم در شبکه.....
۳۳۴	۴-۱۲- مدهای طولی و عرضی در ارتعاش.....
۳۴۰	۵-۱۲- ظرفیت گرمایی.....
۳۴۱	۱-۵-۱۲- مدل کلاسیکی یا دولون-پتی.....
۳۴۲	۲-۵-۱۲- الگوی انشتین.....
۳۴۵	۳-۵-۱۲- الگوی دبای.....
۳۵۱	۴-۵-۱۲- سهم الکترون در ظرفیت گرمایی.....
۳۵۵	۶-۱۲- هدایت گرمایی.....
۳۵۵	۱-۶-۱۲- هدایت گرمایی فونونی.....
۳۵۹	۲-۶-۱۲- هدایت گرمایی الکترونی.....
۳۶۱	۷-۱۲- انبساط گرمایی.....
۳۶۳	تمرین‌های نمونه.....

فصل سیزدهم

۳۷۱	خواص نوری.....
۳۷۳	۱-۱۳- فرآیندهای کلی برهم‌کنش نور با ماده.....
۳۷۵	۲-۱۳- انعکاس.....
۳۷۸	۳-۱۳- عبور.....
۳۸۱	۴-۱۳- انتشار.....
۳۸۲	۱-۴-۱۳- ضریب شکست.....
۳۸۹	۵-۱۳- فلزات، نیمه‌رساناها و عایق‌ها.....
۳۹۸	۶-۱۳- مگنتو اپتیک.....
۳۹۹	تمرین‌های نمونه.....
۴۰۳	جدول پ-۱- جدول علائم کمیت‌های فیزیکی.....

- جدول پ-۲: مقایسه‌ی کمیت‌های الکتریکی و مغناطیسی ۴۰۵
- جدول پ-۳- کمیت‌های فیزیکی در سیستم‌های مختلف ۴۰۵
- جدول پ-۴- میدان‌های مغناطیسی و الکتریکی و نمادهای مربوط به آنها ۴۰۶
- جدول پ-۵- تاثیرپذیری و نفوذپذیری مغناطیسی مواد مختلف ۴۰۶
- جدول پ-۶: خواص برخی از نیمه رساناهای به صورت جزئی آلییده شده در $K 300$ ۴۰۷
- شکل پ-۱- مقایسه‌ی دما، انرژی، عدد موج، طول موج و فرکانس ۴۱۱
- شکل پ-۲- گروه‌های تقارن ۴۱۲
- شکل پ-۳- گروه‌های تقارن ۴۱۳

RICEST

مقدمه

کتاب حاضر حاصل چندین سال فعالیت در زمینه‌ی خواص مغناطیسی، الکتریکی و نوری مواد و تدریس چندین سال فیزیک حالت جامد می‌باشد. این کتاب در فصل‌های یک تا شش به بیان مباحث اولیه و لازم چون پیوندهای شیمیایی، ساختمان بلوری جامدات، توابع آماری، تئوری نواری و رفتار الکترون در جامدات می‌پردازد. تئوری نواری جامدات و حرکت الکترون در شرایط مختلف پتانسیل در جامد درک مناسبی در بررسی خواص مواد مهندسی خواهد داد. چراکه مطالعه‌ی پیوندهای شیمیایی، ساختار جامدات، نقش الکترون به عنوان مهمترین ذره تاثیرگذار در جامدات، جایگاه نوارهای ظرفیت و رسانش در پیچه‌ای را برای درک خواص مواد مهندسی ایجاد می‌کند. با ارائه‌ی بستر لازم، از فصل هفتم تا فصل دهم خواص الکتریکی جامدات از جمله رساناها، نیمه رساناها، نارساناها و ابررساناها بررسی و در ادامه یعنی فصل‌های یازده، دوازده و سیزده به خواص گرمایی، مغناطیسی و نوری جامدات پرداخته می‌شود. در حوزه‌ی خواص، بررسی رفتار الکتریکی مواد عموماً با کمک همپوشانی یا شرایط داخلی نوار و یا فاصله‌ی انرژی بین نوارهای ظرفیت و رسانش قابل بررسی است. خواص گرمایی در جامدات به طور کلی با توجه به قدرت پیوند، جرم اتم‌ها و نوسان آنها با کمک الگوی نوسان گر هارمونیک ساده توجیه می‌شود و در فلزات علاوه بر الگوی ذکر شده، حضور الکترون‌ها نیز کمک کننده است. در فلزات تئوری نواری و موقعیت سطح فرمی و در غیر فلزات برهم‌کنش ممان‌های مغناطیسی از طریق آنیون اکسیژن در تبیین خواص مغناطیسی نقش دارند. در جامدات صرف‌نظر از شرایط سطحی و طول موج فرودی، حضور الکترون‌های آزاد و میزان انرژی ممنوعه می‌تواند در توجیه رفتار نوری ماده تاثیرگذار باشد.

امروزه مواد و قطعات الکترونیک نقش مهمی در زندگی بشر دارند. مواد پیشرفته با توجه به ویژگی‌های ممتاز و طیف وسیع کاربردها، دارای تاثیرات قابل توجهی در زمینه‌های مختلف از جمله انرژی، ذخیره سازی و انتقال اطلاعات، ایمنی و امنیت، علوم زیستی و پزشکی و خلاصه زندگی بهتر بشر می‌باشند. در این راستا، با توجه به اهداف برنامه‌های توسعه کشور و تحقیقات و پژوهش‌هایی که در دنیا در زمینه‌ی مواد پیشرفته و مواد مهندسی در حال انجام است، برنامه ریزی باید به گونه‌ای باشد که دانشگاه‌ها، پژوهشگاه‌ها و مراکز تحقیقاتی و صنعتی کشور بتوانند

فعالیت‌های مناسبی در زمینه‌ی فیزیک کاربردی و علم و مهندسی این‌گونه مواد انجام دهند. بنابراین ایجاد بسترهای لازم آموزشی (به عنوان مثال منابع درسی مناسب، نرم افزارها)، پژوهشی (تجهیزات آزمایشگاهی در جهت ساخت، مشخصه‌یابی و اندازه‌گیری، سنتز و ساخت مواد و بهینه‌سازی فرآیندهای ساخت و خواص مواد) و سپس ورود به دروازه‌ی صنعت و تجاری سازی امری ضروری است. امیدوارم این کتاب تاثیر مثبتی در پیشبرد اهداف جامعه‌ی علمی کشور به‌خصوص محققان و دانشجویان محترم داشته باشد.

RICEST