

۱۰۱۷۲۳۱  
۱۰/۱

# فیزیک حالت جامد

(جلد اول)

ویرایش دوم

بایدآورندگان

جوزپه گروسو

دانشکده فیزیک، دانشگاه پیزا، ایتالیا

جوزپه پاستوری، پاراویچینی

دانشکده فیزیک، دانشگاه پاول، ایتالیا

برگرداننده

پیمان صاحبسرا

استادیار دانشکده فیزیک

دانشگاه صنعتی اصفهان



گروه علوم ۴۱

شماره کتاب ۱۳۵

## فیزیک حالت جامد (جلد اول)

|                        |                                        |
|------------------------|----------------------------------------|
| پدیدآورندگان           | جوزپه گروسو، جوزپه پاستوری پاراوچیچینی |
| برگرداننده             | پیمان صاحبسرا                          |
| ویراستار علمی          | حمیده شاکری پور                        |
| ویراستار فنی           | آتوسا سعادت                            |
| صفحه آرا               | پیمان صاحبسرا                          |
| طراح جلد               | زحل شیروانی                            |
| لیتوگرافی، چاپ و صحافی | چاپخانه دانشگاه صنعتی اصفهان           |
| ناشر                   | انتشارات دانشگاه صنعتی اصفهان          |
| چاپ دوم                | پاییز ۱۳۹۸                             |
| شمارگان                | جلد ۵۰۰                                |
| شابک دوره              | ۹۷۸-۹۶۴-۸۴۷۶-۹۲-۴                      |
| شابک                   | ۹۷۸-۹۶۴-۸۴۷۶-۹۲-                       |
| قیمت                   | ۳۰۰ ریال                               |

|                     |                                                                     |
|---------------------|---------------------------------------------------------------------|
| سرشناسه             | Giuseppe Grosso م. ۱۹۴۸                                             |
| عنوان و نام پدیدآور | فیزیک حالت جامد                                                     |
| مشخصات نشر          | اصفهان: دانشگاه صنعتی اصفهان، انتشارات، ۱۳۹۳ -                      |
| مشخصات ظاهری        | ج۲: جدول، نمودار؛ ۱۷×۲۴ سم.                                         |
| فروست               | دانشگاه صنعتی اصفهان؛ ۱۳۵. گروه علوم؛ *                             |
| شابک                | 978-964-8476-92-7 ؛ 978-964-8476-93-4                               |
| وضعیت فهرست نویسی   | فیبای مختصر                                                         |
| یادداشت             | عنوان اصلی: Solid State Physics.                                    |
| شناسه افزوده        | پاستوری پاراوچیچینی، جوزپه، Pastori Parravicini, Giuseppe - پدیدآور |
| شناسه افزوده        | صاحبسرا، پیمان، مترجم                                               |
| شناسه افزوده        | دانشگاه صنعتی اصفهان. انتشارات                                      |
| شماره کتابشناسی ملی | ۳۷۷۴۶۲۳                                                             |

حق چاپ برای انتشارات دانشگاه صنعتی اصفهان محفوظ است.

اصفهان: دانشگاه صنعتی اصفهان - انتشارات - کدپستی ۸۳۱۱۱-۸۴۱۵۶ تلفن: ۳۳۹۱۲۹۵۲ (۰۳۱) دورنگار: ۳۳۹۱۲۵۵۲ (۰۳۱)  
برای خرید اینترنتی کلیه کتابهای منتشره انتشارات می‌توانید به وبگاه <http://publication.iut.ac.ir> مراجعه و یا  
مستقیماً از کتابفروشی انتشارات واقع در کتابخانه مرکزی دانشگاه صنعتی اصفهان (تلفن ۳۳۹۱۳۹۵۲) خریداری فرمائید.

# فهرست مطالب

|       |                                                                       |
|-------|-----------------------------------------------------------------------|
| هفت   | پیش‌گفتار ویرایش دوم                                                  |
| نه    | پیش‌گفتار ویرایش اول                                                  |
| سیزده | مقدمه مترجم                                                           |
| ۱     | فصل ۱ الکترون در پتانسیل دوره‌ای یک بعدی                              |
| ۲     | ۱-۱ قضیه بلاخ برای تناوب یک بعدی                                      |
| ۶     | ۲-۱ ترازهای انرژی تک چاه کوانتومی و آرایش دوره‌ای از چاه‌های کوانتومی |
| ۱۵    | ۳-۱ ماتریس انتقال، تونل‌زنی تشدید و تونل‌زنی انرژی                    |
| ۱۶    | ۱-۳-۱ عبور و بازتاب الکترون‌ها از پتانسیل دل‌دار                      |
| ۲۵    | ۲-۳-۱ سد دوگانه و تونل‌زنی تشدید                                      |
| ۲۹    | ۳-۳-۱ تونل‌زنی الکترون از میان سد دوره‌ای                             |
| ۳۲    | ۴-۱ تقریب تنگابست                                                     |
| ۳۲    | ۱-۴-۱ بسط اوربیتال‌های موضعی                                          |
| ۳۴    | ۲-۴-۱ ماتریس‌های سه‌قطری و کسرهای دنباله‌دار                          |
| ۴۴    | ۵-۱ امواج تخت و مدل الکترون‌های تقریباً آزاد                          |
| ۴۴    | ۱-۵-۱ بسط بر حسب امواج تخت                                            |
| ۴۷    | ۲-۵-۱ پتانسیل ماتئو و جواب کسری دنباله‌دار                            |
| ۵۰    | ۶-۱ برخی از جنبه‌های دینامیکی الکترون‌ها در نظریه نواری               |
| ۶۳    | پیوست‌ها                                                              |

۶۳ ..... ۱-آ مسائل حل شده و موارد تکمیلی

## فصل ۲ توصیف هندسی بلور: شبکه مستقیم و وارون ۸۷

۸۸ ..... ۲-۱ شبکه‌های ساده و شبکه‌های مرکب

۸۸ ..... ۲-۱-۱ تناوب و شبکه‌های براوه

۹۲ ..... ۲-۱-۲ ساختار بلوری ساده و مرکب

۹۳ ..... ۲-۲ توصیف هندسی چند ساختار بلوری

۱۰۷ ..... ۲-۲ شبکه‌های بسیط ویگنر-سایتر

۱۰۸ ..... ۲-۴ شبکه وارون

۱۰۸ ..... ۲-۴-۱ تعریف و خواص اصلی

۱۱۰ ..... ۲-۴-۲ صفحات چوت‌ها در شبکه براوه

۱۱۴ ..... ۲-۵ نواحی بریلوئر

۱۱۷ ..... ۲-۶ تقارن انتقالی و ویژگی‌های مائیک کوانتومی

۱۱۷ ..... ۲-۶-۱ تقارن انتقالی و توزیع راج بلخ

۱۲۰ ..... ۲-۶-۲ هامیلتونی پارامتری  $k \cdot p$

۱۲۴ ..... ۲-۶-۳ شرایط مرزی دوره‌ای

۱۲۵ ..... ۲-۶-۴ نقاط خاص  $k$  برای جمع روی ناحیه بریلین

۱۲۸ ..... ۲-۷ چگالی حالت‌ها و نقاط بحرانی

## فصل ۳ نظریه الکترون آزاد سامرفلد برای فلزات ۱۳۷

۱۳۸ ..... ۳-۱ نظریه کوانتومی گاز الکترون-آزاد

۱۴۳ ..... ۳-۲ تابع توزیع فرمی-دیراک و پتانسیل شیمیایی

۱۴۹ ..... ۳-۳ گرمای ویژه الکترونی در فلزات و توابع ترمودینامیکی

۱۵۱ ..... ۳-۴ گسیل ترمویونی فلزات

۱۵۴ ..... پیوست‌ها

۱۵۴ ..... ۳-آ خلاصه فیزیک آماری و روابط ترمودینامیکی

۱۵۴ ..... ۳-۱-آ آنسامبل میکروکانونی و کمیت‌های ترمودینامیکی

۱۵۶ ..... ۳-۲-آ آنسامبل کانونی و کمیت‌های ترمودینامیکی

۱۵۹ ..... ۳-۳-آ آنسامبل کانونی بزرگ و کمیت‌های ترمودینامیکی

- ۳-ب آمار فرمی-دیراک و بوز-انیشتین برای ذرات یکسان..... ۱۶۱  
 ۳-۱-ب آمار فرمی-دیراک برای فرمیون‌های غیربرهم‌کنشی..... ۱۶۲  
 ۳-۲-ب آمار بوز-انیشتین برای بوزون‌های غیربرهم‌کنشی..... ۱۶۵  
 ۳-پ آمار فرمی-دیراک اصلاح شده در مدل آثار برهم‌کنشی..... ۱۶۹

۱۷۵

## فصل ۴ تقریب تک-الکترون و فراتر از آن

- ۴-۱ ملاحظات مقدماتی در مورد مسئله بس‌ذره‌ای..... ۱۷۶  
 ۴-۲ معادلات هارتری..... ۱۷۸  
 ۳-۱ ذرات یکسان و توابع موج دترمینانی..... ۱۸۰  
 ۴-۴ عناصر ماتریسی بین حالت‌های دترمینانی..... ۱۸۲  
 ۴-۵ معادلات هارتری-فوک..... ۱۸۷  
 ۴-۵-۱ روش‌های و معادلات هارتری-فوک..... ۱۸۷  
 ۴-۵-۲ انرژی حالت پایه، انرژی‌های یونش و انرژی‌های گذار..... ۱۹۰  
 ۴-۵-۳ معادلات هارتری-فوک، و انرژی‌های گذار در دستگاه‌های پوسته-پسته..... ۱۹۴  
 ۴-۵-۴ تقریب‌های هارتری-فوک اسلیر و هارتری-فوک-روتان..... ۱۹۸  
 ۴-۶ مروری بر روش‌های فراتر از تقریب‌های تک-الکترونی..... ۲۰۰  
 ۴-۷ خواص الکترونی و سیمای فاز گاز الکترونی همگن..... ۲۰۲  
 ۴-۸ نظریه تابعی چگالی و معادلات کوش-شم..... ۲۱۳  
 پیوست‌ها..... ۲۲۲  
 ۴-آ انتگرال‌های دو الکترونی روی اسپین-اوربیتال..... ۲۲۲  
 ۴-ب خلاصه‌ای از سازوکار کوانتشن دوم برای فرمیون‌های یکسان..... ۲۲۵  
 ۴-پ یک انتگرال روی سطح فرمی..... ۲۲۹

۲۳۳

## فصل ۵ نظریه نواری برای بلورها

- ۵-۱ فرضیات اولیه نظریه نواری..... ۲۳۴  
 ۵-۲ روش تنگابست (روش LCAO)..... ۲۳۷  
 ۵-۲-۱ معرفی روش برای شبکه‌های ساده..... ۲۳۷  
 ۵-۲-۲ تعریف روش تنگابست برای شبکه‌های مرکب..... ۲۴۱  
 ۵-۲-۳ کاربردهای توصیفی الگوی تنگابست..... ۲۴۴

|       |                                                                 |     |
|-------|-----------------------------------------------------------------|-----|
| ۳-۵   | روش موج تخت بهنجار شده (OPW).....                               | ۲۴۶ |
| ۴-۵   | روش شبه پتانسیل.....                                            | ۲۵۹ |
| ۵-۵   | روش یاخته‌ای.....                                               | ۲۶۸ |
| ۶-۵   | روش موج تخت بهساخته (APW).....                                  | ۲۷۲ |
| ۷-۵   | روش تابع گرین (روش KKR).....                                    | ۲۷۸ |
| ۱-۷-۵ | معادله انتگرالی پراکندگی برای یک پتانسیل عام.....               | ۲۷۹ |
| ۲-۷-۵ | معادله انتگرالی پراکندگی برای یک پتانسیل مافین-تین دوره‌ای..... | ۲۸۱ |
| ۸-۵   | روش‌های تکرارشونده در محاسبات ساختار الکترونی.....              | ۲۸۶ |
| ۱-۸-۵ | رس‌انکروس یا بازگشتی.....                                       | ۲۸۶ |
| ۲-۸-۵ | روش شبکه‌س اصلاح شده برای حالت‌های برانگیخته.....               | ۲۹۲ |
| ۳-۸-۵ | روش زیمنجارش برای دستگاه‌های الکترونی.....                      | ۲۹۳ |
|       | پیوست‌ها.....                                                   | ۳۰۱ |
| ۵-آ   | درایه‌های ماتریسی روش موج تخت بهساخته.....                      | ۳۰۱ |
| ۵-ب   | مسائل حل شده و ضمائم.....                                       | ۳۰۵ |
| ۵-پ   | محاسبه ضرایب ساختار روش KK <sub>1</sub> با فرایند اوالد.....    | ۳۱۰ |

## فصل ۶ رفتار الکترونی بلورهای برگزیده ۳۱۹

|       |                                                      |     |
|-------|------------------------------------------------------|-----|
| ۱-۶   | ساختار نواری و انرژی چسبندگی جامدات گاز نادر.....    | ۳۲۰ |
| ۱-۱-۶ | ویژگی‌های عمومی ساختار نواری جامدات گاز نادر.....    | ۳۲۰ |
| ۲-۱-۶ | انرژی چسبندگی جامدات گاز نادر.....                   | ۳۲۴ |
| ۲-۶   | خواص الکترونی بلورهای یونی.....                      | ۳۲۹ |
| ۱-۲-۶ | ملاحظات اولیه و ثابت مادلونگ.....                    | ۳۲۹ |
| ۲-۲-۶ | ملاحظات دربارۀ نوارها و پیوندها در بلورهای یونی..... | ۳۳۹ |
| ۳-۶   | بلورهای کوالانسی با ساختار الماسی.....               | ۳۴۵ |
| ۴-۶   | ساختار نواری و سطوح فرمی برخی فلزات.....             | ۳۴۹ |
| ۵-۶   | مواد پایه-کربنی و ساختار الکترونی گرافین.....        | ۳۵۷ |
|       | پیوست‌ها.....                                        | ۳۶۴ |
| ۶-آ   | پیوست آ. مسائل حل شده و ضمائم.....                   | ۳۶۴ |

- ۳۷۸..... ۱-۷ حالت‌های اکسیتونی در بلور
- ۳۸۹..... ۲-۷ برانگیختگی‌های پلاسمونی در بلور
- ۳۹۲..... ۳-۷ استتار دی الکتریکی ایستا در فلزات با مدل توماس-فرمی
- ۳۹۶..... ۴-۷ تابع دی الکتریکی طولی در نظریه پاسخ خطی
- ۳۹۹..... ۵-۷ استتار دی الکتریکی ایستا در فلزات با مدل لیندهارد
- ۳۹۹..... ۱-۵-۷ استتار دی الکتریک ایستا در فلزات ساده با مدل لیندهارد
- ۴۰۴..... ۲-۵-۷ استتار دی الکتریک دینامیکی در فلزات و مدهای پلاسمونی
- ۴۱۰..... ۳-۷ عبارت کوانتومی تابع دی الکتریک طولی در بلورها
- ۴۱۳..... ۴-۷ پلاسمون‌های سطحی و پلاریتون‌های سطحی
- ۴۱۹..... پدها
- ۴۱۹..... ۷-آ قاعدت مع فریکل و قضیه فیومی
- ۴۲۱..... ۷-ب عبارت کوانتومی تابع دی الکتریک طولی در مواد با نظریه پاسخ خطی
- ۴۲۸..... ۷-پ تابع دی الکتریک لیندهارد برای گاز الکترونی آزاد
- ۴۳۳..... ۷-ت عبارت کوانتومی تابع دی الکتریک عرضی در مواد با نظریه پاسخ خطی

## پیش‌گفتار ویرایش دوم

در این سال‌های اخیر به طور پیرامونی شاهد پیشرفت در زمینه‌های سنتی فیزیک حالت جامد، و نیز ظهور زمینه‌های جدید پژوهشی اکندۀ از نتایج و انتظارات، بوده‌ایم. یکی از اصلی‌ترین انگیزه‌های ویرایش دوم کتاب «فیزیک حالت جامد»، ظهور تعداد بی‌شماری از مسائل جدید در متون، در ابتدای قرن حاضر، به واسطۀ علاوه بر گنجانیدن مطالب جدید، روال آرایه محتویات کتاب تا حد زیادی منطقی‌تر شدن و زنجیرۀ کنونی کتاب در قالبی کاملاً تازه آرایه شده است. همچنین در ویراست دوم تعداد قابل‌توجهی پیوست اضافه شده است، که یا رویکرد عمیق و بهتری از موضوعات خاص مطرح شده دارند و یا برای خوانندگانی که مایلند به حد مطلوبی از توانایی‌های تکنیکی دست پیدا کنند، مسائل مهم متعددی با حل آرایه می‌کنند.

قسمت‌های زیادی از فصول «فیزیک حالت جامد» خودشمول هستند، که می‌توانند با انعطاف زیادی انتخاب شده و در دو نیمسال تدریس شوند، تا در طول یک سال برای رشته فیزیک، یا حتی برای رشته علوم مواد و یا مهندسی برق، مطالب را بپوشانند. برای دانشجویان تحصیلات تکمیلی نیز، که پیش از این درس مشابهی را به طور عمیق نگذرانده‌اند، حجم آرایه شده در کتاب مناسب است. از نقطه نظر آموزشی، افزایش تدریجی سطح دشواری مطالب، یکی از مشخصات قابل توجه کتاب حاضر است، به گونه‌ای که از مدل‌های اولیه شروع، و تا نزدیک‌ترین حد ممکن به مرزهای علوم پیش می‌رود. هدف از این موضوع فراهم کردن یک ذخیره علمی جامع در حد مناسبی از یک کتاب مرجع است، که برای همه



پژوهشگرانی که فعالیتشان در حوزه جذاب فیزیک حالت جامد جهت‌دار بوده یا در آینده جهت‌دار خواهد بود، لازم است.

علاقه‌مندیم که از همه همکاران برای پیشنهادات ارزشمند، و از کلیه دانشجویان برای پرسش‌های چالش‌برانگیزشان، تشکر کنیم. ایشان سهم قابل توجهی در پیشبرد این کتاب مرجع و الهام بخشیدن به آن داشته‌اند. از دونا د ویرد-ویلسون، آنیتا کوچ، شارمیلا وادیولان، و جسیکا ووگان، برای آن که در تهیه این کتاب به طور حرفه‌ای کمک نمودند، صمیمانه تشکر می‌کنیم.

پاویا و پیزا، می ۲۰۱۳

جوزپه گروسو و جوزپه پاستوری پاراویچینی

www.ketab.ir