

بلورشناسی

دکتر محمدباقر فتحی

عضو هیئت علمی دانشگاه خوارزمی

www.ketab.ir



نشر کتاب دانشگاهی

سرشناسه	فتحی، محمدباقر، ۱۳۵۵-
عنوان و نام پدیدآور	بلورشناسی / محمدباقر فتحی
مشخصات نشر	تهران: نشر کتاب دانشگاهی، ۱۳۹۴
مشخصات ظاهری	۳۴۴ ص.: مصور (رنگی)، جدول
شابک	۷-۸۰-۵۱۰۷-۵۱۰۶۰۰-۹۷۸
وضعیت فهرست‌نویسی	فیبأ
یادداشت	واژه‌نامه
یادداشت	نمایه
موضوع	بلورشناسی
موضوع	بلورشناسی با اشعه ایکس
رده‌بندی کنگره	۱۳۹۴ ب۲/۲/۵/۵ QD۹۰۵
رده‌بندی دیویی	۵۴۸
شماره کتاب‌شناسی ملی	۳۹۵۸۵۷۳



نشر کتاب دانشگاهی

بلورشناسی

دکتر محمدباقر فتحی

ویرایش و نمونه‌خوانی

فرزانه فرزانیان

گرافیک

فاران اتحاد

چاپ اول ۱۳۹۴

لیتوگرافی رامین

چاپ و صحافی قدیانی

تعداد صفحات ۳۴۴، وزیری

۱۱۰۰ نسخه

شابک ۷-۸۰-۵۱۰۷-۵۱۰۶۰۰-۹۷۸

۵۵۵۳

مرکز پخش: شماره ۸۷ خیابان بزرگمهر، بین وصال و قدس، تلفکس ۶۶۴۶۷۲۲۶

Website: www.ketabedanehshgahi.com E-mail: info@ketabedanehshgahi.com

کتاب فردا: www.fardabook.com، تلفن: ۶۶۴۰۶۱۶۰

حقوق چاپ و نشر دائم این اثر محفوظ و مخصوص نشر کتاب دانشگاهی است.

۱۷۰۰۰ تومان

فهرست مطالب

پیشگفتار

ط

۱ مقدمه

۱

۱-۱ بلورشناسی چیست؟ ۲

۲-۱ بلور چیست؟ ۴

۳-۱ شکست تقارن و پارامتر نظم ۴

۴-۱ دسته‌بندی مواد جامد ۱۱

۵-۱ تعریف بلور از نگاه ساختار داخلی ۱۳

اول ملاحظات هندسی

۱۷

۲ المان‌های تقارن و تقارن مولکول‌ها

۱۹

۱-۲ نظریه گروه ۲۰

۲-۲ تقارن ۲۲

۳-۲ دوران ۲۴

۴-۲ بازتاب ۲۸

۵-۲ وارونگی ۳۱

۶-۲ تقارن‌های معادل و ترکیبی ۳۳

۷-۲ گروه‌های نقطه‌ای ۳۶

۸-۲ تصویر استریوگرافیک ۴۳

۹-۲ برخی خواص مولکول‌ها ناشی از تقارن ۴۶

۱۰-۲ عملیات تقارنی در بلورشناسی ۴۷

مسئله‌ها ۴۸

۵۵	۳ کریستال
۵۶	۱-۳ بردارها
۵۷	۲-۳ ساختار شبکه‌ای
۶۳	۳-۳ ساختار کریستالی با پایه چنداتمی
۶۵	۴-۳ سیستم‌های بلوری
۶۸	۵-۳ انواع سیستم‌های بلوری در دو بعد
۷۴	۶-۳ انواع سیستم‌های بلوری در سه بعد
۸۰	۷-۳ شبکه براوه در سه بعد
۸۳	مسئله‌ها
۸۹	۴ مورفولوژی بلور و گروه‌های نقطه‌ای
۹۱	۱-۴ مورفولوژی
۹۲	۲-۴ تصویر کروی یک بلور
۹۳	۳-۴ تصویر استریوگرافیک گروه‌های نقطه‌ای بلورشناسی
۹۶	۴-۴ نمای بلوری، مناطق، جلوه
۹۸	۵-۴ گروه نقطه‌ای بلورشناسی
۱۰۸	مسئله‌ها
۱۱۱	۵ گروه‌های فضایی و دسته‌بندی بلورها
۱۱۴	۱-۵ تکرار
۱۱۹	۲-۵ عمل‌های تقارنی لازم برای تکرار
۱۲۱	۳-۵ نمایش گروه‌های فضایی
۱۲۲	۴-۵ چند نکته درباره استفاده از جداول بین‌المللی
۱۲۷	۵-۵ نمادگذاری وایکوف
۱۳۰	۶-۵ درهم‌فرورفتگی
۱۳۲	۷-۵ انواع بی‌نظمی
۱۳۵	مسئله‌ها
۱۳۹	۶ محاسبات کریستالی
۱۴۰	۱-۶ مختصات
۱۴۴	۲-۶ معادله صفحه در دستگاه مختصات غیریکانی

۳-۶	چگالی و حجم ماده	۱۵۴
۴-۶	فضای (شبکه) معکوس	۱۵۵
۵-۶	شبکه قطبی	۱۶۰
	مسئله‌ها	۱۶۳

دوم بلورشناسی با اشعه X ۱۶۹

۷	فیزیک اشعه X و پراکندگی آن از بار الکتریکی	۱۷۱
۱-۷	تابش کوانتومی ذره باردار	۱۷۶
۲-۷	منابع اشعه X	۱۸۵
۳-۷	مشخصه‌های موج الکترومغناطیس	۱۹۶
۴-۷	اینتیک اشعه X	۲۰۶
۵-۷	برهمکنش اشعه X با ماده	۲۱۲
۶-۷	توصیف کلاسیک برهمکنش اشعه X با ماده	۲۱۴
۷-۷	توصیف کوانتومی پراکندگی اشعه X	۲۱۹
۸-۷	پراکندگی ناهمسانگرد اشعه X	۲۲۳
۹-۷	پراکندگی اشعه X از ذرات	۲۲۳
	مسئله‌ها	۲۲۴

۸	پراکندگی اشعه X از ماده	۲۲۷
۱-۸	پراکندگی اشعه X از مواد با ساختارهای گوناگون	۲۲۸
۲-۸	آنالیز فوریه	۲۳۰
۳-۸	سری فوریه بر حسب توابع مختلط	۲۳۵
۴-۸	پراکندگی اشعه X از دو پراکننده یکسان	۲۳۷
۵-۸	مثال‌هایی از پراکندگی اشعه X از ذرات	۲۴۵
۶-۸	شدت کل	۲۴۷
	مسئله‌ها	۲۴۸

۹	شناسایی ساختار بلور با X	۲۵۱
۱-۹	مقدمه	۲۵۲
۲-۹	نقش پراش و تعیین تجربی ساختارهای بلوری	۲۵۲

۲۵۳	پراکندگی اشعه X از یاخته واحد و پراش از بلور	۳-۹
۲۵۴	توصیف براگ از پراش اشعه X (قانون براگ)	۴-۹
۲۵۵	کاربردهای قانون براگ	۵-۹
۲۵۸	شرط پراش در شبکه معکوس و کره اوالد	۶-۹
۲۶۲	پراش اشعه X از بلور	۷-۹
۲۶۷	فاکتورهای مؤثر در شدت	۸-۹
۲۶۹	تابع پترسون	۹-۹
۲۶۹	مسئله‌ها	

۲۷۳	روش‌های تجربی	۱۰
۲۷۴	چیدمان آزمایشگاهی ابزار XRD	۱-۱۰
۲۷۹	روش لاور	۲-۱۰
۲۸۰	روش پودری	۳-۱۰
۲۸۲	تعیین تجربی ساختارهای کریستالی - محاسبه از داده‌ها	۴-۱۰
۲۸۴	تعیین ابعاد دقیق یاخته واحد	۵-۱۰
۲۸۵	نمونه‌های تجربی	۶-۱۰
۲۸۷	مسئله‌ها	

۲۹۳	شناسایی نانوساختارها با X	۱۱
۲۹۴	مقدمه	۱-۱۱
۲۹۵	شناسایی نانوساختارها با XRD	۲-۱۱
۳۰۳	تابع پترسون	۳-۱۱
۳۰۶	طیف‌سنجی با جذب	۴-۱۱
۳۰۶	روش XAFS	۵-۱۱
۳۱۴	طیف‌سنجی فوتونی PES	۶-۱۱
۳۱۸	مسئله‌ها	

۳۲۳	واژه‌نامه
-----	-----------

۳۲۷	نمایه
-----	-------

بسم الله الرحمن الرحيم

پیشگفتار

بلور در همه جا یافت می شود، در میان سنگ های معدنی، مواد آلی، در مایع ها، حتی در گازها. در میان مواد زیستی، تعداد زیادی از انواع بلور وجود دارد و شاید بتوان گفت در صد فراوانی بلور در میان آن ها بیشتر از سایر مواد است. در بدن انسان نیز بلورهای بی شماری وجود دارد و بخش مهمی از کارکردهای زیستی بدن و ظهور برخی بیماری ها و فرایند پیری به تغییر این بلورها بستگی دارد. شناخت دقیق تر ساختار درونی بلور برای جلوگیری از پیری و رشد بیماری ها، ساخت ابزارهای پزشکی و از طرف دیگر، توسعه فناوری و ایجاد صنایع جدید، اهمیتی دور از تردید دارد.

هنگامی که ذرات به یکدیگر نزدیک می شوند تا ماده را تشکیل دهند، معمولاً به صورت معین و ویژه ای کنار یکدیگر قرار می گیرند و نیروهای میان آن ها مانع از آن می شود که به هر شکل دلخواه ترکیب شود. آرایشی که اتم ها و مولکول ها و ذرات در کنار هم برای تشکیل ماده به خود می گیرند، در اغلب مواقع منظم است و از الگوی نظم مشخصی تبعیت می کند. به همین دلیل، تقریباً همه مواد در حالت پایه، شکل بلوری دارند و حتی مواد پیرامون شما اغلب از بلور تشکیل شده است. با این حال، آنچه علم بلورشناسی را به وجود آورده است، این بلورها و حالت منظم چیدمان ذرات در ماده نبوده است، بلکه بلورهایی بوده است که در میان مواد معدنی و سنگ ها و کانی ها با چشم غیر مسلح دیده می شد. در میان این بلورها، الماس و سنگ های قیمتی، به دلیل شکل متقارن و زیبایی مسحورکننده و رنگ های متنوع در حضور نور، از دیگر بلورها، معروف تر بودند و در میان تاجران و سنگ ترانشان محبوبیت چشم گیری داشتند. مطالعات علمی درباره کریستال، از مطالعات ابوریحان بیرونی روی تقارن آغاز شد و کارهای علمی او سرآغاز فصل مدرن شناسایی خواص ماده شد. سؤال مهمی که بسیاری از دانشمندان به خصوص اوبی (Hauy) درباره فرم بیرونی و متقارن بلورها می پرسیدند، آن بود که شکل زیبا و متقارن بیرونی بلور چه ارتباطی با ساختار داخلی آن دارد. پس از کشف اشعه X در ابتدای قرن گذشته، انسان توانست ساختار میکروسکوپی ماده و نظم بلندبُرد را در بلور شناسایی و آنالیز کند و به ارتباط میان تقارن بلور و چیدمان منظم ذرات در آن پی ببرد. قبل از آن نیز، برخی دانشمندان

ارتباط ساختار درونی ماده را با فرم بیرونی بلور کشف کرده بودند و حدس‌هایی از الگوی نظم در آرایش ذرات زده بودند. با کشف توانایی اشعه X در شناسایی نظم کوتاه‌برد، ساختار درونی مواد غیربلوری نیز توجه دانشمندان را به خود جلب کرد و با استفاده از آن توانستند ساختار درونی هر ماده‌ای را شناسایی کنند.

بلورشناسی با اشعه X به دو بخش بزرگ تقسیم می‌شود: ۱. ملاحظات هندسی، شامل شناخت انواع کریستال‌های موجود و ساختارهای درون کریستال و ساختمان‌های ممکن کریستالی؛ ۲. بلورشناسی با ابزارهای شناسایی و آنالیز از قبیل یون، الکترون، اشعه X، پروتون، بخش اول، قدیمی‌تر است و تا کشف اشعه X توسعه یافته بود، اما، به بخش دوم، «بلورشناسی مدرن» می‌گویند و از آن برای آنالیز و شناسایی حالت‌های گوناگون ماده، حتی مایعات و مواد آمورف و مولکول‌ها استفاده می‌کنند.

شاید برخی تصور کنند به دلیل کشف اشعه X و شروع استفاده از آن نزدیک به صد سال پیش، بلورشناسی علم کهنه‌ای است که دیگر به‌روز نمی‌شود. اما، اهمیت بلورشناسی به اندازه‌ای است که سال ۲۰۱۴ را «سال جهانی بلورشناسی» نامیدند. اکنون دیگر، بلورشناسی با اشعه X جزء جدایی‌ناپذیر هر رشته‌ای مانند علوم پایه و فناوری‌های Nano و Bio و Cognitive science و حتی IT است. گردشی در سایت‌های مشخصه‌یابی و آنالیز و مؤسسه‌های تخصصی شناسایی مواد، نشان می‌دهد در دنیای کنونی بلورشناسی با اشعه X زیربنای تمام فناوری‌ها شده است.

امروزه، مطالب بسیار گسترده‌ای منتشر می‌شود و آموزش و انتقال این مفاهیم در کشور ضروری است. این کار از عهده یک یا دو نفر بر نمی‌آید، بلکه لازم است یک بنیاد علمی وظیفه این جمع‌آوری و آموزش را برعهده گیرد. در دنیا مؤسسات گوناگونی شکل گرفته‌اند که بلورشناسی و شناسایی و آنالیز انواع ساختارهای پیچیده را آموزش می‌دهند. اگر اندکی در شبکه‌های رایج اطلاعات جستجو کنید، تعداد زیادی از آن‌ها را در کشورهای مختلف می‌یابید. یکی از این‌ها «مؤسسه آموزش شیمی» است با آدرس <http://ice.chem.wisc.edu> که پیشنهاد می‌کنم حتماً در آن مفصل گردش کنید. یکی دیگر از این مؤسسات، «اتحادیه بین‌المللی بلورشناسی» با آدرس <http://www.iucr.org> و دیگری، مؤسسه «Kurchatov» در روسیه است.

به همین دلیل، به‌زعم من، درس بلورشناسی باید یک درس الزامی قبل از ارائه درس حالت جامد باشد، ولی در نظام آموزشی ما نادیده گرفته شده است. معمولاً، دانشجویان سال‌های آخر این درس را می‌گذرانند که نقص جدی در آموزش کارشناسی فیزیک در ایران محسوب می‌شود. حتی، این درس برای دوره کارشناسی تمام گرایش‌های فیزیک و شیمی و متالورژی لازم است و دانشجویان ریاضی نیز از ریاضیات نظریه گروه و توپولوژی و گروه‌های تقارنی آن و گروه‌های هموتوپ و همولوژی بی‌نیاز نیستند. من در فصل ۱ (مقدمه)، توضیح نسبتاً مفصلی از شکست تقارن آورده‌ام که احتمالاً برای دانشجویان رشته‌های ذرات بنیادی خواندنی است. با تمام اهمیتی که این درس دارد، هنوز منبع مناسبی برای دانشجوی فارسی‌زبان نوشته نشده و دانشجویان از کتاب‌های انگلیسی نیز بهره مناسب نمی‌برند. این کاستی‌ها سبب شد، من در طی دوران تدریس‌ام در دانشگاه خوارزمی، جزوه‌ای برای دانشجویان تهیه کنم و به تدریج تدریس کنم. حاصل این تجربه، کتابی است که پیش روی شما قرار دارد و آن را به تمام علاقه‌مندان به خواص شگفت‌انگیز ماده و رفتارهای جالب آن و متخصصان ماده‌چگال و دانشوران در فیزیک مواد تقدیم می‌کنم.

این کتاب به دو منظور اساسی نگاشته شده است: اول، آموزش بلورشناسی با اشعه X به دانشجویان علاقه‌مند به علم و تکنولوژی‌های پیشرفته؛ دوم، بهره‌گیری متخصصان این حوزه‌ها برای آنالیز و شناسایی. در کارکرد دوم، علاوه بر کسب دانایی کسب مهارت ضمنی را در آنالیز ماده با اشعه X مدنظر داشته‌ام. مثلاً، در تدریس بلورشناسی معمولاً گروه‌های فضایی تدریس نمی‌شود یا فقط به اشاره‌ای به آن اکتفا می‌کنند، در حالی که، اگر کسی بخواهد طرح پراش X را از یک ماده آنالیز کند، حتماً به آن نیاز خواهد داشت. بنابراین، فصل ۵ را با همین عنوان، گروه‌های فضایی، با مثال‌های حل‌شده‌ای از جدول‌های بین‌المللی و چندین تمرین، تهیه کردم.

از طرفی، این کتاب به عنوان دریچه‌ای به دنیای مواد نوشته شده است، به همین دلیل گهگاه به موضوعاتی پرداخته‌ام که شاید در یک کتاب بلورشناسی نیاید. مثلاً، در فصلی تحت نام فیزیک اشعه X (فصل ۷) به تفصیل، نظریه‌های کلاسیک و کوانتومی نور و برهمکنش آن را با ماده توضیح داده‌ام تا خواننده (ی مشتاق) درک عمیق‌تری از برهمکنش اشعه X با ماده و فیزیک آن بیابد (این فصل، مفصل‌تر از این بود ولی کوتاه‌تر شد). شاید برخی معلمان بلورشناسی بگویند این فصل اضافه است و احتمالاً درست می‌گویند؛ ایشان می‌توانند آن را حذف کنند (هرچند می‌توانند تمام کتاب را حذف کنند). ولی دلیل من چیست؟ من آنچه حدس می‌زدم دانشجوی ایرانی و یک محقق برای درک کامل فیزیک اشعه X و برهمکنش آن با ماده نیاز دارد، در یک منظر وسیع‌تر برای شناسایی ماده چگال آورده‌ام و این کتاب را بخشی از یک پازل بزرگ به نام «علم ماده چگال» دانسته‌ام که خواننده را مجهز می‌کند تا پس از مطالعه این، قدم در دنیای پرماجرایی آن بگذارد.

سخنی با استادان و معلمان

آموزش بلورشناسی نوع خاصی از آموزش و نیازمند دقت و حوصله است. دانشجویان در اولین مواجهه با درس بلورشناسی، در هر مرحله‌ای، با دشواری‌هایی در ورود به مسئله روبه‌رو می‌شود. هریک از این دشواری‌ها ریشه در مفهومی بزرگ و عمیق در بلورشناسی دارد که معمولاً در تاریخ این علم، با یک کشف یا حدس فیزیکی یک دانشمند، روشن شده است. مثلاً، ابتدای ورود به مبحث بلورشناسی، شما با دهان‌های باز و چشم‌های خیره و چهره‌های حیرت‌زده دانشجویان روبه‌رو می‌شوید و این بهت و حیرانی به دلیل این سؤال بزرگ تاریخ علم است: «بلور چرا با آرایش منظم اتمی تعریف می‌شود؟» این سؤال را در فصل اول تحت عنوان «مقدمه» پاسخ گفته‌ام.

به عنوان مثالی دیگر، هنگام ورود به مبحث شبکه معکوس، دانشجو می‌پرسد شبکه معکوس چیست و این سؤال را تا بعد از اتمام این مبحث تکرار می‌کند. من برای توضیح این شبکه، آرام آرام و با شیب ملایمی، دانشجو را از دامنه نفس‌بر شبکه معکوس بالا برده‌ام. برای این کار، ابتدا از محاسبات کریستالی آغاز کرده‌ام و پس از توضیح اندیس‌های میلر و بازتاب، تعبیر این اندیس‌ها را به صورت شبکه معکوس نشان داده‌ام. بعد از این، باز قانع نشده‌ام که دانشجو فهمیده باشد، پس، شبکه قطبی را به عنوان جد بزرگ و نیای اعلای شبکه معکوس معرفی کرده‌ام. این معرفی، دلیل دیگری نیز دارد: شبکه قطبی را در مطالعه مورفولوژی سطوح و بررسی ناهمواری سطح، که یک مشاهده مستقیم است، به کار می‌برند و به همین دلیل، شهود روشنی از شبکه معکوس به دست می‌دهد.

در تدریس بلورشناسی باید تأکید کرد که بلورها دو دسته ویژگی دارند: ۱. ویژگی‌های اساسی؛ ۲. ویژگی‌های فرعی. ویژگی‌های اساسی آن‌هایی است که بلور بدون آن‌ها جنبه بلوری بودن خود را از دست می‌دهد، مانند قانون ثابت بودن زوایا و جهت‌های بلوری. ویژگی‌های فرعی آن‌هایی است که اساساً به سرشت و طبیعت بلور ربطی ندارد، بلکه معمولاً ناشی از شرایط رشد و تأثیرات محیط است، مانند اندازه صفحات بلور در جهت‌های مختلف.

در استفاده از این کتاب برای آموزش بلورشناسی، استاد بنا به سلیقه خود می‌تواند از مباحث گسترده این کتاب، فصل‌های مناسب را انتخاب کند. اما، اگر تجربه نویسنده را بخواهد، در چندین نیم‌سال که تدریس کرده است، فصل‌های ۱، ۲، ۳، ۴ (فصل ۴ خودخوان، با توضیح کوتاهی در یک جلسه)، ۵، ۶ را قبل از امتحان میان‌ترم و ۷ (نظریه کلاسیک و بخش کوچکی از نظریه کوآتمی)، ۸، ۹، ۱۰، ۱۱ را (بخشی از این فصل راجع به تابع دبای و فرمول دبای-شرر و فرمول هال-ویلیامسون) در نیم‌ترم دوم، بوده است. فصل ۱۱ مقدمه‌ای بر شناسایی و آنالیز ساختارهای نانومقیاس است که بخشی از سرفصل‌های وزارت علوم برای درس «آنالیز و شناسایی نانوساختارها» در کارشناسی ارشد نانوفیزیک است. معمولاً، در درس بلورشناسی فقط می‌شود بخش کوچکی از این فصل را درس داد.

ساختار کتاب

فصل‌های این کتاب، نه براساس توالی تاریخی تنظیم شده است و نه براساس توسعه کاربردها و نه براساس پیشرفت صنعتی و تکمیل ابزارهای تکنولوژی. آنچه چشم‌انداز من برای ترسیم سرفصل‌ها بوده است، کشف‌های دانشمندان برای درک بهتر طبیعت و دسته‌بندی جسارت‌آمیز آن‌هاست؛ بنابراین، هر فصل از این کتاب، شرح یک کشف و توصیف یک حدس فیزیکی است و از یک سؤال مفهومی شروع می‌شود و تا پاسخ تشریحی آن ادامه دارد. قاعده ارث‌بری فصل‌ها را: ۱- چستی ماده، ۲- دسته‌بندی مواد، ۳- روش شناسایی ماده، انتخاب کرده‌ام.

در این کتاب، بلورشناسی هندسی و روش‌های شناسایی ساختار درونی بلورها را با استفاده از اشعه X مطالعه می‌کنیم و گهگاهی به خواص فیزیکی و شیمیایی نیز اشاره‌ای خواهیم کرد. هدف ما مطالعه کریستال‌ها و روش‌های شناسایی آرایش اتمی در آن‌هاست و سعی می‌کنیم درک صحیحی از چیدمان اتم‌ها و مولکول‌ها و هندسه میکروسکوپی ماده جامد به دست آوریم. مطالب این کتاب در دو بخش چیده شده است که بخش اول به ملاحظات هندسی و توپولوژی اختصاص دارد و در بخش دوم، برهمکنش اشعه X با ماده و پراکندگی آن را از مراکز پراکندگی برای درک و تحلیل نقش پراش اشعه X مطالعه می‌کنیم. بخش دوم را با توضیحی درباره نحوه شناسایی نانوساختارها و ساختارهای دوبعدی و یک‌بعدی با استفاده از اشعه X به پایان می‌بریم. جزئیات هر یک از این دو بخش به صورت زیر است.

بخش اول: فصل دوم به المان‌های تقارنی و تقارن در مولکول‌ها اختصاص دارد. شکل ظاهری بلور را می‌شود در دسته‌های معینی به نام ماکروفرم جایگذاری کرد و تعداد این دسته‌ها بی‌نهایت نیست. این ماکروفرم‌ها به دلیل نوع برهمکنش‌های اتم‌ها و واحدهای سازنده بلور به وجود می‌آید و نوع اربیتال‌های اتمی در ایجاد این ساختار فضایی تأثیرگذار است. در واقع، شکل ظاهری بلورها و آرایش منظم و زیبای ذرات در آن‌ها میراثی از تقارن‌های مولکولی و واحدهای سازنده بلور است. به همین دلیل، این کتاب را با توصیف کامل و دقیق المان‌های تقارن و تقارن مولکول‌ها شروع می‌کنیم.

کریستال‌ها و دسته‌بندی آن‌ها موضوع فصل سوم است. چینن واحدهای سازنده از قبیل اتم‌ها و مولکول‌ها که خود دارای تقارن‌اند، در کنار یکدیگر به هر نحو دلخواهی ممکن نیست. طبیعت به طرز شگفت‌آوری انتخاب‌های مولکول‌ها را برای قرارگرفتن در کنار یکدیگر محدود می‌کند و معمولاً تقارن‌های کریستال و یاخته واحد از تقارن‌های مولکول‌ها و اتم‌ها کاهش یافته‌تر است. نوع انتخاب این تقارن‌ها، سبب تولید دسته‌های معینی از بلور می‌شود که به ۷ «سیستم کریستالی» یا «رده بلوری» مشهور است. این رده‌های بلوری، بنیادی‌ترین شکل‌های بلوری طبیعت است و هر کدام از بلورهای متنوع در طبیعت به یکی از اعضای این خانواده تعلق دارد.

این دسته‌بندی‌ها در ماده جامد ماکروسکوپی به تولید مفهوم گروه‌های نقطه‌ای و فضایی می‌انجامد که در فصل ۴ و ۵ مطالعه خواهد شد. در انتهای فصل ۵، توضیح مختصری درباره نقص‌ها و ناکاملی‌های بلورهای واقعی می‌دهم. فصل ۶ اولین گام برای محاسبات روی زوایا و طول‌ها و مبنای محاسبات کمی در اندازه‌گیری‌های مشخصه‌یابی است. این محاسبات، از قبیل اندیس‌های میلر، تانسور متریک و محاسبه حجم برای چگالی سنجی، ما را برای مطالعه پراش اشعه X مجهز می‌کند. شبکه معکوس که درجه ورود به دنیای اشعه X است در این فصل معرفی می‌شود.

بخش دوم: فصل ۷، شروع بحث مشخصه‌یابی با اشعه X است. در این بخش، توضیحی درباره امواج الکترومغناطیس و برهمکنش آن با ماده می‌آید. الکتروپوینامیک کوانتمی برای درک این برهمکنش و تفکیک سهم‌های پراکندگی کامپتون و پراکندگی الاستیک از ذرات باردار به خصوص الکترون اهمیت اساسی دارد. ما این فصل را به عنوان مقدمه‌ای بر برهمکنش اشعه X آورده‌ایم تا مطالب بعدی برای خواننده آشناتر بنماید. پراکندگی اشعه X از مراکز پراکندگی از قبیل اتم یا فاکتور فرم اتمی توصیف می‌شود. فاکتور پراکندگی از چند پراکننده، به شناسایی ساختارهای محدود با استفاده از آنالیز دبابی می‌انجامد. این روش‌ها به خصوص آنالیز تابع دبابی را در فصل ۸ بر می‌رسیم.

در فصل ۹، پراش اشعه X از بلور و تحلیل نقش پراش را مطالعه می‌کنیم. فرمول براگ اولین فرمولی است که برای محاسبات بلوری به کار می‌رود و فاکتور ساختار که تعمیم فاکتور فرم اتمی است قواعد حذف صفحات با اندیس‌های خاص را بیان می‌کند که در این فصل معرفی می‌شود. نحوه آنالیز نقش پراش و همچنین تابع پترسون و تحلیل آن را در اینجا خواهیم آموخت.

فصل ۱۰، مثال‌های تفصیلی از نمونه‌های اندازه‌گیری شده در آزمایشگاه و مسائلی واقعی ارائه می‌کند. این فصل علاوه بر مسئله، پروژه‌های مناسبی برای دانشجویان و فراگیران علاقه‌مند دربردارد که تعدادی از آن‌ها، تمرینی برای یادگیری همراه عمل و استفاده از جداول بین‌المللی است.

در فصل آخر (۱۱)، به معرفی استفاده از روش اشعه X برای شناسایی ساختارهای نانومقیاس مواد می‌پردازیم. این فصل مقدمه‌ای بر شناسایی ساختارهای جدید و ابتدای ورود به دنیای نانو تکنولوژی و لایه‌های نازک است.

آنچه در این کتاب نیست

تاریخچه علم بلورشناسی و شناخت مواد بسیار طولانی است و به شناخت رفتارهای کهربا و استحکام سنگ یا حتی قبل از آن باز می‌گردد. به صورت علمی، این کار با مشاهدات ابوریحان از تقارن‌های موجود در طبیعت شروع شد. جای

نوشته‌ای درباره تاریخچه این علم خالی است، به خصوص آنچه دانشمندان غربی بازنویسته‌اند، به دلیل ناآشنایی ایشان با دستاوردهای دانشمندان ایرانی و شرقی، ملاحظه‌ای کامل دربر ندارد. در دوران جدیدتر علم فیزیک، بلورشناسی با کانی‌شناسی توسط معدن‌شناسان و دسته‌بندی هابیت‌ها و ماکروفرم‌ها ادامه یافت و اصول موضوع آن مانند قانون ثابت‌بودن زوایا و دریافت اوبی از کوچک‌ترین جزء سازنده بلور، سنگ بنای بلورشناسی هندسی شد. بلورشناسی مدرن، که ارتباط فرم خارجی را با ساختار درونی میکروسکوپی توضیح می‌دهد، پس از کشف اشعه X با پیشنهاد سامرفلد درباره برهمکنش نور با ماده آغاز شد. لاوله اولین نفری بود که توانست پروپوزال سامرفلد را حل کند و نقش پراش را براساس این نوع برهمکنش توصیف کند و کار او سرآغازی شد برای بلورشناسی مدرن. تاریخچه بلورشناسی خود یک علم است و بدون شناخت آن، به درک کاملی از ماده، نمی‌توان دست یافت. تاریخچه این علم در کتاب حاضر وجود ندارد و فقط گاهی به نمونه‌هایی از آن اشاره می‌کنیم.

این کتاب تنها مقدمه‌ای بر روش‌های شناسایی بلور و برخی ماکرومولکول‌هاست. درباره روش‌های دیگر، غیر از اشعه X، تنها به اشاره‌ای اکتفا می‌کنیم. در کتاب بلورشناسی در صورتی که بخشی از شناسایی ماده باشد، لازم است درباره ساختارهای ناقص و کاستی‌های توپولوژیک و فازهای ماده و نمودارهای فاز به صورت کامل صحبت شود. این کتاب عاری از این گونه مطالب است (اگرچه توضیح کوتاهی در انتهای فصل ۵ آورده‌ام). همچنین، اگر منظور ما از شناسایی، شناخت خواص فیزیکی و شیمیایی نیز باشد، لازم است این مطالب با دقت بیان و آموزش داده شود. این موضوعات نیز در نوشته حاضر نیامده است.

بخش مهمی از فیزیک ماده چگال به توصیف فرایندهای فیزیکی می‌پردازد. مثلاً، ضرایب دی‌الکتریک، پذیرفتاری و رسانندگی ماده با تانسورهای از مراتب مختلف بیان می‌شود. ما در بخش کوچکی این تانسورها را توضیح می‌دهیم (در فصل فیزیک اشعه X) و هدف ما نیز آموزش این موضوع نیست، بلکه تنها برای آشنایی خواننده ناآشنا با این گونه مسائل است که در برخورد با آن‌ها دچار سردگمی نشود. این مباحث پیشرفته را نیز لازم است معلمان ماده چگال به تفصیل به دانشجویان آموزش دهند و ارتباط آن‌ها را با تقارن‌های ماده توضیح دهند.

برای تقسیم‌بندی مواد بلورین، باید بدانیم چه نیروهایی مواد را در کنار یکدیگر نگه می‌دارد. این نیروها، پیوندهای شیمیایی مختلفی تولید می‌کند که عبارت است از: یونی، کووالان، فلزی، هیدروژنی. درک پیوندهای شیمیایی و ارتباط آن‌ها با تشکیل بلور اگرچه بسیار مهم است، در یکی دو صفحه نمی‌گنجد. به همین دلیل، در این کتاب نیروها و پیوندهای شیمیایی را توضیح نمی‌دهیم و خواننده را به کتاب‌های حالت جامد یا شیمی فیزیک ارجاع می‌دهیم.

واژه‌شناسی

در استفاده از واژگان فارسی، تعصبی نداشته‌ام. بلور و کریستال را بی‌محایا به صورت معادل به کار برده‌ام. دوران و چرخش یک معنا دارد، ولی بیشتر از دوران استفاده کرده‌ام. انعکاس و بازتاب را معادل گرفته‌ام و برای واژه لاتین Reflection به کار می‌برم، اما کلمه Inversion را وارونگی (وارونی) ترجمه کرده‌ام. در این کتاب سعی نکردم معادل فارسی برای کلمات انگلیسی بیاوریم یا عربی‌ستیزی کنم، زیرا عقیده من آن بوده است که (حداقل) در آموزش باید

به زبان آدمیزاد^۱ سخن گفت. از هر کلمه‌ای که مردم عادی بیشتر می‌فهمند، بیشتر استفاده کرده‌ام تا خواننده، علاوه بر درک مفاهیم پیچیده و سخت بلورشناسی، که خود مصیبت بزرگی است، دیگر مصیبت واژه‌های ناآشنا و دیرآشنا را تحمل نکند.

در زبان فارسی در مطابقه نهاد و فعل، برای نهاد جمع غیرجاندار، فعل هم می‌تواند مفرد باشد و هم جمع، اما فعل مفرد برتری دارد. در این نوشته، عمدتاً از فعل مفرد برای نهاد جمع غیرجاندار استفاده کرده‌ام مگر آن، که به نهاد غیرجاندار، شخصیت انسانی یا حرکت و رفتار انسانی داده باشم یا برای تأکید، آن را جمع زده باشم.

تقدیر

جای آن دارد از کسانی که مرا در تهیه این کتاب، یاری کردند تشکر کنم. آقای احمد اویسی در تدریس اولیه این درس به من کمک کرد و ایده نوشتن کتاب بلورشناسی از آنجا پدید آمد. سرکار خانم دکتر نرگس انصاری از دانشگاه الزهراء، این کتاب را داوری کرد؛ نکته‌ها گفت و دقایقی برشمرد که از نگاه من پنهان بود. سرکار خانم فرزانه فرزانیان با دقت نظر و حوصله کلان، آن را ویرایش کرد. آقای فاران اتحاد عکس‌های کتاب را به صورت زیبایی کنونی درآورد و راهنمایی‌های بسیاری برای شمایل فعلی آن ارائه کرد. از همه آنان، سپاسگزاری می‌کنم. در انتها قصد دارم از آقای پایدار، مدیر «نشر کتاب دانشگاهی» تشکر کنم؛ ایشان، به این اثر علمی اعتماد کرد.

بار دیگر تأکید می‌کنم این کتاب تنها مقدمه‌ای بر بلورشناسی و فیزیک اشعه X است. امیدوارم من نیز بتوانم اندکی به تلاش‌های دانشمندان در ترویج این دانش و آموزش آن به جوان‌ترها کمک کنم و این کتاب حداقل برای درس بلورشناسی در دانشگاه، مفید واقع شود.

تهران، ۱۳۹۴

محمدباقر فتحی

fathi@khu.ac.ir; mb.fathi@gmail.com; mb-fathi.ir; mb-fathi.com