بسم الله الرحمن الرحيم

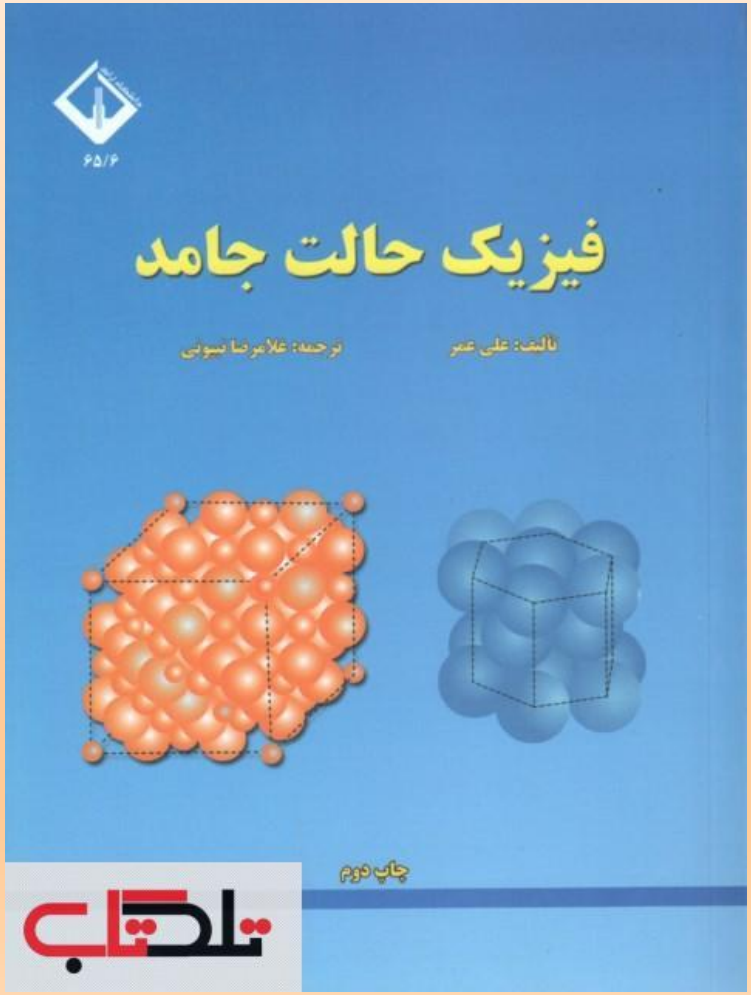
فیزیک حالت جامد

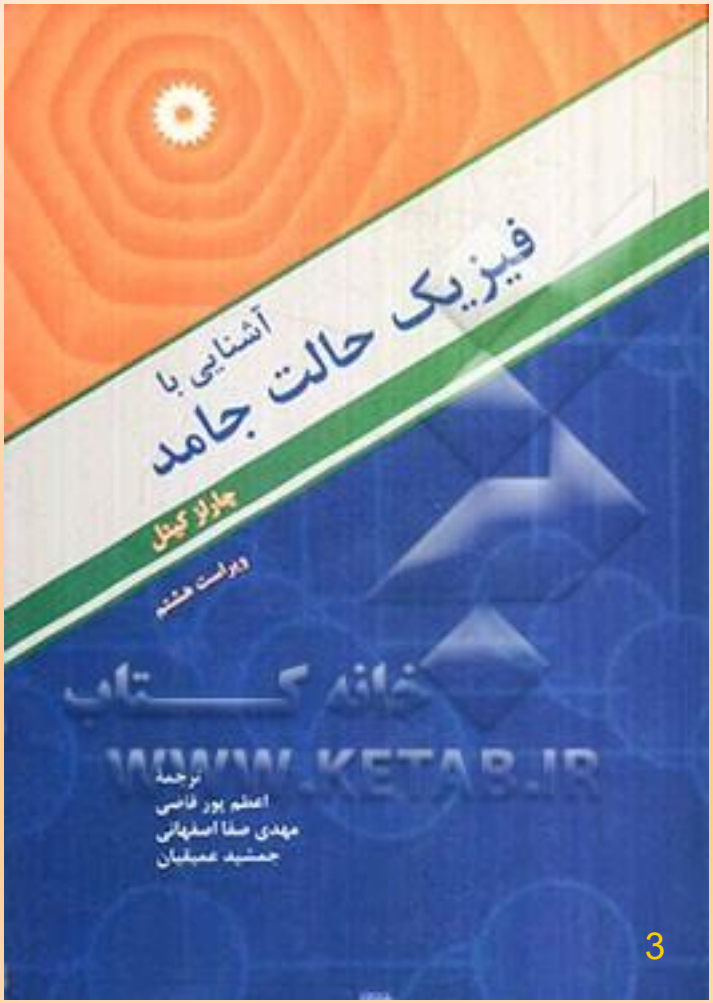
نویسنده: چارلز کیتل

Solid-state physics

By:Charles Kittel

منابع


۶۵/۶
فیزیک حالت جامد
تالیف: علی عمر
ترجمه: غلامرضا سبوئی
چاپ دوم


فیزیک حالت جامد
آشنایی با
چارلز کیتل
ویراست هشتم
خانه کتاب
WWW.KETAB.IR
ترجمه
اعظم پور قاضی
مهدی صفا اصفهانی
جمشید عمیقیان

فیزیک حالت جامد چیست؟

- Solid-state physics is the study of rigid matter, or solids, through methods such as quantum mechanics, crystallography, electromagnetism, and metallurgy.
- It is the largest branch of condensed matter physics.
- Solid-state physics studies how the large-scale properties of solid materials result from their atomic-scale properties.
- Thus, solid-state physics forms a theoretical basis of materials science.
- It also has direct applications, for example in the technology of transistors and semiconductors.

https://en.wikipedia.org/wiki/Solid-state_physics

حوزه بحث فیزیک حالت جامد

- **Solid materials are formed from densely packed atoms, which interact intensely.**
- **These interactions produce the mechanical (e.g. hardness and elasticity), thermal, electrical, magnetic and optical properties of solids.**
- **Depending on the material involved and the conditions in which it was formed, the atoms may be arranged in a regular, geometric pattern (crystalline solids, which include metals and ordinary water ice) or irregularly (an amorphous solid such as common window glass).**

https://en.wikipedia.org/wiki/Solid-state_physics

حوزه بحث فیزیک حالت جامد

- **The bulk of solid-state physics, as a general theory, is focused on crystals.**
- **Primarily, this is because the periodicity of atoms in a crystal — its defining characteristic — facilitates mathematical modeling.**
- **Likewise, crystalline materials often have electrical, magnetic, optical, or mechanical properties that can be exploited for engineering purposes.**

https://en.wikipedia.org/wiki/Solid-state_physics

حوزه بحث فیزیک حالت جامد

- **The forces between the atoms in a crystal can take a variety of forms.**
- **For example, in a crystal of sodium chloride (common salt), the crystal is made up of ionic sodium and chlorine, and held together with ionic bonds.**
- **In others, the atoms share electrons and form covalent bonds. In metals, electrons are shared amongst the whole crystal in metallic bonding.**
- **Finally, the noble gases do not undergo any of these types of bonding. In solid form, the noble gases are held together with van der Waals forces resulting from the polarisation of the electronic charge cloud on each atom.**
- **The differences between the types of solid result from the differences between their bonding.**

https://en.wikipedia.org/wiki/Solid-state_physics

فصل اول

ساختارهای بلوری و نیروهای بین اتمی

۱-۱ مقدمه

۱-۲ حالت بلوری

۱-۳ تعاریف پایه

۱-۴ چهارده شبکه براوه و هفت سیستم بلوری

۱-۵ عناصر تقارن

۱-۶ نام‌گذاری جهت‌ها و صفحات بلوری

۱-۷ مثال‌هایی از ساختارهای ساده بلوری

۱-۸ جامدات بی‌شکل و مایعات

۱-۹ نیروهای بین اتمی

۱-۱۰ انواع پیوندها

۱–۱ مقدمه

اگر با چشم غیر مسلح به یک جسم جامد بنگریم، آن را به صورت یک جسم صلب پیوسته می‌بینیم، در حالی که آزمایش‌های تجربی ثابت کرده است که تمام جامدات از واحدهای پایه‌ی ناپیوسته (اتم‌ها) تشکیل یافته‌اند. این اتم ها به طور کاتوره ای توزیع نشده اند، بلکه با نظم بسیار در کنار یک دیگر قرار گرفته‌اند. چنین گروه منظمی از اتم ها بلور نامیده می‌شوند. بسته به ترتیب قرار گرفتن اتم ها در بلور، ساختارهای متعدد بلوری می‌تواند وجود داشته باشد، و داشتن اطلاعاتی درمورد آن‌ها در فیزیک حالت جامد مهم است؛ زیرا خواص فیزیکی جامدات معمولاً متأثر از ساختار بلوری آن‌ها است. این موضوع در فصل بعد کاملاً تبیین خواهد شد.

در قسمت اول این فصل توضیحاتی راجع به ساختار بلوری خواهیم داد و بعضی از تعاریف پایه‌ی ریاضی را توضیح می دهیم. سپس ساختارهای بلوری ممکن و هم چنین اندیس های میلر را معرفی و مثال هایی در این زمینه ارائه خواهیم کرد.

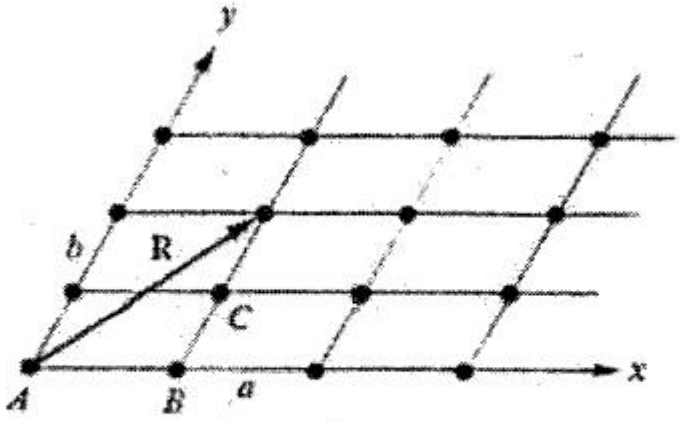
در بعضی از جامدات به نظر می رسد که اتم ها بطور کاتوره ای قرار گرفته اند، یعنی ساختار منظم بلوری وجود ندارد. چنین جامدات غیر بلوری یا بی شکل[1] نیز مختصراً توصیف خواهند شد.

این فصل با بیان نیروهای بین اتمی که پیوندهای بلوری را ایجاد می کنند خاتمه می یابد.

راجع به تعیین تجربی ساختار بلور توسط پرتوهای ایکس در فصل ۲ بحث خواهد شد.

۲–۱ حالت بلوری

یک جسم جامد در صورتی بلور نامیده می شود که اتم های آن در چنان نظمی قرار گرفته باشند که مکان آن ها کاملاً تناوبی باشد. شکل(۱– ۱)این مفهوم را نشان می دهد. فاصله بین هر دو اتم مجاور در امتداد محور x ها برابر a و در امتداد محور y ها برابر b است (محورهای x و y الزاماً متعامد نیستند). یک بلور کامل چنین خاصیت تناوبی را در هر دو امتداد x و y از $-\infty$ تا $+\infty$ حفظ می کند. از تناوبی بودن نتیه می شود که اتم های A,B,C و... معادل هم هستند. به بیان دیگر از دیدگاه ناظری که در هر یک از این مکان های اتمی قرار دارد بلور کاملاً مشابه به نظر می رسد.



شکل ۱–۱ یک بلور جامد. تمام اتم ها بطور تناوبی مرتب شده اند

مفهوم تقارن انتقالی بلور

مفهوم فوق را می توان این گونه نیز بیان کرد: "*بلور تقارن انتقالی دارد*". یعنی اگر بلور تحت هر برداری (مانند بردار R در شکل ۱– ۱) که دو اتم را به هم متصل می کند، انتقال داده شود، بلور دقیقاً آن گونه که قبل از انتقال بود به نظر می رسد. نتایج این تقارن انتقالی یا ناوردایی بسیار است و قسمت بزرگی از این کتاب به این بحث مربوط می شود.

مفهوم بلور کامل

بلور کامل به معنای مطلق کلمه وجود ندارد. حتی سطح یک بلور، باعث ناکاملی یا نقص بلور است، زیرا تناوبی بودن در سطح بلور از بین می رود. محیطی که اتم های مجاور سطح مشاهده می کنند با محیط حاکم بر اتم های لایه های درونی بلور متفاوت است. در نتیجه این دو نوع اتم رفتار متفاوتی بروز خواهند داد. مثال دیگر: ارتعاشات حرارتی اتم ها حول مکان تعادلشان در درجه حرارت های $T > 0^\circ K$ باعث برهم خوردن تناوب و نظم بلور می شود. به عنوان سومین مثال یادآوری می کنیم که یک بلور واقعی همیشه شامل تعدادی از اتم های خارجی یعنی اتم های ناخالصی است. حتی با بهترین تکنیک های رشدبلور، ناخالصی ($10^{12}\,cm^{-3}$) وجود دارد که کامل بودن بلور را نقض می کند.

باوجود این مشکلات عملا می‌توان بلورهایی تهیه کرد که اثرهای ناکاملی روی پدیده های مورد مطالعه بسیار ناچیز باشد. مثلاً می توان یک بلور سدیم به بزرگی ($1cm^{-3}$) تهیه کرد که نسبت اتم های سطحی به کل اتم ها بسیار کوچک و بلور آن قدر خالص باشد که ناخالصی های آن قابل صرف نظر کردن باشد. در دماهای به اندازه کافی پایین، ارتعاش های شبکه آن چنان ضعف اند که تأثیر تمام این ناکاملی ها روی بعضی از خواص بلور مانند خواص نوری ناچیز باشد. در چنین حالتی است که نمونه را به عنوان بلور کامل در نظر می گیریم.

آیا در اثر ناکاملی مفهوم بلور را باید کنار نهاد

ناکاملی ها به خودی خود بسیار مورد توجه هستند. مثلاً ارتعاش های حرارتی اتم ها منشاء اصلی مقاومت الکتریکی در فلزات است. در چنین حالتی مفهوم بلور را نباید کاملاً کنار نهاد بلکه باید ناکاملی ها را به عنوان یک آشفتگی کوچک در ساختار بلور در نظر گرفت.

بسیاری از پدیده‌های جالب در جامدات مربوط به این ناکاملی ها است، به همین دلیل در بخش‌های مختلف این کتاب راجع به آنها به طور نسبتاً مفصل بحث خواهیم کرد .

۳–۱ تعاریف پایه

برای اینکه بتوان به طور دقیق درباره ساختار بلوری صحبت کنیم باید در اینجا تعاریف پایه ای را ارائه دهیم که به عنوان زبان بلورشناسی بکار می روند. این تعاریف برای بلورهای یک، دو و سه بعدی بکار می روند. گرچه اغلب مثال هایی که ارائه می دهیم دو بعدی هستند ولی نتایج آن ها را بعداً برای حالت های سه بعدی به کار خواهیم بست.

شبکه بلور

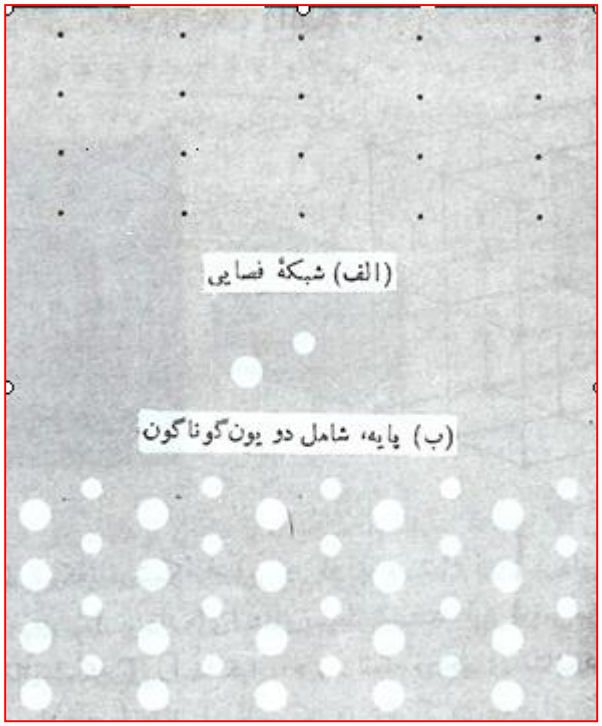
در بلور شناسی خواص هندسی بلور بیش از خواص یک اتم خاص که جزیی از یک بلور است مورد توجه می باشند. بنابراین می توان اتم ها را با نقاط هندسی که در جای گاه اتم ها قرار می گیرند جای گزین کرد. بدین ترتیب نقشی از نقاط بدست می آید که دارای خواص هندسی بلور است ولی خالی از هر گونه محتوای فیزیکی است. این نقش هندسی ، شبکه بلوری یا به طور ساده شبکه نامیده می شود. به جای تمام جای گاه های اتمی نقطه های شبکه قرار گرفته اند.

پایه و ساختار بلوری

- یک ساختار بلوری از تکرار بلوکه های همانند مانند اتمها یا بلورها در سه بعد بوجود می آید.
- شبکه یک آرایه دوره ای از نقاط در فضای سه بعدی است.
- تعداد اتمهای منتسب به هر نقطه شبکه را پایه می نامند.
- ساختار بلوری = پایه + شبکه

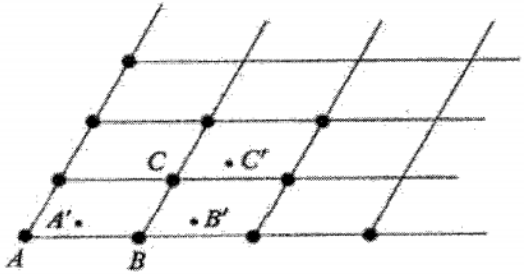
پایه و ساختار بلوری

- ساختار بلوری با افزودن پایه به هر نقطه شبکه به وجود می آید:



دو نوع شبکه(شبکه براوه و شبکه غیر براوه)

دو نوع شبکه وجود دارد: *شبکه ی براوه و شبکه ی غیر براوه*. در یک شبکه ی براوه تمام نقاط شبکه معادل یک دیگرند بنابراین لزوماً تمام اتم های بلور از یک نوعند. ولی در شبکه ی غیر براوه بعضی از نقاط شبکه معادل نقاط دیگر نیستند. شکل(۲-۱)این مطلب را به وضوح نشان می دهد. محل های شبکه ای A , B و C معادل یک دیگرند. همین طور A', B' و C' معادل یک دیگرند، ولی دو جای گاه شبکه ای A و A' معادل یک دیگر نیستد و همان گونه که ملاحظه می شود شبکه تحت انتقال AA' هم وردا نیست، خواه اتم های A و A' هم نوع باشند (مثلاً دو اتم H) یا از دو نوع متفاوت (مثلاً اتم ها H و Cl). گاهی از شبکه ی غیر براوه به عنوان شبکه ای با یک پایه نیز نام برده می شود. منظور از پایه، یک سری از اتم های نزدیک به هم در یک شبکه ی براوه است. بنابراین در شکل (۲-۱)، پایه عبارتست از دو اتم A و A'.



شکل ۲-۱ یک شبکه غیر براوه

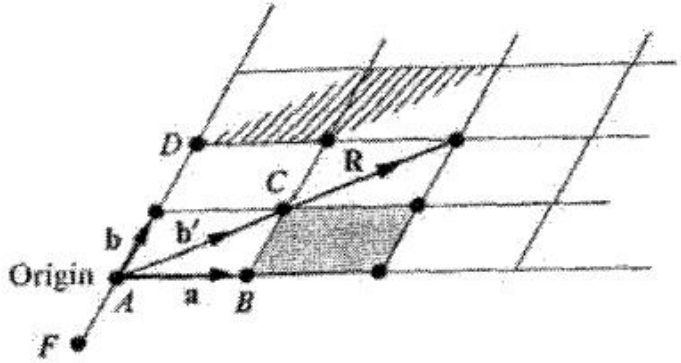
شبکه ی غیر براوده را می توان ترکیبی از دو یا چند شبکه ی براوه دانست که در هم فرو رفته اند و جهتشان نسبت به یک دیگر ثابت است. بنابراین نقاط C,B,A و .... تشکیل یک شبکه براوه و هم چنین نقاط A', B'، C' و... تشکیل شبکه براوه ی دیگری را می‌دهند.

بردارهای پایه

شبکه‌ای که در شکل ۳-۱ نشان داده شده است را در نظر بگیرید. مبداء مختصات را در یک نقطه مشخص مثلاً A انتخاب کند. بردار مکان هر نقطه از شبکه را می توان بصورت زیر نوشت:

$$R_n = n_1 a + n_2 b \qquad (۱-۱)$$

a و b بردارهایی هستند که در شکل نشان داده شده اند و (n_1 و n_2) یک زوج عدد صحیح هستند که مقادیر آن ها بستگی به نقطه ی شبکه دارد. بنابراین برای نقطه ی D, $(n_1 \text{ و } n_2)=(0,2)$، برای نقطه ی B, $(n_1 \text{ و } n_2)=(1,0)$ و برای نقطه ی F, $(n_1 \text{ و } n_2)=(0,-1)$ است .



شکل ۳-۱ بردارهای a و b بردارهای پایه شبکه هستند. بردارهای a و b′ تشکیل سری دیگری از بردارهای پایه را می دهند. نواحی سایه دار و هاشورزده به ترتیب یاخته ها واحد متناظر با اولین و دومین سری بردارهای پایه را نشان می دهند.

بردارهای شبکه

بردارهای a و b (که نباید در یک امتداد باشند)، یک سری از بردارهای پایه ی شبکه را تشکل می دهند. بدین ترتیب موقعیت مکانی تمام نقاط شبکه را می توان با استفاده از رابطه ی (۱-۱)به راحتی بیان کرد. مجموعه ی تمام بردارهایی که با این رابطه تعریف می شوند، بردارهای شبکه نامیده می شوند. هم چنین می توان گفت که شبکه تحت تمام گروه انتقال هایی که با رابطه ی (۱-۱) بیان می شوند، ناوردا است. این مطلب اغلب تحت این عنوان بیان می شود که شبکه تحت تمام جابه جایی های معینی که توسط بردار شبکه R_n انتقال می یابند، تقارن انتقالی دارد.

بردارهای پایه یگانه نیستند. چرا که می توان بردارهای a و $b' = (a + b)$ را نیز به عنوان یک بردار پایه در نظر گرفت(شکل ۳-۱). احتمال های دیگری نیز وجود دارد. معمولاً بردارهای پایه‌ای انتخاب می شوند که راحت تر باشند. برای تمام شبکه هایی که در این کتاب مطالعه می‌شوند همواره چنین ملاکی مورد نظر بوده است.

یاخته واحد

سطح متوازی الاضلاعی که اضلاعش بردارهای a و b باشند *یاخته واحد شبکه* نامیده می شوند(شکل ۳-۱).اگر چنین یاخته ای توسط تمام بردارهای شبکه انتقال یابد، مساحت کل شبکه را یک بار و فقط یک بار می پوشاند. این یاخته واحد معمولاً کوچک ترین سطحی است که می‌تواند چنین پوششی را تولید کند. بنابراین شبکه را می توان به عنوان ترکیبی از تعداد بسیاری از یاخته های واحد معادل در نظر گرفت که پهلو به پهلو در کنار یک دیگر مانند نقش موزاییک چیده شده اند.

به همان دلیلی که برای بردارهای پایه ذکر شد، برای یک شبکه نیز انتخاب یاخته واحد منحصر به فرد نیست. بنابراین متوازی الاضلاعی که توسط بردارهای a و b' ساخته می شود (شکل ۱-۳) نیز به عنوان یک یاخته واحد قابل قبول است. بار دیگر متذکر می شویم که ملاک انتخاب یاخته واحد، فقط سهولت آن است.