



كلية العلوم

القسم : الفيزياء

السنة : الثالثة

المادة : حالة صلبة ١

المحاضرة : الثانية/نظري/

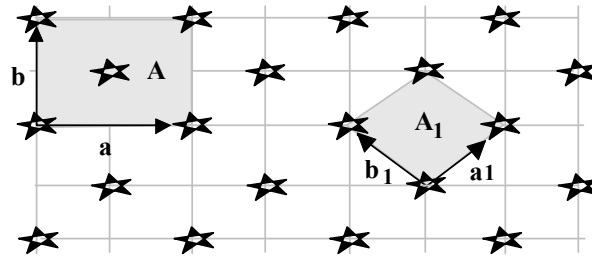
{{ مكتبة A to Z }}

مكتبة A to Z : Facebook Group

كلية العلوم ، كلية الصيدلة ، الهندسة التقنية

يمكنكم طلب المحاضرات برسالة نصية (SMS) أو عبر (What's app-Telegram) على الرقم 0931497960

خلية أخرى ذات متجهات الأساس $\vec{a}_1$ و $\vec{b}_1$ ، مثلاً، نحصل على خلية وحدة أخرى تحتوى على أربع نقاط عند الرؤوس ولها المساحة A_1 . بتكرار هذه المساحة يمكن تغطية كل الشبكة البرافية. أيضاً، لاحظ أن هذه الخلية لا تحتوى على نقاط شبكية بداخلها، أي أنها تحتوى فقط على أربعة نقاط عند الأركان تشارك الخلايا المجاورة ويكون نصيب هذه الخلية هو نقطة واحدة فقط. تسمى هذه الخلية (A_1) بخلية أولية، بينما تسمى الخلية A بخلية غير أولية. وبناء على ما سبق، يمكن تعريف خلية الوحدة الأولية بأنها أصغر خلية وحدة يمكن بتكرارها تغطية الشبكة البرافية وتحتوى على عقدة واحدة (نقطة واحدة).



الشكل 2-12 الخلية A_1 هي خلية أولية، بينما A هي خلية غير أولية، بالرغم أن كل منهما تمثل خلية الوحدة.

تذكر أنه بالإمكان دائماً اختيار خلية أولية (تحقق التماثل الانتقالي وتنتمي لها عقدة ذرة أو مجموعة ذرات) واحدة ولها أصغر حجم يمكن اختياره. يحدث أحياناً أن يكون تماثل الخلية الأولية لا يماثل تماثل الشبكة الأم وفي هذه الحالة ربما نكون مجبرين على اختيار خلية وحدة أخرى (تحتوى على عقد بداخلها وليس عند الأركان) بحيث تحقق هذه الخلية تماثل متماثل مع الشبكة الأم. تكون الخلية في هذه الحالة غير أولية، وعلى كل حال عند اختيار خلية وحدة تعبر عن الشبكة يجب اخذ الملاحظات الآتية في الاعتبار:

- 1- تكون مساحة الخلية غير الأولية مضاعف صحيح لمساحة الخلية الأولية.
- 2- لا يجب رسم خطوط توصيل بين الخلايا غير الأولية والخلايا غير البرافية. يشير التعبير الأول إلى اختيار معين لمتجهات الأساس (ويكون أحيانا اختيارا عشوائياً)، بينما يشير التعبير الثاني (غير برافية) إلى الحقيقة الفيزيائية للمواقع غير المتكافئة لنقاط الشبكة.
- 3- يكون حجم الخلية الأولية في الأبعاد الثلاثة والمحددة بمتجهات الأساس $\vec{a}_1$ و $\vec{b}_1$ و

$\vec{c}_1$ هو

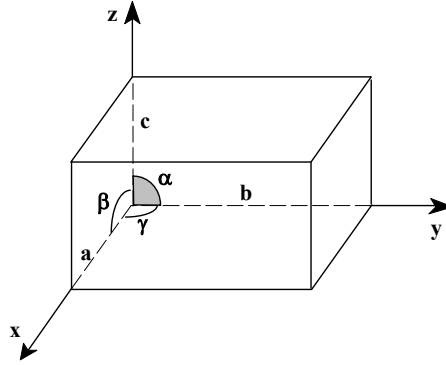
$$V = |\vec{a}_1 \times \vec{b}_1 \cdot \vec{c}_1| = |\vec{b}_1 \times \vec{c}_1 \cdot \vec{a}_1| = |\vec{c}_1 \times \vec{a}_1 \cdot \vec{b}_1| \quad 2-2$$

2-3-6 متغيرات الشبكة لوحدة الخلية LATTICE PARAMETERS OF A UNIT CELL

لكي تتحدد البلورة في الفراغ بشكل صحيح، لابد وأن تكون ثلاثة أوجه منها مسندة إلى مجموعة من المحاور الإحداثية تتقاطع عند أحد أركان البلورة أو عند مركزها، ويمكن اختيار اتجاهات وأطوال المحاور بحيث تتفق مع اتجاهات وأطوال أحرف الخلية a و b و c . تسمى a و b و c بالمحاور البلورية كما تسمى الزوايا بين هذه المحاور، α و β و γ ، بالزوايا بين الأوجه، كما هو موضح بالشكل 2-13.

تكون الزاوية α محصورة بين المحورين b و c وتكون الزاوية β محصورة بين المحورين a و c والزاوية γ محصورة بين المحورين a و b . تسمى المحاور a و b و c و الزوايا α و β و γ بمعاملات الشبكة لوحدة الخلية والتي يمكن بواسطتها معرفة شكل

الخلية الهندسي وحساب حجمها، كما سوف نبين لاحقاً.



الشكل 2-13 متغيرات الشبكة لوحدة الخلية.

4-2 الأنظمة البلورية السبعة THE SEVEN CRYSTAL SYSTEMS

يتميز الشكل الخارجي لبلورات المواد بأسطحها المستوية والملساء والتي تسمى أوجه البلورة. ويختلف مظهر بلورات المواد المختلفة باختلاف أشكال الأوجه أو باختلاف الزوايا بين هذه الأوجه وبالتالي باختلاف تماثلها. ويعكس المظهر الخارجي للبلورة طبيعة التركيب الداخلي أو وحدات البناء الداخلية التي تكون هذه البلورة. والآن سوف ندرس، بشئ من التفصيل، التركيب البنائي للأنواع المختلفة للشبكات الفراغية لبلورات المواد الصلبة.

تمكن العالم برافيه (Bravais) عام 1848 من إدخال مفهوم الشبكة إلى علم البلورات وذلك لتسهيل دراسة التركيب البلوري للمواد الصلبة. وقد تمكن برافيه من تصميم أربع عشرة شبكة فقط تصف التراكيب البلورية لجميع المواد الصلبة مصنفة في مجموعات رئيسية أو أنظمة. يأتي هذا العدد الصغير (14 شبكة) بسبب أن عدد حالات التماثل الانتقالي في الشبكة يكون محدوداً، فمثلاً يستحيل بناء شبكة ذات خلية وحدة لها

شكل خماسي منتظم. تأتي الاستحالة من أنه بالرغم من إمكانية رسم الشكل الخماسي المنتظم بسهولة إلا أنه لا يمكن تغطية مساحة معينة تماما بتكرار هذا الشكل الخماسي المنتظم. وبالتالي نجد أن متطلبات التماثل الانتقالي في بعدين اثنين (على سبيل المثال) تحدد عدد الشبكات الممكن بنائها إلى خمسة فقط هم: متوازي الأضلاع المائل، المربع القائم، السداسي، المستطيل البسيط والمستطيل المتمركز. في الأبعاد الثلاثة، يبلغ عدد الشبكات البرافية أربع عشرة شبكة فقط، بينما يبلغ عدد الشبكات غير البرافية 230 شبكة. في الأبعاد الثلاثة تكون كل شبكة برافية خلية وحدة عبارة عن متوازي مستطيلات له جوانب تكون عبارة عن متجهات الأساس $\vec{a}$ و $\vec{b}$ و $\vec{c}$ وله الزوايا α و β و γ ، كما هو موصوف في الجدول 1-2.

تصنف الأربع عشرة شبكة البرافية إلى سبع أنظمة (مجموعات أو فصائل) هي : المكعبى، الرباعي القائم، المستطيل القائم، ثلاثي التماثل، أحادى الميل، ثلاثي الميل والسداسي. توجد أنواع مختلفة من الشبكات منها البسيط وغير البسيط.

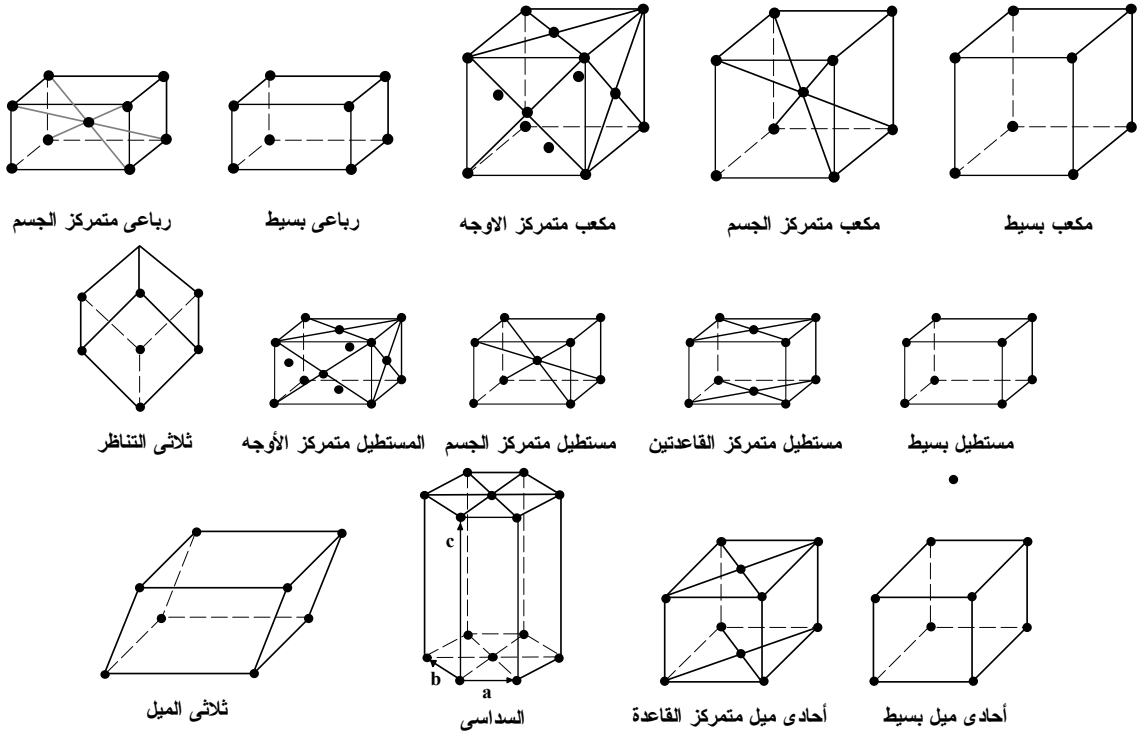
في الشبكة البسيطة (simple) تكون النقاط عند رؤوس الشكل فقط، وبذلك تمثل الخلية البسيطة خلية وحدة أولية. بينما في الشبكة المتمركزة الجسم (م. الجسم body centered) توجد نقطة إضافية عند مركز الجسم بينما في الشبكة المتمركزة الأوجه (م. الأوجه face centered) توجد نقطة في مركز كل وجه وفي الشبكة المتمركز القاعدتين توجد نقطة في مركز كل قاعدة، هذا بالإضافة إلى النقاط الموجودة عند الرؤوس في كل

الأنواع السابقة . تذكر انه في الشبكات غير البسيطة تكون خلية الوحدة غير أولية. يبين الجدول 1-2 والشكل 2-14 الوصف التفصيلي والخصائص الهندسية لكل نظام من الأنظمة السبعة.

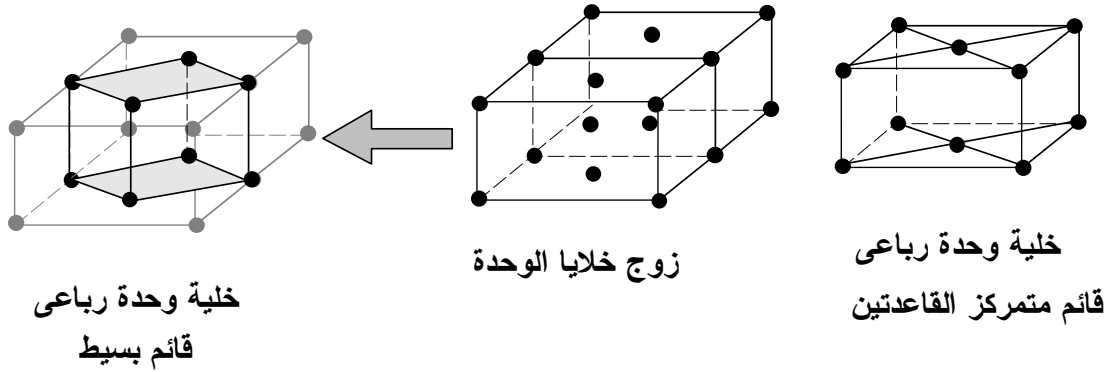
الجدول 1-2 الخصائص التركيبية لوحدة الخلية للأربعة عشر شبكة برافية.

الخصائص عناصر التماثل	الرمز	النوع	عدد الأنواع	الخصائص	الفصيلة
أربعة محاور دوران ثلاثية الرتبة	P I F	مكعبى البسيط، SC مكعبى م. الجسم، BCC مكعبى م. الأوجه، FCC	ثلاثة	$a = b = c$ $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$	فصيلة المكعبى Cubic
محور دوران ثلاثي الرتبة	P I	رباعي بسيط رباعي م. الجسم	نوعان	$a = b \neq c$ $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$	فصيلة الرباعي القائم Tetragonal
ثلاثة محاور دوران ثنائية الرتبة	P I F B	مستطيل قائم بسيط مستطيل قائم م. الجسم مستطيل قائم م. الأوجه مستطيل قائم م. القاعدتين	أربعة أنواع	$a \neq b \neq c$ $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$	فصيلة المستطيل القائم Orthorhombic
محور دوران ثلاثي الرتبة	-	خلية أولية	نوع واحد	$a = b = c$ $\alpha = \beta = \gamma \neq 90^\circ$	فصيلة الثلاثي Trigonal
محور دوران ثنائي الرتبة	-	أحادي الميل البسيط أحادي الميل م. القاعدتين	نوعان	$a \neq b \neq c$ $\alpha = \beta = 90^\circ \neq \gamma$	فصيلة أحادي الميل Monoclinic
لا يوجد	-	ثلاثي الميل البسيط	نوع واحد	$a \neq b \neq c$ $\alpha \neq \beta \neq \gamma \neq 90^\circ$	فصيلة ثلاثي الميل Triclinic
محور دوران ثلاثي الرتبة	-	السداسي البسيط	نوع واحد	$a = b \neq c$ $\alpha = \beta = 90^\circ$ & $\gamma = 120^\circ$	فصيلة السداسي Hexagonal

كما سوف نرى فيما بعد، يمكن تحويل بعض الإشكال إلى أشكال أخرى، فعلى سبيل المثال، يمكن تحويل الرباعي القائم المتمركز القاعدتين إلى رباعي قائم بسيط عند اعتبار خلية وحدة جديدة، كما هو مبين بالشكل 2-15، ويمكن معالجة بعض الحالات الأخرى بالمثل.



الشكل 2-14 أشكال برافيس الأربعة عشرة.



الشكل 2-15 تحويل الرباعي القائم المتمركز القاعدتين إلى رباعي قائم بسيط وذلك باختيار خلية وحدة جديدة.

5-2 خلية فيجنر-زايترس الأولية WIGNER SEITZ PRIMITIVE CELL

سبب دراستنا للخلايا غير الأولية من دون الخلايا الأولية هو تفضيلنا للتعامل مع

الخلايا التي لها تماثل يشابه تماثل الشبكة قيد الدراسة. فمثلا في حالة المكعب المتمركز

الأوجه يتم التعامل مع خلية غير أولية وهى عبارة عن مكعب يحتوى على عقد في مراكز

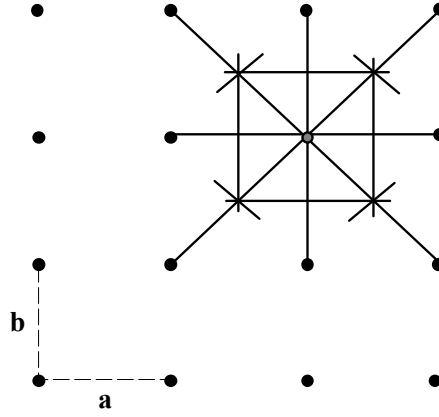
الأوجه وذلك بسبب تشابه التماثل مع شبكة المكعبى. على الجانب الآخر، تكون الخلية الأولية للشبكة المتمركزة الأوجه عبارة عن متوازي سطوح مائل لا يملك تماثل شبكية المكعبى. والسؤال الذي يطرح نفسه هو، أليس من الممكن اختيار خلية أولية بحيث يكون لها تماثل يشابه تماثل الشبكة التي هي جزء منه؟ الجواب: نعم يوجد مثل هذا الاختيار، والخلية الأولية التي نحقق ذلك تسمى خلية فيجنر-زاييتس.

أقترح العالم فيجنر-زاييتس طريقة بسيطة يمكن بواسطتها اختيار وحدة الخلية ويتم ذلك باتباع الخطوات الآتية :

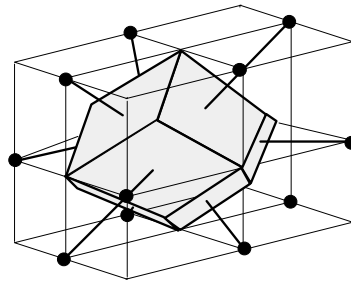
- 1- نرسم الشبكة النقطية التي تمثل الشبكة البرافية.
- 2- نعتبر نقطة معينة في الشبكة، ثم نرسم خطوطا تصل هذه النقطة بكل نقاط الشبكة المحيطة والأقرب إلى هذه النقطة، كما هو موضح بالشكل 2-16.
- 3- عند منتصف الخطوط المرسومة نرسم خطوط أو مستويات متعامدة.
- 4- تكون أصغر مساحة (في حالة البعدين) أو أصغر حجم (في حالة الأبعاد الثلاثة) ينتج بهذه الطريقة هو وحدة خلية فيجنر-زاييتس وهي خلية تحتوى على نقطة شبكية (عقدة) واحدة بداخلها. وقد وجد أن شكل خلية فيجنر-زاييتس هو دائما سداسي الشكل ماعدا في حالة الشبكة المستطيلة والمربعة تكون الخلية فيهما مربعة، كما يبين الشكل 2-16.

تبدو خلية فيجنر-زاييتس للشبكة المكعبة المتمركزة الجسم، BCC، على هيئة جسم

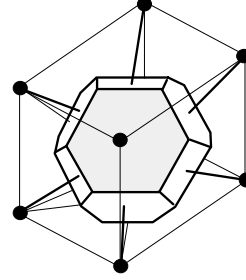
ثمانى الأوجه مشذب (مقطوع)، أي له ثمانى وجوه عبارة عن أشكال سداسية منتظمة وستة وجوه مربعة الشكل كما هو مبين بالشكل 17-2 (أ) ويكون كل وجه سداسي عمودياً على المستقيم الواصل من الرأس إلى الخلية المتمركزة.



الشكل 16-2 خلية فيجنر-زائتس في بعدين متعامدين و $a = b$.



ب- خلية فيجنر-زائتس للمكعب متمركز الأوجه FCC



أ- خلية فيجنر-زائتس للمكعب متمركز الجسم BCC

الشكل 17-2 خلية فيجنر-زائتس للمكعب المتمركز الجسم والمكعب المتمركز الأوجه.

أما خلية فيجنر-زائتس للبلورة المتمركز الأوجه، FCC، فتكون على هيئة معيني اثني عشري (Rhombic dodecahedron)، أي له اثني عشر سطحاً على شكل معين، كما هو موضح بالشكل 17-2 (ب). في هذا الشكل لم تظهر الخلية الأولية للشبيكة، فالمكعب المرسوم المحيط بخلية فيجنر-زائتس ليس خلية أولية. تكون كل الأوجه الاثنى عشر متطابقة ويكون كل وجه عمودياً على المستقيم الواصل بين الذرة الموجودة وسط خلية

فيجنر-زاييتس والذرات الاثنى عشر الموجودة وسط أضلاع المكعب المرسوم.

6-2 عناصر التماثل في البلورات SYMMETRY ELEMENTS OF CRYSTALS

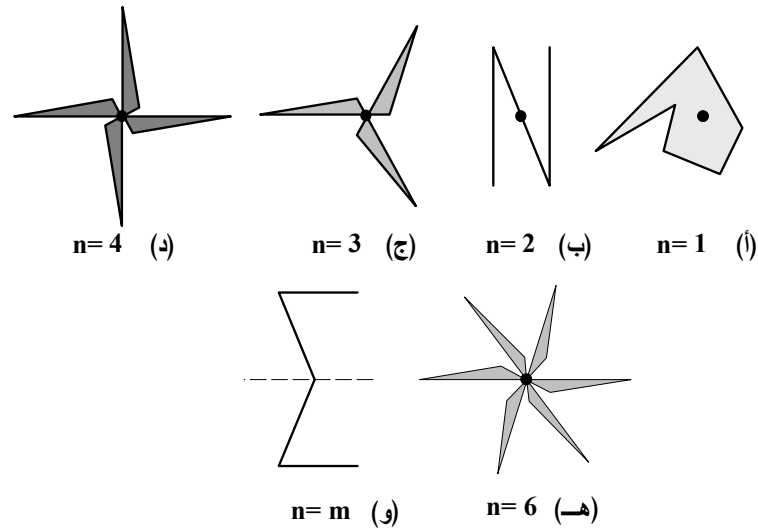
يأتى اختلاف بلورات المواد الصلبة من تباين شكل الشبكات البلورية لها. وينتج هذا التباين من اختلاف أبعاد وزوايا وحدات التركيب البلوري. ولكي يمكن تصنيف الشبكات البلورية يجب أخذ مبدأ التماثل في الاعتبار. والتماثل هو تحول الشيء بطريقة أو بأخرى لكي ينطبق على نفسه مرة أخرى. ويعتبر التماثل أهم الخصائص الهندسية التي تميز خلايا الوحدة للجسم الصلب المتبلور، حيث تتميز كل خلية بنوع واحد أو أكثر من أنواع التماثل الهندسي.

تنشأ عناصر التماثل الهندسي في الأجسام المتبلورة بسبب تكرار الوحدات البنائية بشكل منتظم وبالتالي يمكن وصف انتظام التوزيع البنائي للبلورة بدلالة عناصر تماثل توجد منها عناصر خارجية وأخرى داخلية. عناصر التماثل الخارجية ثلاث هي: مركز التماثل، محور التماثل، ومستوى التماثل بينما تكون عناصر التماثل الأخرى داخلية مثل الدوران والانقلاب والانعكاس والمستوى المنزلق. سوف نناقش كل من هذه العناصر بشئ من التفصيل فيما يلي.

6-2-1 محور التماثل AXIS OF SYMMETRY

يعرف محور التماثل بأنه محور تخيلي يمر بمركز البلورة أو الخلية، بحيث إذا دارت حوله الخلية بزواوية 360° فإنها تكرر نفسها (أي تحتل نفس الوضع في الفراغ)، من

حيث الشكل عددا من المرات. تتحدد رتبة التماثل للمحور بعدد المرات (n) التي تكرر فيها البلورة وضعها خلال دورة كاملة. فعلى سبيل المثال، إذا أدركنا أي جسم غير متمثل حول أي محور فإن الجسم سوف يعود إلى وضعه الأصلي (وضع مماثل) بعد 360° ، أي بعد دورة واحدة ويسمى محور التماثل، في هذه الحالة، محور تماثل من الرتبة الأولى ($n=1$). ويقال أن محور التماثل من الرتبة الثانية إذا تكرر وضع الجسم أو البلورة مرتين عند الدوران حوله دورة كاملة وهكذا، كما هو مبين بالشكل 2-18. تعرف رتبة التماثل بأنها عدد المرات التي يكرر الجسم أو البلورة نفسها عند دورانها حول المحور دورة كاملة، أي أن $n = \frac{2\pi}{\theta}$ ، حيث θ هي الزاوية التي يكرر الجسم نفسه عندها.

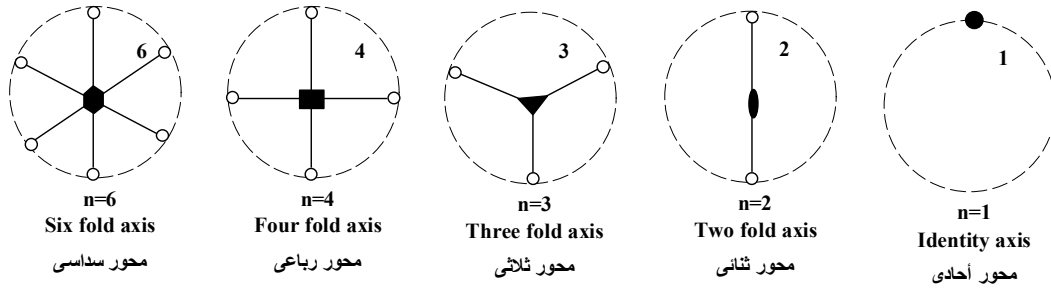


الشكل 2-18 تماثل الجسم حول محور.

وقد وجد أن رتبة التماثل، n، تأخذ فقط قيم عددية صحيحة (1، 2، 3، 4 و 6

فقط). لاحظ غياب الرقم 5. يبين الشكل 2-19 أنواع ورموز محاور التماثل ذات الرتب

المختلفة.



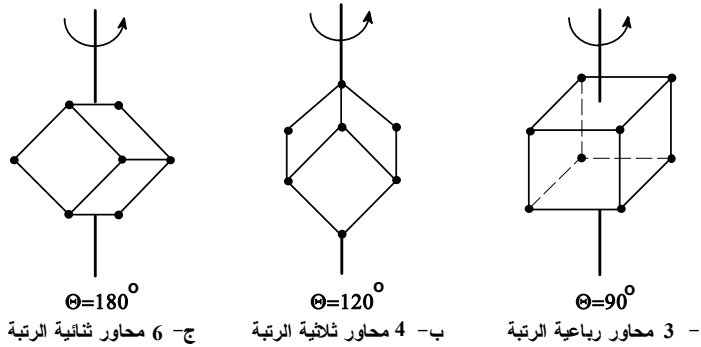
الشكل 19-2 أنواع ورموز محاور التماثل البلوري.

وفي ضوء ما سبق، يكون لفصيلة المكعب ثلاثة عشر محور تماثل، كما هو مبين

الشكل 20-2، وبياناتها كالآتي :

- عدد 3 محاور من الرتبة الرابعة يصل كل منها بين مراكز الأوجه المتقابلة (الجزء أ- من الشكل 20-2).

- عدد 4 محاور من الرتبة الثالثة يصل كل منها بين زاويتين مجسمتين متقابلتين (الجزء ب- من الشكل 20-2).



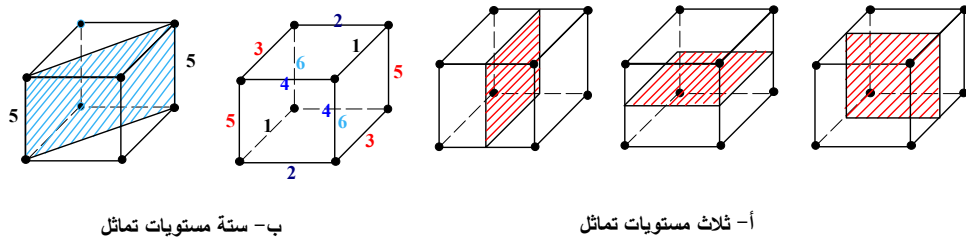
الشكل 20-2 محاور التماثل في فصيلة المكعب.

- عدد 6 محاور من الرتبة الثانية يصل كل منها بين النقطتين المنصفتين لحرفين متقابلين (الجزء ج- من الشكل 20-2).

2-6-2 مستوى التماثل PLANE OF SYMMETRY

يعرف مستوى التماثل بأنه المستوى الذي يقسم البلورة إلى نصفين متساويين

ومتشابهين بشرط أن يكون أحد النصفين صورة مرآة للنصف الآخر. ويلاحظ أن كل نقطة أو حرف أو وجه أو زاوية مجسمة على أحد جانبي مستوى التماثل يقابلها نقطة أو حرف أو وجه أو زاوية مجسمة على الجانب الآخر من مستوى التماثل. وفي ضوء ما سبق فإنه يكون لفصيلة المكعبى تسعة مستويات تماثل، كما هو مبين بالشكل 2-21، وبيانها كالآتي:



الشكل 2-21 مستويات التماثل في فصيلة المكعبى.

- عدد ثلاث مستويات تمر بمركز البلورة وتوازي أوجه المكعب، كما فى الشكل 2-21(أ).

- عدد ستة مستويات تمر بمركز البلورة وكل مستوى منها يصل بين حرفين متقابلين، كما بالشكل 2-21(ب).

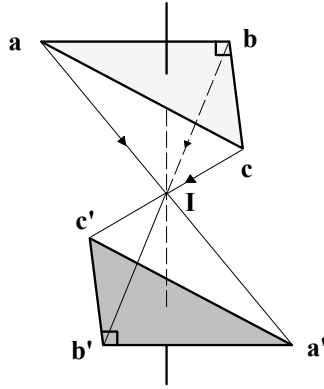
2-6-3 مركز التماثل CENTER OF SYMMETRY

مركز التماثل هو نقطة وهمية متوسطة في البلورة تتميز بأن أي وجهين أو حرفين أو زاويتين مجسمتين تتماثلان عبر هذه النقطة.

2-6-4 مركز الانقلاب CENTER OF INVERSION

يقال أن للبلورة مركز انقلاب إذا وجدت فيها نقطة تماثل انقلابي بشرط أن تظل

الخلية كما هي عند إجراء الانتقال الرياضي $\vec{r} \rightarrow -\vec{r}$ عليها. يبين الشكل 2-22 أن المثلث abc ينطبق على نفسه بعملية انقلاب عبر مركز الانقلاب I فيتحول إلى المثلث $a'b'c'$. يقال في هذه الحالة أن المثلث متماثل تماثلاً انقلابياً عبر مركز التماثل I. تكون جميع الشبكات البرافية متماثلة الانقلاب ويمكن رؤية هذه الحقيقة بالرجوع إلى الشكل 2-22 أو بملاحظة أن لكل متجه انتقالي $\vec{R}_n = n_1\vec{a} + n_2\vec{b} + n_3\vec{c}$ يوجد متجه معكوس $\vec{R}_n = -\vec{R}_n = -n_1\vec{a} - n_2\vec{b} - n_3\vec{c}$. كما يمكن أن يوجد مركز انقلاب للشبكة غير البرافية ويعتمد ذلك على تماثل الأساس.



الشكل 2-22

5-6-2 مستوى الانعكاس PLANE OF REFLECTION

مستوى الانعكاس في البلورة هو المستوى الذي يمكن أن يحدث (إجراء) عنده انعكاس للبلورة وتظل كما هي. لاحظ أن المستوى m ، في الشكل 2-18 (و) هو مستوى تماثل انعكاسي، أي أن الجسم ينطبق على نفسه بواسطة عملية انعكاس على هذا المستوى. ويمكن القول أن مستوى الانعكاس هو في الحقيقة مستوى تماثل. لاحظ أن ثلاثي الميل ليس له مستوى انعكاس، بينما يكون لأحادي الميل مستوى واحد في منتصف

المسافة بين القاعدتين وموازيهما ويكون للمكعب تسعة مستويات انعكاسية كما بينا من قبل.

2-6-6 محور الدوران AXIS OF ROTATION

يعرف محور الدوران بأنه المحور الذي إذا دارت حوله البلورة بزاوية ما تظل البلورة كما هي، تماما كما في حالة محور التماثل. أي أن كل محور تماثل هو محور دوراني.

2-6-7 مستوى الانزلاق SLIPPING PLANE

يوجد مستوى الانزلاق في البلورة عندما يتحدد مستوى الانعكاس بالانتقال الموازي لهذا المستوى بحيث يصل التركيب إلى تطابق ذاتي بواسطة الحركة والانعكاس عبر مستوى معين. ومما سبق يمكن القول بأن للمكعب 23 عنصر تماثل وبياناتها كالآتي :-

- عدد 13 محور تماثل: 3 محاور رباعية، 4 محاور ثلاثية و 6 محاور ثنائية.
- عدد 9 مستويات تماثل: 3 عمودية على الأوجه و 6 قطرية تصل بين الأحرف.
- مركز تماثل واحد.

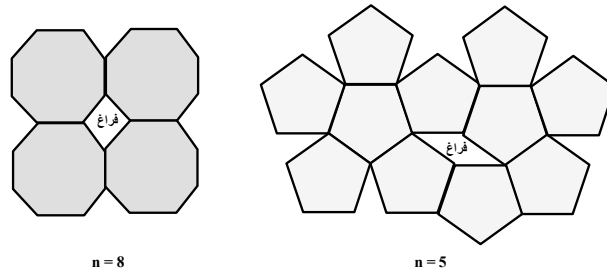
2-6-8 حول رتبة التماثل ABOUT SYMMETRY ORDER

في الشبكات البلورية لوحظ عدم وجود محاور تماثل (تماثل) ذات الرتبة 5، 7 أو 8... الخ. التماثل الخماسي ($n=5$)، مثلا، يمكن أن يكون موجودا للجزيئات أو لأشياء

أخرى خلاف الشبكات البلورية. يرجع ذلك إلى عدم إمكانية ملئ أي مستوى بلوري بخلايا أولية خماسية أو سباعية أو ثمانية الأضلاع من دون ترك فواصل فارغة فيما بينها أو من دون تراكمها بعضها على بعض، كما يتضح في الشكل 2-23. فلكي يغطي المستوى البلوري بمضلعات (خلايا أولية) عدد أضلاع أي منها n يجب أن تكون الزاوية المحصورة بين أي ضلعين عدد صحيح من 2π (أي تساوى $\frac{2\pi}{p}$ ، حيث p عدد صحيح). وبما أن زاوية المضلع تساوى $\frac{\pi(n-2)}{n}$ ، إذن $\frac{\pi(n-2)}{n} = \frac{2\pi}{p}$ ، وبالتالي نجد $p = \frac{2n}{n-2}$ وتكون p عدد صحيح عندما تكون $n = 3, 4, 6$ (أو عندما لا تساوى 5، 7، أو 8). وبناء على هذا فليست كل أنواع محاور التماثل موجودة في الشبكات.

يمكن إثبات أن رتبة التماثل n تأخذ القيم 1، 2، 3، 4 و 6 فقط وذلك باعتبار

شبكة نقطية في بعدين كما هو موضح بالشكل 2-24.



الشكل 2-23

يتضح من الشكل أن الذرات تحتل مواضع النقاط الشبكية بحيث أن المسافة بين أي ذرتين هي a وبالتالي تكون المسافة بين الذرة رقم (1) والذرة رقم (m) في الصف الأول هي $a(m-1)$. فإذا كانت الزاوية θ هي زاوية الدوران المسموح به طبقا لتماثل هذه الشبكة فهذا يعنى أن الذرة رقم (1) إذا دارت عكس عقارب الساعة حول الذرة رقم (2)