كلية العلوم

القسم : **الكيمياء**

السنة : **الثانية**

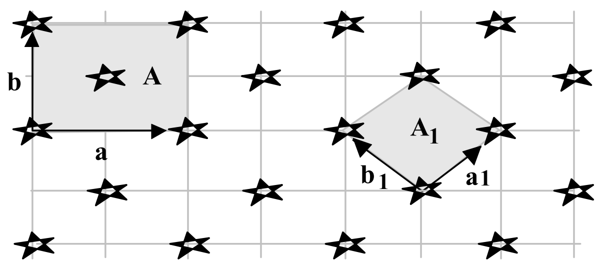
المادة : جسم صلب

المحاضرة : الثانية /نظري/

{{ A to Z مكتبة }}

Facebook Group : A to Z مكتبة

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 تغطيــة كــل الشبيكة البرافية. أيضا، لاحظ أن هذه الخلية لا تحتوى على نقاط شبيكية بداخلها، أي أنها تحتوى فقط على أربعة نقاط عند الأركان تشارك الخلايا المجاورة ويكون نصــيب هــذه الخلية هو نقطة واحدة فقط. تسمى هذه الخلية (A_1) بخلية أولية، بينما تســمى الخليــة A بخلية غير أولية. وبناء على ما سبق، يمكن تعريف خلية الوحدة الأولية بأنها أصغر خلية وحدة يمكن بتكرارها تغطية الشبيكة 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 بالامكان دائما اختيار خلية أولية (تحقق التماثل الانتقالي وتنتمي لها عقدة (ذرة أو مجموعة ذرات) واحدة ولها أصغر حجم يمكن اختياره. يحدث أحيانا أن يكــون تماثل الخلية الأولية لا يماثل تماثل الشبيكة الأم وفى هذه الحالة ربما نكون مجبرين علــى اختيار خلية وحدة أخرى (تحتوى على عقد بداخلها وليس عند الأركان) بحيث تحقق هذه الخلية تماثل متماثل مع الشبيكة الأم. تكون الخلية في هذه الحالة غير أولية، وعلــى كــل حال عند اختيار خلية وحدة تعبر عن الشبيكة 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 الفيزيقية للمواقع غير المتكافئة لنقاط الشبيكة.

3– يكون حجم الخلية الأولية في الأبعاد الثلاثة والمحددة بمتجهات الأساس $\vec{a}_1$ و $\vec{b}_1$ و $\vec{c}_1$ هو

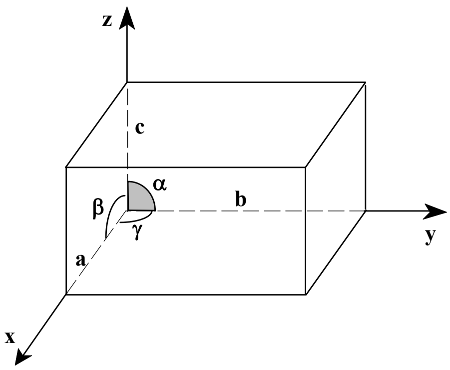
$$V = \left|\vec{a}_1 \times \vec{b}_1 \cdot \vec{c}_1\right| = \left|\vec{b}_1 \times \vec{c}_1 \cdot \vec{a}_1\right| = \left|\vec{c}_1 \times \vec{a}_1 \cdot \vec{b}_1\right| . \qquad 2\text{-}2$$

2–3–6 متغيرات الشبيكة 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 البلـــورة أو عنـــد مركزهـــا، 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 المحـــاور، 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 بـــين 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 الشبيكة لوحدة الخلية والتي يمكن بواسطتها معرفة شكل

الخلية الهندسي وحساب حجمها، كما سوف نبين لاحقا.



الشكل 2-13 متغيرات الشبيكة لوحدة الخلية.

2-4 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 البنائى للأنواع المختلفة للشبيكات الفراغية لبلورات المواد الصلبة.

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

شكل خماسي منتظم. تأتى الاستحالة من أنه بالرغم من إمكانية رسم الشكل الخماسي المنتظم بسهولة إلاّ إنّه 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 الشبيكات الممكن بنائها إلى خمسة فقط هم: متوازي الأضلاع المائل، المربع القائم، السداسي، المستطيل البسيط والمستطيل المتمركز. في الأبعاد الثلاثة، يبلغ عدد الشبيكات البرافية أربع عشرة شبيكة فقط، بينما يبلغ عدد الشبيكات غير البرافية 230 شبيكة. في الأبعاد الثلاثة تكون كل شبيكة 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 2–1.

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

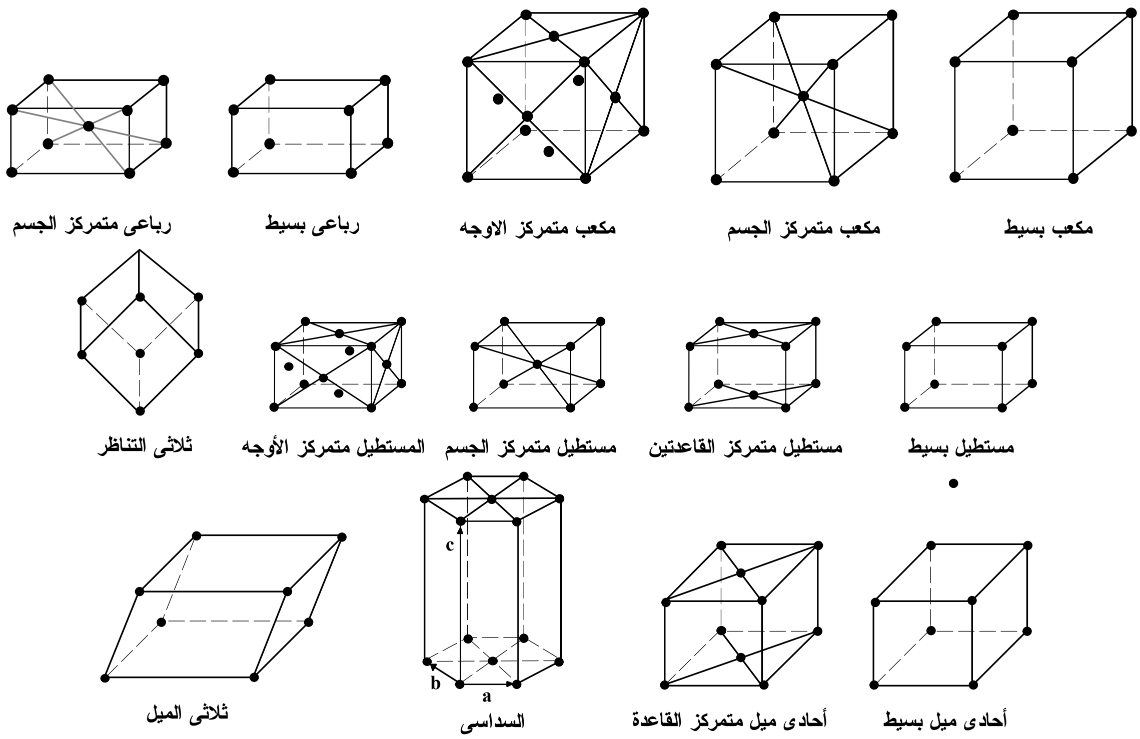
في الشبيكة البسيطة (simple) تكون النقاط عند رؤوس الشكل فقط، وبذلك تمثل الخلية البسيطة خلية وحدة أولية. بينما في الشبيكة المتمركزة الجسم (م. الجسم body centered) توجد نقطة إضافية عند مركز الجسم بينما في الشبيكة المتمركزة الأوجه (م. الأوجه face centered) توجد نقطة في مركز كل وجه وفى الشبيكة المتمركز القاعدتين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

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

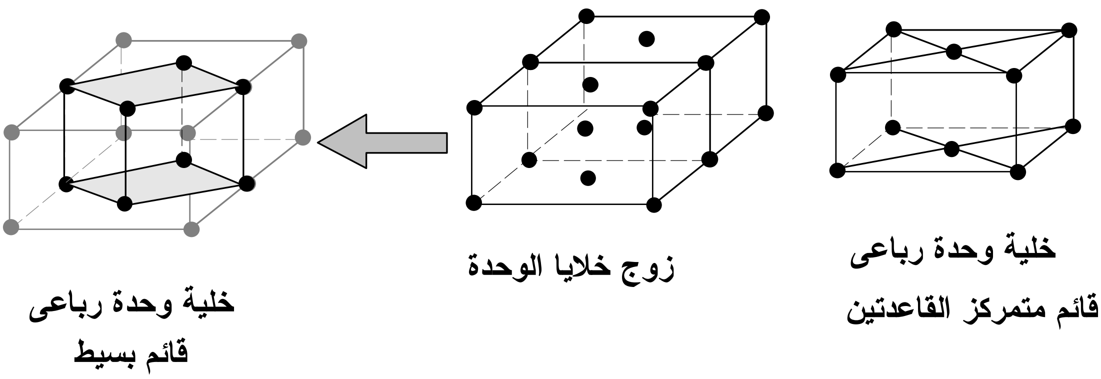
الجدول 2-1 الخصائص التركيبية لوحدة الخلية للأربعة عشر شبيكة برافية.

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

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.

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

سبب دراستنا للخلايا غير الأولية من دون الخلايا الأولية هو تفضيلنا للتعامل مع الخلايا التي لها تماثل يشابه تماثل الشبيكة قيد الدراسة. فمثلا في حالة المكعبى المتمركز الأوجه يتم التعامل مع خلية غير أولية وهى عبارة عن مكعب يحتوى على عقد في مراكز

الأوجه وذلك بسبب تشابه التماثل مع شبيكة المكعبى. على الجانب الأخر، تكون الخلية الأولية للشبيكة المتمركزة الأوجه عبارة عن متوازي سطوح مائل لا يملك تماثل شبيكة المكعبى. والسؤال الذي يطرح نفسه هو، أليس من الممكن اختيار خلية أولية بحيث يكون لها تماثل يشابه تماثل الشبيكة التي هي جزء منه؟ الجواب: نعم يوجد مثل هذا الاختيار، والخلية الأولية التى نحقق ذلك تسمى خلية فيجنر–زايتس.

أقترح العالم فيجنر–زايتس طريقة بسيطة يمكن بواسطتها اختيار وحدة الخلية ويتم ذلك بأتباع الخطوات الآتية :

1- نرسم الشبيكة النقطية التي تمثل الشبيكة البرافية.

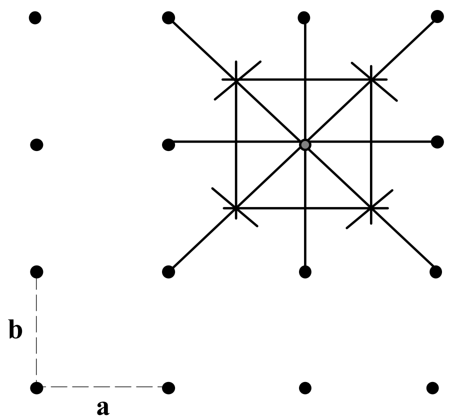
2- نعتبر نقطة معينة في الشبيكة، ثم نرسم خطوطا تصل هذه النقطة بكل نقاط الشبيكة المحيطة والأقرب إلى هذه النقطة، كما هو موضح بالشكل 2–16.

3- عند منتصف الخطوط المرسومة نرسم خطوط أو مستويات متعامدة.

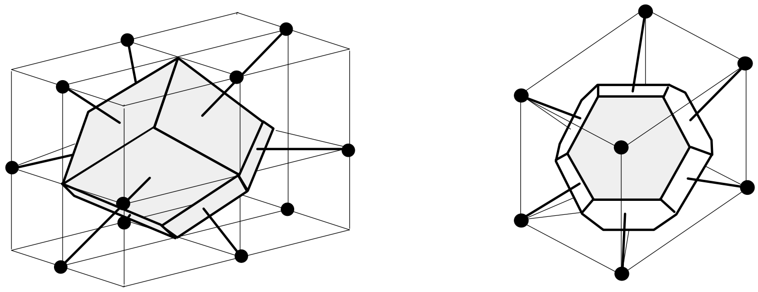
4- تكون أصغر مساحة (في حالة البعدين) أو أصغر حجم (في حالة الأبعاد الثلاثة) ينتج بهذه الطريقة هو وحدة خلية فيجنر–زايتس وهى خلية تحتوى على نقطة شبيكية (عقدة) واحدة بداخلها. وقد وجد أن شكل خلية فيجنر–زايتس هو دائما سداسي الشكل ماعدا في حالة الشبيكة المستطيلة والمربعة تكون الخلية فيهما مربعة، كما يبين الشكل 2–16.

تبدو خلية فيجنر–زايتس للشبيكة المكعبة المتمركزة الجسم، BCC، على هيئة جسم

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



الشكل 2–16 خلية فيجنر–زايتس في بعدين متعامدين و a = b .



أ- خلية فجنر–زايتس للمكعب متمركز الجسم BCC

ب- خلية فجنر–زايتس للمكعب متمركز الأوجه FCC

الشكل 2–17 خلية فيجنر–زايتس للمكعب المتمركز الجسم وللمكعب المتمركز الأوجه.

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

فيجنر–زايتس والذرات الاثنى عشر الموجودة وسط أضلاع المكعب المرسوم.

6-2 عناصر التماثل في البلورات SYMMETRY ELEMENTS OF CRYSTALS

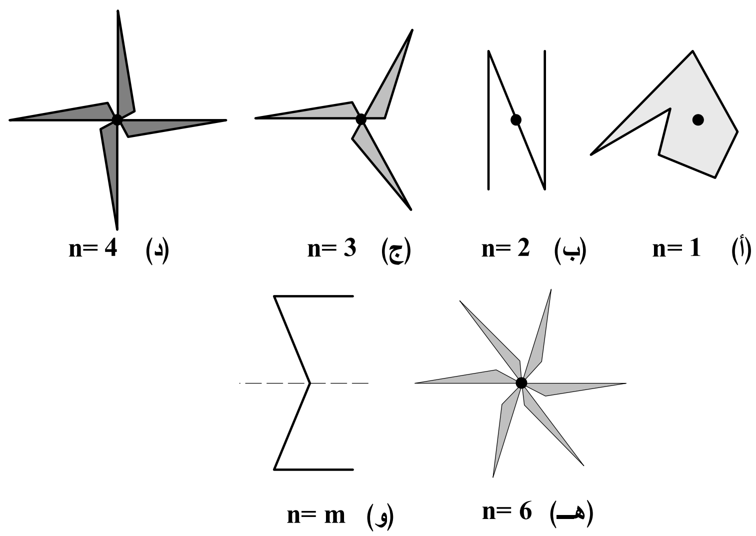
يأتى اختلاف بلورات المواد الصلبة من تباين شكل الشبيكات البلورية لها. وينتج هذا التباين من اختلاف أبعاد وزوايا وحدات التركيب البلوري. ولكي يمكن تصنيف الشبكات البلورية يجب أخذ مبدأ التماثل في الاعتبار. والتماثل هو تحول الشيء بطريقة أو بأخرى لكي ينطبق على نفسه مرة أخرى. ويعتبر التماثل أهم الخصائص الهندسية 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 البنائى 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 يلى.

1-6-2 محور التماثل AXIS OF SYMMETRY

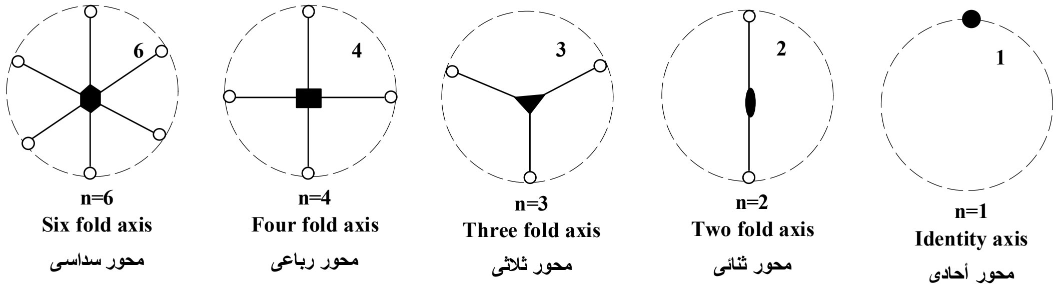
يعرف محور التماثل بأنّه محور تخيلي يمر بمركز البلورة أو الخلية، بحيث إذا دارت حوله الخلية بزاوية 360^{o} فإنها تكرر نفسها (أي تحتل نفس الوضع في الفراغ)، من

حيث الشكل عددا من المرات. تتحدد رتبة التماثل للمحور بعدد المرات (n) التي تكــرر فيها البلورة وضعها خلال دورة كاملة. فعلى سبيل المثال، إذا أدرنا أي جسم غير متماثل حول أي محور فإن الجسم سوف يعود إلى وضعه الأصلي (وضع مماثل) بعد 360^{o}، أي بعد دورة واحدة ويسمى محور التماثل، في هذه الحالة، محور تماثل من الرتبــة الأولـــى (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 التماثــل بأنها عدد المرات التي يكرر الجسم أو البلورة نفسها عند دورانها حــول المحــور 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.

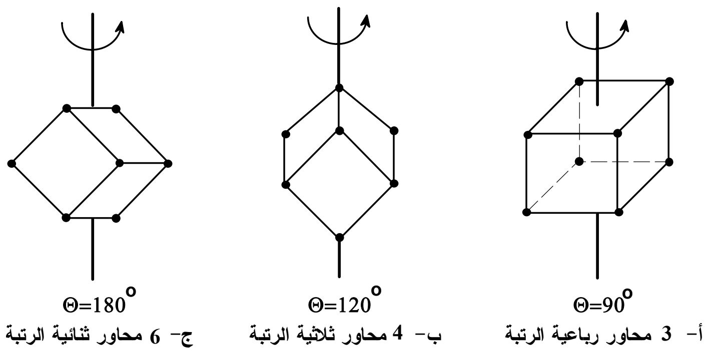
وقد وجد أن رتبة التماثل، n، تأخذ فقط قيم عدديــة صــحيحة (1، 2، 3، 4 و 6 فقط). لاحظ غياب الرقم 5. يبين الشكل 2-19 أنواع ورموز محاور التماثل ذات الرتب المختلفة.



الشكل 2-19 أنواع ورموز محاور التماثل البلوري.

وفى ضوء ما سبق، يكون لفصيلة المكعبى ثلاثة عشر محور تماثل، كما هو مبين الشكل 2-20، وبياناتها كالأتي :

- عدد 3 محاور من الرتبة الرابعة يصل كل منها بين مراكز الأوجه المتقابلة (الجزء-أ من الشكل 2-20).
- عدد 4 محاور من الرتبة الثالثة يصل كل منها بين زاويتين مجسمتين متقابلتين (الجزء-ب من الشكل 2-20).



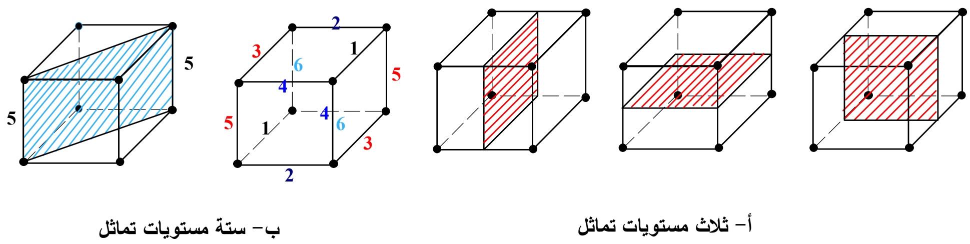
الشكل 2-20 محاور التماثل في فصيلة المكعبى.

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

2-6-2 مستوى التماثل PLANE OF SYMMETRY

يعرف مستوى التماثل بأنه المستوى الذي يقسم البلورة إلـــى نصـــفين متســـاويين

ومتشابهين بشرط أن يكون أحد النصفيين صورة مرآة للنصف الأخر. 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 الأخر من مستوى التماثل. وفي ضوء ما سبق فإنه يكون لفصيلة المكعبى تسعة مستويات تماثل، كما هو مبين بالشكل 2–21، وبيانها كالأتي:



الشكل 2–21 مستويات التماثل في فصيلة المكعبى.

- عدد ثلاث مستويات تمر بمركز البلورة وتوازى 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).

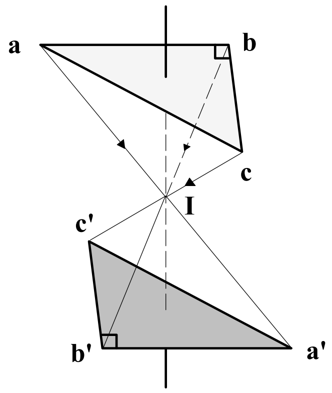
2–6–3 مركز التماثل CENTER OF SYMMETRY

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 أجراء الانتقال الرياضي $\vec{r} \to -\vec{r}$ 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 تماثلا انقلابيا عبر مركز التماثل I. تكون جميع الشبيكات 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 للشبيكة غير البرافية ويعتمد ذلك على تماثل الأساس.



الشكل 2-22

2-6-5 مستوى الانعكاس PLANE OF REFLECTION

مستوى الانعكاس في البلورة هو المستوى الذي يمكن أن يحدث (إجراء) عنده انعكاس للبلورة وتظل كما هي. لاحظ أنّ 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 وموازيا لهما ويكون للمكعب تسعة مستويات انعكاسية كما بينا مــن قبل.

2-6-6 محور الدوران AXIS OF ROTATION

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

2-6-7 مستوى الانزلاق SLIPPING PLANE

يوجد مستوى الانزلاق في البلورة عندما يتحــدد مســتوى الانعكــاس بالانتقــال الموازى لهذا المستوى بحيث يصل التركيب إلى تطابق ذاتي بواسطة الحركة والانعكاس عبر مستوى معين. ومما سبق يمكن القول بأن للمكعب 23 عنصر تماثل وبياناتها كالأتي :-

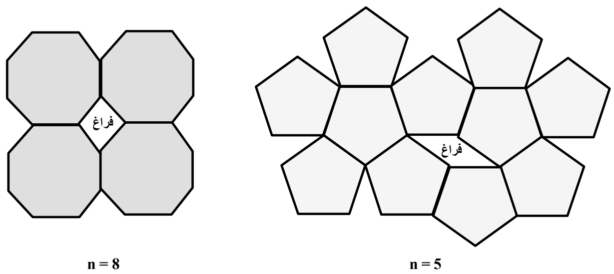
- عدد 13 محور تماثل: 3 محاور رباعية، 4 محاور ثلاثية و 6 محاور ثنائية.
- عدد 9 مستويات تماثل: 3 عمودية على الأوجه و 6 قطرية تصل بين الأحرف.
- مركز تماثل واحد.

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 لأشــياء

أخرى خلاف الشبكات البلورية. يرجع ذلك إلى عدم إمكانية ملــئ أي مســتوى بلــوري بخلايا أولية خماسية أو سباعية أو ثمانية .... الأضلاع من دون ترك فواصل فارغة فيما بينها أو من دون تراكبها بعضها على بعض، كما يتضح في الشكل 2−23. فلكي يغطــى 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 نجــد $p=\frac{2n}{n-2}$ 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 وذلــك باعتبــار شبيكة نقطية في بعدين كما هو موضح بالشكل 2−24.



الشكل 2−23

يتضح من الشكل أن الذرات تحتل مواضع النقاط الشبيكية بحيث أن المسافة بــين أي ذرتين هي a وبالتالي تكون المسافة بين الذرة رقم (1) والذرة رقم (m) فــي الصــف الأول هي a(m-1). فإذا كانت الزاوية θ هي زاوية الدوران المسموح به طبقا لتماثل هــذه الشبيكة فهذا يعنى أن الذرة رقم (1) إذا دارت عكس عقارب الساعة حول الذرة رقم (2)