كلية العلوم

القسم : **الكيمياء**

السنة : **الرابعة**

المادة : كيمياء البلورات

المحاضرة : الثالثة/نظري/د. ميرنا صالح

{{ A to Z مكتبة }}

Facebook Group : A to Z مكتبة

الفصل الثالث

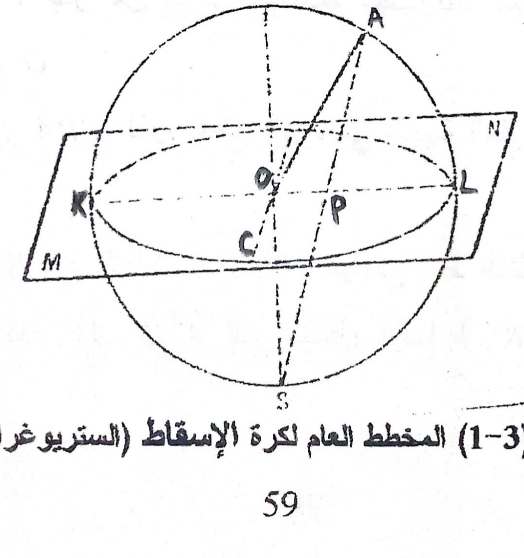
الإسقاط الستريوغرافي لعناصر البلورات

3-1- مفهوم الإسقاط الستريوغرافي (المجسمي) لعناصر البلورات:

من أجل تمثيل عناصر التناظر، والوجوه، والأضلاع، والمستويات في البلورات على مستوي الرسم، يتطلب الأمر إسقاطاً خاصاً بذلك، وهذا النوع من الإسقاط يسمى بالإسقاط الستريوغرافي، أو المجسمي، ويعد هذا النوع من الإسقاطات مريحاً وواضحاً وبوساطته يمكن تمثيل جميع عناصر البلورة، وحتى الزوايا بين الأضلاع والوجوه. أي يعتمد هذا النوع من الإسقاط طريقة التجسيم بوساطة كرة تسمى كرة الإسقاط الممثلة على الشكل (3-1).

من الشكل يمكن التعرف على عناصر الإسقاط، وهي:

- SS' محور الإسقاط.
- O مركز الإسقاط.
- S نقطة النظر العينية العليا، S' نقطة النظر السفلية.
- MN مستوي الإسقاط الذي يمر من O، ويتعامد مع SS'، ويتقاطع المستوي مع سطح الكرة، بالدائرة Kcl التي تسمى بدائرة الإسقاط الأساسية.



الشكل (3-1) المخطط العام لكرة الإسقاط (الستريوغرافي)

- من أجل إسقاط أي مستقيم في بلورة يجب أن نتبع ما يأتي:

1- نوجه البلورة بحيث ينطبق مركزها على مركز كرة الإسقاط.

2- إذا كان المستقيم لا يمر من O ننقله موازيا لنفسه حتى يتقاطع مع مركز الكرة، ونمدد القسم العلوي له حتى يتقاطع مع سطح الكرة. ولنفرض أنه يتقاطع معها في النقطة (A)، والآن نصل من النقطة S إلى النقطة A، فيكون AS هو الشعاع البصري، ويتقاطع الشعاع البصري مع دائرة الإسقاط في النقطة (P)، وتكون هي الإسقاط العلوي للشعاع OA. أما الإسقاط السفلي فيتم بتمديد الشعاع OA بالاتجاه الآخر، حتى يقطع الكرة في نقطة ما في اتجاه النقطة البصرية S'، وهكذا بطريقة الإسقاط العلوي بنفسها نحصل على الاسقاط السفلي،وعادةً يستعمل الإسقاط العلوي فقط.

- ويتم إسقاط الخط الأفقي وفق الآتي:

يُمثل خط الإسقاط الأفقي بنقطتين، وليكن KL هو الخط الأفقي الذي يجب إسقاطه. إن خط النظر سيتحد مع هذا الخط في نقطتي تقاطعه مع سطح الكرة ،وهما K و L وستكون هاتان النقطتان مسقطي الخط KL، ويكون إسقاط الخط العمودي SS' في مركز الإسقاط، أي في النقطة O.

- أما إسقاط مستوٍ ما فيتم وفق الطريقة الآتية كما في الشكل (3-2):

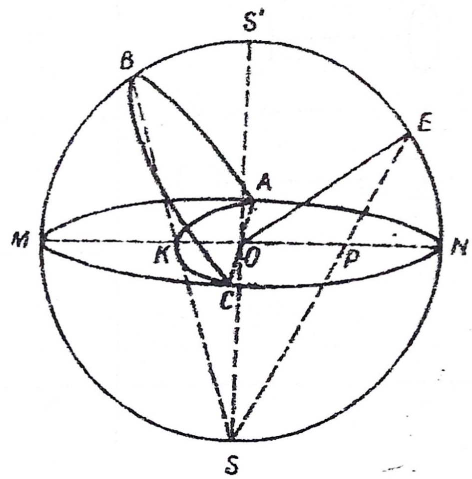
1- إن دائرة الإسقاط هي (MAN) كما في الشكل (3-2)، وتتوضع بشكل عمودي على مستوي الرسم.

2- لإسقاط مستوٍ لا يمر من مركز الإسقاط يجب نقله موازياً لنفسه حتى يمر من مركز الإسقاط O.

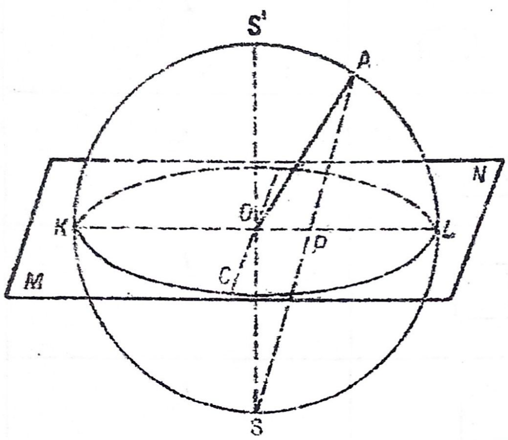
3- لنسقط المستوي CBA الذي يقطع الكرة في الجهة العلوية بالقوس ABC أي في النقطة B.

4- لنصل النقطة S مع النقاط C, B, A. سيقطع خط النظر في هذه الحالة مستوي الإسقاط في النقاط (C, K, A) التي تشكل قوساً (AKC)، ومنه نستنتج القاعدة الآتية:

إن إسقاط مستوٍ إسقاطاً ستريوغرافياً هو عبارة عن قوس في دائرة الإسقاط، ويكون الخط (AC) أحد أقطارها. إذاً هناك ثلاث نقاط (C, K, A) تحدد محيطاً في دائرة الاسقاط، ولهذا من أجل تمثيل الإسقاط، يكفي أن نأخذ القطر (AC)، ونأخذ من خط النظر إلى النقطة B خطاً، فيقطع محيط الدائرة في النقطة K، ومن ثم نصل بين النقاط الثلاث (C, K, A)، فنحصل على القوس (AKC)، ويكون هو الإسقاط العلوي للمستوي المطلوب.



الشكل (3-2) يمثل الإسقاط الستريوغرافي لمستوٍ



الشكل (3-3) المخطط العام لكرة الإسقاط الستريوغرافي والجنوموستريوغرافي

لإسقاط المستوي في الجهة السفلية فنأخذ شعاع النظر في هذه الحالة من النقطة S'، ونتبع طريقة الإسقاط في الجهة العلوية نفسها.

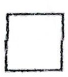
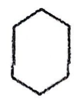
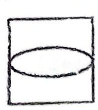
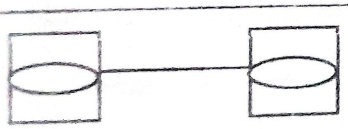
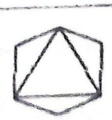
- أما إذا كان المستوي عمودياً على مستوي الإسقاط فيكون إسقاطه هو عبارة عن قطر الدائرة التي فيها يتم التقاطع، وفي هذه الحالة يكون القطر CA.يمثل الشكل(3-3)المخطط العام لكرة الإسقاط الستريوغرافي و الجنوموستريوغرافي

- وإذا كان المستوي يتطابق مع مستوي الإسقاط، فسيكون إسقاطه دائرة محددة تنطبق على دائرة الإسقاط.

3-2- إسقاط عناصر التناظر:

لإسقاط عناصر التناظر لبلورة متعددة الوجوه إسقاطاً ستريوغرافياً ستأخذ العناصر أشكالاً معينة ومحددة، وذلك وفق الأشكال الآتية في الجدول (3-1):

الجدول (3-1) مساقط عناصر التناظر

عناصر التناظر	التوضع بالنسبة إلى مستو	
	عمودية ومنحرفة	موازية
L_2		
L_3		
L_4		
L_6		
L_{i4}		
L_{i6}		
m		

ولنأخذ مثالاً على الإسقاط الستريوغرافي لبلورة لها وجوه عديدة، وتحتوي على عناصر التناظر الآتية: أربعة محاور تناظر من الدرجة الثالثة $(4L_3)$، ولإسقاطها إسقاطاً ستريوغرافياً نتبع الخطوات الآتية:

1- نرسم كرة الإسقاط، ونمثل عليها مركز الإسقاط (O)، وقطريها المتعامدين،

الفصل الرابع

استنتاج عناصر التناظر

4-1- العلاقة المتبادلة بين عناصر التناظر في متعددات الوجوه (البلورات):

للوجوه الصحيحة في متعددات الوجوه عناصر تناظر معينة ومحددة، ولا يمكن أن يكون في بلورة محور تناظر من الدرجة الخامسة، ولا أعلى من الدرجة السادسة، وترتبط عناصر التناظر الموجودة في متعددات الوجوه، بعضها ببعض بمجموعة علاقات، وسنتناول دراسة هذه العلاقات بين عناصر التناظر وفق مجموعة من النظريات، وتسمى هذه النظريات بنظريات عناصر التناظر المعقدة ،وهي:

I- النظرية $1a$: نص النظرية: إن خط تقاطع مستويين تناظريين هو عبارة عن محور تناظر رئيسي (بسيط) يعادل في تأثيره عمل المستويين معاً، وتكون زاوية الدوران الأولية هي ضعف الزاوية بين المستويين.

المعطيات: m_2, m_1 مستويان تناظريان عموديان على مستوي الرسم، والزاوية بينهما $\left(\frac{\alpha}{2}\right)$ كما هو موضح بالشكل (4-1).

الإنشاء: نأخذ نقطة اختيارية A، ونعكسها في المستوي m_1 ،فنحصل على نقطة ثانية A_1، ثم نعكسها في المستوي m_2 ،فنحصل على النقطة A_2.

الفرض: لنفرض أن الانعكاس في المستويين m_2, m_1 يعادل الدوران حول محور تقاطع المستويين (m_2, m_1) بزاوية α، أي $AL = A_2L$ بحيث الزاوية $\alpha = A\hat{L}A_2$.

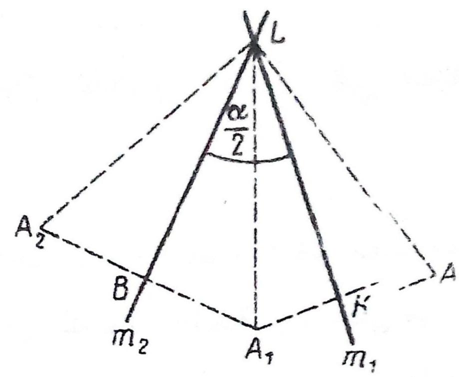
البرهان: من الإنشاء:

المثلثان $A\hat{L}K = A_1\hat{L}K$ متساويان

و المثلثان $A_1\hat{L}B = A_2\hat{L}B$ متساويان

و المثلثان $A\hat{L}A_1 = A_1\hat{L}A_2$ متساويان بالساقين

فيهما (A_1L) ضلع مشترك، أي $AL = A_2L$



الشكل (4-1) المستويان التناظريان m_2, m_1 اللذان يعادلهما في عملهما محور تناظر بسيط

ومن الشرط: $B\hat{L}K = \frac{\alpha}{2} = B\hat{L}A_1 + A_1\hat{L}K$

وبالإنشاء $A_1\hat{L}B = A_2\hat{L}B$ ، و $A_1\hat{L}K = A\hat{L}K$

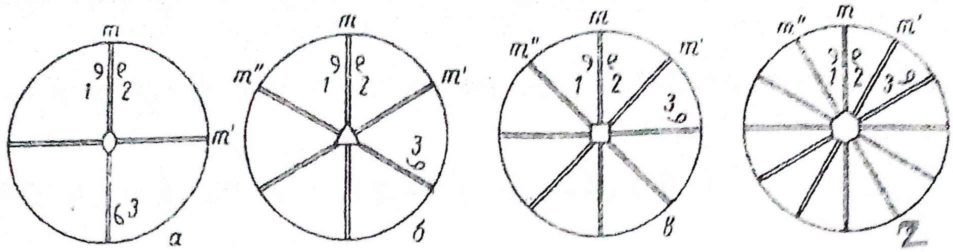
أي يكون: $A\hat{L}K + A_2LB = \frac{\alpha}{2}$

أي الزاوية: $A\hat{L}A_2 = \alpha$

وبالنتيجة: تنطبق النقطة A على النقطة A_2 بفعل تأثير عمل المحور L.

مثال على النظرية $1a$: يوضح الشكل (4-2) مستويات تناظر عمودية على مستوى الرسم، وبذلك إن انعكاس الأشكال في المستوى m سينقل الشكل من الوضعية (1) إلى الوضعية (2) ،وعملية الانعكاس المتتالية في المستوي (m) ستنقل الأشكال إلى الوضعية (3)، والزاوية بين m', m هي $\frac{\alpha}{2}$ وتأخذ قيم مختلفة وفق الحالات الآتية:

$$Z = 30^\circ \;,\; B = 45^\circ \;,\; \delta = 60^\circ \;,\; a = 90^\circ$$



الشكل (4-2) محور تناظر بسيط (رئيسي) يعادل في عمله عمل مستوي تناظر m', m

يتضح من الأشكال السابقة أنه يمكن نقل الشكل من الوضعية (1) إلى الوضعية (3)، وذلك بالدوران حول خط تقاطع المستويين m', m، ويصبح هذا الخط هو محور تناظر، ويدور بزاوية أولية α، وفي الشكل السابق كل محور تناظر يساوي ويعادل في عمله عمل المستويين m', m، وكأن الدوران حول محور التناظر بزاوية α هو نفسه الانعكاس في المستويين m', m.

II- النظرية: 1δ: نص النظرية: إذا مر من محور تناظر مستوي تناظر ما فحتماً يجب أن يمر من المحور نفسه مستوي تناظر آخر بشكل مع المستوي الأول زاوية تساوى نصف زاوية دوران المحور، ويعادل في عمله عمل العنصرين السابقين.

من الشكل (4-1) يتضح أن الدوران حول محور التناظر بزاوية α ينقل الشكل من الوضعية (1) إلى الوضعية (3)، وبعملية الانعكاس من خلال المستوي m_2 فإن الوضعية (3) ستحل بالوضعية (2).

وانعكاس النقطة (1) في المستوي m_1 سيحل بالوضعية (2)، ويصنع المستوي m_1 مع المستوي m_2 زاوية مقدارها $\frac{\alpha}{2}$، أي أن m_1 يساوي في عمله عمل m_2 والمحور الرئيسي.

ولنبرهن صحة النظرية 1δ:

الفرض: إن L محور تناظر يدور بزاوية أولية α، ويمر من خلاله مستوي تناظر

وبالتالي تنطبق على تساوي المثلثين:

$$A_1\hat{L}K \text{ و } A_2\hat{L}K$$

لتساوي ضلعين والزاوية بينهما. أي أن:

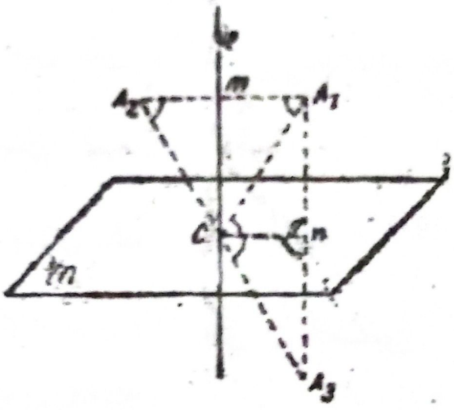
$$A_1K = A_2K \text{ و } A_1A_2 \perp m_1$$

إذاً المستوي m_1 هو مستوي تناظر

نتيجة (1): إذا مر من محور تناظر (L_n) مستوي تناظر فإن عدد المستويات التي تمر من المحور يساوي ترتيب المحور.

من الشكل (4-2) يتبين من أن عدد المستويات التي تمر من محاور التناظر L_6, L_4, L_3, L_2 تساوي على الترتيب عدد المستويات الثانية (2,3,4,6) .

III- النظرية $2a$: إذا مر محور تناظر ذو ترتيب مزدوج (L_{2n}) من مركز تناظر (C) يجب أن يوجد مستوٍ (m) عمودي على المحور، ويساوي عمل المستوي (m) مجموع عملي (المحور L_n مع مركز التناظرC).



يوضح الشكل (4-3) محور تناظر رئيسي مزدوج الترتيب L_2 المتعامد مع مركز تناظر (C) والمستوي (m)

والمطلوب: برهن أن المستوي m المار من مركز التناظر، والعمودي علـى المحـور L_2 هو مستوي تناظر.

IV: النظرية 2δ: إذا وجد مستوي تناظر (m) ،ومركز تناظر (C) فحتماً سيوجد محور تناظر مزدوج الترتيب L_{2n} عمودي على المستوي (m)، ويمر من مركز التناظر C.

يمكن إثبات صحة النظرية من الشكل (4-3) ، إذ نثبت أن انعكاس النقطة A_1 في المستوي m ينطبق على النقطة A_3 و نعكس النقطة الأخيرة في المركز (C) لنحصل على النقطة A_2، أي يجب إثبات أن النقطة A_1 تحل محل النقطة A_2 مباشرة، بالدوران حول L_2 بزاوية $180°$ ،أي يجب أن يتساوى المثلثان $A_1\hat{C}K$، و $A_2\hat{C}K$، وبتساويهما يكون $A_1A_2 \perp L_2$، و $A_1K = A_2K$.

وينتج عن ذلك أن:

$$A_1A_2 \perp L_2 \text{ و } A_1K = A_2K$$

نتيجة (2):

عند وجود مركز تناظر C في بلورة ما يجب أن يوجد عدد من مستويات التناظر يساوي عدد محاور التناظر ذي الترتيب المزدوج L_{2n}.

V: النظرية $2B$: إن نقطة تقاطع محور تناظر مزدوج الترتيب (L_{2n}) مع مستوي تناظر m يتعامد معه هي مركز تناظر في الشكل البلوري (يعادل في عمله، عمل المحور مع المستوي).

لإثبات صحة هذه النظرية يكفي إثبات أن النقطة A_3 الناتجة عن دوران النقطة A_1 حول المحور L_2 بزاوية $180°$، الانعكاس في المستوي m ،يمكن الحصول عليها مباشرة بعكس A_2 في النقطة C ،ويكفي أن نبرهن على:

$$A_1\hat{C}A_2 = A_1\hat{C}A_2 = 180° \text{ ، ونثبت أن } A_2C \text{ و } A_3C$$

هو المستقيم (A_2A_3)، أي $A_3C = A_2C$ ، كما هو موضح على الشكل (4-3).

VI: النظرية 3: نظرية (إيليرا): عند تقاطع محورين تناظريين في شكل بلوري ما يوجد حتماً محور ثالث يتقاطع معهما، ويساوي في عمله مجموع عمليهما. وهذه النظرية محققة، وصحيحة ليست فقط بالنسبة للمحاور البلورية الرئيسة، والبسيطة، بل أيضاً بالنسبة للمحاور البلورية الانقلابية، وبذلك يمكن كتابتها بالشكل العام الآتي: **إذا وجد عنصرا تناظر فحتماً سيوجد عنصر تناظر ثالث يساوي في عمله مجموع عمليهما.**

وتعد جميع النظريات التي تتناول دراسة عناصر التناظر المعقدة جزءاً من نظرية إيليرا.

مثال:

يوضح الشكل $(4-4,Z,B,\delta,a)$ وجود عدة حالات تتقاطع فيها محاور التناظر في بلورة متعددة الوجوه.

يمثل الشكل (4-4) محاور تناظر من الدرجة الثانية متوضعة في مستوي الرسم، ومتقاطعة في نقطة واحدة في كل شكلٍ من الأشكال، ويمر محور تناظر آخر في نقطة تقاطع محاور تناظر الدرجة الثانية أيضاً.

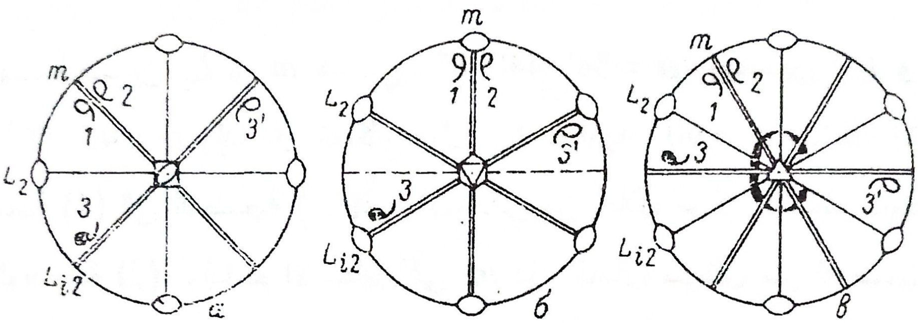
إن دوران الشكل حول المحور L_2 سينقله من الوضعية (1) إلى الوضعية (2) ثم إلى الوضعية (3)، و يوضح الشكل أن الدوران حول محور عمودي على مستوي الرسم، وفي الاتجاه من L_2 إلى L_2' ،سينقل الشكل من الوضعية (1) إلى الوضعية (3)، والفعل الأخير يساوي مجموع الفعلين السابقين. وهكذا بالنسبة لجميع الوضعيات في الرسومات على الشكل يمكن أن نحصل بالطريقة نفسها على الوضعية (3) من الوضعية (1)، **ونخلص إلى النتيجة الآتية:**

إذا تقاطع محور تناظر من الدرجة الثانية L_2 مع محور تناظر L_n من المرتبة الثانية في نقطة ما. والزاوية بينهما $\frac{\alpha}{2}$ حيث $\alpha = \frac{360^\circ}{n}$، فسيكون عدد محاور تناظر الدرجة الثانية مساوياً (n).

VII: نظرية $4a$: عند وجود محوري تناظر انقلابيين يوجد حتماً محور تناظر رئيسي (بسيط) يمر من نقطة تقاطعهما ويكافئ في عمله مجموع عمليهما.

1- يمثل الشكل (4-9) محاور تناظر انقلابية ،ورئيسة، ومستويات تناظر، ويتضح أن الانعكاس في المستوي (m) يعود بنا إلى نتيجة النظرية $4a$ نفسها، مثل الدوران حول L_{i2} العمودي على مستوى التناظر (m)، ولنأخذ الأمثلة الآتية:

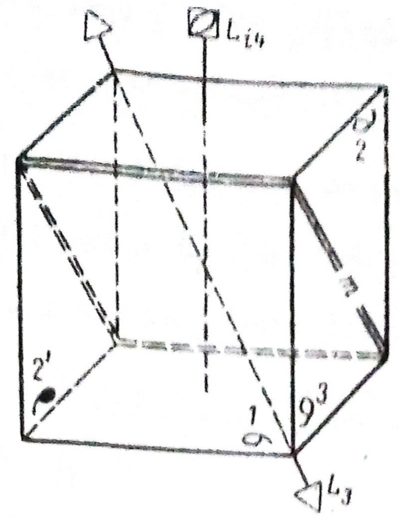
1) إن الانعكاس في المستوي (m) سينقل الشكل من الوضعية (1) إلى الوضعية (2)، كما هو موضح بالشكل (4-9).



الشكل (4-9) العلاقة بين عناصر التناظر m, L_2, L_{i4}

كما أن تدوير الشكل بزاوية معينة حول محاور التناظر الانقلابية الآتية L_{i2}, L_{i4}, L_{i6} سينقل الشكل من الوضعية (2) إلى الوضعية ('3) ، ثم عكسه في نقطة تقاطع المحاور، وكأن الانعكاس الذي يتم من خلال مركز التناظر سينقل الشكل إلى الوضعية (3) ،ويمكن الحصول على النتيجة نفسها عند دوران الشكل حول محور الدرجة الثانية L_2، أي أن محور التناظر من الدرجة الثانية L_2 يكافئ في عمله مجموع أعمال المحاور الانقلابية L_{i6}, L_{i4}, L_{i3} مع المستوي m.

2- إذا كان متعدد الوجوه الموضح بالشكل (4-10) يحتوي على مجموعة عناصر تناظر مختلفة، والزوايا بينها هي الآتية:



الشكل (4-10) العلاقة بين عناصر التناظر m, L_3, L_{i4}

الزاوية بين L_3 و m هي $\alpha = 54° 440' 8''$، وبين L_{i4} و m هي $\alpha = 45° 00' 00''$،وإذا دار الشكل حول L_{i4} بزاوية $\alpha = 90°$ سينتقل الشكل من الوضعية (1) إلى الوضعية ($2'$)،و بالانعكاس من خلال مركز التناظر سينتقل الشكل إلى الوضعية (2)، وإذا تم الانعكاس في m فإن الشكل سينتقل من الوضعية (2) إلى الوضعية (3)، ويمكن للشكل أن ينتقل من الوضعية (1) إلى الوضعية (3) مباشرة عند الدوران حول المحور L_3 وهذا يعني أن L_3، يساوي في عمله مجموع عملي L_{i4} ، و $m(L_{i2})$.

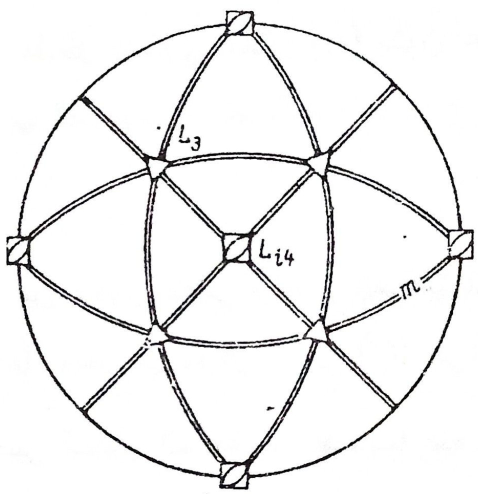
VIII: النظرية 4δ: عند وجود محور تناظر رئيسي (بسيط) مع محور تناظر انقلابي سيوجد حتماً محور تناظر انقلابي آخر (يكافئهما)، ويمر من نقطة تقاطعهما.

أمثلة:يتضح من الشكل (4-9):

1- إن تأثير كل من L_2 و m في الشكل سينقله من الوضعية (2) إلى الوضعية (1) و(3) وعند الدوران حول محور التناظر الانقلابي والعمودي على مستوي الرسم يمكن نقل الشكل من الوضعية (3) إلى الوضعية (2). أي أن محور التناظر الانقلابي العمودي على مستوي الرسم يكافئ في عمله عمل المستوي، والمحورين m و L_{i2} و L_2.

إن تأثير المحور L_2، ومحور التناظر الانقلابي العمودي على مستوي الرسم سينقل الشكل من الوضعية (1) إلى الوضعية (2)، وهذا يعني أن $m(L_{i2})$ يكافئ في عمله عملي محوري التناظر من الدرجة الثانية، ومحور التناظر الانقلابي العمودي على مستوي الرسم.

2- نجد من الشكل $(4-10)$ أن عمل L_3', m سينقل الشكل من الوضعية (2) إلى الوضعية (3)، ثم إلى (1) ،وهذا يكافئ عمل L_{i4}. كما أن عمل كل من المحورين L_3 و L_{i4} ينقل الشكل من (3) إلى (1) ثم إلى (2)، أي أن عمل (m) يكافئ عمل المحورين السابقين، وهكذا فإن جميع عناصر التناظر السابقة موضحة وممثلة على الشكل $(4-11)$، ويكون مجموع عناصر التناظر $(3L_{i4} 4L_3 6m)$.



الشكل $(4-11)$ المسقط الستريوغرافي لعناصر التناظر $3L_{i4} 4L_3 6m$

نتيجة:

إذا كان محور التناظر الانقلابي L_{in} متوضعاً في المستوي m ،أو كان المستوي m يحتوي على محور تناظر رئيسي L_2 عمودي على المحور L_{in} تكون محاور التناظر من الدرجة الثانية L_2 في المستوي m المارة من المحور L_{in} متساوية، وتساوي ترتيب المحور الرئيسي كما هو موضح بالشكل $(4-9)$.

وبالنتيجة يمكن جمع النظريات السابقة بالنظريات الأساسيّة الآتية :

4-2- النظريات الأساسية في علم البلورات:

النظرية (1):

إن محور التناظر الرئيسي (البسيط) من المرتبة n هو عبارة عن خط يتقاطع مع عدد (n) من مستويات التناظر المرتبطة بعضها ببعض.

أي إذا كان المستويان (m) هما مستويان يتقاطعان مع بعضهما بزاوية $\frac{\alpha}{2}$ تكون الزاوية التي يصنعها محور التناظر البسيط معهما هي $\alpha = \frac{360}{n}$.

نتيجة(1):

إذا مر من خلال محور تناظر مستوي تناظر (m) يكون عدد مستويات التناظر المارة من المحور ساوياً ترتيب المحور.

النظرية (2):

إن العلاقة التي تربط بين محور تناظر رئيسي (بسيط) مزدوج الترتيب L_{2n} ويتعامد مع مستوي تناظر (m)، ويمر من مركز تناظر (C) هي:

إذا وجد اثنان من عناصر التناظر السابقة سيوجد حتماً عنصر التناظر الثالث.

نتيجة(2):

عند وجود مركز تناظر في شكل بلوري سيوجد عدد من مستويات التناظر بمقدار عدد محاور التناظر المزدوجة الترتيب، وبالعكس سيوجد عدد من محاور التناظر المزدوجة الترتيب بمقدار عدد مستويات التناظر.

النظرية (3):

عند وجود محوري تناظر رئيسين متقاطعين في نقطة ما. سيوجد حتماً محور تناظر ثالث رئيسي يكافئهما، ويمر من نقطة تقاطعهما.

نتيجة(3):

إذا تعامد محور تناظر رئيسي من الدرجة الثانية L_2 مع محور تناظر L_n من المرتبة والمتقاطعة مع بعضها بزاوية $\frac{\alpha}{2}$ حيث $\alpha = \frac{360^\circ}{n}$ يكون عدد محاور التناظر من المرتبة الثانية مساوياً (n).

النظرية (4):

إذا وجد محور تناظر انقلابي (L_{in}) في مستوي (m) أو احتوى المستوي (m) على محور L_2 ويتعامد مع L_{in} كان عدد محاور التناظر من الدرجة الثانية L_2 مساوياً عدد المستويات (m) التي تمر من خلال المحور L_{in}، وتساوي ترتيب المحاور الرئيسية، والمتطابقة مع عدد المحاور L_{in}.

تُعد النظريات الأربع السابقة النظريات الأساسية في علم البلورات.

4-3- فئات التناظر في البلورات:

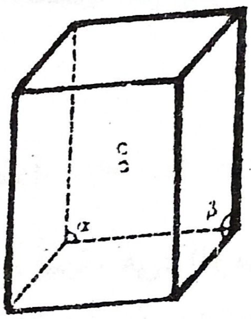
تُصنف البلورات في ثلاث زمر أساسية، هي: (الزمرة الدنيا – الزمرة الوسطى – الزمرة العليا). وتحتوي كل زمرة على فئات تسمى فئات التناظر. تحتوي الزمرة الدنيا على ثلاث فئات والزمرة الوسطى على ثلاث فئات، بينما تحتوي الزمرة العليا على فئة تناظر واحدة فقط. وفيما يلي هذه الفئات بالتفصيل.

4-3-1- فئات الزمرة الدنيا:

تحتوي الزمرة الدنيا على ثلاث فئات هي الفئة الثلاثية الميل، وأحادية الميل، والمعينة المستقيمة، وتتميز بلورات هذه الفئة بعدم وجود محاور تناظر أعلى من الدرجة الثانية، وتضم ثمانية أنماط تناظر موضحة بالجدول (4-1):

1- ثلاثية الميل:

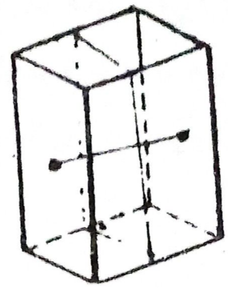
دعيت هذه الفئة بثلاثية الميل لوجود ثلاث زوايا مائلة بين أضلاع متوازي الوجوه الأساسي في الشبكة الفراغية، وتحتوي هذه الفئة على نمطين تناظريين متميزين بوجود محاور تناظر من الدرجة الأولى، حيث يحتوي النمط الأول على محور تناظر من الدرجة الأولى، أما النمط الثاني فيحتوي على مركز تناظر. ويكون الشكل العام لبلورات هذه الفئة عبارة عن موشور مزدوج الميل قاعدتاه عبارة عن متوازيي أضلاع متساويين، أما الأوجه فعبارة عن متوازيي أضلاع في كل منهما وجهين متقابلين متساويان، ويحتوي على مركز تناظر فقط كما هو موضح بالشكل (4-12)، ومن أهم الفلزات التي تنتمي إلى فئة ثلاثية الميل: (آلبيت - $NaALSi_3O_8$)، و(أنورينت - $CaAL_2Si_2O_8$)، و (زودونيت - $MnSiO_3$)، و (كيانيت - AL_2SiO_3).



الشكل (4-12) الشكل العام لبلورات الفئة ثلاثية الميل

2- الفئة أحادية الميل:

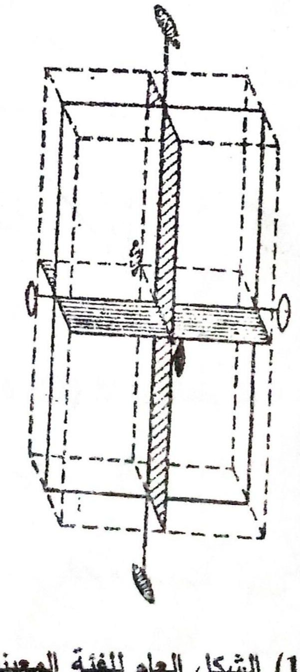
دُعيت بلورات هذه الفئة أحادية الميل بسبب احتوائها على زاوية واحدة مائلة بين أضلاع متوازي الوجوه، وتحتوي على ثلاثة أنماط تناظر، يتميز كل منها بوجود محور تناظر وحيد من الدرجة الثانية، ويكون الشكل العام لبلوراته عبارة عن موشور قاعدتاه معينان متساويان،وتشكل الوجوه متوازيات أضلاع كل اثنين متقابلين متساويان، والشكل العام لبلورة هذه الفئة موضح بالشكل (4-13)، ومن أهم الفلزات التي تنتمي إلى الفئة أحادية الميل: (أورتوكلاز- $KALSi_3O_8$)، (كالك - $Mg_2Si_4O_{10}(OH)_2$).



الشكل (4-13) الشكل العام للفئة أحادية الميل

3- الفئة المعينية المستقيمة:

سميت بلورات هذه الفئة بالفئة المعينية المستقيمة بسبب كون المقاطع العمودية على المحاور الثنائية لها أشكال معينية، وسميت مستقيمة بسبب كون الزوايا بين أضلاع متوازيات الوجوه قائمة. وتحتوي على ثلاثة أنماط تناظر، ويكون الشكل العام لبلوراتها موشور قائم قاعدتاه معينان متساويان، أما الوجوه الجانبية فهي مستطيلات متساوية، والشكل العام لبلورات هذه الفئة موضح بالشكل (4-14)، ومن أهم النموذج الفلزات التي تنتمي إلى هذه الفئة: (أنهدريت - $CaSO_4$)، و(باريت - $BaSO_4$)، و(أراغوانيت - $CaCO_4$).



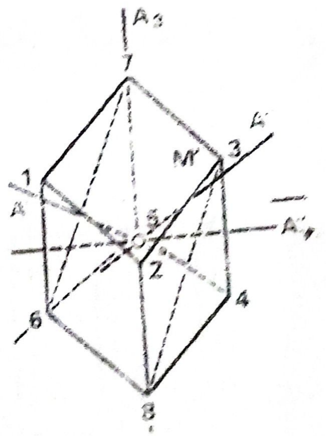
الشكل (4-14) الشكل العام للفئة المعينية المستقيمة

4-3-2- فئات الزمرة الوسطى:

تحتوي الزمرة الوسطى على ثلاث فئات ،هي: الفئة الثلاثية - الفئة الرباعية - الفئة السداسية، وتتميز بلورات هذه الزمرة بوجود محور تناظر رئيسي واحد في كل منها أعلى من الدرجة الثانية، ويعد هذا المحور محوراً رئيساً ،وتضم هذه الزمرة تسعة عشر نمطاً تناظرياً، وهي الآتية:

1- الفئة الثلاثية:

سميت بلورات هذه الفئة بالفئة الثلاثية بسبب كون المقاطع العمودية على المحاور الثلاثية تشكل أشكالاً مثلثية متساوية الأضلاع، وسميت معينة بسبب كون الشكل البسيط العام فيها عبارة عن معيني الوجوه، وتحتوي هذه الفئة على خمسة أنماط تناظر، ويكون الشكل العام لبلورات هذه الفئة عبارة عن مجسم وجوهه معينية متساوية، كما هو موضح بالشكل (4-15)، وأهم الفلزات التي تنتمي إلى الفئة الثلاثية: (الكالسيت - $CaCo_3$)، و (دولوميت - $CaMg(Co_3)_2$) ، و(هيماتيت - Fe_2o_3) ، و(سيديريت - $FeCo_3$).



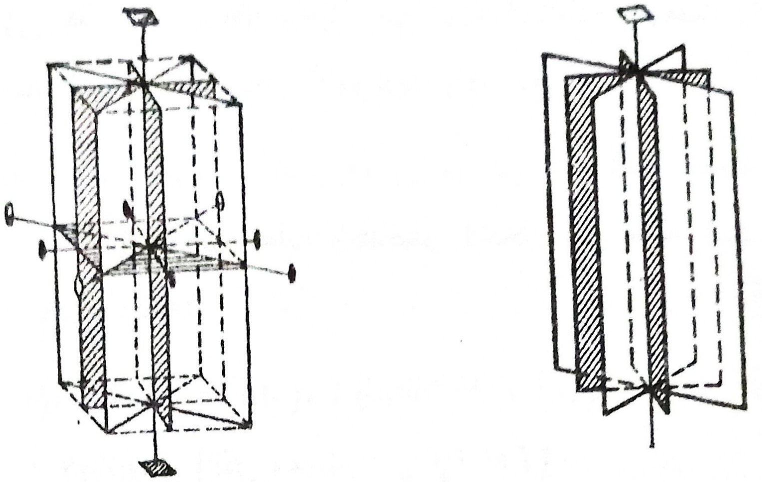
الشكل (4-15) الشكل العام للفئة الثلاثية

2- الفئة الرباعية:

سميت بلورات هذه الفئة بالرباعية بسبب كون المقاطع العمودية على المحور الرئيسي لها شكل مربع منتظم، وتضم هذه الفئة سبعة أنماط تناظرية، يحتوي كل منها على محور من الدرجة الرابعة، الشكل العام لبلورات هذه الفئة عبارة عن موشور قائم

قاعدتاه مربعان متساويان، والأوجه الجانبية عبارة عن أربعة مستطيلات متساوية، موضحة بالشكل (4-16)، وأهم الفلزات التي تنتمي إلى الفئة الرباعية:

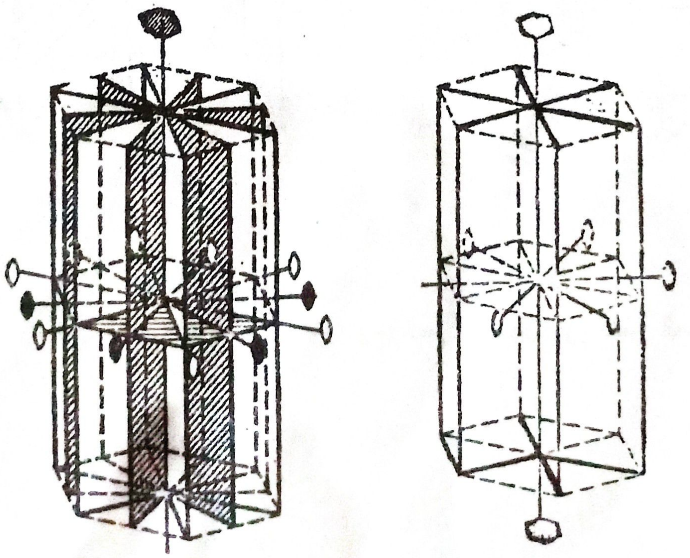
(الزيركون - $ZrSio_4$)، و (الروتيل - Tio_2)، و (الكالكوبيريت - $CaFes_2$).



الشكل (4-16) الشكل العام للفئة الرباعية

3- **الفئة السداسية**:

سُميت بلورات هذه الفئة بالسداسية بسبب كون مقاطعها العمودية على المحور الرئيسي تأخذ أشكالاً سداسية الأضلاع، والشكل العام لبلوراتها عبارة عن موشور قاعدتاه مسدسان متساويان، والأوجه الجانبية عبارة عن مستطيلات متساوية ، موضحة بالشكل (4-17). وتحتوي على سبعة أنماط تناظر.



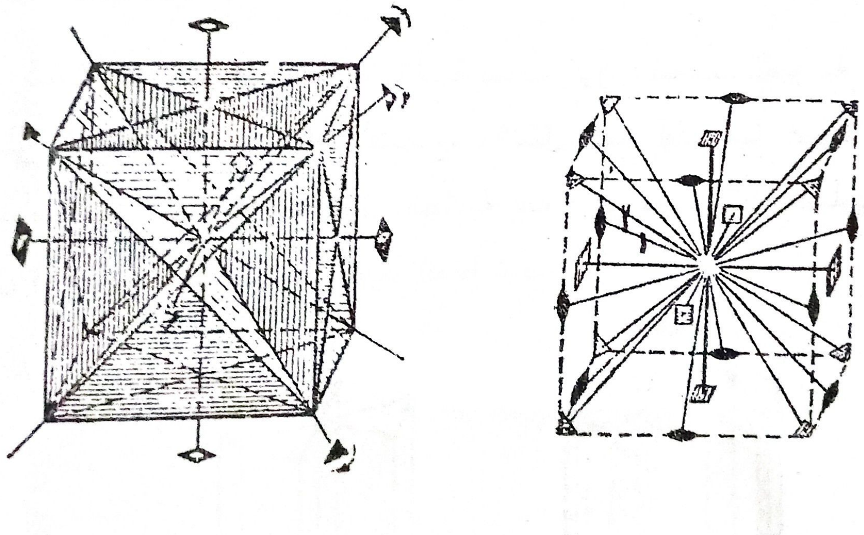
الشكل (4-17) الشكل العام وعناصر التناظر من الفئة السداسية

ومن أهم الفلزات التي تنتمي إلى الفئة السداسية، (الغرافيت – C)، و (البيريل – $Be_3AL_2Si_6O_{18}$)، و (البيروتيت – $Fe_{10}S_{11}$).

4-3-3- الزمرة العليا:

ينتمي إلى هذه الزمرة فئة وحيدة هي الفئة المكعبية وسميت بالمكعبية لوجود شكل مكعب بسيط في كل نمط تناظر لبلوراتها، وهو مجسم له ستة وجوه مربعة متساوية، ويوجد في هذه الفئة خمسة أنماط تناظر. يوضح الشكل (4-18) الشكل العام، وعناصر التناظر في الفئة المكعبية، ومن أهم الفلزات التي لها بنية مكعبية:

(الألماس– C)، و(الذهب– Au)، و(الهاليت– $Nacl$)، و(الفلور يد – CaF_2)، و (السفاليريت – ZnS)، و (الكر وميت – $FeCr_2O_4$).



الشكل (4-18) الشكل العام، وعناصر التناظر في الفئة المكعبية

4-5- الرموز العالمية لعناصر التناظر في الفئات البلورية حسب مفهوم العالمين (كيرمان – موكيين):

تم ذكر فئات التناظر في الفقرة السابقة، ورموز عناصر التناظر فيها، ويمكن كتابة هذه الرموز وفق المصطلحات العالمية أي وفق مفهومي العالمين (كيرمان – موكيين) وفق الآتي:

$\bar{1}-C$	$1-L_1$
$m(\bar{2})-m$	$2-L_2$
$\bar{3}(3+\bar{1})-L_{i3}$	$3-L_3$
$\bar{4}-L_{i4}$	$4-L_4$
$\bar{6}(3\perp m)-L_{i6}$	$6-L_6$

إذا كان محورا لتناظر المزدوج الترتيب عمودياً على مستوي التناظر يعبر عنهما بالرموز $\left(\frac{6}{m}, \frac{4}{m}, \frac{2}{m}\right)$، وإذا كانت المحاور متوازية مع مستويات التناظر يعبر عنها بالرموز $(2m,3m,4m,6m)$. وإذا كانت المحاور التناظرية المختلفة متعامدة (ما عدا في الفئة المكعبية) يُعبر عنها بالرموز 62,42,32,22. إن الرموز العالمية لعناصر التناظر في الفئات البلورية موضحة بالجدول (4-4) يُلاحظ من الجدول الأتي: تبدأ أنماط التناظر في الزمرة الوسطى بالمحور الرئيسي منها، أما في الزمرة العليا فيكتب دوماً في البداية المحور ذو الترتيب الأعلى، فمثلاً يكتب في الزمرة المكعبية في البداية محور الدرجة الرابعة وبعده محور الدرجة الثالثة وهكذا ....

أي يوضح الجدول (4-4) الرموز العالمية لمجموع عناصر التناظر بشكلها المختصر والكامل في الفئات البلورية، وهي مشتقة من النظريات الأربع الأساسية في علم البلورات، إذاً بشكل أساسي لمعرفة الرموز العالمية ولقراءتها وفق مفهوم العالمين (كيرمان – موكيين) يجب معرفة النظريات الأساسية الأربع السابقة بشكل جيد.

الجدول (4-4) الرموز العالمية لمجموع عناصر التناظر بشكلها المختصر والكامل في الفئات البلورية:

البنية البلورية	مجموع عناصر التناظر	الرمز بشكل كامل	الرمز بشكل مختصر
ثلاثية الميل	—	1	—
	T	C	—
أحادية الميل	L_2	2	—
	m	m	—
	L_2Cm	$2/m$	—
المعينية	$L_2 2m$	$2mm$	mm
	$3L_2$	222	22
	$3L_2C_3m$	$2/m\ 2/m\ 2/m$	mmm
الرباعية	L_4	4	—
	L_{i4}	$\bar{4}$	—
	L_4Cm	$4/m$	—
	$L_{i4}2L_2 2m$	$\bar{4}2m$	$\bar{4}m$
	$L_4 4m$	$4mm$	$4m$
	$L_4 4L_2$	422	42
	$L_4 4L_2C_5m$	$4/m\ 2/m\ 2/m$	$4/mm \cdot 4/mmm$
الثلاثية	L_3	3	—
	L_{i3}	$\bar{3}$	—
	$L_{i3}3L_2 3m$	$32/m$	$\bar{3}m$
	$L_3 3m$	$3m$	—
	$L_3 3L_2$	32	—

—	6	L_6	السداسية
—	$\bar{6}$	L_{i6}	
—	$6/m$	L_6Cm	
$\bar{6}m$	$\bar{6}2m$	$L_{i6}3L_23m$	
$6m$	$6mm$	L_66m	
62	622	L_66L_2	
$6/mm$, $6/mmm$	$6/m\ 2/m\ 2/m$	L_66L_2C7m	
—	23	$3L_24L_3$	المكعبية
$m3$	$2/m3$	$3L_24L_3C3m$	
—	$\bar{4}3m$	$3L_{i4}4L_3C6m$	
—	432	$3L_44L_36L_2$	
$m3m$	$4/m\ 32/m$	$3L_44L_36L_2C9m$	