



مذكرة مقدمة الجوامد

لطلاب الفرقة الثالثة تربية عام
شعبة فيزياء

د / انشراح محمد سعد

الباب الاول

Crystal Structure دراسة التركيب الداخلي للفلزات

الباب الثاني

Crystal Symmetry تماثل البلورة

الباب الثالث

Bonds in Solids الروابط في الجوامد

الباب الرابع:

Crystal Defects العيوب البلورية

الباب الخامس

طرق الكشف عن التركيب البلوري

الباب الاول

مقدمة عن دراسة التركيب الداخلي للفلزات Crystal Structure

كما هو معروف إن المادة تنقسم إلى ثلاث حالات هي :

(الصلبة – السائلة – الغازية) ومن المعروف أن الحالة الغازية يكون فيها الجزيئات والمسافات البنية بين الجزيئات كبيرة جدا بحيث لا يكون هناك ترابط الجزيئات لذلك فإنها تنشر في الجو وتشغل أي حيز وعلى ذلك تكون الجزيئات بعيدة عن بعضها البعض .

في الحالة السائلة ليس لها أشكال محددة وإنما تشكل بشكل الوعاء الذي يحويها وتحدي النوى الموجودة بين الجزيئات عن حركتها وتكون هذه النوى عادة كبيرة إذا ما قورنت بالحالة الغازية وتعتبر درجة الغليان من أهم ما يميز المواد السائلة وهي الدرجة التي يتساوى عندها الضغط البخاري المشبع للسائل مع الضغط الواقع عليها .

أما الحالة الصلبة فلها أشكال وإحجام مختلفة ولا تتأثر حجوما كثيرا بتغيرات الحرارة والضغط وتعتبر درجة الانصهار من أهم ما يميز المواد الصلبة وذلك لان قوى الترابط التي تربط بين الجزيئات كبيرة جدا عن السوائل والغازات لذلك فهذه القوى هي المسؤولة عن تماسك الحجم الصلب . ومن المعروف أن معظم الفلزات تأخذ الحالة الصلبة (جامد) وان معظمها

لها شكل بلوري لذا كان من المهم أن أقوم بدراسة مبسطة عن تركيب المادة الصلبة . تصنف الجوامد (الحالة الصلبة إلى نوعين رئيسيين)

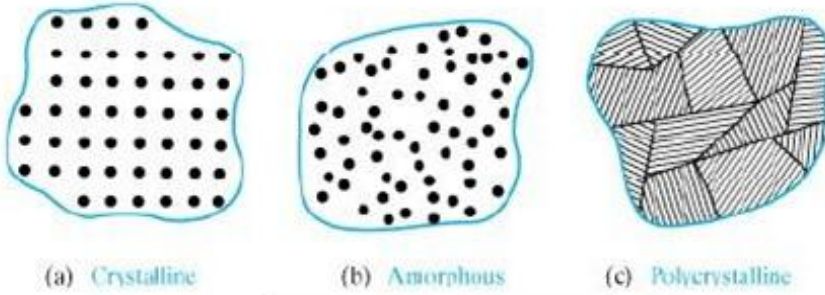
١ - ١ الجوامد البلورية Crystal Solids :-

وفيها ينتظم ترتيب الذرات في الفراغ بحيث تشكل نمطا هندسيا دوريا . بحيث يكون محيط وبيئة كل ذرة مشابهين تماما لمحيط وبيئة أي ذرة أخرى في هذه البلورة . فنجد ، مثلا ، أن بلورة من النحاس طولها 1 cm تحتوى في أي اتجاه على حوالي 30.000.000 ذرة من النحاس موزعة بطريقة دورية متكررة . وعندما ينتشر هذا النمط الدوري ليشغل كل أجزاء المادة ، فإننا نطلق عليها اسم بلورة وحيدة (Single Crystal) . أما إذا توقف إطراد دورية النمط الهندسي عندما يسمى بتخوم ، أو حدود الحبيبات (Grain – Boundaries) فإن المادة حينئذ تكون " متعددة البلورات " poly - Crystalline ، أي تتكون من مجموعات صغيرة جداً من الحبيبات أو البلورات الأحادية الصغيرة في اتجاهات مختلفة .

أن الحالة البلورية هي الحالة الطبيعية لغالبية المواد الصلبة نظراً لأن طاقة التركيب الذري المنتظم تكون أقل من الطاقة عند توزيع الذرات بشكل غير منسق ، وعموماً فإنه إذا لم تتح الفرصة للمادة لتوزيع ذراتها بطريقة منتظمة عن طريق منع هذه الذرات من الحركة ، فإنه يتم تكوين مادة زجاجية غير متبلورة.

١- ٢ الجوامد غير البلورية Noncrystalline Solids :-

تضم المواد الصلبة التي تتخذ ذراتها ، أو جزيئاتها ، توزيعا عشوائياً ، حيثما يتسنى لها ، عندما تتحول من الحالة المائعة (الغازية أو السائلة) الى الحالة الصلبة وتوصف هذه الجوامد اللابلورية أيضا بانها (لاشكلية) ، أو (أمورفية) Amorphous ، بمعنى أنها لاتتخذ شكلا مميزا ، كما توصف بأنها (زجاجية) Vitreous , Glassy ، نظرا لانها تتشابه مع الزجاج في عشوائية ترتيب الذرات . انظر شكل (1-1) .



(a) Crystalline

(b) Amorphous

(c) Polycrystalline

اكتمل لاجل (5): ت البنطور

مثال ذلك الكربون " الزجاجي " الناتج عن عملية التحلل عند درجات حرارة منخفضة ، وبعض البوليمرات (Polymers) تتكون من عدد كبير جدا من الجزيئات غير المتناسقة مما يجعل تركيبها البلوري صعب التكوين ، وفي حالات أخرى ، يتعرض السائل إلى تبريد مفرط (Supercooling) ، مما يؤدي إلى تجمد السائل على نمط توزيعه غير الدوري نفسه وتحوله بهذا الشكل إلى الحالة الصلبة . والأسباب التي تؤدي إلى وجود هذه الظاهرة في

الطبيعة هي فرط التبريد وسرعته واللزوجة العالية للسائل ، مما لا يتيح الفرصة للبلورة أن تتكون ويؤدي ذلك إلى تكون مادة صلبة زجاجية .

يتحول كثير من هذه المواد عادة إلى الحالة البلورية عند تعرضها لعملية التليين (Annealing) ، وهي عملية تسخين ثم تبريد بطى منتظم ، وتؤدي ، إضافة إلى التبلور ، إلى تحسين البناء البلوري وتقليل العيوب فيه .

١ - ٣ التركيب البلوري

يستخدم في لغة علم البلورات عدد من المفاهيم والمصطلحات التي تساعد على وصف وتحليل التركيب البلوري الداخلى للمادة . وسنقدم بعض التعريفات الأساسية لأهم المفاهيم والمصطلحات البلورية .

١-٣-١ الشبكة البلورية Crystal Lattice :-

هي نوع من التمثيل الرياضي لنمط ترتيب الوحدة البنائية الأساسية للمادة البلورية . ويتم هذا التمثيل بعدد لا نهائي من النقاط الهندسية المرتبة ترتيباً شبيكياً متوازياً يتميز بالتماثل والتكرار المنتظم (الدورية) في الفراغ . لذلك فإن الإهتمام في التصوير البلوري ينصب على الخواص الهندسية أكثر من الخواص التي تنتج من الذرات الحقيقية المكونة للبلورة ، ولذلك فإننا نستطيع استبدال الذرة بنقطة هندسية تقع في موضع الإتزان الأصلي للذرة ، وعلى هذا الأساس يكون تعريف الشبيكية كما يلي : هي عدد لا متناه من النقاط الموزعة في الفضاء على نمط منظم دوري . ومن تعريف الشبيكية

يتضح أن لها خاصية مميزة تؤدي إلى أن البيئة المحيطة بأي نقطة A مثلا مماثلة تماما للبيئة المحيطة بأي نقطة اخرى.

١-٣-٢ القاعدة Basis :-

إن النقاط الرياضية الموزعة في الشبكية لا تمثل حقائق مادية ملموسة . ومن الواضح أن البلورة المنتاسقة الترتيب والتميزة بالدورية والتكرار ترتبط ارتباطا ماديا بتوزيع الذرات في داخلها . ومن هذا المنطلق فإنه ينبغي أن نقرن كل نقطة من نقاط الشبكية بقاعدة من الذرات المادية حتى تستكمل البلورة مكوناتها الطبيعية . إن كل قاعدة من هذه القواعد متشابهة في التركيب والترتيب والاتجاه مع القواعد الأخرى .

ومن الممكن للقاعدة أن تحتوي على ذرة واحدة ، كما هو الحال في بلورات النحاس والذهب والفضة والغازات الخاملة . كما يمكن للقاعدة أن تحتوي على عدد كبير من الذرات قد تربو على الألف ذرة ، كما هو الحال في المواد الكيميائية والبيولوجية والكيمائيات العضوية .

ونخلص مما سبق إلى أن التركيب البلوري يتكون عندما يتم ربط قاعدة من الذرات بكل نقطة من نقاط الشبكية . فتكون العلاقة المنطقية هي :

الشبكية الفراغية + الوحدات الأساسية (القواعد) = التركيب البلوري

يوضح شكل (١ - ٢) تكوين التركيب البلوري عند إضافة قاعدة إلى كل

نقطة من نقاط الشبكية .

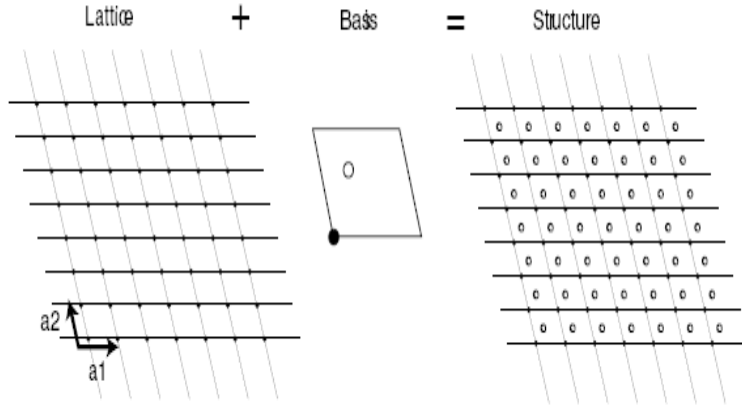


Figure 3: Lattice, basis, and structure for the 2-D oblique surface net.

- وفي أبسط التركيبات البلورية توجد ذرة واحدة لكل نقطة شبكية، كما هو الحال في بلورات النحاس والذهب والفضة،
- وقد تكون الوحدة البنائية الأساسية (أو القاعدة) مجموعة من الذرات، ويشترط حينئذ أن تكون الوحدات البنائية متطابقة في تركيبها وترتيبها وتوجيهها .
- وتتركب البلورة المثالية من وحدات بنائية أساسية مرتبة على شبكة بلورية فراغية (ثلاثية الأبعاد) بحيث يبدو هذا الترتيب عند النظر إليه من نقطة شبكية ذات متجه موضع \vec{r} هو نفسه عند النظر إليه من نقطة أخرى \vec{r}'

$$(\vec{r}' - \vec{r})$$

$$\vec{r}' = \vec{r} + \vec{T} \quad \text{طبقاً للمعادلة:}$$

ويعرف المتجه الانتقالي T (Translation Vector) الذي يصل بين

أي نقطتين في الشبكة

$$T = n a + n b + n c$$

حيث c, b, a تسمى "المتجهات الانتقالية الأساسية" (Fundamental

Translation Vector وهي محددة وثابتة في أية شبكة بلورية

وتمثل n_1, n_2, n_3 أعداداً صحيحة اختيارية تعتمد على موضع النقطة

الشبكية

١- ٣- ٣- ٣ خلية الوحدة (الخلية الأولية) Unit Cell :

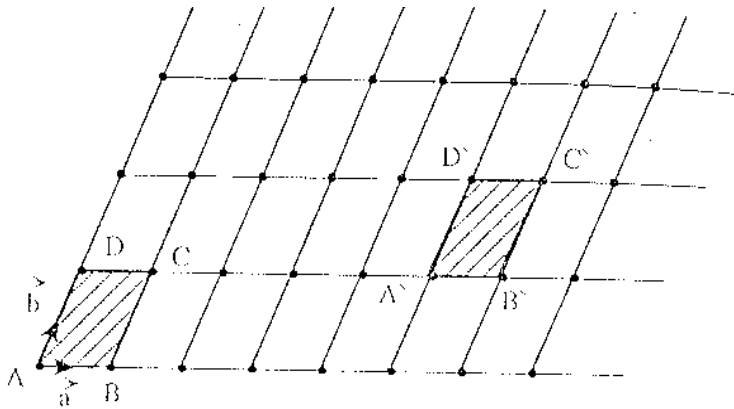
يفيد مفهوم الشبكة البلورية كثيراً في دراسة الاحتمالات المختلفة

لتنظيم الذرات داخل البلورات وفق ما يعرف بقوانين الهندسة البلورية . وقد

يكون مناسباً في بعض الأحيان - على سبيل التبسيط - أن تكون الأمثلة

التوضيحية أقرب إلى الفهم والاستيعاب في حالة شبكية أحادية البعد ، أو

شبكية في بعدين ، ثم يجرى التعميم بسهولة لحالة الشبكة البلورية الفراغية



(ثلاثية للابعاد) .

والتي سنتعرض

لها بالتفصيل فيما

بعد .لنأخذ في

الاعتبار بلورة

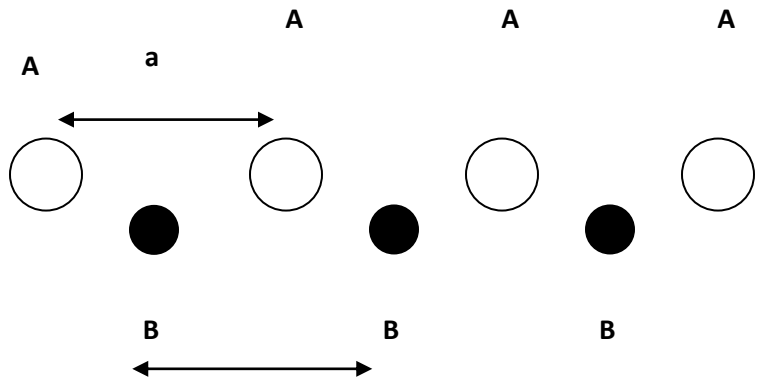
ثنائية البعد وذراتها موزعة حسب النمط الموضح في شكل (١ - ٣).
يبدو جلياً من الرسم أن نقاط الشبكة (A , B , C , D) تكون رؤوس
متوازي أضلاع (ABCD) . وأنها إذا نقلناه عبر البلورة باستعمال
المتجهين \vec{a} ، \vec{b} ، فإننا سنحصل في النهاية على التركيب البلوري
الخاص بهذه البلورة .

ولقد أطلق اسم (خلية الوحدة) على (ABCD) نظراً لكونه
الوحدة الأساسية التي بتكرارها في الفراغ يتم بناء البلورة المعنية .

١ - ٤ الشبكيات المختلفة Lattices

١ - ٤ - ١ الشبكة البلورية في بعد واحد One-Dimensional Lattice
إذا رتبنا مجموعة من الذرات المتماثلة (A) في شكل خط مستقيم
بحيث تقع هذه الذرات على أبعاد متساوية عن بعضها البعض فنحصل على
شكل هندسي منتظم فيه المسافة بين كل ذرتين متتاليتين متساوية وتسمى
بالمسافة الدورية . فإذا ما حركت هذه المجموعة من اليمين أو من اليسار
بمسافة دورية واحدة فإن الشكل العام لهذا الترتيب لن يتغير ، فقط تنقل
الذرات إلى اليمين أو إلى اليسار بحيث تقع كل ذرة مكان الذي كانت تشغله
سابقاً الذرة المجاورة لذلك نقول أن الترتيب العام للذرات لم يتغير ويسمى
المتجه الذي تحركت به الذرات بمتجه الإزاحة .

فإذا ما وضعت ذرات مماثلة بين كل ذرتين وفي منتصف المسافة بينهما فإن المسافة الدورية تقل إلى النصف وإذا وزعت مجموعة من الذرات (B) مختلفة عن المجموعة السابقة (A) بحيث تقع كل ذرة من الذرات (B) بين ذرتين من المجموعة (A) كما يتضح من شكل (١ - ٤) ، فإن المسافة بين ذرتين متتاليتين يجب أن تساوي المسافة بين كل ذرتين متتاليتين (A , B) هذا التمثيل يعطي تمثيلاً للشكل البلوري في بعد واحد .
والمكان الذي تتواجد به الذرات يسمى بعقد الشبكة البلورية .



١-٤-٢ شبكة برافيس ثنائية البعد Bravais Two – Dimensional

Lattices

إذا ما أضيف إلى الصف السابق مجموعة أخرى من الذرات تقع في صفوف متوازية أعلى وأسفل الصف الأول موزعة فيها الذرات بناء على

نظام دوري بحيث تقع كل ذرة أعلى وأسفل جيرانها بشكل دوري فإن هذه المجموعة تكون ما يعرف بشبكية بلورية في بعدين (ثنائية البعد) .

يبرز من تعريف الشبكية شرط رياضي (العلاقة ١-١) يجب تحقيقه وله قيوده وتأثيراته بحيث إننا لو أخذنا في الاعتبار شبكيات من النقاط الموزعة في اتجاهين فقط ،فإن ذلك سيقضي منا ضرورة الالتزام بخمس شبكيات أساسية ممثلة بخلايا وحدة حتى تكوّن بلورة كاملة دون فجوات .

في شكل (١ - ٥) تبرز الاحتمالات الممكنة لخلايا الوحدة في شبكيات برافيه

١ - الضلعان AB, BC ليس متساويان في الطول كما في الزاوية (ABC)

٨

ليست قائمة $(a \neq b, \neq 90)$

٢ - الضلعان AB, CB متساويان في الطول والزاوية (ABC) قدرها 120

Hexagonal ($a=b, =120$)

٣ - خلية الوحدة مربعة $a=b=90$ Square

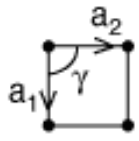
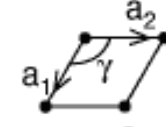
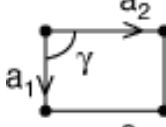
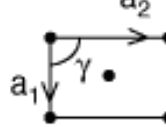
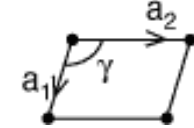
٤ - الشبكية في حالة مستطيلة وتوجد نقاط للشبكية على الأطراف

Rectangular $a \neq b = 90$

٥ - الشبكية مستطيلة ولكن يوجد نقطة في وسط المستطيل بالإضافة إلى

النقاط التي على الأطراف وتسمى متمركزة الوجه Rectangular

centered ($a \neq b, =90$)

	square	$a_1 = a_2$	$\gamma = 90^\circ$
	hexagonal	$a_1 = a_2$	$\gamma = 120^\circ$
	rectangular	$a_1 \neq a_2$	$\gamma = 90^\circ$
	centered rectangular	$a_1 \neq a_2$	$\gamma = 90^\circ$
	oblique	$a_1 \neq a_2$	$\gamma \neq 90^\circ, 120^\circ$

Fig(٥ - ١)

ومن الممكن في هذا المقام أن نوضح أن الشبكيات الخمس المذكورة هي في الواقع الشبكيات الوحيدة الموجودة في الحالة ثنائية البعد ويطلق عليهما اسم شبكيات برافيس ثنائية البعد .

١ - ٤ - ٣ شبكيات برافيس ثلاثية الأبعاد Bravais Three-Dimensional

Lattices

إذا ما أزيحت شبكية مستوى (في بعدين) بزواوية تختلف عن صفر في اتجاه لا يقع في مستوى الشبكية يؤدي هذا إلى ما يسمى بالشبكية الفراغية أو الشبكية ثلاثية الأبعاد .

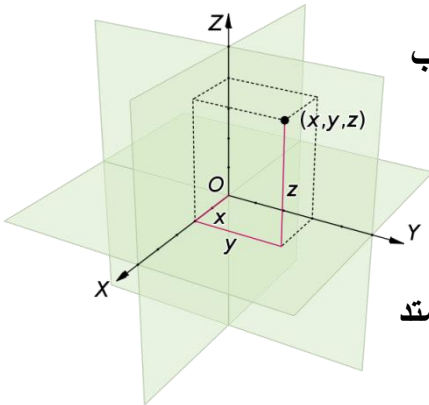
ومن تعريف الشبكة البلورية المجسمة فهي عبارة عن مجموعة من
النقط مرتبة ترتيباً شبكياً متوازياً تتميز بأن ما يحيط بأي نقطة فيه يناظر
تماماً ما يحيط بنقطة أخرى ويوصف الشكل الهندسي للشبكات ثلاثية الأبعاد
بثلاثة متجهات a, b, c أو ثوابت الشبكية البلورية a, b, c بالإضافة إلى
الزوايا البينية (α, β, γ) .

صنف العلماء البلورات إلى سبع مجموعات أو فصائل بلورية استناداً إلى
المحاور البلورية وتعرف المحاور البلورية بخطوط وهمية تتقاطع في مركز
البلورة وتمتد إلى وسط الأوجه أو الأحرف أو الزوايا الركنية المتناظرة في
البلورة . ويعتمد التمييز بين هذه الفصائل على الصفات التالية للمحاور

١ - عدد المحاور البلورية :

ويكون عددها غالباً ثلاثة محاور باستثناء السداسي والنظام الثلاثي يكون
عددها أربعة محاور وهذه المحاور هي :

أ- المحور (X) (a-axis) أفقي ممتد من الأمام إلى الخلف بالنسبة



لماسك البلورة ويعتبر طرفه الأمامي موجب

الإشارة (+) وطرفه الخلفي سالب الإشارة

. (-)

ب- المحور (Y) (B-axis) وهو محور أفقي ممتد

من اليمين إلى اليسار بالنسبة لماسك البلورة ويعتبر طرفه الأيمن

(+) موجب وطرفه الأيسر (-) سالب الإشارة .

ج- المحور (z) (c-axis) وهو محور راسي ممتد من اعلي إلى أسفل

ويعتبر طرفه العلوي (+) موجب أما طرفه السفلي (-) سالب الإشارة .

٢- الزوايا المحورية :

تتقاطع المحاور البلورية في مركز البلورة وتحصر فيما بينها زوايا تعرف

بالزوايا المحورية ويرمز للزاوية المحصورة بين المحور X والمحور Y

بالزاوية جاما ويرمز لها (γ) أما الزاوية الناتجة عن تلاقي المحور (X)

والمحور (Z) فهي الزاوية بيتا ويرمز لها (β) وينتج عن تلاقي المحور

(Z) مع المحور (Y) زاوية تسمى ألفا ويرمز لها (α) .

١- أطوال المحاور :

تتساوى المحاور البلورية الثلاثية في الطول في بعض الفصائل البلورية وفي

فصائل أخرى يتساوى اثنان فقط وفي بعض تختلف المحاور البلورية الثلاثة

في الطول . والخلية البدائية هي تلك الوحدة التي لها أقل حجم وتختار بشرط

أن تقع نقط الشبكية عند أركانها أو بمعنى آخر هي تلك الوحدة التي لا

تحتوي على ذرات إلا عند الأركان الثمانية .

ولقد أمكن تصنيف البلورات على أساس الأشكال المحتملة لخلية الوحدة

وعناصر تماثلها التي تحقق شروط الشبكية البلورية .

ولقد صنف العالم برافيه الشبيكات البلورية إلى أربعة عشر شبكية موزعة على سبعة أنظمة معروفة في البلورات ، Crystal Systems ، ويعتمد هذا التصنيف على مواصفات معينة ترتبط بأبعاد خلايا الوحدة (ثوابت أو بارامترات الخلية) (Lattice Constants or Parameters) . والنظم البلورية السبعة محددة بعدد الطرق الممكنة لترتيب النقاط الشبكية بحيث تكون البيئة المحيطة بأي نقطة منها مماثلة تماما للبيئة المحيطة بأية نقطة أخرى تكون " شبكية برافيه " بسيطة إذا كانت نقاطها عند الأركان فقط ويرمز لها بالرمز (s) وعندما تشتمل على نقاط إضافية في مواضع خاصة بأنها تكون ممرضة الأوجه (F) وممرضة الجسم (B) أو ممرضة القاعدة (C) . وهذه الأنظمة هي :

١ - فصيلة المكعب Cubic System:

يشمل هذا النظام جميع البلورات التي لها ثلاثة محاور متساوية . وبما أن المحاور الثلاث متساوية فإنه لا يمكن تمييز احدهما عن الآخر ولذلك يرمز جميعا بالرمز ($a_3 = a_2 = a_1$) تكون المحاور البلورية متعامدة أي (90°) $(\alpha = \beta = \gamma)$ وتعتبر البلورات هذه الفصيلة أكثر البلورات تناسقا وتماثلا . وينتمي إلى هذا النظام معظم بلورات الكبريتيدات والهاليدات والاكاسيد وعلى سبيل المثال معدن الجالينا (pbs) البيراييت (fes) والهاليت (Na Cl)

والفلورايت (Ca Fe) والماس (C). ولها ثلاثة أشكال مهمة جدا وهي المكعبة البسيطة (simplecubic(SC)) مثل (Na,K,Li) ثم المكعبة المركزية وتعني وجود ذرة في مركز المكعب (Body-Centered Cubic(BCC)) مثل (Fe,Cr,v,Ba)، ثم المكعبة مركزية الوجوه (Face-Centered Cubic(FCC)) مثل (Al,Cu,Ag,Au).

٢- فصيلة الرباعي : Tetragonal System

وتشمل هذه الفصيلة جميع البلورات التي لها ثلاثة محاور بلورية المحوران الأفقيان متساويان في الطول ويرمز لها بالرمز $b_2 = a_1$ أما المحور Z فقد يكون أطول أو أقصر منهما أي أن : $(c \neq b=a)$ وتكون المحاور البلورية الثلاثة متعامدة أي أن $(90=\gamma=\beta=\alpha)$

وتكون المحاور البلورية الثلاثية متعامدة أي أن $(90=\gamma=\beta=\alpha)$.

وتمسك البلورة الرباعية بحيث يكون المحور الراسي (z) دائما محور رباعي التماثل. ومن المعادن الشائعة معدن كاسيتريت SnO_2 ومعدن روتايل TiO_2 ومعدن الزركون $ZrSiO_4$. ولها شكلين بسيط ومركزية متوازية السطوح مثل (KH₂PO₄).

٣- فصيلة المعين القائم : Orthorhombic System

تتميز جميع بلورات هذه الفصيلة بوجود ثلاثة محاور متعامدة ومختلفة الأطوال أي أن (a لا يساوي b لا يساوي c) و $(90=\gamma=\beta=\alpha)$

وعادة تمسك البلورة بحيث يمون المحور الاطول هو المحور (Z) .
 ومن امثلة هذه المعادن الكبريت المعيني ، بارايت $BaSO_4$
 ارجونيت $CaCO_3$ سلسنتيت $SrSO_4$ التوباز ، اوليفين . ولها اربعة أشكال
 بسيط، مركزي القاعدة،مركزي متوازي السطوح،مركزي الوجوه مثل
 .($AgNO_3$)

٤- النظام السداسي Hexagonal

تتميز بلورات هذه الفصيلة بوجود اربعة محاور بلورية ، ثلاثة منها
 متساوية في الطول وتقع في مستوى أفقي اما المحور الرابع الراسي (Z)
 والعمودي على مستوى المحاور قد يكون اقصر او اطول من المحاور
 الافقية ($a_3 = a_2 = a_1$) ولا يساوي C وتقاطع المحاور الثلاثية الأفقية في
 زوايا متساوية قيمة كل منها 120 ($\alpha = \beta = 90$, $a=b \neq c$) وتمسك
 البلورة السداسية بحيث يكون المحور الراسي (Z) دائما محور سداسي
 التماثل (دوراني) وتتبع هذا النظام عدة معادن مثل الكوارتز SiO_2 الزمرد
 ، الجرافيت ، الاباتيت . ولها شكل واحد مثل (Zn, SiO_2) .

٥- فصيلة الثلاثي : Trigonal System

فصيلة السداسي لهما نفس العدد من المحاور البلورية . فقد يوجدان في
 نفس الفصيلة البلورية الا اختلاف البناء الذري الداخلي لهما فان المحور
 الراسي (Z) يكون في بلورة السداسي التماثل ، ويكون ثلاثي التماثل في

فصيلة السداسي وبلورات الثلاثي بلا تحتوي مستوى تاماثل افقي بالمررة .
لذلك تم فصل دراستها عن بعض . تشترك بلورات هذه الفصيلة مع بلورات
السداسي بالتشابه في عدد المحاور البلورية والنسبة بين اطوالها وقيمة
الزاوية المحورة . تظهر بلورة فصيلة الثلاثي كمكعب مائل الاوجه حيث ان
الاحرف تكون متساوية الطول والزوايا غير قائمة ($a=b=c$) ، ($\alpha = \beta = \gamma$)
90 \neq) ومن امثلة المعادن المعادن التي تتبع الفصيلة . دولوميت ، CaMg
(Co₃) التورمالين ، سيديرت FeCO₃ . ولها شكل واحد مثل (CuCO₃) .

٦- فصيلة أحادي الميل : Monoclinic System


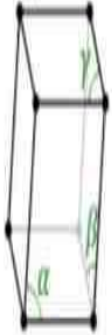

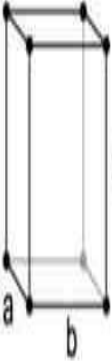

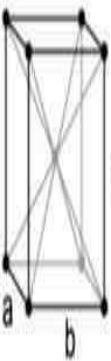
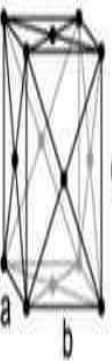



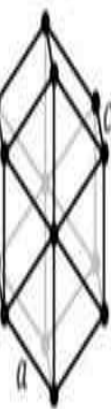



تتميز بلورات هذه الفصيلة بوجود محاور مختلفة الأطوال ($a \neq b \neq c$)
ويتعامد المحور y مع المحور الراسي (z) اما المحور (X) فيميل الى الامام
بالاتجاه الى ماسك البلورة . أي ان ($\alpha = \gamma = 90$) والزاوية β منفرجة اكبر
من 90 وتعرف بالزاوية الموجبة أما الزاوية β الحادة فتعرف بالزوايا
السالبة وتختلف قيمة الزاوية β من معدن لآخر وهذا ما يساعد في التعرف
على المعادن . ومن امثلة المعادن التي تتبع هذه الفصيلة الجبس ،
والملاكايت ، مسكوفيت . ولها شكلين بسيط ومركزي القاعدة
مثل (Na₂CO₃) .

٧- فصيلة ثلاثي الميل : Triclinic System

تتميز البلورات هذه الفصيلة بعدم تساوي المحاور البلورية وعدم تعامدها أي
ان $(a \neq b \neq c)$ $(\alpha \neq \beta \neq \gamma) \neq 90^\circ$.

$(\alpha \neq \beta \neq \gamma) \neq 90^\circ$) ومن امثلة المعادن التي تتبع هذه الفصيلة انورثيت ،
البيت . ويتفرع من النظم البلورية السبعة السابقة نظم بلورة ثانوية متعددة
فمثلا متعددة المكعب له خمس نظم بلورية ثانوية في حين النظام الرباعي له
سبعة نظم بلورية ثانوية . السداسي له سبعة نظم بلورية والذي غالبا ما
يوجد في الطبيعة على شكل الهرم السداسي وهكذا لبقية النظم البلورية عما
بان ٥٠% من مجموع المواد المتبلرة تتبع نظام احادي الميل ، ٢٥%
تتبلور في نظام المعين ، ١٥% تتبع نظام الثلاثي الميل اما النظم البلورية
الاخري فتشكل فقط ١٠% من مجموع المعادن المتبلرة . ولها شكل بسيط
مثل $(\text{CuSO}_4, 5\text{H}_2\text{O})$

ويعطي الجدول (١) الانظمة السبعة لخلية الوحدة و العلاقة بين ثوابت
الشبيكية والزوايا

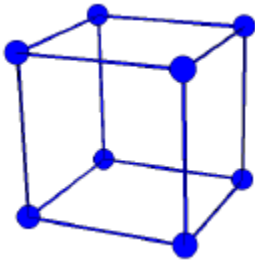
$\alpha, \beta, \gamma \neq 90^\circ$ 	$\alpha \neq 90^\circ$ $\beta, \gamma = 90^\circ$  Centered	$\alpha \neq 90^\circ$ $\beta, \gamma = 90^\circ$  Simple	$a \neq b \neq c$  Simple	$a \neq b \neq c$  Base Centered	$a \neq b \neq c$  Face Centered	$a \neq b \neq c$  Body Centered
Triclinic	Monoclinic		Orthorhombic			
$\alpha, \beta, \gamma \neq 90^\circ$ 	$a \neq c$  Simple	$a \neq c$  Body Centered	$a \neq c$ 	 Simple	 Body Centered	 Face Centered
Rhombohedral	Tetragonal		Hexagonal	Cubic (or isometric)		

ويلخص الجدول (١ - ١) أهم خصائص الشبكيات المكعبة الثلاثة. والشكل يوضح الشبكيات الثلاث .

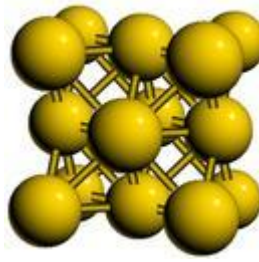
جدول (١ - ١) : خصائص الشبكيات المكعبة

المكعب متمركز الأوجه (Fcc)	المكعب متمركز الجسم (Bcc)	المكعب البسيط (Sec)	الخاصية
a^3	a^3	a^3	حجم خلية الوحدة طول الضلع a
4	2	1	عدد نقط الشبكية (الذرات لكل خلية وحدة
$4 \ a^3$	$2 \ a^3$	$1 \ a^3$	عدد نقط الشبكية لكل وحدة حجم .

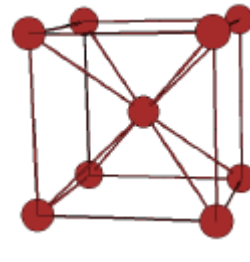
12	8	6	عدد أقرب الجيران (عدد التناسق)
$\sqrt{2} a$	$\sqrt{3} \sqrt{2} a$	a	المسافة لأقرب الجيران .
6	6	12	عدد الجيران التالية .
$a \sqrt{2} \sqrt{4}$	$a \sqrt{3} \sqrt{4}$	$a \sqrt{2}$	نصف قطر الذرة



Simple Cubic



Cubic Close



Body Centered

Packedd

وفيما يلي شرح بعض الخصائص الموجودة في الجدول

١-٥-١ عدد الذرات في كل خلية :

١ - في الخلية المكعبة البسيطة توجد ثمان ذرات عند الأركان الثمانية

كل منها تعد عضوا في الخلايا الثمان المحيطة بالركن ويصبح $8 \setminus 8 = 1$

= عدد الذرات في كل خلية . ويكون حجمها هو : $a^3 =$ الحجم .

٢ - في الخلية المكعبة المتمركزة الجسم توجد ثمان ذرات عند

الأركان الثمانية كما توجد ذرة عند مركز الشبكة ويصبح $8 \setminus 8 + 1 \setminus 1 =$

$2 =$ عدد الذرات في كل خلية .

٣ - في الخلية المكعبة المتمركزة الوجه توجد ثمان ذرات عند الأركان

الثمانية كما توجد ذرة عند مركز كل وجه من اوجه المكعب ، كل منها يعد

عضوا في خليتين على جانبيها ويصبح :

$8 \setminus 8 + 6 \setminus 2 = 4 =$ عدد الذرات في كل خلية .

١-٥-٢ أنصاف أقطار ذرات شبكية بلورية وأحجامها :

بفرض معرفة بارامترات الشبكية البلورية وبفرض أن الذرات كرية

الشكل وأنها تتلامس في الشبكية يمكن حساب كل من :

١- نصف قطر الذرة . ٢ - حجم خلية برافيه .

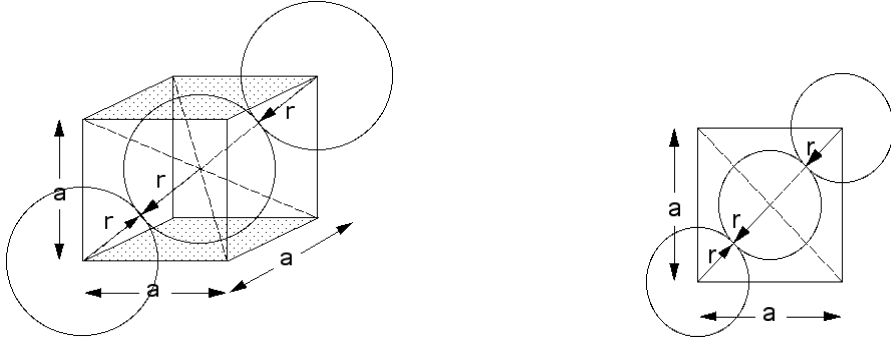


Fig (8 - 1) و Fig (7-1)

من الشكلين (٧ - ١) ، (٨ - ١) اللذين يمثلان الشبكية المكعبة المتمركزة الجسم ، والشبكية المتمركزة الوجه نلاحظ ما يلي :

- في الشبكية المكعبة البسيطة $a = 2r$ وبالتالي يكون $r = a \setminus 2$

- في الشبكية المكعبة المتمركزة الجسم $a\sqrt{3} = 4r$ وبالتالي يكون

$$r = a\sqrt{3} \setminus 4$$

- في الشبكية المتمركزة الوجه $a\sqrt{2} = 4r$ وبالتالي يكون

$$r = a\sqrt{2} \setminus 4$$

١ - ٥ - ٣ رقم التناسق Coordination number

ويقصد به عدد الذرات أو الأيونات التي يرتبط بها عنصر ما مع ذرات

العناصر الأخرى . ويعتمد عدد التناسق علي تكافؤ العنصر **Valency**

Electrons ونصف قطره الذري ونصف قطر العنصر الذي يرتبط به .

فمثلا لتكوين شكل رباعي الأوجه (SiO_4) نجد أن ذرة السليكون تحاط بـ

(٤) ذرات من الأكسجين ، وحيث أن عدد إلكترونات التكافؤ للسليكون (٤) فإنه يحتاج إلى أربع ذرات أحادية التكافؤ أو ذرتين ثنائية التكافؤ ، وبما أن ذرة الأكسجين ثنائية التكافؤ فإن لكل ذرة من ذرات الأكسجين تشارك بإلكترون واحد مع السليكون وبالإلكترون آخر مع ذرة سليكون أخرى وعليه يقال أن عدد تناسق السليكون يساوي (٤) ويعتبر رباعي الأوجه في حد ذاته وحدة بنائية Unit cell والتي بتكرارها تتكون البلورة. ويختلف رقم التناسق من نظام لآخر كما في النظام الواحد من نمط لآخر من أنماط خلايا برافيه الأربعة عشر

١ - ٦ الرص المتراصق Close Packing

إذا اعتبرنا الذرات كرات صلبة متماثلة ومتمركزة حول نقطة الشبكية ، فإنه توجد طريقتان لتضيدها بحيث يكون حجم الفراغات المحصورة بينها أقل ما يمكن . وفي كلتا الطريقتين نبدأ برص الطبقة الأولى (1) بحيث تلامس كل ذرة (كرة) ست ذرات أخرى تحيط بها ، ثم توضع الطبقة الثانية (2) فوق الأولى بنفس الكيفية ، بشرط أن تلامس أى ذرة فيها ثلاث ذرات في الطبقة الأولى ، أى تكون كل ذرة في الطبقة (2) فوق أحد الفجوات في الطبقة (1). ولإضافة الطبقة الثالثة (3) نجد أن هناك احتمالين:

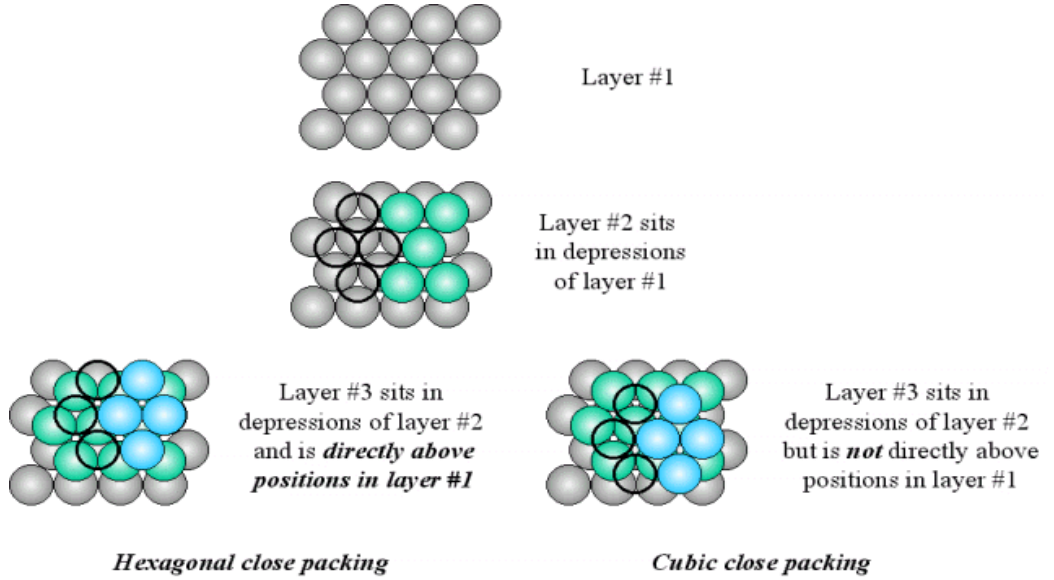


Fig (1 – 9)

أولاً- توضع ذرات الطبقة (3) فوق الفجوات الموجودة في كل من الطبقتين (1) ، (2) ، كما في شكل (9- 1) فتكون الطبقة الرابعة فوق الطبقة 1 تماما ونحصل على الترتيب الفراغي 123، وهذا يؤدي إلى التركيب المكعب متمركز الوجوه (fcc) وهو متلاصق الرص بعدد تناسق = 12 ، ومن أمثلته : النحاس والفضة والذهب والنيكل .

ثانياً : توضع ذرات الطبقة الثالثة فوق الطبقة الأولى تماما ، فيكون الترتيب الذري في الطبقات على هيئة ...1212، وهذا يعطى التركيب السداسي متلاصق الرص (hcp) ، ويتميز بالنسبة

$$1.633 = \sqrt{8 \sqrt{3}} = \frac{c}{a}$$

وعدد التناسق = 12 ومن أمثلته :

الزنك والكاديوم والماغنسيوم. ويعزى لخاصية الرص المتلاصق أن معظم الفلزات تميل إلى أن تتبلور بتنضيد ذرى تكعيبي أو سداسي .

١ - ٧ عامل الرص (عامل التعبئة) Packing Factor

يعرف عامل الرص (F) بأنه أكبر نسبة من الحجم الذى يمكن أن تشغله الذرات الموجودة في خلية الوحدة .

نفترض أن الذرات عبارة عن كرات صلبة متساوية ومتماسية ، أى متلاصقة الرص . فإذا كان عدد الذرات في خلية الوحدة n ، وحجم كل ذرة v ،

ونصف قطرها r ، وطول ضلع المكعب a فإن

$$F = \frac{n \times v}{a^3}$$

بالرجوع إلى الخلايا المكعبة يمكن إيجاد عامل الرص للشبكيات الثلاث كالاتى

$$F_{sc} = \frac{1 \times 4\pi r^3}{3 \times 8r^3} = \frac{\pi}{6} = 0.52$$

$$F_{bcc} = \frac{2 \times 4\pi r^3}{3(4r \sqrt{3})^3} = \frac{\pi \sqrt{3}}{8} = 0.68$$

$$F_{fcc} = \frac{4 \times 4\pi r^3}{3(2\sqrt{2}r)^3} = \frac{\pi \sqrt{2}}{6} = 0.74$$

أمثلة محلولة :

مثال (١) :- يتبلور الحديد ترتيب ذري تكعيبي متمركز الجسم (bcc)
احسب مقدار ثابت الشبكية (طول ضلع الخلية الواحدة a) علماً بأن

$$\rho = 7.94 \text{ g/cm}^3 \text{ كثافة الحديد}$$

$$N_A = 6.07 \times 10^{23} \text{ ووزنه الذري } (\omega) = 55.85 \text{ وعدد أفوجادرو}$$

$$\text{الحل : الكثافة} = \text{كتلة وحدة الحجم} = \frac{\text{كتلة خلية الوحدة}}{\text{حجم خلية الوحدة}}$$

وبما أن عدد الذرات لكل خلية وحدة في بلورة الحديد (n) = 2

$$\rho = \rho = \frac{n\omega}{a^3 N_A} = \frac{2 \times 55.85}{a^3 \times 6.07 \times 10^{23}} = 7.94$$

$$a = \sqrt[3]{\frac{n\omega}{\rho N_A}} = \sqrt[3]{\frac{2 \times 55.85}{7.94 \times 6.07 \times 10^{23}}} = 2.86 \times 10^{-8} \text{ cm}$$

$$= 2.89 \text{ \AA}$$

مثال (٢) :- احسب ثابت الشبكية a في الحالات الآتية :

(أ) شبكية متمركزة الوجه للنحاس إذا كان نصف قطر ذرة النحاس =

$$1.276 \text{ انجستروم .}$$

(ب) شبكية متمركزة الوجه للفضة إذا كان نصف قطر ذرة الفضة =

$$1.441 \text{ انجستروم .}$$

الحل

$$a = \frac{4r}{\sqrt{2}} = \frac{4 \times 1.276}{\sqrt{2}} = 3.08A^\circ \quad (1)$$

$$a = \frac{4r}{\sqrt{2}} = \frac{4 \times 1.441}{\sqrt{2}} = 3.078A^\circ \quad (ب)$$

مثال (غير محلول) : إذا كان نصف قطر ذرة النحاس = 1.276 انجستروم

، وأن خلايا برافيه للنحاس تنتمي إلى نمط الخلية المتمركزة الوجه ، احسب

كثافة النحاس علما بأن الكتلة الذرية للنحاس 63.57

الباب الثاني

٢ - ١ تماثل البلورات Crystal Symmetry

٢ - ٢ إحداثيات ميلر (مستويات البلورة) Miller

Indices

٢ - ٣ تطبيقات على معاملات ميلر

١ - حساب الزاوية بين مستويين بلورين

٢ - المسافة بين المستويات المتجاورة

٢ - ٤ أمثلة لبعض التركيبات البلورية

٢ - ١ تماثل البلورات: Crystal Symmetry

يمكن تصنيف العديد من البلورات في مجموعات معينة بناء على التماثل الخارجية والداخلية . عناصر التماثل الخارجي هي : مركز التماثل - محور التماثل - مستوى التماثل .

عناصر التماثل الداخلي هي : عملية الدوران - عملية الانعكاس - الانقلاب الدوراني - المستوى المنزلق.

اولا : عناصر التماثل الخارجي

ظاهرة التماثل خاصية من خواص المواد وهي تتمثل في التكرار الذي يحدث لوجه أو لحرف أو أكثر عند إدارة البلورة حول محور ما . وللتماثل ثلاثة عناصر :-

١ - مستوى التماثل Plane of symmetry

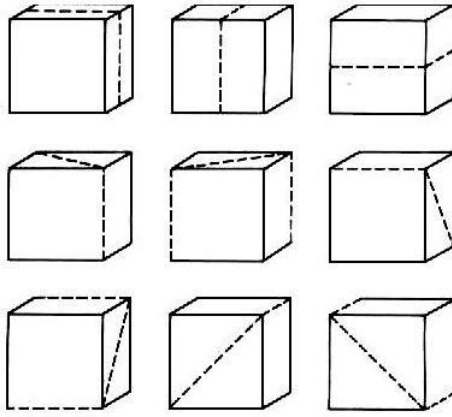
٢ - مركز التماثل center of symmetry

٣ - محور التماثل axis of symmetry

وهذه العوامل قد توجد مجتمعة أو منفردة .

١ - مستوى التماثل Plane of symmetry

هو المستوى الذي يمر بمركز البلورة فيقسمها نصفين متساويين ومتشابهين بحيث يكون إحداهما صورة طبق الأصل للنصف الآخر ويكون هذا محققا لوجود كل ما في النصف الأول في النصف الثاني من احرف او



زوايا مجسمة أو نقاط أو ذرات .

قد يسمى مستوى التماثل بعملية

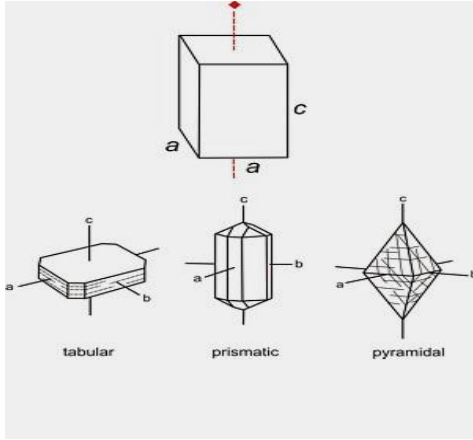
الانعكاس Reflection ويرمز

لها بالرمز (m) ومن الممكن أن

يكون للبلورة الواحدة أكثر من

مستوى تماثل أو لا يوجد على

الإطلاق .



٢ - محور التماثل Axis of Symmetry

هو خط وهمي يمر بمركز البلورة والذي

تدور حوله البلورة حيث يتكرر ظهور وجه

أو أحرف أو الزوايا الركنية مرتين أو أكثر

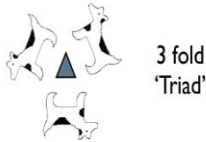
خلال دورة كاملة (٣٦٠) .

ويقال أن البلورة عدد n من محاور الدوران

عندما يعيد الدوران بزواية 360/n البلورة لوضعها الأصلي . إذا كان تكرار



2 fold
'Diad'

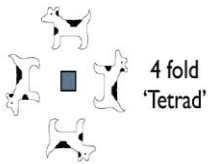


3 fold
'Triad'

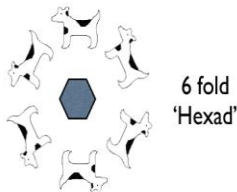
الأوجه المتشابهة مرتين في الدورة

الكاملة أي أن البلورة تعيد الوضع نفسه

كل (١٨٠) ويسمى محور التماثل بأنه

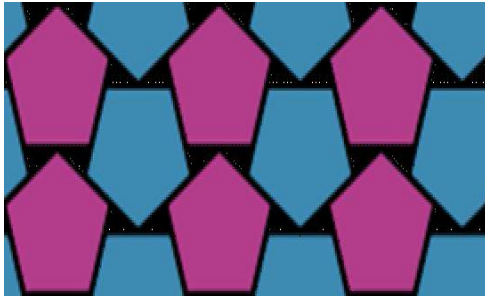


4 fold
'Tetrad'



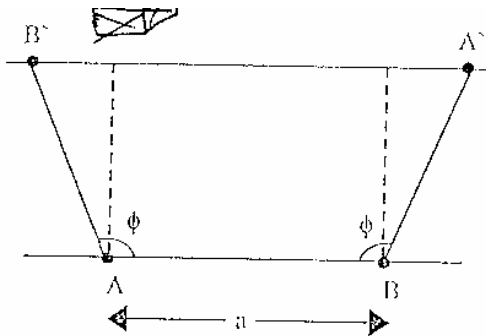
6 fold
'Hexad'

ثنائي ويرمز له بالرمز ● أو بالعدد ٢ . أما إذا تكرر البلورة الوضع نفسه ثلاث مرات في الدورة الكاملة أي كل ١٢٠ حول المحور فعندئذ يسمى ثلاثي التماثل ويرمز له بالرمز ▲ أو بالعدد ثلاثة . وإذا تكرر الوضع الواحد في البلورة أربع مرات في الدورة الكاملة أي كل ٩٠ فان المحور يكون رباعي التماثل ويرمز له بالرمز ■ وبالعدد ٤ . وأخيرا إذا تكرر الوضع الواحد في البلورة ست مرات في الدورة الكاملة أي كل ٦٠ فان المحور سداسي التماثل ويرمز له بالرمز ◆ فإذا كان أكبر من ذلك فلا يوجد لهما في البلورات بسبب



إن الوحدة البنائية ذات التماثل البلوري (الثنائي - الثلاثي - الرباعي - السداسي) تكرر في الفراغ دون ترك أي فجوات أو مسافات . أما

الأشكال الخماسية أو السباعية عند تكرارها تترك فراغات وهذا لا يتفق مع



شكل (١ - ١٦):

الإثبات الهندسي لوجود عدد محدود من محاور التماثل

الترتيب الذري في النظم البلورية .

ويمكن بالطرق الرياضية البحتة

إثبات أن محاور التماثل الدورانية لا

يمكن إلا أن تكون أحادية أو ثنائية أو

ثلاثية أو رباعية أو سداسية. فإذا

اعتبرنا صف من نقاط شبكية ثنائية كآلاتي وان المسافة بين كل نقطتين هي (a). فاذا دارت النقطة (1) حول محور التماثل بزاوية دوران (φ) في اتجاه عقارب الساعة فان النقطة (B) تنتقل الى الموضع (B'). واذا دارت النقطة (2) حول محور التماثل بزاوية دوران (φ) عكس عقارب الساعة فان النقطة (A) تنتقل الى الموضع (A'). ومن هندسة الشكل السابقة نجد ان:

$$A'B' = a + 2x \quad (1)$$

$$\therefore x = a \cos \varphi \quad (2)$$

$$\cos \varphi = x/a$$

وبالتعويض من (1) في (2) عن قيمة x ينتج ان:

$$A'B' = a + 2a \cos \varphi$$

$$\therefore A'B' = a(1 + 2 \cos \varphi) \quad \text{وبأخذ } a \text{ مشترك}$$

من هذه العلاقة نستنتج ان: $A'B'$ مضاعفات صحيحة لثابت الشبكية a

لأنها تعطي عدد المسافات الذرية بين النقط لذلك يجب ان يكون المقدار

$$\cos \varphi \text{ قيم محددة مثل } 0, \pm 1/2, \pm 1$$

$$\text{At } \cos^{-1}(1) \quad \therefore \varphi = 0, 360$$

$$\text{At } \cos^{-1}(-1) \quad \therefore \varphi = 180$$

$$\text{At } \cos^{-1}(0) \quad \therefore \varphi=90$$

$$\text{At } \cos^{-1}\left(\frac{1}{2}\right) \quad \therefore \varphi=60$$

$$\text{At } \cos^{-1}\left(-\frac{1}{2}\right) \quad \therefore \varphi=120$$

ومن قانون محور التماثل $\varphi = 360/n$

$$\therefore \text{at } \varphi=360 \quad n=360/360=1$$

$$\therefore \text{at } \varphi=180 \quad n=360/180=2$$

$$\therefore \text{at } \varphi=90 \quad n=360/90=4$$

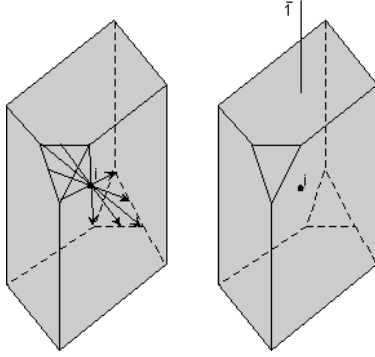
$$\therefore \text{at } \varphi=60 \quad n=360/60=6$$

$$\therefore \text{at } \varphi=120 \quad n=360/120=3$$

∴ محاور التماثل تكون احادية اوثنائية اوثلاثية او رباعية او سداسية.

٣ - مركز التماثل center of symmetry

هو عبارة عن نقطة وهمية مركزية في البلورة وتترتب حولها الأوجه البلورية والأحرف والزوايا في ازدواج وفي أوضاع متماثلة في اتجاهين متضادين وعلى مسافتين متساويتين من هذه النقطة فإذا وجد لكل وجه



بلوري أو حرف زاوية ركنية في ناحية من مركز البلورة وعلى مسافة مساوية فإذن البلورة تحتوي على مركز تماثل وتسمى هذه العملية بعملية الانقلاب **Inversion Operation** ولا تخلو البلورة منه فهو

عنصر التماثل الذي لا يغيب حتى ولو وجد غيره أو غاب .

ثانيا : عناصر التماثل الداخلي

١ - عملية الدوران : **Rotation**

توضح عملية الدوران أن أي نقطة داخل البلورة يمكن أن تصل الي تطابق ذاتي .

٢ - عملية الانعكاس : **Mirror Reflection**

ويرمز لها بالحرف m وتحقق صورة مماثلة لنصفي الشبكية على جانبي مستوي تماثل يمر بنقطة من نقاطها .

٣ - الانقلاب الدوراني : **Roto-Inversion**

تتم بالدوران حول محور بزاوية $\varphi = 2\pi/n$ ، حيث $(n = 1,2,3,4,6)$ ، ثم يتبعها انقلاب حول نقطة شبكية يمر بها المحور .

٤ - المستوى المنزلق :

يوجد في البلورة عندما يتحد مستوى الانعكاس الانتقال الموازي لهذا المستوى بحيث يصل التركيب الى تطابق ذاتي بواسطة الحركة والانعكاس عبر مستوى معين .

٢- ٢ إحداثيات ميلر (مستويات البلورة) Miller Indices

اصطلح على تحديد المستويات البلورية بإحداثيات ميلر وهدفها إعطاء وصف كامل لمستوى أو اتجاه في الفراغ ونستعمل فقط المحاور المتعامدة . فيمكن تعيين كل من موضع وميل أي مستوى بلوري بإحداثيات ثلاثة ذرات تقع على المستوى بشرط ألا تقع الذرات الثلاثة على خط مستقيم واحد . فإذا كانت كل ذرة من الذرات الثلاثة تقع على أحد المحاور البلورية فإنه يمكن تحديد المستوى بإحداثيات الذرات الثلاثة .

فمعاملات ميلر تحدد أماكن المستويات البلورية في الفراغ بأرقام ثلاثة هي عبارة عن مقلوب المقاطع التي تحدث من التقاء مستوى ما مع المحاور والاحداثيات الثلاثية وطريقة إيجادها كالآتي :-

١- نعتبر الأطوال المقطوعة من المحاور الأساسية الثلاثة للبلورة فلو فرضنا أن الأطوال المقطوعة من المحاور الأساسية هي (a) من المحور x , (b) من المحور (y) , (c) من المحور (z) .

٢- نأخذ مقلوب هذه الأطوال ونختزلها إلى أعداد صحيحة ، بشرط ألا يكون بينهما أي قاسم مشترك سوى الواحد الصحيح فيكون الناتج حينئذ هي

إحداثيات ميلر للمستوى المطلوب وصفه أو تحديده، وتوضع هذه المعاملات

بين قوسين عاديين وتكتب على الصورة : (h k l) .

وفي حالة تقاطع المستوى البلوري مع المحور في الاتجاه السالب من نقطة

الأصل. نجد أن معاملات ميلر تكون سالبة ويرمز لها بوضع علامة السالب

فوق المعامل ، وعند إذن تكتب معاملات ميلر على الصورة (h̄ k̄ l̄) .

مثال (١) :- لو فرضنا المستوى البلوري يقطع المحاور الثلاثة ، x ,

z , y في نقطة تبعد عن نقطة الأصل مسافات ol , ok , oh حيث :-

$$Oh = 2a \quad ok = 1b \quad ol = 4c$$

تكون معاملات ميلر كالاتي :-

$$h : k : l = \frac{a}{2a} : \frac{b}{1b} : \frac{c}{4c}$$

$$h : k : l = \frac{1}{2} : \frac{1}{1} : \frac{1}{4}$$

$$h : k : l = 2 : 4 : 1$$

تكتب معاملات ميلر بين أقواس صغيرة (241) ويتضح أنه كلما

كانت المقاطع على المحاور البلورية كبيرة كلما كانت معاملات ميلر صغيرة .

مثال (٢) :- المستوى البلوري الذي يقطع المحاور الأحادية

التالية من محور (x) مسافة = (a) ، من محور (y) مسافة = (3b) ،

ومن محور (z) تساوي (4c) ، فإن معاملات ميلر هي :-

$$h : k : l = \frac{a}{2a} : \frac{b}{3b} : \frac{c}{4c} = \frac{1}{2} : \frac{1}{3} : \frac{1}{4}$$

$$6 : 4 : 3 = (643)$$

بتوحيد المقامات

مثال (٣) :- أوجد معاملات ميلر

في المسافات الآتية على x, y, z للمستوى الذي يقطع المحاور البؤرية

الترتيب :- $oh = 2a, ok = 3b, ol = c$

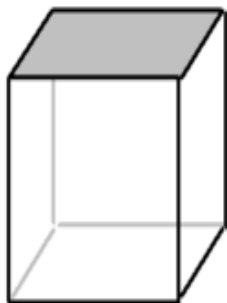
$$h : k : l = \frac{a}{2a} : \frac{b}{3b} : \frac{c}{1c} = \frac{1}{2} : \frac{1}{3} : \frac{1}{1}$$

$$hkl = (231)$$

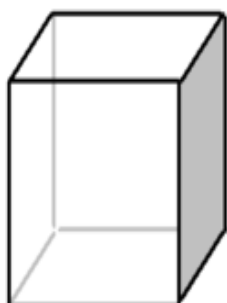
للحصول على معاملات ميلر لأوجه مكعب فإنه المستوى (ABCD)

يقطع المجاور (x, y, z) على الترتيب $(1, \infty, \infty)$ ويكون مقلوب

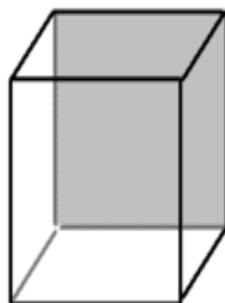
الجزء المقطوع (100) .



(001)



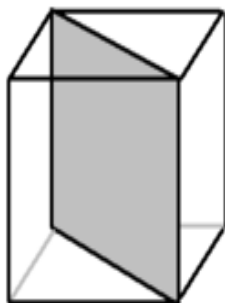
(100)



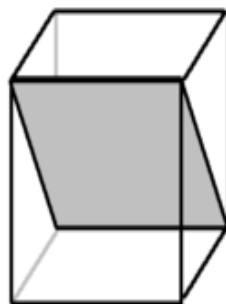
(010)



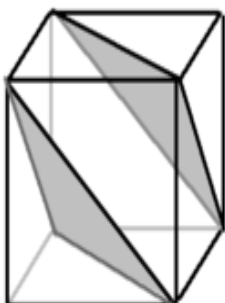
(101)



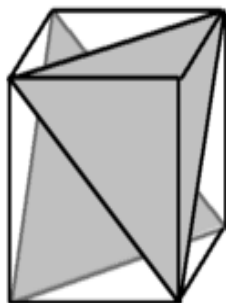
(110)



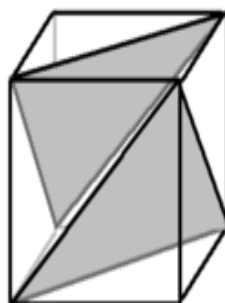
(011)



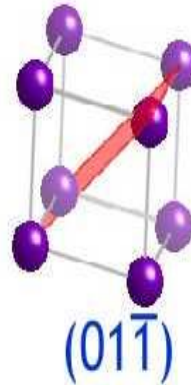
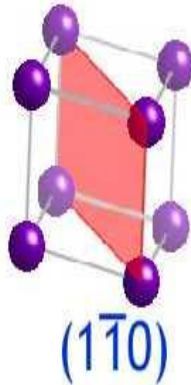
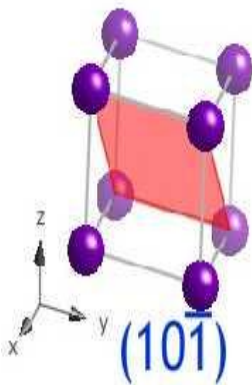
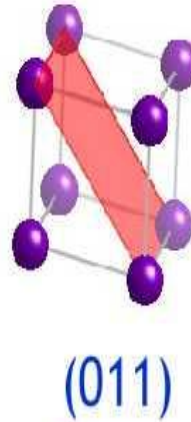
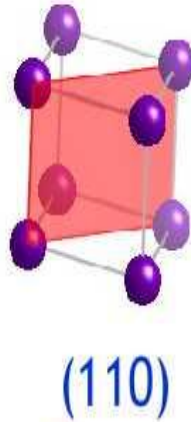
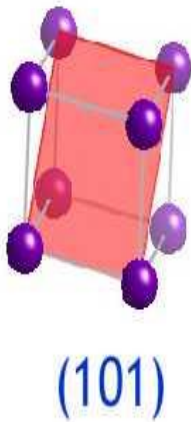
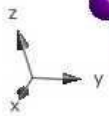
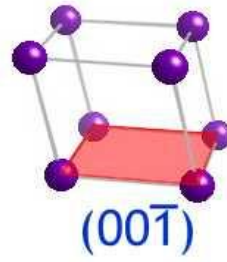
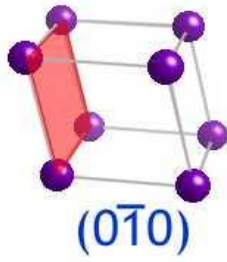
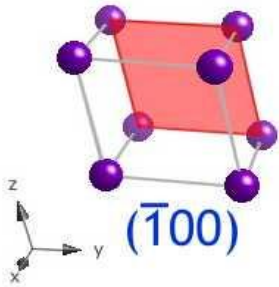
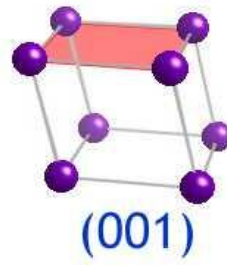
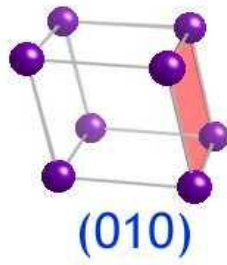
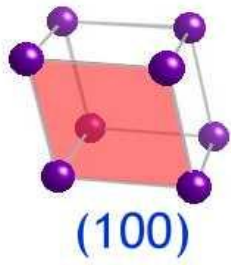
(111)



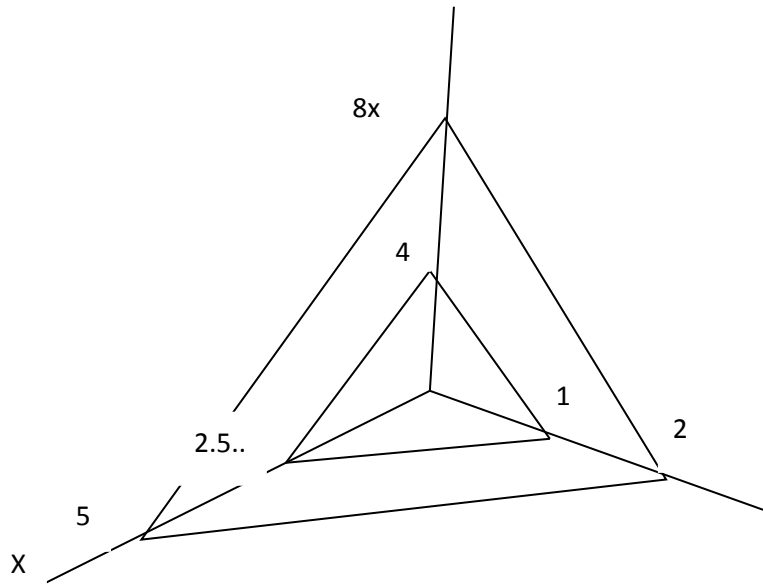
($\bar{1}\bar{1}1$)



($\bar{1}\bar{1}1$)



والمستويات البلورية من الممكن ان تمر باماكن العقد الشبكية وهى على ذلك تقطع من المحاور مقادير صحيحة من ثوابت البلورة a, b, c في الابعاد الثلاثة على الترتيب . وفي بعض الاحيان يمر المستوى البلوري في المسافة بين عقدتين على أحد المحاور البلورية ويمكن التغلب على هذه المشكلة بنقل المستوى موازيا لنفسه حتى يمر على المحاور الثلاث بأماكن هذه العقد . لبيان ذلك نعتبر الرسم الموضح شكل وفيه يمر المستوى بمنتصف المسافة بين العقدتين الثانية والثالثة على محور x بينما يمر بالمحاور الأخرى y, z عند العقدتين الأولى والرابعة على الترتيب .



لايجاد معاملات ميلر لمثل هذا المستوى فإنه يمكن نقل المستوى موازيا لنفسه حتى يمر بالعقدة الخامسة على محور X فعندئذ يمر بالعقدة الثانية على المحور Y والعقدة الثامنة على محور Z وتكون معاملات ميلر

$$h : k : l = \frac{1}{5} : \frac{1}{2} : \frac{1}{8} \text{ للمستوى الجديد هي}$$

$$(hkl) = (8.20.5)$$

ونفس النتيجة نحصل عليها اذا استخدمنا المقاطع التي تحدث من المستوى الاول اى قبل الازاحة حيث

$$h : k : l = \frac{1}{2.5} : \frac{1}{1} : \frac{1}{4} = 8 : 20 : 5$$

مما سبق نستخلص ان معاملات ميلر يمكن استنتاجها لاي مستوى اما عن طريق ان تنسب الى المحاور الاصلية (X, Y, Z) واما ان تنقل المحاور ويحدد هذا السطح تبعا لهذه المحاور المنقولة .

نلاحظ ان المستويات التي تكون تقاطعاتها مع المحاور هي :

$$X, y, z \quad ; \quad 2x, 2y, 2z \quad ; \quad 3x, -3y, -3z$$

كلها تمثل بنفس الفئة من معاملات ميلر ، ويمكن اثبات ذلك بايجاد معاملات ميلر لهذه المستويات بإتباع نفس الطريقة السابقة . ولذلك فإن فئة معاملات ميلر لا تعين فقط مستوى واحد بل فئة لانتهائية من المستويات

المتكافئة. ويرمز لعائلة (مجموعة) المستويات المتكافئة بالتماثل ، على سبيل الاختصار ، هكذا { hkl } . ففي البلورة المكعبة تضم عائلة المستويات { 001 } كل أوجه المكعب

(001) ، (010) ، (100) ، (001⁻) ، (01⁻0) ، (1⁻00) ، أى

أنها جميعا تحمل نفس إحداثيات ميلر بترتيب مختلف

من ناحية أخرى ، تستخدم إحداثيات مماثلة لإحداثيات ميلر لتحديد الاتجاهات داخل البلورة ، وهأعداد صحيحة لا يوجد بينها قاسم مشترك ، وتتناسب مع المركبات الأساسية لمتجه له الاتجاه المطلوب ، وتكتب بين قوسين مربعين على الصورة [u v w] . فالالاتجاه الموجب للمحور X هو [100] ، والاتجاه Y هو [010] ، اما اتجاه القطر في المكعب فأحداثياته [111] . ويرمز لمجموعة الاتجاهات المتكافئة على الصورة

< u v w > ، فعائلة الاتجاهات المتكافئة < 110 > تضم الاتجاهات :

[011] ، [01⁻1] ، [011⁻] ، [.01⁻1⁻] ، [101⁻] ، [1⁻01⁻]

[110] ، [1⁻10] ، [11⁻0] ، [1⁻1⁻0] ، [101] ، [1⁻01] .

وفي بلورات النظام المكعب فقط يكون الاتجاه [u v w] عموديا

على المستوى (h k l) عندما يكون $h = u$ ، $v = k$ ، $w = l$ ،

فالمستوى (100) عمودى على الاتجاه [100] ، والمستوى (110)

عمودى على الاتجاه [110] .

أهمية معاملات ميلر

١ - تنتج الخواص المتساوية بين المستويات المتوازية ذات اتجاه معين ولهاتفس معاملات ميلر .

٢ - لاتحدد مستو معين بلا مجموعة من المستويات المتوازية .

٣ - المستوى الموازي لأى إحداثي له فاصل يساوي ∞ وبالتالي يكون معامل ميلر على هذا المحور يساوي ٠ .

٤ - النسبة بين هذه المعاملات مهمة في هذا الاتجاه ، فالمستويات (٦٢٢)
(هي نفسها المستويات (٣١١)

٥ - حساب الزاوية بين مستويين بلورين .

٦ - المسافة بين المستويات المتجاورة .

٢ - ٣ تطبيقات على معاملات ميلر

١ - حساب الزاوية بين مستويين بلورين

يمكن حساب الزاوية بين مستويين بلوريين وفقا لمعاملات ميلر لكل

منهما وفق للعلاقة :

$$\cos \theta = \frac{h_1 h_2 + k_1 k_2 + l_1 l_2}{\sqrt{(h_1^2 + k_1^2 + l_1^2)} \sqrt{(h_2^2 + k_2^2 + l_2^2)}}$$

مسائل : اوجد معاملات ميلر للمستويات التي تكون تقاطعاتها مع المحاور

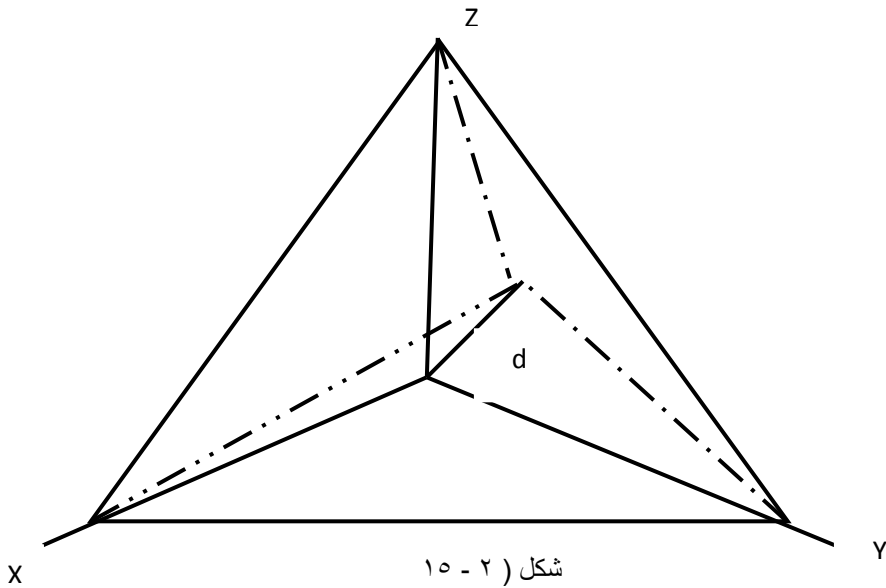
$$X = 2a , y = 3\sqrt{2} b , z = 1c \quad \text{هي :}$$

٢- المسافة بين المستويات المتجاورة :

وتستخدم قوانين ميلر في إيجاد المسافة بين المستويات المتوازية

المتعاقبة . لو فرضنا شبكة كما بالشكل ، المسافة العمودية بين المستويين

المتتاليين (d) فإن :-



$$\cos \theta_1 = \frac{d}{a \sqrt{h}} = d \frac{h}{a}$$

$$\cos \theta_2 = \frac{d}{b \sqrt{k}} = d \frac{k}{b}$$

$$\cos \theta_3 = \frac{d}{c} = d \frac{l}{c}$$

$$\cos \theta_1^2 + \cos \theta_2^2 + \cos \theta_3^2 = 1$$

$$d = \frac{1}{\sqrt{\frac{h^2}{a^2} + \frac{k^2}{b^2} + \frac{l^2}{c^2}}}$$

وفي حالة النظام المكعب حيث ($a = b = c$) يكون :-

$$d = \frac{1}{\sqrt{\frac{h^2}{a^2} + \frac{k^2}{b^2} + \frac{l^2}{c^2}}}$$

when $a = b = c$ then

$$d = \frac{a}{\sqrt{h^2 + k^2 + l^2}}$$

وفي حالة المستوى (100) تكون المسافة :-

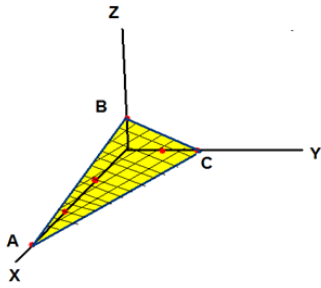
$$d_{100} = a$$

وفي حالة المستوى (010) :-

$$d_{010} = a$$

وفي حالة المستوى (111) :-

$$d_{111} = \frac{a}{\sqrt{3}}$$



مثال ١ - في الشكل لدينا التقاطعات $x=3a$

وبالتالي فإن مقلوب $y=2b, z=1c$

الأعداد هو $1/2:1/3:1/1$ وبتوحيد

المقامات حيث المقام المشترك (٦) نجد

$3/2:6/6:6/6$ ومنه فإن الأعداد ٢ و ٣ و ٦ هي معاملات ميلر ونكتب

$h=2, k=3, l=6$ وبشكل مختصر (٢٣٦)

مثال (٢) : بلورة أحد الخامات من النظام المكعبي وضعت في مطياف

الأشعة السينية فكانت فواصل أوجه البلورة a, b, c كما يلي :

a	b	c
0.287	1.0	0.251
∞	3.6	0.125
0.574	∞	0.125

أوجد معاملات ميلر لهذه الأوجه .

a	b	c
1	1.0	1
∞	3.6	1/2
2	∞	1/2

الحل : نظرا لأن وحدات الفواصل على

الإحداثيات الثلاثة هي 1, 0.287 .

0.251 ولما كانت الفواصل عبارة

عن مضاعفات أو قاسم منه ، فإن هذه

الفواصل تكون على النحو التالي

a	b	c
1	1.0	1
0	1\3	2
1\2	0	2

وتكون مقلوباتها هي :

ومن ثم تكون معاملات ميلر للاوجه على

الترتيب هي (111) , (016) , (104)

٣- كم عدد الذرات في كل مم^٢ في المستويات (100) , (110) , (111)

لبلورة رصاص متمركزة الوجه . علما بأن $a = 4.93 \text{ \AA}$ للرصاص .

الحل : المستوى (100) الذي يحتوى على 2 ذرة =

(1 + 1\4×4) في كل وجه من أوجه الخلية

$$\text{عدد الذرات} \setminus \text{مم}^2 = 2 \text{ ذرة} \setminus (\text{amm})^2$$

$$= \frac{2}{(4.93 \times 10^{-7})^2} = 8.23 \times 10^{12} \text{ ذرة} \setminus \text{مم}^2$$

المستوى (110) يحتوى على : $2 = 4 \times 1\4 + 2 \times 1\2$ ذرة لكل $\sqrt{2}$ من

أوجه خلية الوحدة

$$\text{عدد الذرات لكل مساحة مربعة} \quad a^2 \sqrt{2} = 2 \setminus = 5.82 \times 10^{12}$$

المستوى (111) الذي يحتوى على $1\2 = 3\6$ ذرة كل مثلث مساحته

$$= \text{مساحة المثلث} = R \sqrt{3} \quad 1\2 \times 2R \times = \sqrt{3} \quad R^2 .PQR$$

الارتفاع × القاعدة 1\2

عدد الذرات في مساحة مربعة = $9.5 \times 10^{12} R^2 \sqrt{3}$ | ذرة | 1/2

مسائل

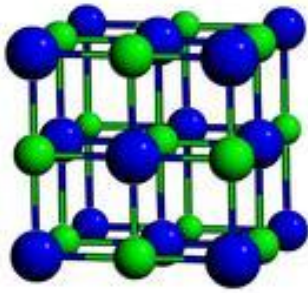
- ١ - أوجد المسافة بين المستويات :- (200)
- ٢ - قارن بين قيم d_{111} , d_{200} في بلورة رصاص متمركزة الوجه . علما بأن نصف قطر ذرة الرصاص 1.743 أنجستروم .
- ٣ - بلورة ثلاثية السطوح فيها النسبة $a : b : c$ هي 0.377 : 1 : 0.429 ؛
٤ - أوجد معاملات ميلر التي تكون فواصلها هي :
(0.214: 1 : 0.188), (0.858:1:0.754),(0.429:∞:0.126)
- ٥ - ارسم المستوى (112) في بلورة مكعبة بسيطة .
- ٦ - أوجد معاملات ميلر للمستوى الذي يقطع المحاور البؤرية x , y , z في المسافات الآتية على الترتيب- $a=2$, $b=3$, $c=1$
- ٧ - احسب المسافة بين مستويين في حالة كلا من المستويات (100)
(110) , (111) , (010) ,
- ٨ - اذا كان بارامتر خلية الوحدة للالومنيوم 4.04 انجستروم فما قيمة :
 $d(220)$, $d(111)$, $d(200)$

٢-٤ أمثلة لبعض التركيبات البلورية :

معظم البلورات المعدنية تنتمي الى الشبكات المكعبة والسداسية اما المركبات بنية الهالوجينات القلوية ، مثل املاح (NaCl , KCl) ويعتبر ملح الطعام

اشهر هذه المركبات . **The NaCl Structure** .

ففي البلورة كلوريد الصوديوم تشكل ايونات الصوديوم Na^+ رؤوس



المكعب ومراكز وجوهه في حين تشكل ايونات

الكلور Cl^- منتصفات الاحرف ومركز المكعب او

العكس . ويمكن تصور البلورة على انها مؤلفة من

شبكتين من النوع FCC احدهما شبكة الصوديوم

والاخرى شبكة الكلور وكل واحد منهما متزاحة عن الاخرى بمقدار $1/2a$

ويمكن تصور بنية هذا الملح على شكل كرات متراسة من Cl^- تحتل كرات

Na^+ الفراغات الكائنة بينهما ويلاحظ أن كل ايون محاط بستة ايونات من

النوع الآخر وتحتوي وحدة الخلية على أربع جزئيات .

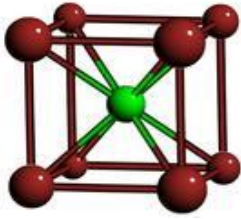
ويمكن اعتبار التركيب البلوري لكلوريد الصوديوم مكونا من شبكتين

فرعيتين متداخلتين من نوع المكعب متمركز الوجوه ، احدهما لإيونات

الصوديوم والاخرى لأيونات الكلور ، ثم أزيحت هاتان الشبكتان الفراغيتان

بالنسبة لبعضهما البعض بمقدار نصف ضلع المكعب .

The CsCl Structure



تتبلور المركبات التالية (CsCl, CsBr, CsI) على

شكل شبكية مكعبة مركزية BCC يحتل ايون الكلور

مركز المكعب ويحاط بثمانية ايونات موجبه من السيزيوم

ووحدة الخلية تحتوي جزئ واحد من CsCl . حيث كلوريد السيزيوم CsCl

ينتمي إلي النظام البلوري المكعب متمركز الجسم ، وتشغل أيونات

السيزيوم Cs+ أركان خلية الوحدة ، أي النقاط 000 ، بينما يشغل أيون

الكلور Cl- مركز جسم المكعب $1/2, 1/2, 1/2$ ، وبهذا تحوى خلية الوحدة

جزينا واحدا من كلوريد السيزيوم CsCl .

يمكن اعتبار الشبكية البلورية لكلوريد السيزيوم مكونة من شبكيتين فرعيتين

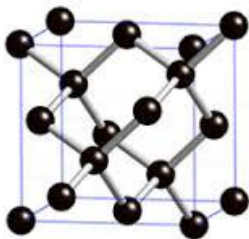
من نوع المكعب البسيط لكل من أيونات السيزيوم وأيونات الكلور ، ثم

أزاحت هاتان الشبكيتان الفراغيتان بالنسبة لبعضهما البعض علي طول قطر

المكعب بمقدار نصف ذلك القطر .

The Face-Centered Cubic Lattice

تركيب الماس : بنية الماس على شكل شبكة مكعبة ومراكز الوجوه FCC



بحيث تشكل ذرات الكربون رؤوس المكعب ومراكز

وجوهه قاسمة إياه إلى ثمانية مكعبات صغيرة

وتحتل أربع ذرات كربون مراكز أربعة من هذه المكعبات وفي هذه الحالة
تحاط كل ذرة كربون بأربع ذرات مجاورة .

الباب الثالث

الروابط فى الجوامد Bonds in Solids

Ionic Bond (٣ - ١) الرابطة الأيونية :

Covalent Bond (٣ - ٢) الرابطة التساهمية :

Metallic Bond (٣ - ٣) الرابطة الفلزية :

Hydrogen Bond (٣ - ٤) الرابطة الهيدروجينية :

Secondary Bonds (٣ - ٥) الروابط الثانوية :

يتكون الجامد من بلايين الذرات مرصوصة بجوار بعضها والخصائص المميزة لهذه الحالة ترجع الى تقارب ذراتها من ناحية وقوى التجاذب بينها من ناحية أخرى . والروابط هي المسنولة عن الاحتفاظ بالذرات معا .

والروابط في الجوامد نوعان :

- روابط ثانوية

- روابط أولية

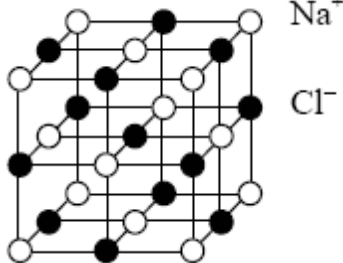
الروابط الأولية هي الروابط الأيونية والروابط التساهمية والروابط الفلزية والروابط الهيدروجينية .

الروابط الثانوية تكون متضمنة في قوى فان درفال. Van der waals.

ومن النادر ان تنفرد بلوره المادة الصلبة أو المعدن برابط من نوع واحد ولكن غالبا ما يشيع فيها رباطان أو اكثر .

أولا : الروابط الأولية Primary Bonds

(١ - ٣) الرابطة الأيونية : Ionic Bond



تعد الرابطة الأيونية

من أقوى الروابط فعند انتقال

إلكترون أو أكثر من

الإلكترونات الخارجية من ذرة بها فائض إلى ذرة عنصر آخر ينقصها هذا العدد من الإلكترونات يترتب عليها أن تصبح ذرة العنصر الأول أيوناً موجباً (Cation) وتصبح ذرة العنصر الثاني أيوناً سالباً (anion) ، وبذلك يحدث بينهما تماسك بواسطة قوى الجذب الكهروستاتيكية الناشئة بين الأيونين المختلفي الشحنة

ومن أمثلة المركبات التي ترتبط بالرباط الأيوني ($\text{CaF}_2, \text{NaCl}$) .
فعندما تقترب ذرة الصوديوم من ذرة الكلور حتى تصبح المسافة الفاصلة بينهما مناسبة ينتقل الكترون التكافؤ في ذرة الصوديوم إلى الغلاف الخارجي لذرة الكلور . وتسمى ذرة لصوديوم التي فقدت الكترونا ايونا موجبا (Cation) وتسمى ذرة الكلور اليى اكتسبت الكترونا ايونا سالبا (Anion) وتنشأ نتيجة لقوى التجاذب الكهروستاتيكية رابطة قوية تسمى الرابطة الايونية . ونلاحظ ان ايون الصوديوم الموجب محاط بستة ايونات كلور سالبة ، وان ايون الكلور السالب محاط بدوره بستة ايونات صوديوم موجبة علي مسافات فاصلة متساوية تساوى ثابت او باراميتر الشبيكة .

Thus each Na^+ ion is surrounded by 6 Cl^- ions and vice versa. This structure suggests that there is a strong attractive Coulomb interaction between nearest-neighbors ions, which is responsible for the ionic bonding.

خواص المركبات الأيونية

١ - التوصيل الكهربى :-

حيث أن هذه المركبات تتكون من أيونات موجبة وأخرى سالبة فإذا أذيت

هذه المركبات في سائل ذو ثابت عزل عالى كالماء مثلاً فإنها تتفكك إلى

أيونات ويصبح المركب موصلاً جيداً للكهرباء .

٢ - درجة الانصهار والغليان :-

معظم المركبات الأيونية هي مواد صلبة ودرجة انصهارها أو غليانها مرتفعة نسبياً .

٣- الخواص الضوئية :-

معظم المركبات الأيونية امتصاصها الضوئى قوى في منطقة الطيف تحت الحمراء .

Crystal Binding الترابط البلورى

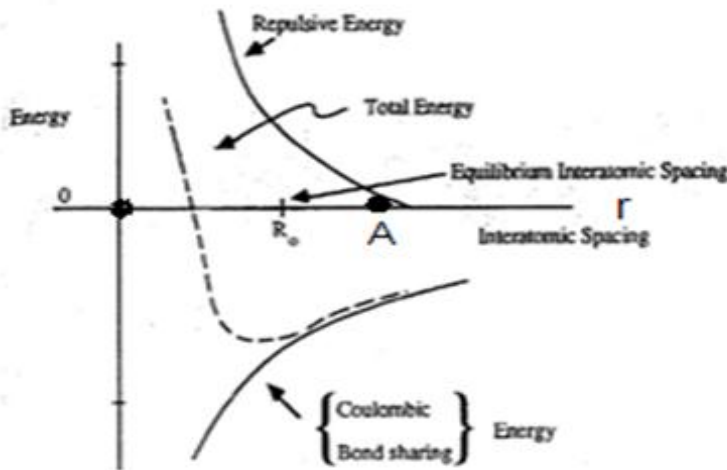
طاقة الترابط: هي الطاقة اللازمة لتفكيك البلورة إلى مجموعة من

الذرات الحرة (أو مجموعة من الجزيئات الحرة إذا كان التركيب البلورى

جزيئى).

تتشكل البلورة المستقرة بالاعتماد على عدة شروط أهمها وجود قوى تجاذب بين الذرات تكافئ قوى التنافر. والشكلين (١ و ٢) أدناه يبينان الحالات الممكنة للتأثير المتبادل بين ذرتين وضعت الأولى في مبدأ الإحداثيات O والثانية A يمكنها الحركة على المحور r ، وبالتالي فإن الطاقة الكامنة (الجهد،الوضع)(potential energy) للجملة تساوي إلى الشغل المبذول بفعل قوة كولوم F بين الذرتين .وكما هو واضح من المنحنى أن طاقة التنافر (repulsive energy) تتناسب عكسياً مع المسافة (r^m) وكذلك طاقة التجاذب (Attractive energy) تكون متناسبة عكسياً مع المسافة (rⁿ) حيث (ثوابت m,n) وطاقة التنافر موجبة وإشارة التجاذب

$$E_{att} \propto -\frac{1}{r^n} \quad E_{att} = \frac{-\alpha}{r^n} \text{ . سالبة}$$



حيث α ثابت
التناسب

Fig.1 General form of binding energy.

$$E_{rep} = \frac{\beta}{r^m}$$

$$E_{rep} \propto \frac{1}{r^m}$$

حيث β ثابت التناسب. وتكون الطاقة الكلية مساوية لمجموع طاقتي التجاذب والتنافر .

$$E_{tot} = \frac{-\alpha}{r^n} + \frac{\beta}{r^m}$$

القوة هي تفاضل الطاقة بالنسبة للمسافة :-

$$F = \frac{d}{dr} \left[\frac{-\alpha}{r^n} + \frac{\beta}{r^m} \right]$$

$$du = -F dr \quad (1) \quad \text{وبشكل آخر}$$

$$F = - \frac{du}{dr} \quad (2)$$

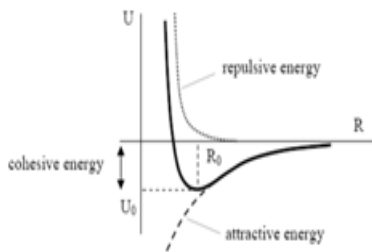


Fig. 2

تكمُن أهمية العلاقة (٢) في إعطاء تصور مبدئي للوضع بين الذرتين وذلك

عندما $\frac{du}{dr} > 0$ (موجب) فإن اتجاه القوة F سيكون بعكس الاتجاه r

أي أن هناك تجاذب بين الذرتين وعندما $\frac{du}{dr} < 0$ فإن اتجاه القوة F

سيكون باتجاه r أي أن هناك قوى (تنافر). لاحظ في الشكل الأول أن المنحني

العلوي يبين حلة التنافر مهما كانت قيمة r ، والأسفل حالة قوى التجاذب

، والمنقط يمثل الحالتين معا فمن أجل $r > r_0$ فإن الذرات تتجاذب لأن > 0

$\frac{du}{dr}$ (طاقة ربط) ، ومن أجل $r < r_0$ هناك تنافر بين الذرات < 0 ، وفي

حال $r = r_0$ فإن $\frac{du}{dr} = 0$ أي أن $F = 0$ وهذه الحالة تسمى حالة الاستقرار

لان طاقة الوضع تكون في حالة النهاية الصغرى (أنظر الأشكال أعلاه).

يمكننا كتابة طاقة التأثير المتبادل بين ذرتين والتي يمثلها المنحني المنقط في

الشكل الأول والمنحني الغامق في الشكل الثاني بالمعادلة العامة التالية:

$$U(r) = \frac{\beta}{r^m} - \frac{\alpha}{r^n} \quad (3)$$

حيث الرموز في البسط معاملات موجبة يطلب تعيينها، وكذلك الأس في المقام

قيمه موجبة، ويمثل الحد الأول قوى التنافر والحد الثاني قوى التجاذب.

في العلاقة (٣) شرط النهاية الصغرى يحدد لنا قيمة r_0 اصغر مسافة بين

الذرتين لتكون الجملة في حالة الاستقرار (أنظر الأشكال أعلاه) ووفقا

للمعالجة الرياضية التالية: نلاحظ من المنحنى أن هناك نقطة تحدد نهاية صغرى لمجموع قوى التجاذب والتنافر تقع في منطقة طاقة التجاذب .
والنهاية الصغرى للطاقة هذه تعني أن الذرة في حالة استقرار وهذه النقطة تقع على محور المسافة (r) على بعد نقطة الأصل نرسم لها بالرمز (r_0) هذا البعد يعين المسافة التي يجب أن تكون عليها الذرات في حالة من الاستقرار ، بمعنى آخر أن تكون حالة الاستقرار عندما تكون ($r = r_0$)

$$\frac{dE}{dr} = 0 \quad \text{عند}$$

وكذلك حالة الاستقرار تعني أن قوى التجاذب تكون مساوية لقوى التنافر

$$F(r_0) = -\left. \frac{du}{dr} \right|_{r=r_0} = 0 \quad (4)$$

ولذلك نفاضل العلاقة (٣) وفقا لشرط المعادلة (٤) عند $r=r_0$ فنجد:

$$-\left(\frac{\alpha n r_0^{n-1}}{r_0^{2n}} - \frac{\beta m r_0^{m-1}}{r_0^{2m}} \right) = 0 \quad (5)$$

$$F = \frac{\alpha n r^{n-1}}{r^{2n}} - \frac{\beta m r^{m-1}}{r^{2m}}$$

$$F = \frac{\alpha n}{r^{2n-n+1}} - \frac{\beta m}{r^{2m-m+1}}$$

$$F = \frac{\alpha n}{r^{n+1}} - \frac{\beta m}{r^{m+1}}$$

وبإعادة ترتيب العلاقة (٥) نوجد العلاقة بين بيتا وإلفا وفقاً للعلاقة التالية:

$$\frac{\alpha n}{r_0^{n+1}} - \frac{\beta m}{r_0^{m+1}} = 0$$

$$\frac{\alpha n}{r_0^{n+1}} = \frac{\beta m}{r_0^{m+1}}$$

$$\beta = \frac{\alpha n r_0^{m+1}}{m r_0^{n+1}} = \frac{\alpha n}{m} r_0^{m+1-n-1}$$

$$\beta = \frac{\alpha n}{m} r_0^{m-n} \quad (6)$$

الطاقة القابلة لوضع الاستقرار تقع في الجزء السالب وهي طاقة تجاذب

ولو أعطيت ذرتان بينهما مسافة (r_0) قدرها من الطاقة مساوياً للمقدار (E)

(r_0) لانفصلت الذرتان عن بعضهما لذلك يطلق على هذا القدر من الطاقة)

طاقة التحلل وطاقة التفتت) وهي الإلكترون فولت .

نعوض بالعلاقة (٦) في (٣) (شرط $r=r_0$) فنجد:

$$U(r_0) = \frac{\alpha n r_0^{m-n}}{m r_0^m} - \frac{\alpha}{r_0^n} = \frac{\alpha n}{m} r_0^{-n} - \frac{\alpha}{r_0^n} = \alpha r_0^{-n} \left(\frac{n}{m} - 1 \right)$$

$$= -\alpha r_0^{-n} \left(1 - \frac{n}{m} \right) \quad (7)$$

والمقدار $\left(\frac{n}{m} \right)$ له أهمية كبيرة في تحديد طاقة الاتزان في العلاقة (٧)

عندما تكون $n > m$ يصبح ما بين القوسين سالب وبالتالي $U(r_0)$ تكون

موجبة ومنه تكون القوة بإشارة سالبة ونكون أمام قوى تجاذب $(F = -kx)$.

والعكس عندما تكون $n < m$ تكون القوى قوى تنافر حيث (m, n, r_0, α)

ثابت لكل معدن. يتبين عموماً أن القوى بين الذرات تتكون من قوى تجاذب

تسود عند المسافات أكبر من r_0 وقوى تنافر تسود عند المسافات أصغر من

r_0 ، وتتبادل هذه القوى عند $r=r_0$ وضع الاستقرار. ودراسة الربط بين

الذرات لتشكيل البلورات ستعتمد على هذا المبدأ.

وحيث أن التفاضل الثاني لدالة تفاضلها الأول يساوي صفر هو قيمة

أكبر من الصفر فإن:

$$\therefore \frac{dE}{dr} = \frac{\alpha n}{r_0^{n+1}} - \frac{\beta m}{r_0^{m+1}}$$

$$-\frac{d^2E}{dr^2} > 0$$

$$\frac{d^2 E}{dr^2} = \frac{-\alpha n(n+1)r_0^n}{r_0^{2n+2}} + \frac{\beta m(m+1)r_0^m}{r_0^{2m+2}}$$

$$\frac{d^2 E}{dr^2} = \frac{\beta m(m+1)}{r_0^{2m+2-m}} - \frac{\alpha n(n+1)}{r_0^{2n+2-n}}$$

$$\frac{d^2 E}{dr^2} = \frac{\beta m(m+1)}{r_0^{m+2}} - \frac{\alpha n(n+1)}{r_0^{n+2}}$$

$$\frac{d^2 E}{dr^2} = \frac{\beta m(m+1)}{r_0^{m+2}} - \frac{\alpha n(n+1)}{r_0^{n+2}} > 0$$

بالتعويض عن قيمة β من المعادلة

$$\frac{m(m+1)}{r_0^{m+2}} \cdot \frac{\alpha n r_0 m - n}{m} - \frac{\alpha n(n+1)}{r_0^{n+2}} > 0$$

$$\frac{\alpha n(m+1)}{r_0^{m+2-m+n}} - \frac{\alpha n(n+1)}{r_0^{n+2}} > 0$$

$$\frac{\alpha n(m+1)}{r_0^{n+2}} - \frac{\alpha n(n+1)}{r_0^{n+2}} > 0$$

بقسمة الطرفين على $\alpha n / r_0^{n+2}$

$$(m+1) - (n+1) > 0 \quad , \quad m+1 - n - 1 > 0$$

$$m > n \quad \therefore$$

$$m - n > 0$$

وحيث أن طاقة التفتيت :

$$D.E = \frac{\alpha}{r_0^n} \left(\frac{n-m}{m} \right) = \frac{-\alpha}{r_0^n} \left(\frac{m-n}{m} = \frac{-\alpha}{r_0^n} \left(1 - \frac{n}{m} \right) \right)$$

والمقدار $\frac{n}{m}$ صغير باعتبار أن $m > n$ فتكون طاقة التفتت هي :-

$$D.E = \frac{-\alpha}{r_0^n}$$

أي أن العامل الهام في طاقة التفتت هو طاقة التجاذب

(٣-٢) الرابطة التساهمية : Covalent Bond

تتمتع هذه الرابطة بأهمية خاصة في الكيمياء وعلم البلورات، وتنشأ

من التشارك بالالكترونات بين الذرات المتجاورة حيث أن كل ذرة تساهم

بالكترون أو أكثر في عملية الربط بحيث تكون الالكترونات مشتركة بين

الذرتين، ويشكل الهيدروجين والكربون والسيلكون والجرمانيوم أمثلة عن

هذا النوع من الروابط ولا يمكن فهم هذا الربط الا عن طريق ميكانيكا الكم

ونظرية الاضطراب .

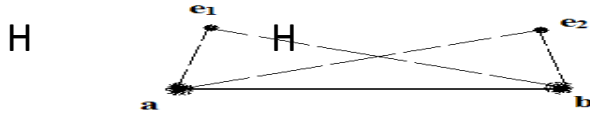
وبشكل مبسط إذا اعتبرنا جزيء الهيدروجين المكون من ذرتين الأولى a

والثانية b ولإلكترون الذرة الأولى e_1 ولإلكترون الذرة الثانية e_2 ، فعندما

تصبح المسافة بينهما من مرتبة $2A^0$ يصبح التفاعل بينهما حقيقة واقعة

وفي حال المسافة أكبر من ذلك يهمل التأثير المتبادل بينهما، وفي حال وجود

التفاعل فان سبين الإلكترون يلعب دورا مهما في عملية الربط وذلك فيما إذا كان سبين الالكترونيين متوازيين أم متعاكسين حيث يتم التفاعل وفقا لمبدأ باولي، وذلك بتكوين مستويات طاقة رابطة وضد رابطة .



وإذا ساهمت الذرة بالكترونين فهي ثنائية التكافؤ التساهمي أو رابطة تساهمية مزدوجة كما في جزئ الايثيلين (C_2H_4) . وإذا ساهمت الذرة بثلاث إلكترونات فهي ثلاثية التكافؤ التساهمي كما في النيتروجين في النشادر والفوسفور في ثالث كلوريد الفوسفور وجزئ الاستيلين C_2H_2 . ومن أمثلة المعادن الالماس، وفيها تشترك الالكترونات في الذرات المتجاورة وتستوفي الأغلفة الخارجية لها العدد اللازم من الالكترونات ، ويتحقق بذلك تركيب الكتروني مستقر . وتفضل ذرات الكربون ($1s^2 2s^2 2p^2$) في بلورة الالماس أن تتحد مع بعضها بواسطة أربع روابط تميل كل منها على الأخرى بالزاوية الهرمية الثلاثية ، بمعنى أن ذرة الكربون تتوسط هرما ثلاثيا ، وتقع الذرات الاربع المتصلة بها (كأقرب جيران) عند رءوس الهرم ، وتصبح بذلك جميع ذرات الكربون وكأن بغلافها الخارجى ثمانى الكترونات ، وهذا وضع مستقر تنشأ عنه قوى ترابط غاية في القوة ،

وان كان الرص في تركيب الالماس متباعدا من الناحية الهندسية ، لان
الرابطة الهرمية لا تسمح الا باربع ذرات كاقرب جيران ، في حين أن
التركيب متلاصق الرص به اثنتا عشرة ذرة كاقرب جيران .

خواص المركبات التساهمية :-

- ١- لا تتكون من أيونات ولذلك فهي لا توصل التيار الكهربى .
- ٢- ليس للجزئ التساهمى مجال كهربى خارجى يذكر ، لذلك فالمركبات
التساهمية إما أن تكون غازات أو مواد سائلة لها درجات غليان منخفضة أو
مواد صلبة لها درجات انصهار ودرجات غليان منخفضة .
- ٣- المركبات التساهمية مركبات غير قطبية فهي شحيحة الذوبان فى
المذيبات القطبية كالماء ولكنها تذوب فى المذيبات غير القطبية .
- ٤- تتميز بلورات الروابط التساهمية بدرجة عالية من الصلابة وتوصيل
حرارى وكهربى ضعيف .

مثال للرابطة التساهمية :-

نعتبر جزئ الهيدروجين مثال بسيط للرابطة التساهمية يتكون الجزئ
من ذرتين A , B , تفصلهما مسافة كبيرة (r) بالمقارنة بنصف قطر أى من
الذرتين ، نفرض أن الذرة الأولى A تتكون من النواة (a) وإلكترون (1)

والذرة الثانية (B) تتكون من نواة (b) وإلكترون (2) . عندما تقترب
ذرتا الهيدروجين A , B احدهما من الاخرى بدرجة كافية حتى يصبحا على
مسافة معينة ينتقل إلكترون من الذرة (A) الى الذرة (B) ليدور حول
نواتها بجانب إلكترون الذرة (B) نفسها . وينتقل الكترون الذرة (B) إلى
الذرة (A) ليدور حول نواتها بجانب الكترون الذرة (A) نفسها ، وعندئذ
يصعب القول بأن هذين الإلكترونين ينتمان لاي ذرة من الذرتين A,B .
ونتيجة لذلك تنشأ قوة ترابط غاية في القوة من معادلة شرودنجر الغير
زمنية في بعد واحد هي :-

$$\frac{d^2\psi}{dx^2} + \frac{8\pi^2m}{h^2} (E - \mu)\psi = 0 \text{ ---- 1}$$

وذلك للإلكترون الواحد :حيث Ψ تعبر عن الدالة الموجية ، E طاقة الجسم
الكلية ، μ طاقة وضع الجسم ، h ثابت بلانك ، m كتلة الجسم .بضرب

$$\hbar = \frac{h}{2\pi} \text{ :- حيث أن } \frac{h^2}{8\pi^2m} \text{ المعادلة في}$$

$$\frac{d^2\psi}{dx^2} \cdot \frac{\hbar^2}{2m} + (E - \mu)\psi = 0 \text{ ---- 2}$$

ومعادلة شرودنجر بالنسبة للإلكترونين هي :-

$$\frac{\hbar^2}{2m} \left(\frac{d^2 \psi}{dx_1^2} + \frac{d^2 \psi}{dx_2^2} \right) + (E - \mu) \psi = 0 \text{ -----3}$$

$$\frac{\hbar^2}{2m} \left(\frac{d^2 \psi}{dx_1^2} + \frac{d^2 \psi}{dx_2^2} \right) + \left(E - \frac{e^2}{4\pi E_0 r} \right) \psi = 0 \text{ -----4}$$

$$\text{وحيث } \mu = \frac{e^2}{4\pi E_0 r}$$

$$\frac{\hbar^2}{2m} \left(\frac{d^2 \psi}{dx_1^2} + \frac{d^2 \psi}{dx_2^2} \right) + \left\langle E - \frac{e^2}{4\pi E_0} \left(-\frac{1}{r_{a_1}} - \frac{1}{r_{b_1}} - \frac{1}{r_{a_2}} - \frac{1}{r_{b_2}} + \frac{1}{r_{12}} + \frac{1}{r_{ab}} \right) \right\rangle \psi = 0$$

حيث (+ ، -) للتجاذب والتنافر .

لو اعتبرنا أن المسافة بين الذرتين (B , A) كبيرة فإن المعادلة تصبح :-

$$\frac{\hbar^2}{2m} \left(\frac{d^2 \psi}{dx_1^2} + \frac{d^2 \psi}{dx_2^2} \right) + \left\langle E - \frac{e^2}{4\pi E_0} \left(-\frac{1}{r_{a_1}} - \frac{1}{r_{b_2}} \right) \right\rangle \psi = 0 \text{ -----6}$$

بمقارنة المعادلتين (5 ، 6) حيث أن الأولى تمثل الذرتين متحدتين برابط

تساهمي والثانية تمثل الذرتين منفصلتين فإن :-

$$v = \frac{e^2}{4\pi E_0} \left(-\frac{1}{r_{b_1}} - \frac{1}{r_{a_2}} + \frac{1}{r_{12}} + \frac{1}{r_{ab}} \right) \psi$$

v تمثل كمية الطاقة الإلكترونية الإضافية اللازمة لذرتين هيدروجين

مفصولتين على مسافة صغيرة محدودة لكي يرتبطا تساهمياً .

Metallic Bond : الرابطة الفلزية : (٣ - ٣)

تتميز الفلزات بقدرتها على التوصيل الكهربى والحرارى الجيد .
وعموماً الفلزات عناصر ثقيلة نوعاً ما تظهر في أواخر الجدول الدورى وبها عدد عظيم من الإلكترونات وعليه فإن إلكترونات التكافؤ التى بها تحتل مكان بعيداً عن نواة الذرة وهى لذلك ضعيفة الارتباط بها ومما يزيد من ضعف الارتباط بين إلكترونات التكافؤ ونواة الذرة اكتمال مستويات الطاقة القريبة من النواة لذلك لا تشعر إلكترونات التكافؤ بالانتماء إلى النواة ، ومن ثم فإن بعض الإلكترونات الموجودة فى القشرة الخارجىة من ذراتها تكوّن سحابة من الشحنات السالبة تحيط بأيونات هذه الذرات . وتكون قوى التجاذب بين الأيونات والسحابة الإلكترونية هى القوى الأساسية للترابط بين ذرات الفلز الذى يمكن تصويره على أنه رصة منتظمة من الأيونات الموجبة يحيط بها سحابة من الإلكترونات. لما كانت الرابطة هنا بين الأيون الموجب والسحابة الإلكترونية المحيطة لذلك تتميز الرابطة فى الفلزات بأنها مطاطيةFlexible نظراً لعدم وجود رابط مباشر بين الذرات وبعضها كما فى حالة البلورات الأيونية والتساهمية . تشير النظريات الحديثة إلى أن الإلكترونات التكافؤىة للذرات المكونة للمعادن تكون مشتركة بين جميع ذراته حيث ينتج ما يسمى بالغاز الإلكتروني الحر حيث يؤدي التفاعل بين غاز الإلكترونات الحر والأيونات الموجبة إلى قوة تماسك قوية فى البلورة ، هذا وان وجود

الالكترونات الحرة يفسر بصورة جيدة قابلية التوصيل الكهربائي والحراري للمعادن وعد شفافيته ولمعان سطوحها والعديد من الصفات الهامة الأخرى التي ستدرس لاحقا.

(٤ - ٣) الرابطة الهيدروجينية : Hydrogen Bond

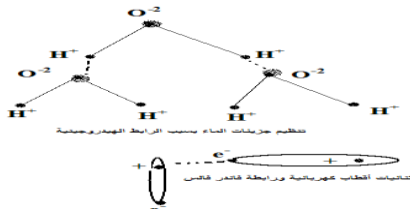
عندما تتحد ذرتان متماثلتان مثل ذرتي جزئ الهيدروجين نجد أن الذرتين متساويتان في السالبة الكهربائية وان لكل ذرة نفس القدرة على جذب زوج الالكترونات في الرابطة التساهمية التي تربطهما لذا نجد أن وجود الالكترونات حول الذرتين يتقاسمان الوقت مناصفة وبذلك تكون كل ذرة متعادلة كهربيا . ولكن اذا اختلفت السالبة الكهربائية لذرتين متصلتين برابطة فان الالكترونات تقضي وقتا اكبر نسبيا حول نواة العنصر الأكثر سالبة كهربية وتكتسب بذلك شحنة جزئية سالبة ، وهذا بالتالى يؤدي الي ظهور شحنة جزئية موجبة على الذرة الأخرى فعند اتحاد ذرات الهيدروجين مع ذرات اكبر في سالبيتها الكهربائية مثل الاكسجين او الفلور فانه تظهر شحنة جزئية موجبة على ذرة الهيدروجين وشحنة جزئية سالبة على ذرات الاكسجين او الفلور وتنشأ عن ذلك رابطة تسمى بالرابطة الهيدروجينية نتيجة للتجاذب المتبادل بين ذرات الهيدروجين وذرات الاكسجين او الفلور ومن أمثلتها بلورات الثلج ، وفيها تحدث الرابطة الهيدروجينية تحت ظروف معينة بين الذرات كبيرة السالبة الكهربائية ، ويعتقد أنها أيونية في طبيعتها ،

الا انها أضعف كثيراً وجزئياتها ذات قطبية **Polarity** قوية . ففي جزئ الماء تتكون رابطة تساهمية قوية بين ذرة الاكسجين وكل من ذرتي الهيدروجين ، وعندما يتكون الثلج فان توزيع الشحنات الداخلية يسفر عن ظهور (ثنائي القطب الكهربائي **Electric Dipol**) في جزئ الماء نتيجة تكون شحنة سالبة على ذرة الاكسجين وشحنة موجبة مكافئة على كل من ذرتي الهيدروجين ، وهكذا تنجذب جزيئات الماء الى بعضها نتيجة تجاذب ثنائيات القطب الكهربائية وتتكون بلورة الثلج .

٥ - ٣ الروابط الثانوية: **Secondary Bonds**

تنشأ الرابطة التناسقية نتيجة وجود تشكلاً كهربياً مشوهاً لجزئيات هذه المركبات يجعل مركز ثقلها غير متطابق مع مركز ثقل الشحنة الموجبة للنوى المختلفة . لذلك فإن هذه الجزئيات تعمل مثل قطبين كهربيين وتؤثر على بعضها البعض بقوى جذب صغيرة تعرف بقوى فاندرفال .

وجميع ذرات البلورة تكون متشابهة ومتعادلة . تحمل كل ذرة شحنات موجبة وسالبة وهذا يشبه بشكل ما ثنائي قطب كهربى وتترتب الذرات والجزئيات.



بحيث تكون الشحنات المختلفة أقرب ما يمكن دائماً . وتكون القوى الكهربائية المحصلة هي

الفرق بين قوى التنافر وقوى التجاذب بين الشحنات المختلفة والمتشابهة ويكون الجذب أكبر قليلاً من الطرد لقرب الشحنات المختلفة عن الشحنات المماثلة . وقلما تكون قوى فان درفال وحدها المسنولة عن ربط الذرات بعضها ببعض في المادة ولكنها غالباً ما تكون موجودة الى جانب الربط التكافؤى (الايونى او التساهمى) .ومن أمثلتها الشمع وبعض المركبات العضوية ، وتتميز بترابط ضعيف ولهذا فان درجة انصهار مثل هذه المواد تكون منخفضة ، كما انها رديئة التوصيل للحرارة والكهربية .

وهي نوع من أنواع الربط الضعيف والتي من الممكن أن توجد بين جزيئات الغاز الخامل كيميائياً . وقد بين العالم لندن عام ١٩٣٠ أن للذرات المعتدلة كهربائياً بصورة عامة عزم ثنائي قطب كهربائي معدوم ، إلا أن الاهتزازات تحول الذرات المعتدلة كهربائياً إلى ثنائيات أقطاب كهربائية تتغير عزومها بسرعة بالقيمة والاتجاه (عندما يكون مركز ثقل الغمامة الالكترونية للذرة لا ينطبق على مركز ثقل النواة يتشكل ما يسمى ثنائي قطب كهربائي). وجزء الماء يشكل ثنائي قطب كهربائي مما يؤدي إلى أن الثنائيات تجذب بعضها البعض بروابط تسمى الروابط الهيدروجينية.

الباب الرابع

العيوب البلورية (Crystal Defects)

١ - ٤ العيوب النقطية Point Defects

٢ - ٤ الانخلاعات (Dislocation) او العيوب

الخطية line Defects

٣ - ٤ العيوب السطحية أو المستوية Surface or

Planar Defects

العيوب البلورية (Crystal Defects)

ناقشنا في الفصل السابق هندسة التركيب البلوري النموذجي للمادة الصلبة على أساس الترتيب الدوري المنتظم للوحدات البنائية الأساسية في الشبكية البلورية ولا شك ان هذه الدورية المطردة بانتظام وما يصاحبها من تماثل مقنن هما أهم سمات الجوامد البلورية لكن ينبغي أن نعلم أن التركيب البلوري الحقيقي للجوامد لا يبلغ درجة الكمال المطلق الموجود في التركيب النموذجي للبلورات المثالية . فهناك في الواقع دائما بعض الحiod عن الدورية المطردة في البنية البلورية حتى وان كانت البلورة تبدو لنا وكأنها تامة وكاملة التناسق . ويعرف هذا الخلل في دورية التركيب البلوري الحقيقي ونمطه المتناسق بأنه " عيب بلوري " Crystal Defect " لأنه يشوه مثالية البلورة وينقص من تمام نظامها واكتمال الترتيب المحكم لنقاط شبكيته

والبلورات الموجودة في الطبيعة أو التي يتم تحضيرها وانماؤها بطرق تجريبية لا تخلو دائما من بعض العيوب في توزيع وحداتها البنائية الأساسية (ذراتها او جزيئاتها) ويعود ذلك لاعتبارات خاصة بتوازنها الديناميكي الحراري ونتيجة حتمية له .

ودراسة العيوب في البلورات تعتبر من أهم أساسيات فيزياء الجوامد نظرا لما لها من تأثير كبير على خصائص المادة الكهربائية والضوئية

والميكانيكية وغيرها ، فخاصية التوصيل في بعض أشباه الموصلات على سبيل المثال – تعزى الى وجود كميات ضئيلة جدا من ذرات عناصر دخيلة تعرف بالشوائب **Imputities** ولقد اصبح التحكم فى العيوب داخل البلورات من أهم الآليات التى تعتمد على تقنيات تحضير مواد جديدة ذات خصائص معينة حسب المواصفات المطلوبة والمقصود بالعيوب البلورية هو البعد عن النقاء من وجهه نظر التركيب البلورى او هو ذلك الخلل فى التركيب البلوري او ذلك الحيود عن الترتيب الدوري المنتظم للشبكية .
والعيوب البلورية يمكن ان تنشأ فى الحالات الآتية :-

١ . أثناء نمو البلورات سواء كانت البلورة طبيعية أو صناعية

٢ . عند تعرض البلورة لاجهاد من نوع ما أو قوى شد أو ضغط

منتظمة أو غير منتظمة

٣ . عند تعرض البلورة للإشعاعات

٤ . عند حدوث تبريد فجائى للبلورة

٥ . عند اكتساب المادة طاقة حرارية . فالتركيب البلوري يمكن أن

يكون مثاليا عند درجة الصفر المطلق وأي ارتفاع فى درجة

حرارته عن هذه الدرجة ينشأ عنه تكون فراغات داخلية والتي

يكون وجودها ضروريا للحفاظ على اقل طاقة للنظام ولقد أكدت

كل طرق فحص التركيب البلوري حقيقه اختلاف بيم التركيب

البلوري الحقيقي والتركيب البلوري المثالى

أنواع العيوب البلورية :

Types of Crystal Defects

وتصنيف عيوب البلورات عادة إلى عيوب نقطية وخطية و سطحية

(او مستوية) وسوف نتعرف فيما يلى أنواع هذه العيوب البلورية وبعض

الآثار التي تحدثها فى خصائص المواد الصلبة .

Crystalline Defects

The ideal crystal has an infinite 3D repetition of

identical units, which may be atoms or molecules.

Real crystals are limited in size, and they have some

disorder in stacking which are called *defects*.

أولاً:- العيوب النقطية Point Defects

العيوب النقطية صغيرة في جميع الأبعاد الثلاثة ولا يتعدى نطاق تأثيرها في

أى اتجاه بضعة أقطار ذرية و هي حالات الخلل الذي تحدث في خط التركيب

البلوري النموذجي وتسبب في تشويه منطقة متمركزة محدوده لا تتعدى

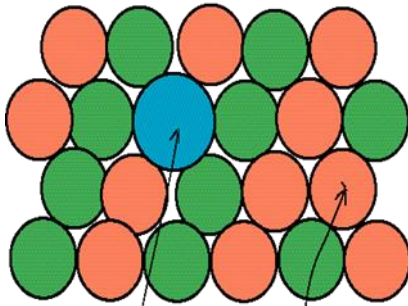
عددا قليلا من خلايا الوحدة فى الشبكية البلورية

عادة ما يوجد في البلورات عدد من الذرات تزيد طاقتها الحركية كثيرا عن القيمة المتوسطة لطاقة حركة الذرات المناظرة لدرجة الحرارة الموجودة عندها البلورة . مثل هذه الذرات وعلى الأخص تلك القريبة من السطح يمكن أن تخرج الي سطح البلورة بينما تحتل مكانها ذرات موجودة على بعد أكبر من السطح وهكذا . وتصبح العقد التي كانت تحتلها مثل هذه الذرات عقدا خالية أي أنه تنشأ عن ذلك خلوات حرارية .

وكلما ارتفعت درجة الحرارة كلما زاد تركيز الخلوات (أي عددها في وحدة الحجم من البلورة) . وقد يصل عدد الخلوات في البلورة عند درجات الحرارة القريبة من درجة الانصهار الي حوالي ١٪ من العدد الاجمالي للذرات في البلورة .

وتصنيف العيوب النقطية إلى الأنواع التالية :-

أ- الذرات الشائبة البديلة :-



A foreign atom, or a regular atom out of place, is an impurity.

في هذه الحالة يمكن أن تشغل بعض الذرات من عناصر أخرى مواقع الذرات الأصلية في البلورة ، حيث تكون ذرات هذه

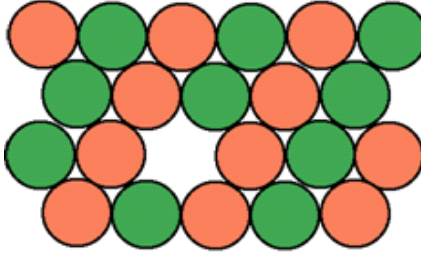
العناصر منظمة على النمط البلوري للذرات

الاصلية وتسمى عندئذ " الشوائب البديلة " Substitution Impurities

أو تكون بعض الذرات من عناصر أخرى مقحمة على النمط البلوري الأصلي

في مواقع بينية ، وتسمى عندئذ " الشوائب البينية "

ب- عيب شوتكي :- Schottky Defect



An empty lattice site is a vacancy

في هذه الحالة تنتقل بعض

الذرات أو الأيونات من مواقعها

الطبيعية في داخل الشبكة إلى مواقع

شبكة أخرى على سطح البلورة تاركه

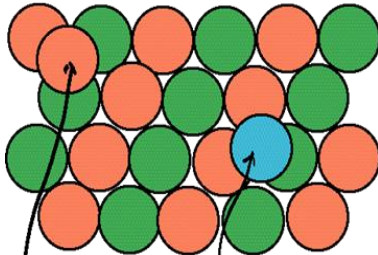
ورائها فراغات vacancies ويعرف كل فراغ خلفته الذرة ورانها باسم "

فراغ شوتكي " ولتكوين " فراغات شوتكي " تحتاج الذرات إلى طاقة كافيها

للتغلب على القوى التي تربطها بجيرانها والانتقال على مراحل إلى مواقعها

الشبكة على السطح .

ج- عيب فرنكل :- Frenkel Defect



An interstitial is an off-lattice atom which may be a foreign atom or a regular atom

في هذا النوع من العيوب

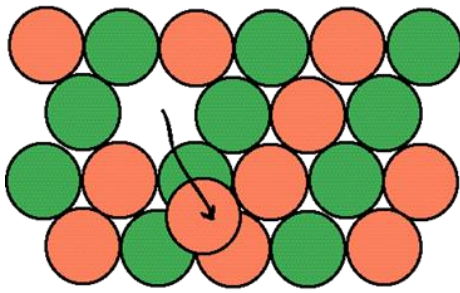
النقطية تنتقل الذرات من مواقعها

الطبيعية في داخل الشبكة إلى مواقع

بينية أو خلائية Interstitials داخل

الشبكية أيضا . وهذا يعنى ان عيب فرنكل عبارة عن الذرة البينية والفراغ الذى خلفته ورائها كما هو موضح بالشكل .

وكثيرا ما تتواجد عيوب فرنكل حيث يسهل أن تهجر ذرة مكانها الطبيعي لتستقر فى مكان غير طبيعي تعتقد الذرة انه اكثر ملائمة من وجهه نظر الاتزان الديناميكي الحرارى فتخلق فى ان واحد فراغ عند عقدة من عقد

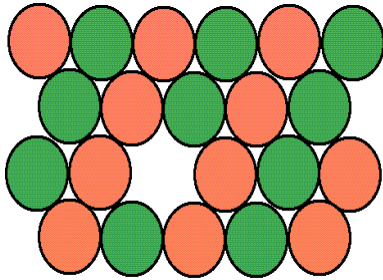


An interstitial may form by an atom moving to an off-lattice site and create a vacancy at the same time

الشبكية البلورية بالإضافة إلى كونها متواجده فى مكان غير طبيعي وعموما سواء كانت عيوب شوتكى او فرنكل فإنها تؤدي إلى تشويه المنطقة المجاورة لها فقط

تشويهها محليا محدودا لا يتعدى بضعة خلايا وحدة ووجود عيوب شوتكى تخفض من كثافة البلورة على اعتبار ان حجم البلورة يزداد أثناء نموها دون زيادة فى كتلتها بينما لا تتغير عيوب فرنكل فى حجم البلورة وعليه تبقى الكثافة كما هى دون تغير كما أن زيادة الحجم الناتجة عن وجود شوائب فى أماكن غير طبيعية بين الذرات يقابلها نقص فى الحجم نتيجة لانضغاط بقية أجزاء الشبكية البلورية .

Point Defects



An empty lattice site is a vacancy

A Point Defect involves a single atom change to the normal crystal array.

There are three major types of point defect: Vacancies, Interstitials and Impurities.

They may be built-in with the original crystal growth, or activated by heat. They may be the result of radiation, or electric current etc, etc.

Vacancies: A Vacancy is the absence of an atom from a site normally occupied in the lattice.

Interstitials: An Interstitial is an atom on a non-lattice site. There needs to be enough room for it, so this type of defect occurs in open covalent structures, or metallic structures with large atoms.

حساب الطاقة اللازمة لخلق عيب شوتكى (الفراغه) :-

تعتبر خاصية فيزيائية تتوقف على التركيب البلوري للمادة كما إنها تتوقف على كمية العيوب البلورية الموجودة بها . مثال ذلك المقاومة النوعية لتلك المادة فإذا سخنا تلك المادة إلى درجة حرارة معينة غالبا ما تكون أعلى من ثلثي درجة انصهارها ولتكن T فسوف يتولد في المادة عدد هائل من الفراغات في ائزان حراري في البلورة فإذا بردت المادة تبريدا فجائيا فان هذه الفراغات لا تجد الفرصة لتعيد ترتيب نفسها فتبقى في المادة وهي باردة في حاله شبه مستقرة .

وحيث ان الزيادة في المقاومة النوعية نتيجة الفراغات المتكونة تتوقف على درجة الحرارة التي وصلت لها المادة قبل التبريد الفجائي حسب

$$\Delta\rho = \Delta e(-iEF/T) \text{ . المعادلة}$$

حيث $\Delta\rho$ تعبر عن الزيادة في المقاومة النوعية ، Δ مقدار ثابت ، E_F هي الطاقة اللازمة لتكوين الفراغه الواحدة . برسم العلاقة بين $\ln \Delta\rho$ على

المحور الرأسى والمقدار $\frac{1}{T}$ على الافقى حسب العلاقة .

$$\ln \Delta\rho \cong -\frac{E}{kT} + \Delta$$

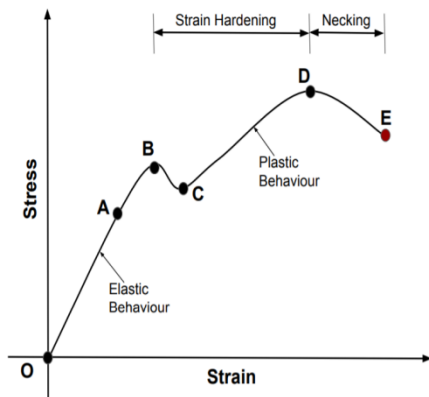
نحصل على خط مستقيم ميله يساوى E_f/k ومنها يمكن حساب E_f

وتعتبر طريقة قياس المقاومة النوعية في الجوامد البلورية من اكثر الطرق استخداما للكشف عن العيوب النقطية بها وحساب طاقة تكوين تلك العيوب وذلك لدقة هذه الطريقة بجانب إمكانية تنفيذها عند درجات الحرارة المنخفضة مثل إمكانية تنفيذها عند درجات الحرارة المرتفعة .

ثانيا:- الانخلاعات (Dislocation) او العيوب الخطية line Defects :-
في حالات التحلل الذي يحدث في نمط التركيب البلورى النموذجى ويؤثر على المواقع الطبيعية للذرات الموجودة فى صف كامل داخل البلورة بحيث لا يكون لها نفس إحداثيات باقى الذرات المماثلة لها وتعرف هذه العيوب البلورية الخطية أيضا باسم الانخلاعات " Dislocation " وتعتبر من العيوب المعقدة جدا بالمقارنة بأى من العيوب النقطية سالفة الذكر ويمكن القول ان الانخلاع هو اضطرب او خطأ فى الترتيب الهندسي المنتظم للذرات المكونة للبلورة عندما تؤثر قوة خارجية على بلورة ما كان تكون قوة شد tensional force او ضغط Compressional Force او قوة قاصة Shearing Force عند درجة حرارة محدودة فتلك البلورة سوف تعانى من تشويه مرن elastic deformation او تشويه غير مرن plastic deformation وتكون شدة التشويه متوقفة على شدة القوة المؤثرة .
ويلاحظ ان التشويه المرن يمكن إزالته أما غير المرن فلا يمكن إزالته . فى حاله التشويه المرن فان البلورة تعود الى حالتها الأصلية طالما تزال القوة

المؤثرة . أما إذا طبقت قوة أعلى على البلورة فإنها تعاني من تشويه غير مرن وذلك بان ينزلق جزء من البلورة بالنسبة للجزء الآخر . وهذا الانزلاق يحدث عندما يتجاوز إجهاد القص للقوة المؤثرة (Shear Stress) قيمة معينة تسمى " الإجهاد الحرج " Critical Shear Stress " عندما تعاني بلورة من تشويه غير مرن فإنه سوف ينزلق جزء من البلورة فوق الجزء الآخر . و لتوضيح ما سبق نتعرض لدراسة الخواص الميكانيكية للمواد (البلورات) فقد وجد فرق كبير بين البلورات المثالية والبلورات الحقيقية فى تلك الخواص ويرجع هذا الفرق إلى وجد كميات كبيرة من عيوب معينة فى التركيب البلورى الحقيقى تعرف بالانخلاعات .

فإذا وضعت مادة بلورية تحت تأثير قوة صغيرة small load فى مد حد المرونة فإن المادة تتغير أبعادها (اى تنفصل) فإذا رفع تأثير هذه القوة فإن المادة تستعيد حالتها الأصلية وفى هذا المدى فإن الإجهاد المؤثر يتناسب طرديا مع مقدار الانفعال الحادث للمادة وهو ما يعرف بقانون



OA : Proportional Limit
 B : Upper Yield Stress Point
 C : Lower Yield Stress Point
 D : Ultimate Stress Point
 E : Fracture

هوك " Hooke's law

" أما إذا كانت القوة

المؤثرة كبيرة بحيث

يتعدى تأثيرها منطقة

مرونه المادة . فإن

الانفعال الحادث للمادة لا يتلاشى كليه عند زوال القوة المؤثرة ولكن تبقى

قيمة معينة من هذا الانفعال فى الشكل

فى مدى المرونة فان تأثير الإجهاد يسبب إزاحة كل ذرة من ذرات البلورة بعيدا عن مواضع استقرارها ازاحات مرنة ومتجانسة وبالتالي فان الانفعال يكون متجانسا لكل أجزاء البلورة ، بينما إذا تعدت قيمة الإجهاد المؤثر حد المرونة فان تأثيره على البلورة لا يكون متجانسا بل يكون الانفعال قويا فى مناطق معينة . فإذا كان الإجهاد كبيرا بدرجة كافيته . فان يحدث قطع فى موضعى للروابط بين الذرات فى هذه المناطق وبالتالي ينشأ عن ذلك قطع موضعى للروابط بين الذرات فى هذه المناطق . وبالتالي ينشأ عن ذلك انزلاق (slip) لمستوى بلورى او اكثر. ويحدث انزلاق فى المستوى البلورى بعد القطع الموضعى (اى قطع الروابط بين ذرات هذا المستوى وباقي ذرات الجسم البلورى يسبب الإجهاد المماس المؤثر عليه .

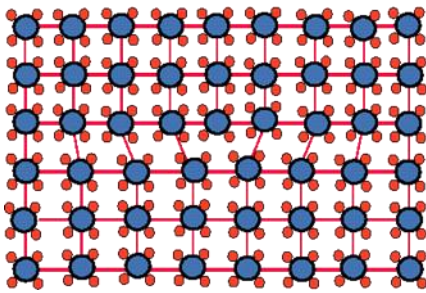
مما سبق يتضح انه عند تأثير إجهاد على مادة فان ذرات هذه المادة تبتعد عن مواضع استقرارها إذا كان هذا الإجهاد فى مدى المرونة للمادة وعند قيم الحد للإجهاد فان الروابط الذرية تضعف تدريجيا وتنساب المادة ببطيء فى مواقع معينة وعند قيمة معينة للإجهاد تسمى بالإجهاد الحرج " Critical Stressr " يحدث كسر للروابط بين الذرات فى هذه المواقع ويبدأ المستوى الذرى الذى يحوى هذه الذرات فى الانزلاق ولقد دلت

الفحوص المعملية على أن المستويات التي تعاني انزلاق عادة يكون في الاتجاه الذى يكون خلاله عدد الذرات لوحده الأطوال كبيرا ويمكن تقسيم أنواع الانخلاعات إلى نوعين أساسيين هما :-

Edge Dislocation الانخلاعات الحافة

Screw Dislocation الانخلاعات اللولبية

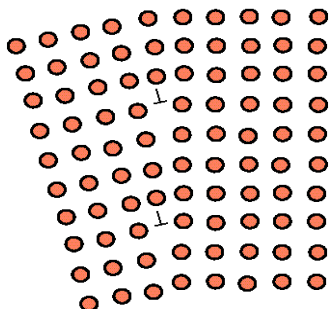
أولا : - الانخلاع الخطى أو الانخلاع الحافى :-



هو عبارة عن اختلال خطى فى الترتيب البلورى الدورى اللانهائى . يتحدد موضعه بمستوى رأسى وتزداد كثافة الذرات فى الجزء العلوى منه عن

كثافة الذرات فى الجزء السفلى منه . وهذه الزيادة العددية تكون فى صورة غياب خط ذرى كامل من جزء من البلورة بينما يتواجد هذا الخط داخل الشبكية فى موقعة الطبيعى فى الجزء الأخر من البلورة وجودا منتظما كما هو موضح بالشكل . يسمى المستوى الذى يوصل البلورة الى جزأين بالخط الذرى الزائد بينما يغيب هذا الخط عن الجزء الاخر لمستوى الانخلاع ، ويسمى اتجاه الخط البلورى الزائد باتجاه الانخلاع والانخلاع الحادث فى بلورة ما موجب إذا كان اتجاهه أعلى مستوى الانخلاع بينما يكون سالبا إذا كان اتجاهه اسفل مستوى الانخلاع . وهذا النوع من التشويه الناتج يسبب

حشر مستوى ذرى اضافى فى الجزء العلوى للبلورة فمثلا لو حشرنا مستوى ذرى Sheat of atoms فى بلورة مكعبة فان هذا المستوى يعمل على ضغط المسافة بين الذرات فى الجزء العلوى منها ولما كانت المسافة بين هذه الذرات لها قيمة ثابتة فان النصف العلوى من البلورة ينتج فى المنطقة القريبة من المستوى الذرى الإضافية بينما تظل أبعاد البلورة كما هى فى الأجزاء البعيدة ونتيجة لهذا الانبعاج يحدث تشويه كبير على طول الطرف السفلى للمستوى الذرى الإضافي والمنطقة التى يحدث فيها اكبر تشويه يسمى " قلب الانخلاع " وهى منطقة الجوار المباشر للحافة السفلية للمستوى الذرى الإضافي والتى تمتد بطول هذه الحافة وفى منطقة قلب الانخلاع يكون التشويه عاليا لدرجة أن عددا قرب الجيران من الذرات يمكن ان يختلف عنه فى التركيب البلورى الاصلى . وثقل درجة التشوه بالابتعاد عن هذا القلب حيث على بعد مسافات نزيه منه يصبح التشوه صغيرا جدا أو غير موجود على الإطلاق . اى لو تحركنا بعيدا عن مركز الانخلاع لاعلى أو لاسفل فان التشويه يتناقص تدريجيا حتى نصل إلى مسافة معينة نجد البلورة تبدو مرتبه تماما كما لو كانت لا تحتوى على اى عيوب .



إذا كان المستوى الزائد واقعا فى الجزء

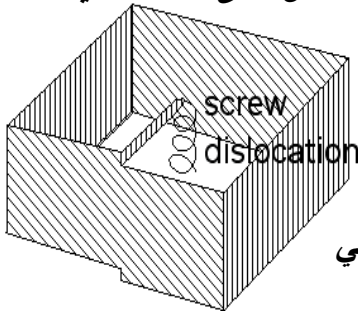
العلوى من البلورة فان الانخلاع يكون موجبا

ويرمز له بالرمز \perp أما إذا وقع فى الجزء

السفلي من البلورة فان الانخلاع يكون سالبا ويرمز له بالرمز T . وجدير بالذكر انه إذا تواجد عدد من الانخلاعات المتشابهه فى نفس مستوى الذرات فأنها تتنافر بينما إذا تواجدت انخلاعات مختلفة فى نفس المستوى فأنها تتجاذب .

ثانيا الانخلاع اللولبي :- Screw Dislocation

يحدث هذا النوع من العيوب الخطية عند التأثير على البلورة بقوة خاصة Shear Force تحدث فيها انزلاقا بالدوران حول خط الانخلاع وتحول المستويات الذرية المتعاقبة إلى مستويات تقع على سطح لولبي . فلو تصورنا على سبيل التبسيط . انه أمكن قطع بلورة تامة بسكين حاد إلى جزئين ثم أعيد الجزءان من جديد بعد إزاحة أحدهما عن موضعه الاصلى بمقدار ذرة واحدة . فان الشكل الناتج هو نفس الشكل الذى ينشأ



من اثر بريمى كما موضح فى الشكل

، كما هو موضح فى الشكل وهنا يلاحظ ان انخلاع اللولبي ليس له مستوى انزلاق كما فى

الانخلاع الحافى ، لذلك يمكنه أن يتحرك فى أي اتجاه من البلورة بينما لا يستطيع الانخلاع الحافى التحرك إلا فى مستوى انزلاقه ، أما متجه برجرز للانخلاع اللولبي يوازي خط الانخلاع وتحدد بدايته ونهايته بالنقطتين اللتين منطبقتين قبل حدوث الانخلاع . ونلاحظ ان الإزاحة المذكورة تكافئ نقصا

قدرة ذرة واحدة وتحول الانخلاع لبريمي المستويات الذرية المتعاقبة إلى مستويات تقع على سطح لولبي ومن هنا نشأ اسم الانخلاع اللولبي وتتأثر الخواص الطبيعية جميعا بما يحدث في البلورة من انزلاق .

التشوه الحادث للبلورة نتيجة انخلاع لولبي يكافئ التشويه الناتج في بلورة بعد أن إجراء العملية التالية عليها :-

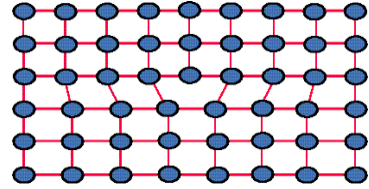
نأخذ البلورة ونقطع بها قطعاً رقيقاً دقيقاً إلى عمق معين وبعد ذلك تحرك جانبي البلورة حول القطع إلى أعلى مسافة ذرية واحدة بالنسبة إلى النصف الآخر ثم نضغط على جانبي البلورة بحيث تقع كل الذرات حول القطع في مستوى واحد هذا المستوى عبارة عن سطح حلزوني . وتتكون الانخلاعات أثناء عمليات تبلور المعادن (نتيجة لتلاحم وتداخل الحبيبات واللقم المتجاورة) من تجمعات الخلوات وكذلك أثناء عمليات التشكيل اللدن والتحويلات الطورية .

ولقد تبين عملياً أن وجود الانخلاعات في البلورة يزيد من صلابتها حيث تزداد الطاقة الداخلية للبلورة بزيادة كثافة الانخلاعات فيها . ومن المقادير الهامة المستخدمة للتعبير عن تأثير الانخلاعات ما يسمى بكثافة الانخلاعات (ρ) والذي اصطلح على اعتباره الطول الاجمالي لخطوط الانخلاعات l سم الموجودة في وحدة الحجم من البلورة V . وعلى هذا الاساس فإن كثافة الانخلاعات تقاس في وحدات سم⁻² .

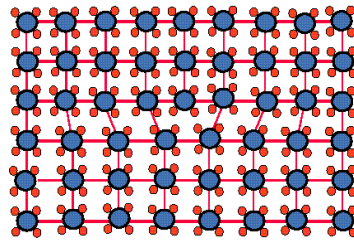
ويمكن دراسة وتحديد كثافة الانخلاعات بعدة طرق منها دراسة سطح البلورة بصفة مباشرة تحت الميكروسكوب الإلكتروني أو بدراسة التآكلات التي يمكن عملها على سطح البلورة بطريقة كيميائية حيث توجد علاقة بين عدد التآكلات في وحدة المسافة وكثافة الانخلاعات والتآكل أو الخد من على السطح يعني أن في هذا المكان ينتهي انخلاع بلوري وعلى ذلك فان كثافة أو التآكلات تعنى كثافة الانخلاعات .

Line Defects (Dislocation)

A Dislocation is a line discontinuity in the regular crystal structure.



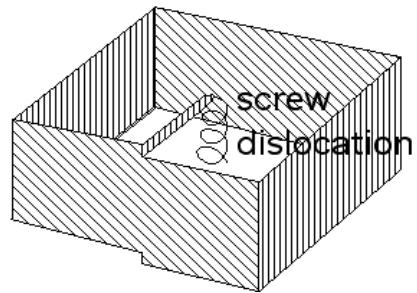
There are two basic types: Edge dislocations, and Screw dislocations. An *Edge dislocation* in a Metal may be regarded as the insertion (or removal) of an extra half plane of atoms in the crystal structure. In Ionic and



Covalent solids edge dislocations involve extra half planes of *unit cells*. The regions surrounding the dislocation line are made of essentially perfect crystal.

The only severe disruption to the crystal structure occurs along the dislocation line (perpendicular to the page).

Note that perpendicular to the page, the line may step up or

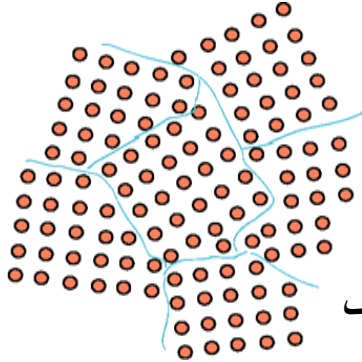


down. These steps are known as *jogs*. • A *Screw Dislocation* changes the character of the atom planes. The atom planes no longer exist separately from each other. They form a single surface, like a screw thread, which "spirals" from one end of the crystal to the other. (It is actually a *helical* structure because it winds up in 3D, not like a spiral that is flat.) In the average crystal structure, there are $\sim 10^{12}$ m of dislocation lines per m^3 of crystal. *Combinations* of edge and screw dislocations are often formed as edge dislocations can be formed by branching off a screw dislocation

ثالثا :- العيوب السطحية أو المستوية Surface or Planar Defects

يشترك في تكوين هذا النوع من العيوب ذرات مستوى بلورى كامل

حيث يضطرب التركيب البلورى النموذجى عندما تمتد هذه العيوب فى بعدين



لتكون مسطوحا داخل البلورة فسطح البلورة نفسه

يعتبر عيبا مستويا لان دوريه النمط البلورى تختل

عن هذا السطح ويتضح تأثير ذلك عند دراسة

خواص المواد التى على هيئة أغشية رقيقة أو ألياف

دقيقة .

ومن أمثلة هذه العيوب أسطح الانفصال بين الحبيبات المتجاورة أو بين

اللحم المكونة لها في العينات المعدنية المتعددة الحبيبات . والحدود الفاصلة

بين الحبيبات المختلفة (حدود الحبيبات) عبارة عن مناطق انتقالية يتراوح

سمكها بين ٥ و ١٠ مسافات ذرية وفيها ينتقل النسق البلورى لاحدى

الحبيبات والذي يتسم باتجاه معين الي نسق بلوري آخر يختلف عن الاول

في الاتجاه . من هذا يتضح أن الذرات الموجودة في منطقة حدود الحبيبات

تشغل مواقع أقل انتظاما بالمقارنة بالذرات الموجودة في قلب الحبيبات .

وبالإضافة الي ذلك فان ذرات الشوائب الموجودة في المعادن المستخدمة في

الحياة العملية عادة ما تتركز في منطقة حدود الحبيبات مما يزيد من مقدار

الانحراف عن النظام الامثل لترتيب الذرات

٣ - نظريات العيوب البلورية

يستند التفسير العلمي لنشوب العيوب البلورية الي قواعد الديناميكا الحرارية ، حيث يعزي السبب الاساسي في تبلور مادة معينة بتركيب بلوري معين الي كون الطاقة الحرة التي تحقق التوازن الديناميكي الحراري لهذا التركيب اقل منها لاي تركيب اخر، وذلك طبقا لمعادلة " هلمهولتر " ()

$$F=E-TS$$

حيث (T) درجة حرارة النظام ، E طاقة الداخلية الكلية ، S الانتروپيا التي تحدد قيمة الفوضى ، وشرط تحقيق الحد الادني لطاقة هلمهولتر الحرة يستوجب بالضرورة ، كما يتضح من المعادلة (١ - ٢) وجود قدر معين من الفوضى ، او العيوب داخل الشبكة البلورية عند جميع درجات الحرارة الاعلي من درجة الصفر المطلق .

٣- ١ تركيز العيوب النقطية وحساب طاقة التكوين :

لنعتبر علي سبيل المثال حالة عيب شوتكي ، وتبدأ بايجاد اقل طاقة حرة بالنسبة لعدد المواقع الفارغة من الشبكية ، لتكن الطاقة المطلوبة لانتزاع ذرة من موقعها داخل الشبكية الي موقع طبيعي اخر علي السطح ، فتكون الزيادة في الطاقة المصاحبة لتكوين N موقعا فارغا هي nE_v

وتحدد الانتروپيا التركيبية عدد الطرق المختلفة W التي يمكن بها توزيع ذرات البلورة علي عدد المواقع المتاحة في الشبكة طبقا لعلاقة بولتزمان :

ثابت بولتزمان K حيث $S=k \ln W$

لكن عدد الطرق التي يمننا بها انتزاع O ذرة من بلورة تحتوي علي N ذرة

$$W \frac{N(N-1)\dots(N-n+1)}{n!} = \frac{N!}{(N-n)!n!} \text{ هو :}$$

ويمكن تبسيط هذه المعادلة باستخدام " تقريب ستيرنج "

$$F = nE - KT \ln \frac{N!}{(N-n)!n!}$$

ويحدد عدد عيوب شونكي من شرط التوازن الديناميكي الحراري عند حجم

ثابت حيث تكون F اقل ميمكن بالنسبة للتغير في n ويكون :

$$\frac{\partial F}{\partial n} = E_v - KT \ln \frac{N-n}{n} = 0$$

وبنفس الطريقة يمكن استنتاج معادلو مماثلة بالنسبة لعيوب فرنكل علي

$$C \equiv \exp(-E_f / 2kt) : \text{ الصورة}$$

حيث طاقة تكوين عيوب فرنكل ويلاحظ ظهور المعامل ٢ في علاقة

برلتزمان الاسية ، لان عيب فرنكل كما ذكرنا من قبل يتكون من ذرة بينية

وفراغ . وعادة ما تتكون في البلورات الايونية ازواج من الفراغات الايونية

الموجبة والسالبة . وهذا التكوين يجعل البلورة متعادلة كهروستاتيكيًا في

نطاق محدود ، وتحسب طاقة تكوين كل زوج من معادلة مماثلة للمعادلة

$$C \equiv \exp(-E_f / 2kt) : \text{ علي الصورة}$$

ويلاحظ من المعادلات الثلاث الاخيرة ان تركيز العيوب النقطية في البلورة يزداد بارتفاع درجة الحرارة ، وعند التبريد السريع يتجمد بداخل البلورة عدد كبير من هذه العيوب التي كانت في حالة اتزان ديناميكي حراري عند درجة الحرارة المرتفعة . وتتأثر تبعا لذلك الخصائص الفيزيائية الحساسة للتغيرات في التركيبية الداخلية . وتؤخذ عادة قياسات المقاومة الكهربائية كمقياس لعدد الفراغات المجمدة في الشبكة البلورية نتيجة التبريد المفاجيء ويرسم العلاقة بين $\ln p/p_0$ نحصل على خط مستقيم يعطي ميله المقدار E_v/k ومنه يمكن حساب E_v .

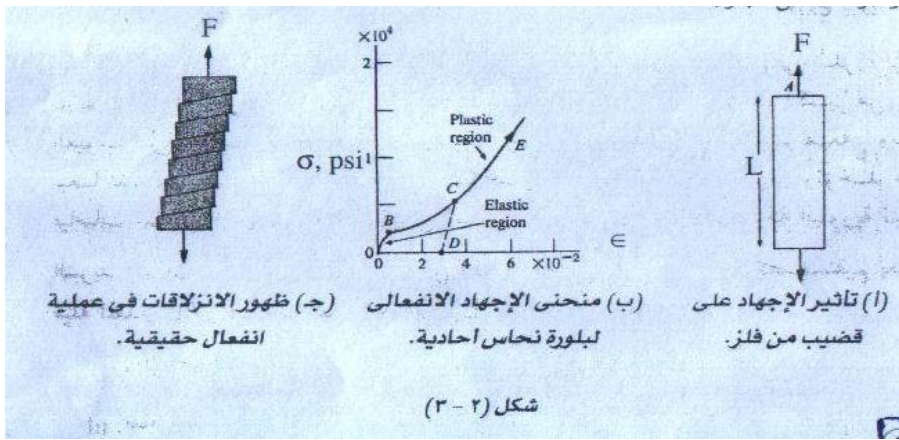
مثال ٢ - ١ طاقة تكوين " الفراغ " في معظم البلورات تساوي بالتقريب واحد الكترون فولت احسب تركيز الفراغات في بلورة نحاس عند درجة حرارة الغرفة ، وعند درجة حرارة ٦٠٠٠ درجة مطلقة

٣ - ٢ نظرية الانخلاعات :

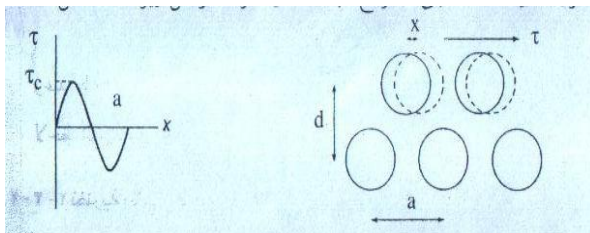
وجد من حسابات طاقة التكوين لكل من الانخلاع الحافي والانخلاع اللولبي ان لها نفس القيمة ، ولذا فان اليات غير حرارية لا بد ان تكون السبب في تكوين مثل هذه الانخلاعات .

من ناحية اخري ، تقدم نظرية الانخلاعات سببا معقولا لتفسير الخواص الميكانيكية بجوامد متبلورة ، فقد وجد علي سبيل المثال ان التقديرات النظرية لحد المرونة في تطورات المثالية اكبر الف او عشرة الاف مرة من

أقل التقديرات العملية ، كذلك لوحظ الفزات تبدي ميلا كبيرا نحو التدفق اللدن الذي يخلف انفعالا مستديما (لايخضع لقانون هوك) كما ان التشوية اللدن في ورات عديدة يحدث عن طريق الانزلاق عند مستويات واتجاهات محددة وقد امكن تفسير هذه الظواهر الميكانيكية للبلورات بدلالة الانخلاعات داخل البلورة



وسوف نحاول ان نبين هنا بشيء من التفصيل اهمية مفهوم الانخلاعات وارتباطة لشدة الميكانيكية للفلزات ، وذلك عن طريق حساب قيم لرية لاجهاد القص الذي يؤدي الي انزلاق المستويات الذرية بعضها فوق بعض في وردة مثالية استنادا الي النموذج المبسط الذي اقترحة فرنكل ويوضحة

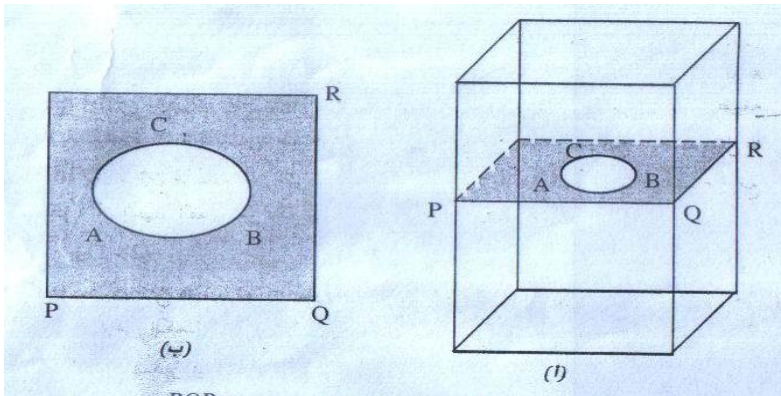


الشكل. لنعبر مقطعاً من خلال مستويين متجاورين داخل البلورة تفصلهما

مسافة D ، ثم لنفترض ان اجهاض القص تسبب في ازاحة جميع ذرات

المستوي العلوي مسافة X بالنسبة لمواضع الاتزان فاذا رسمنا العلاقة البيانية بين X فاننا نجد نتيجة للطبيعة الدورية للبلورة ان تختفي عند القيم حيث تمثل A المسافة بين ذرتين متجاورتين في مستوي واحد ولمزيد من التبسيط سنفترض مع فرنك لان اجهاد القص هو دالة جيبيية لازاحة اي ان وحيث ان قيمة G للبلورات الفلزية في الحدود فان هذا لنموذج يعطي قيمة نظرية لاجهاد القص في حدود بينما القيم التجريبية اصغر الاف المرات ويمكن الحصول علي توافق بين القيم النظرية والقيم التجريبية بالاخذ في الاعتبار تاثير الانخلاعات المسئولة عن حدوث الانزلاق في البلورات الحقيقية عند قيم منخفضة للاجهاد

ويمكن تقديم نموذج الانخلاع لتفسير الانزلاق بالرجوع الي البلورة



الموضحة في الشكل نعتبر المنحني المغلق ABC علي مستوي الانزلاق

PQR لنفترض الان ان لسبب او لآخر تمت ازاحة المادة الموجودة فوق ABC بمقدار ABC بالنسبة لنصف البلورة السفلي وفي الوقت نفسه بقي النصف العلوي الخارج من المساحة ABC دون ان يتاثر بهذه الازاحة

بهذه الطريقة نكون قد حصلنا علي حالة تم فيها الانزلاق جزء من نصف البلورة العلوي بالنسبة للنصف السفلي وتعرف النسبة F بين المساحة ABC وبين المساحة الكلية للمستوي بانها نسبة الانزلاق الذي حدث في هذا المستوي ومن ثم فانه اذا امكن بطريقة او باخري احداث زيادة في المساحة ABC فان F تكبر حتي تصل الي $F = 1$ عندما يكون النصف العلوي كلة مزاحا بمقدار B بالنسبة للنصف السفلي للبلورة اما في الحالات التي يكون فيها F اقل من الواحد فان متوسط ازاحة النصف العلوي بالنسبة للنصف السفلي هي الخط ABC هو خط الانخلاع الذي يحدد الحدود بين المادة المنزقة والمادة غير المنزقة في مستوي الانزلاق والمتجة B هو متجة برجرز الذي يحدد مقدار واتجاه الانزلاق .

وحيث ان الذرات تبحث دائما عن مواضع لطاقة الادني فانه من الواضح ان المتجة B يجب ان يصل بين موضعي اتزان ذري وهذا يعني ان التركيب البلوري يحدد المتجهات B الممكنة وبهذا نجد ان الاجهاد اللازم لاحداث القص ضروري لجزء من النصف العلوي للبلورة وهو الجزء F مما يبرر انخفاض الاجهاد الملاحظ

الباب الخامس : طرق الكشف عن التركيب البلوري

١ - ٥ الحيود في البلورات Diffraction in crystals

٢ - ٥ - قانون براغ (Bragg's law)

٣ - ٥ الطرق التجريبية لحيود الأشعة على البلورات

١- طريقة فون لاوي:

٢- طريقة البلورة الدوارة

٣- طريقة ديبياي- شرر:

الحيود فى البلورات

Diffraction in crystals

١ - مقدمة:

يتم التعامل مع الجسيمات المادية وفق فرضية دوبري على أنها ذات طبيعة ثنائية (موجة-جسيم) ويتحدد طول الموجة المرافقة للجسيم وفق العلاقة التالية:

$$\lambda = \frac{h}{p} \quad (1)$$

إن شرط حيود الأمواج (الأشعة) أثناء اختراقها للبنية البلورية أن تكون أطوال أمواجها من مرتبة المسافة بين الذرات فى البلورة أي من مرتبة أطوال المتجهات الأولية $\vec{a}, \vec{b}, \vec{c}$ ، عندها يمكننا أن نجد حزما موجية تحيد باتجاهات مختلفة عن اتجاه الحزمة الداخلة إلى البلورة ومن خلال ذلك نستطيع تحديد التركيب البلوري ، ومن ثم الحصول على المسافة الوسطية بين الذرات ومجموعات التناظر وأمور أخرى متعددة سندرس أهمها.

٢ - طاقة فوتونات الأشعة السينية (the energy of x-ray photons):

تعتبر الأشعة السينية المصدر الرئيس للمعلومات عن بنية البلورات وذلك لأنها تتمتع بطيف واسع من الأطوال الموجية (الأشعة البيضاء) تتناسب تماما مع كافة الأبعاد بين ذرية الجامد. حيث يمكن استخدام البلورات الحقيقية كشبكات حيود فضائية (فراغية) للأشعة السينية التي أطوال أمواجها من مرتبة الأبعاد الذرية (Von laue 1927) .

وكما هو معلوم في حيود الضوء فإن زاوية الحيود تتعلق بشكل رئيسي بتغير البنية البلورية وبطول موجة الحزمة الضوئية الساقطة على البلورة ، ولمعرفة طول موجة الحزمة يجب أن تكون طاقة الأشعة ذات أطوال موجية من مرتبة المسافة بين الذرات في البلورة ويتم معرفة ذلك وفقا للمعادلة الرياضية التالية: تعطى طاقة الفوتون من خلال علاقة اينشتاين التالية:

$$E = \hbar\omega = h\nu = h\frac{c}{\lambda} \Rightarrow \lambda = \frac{hc}{E} \quad (2)$$

تبين العلاقة (٢) أن طول الموجة دالة لطاقة أشعة اكس لأن $hc = 1240$ ، ولحساب طول الموجة بالأنجستروم ($1 \text{ \AA} = 10^{-10} \text{ m}$) تؤخذ الطاقة بالكيلو إلكترون فولت (Kev) حيث ($1 \text{ ev} = 1.602 \times 10^{-19}$) ومنه تصبح العلاقة:

$$\lambda = \frac{1240 \text{ ev.nm}}{E \text{ Kev}} = \frac{12.4}{E} \text{ \AA} \quad (3)$$

إذا كانت المسافة بين الذرات من مرتبة مضاعفات الأنجستروم وأجزائه فإن طاقة الفوتون يجب أن تكون بين (10-50 Kev)، وهو طيف الطاقة اللازم لإجراء التجارب بالأشعة السينية على البلورات ويعتبر طيف واسع يتناسب مع كافة الأبعاد البلورية ويمكننا من تحليل الصورة الناتجة عن الحيود وتحديد توزع الذرات في البلورة .

٣- طاقة النيوترونات (Energy of neutrons):

يعطي حيود النيوترونات معلومات هائلة عن البنية البلورية وخصوصا تلك المغناطيسية، ولمعرفة طول الموجة للنيوترون حيث يتحقق شرط الحيود نستخدم علاقة دوبري (١) ونستنتج كمية الحركة (p) من الطاقة الحركية للنيوترون وهي:

$$E_n = \frac{p^2}{2m} = \frac{h^2}{2m_n \lambda_n^2} \Rightarrow \lambda_n = \frac{h}{\sqrt{2m_n E_n}} \quad (4)$$

نبدل قيم الثوابت في العلاقة (٤) حيث ($m_n = 1.675 \times 10^{-27} \text{ Kg}$) والتعبير

عن قيم الطاقة بالإلكترون فولت وطول الموجة بالأنجستروم نجد أن :

$$\lambda_n \approx \frac{0.28}{\sqrt{E_n}} \text{ A}^0 \quad (5)$$

حتى يكون طول موجة النيترين من مرتبة الأنجستروم يجب أن تكون الطاقة للنيترين من مرتبة ($E_n=0.08 \text{ ev}$) وهذه الطاقة من مرتبة الطاقة الحرارية KT في درجة حرارة المختبر والتي تساوي 0.025 ev ولهذا السبب تدعى هذه النيترينات بالنيترينات الحرارية وهي تتحرك بسرعة من مرتبة 4000m/s . وبما أن النيترينات تملك عزوما مغناطيسية فإنها تلعب دورا مهما في الكشف عن البلورات المغناطيسية بالإضافة إلى الكشف عن الأبعاد بين الذرات في البلورة.

٤- طاقة الإلكترونات (Energy of electrons):

تلعب هذه الدراسة دورا مهما في الكشف عن الطبيعة الموجية للإلكترونات من ناحية ودراسة الحيود من ناحية أخرى حيث أن الآلية المسؤولة عن حيود الإلكترونات في البلورات هو المجال الكهربائي المتولد في الذرات داخل الجسم الجامد (النوى ذات الشحنات الموجبة والإلكترونات ذات الشحنة السالبة) الذي يكون شديدا كلما اقتربنا من مركز الذرة أي أن الإلكترونات تتبادل التأثير بشدة مع الذرات بسبب شحنتها وبالتالي فهي لا تستطيع اختراق البلورات إلا لمسافات صغيرة نسبيا. تأخذ العلاقة الرياضية بين طول موجة الإلكترون وطاقته علاقة شبيهة بعلاقة النيترينات مع استبدال كتلة النيترين في العلاقة (٥) بكتلة الإلكترون ($m_e=0.91 \times 10^{-30} \text{ Kg}$) وتصبح كما يلي:

$$\lambda_e = \frac{12.25}{\sqrt{E_e}} \text{ \AA}^0 \quad (6)$$

أي أن الإلكترونات التي أطوال أمواجها من مرتبة الانجستروم تمتلك طاقة تقريبية من مرتبة 150 ev وتتحرك بسرعة $7 \times 10^6 \text{ m/s}$.

٥- قانون براغ (Bragg's law) في الحيود :

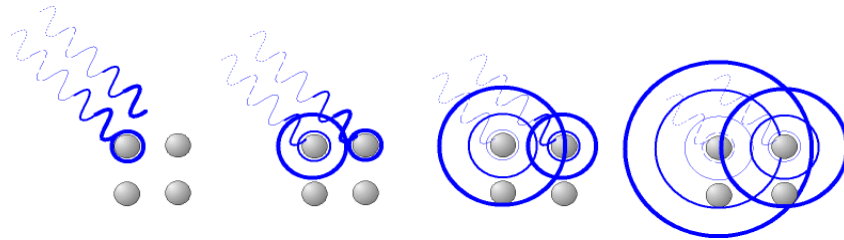
في عام ١٩١٣ م وضع براغ الشروط الهندسية لحيود حزمة وحيدة الطول الموجي من الأشعة السينية وقد افترض أن حزمة الأشعة الساقطة على البلورة تنعكس مثلما تنعكس الأشعة العادية عن مرآة مستوية (زاوية السقوط تساوي زاوية الانعكاس) بالنسبة لمختلف المستويات الذرية في البلورة، وان الربط بين زاوية السقوط وطول الموجة للضوء المستعمل والمسافة بين مستويات الانعكاس شرط أساسي للانعكاس الجيد (براغ).

تسقط أشعة اكس بشكل حزمة متوازية على المستويات الذرية حيث من المفترض أنها ستخترق الطبقات المختلفة للبلورة وتتبادل التأثير مع كافة المستويات الذرية حتى العميقة منها، ويفترض أيضا أن المستويات الذرية تعكس قسما صغيرا من الأشعة والباقي ينفذ إلى المستويات الأخرى.

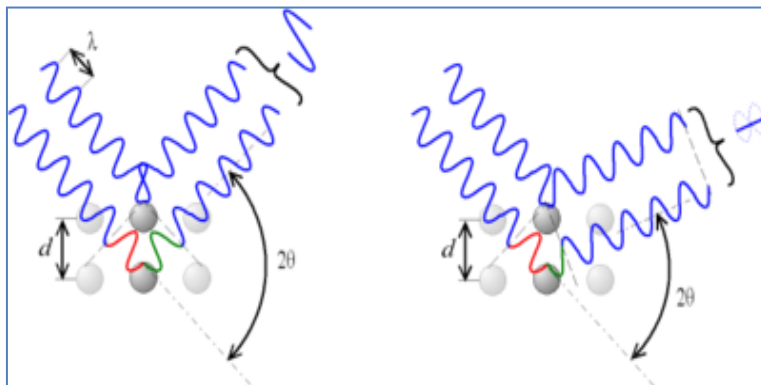
وبما أن البلورة تتألف من عدة مستويات ذرية وان أي مستوي يمتلك ترتيب دوري للذرات فان هذه المستويات ستتفاعل مع الأشعة السينية وكأنها

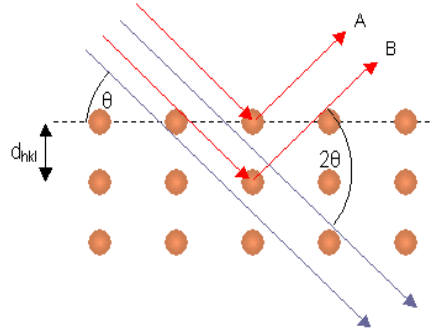
شبكات حيود مستوية وسوف يؤدي ذلك إلى حيودات من رتب مختلفة اعتبارا من المستوي الأول إلى الثاني إلى الثالث.....الخ. وسيؤدي دخول أشعة اكس إلى أعماق البلورة إلى ظهور كم هائل من الأشعة المنعكسة الناجمة عن آلاف المستويات الذرية(شبكات حيود) ولكن القسم الأكبر منها يضعف شدته نتيجة لعملية التداخل والقسم الآخر تزداد شدته وهذا الشرط يتحقق عندما يكون فرق المسير بين الأشعة الساقطة(الواردة)والمنعكسة يساوي إلى عدد صحيح من طول الموجة المستخدمة

$$\Delta = n\lambda \quad (7)$$



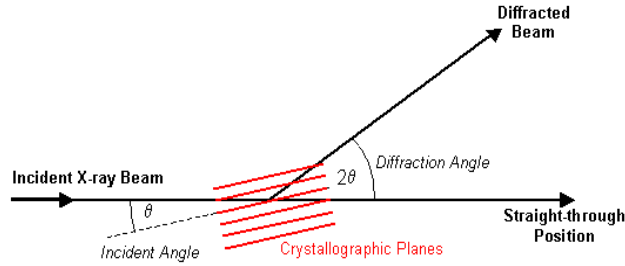
شكل(١):تفاعل الإشعاع مع المادة





شكل (٢): الحيود عن مستويين ذريين

شكل (٣): الحيود واختراق الأشعة للمستويات



شكل (٤) : شكل تخطيطي يمثل أشعة اكس الساقطة والشعاع المنعكس وفق

نظرية الحيود لبراغ

ومن الشكل التخطيطي حيث يسقط شعاع عند النقطة A على البلورة، نجد فرق المسير بين الشعاع المنعكس على المستوي الأول عند النقطة A وبين الجزء الباقي من الشعاع الأصلي المنعكس على المستوي السفلي عند النقطة B يساوي إلى:

$$(AB + BC) - (AC') \quad (8)$$

وإذا كان هذا الفرق يحقق العلاقة (٧) فإننا نستطيع أن نكتب العلاقة التالية:

$$(AB + BC) - (AC') = n\lambda \quad (9)$$

ونلاحظ من الشكل (٥) أيضا العلاقات المثلثية التالية:

$$AB = \frac{d}{\sin \theta} \quad BC = \frac{d}{\sin \theta}, \quad AC = \frac{2d}{\tan \theta} \quad (10)$$

وكذلك نجد أن:

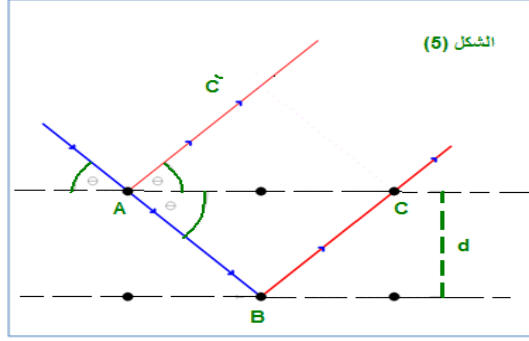
$$AC' = AC \cdot \cos \theta = \frac{2d}{\tan \theta} \cos \theta \quad (11)$$

نعوض في العلاقة (٩) فنجد:

$$n\lambda = \frac{2d}{\sin \theta} - \frac{2d}{\tan \theta} \cos \theta = \frac{2d}{\sin \theta} (1 - \cos^2 \theta) = \frac{2d}{\sin \theta} \sin^2 \theta \quad (12)$$

ومنه نحصل على قانون براغ في الحيود:

$$n\lambda = 2d \cdot \sin \theta \quad (13)$$

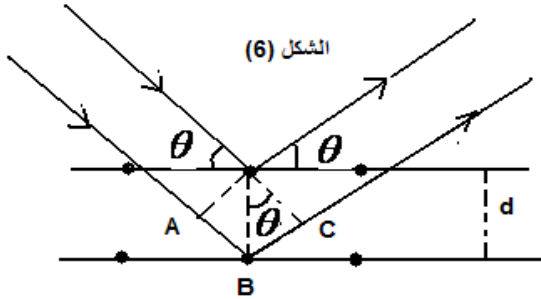


أو بشكل مختصر من الشكل (6) أيضا فرق المسار بين شعاعين احدهما يسقط على المستوي الأول والثاني على المستوي الثاني نجد:

$$\Delta = ABC = 2BC = n\lambda$$

$$\sin \theta = \frac{BC}{d} \Rightarrow BC = d \sin \theta$$

$$\Delta = 2BC = 2d \sin \theta = n\lambda \quad (14)$$



وهي نفس العلاقة

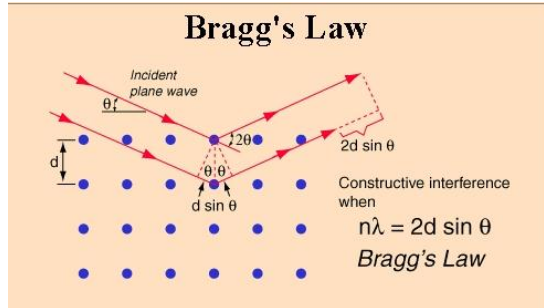
(١٣). وتعطينا

مبدئيا المسافة بين

المستويات الذرية

،ويجب استعمال أكثر من طول موجي للحصول على تصور فضائي للبلورة.

Bragg Diffraction: Bragg's Law



شكل (٧): قانون براغ وعملية الحيود هندسيا

Bragg Peaks

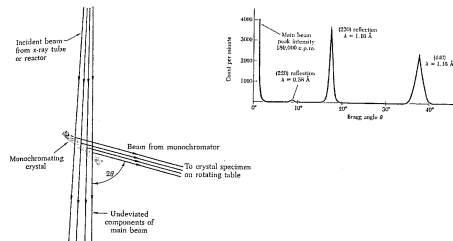


Figure 3 Sketch of a monochromator which by Bragg reflection selects a narrow spectrum of x-ray or neutron wavelengths from a broad spectrum incident beam. The upper part of the figure shows the analysis (obtained by reflection from a second crystal) of the purity of a 1.16 Å beam of neutrons from a calcium fluoride crystal monochromator. The main beam is that not reflected from the second crystal. (After G. Bacon.)

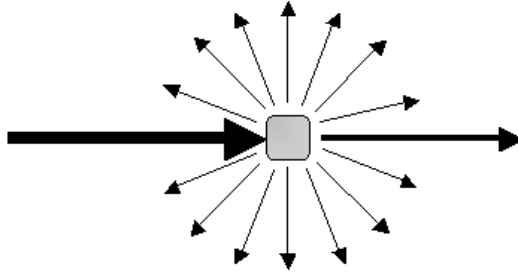
شكل (٨): قمم براغ في الخط البياني تمثل الزوايا التي توافق شرط الحيود

٦- الطرق التجريبية لحيود الأشعة (الأمواج) على البلورات

(Experimental methods in X-ray diffraction at crystals)

١- طريقة فون لاوي:

وهي طريقة سريعة ومجدية لكشف توجهات البلورة وكشف العيوب البلورية حيث تتعرض البلورة إلى حزمة من أشعة اكس البيضاء وبطيف مستمر يتراوح ما بين ٠.٢-٣ أنجستروم وذلك لتغطية كافة الاحتمالات الممكنة للأبعاد بين ذرية وهنا كل مستوي انعكاس بلوري يختار الطول الموجي المناسب مع الأبعاد بين ذرية وبحيث يتحقق قانون براغ (الشكل ٩).



شكل (٩): شكل تخطيطي يبين حيود أشعة اكس في كافة الاتجاهات ووفق

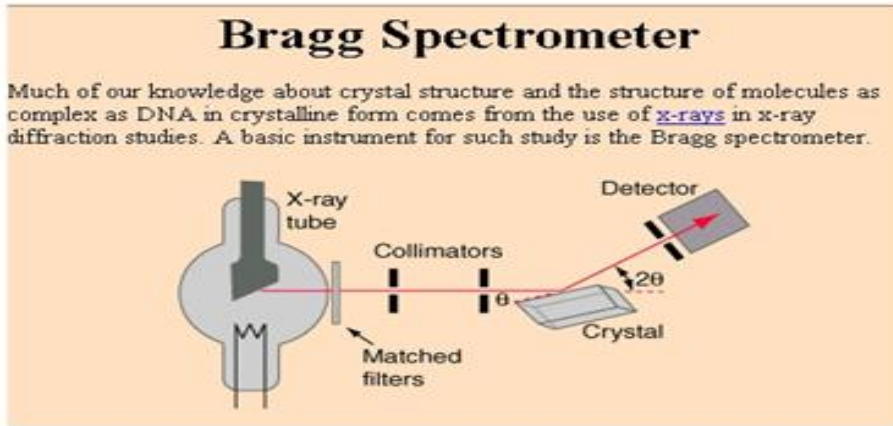
قانون براغ.

٢- طريقة البلورة الدوارة (طريقة براغ): يتم فيها تعريض البلورة إلى

حزمة من أشعة اكس الوحيدة، ثم يدرس الانعكاس على جملة معينة من سطوح متوازية وذلك عند تدوير البلورة، ووفق قانون براغ يلاحظ الانعكاس من أجل زوايا سقوط معينة تحقق شرط الحيود ويم من خلالها التعرف على d

لجملة السطوح المتوازية ، وغالبا يستعاض عن تدوير البلورة بتغيير زوايا سقوط الأشعة الواردة على البلورة ونحصل على نفس النتائج(أنظر الشكل ١٠).

Bragg Spectrometer



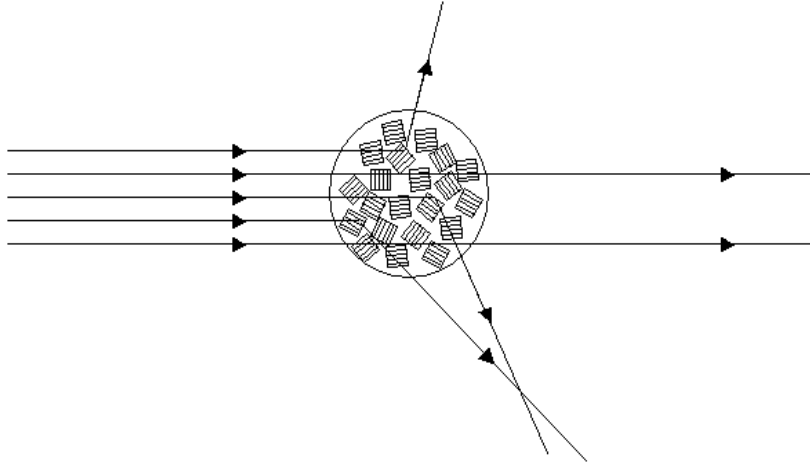
الشكل(١٠) : طريقة براغ التجريبية في الحيود

٣- طريقة المسحوق – Scattering in X-ray powder diffraction

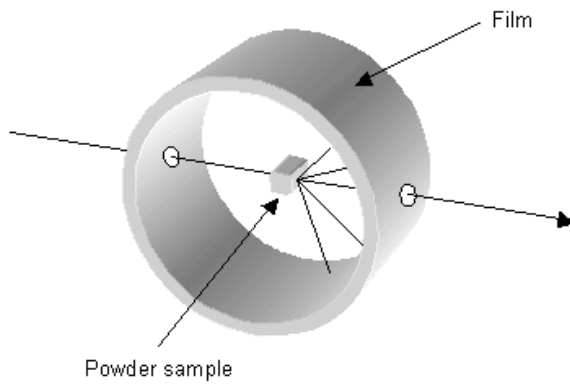
- أو طريقة ديبياي- شرر:

تستخدم هذه الطريقة للحصول على اكبر عدد من البلورات وتصبح كل بلورة عرضة لتحقيق قانون براغ بالحصول على العديد من الانعكاسات وبالتالي الحصول على العديد من الأبعاد البلورية ، ويستخدم في هذه الطريقة تقنية الأفلام التي تصور كافة الحالات التي يتحقق فيها شرط الحيود

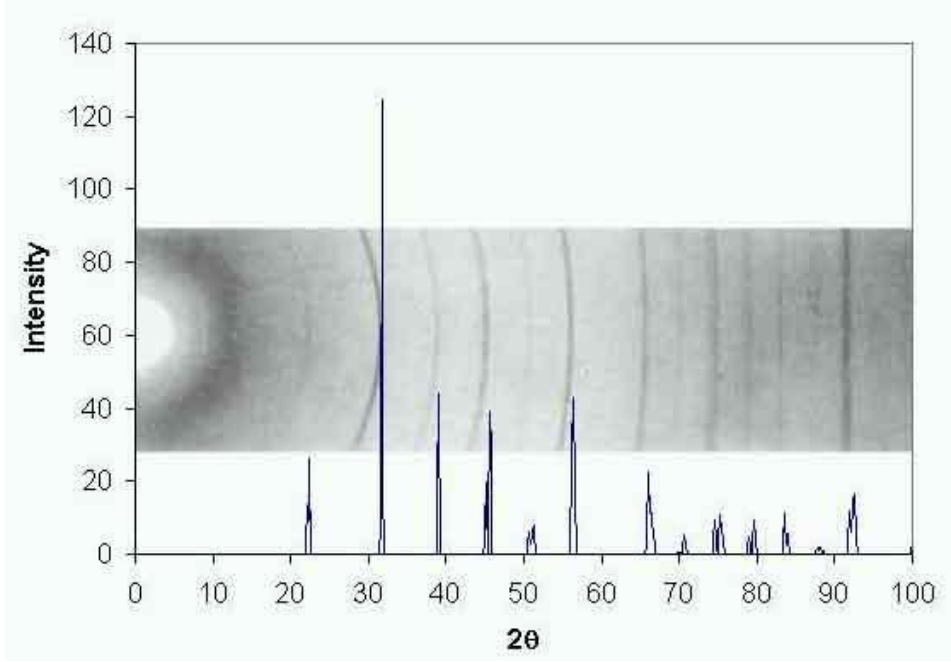
ومن ثم الحصول على نتائج رائعة حول الأبعاد البلورية (الشكل ١١ و ١٢ و ١٣).



شكل (١١): شكل تخطيطي لطريقة المسحوق (البودرة).



شكل (١٢): طريقة الفيلم مع المسحوق



شكل (١٣): شكل مطابقة حقيقي بين الفلم وتظهر عليه الخطوط الداكنة وبين زوايا الحيود الموافقة لشرط براغ على الخط البياني.

٤- طرق أخرى:

بعد فرضية دوبري ظهرت الرغبة في تقصي حقيقة الموجه المرافقة للجسيم المادي ولهذا الغرض أجريت تجارب هدفها الحصول على طول الموجه المرافقة للجسيم وذلك من معرفة البعد بين ذري للبلورة، وبعد ذلك استخدمت تلك الجسيمات في دراسة البنية البلورية للجوا مد ومن هذه الطرق:

١- تجارب دفيسون - جرمير (Davisson-Germer) على
الالكترونات.

٢- تجارب تومسون (Thomson) على الالكترونات.

٣- تجارب متعددة فائقة الدقة بحزم من النيوترونات وحتى حزم من
الذرات عبر قنوات خاصة في المفاعلات النووية والمسرعات.

المراجع

- ١- فيزياء الجوامد (الفصل الأول -) الدكتور محمد احمد
الجلالي
- ٢- طبيعة وخواص المواد (الجزء الاول) ترجمة الدكتور عواد
الزحلف
- ٣- المدخل لعلوم الجوامد (الدكتور رافت كامل واصف)
- ٤- الصور من بعض مواقع الانترنت

http://en.wikipedia.org/wiki/Solid_state_physics