Solid State Physics

فيزياء الحالة الصلبة

د/ محمود السمان

للفرقة الرابعة

تعليم اساسي / علوم

المرحلة الرابعة

فيزياء الحالة الصلبة Solid State Physics

الفصل الاول: التركيب البلوري Crystal Structure

المقدمة:

توجد المادة)العناصر والمركبات(بثلاث حالات كما عرفنا سابق او هي الحالة الصلبة والسائلة والغازية وتختلف المادة في كونها تمتلك احدى هذه الحالات باختلاف المسافات البينية ومقدار قوة الترابط بين ذراتها. ويجب الاشارة هنا الى ان الضغط ودرجة الحرارة هما المسببان الرئيسان لتغير حالة المادة هناك حالة رابعة للمادة هي حالة البلازما والتي تكون فيها المادة عبارة عن غاز متأين، وحالة خامسة تظهر فيها المادة بشكل دقائق نووية ذات طاقة عالية ومما سبق استعراضه يمكننا ان نصل الى نتيجة مفادها " ان الطاقة الحركية للجزيئة او الدقيقة المشحونة هي المسؤولة عن تحديد الحالة التي تظهر فيها المادة" .

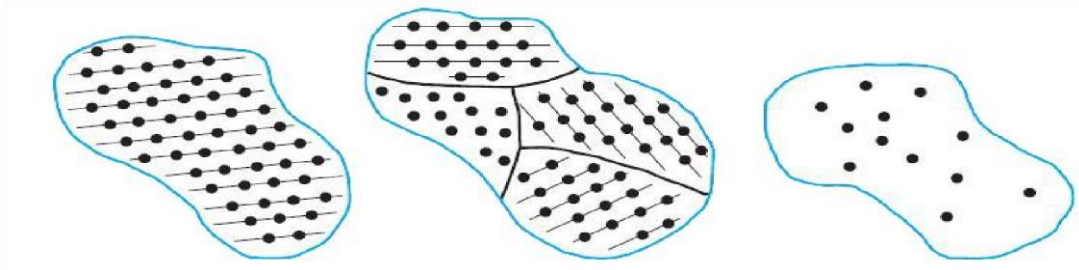
المواد الصلبة المتبلورة وغير المتبلورة:

المواد المتبلورة Crystalline: هي المواد الصلبة التي تكون ذراتها مرتبة بشكل هندسي بحيث تكون مواقعها حدودية في هذا الشكل وتكون هذه الدورية بترتيب طويل المدى اما في بعدين للشبائك ثنائية الابعاد او ثلاثة ابعاد للشبائك ثلاثية الابعاد.

ان المواد المتبلورة تحوي صفوفا من الذرات المتجمعة والمرتبة بشكل دوري وتمتلك نوعا من التماثل Symmetry ويمكن اعتبار تركيبها تكرارا لأية خلية وحدة ومن هذه المواد هي الحديد والذهب وكلوريد الصوديوم وغيرها.

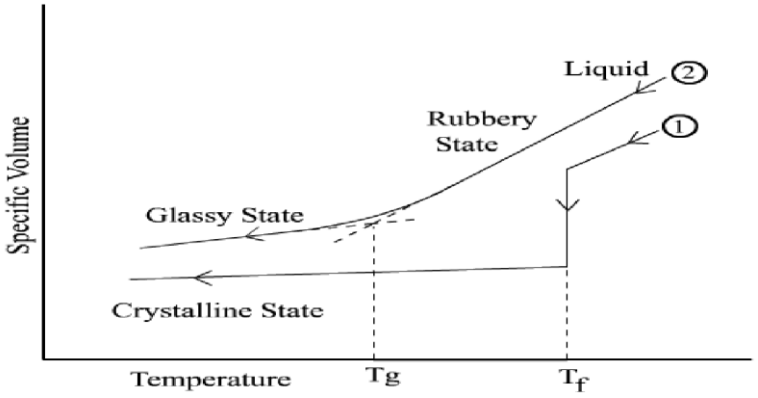
المواد غير المتبلورة non–Crystalline: وتسمى ايضا بالمواد العشوائية (Amorphous) : وهي المواد التي تتجمع ذراتها بصورة عشوائية وبدون ترتيب ومن هذه المواد الزجاج.

وهناك مواد متبلورة وغير متبلورة في آن واحد مثل السليكون والجرمانيوم والسبب يعود الى طريقة تحضيرها او كيفية تكونها.

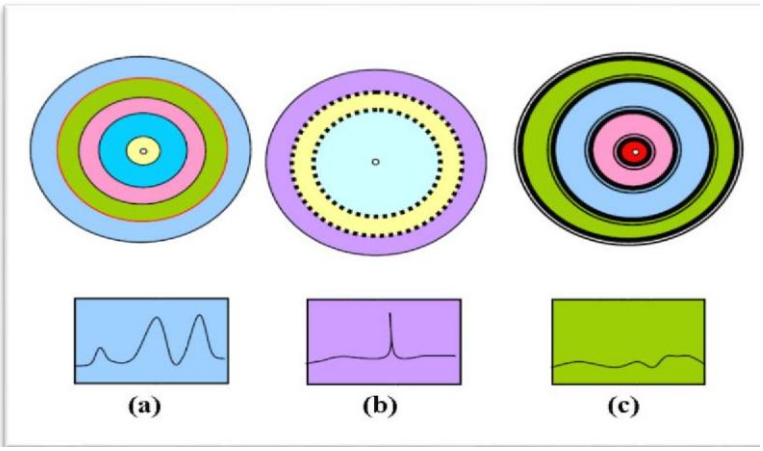


يمكن التمييز عمليا بين المواد المتبلورة وغير المتبلورة بثلاث معايير مستقلة هي:

1- تنصهر المواد المتبلورة فجأة وعند درجة حرارة معينة ثابتة دائما اما المواد غير المتبلورة فتنصهر على مدى معين لدرجات الحرارة.



2- تكون المواد غير المتبلورة تشكيله منتشرة ومتبعثرة عند حيود الاشعة السينية منها على شكل حلقات متحدة المركز، بينما هذه التشكيلة تكون للمواد المتبلورة عبارة عن بقع spots متميزة ومنفصلة بعضها عن بعض وذات تماثل معين.



(XRD) of (a) Polycrystalline (b) single crystal (c) Amorphous crystal

3- تكون جميع المواد المتبلورة متباينة الخواص الاتجاهية anisotropic وبدرجات متفاوتة اما المواد غير المتبلورة فتكون جميعها متماثلة الخواص الاتجاهية Isotropic اي لا يظهر اي تأثير للاتجاه على خواصها.

مصطلحات اساسية:

علم البلورات Crystallography: هو العلم الذي يهتم بدراسة المواد الصلبة بجميع اشكالها وظواهرها ويقسم الى:

1- **علم البلورات الهندسي:** ويهتم بدراسة تماثل البلورات واشكالها الخارجية.

2- **علم البلورات الكيمياوي:** يهتم بدراسة منشأ البلورات وكيفية نموها.

البلورة: عبارة عن جسم صلب يحتوي على عدد من الذرات مصطفة بشكل هندسي معين ويتكون من وحدات غاية في الصغر تكرر بانتظام في الابعاد الثلاثة، تسمى خلايا الوحدة cell units .

ان اساس البناء البلوري هو التكرار وهناك بلورات على انواع:

1- **البلورات الحقيقية Real crystal** وتمثل معظم البلورات الموجودة في الطبيعة وتحتوي على بعض العيوب والتشوهات.

2- **البلورات المثالية Perfect crystal** وهي بلورت مفترضة حيث اننا نفرض وجود بلورة مثالية خالية من العيوب والتشوهات لغرض الدراسة ولا توجد بلورة مثالية في الطبيعة وهي تشبه فكرة الغاز المثالي وتمتاز البلورة المثالية:

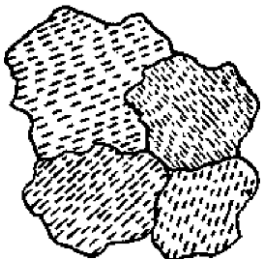
أ- بالدورية Periodicity المنتظمة ثلاثية الابعاد حيث ان المجاميع المتماثلة من الذرات تكرر نفسها عند فواصل او فسح متساوية تماما.

ب- بانها يمكن ان تمتلك تشكيلات هائلة من التنظيمات او الترتيبات الدورية.

انواع البلورات الحقيقية:

أ- البلورة الاحادية Single crystal: حيث تمتد دورية التشكيلية او الانموذج البلوري الثلاثي الابعاد خلال البلورة بأكملها.

ب- البلورة متعددة التبلور Poly crystalline حيث لا تمتد دورية الانموذج خلال البلورة بأكملها بل تنتهي عند حدود داخل البلورة تدعى بحدود الحبيبات grain boundaries.



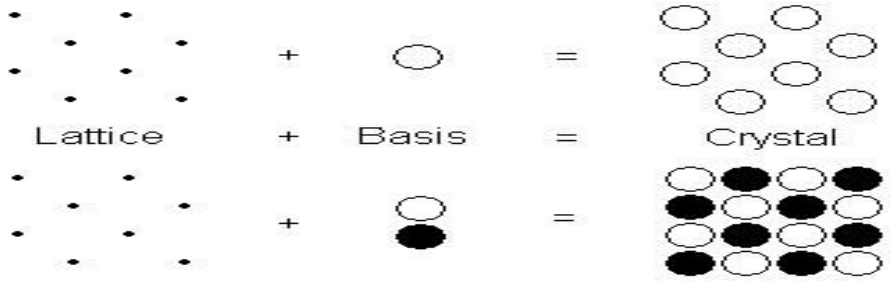
- تعرف البلورة بأنها تجمع لعدد لانهائي من الوحدات المتماثلة تتكرر بشكل دوري ومنتظم)إذا كانت مثالية(في جميع اتجاهات الفضاء.
- تدعى الوحدات بوحدات البناء البلوري أو القواعد)الأساس base(.
- تمثل كل قاعدة بنقطة هندسية)بالمعنى الرياضي(ندعوها عقدة ومجموعة العقد الموزعة بانتظام ودورية تشكل ما نسميه **شبيكة بلورية: وهي مفهوم رياضي يعبر عن هندسة البلورة.**
- أي ان البلورة تمثل تتابع منتظم للقاعدة المتموضعة في عقد الشبيكة البلورية الموزعة بشكل دوري في الفراغ)الفضاء(. وبشكل مختصر:

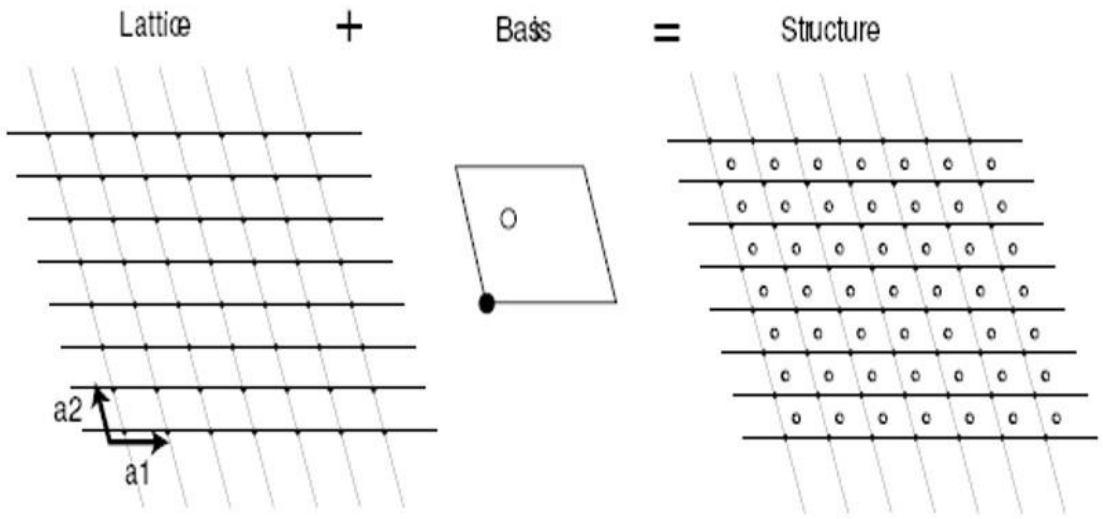
شبيكة بلورية + قاعدة (أساس) = بنية بلورية

Crystal Structure = Lattice + Basis

يجب أن تكون كافة القواعد في كل شبيكة بلورية متماثلة في تركيبها وعددها ويمكن أن يكون العدد ذرة أو عدة مئات أو ألوف من الذرات شريطة أن تكون خاضعة لشروط الدورية.

التركيب البلوري Crystal structure: ويمكن تعريفه من العلاقة التي تربط كل من الاساس Basis والشبكية lattice





الاساس: عبارة ذرة او ايون او جزيئة او مجموعة من الذرات يطلق عليها نقطة وترتبط كل نقطة مع النقاط الاخرى لتشكيل هيئة معينة ويجب ان يمتاز الاساس المرافق لكل نقطة بان يكون:

1- متماثل الاجزاء من حيث التركيب والترتيب والتوجيه.
2- عدد الذرات في خلية الوحدة الاولية مساوٍ لعدد ذرات الاساس.

الشبيكة: مجموعة من النقاط مرتبة بنظام معين وليست مجموعة من الذرات ولوصف التركيب البلوري يجب مرافقة ذرة او مجموعة من الذرات لكل نقطة من نقاط الشبيكة والتي تدعى بالأساس.

ما الفرق بين التركيب الذري Atomic structure والتركيب البلوري Crystal structure؟

التركيب الذري يتعلق بعدد النيوترونات والبروتونات في نواة الذرة وعدد الالكترونات في المدارات الالكترونية.
اما التركيب البلوري فيعنى بتركيب الذرات داخل المواد الصلبة البلورية بتشكيلات معينة.

شبيكة برافيز Bravais والمتجهات الانتقالية في البلورة:

الشبيكة الفضائية: هي مجموعة من النقاط المرتبة بنظام ما وتعيد نفسها بصورة دورية في الفضاء الثلاثي الابعاد وتدعى عادة بالشبيكة البرافيزية Bravais Lattice نسبة الى مبتكرها برافيز عام 1848.

يتم تحديد الشبيكة ذات البعد الواحد بلالة متجه واحد هو $\vec{a}$ والشبيكة ثنائية الابعاد بالمتجهين $\vec{a}$ و $\vec{b}$ اما الشبيكة الثلاثية الابعاد فيتم تحديدها بدلالة المتجهات الثلاثة $\vec{a}$ و $\vec{b}$ و $\vec{c}$ وتسمى بالمتجهات الانتقالية اما المتجه الذي يربط هذه المتجهات الثلاثة فيدعى بالمؤثر الانتقالي ($\vec{T}$) Translation vector ويعبر عنه لشبيكة ذات بعد واحد:

حيث n عدد صحيح $\vec{T} = n\vec{a}$

اما للشبيكة ثنائية الابعاد $\vec{T}_2 = n_1\vec{a} + n\vec{b}$

اما للشبيكة ثلاثية الابعاد $\vec{T}_3 = n_1\vec{a} + n_2\vec{b} + n\vec{c}$ ....(1)

حيث ان n , n_2 , n_3 اعداد صحيحة.

والمؤثر الانتقالي $\vec{T}$ يربط اي موقعين داخل البلورة بحيث تبدو الذرات المحيطة بهذبن الموقعين متماثلة ولهذا يسمى بالمؤثر الانتقالي او الزحفي.

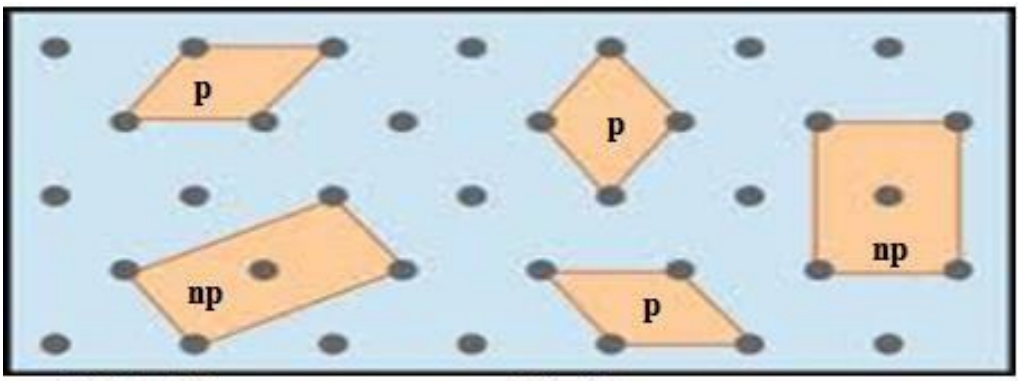
حيث ان $\vec{r}$ و $\overrightarrow{r^1}$ موقعين داخل البلورة

$$\overrightarrow{r^1} = \vec{r} + \vec{T} \quad .....(2)$$

بتعويض (1) في (2) ينتج: $\overrightarrow{r^1} = \vec{r}_3 + n_1\vec{a} + n_2\vec{b} + n\vec{c}$ ...(3)

الخلية الأولية (البدائية) Primitive: هي الخلية التي تحتوي على النقاط في اركانها فقط وتكون محاورها بأقصر طول ممكن. وهذه الخلية يمكن أن تملأ الفضاء بكامله عن طريق انسحابات ودورانات مناسبة تعيد الخلية إلى وضع مشابه للوضع الأول ويتوافق مع زاوية مقدارها Φ حيث) n=1,2,3,4,6, (ويفتقر الشكل الذي فيه) n=5,7 (إلى التناظر ويتم الدوران حول محور يمر من عقدة شبكية.

الخلية غير الاولية Non-Primitive: هي الخلية التي تحتوي على نقاط شبيكة اخرى بالإضافة الى الاركان ولا تكون اطوال محاورها بأقصر طول ممكن ولا تنطبق عليها المعادلة (3).



P=Primitive np=non-Primitive

خلية الوحدة unit cell: وهي أصغر وحدة في الشبيكة الفضائية، وهي الوحدة التي بتكرارها في الاتجاهات الثلاثةينتج عنها بلورة كبيرة من المادة الصلبة ولها نفس تماثل خلية الوحدة.

حجم خلية الوحدة ثلاثية الابعاد ويعطى بالعلاقة:

$$V = |\vec{a} \times \vec{b} \cdot \vec{c}| \quad \text{او} \quad V = |\vec{a} \cdot \vec{b} \times \vec{c}|$$

والمهم هنا اجراء عملية الضرب الاتجاهي (cross) اولا ثم الضرب النقطي dot ويستخدم هذا القانون لحساب حجم الخلايا الاولية وغير الاولية.

<u>التماثل البلوري Crystal Symmetry:</u>

هناك أربع عمليات يمكن ان تتحدد بها عمليات التناظر داخل البلورة هي:

الانتقال – Translation
الدوران – Rotation
الانعكاس – Reflection
الانقلاب – Inversion

والتناظر هو تكرار او تطابق اجزاء شكل ما حول مستو او مستقيم او نقطة فالدائرة متماثلة حول اي قطر لها واذا امكن وصف وضعية معينة لجسم باكثر من اتجاه واحد بحيث لا يمكن التمييز بين هذه الاسطح يقال ان لهذا الجسم متماثل. والكرة متماثلة حول أكبر مستو دائري لها. والمكعب له حالات تماثل عديدة فهو متماثل قطريا وطوليا وعرضيا وحول مركزه.

اما عدم التماثل Asymmetry: فهو الشكل الذي لا يملك صفة التكرار ولا يملك تطابق في اجزاءه مثل اليد اليمنى او اليد اليسرى للإنسان.

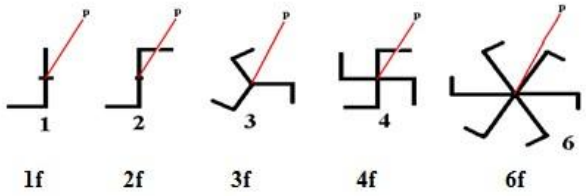
ان التماثل في البلورة هو عبارة عن عمليات او مؤثرات يمكن تخيل حدوثها على البلورة وبعد الانتهاء منها تبدو البلورة كاصلها اي تكرار او تعيد اجزاءها الى المواقع التي كانت تشغلها قبل حدوث تلك العمليات.

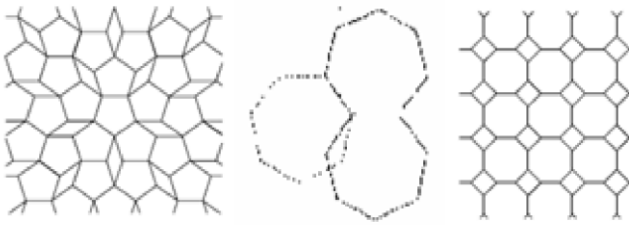
مؤثرات التماثل او العناصر الاساسية للتماثل هي:

1- **محور دوراني مناسب:** هو مستقيم وهمي يمر بمركز البلورة بحيث لو دارت دورة كاملة ($0^0$36) بغير ايةازاحة لتكررت خلال تلك الدورة وضعيات البلورة عددا من المرات ويجب ان تكون زاوية الدوران Ø أحد الاجزاء المتساوية الحاصلة من قسمة الدورة الكاملة على اعداد صحيحة n تسمى الطية fold.

حيث تماثل هذه الارقام درجات التماثل المسموح بها n = 1,2,3,4, 6 و $\emptyset = \frac{360}{n}$ حيث ان , 8.....

5 , 7 غير مسموح بها لانها اما ان تترك فراغ او تتراكب خلايا الوحدة ذات اربعة وابسط مثال على المحور الدوراني المناسب هو دوران المروحة ذات ثلاث ريش 3(طيات) Ø = 120 ^{0} وذات اربعة ريش 4(طيات. $\emptyset = 90^0$)





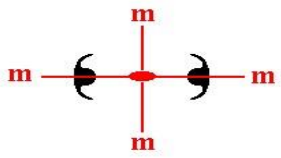
غير مسموحة

2- **محور دوراني غير مناسب:** وهو حدوث عملية تدوير تعقبها او تليها عملية انعكاس لكي يكرر الجسم نفسه اي انها عملية هجينة)دوران + انعكاس(وتوجد خمسة محاور دورانية انعكاسية يرمز لها 3̄ ,4̄

(1̄ , 2̄ ,

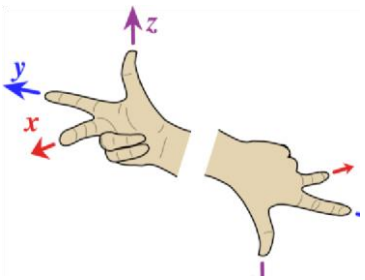
. 1̄ one tild ,6̃ ,5̃

3- **مستوى التماثل:** وهو مستوى وهمي يقسم الجسم او البلورة الى نصفين متشابهين بحيث يمكن ان يكون أحد النصفين صورة للاخر مثل جسم الانسان لو قسم الى نصفين متساوين بصورة طولية. ويرمز لهذه العملية (mirror)(m(واذ امكن قسم الجسم الى عدة اقسام متناظرة مثلا الى قسمين متناظرين للاعلى والاسفل وقسمين متناظرين لليمين ولليسار مثل المستطيل فانها تكون المرآة مزدوجة (double mirror) (mm) .



2 m m

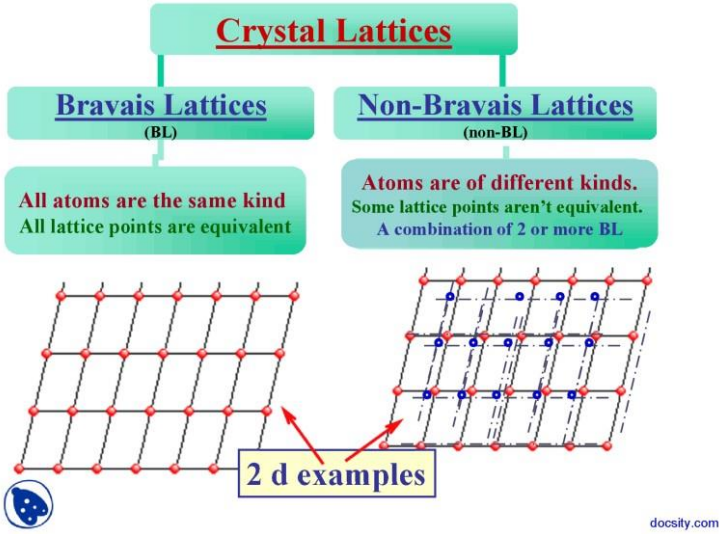
4- **مركز التماثل:** ان مركز التماثل هو مركز انقلاب لان لهذا المركز خاصية قلب جميع الفضاء من خلال نقطة واحدة للتقاطع وابسط مثال لوضعنا ابهام اليد اليسرى ملامسا للابهام اليد اليمنى واحدى اليدين اصابعها للاسفل وباطنها نحونا اما اليد الاخرى فاصابعها الى الاعلى وظهر اليد نحونا نكون قد حصلنا على مركز تماثل ويرمز له 1̄ , 2̄ , 3̄ , 4̄ , 5̄ , 6̄ one bar 1̄.



شبائك برافيز Bravais Lattice:

هناك نوعان من الشبائك: برافيز Bravais وغير برافيز Non-Bravais

في شبيكة برافيز، تكون جميع نقاط الشبيكة متكافئة، وبالتالي من الضروري ان تكون جميع الذرات في البلورة من نفس النوع. اما في الشبيكة غير البرافيز فبعض نقاط الشبيكة تكون غير مكافئة.

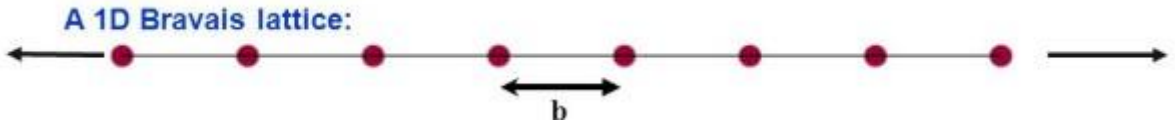

Crystal Lattices
Bravais Lattices
(BL)
Non-Bravais Lattices
(non-BL)
All atoms are the same kind
All lattice points are equivalent
Atoms are of different kinds.
Some lattice points aren't equivalent.
A combination of 2 or more BL
2 d examples
docsity.com

-

الشبائك المستوية وتماثلانها:

تكمن أهمية هذه الشبائك لفهم خواص السطوح الفيزيائية للأجسام الصلبة وفهم دراسة حيود الأشعة السينية على تلك السطوح بحيث نتمكن من تقدير المسافة بين النقاط.

والشبيكة كما مر سابقا هي مجموعة من النقاط المرتبة بنظام معين وتعيد نفسها بصورة دورية وتكون عملية الاعادة باتجاه واحد وتسمى شبيكة خطية او ببعدين وتسمى شبيكة مستوية او بثلاثة ابعاد وتسمى شبيكة فضائية والشبيكة الخطية تتكون من نقاط متشابهة ذات ابعاد متساوية وعلى خط مستقيم عمودي او افقي ولهذا هناك نوع واحد اساسي من الشبيكة الخطية بسبب وجود طريقة واحدة فقط ترتيب النقاط والفرق الوحيد هو المسافة الفاصلة بين النقاط.



ا الشبيكة المستوية فيمكن منها الحصول على عدد كبير من الشبائك يمكن ان تجمع في خمسة انواع هي:

- **شبيكة مائلة:** هي شبيكة عامة ولا توجد علاقة خاصة بين اطوال متجهاتها الاساسية وان الزاوية بين هذه المتجهات غير محدودة القيمة اي ان:

$$\vec{a} \neq \vec{b}، \emptyset \neq 90^{\circ}$$

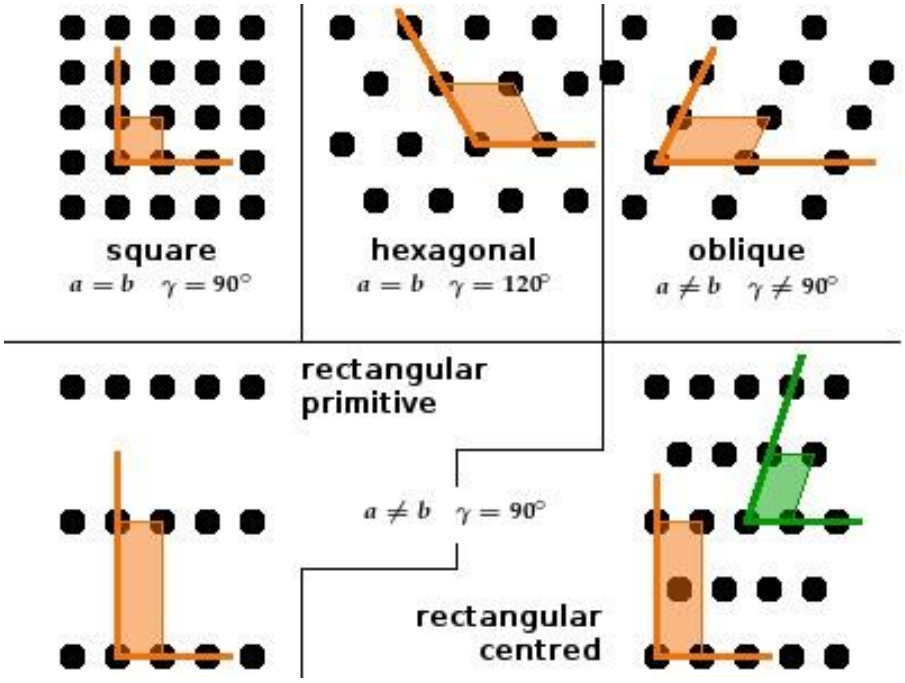
كل ركن يمثل ¼ نقطة وكل خلية تمتلك 1 نقطة)¼*4=1(.

- **شبيكة مستطيلة اولية**: في هذا النوع هناك قيمة محدودة للزاوية $\emptyset \neq 90^{\circ}$ ولا يوجد تحديد لاطوال محاورها $\vec{a} \neq \vec{b}$.كل ركن يمثل ¼ نقطة وكل خلية تمتلك 1 نقطة)¼*4=1(.

- **شبيكة مستطيلة متمركزة**: وهي شبيكة غير اولية تمثل حالة خاصة لشبيكة مائلة بقيمة محدودة للزاوية $\emptyset$ ن محاورها غير المتساويين فعندما تكون $\emptyset = \left(cos^{-1}\frac{a}{2b}\right)$ نحصل على خلايا اولية من شكل متوازي نسلاع ويمكن تشكيل خلايا غير اولية بهيئة مستطيلات وتكون المحاور $\vec{a} \neq \vec{b}$ و $\emptyset \neq 90^{\circ}$. كل ركن يمثل ¼ نقطة وكل خلية تمتلك 2 نقطة)¼*4+1=2(.

- **شبيكة مربعة**: تكون المحاور الاولية متساوية $\overrightarrow{a} = \overrightarrow{b}$ والزاوية بينهما قائمة $\emptyset \neq 90^{\circ}$. كل ركن يمثل ¼ نقطة وكل خلية تمتلك 1 نقطة)¼*4=1(.

- **شبيكة سداسية**: يمكن تشكيل شبيكة سداسية من شبيكة مائلة ذات مواصفات خاصة فتكون محاور الشبيكة $\overrightarrow{a} = \overrightarrow{}$ والزاوية بينهما $\emptyset \neq 120^{\circ}$ وتكون حالة خاصة من شبيكة مستطيلة متمركزة عندما خليتها الاولية معينية الشكل بمواصفات $\overrightarrow{a} = \overrightarrow{b}$ و $\emptyset \neq 60^{\circ} or\ 120^{\circ}$.



شبائك الفضائية (3D) والانظمة البلورية:

هناك خمسة انواع اساسية من شبائك برافيز)في ثلاثة أبعاد(

1- شبائك بدائية اولية Primitive Lattice

يرمز لها بالرمز (P) حيث تحتوي كل خلية وحدة على $\frac{1}{8}$نقطة في كل ركن من اركانها الثمانية وبذلك فان كل خلية وحدة اولية تحتوي على نقطة شبيكة واحدة)نقطة $8 * \frac{1}{8} = 1$ (.

2- شبائك ممركزة الوجوه Face Centered Lattice

ويرم لها بالرمز (F) وهي تحتوي على $\frac{1}{8}$نقطة شبيكة في اركانها الثمانية بالاضافة الى $\frac{1}{2}$ نقطة شبيكة في الوجوه الستة اي ان مجموع ما تحتويه هذه الشبائك هو 4 نقاط (نقاط $8 * \frac{1}{8} + 6 * \frac{1}{2} = 4$).

3- شبائك ممركزة الجسم Body Centered Lattice

ويرمز لها بالرمز (I) وتحتوي $\frac{1}{8}$نقطة شبيكة في اركانها الثمانية بالاضافة الى نقطة شبيكة واحدة في مركز الجسم اي ان مجموع ما تحتويه هذه الشبائك هو نقطتين (نقطة $8 * \frac{1}{8} + 1 = 2$).

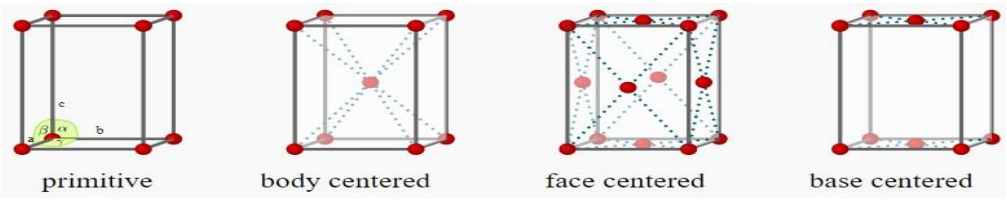
4- شبتئك ممركزة الجانب او القاعدة Base or Side Centered Lattice

يمتاز هذا النوع باحتوائه على $\frac{1}{8}$ نقطة شبيكة في اركانه الثمانية بالاضافة الى $\frac{1}{2}$ نقطة شبيكة في وجهين متقابلين من وجوهه الستة وبالتالي فان مجموع ما يحتويه من نقاط هو نقطتين $= 8 * \frac{1}{8} + 2 * \frac{1}{2}$

(نقطة2 ويرمز لهذه الشبائك بالرمز A او B او C حسب موقع النقطتين على اوجه الخلية.

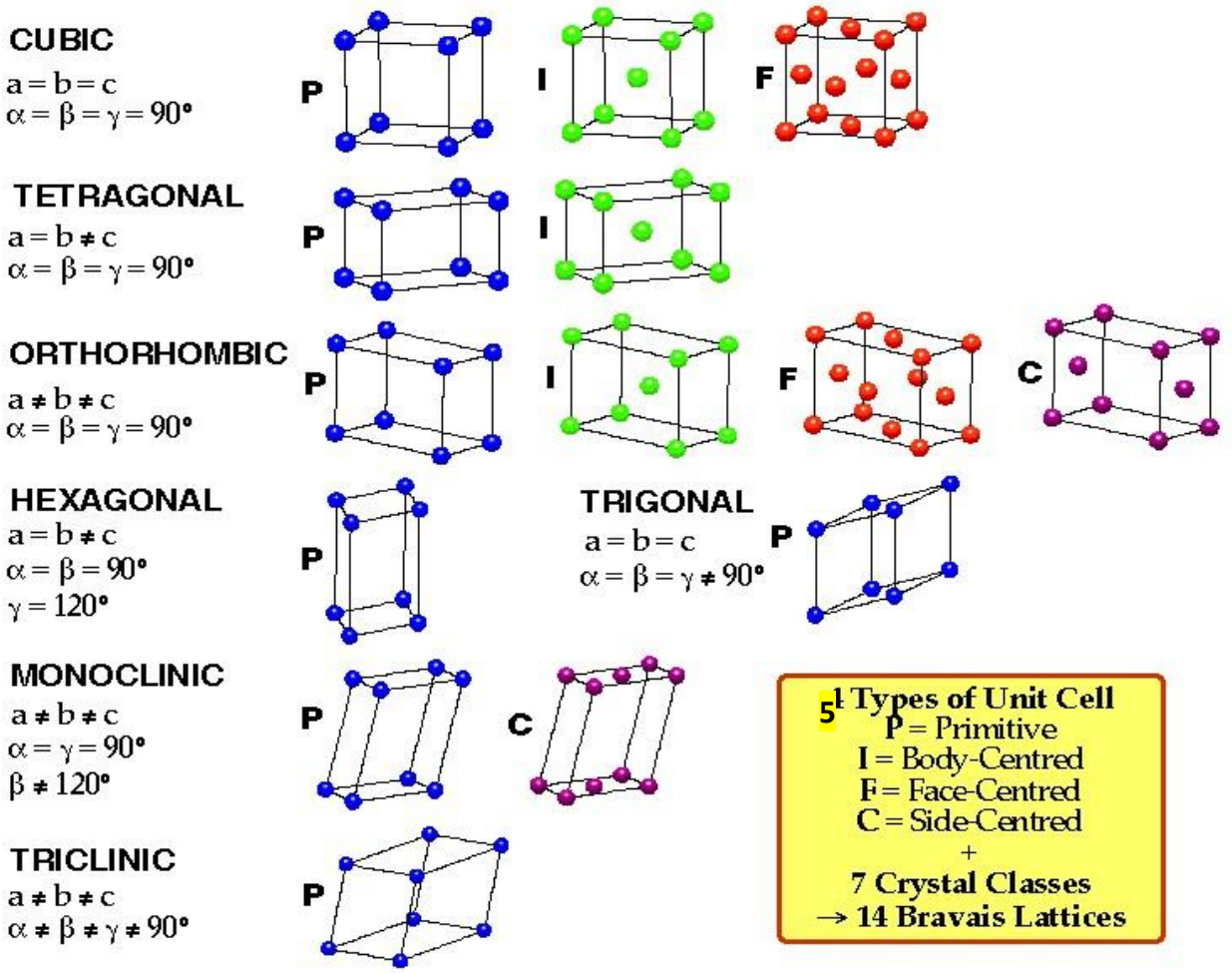
5- Rhombohedral Lattice شبائك معينية الاوجه

وهي حالة خاصة من الشبائك الاولية ويرمز لها بالرمز R . ويكون شكل الخلية معينية الوجوه لكن المحاور الثلاثة غير متعامدة اي ان $\vec{a} = \vec{b} = \vec{c}$ و $(\propto = \beta = \gamma) \neq 90^{\circ}$.



توزع الانواع الخمسة من الشبائك الاساسية على سبعة أنظمة بلورية تتفرع منها أربع عشرة شبيكة برافيزية.

وفيما يلي الأنظمة البلورية السبعة والشبائك البرافيزية الاربعة عشر:



النوع الأكثر شيوعا من خلايا الوحدة هو:

- **مكعب متمركز للوجه (FCC)**
- **مكعب محوري للجسم (Bcc)**
- **سداسية مغلقة معبأة (Hcp)**

لكل هيكل بلوري مذكور أعلاه ، يجب ان نحدد العوامل التالية:

1- وضع الذرات

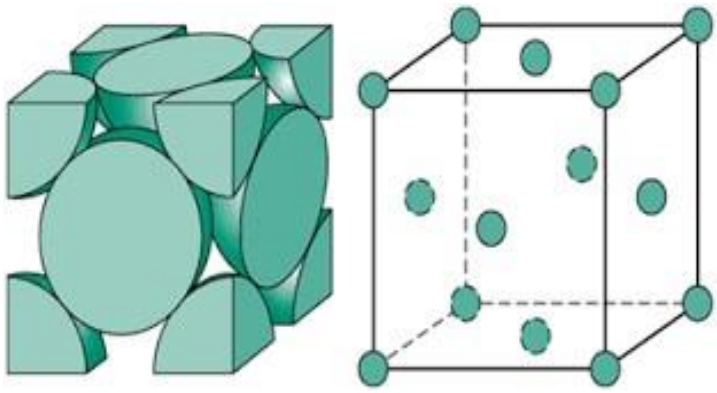
2- أمثلة

3- العلاقة بين طول الخلية ونصف قطر الذرة R

4- رقم التنسيق CN

5- عدد خلية وحدة الذرة

6- عامل التعبئة الذرية APF



1- هيكل مكعب محوره الوجه (FCC)

1- توجد الذرة من زوايا جميع وجوه خلية الوحدة المكعبة

2- Cu، Al، Au لها هذه البنية البلورية

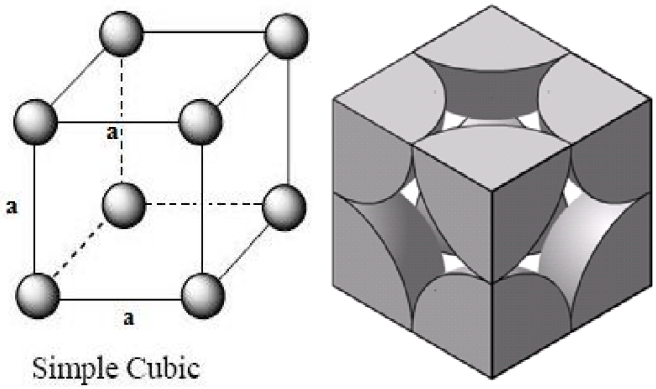
3- العلاقة بين طول ونصف قطر الذرة 1/2 (2R) 2 = a) R.

4- رقم التنسيق CN = عدد الجيران المغلقين الذين ترتبط بهم الذرة 12 = CN (FCC)

5- عدد الذرات لكل خلية وحدة = 8 * 8/1 + 6 * 2/1 = 4 ذرات / خلية وحدة

6- يشير عامل التعبئة الذرية أو كفاءة التعبئة إلى مدى قرب الذرات في خلية الوحدة ويعطى بنسبة حجم الذرات في خلية الوحدة وحجم خلية الوحدة

APF = 0.74 (الحد الأقصى الممكن)



Simple Cubic

2- هيكل مكعب محوره الجسم (BCC)

1- توجد الذرة من الزوايا وفي وسط خلية الوحدة المكعبة

2- Cr، Na، Fe لها هذا الهيكل البلوري

3- العلاقة بين طول ونصف قطر الذرة a = 4R (3) 1/2 R.

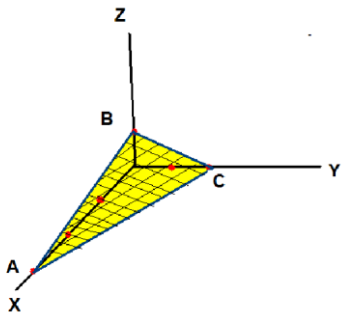
4- رقم التنسيق CN = عدد الجيران المغلقين الذين ترتبط بهم الذرة 8 = CN (FCC)

5- عدد الذرة لكل خلية وحدة = 8 * 8/1 +1 = 2 ذرة / خلية وحدة

6- يشير عامل التعبئة الذرية أو كفاءة التعبئة إلى مدى قرب الذرات في خلية الوحدة ويعطى بنسبة حجم الذرات في خلية الوحدة وحجم خلية الوحدة

معاملات الاوجه (أدلة ميلر) Miller indices

- لوصف الحالة الفيزيائية للبلورات يجب تحديد مواضع واتجاه المستويات البلورية التي تتحدد بواسطة ثلاثة عقد ليست على استقامة واحدة يتحدد من خلالها إحداثيات المستوي البلوري شرط وقوع العقد على المحاور البلورية.
- يمكننا تحديد ما سبق بأن نختار جملة محاور إحداثية تنطبق وتتفق في الاتجاه مع أضلاع الخلية البدائية بحيث يقع مبدأ هذه المحاور على إحدى عقد الشبكة البلورية حيث تتقاطع أضلاع الخلية البدائية.
- إذا كانت النقاط A,B,C إحداثياتها A(3,0,0),B(0,2,0),C(0,0,1) تمثل العقد الثلاثة فإنها سوف تحدد مستويا بلوريا ما هذا المستوي يمكن أن يعين بواسطة الأعداد الثلاثة (123) .
- من وجهة نظر البنية البلورية يمكن تحديد وضع المستوي البلوري واتجاهه بواسطة اصطلاح يستعمل لوصف المستويات البلورية والاتجاهات في البلورة يسمى بمعاملات ميلر وهي مفيدة جدا في اصطلاح الشبكة المقلوبة كما سنرى فيما بعد، تعين معاملات ميلر كما يلي:



لإيجادها نتبع الخطوات الاتية:

1) نختار نقطة اصل (0) وثلاثة محاور مرجعية (x, y.z),

2)نحدد تقاطع السطح مع كل محور من المحاور الثلاثة بالقيم (p , q , r).

3) نقوم بقلب قيم التقاطعات p , q , r فاذا كانت جميعها اعداد صحيحة تمثل hkl واذا كان بعض منها او جميعها اعداد كسرية نقوم بضربها بالمضاعف المشترك الاصغر لتحويلها الى اعداد صحيحة للحصول على (hkl).

4) عند وضع معاملات ميلر بين قوسين (hkl) فهذا يعني مجموعة واحدة من السطوح المتوازية او المتساوية في السطح وليست معاملات ميلر لسطح معين واحد.

5) قد تكون معاملات ميلر جميعها موجبة او سالبة او اعداد مختلطة ولكنها دائما اعداد صحيحة.

6) عندما يكون هناك سطحا موازيا لاحد المحاور البلورية مثل المحور $\overrightarrow{x}$ فان معاملات هذا السطح تكتب بالصيغة 0(kl) لان هذا السطح يقطع المحور $\overrightarrow{x}$ في اللانهاية (∞) ومقلوب ∞ هو 0

ثال (1): جد معاملات ميلر لسطح تقاطعه مع المحاور كالاتي:

$\mathbf{p = 3}$, $\mathbf{q = 6}$, $\mathbf{r = 2}$

الحل: نجد المقلوب $\frac{1}{2}$ $\frac{1}{6}$ $\frac{1}{3}$

ضرب بالمضاعف المشترك الاصغر $\frac{1}{2} * 6$ $\frac{1}{6} * 6$ $\frac{1}{3} * 6$

. معاملات ميلر لهذا السطح هي (312)

ثال (2) : جد معاملات ميلر للسطح الذي تقاطعاته هي $\mathbf{r = \frac{1}{2}}$ و $\mathbf{q = \infty}$ و $\mathbf{p = 4}$

P q r

4 ∞ $\frac{1}{2}$

$\frac{1}{4}$ $\frac{1}{\infty}$ 2 } *4 م.م .أ

(1 0 8) معاملات ميلر لهذا السطح هي 8 0 1

ثال (3) : $-\frac{\mathbf{1}}{\mathbf{6}}$, $\mathbf{q = \infty}$, $\mathbf{p = 4}$ المقلوبات

$\frac{1}{4}$ 0 -6

} * 4

م .أ : 1 0 -24

(1 0 24) $\mathbf{r = \infty}$, $\mathbf{q = \frac{1}{3}}$, $\mathbf{p = -\frac{1}{2}}$ **:(h k l)**

ثال (4)

P q r

$-\frac{1}{2}$ $\frac{1}{3}$ ∞

مقلوبات -2 3 0

(h k l) (23)0

Ex5: Determine the Miller Indices of a plane which is parallel to x-axis and cuts intercepts of 2 and 1/2, respectively along y and z axes.

Solution:

i) Intercepts	∞	2b	$\frac{1}{2}c$
ii) Division by unit translation	$\frac{\infty}{a}=\infty$	$\frac{2b}{b}=2$	$\frac{3c}{2c}=\frac{1}{2}$
iii) Reciprocals	$\frac{1}{\alpha}$	$\frac{1}{2}$	2
iv) After clearing fraction	0	1	4

مكن التعبير عن اوجه المكعب الستة بالنحو الاتي:

(100)) أو {100} وهي تمثل السطوح: $(\bar{1}00),(0\bar{1}0),(00\bar{1}),(100),(010),(001)$

والعلاقة { } او(( )) تعني جميع السطوح المكافئة لذلك السطح فمثلا {333} تعني:

$(\bar{3}33),(3\bar{3}3),(33\bar{3}),(\bar{3}\bar{3}3),(\bar{3}3\bar{3}),(3\bar{3}\bar{3}),(333),(\bar{3}\bar{3}\bar{3})$

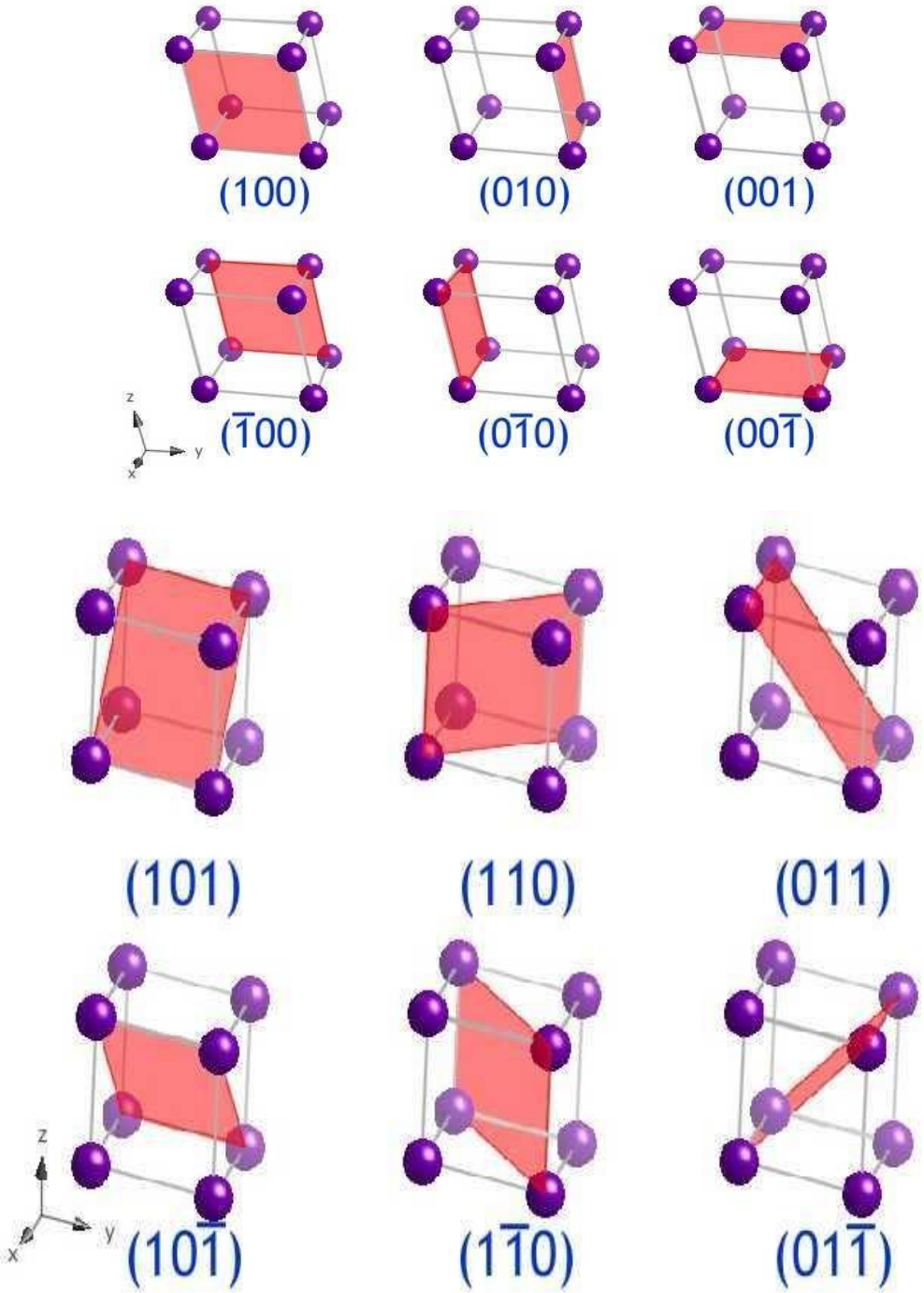
واذا كانت جميع قيم السطوح مختلفة ل {h k l} نحصل على 48 سطحاً مختلفاً متكافئاً مثل , {352} , {324}{431} وغيرها } . اما اذا كانت قيمتين متشابهتين من قيم {h k l} امكن الحصول على 24 سطحا متكافئا مثل :

{331} , {422} , {511} حاول ايجاد السطوح ال 24 المكافئة .

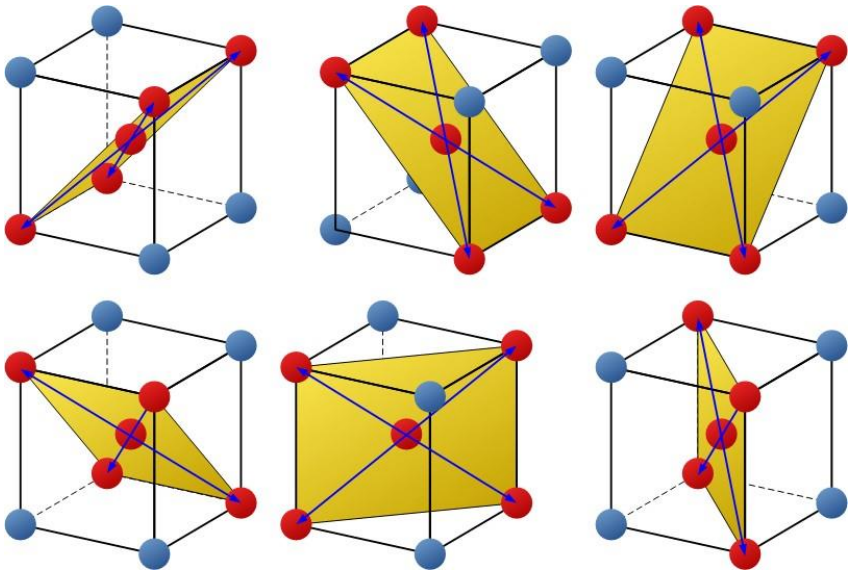
س /ارسم السطوح البلورية الاتية لنظام المكعب :

$(200),(004),(023),(120),(0\bar{1}0),(001),(010),(222),(011),$

$(331),(420),(2\bar{1}1),(\bar{1}31),(110),(\bar{1}10),(111),(020)$



س/ حدد معاملات ميلر للسطوح البلورية الآتية:



معاملات ميلر للشكل السداسي:

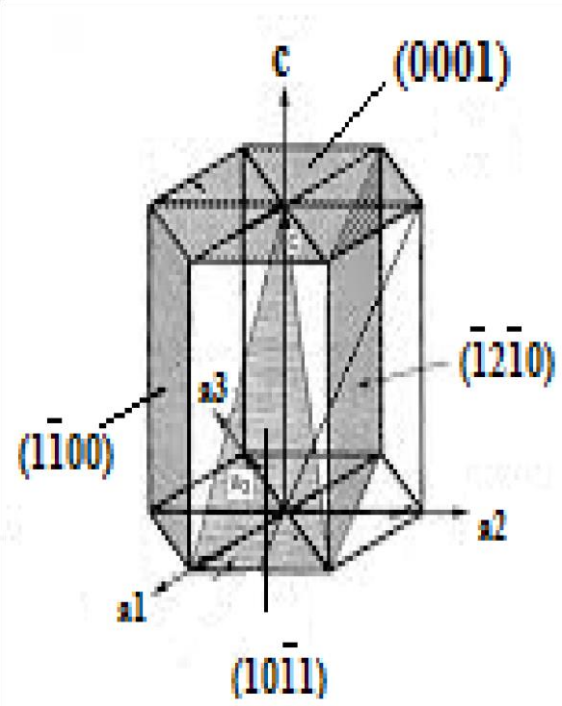
مثل السطوح البلورية للشكل السداسي باربعة معاملات بدلا من ثلاثة وتكتب (h k i l)

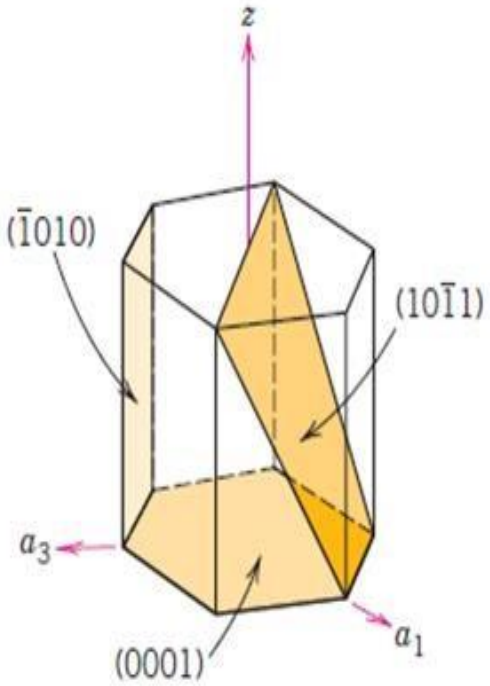
ثال: احسب معاملات ميلر لسطح في الشكل السداسي تقاطعاته

$a_1 = 1 \qquad a_2 = -1 \qquad a_3 = \infty \qquad c = \infty$

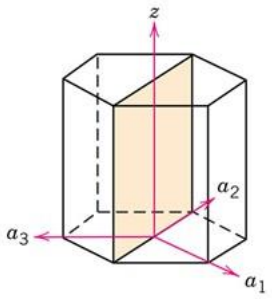
تقاطعات	∞	∞	-1	1
مقلوبات	0	0	0	1
علومات ميلر	$(1\ \bar{1}\ 0\ 0)$			

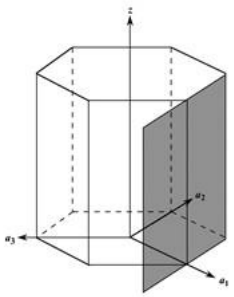
قاعدة العليا فمعاملات ميلر لها (1000) والقاعدة السفلى $(000\bar{1})$ ان محاور هذه الشبيكة تدعى بمحاور برافيز وهي خضع للعلاقة الاتجاهية: $\overrightarrow{a_1} + \overrightarrow{a_2} = -\overrightarrow{a_3}$

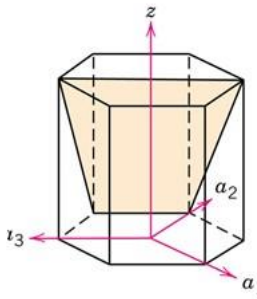


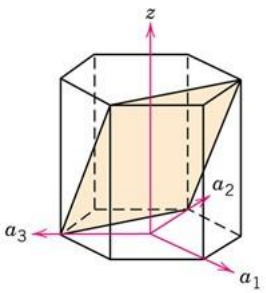


س/ حدد معاملات ميلر للسطوح البلورية الآتية للشكل السداسي:









تعريف المواد الصلبة غير البلورية

المواد الصلبة غير البلورية هي مواد صلبة يتم فيها تنظيم الجسيمات المكونة للمادة في نمط عشوائي، وهي مادة صلبة غير بلورية حيث لا يتم ترتيب الذرات في نمط منتظم في الشبكة الصلبة.

وأيضاً المواد الصلبة غير البلورية هي مواد تفتقر إلى بنية محددة مرتبة من الذرات والجزيئات، وغالبية المواد الصلبة غير متبلورة وتستخدم في مجموعة متنوعة من الصناعات، ويعتبر الزجاج الذي يشيع استخدامه في صناعة السيارات أحد أشهر الأمثلة على المواد الصلبة غير المتبلورة.

ومن أشهر أمثلة على المواد الصلبة غير البلورية: الزجاج المعدني، المطاط، البلاستيك، الزجاج، البوليمرات، الجل.

خصائص المواد الصلبة غير البلورية

تتميز هذه المواد ببعض الخصائص ومن ضمنها:

- تنعم المواد الصلبة غير البلورية تدريجياً على مدى درجة حرارة ويمكن تشكيلها في أشكال مختلفة عند تسخينها.
- المواد الصلبة غير البلورية هي مواد صلبة زائفة أو سوائل فائقة التبريد، مما يعني أن لديها معدل تدفق بطيئًا، إذا نظرت إلى الألواح الزجاجية المتصلة بنوافذ المنازل القديمة ستلاحظ أنها أكثر سمكًا في الجزء السفلي منها في الجزء العلوي.
- المواد الصلبة غير البلورية لها شكل غير منتظم لأن الجزيئات المكونة لها ليست مرتبة في هندسة محددة.
- عندما يتم قطع المواد الصلبة غير البلورية بأداة حادة الحواف، ينتج عن ذلك أسطح غير منتظمة.
- سبب الترتيب غير المنتظم للجسيمات لا تحتوي المواد الصلبة غير البلورية على حرارة انصهار محددة.

- بسبب الترتيب غير المنتظم للجسيمات، فإن المواد الصلبة غير البلورية متباينة الخواص، مما يعني أن قيمة أي خاصية فيزيائية ستكون هي نفسها في أي اتجاه.

استخدامات المواد الصلبة غير البلورية

المواد الصلبة غير البلورية لها مجموعة كبيرة من الاستخدامات بما في ذلك ما يلي:

- يستخدم المطاط بشكل أساسي في إنتاج الإطارات والأحذية والسلاسل وأقمشة المخيمات، بالأضافة لاستخدامه في الكثير من المواد الخام في مجموعة متنوعة من الصناعات.
- يشيع استخدام الزجاج في التعبئة والتغليف مثل علب الطعام وصناديق مستحضرات التجميل وزجاجات المشروبات الغازية وأدوات المائدة، وتشييد المباني مثل النوافذ والإضاءة والأرفف.
- من بين الاستخدامات الشائعة استخدام السيليكون الغير .متبلور في تحويل ضوء الشمس إلى كهرباء.
- يستخدم البوليمر في صناعة الأنابيب والأدوية وكمواد خام في العديد من المصانع.

تعريف المواد الصلبة البلورية

المواد الصلبة البلورية هي مواد صلبة يتم فيها تنظيم الجزيئات المكونة للمادة بطريقة معينة، ويحتوي تكوين هذه المواد الصلبة على بلورات لكل منها شكل هندسي مميزة، أيضاً فإن المواد الصلبة البلورية هي أكثر أنواع المواد الصلبة ثباتًا بسبب انخفاض طاقتها الكامنة.

تُعرف جميع المواد الصلبة تقريبًا بالمواد الصلبة البلورية بما في ذلك العناصر المعدنية مثل الحديد والفضة والنحاس وكذلك العناصر غير المعدنية مثل الفوسفور والكبريت واليود.

غالبًا ما تتشكل المواد الصلبة البلورية بواسطة العديد من المركبات مثل كلوريد الصوديوم وكبريتيد الزنك والنفتالين، أما عن مقولة أن الزجاج من المواد الصلبة البلورية فهذا غير صحيح.

خصائص المواد الصلبة البلورية

- المواد الصلبة البلورية لها نقطة انصهار مميزة وتبدأ في الذوبان عند درجة حرارة معينة.
- يتم وصف شكل المواد الصلبة المتبلورة، بترتيبات الجسيمات النموذجية
- تتميز بخصائص الانقسام، مما يعني أنه عند تقطيعها إلى شرائح باستخدام حافة أداة حادة، فإنها تنقسم إلى قسمين تاركة أسطحًا ناعمة وبسيطة.
- المواد الصلبة البلورية متباينة الخواص مما يعني أنه عندما يتم حساب الخصائص الفيزيائية مثل المقاومة الكهربائية أو معامل الانكسار في اتجاهات مختلفة في نفس البلورة فإنها تعرض قيمًا مختلفة.

- نظرًا لأن المواد الصلبة البلورية لا تتدفق مثل المواد الصلبة الزائفة، فإنها تُعرف أيضًا باسم المواد الصلبة الحقيقية.

استخدامات المواد الصلبة البلورية

المواد الصلبة البلورية لها مجموعة هائلة من الاستخدامات، بما في ذلك ما يلي:

- يكثر استخدام الماس في تطوير المجوهرات الجميلة.
- يستخدم الكوارتز على نطاق واسع في إنتاج الساعات والساعات، وفي العديد من الصناعات تُستخدم المواد الصلبة البلورية كمواد خام.

أنواع المواد الصلبة البلورية

تنقسم المواد الصلبة المتبلورة إلى أربع مجموعات بناءً على وجود قوى بين الجزيئات أو ترابط كيميائي، وهم:

- **لمواد الصلبة الجزيئية**

الجسيمات المكونة للمواد الصلبة الجزيئية هي جزيئات، وبشكل عام تكون المواد الصلبة الجزيئية عوازل ولينة بطبيعتها، وذات كثافة منخفضة جدًا.

ويتم تصنيف المواد الصلبة الجزيئية إلى ثلاثة أنواع بناءً على طبيعة الجزيئات: (المواد الصلبة الجزيئية غير القطبية، المواد الصلبة الجزيئية القطبية، المواد الصلبة الجزيئية المرتبطة بالهيدروجين)

- **المواد الصلبة الأيونية**

الأيونات هي الجسيمات المكونة في المواد الصلبة الأيونية، تتشكل هذه بواسطة قوى كولومبية قوية ترتب الكاتيونات والأنيوناتؤ وهي مواد هشة وصعبة في طبيعتها.

وتكون في الحالة الصلبة عوازل، أما في الحالة المنصهرة والمائية ، تكون مواصلات، وتتميز بدرجة انصهارها عالية للغاية، مثال: كلوريد الصوديوم ، MgO، ZnS، CaF2إلخ.

- **المواد الصلبة المعدنية**

يتم توزيع الأيونات المعدنية الموجبة الإلكترونات بشكل موحد في جميع أنحاء البلورة، وهم مسؤولون عن التوصيل الكهربائي والحراري العالي بسبب وجود إلكترونات حرة ومتحركة.

في كل من الحالة الصلبة والسائلة فهي موصلات، وهذه المواد الصلبة لها طبيعة فيزيائية صلبة لكنها مرنة وقابلة للدهن، ولديهم أكبر درجة انصهار مثل Fe :، Cu، Ag، Mg.

- **المواد الصلبة التساهمية**

تشكل مجموعة متنوعة من المواد الصلبة البلورية غير المعدنية جزيءًا عملاقًا أو جزيئات كبيرة عن طريق تكوين روابط تساهمية بين الذرات المجاورة في البلورة.

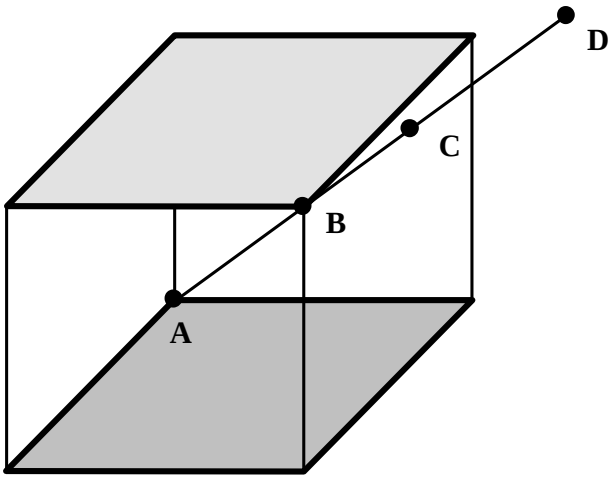
هذه المواد الصلبة وهي نظائر الكربون ،صلبة مثل الماس ولينة مثل الجرافيت، وهي عوازل مثل الماس ولكن بسبب الإلكترونات الحرة فإنها توصل الكهرباء وتعمل كموصل مثل الجرافيت

الاتجاهات البلورية CRYSTAL DIRECTIONS

نظرا لعدم تجانس الخواص الفيزيائية للبلوارت في الاتجاهات البلورية المختلفة، فإنه من الواجب إيجاد طريقة لتعيين الاتجاهات في البلورة وتحديد مسميات له.

يمكن تحديد الاتجاه في البلورة كما يلي. افترض أن خط مستقيم يمر عبر نقط الشبيكة A و B و C، كما هو مبين بالشكل 3-1. لتحديد هذه النقط، نختار نقطة من نقط الشبيكة ونعتبرها نقطة الأصل ولتكن النقطة A. ثم نختار متجه الشبيكة الذي يصل النقطة A بأي نقطة على الخط ولتكن النقطة B، وهكذا. يمكن التعبير عن هذا المتجه بواسطة متجهات الأساس على الصورة،

$$R = n_1 a + n_2 b + n_3 c \qquad 1\text{-}3$$

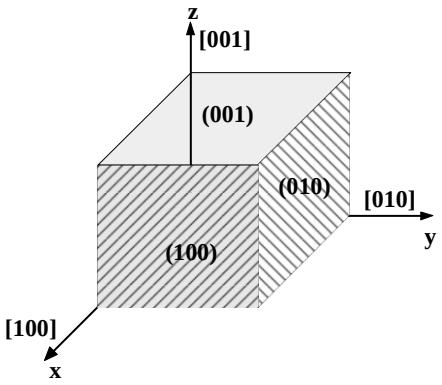


الشكل 3-1 المتجه البلوري.

يتحدد الاتجاه، الآن، بمجموعة من الأعداد هي $[n_1,n_2,n_3]$. يجب حذف العامل المشترك بين هذه الأعداد إن وجد، بمعنى يجب أن تكون هذه المجموعة هي أصغر الأعداد التي لها نفس النسبة .

وهكذا، يكون الاتجاه المبين في الشكل 3-1 ويرمز له بدلالة أدلة ميلر على النحو $[_{111}]$.
يلاحظ أن أدلة الاتجاه لاتجاه معين هي نفسها أدلة ميلر للمستوى العمودي على هذا الاتجاه، فمثلا الأدلة هي أدلة الاتجاه العمودي على المستوى[321]

عندما يتوفر لخلية الوحدة بعض التماثل الدوارنى، فربما يوجد العديد من الاتجاهات غير المتوا زية والتي تكون متكافئة من وجهه نظر التماثل، وبالتالي نجد أن الاتجاهات $[_{100}]$ و $[_{010}]$ و [001] في البلورة المكعبة متكافئة. يشار إلى جميع الاتجاهات المتكافئة مع الاتجاه $[n_1n_2n_3]$ بالرمز $\langle {}_3n_1n_2n \rangle$ذي الأقواس الزاوية وهكذا، فإن الرمز $\langle 100 \rangle$ في نظام المكعب يشير إلى الاتجاهات الستة التالية ، [001] [010]، [100]، [001]،[010]، [00 1]،. تدل الإشارة السالبة فو ق العدد إلى القيمة السالبة للعدد، وبالمثل فان الرمز $\langle 111 \rangle$ يشير إلى أقطار المكعب، الذي لا يكافئ الاتجاه$\langle 100 \rangle$ بالطبع .
يبين الشكل 3-2 أدلة ميلر لثلاثة أوجه في المكعب وأدلة ميلر للاتجاهات العمودية عليها.



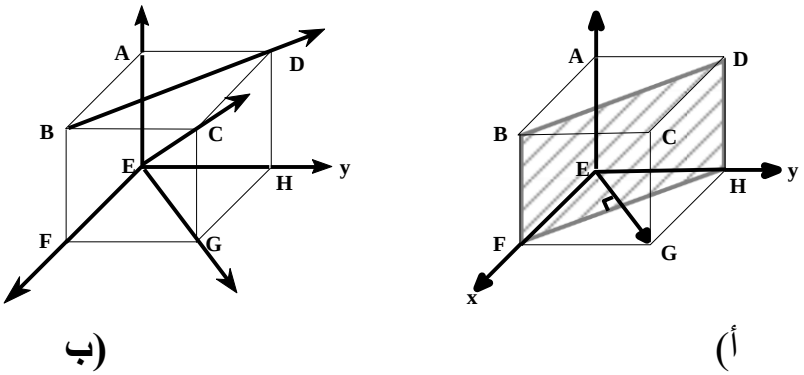
الشكل 3-2 التجاهات الأساسية في المكعب.

مثال 3-1

أرسم المستوى [110] والمتجه [110] في المكعب البسيط.

الحل

من الشكل(3-3)أ يكون المستوى **BFHD** هو المستوى [110] حيث تكون تقاطعات هذا المستوى مع المحاور هي $\frac{1}{0}\ ,\frac{1}{1},\frac{1}{1}$ أي $1,1,\infty$. المتجه $\overrightarrow{EG}$ هو المتجه العمودي على المستوى السابق وله الأدلة [110] ويكون مسقطه على محور x يساوى 1 وعلى المحور y هو 1 ومسقطه على محور z هو 0.



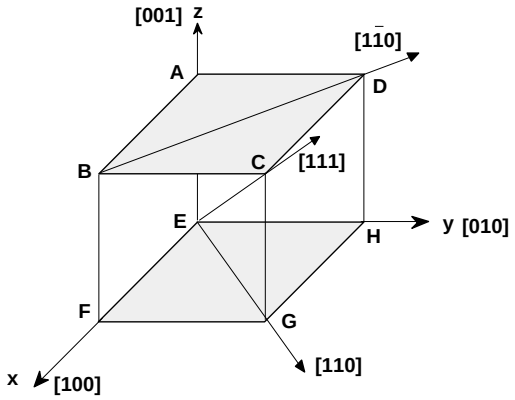
(ب أ)

الشكل 3-3

عين أدلة ميلر للمتجهات المحددة في الشكل(3-3)ب.

الحل

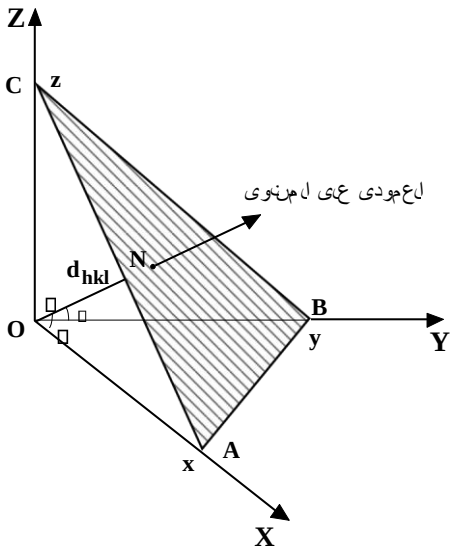
تكون أدلة ميلر للمتجهات المبينة بالشكل 3-3 (ب) كما هو مبين بالشكل 3-4.



الشكل 3-4

المسافة الفاصلة بين المستويات المتوازية

في تشتت الأشعة السينية بواسطة البلورة يحتاج المرء لمعرفة المسافة الفاصلة بين المستويات المتوازية (التي يكون لها نفس أدلة ميلر، $[hkl]$.) دعنا نرمز لهذه المسافة بين المستوى $[hkl]$ ونقطة الأصل بالرمز d_{hkl}. تعتمد المعادلة الحقيقية التي تعبر عن هذه المسافة على التركيب البلور ي، حيث سنعتبر فيما يلى فقط الحالة التي تكون فيها المحاور متعامدة، بهدف التبسيط) يمكننا حساب تلك المسافة وذلك بالرجوع إلى الشكل 3-5.



الشكل 3-5 إيجاد المسافة بين المستويات.

ينتمي المستوى المظلل إلى مجموعة المستويات hkl . نتخيل مستوى أخر موازى للمستوى المظلل ويمر بنقطة الأصل. وهكذا فإن طول العمود ON المرسوم من نقطة الأصل على هذا المستوى يمثل المسافة d_{hkl} التي تفصل بين هذه المجموعة من المستويات المتوازية. نفترض أن هذا العمودي يصنع ز وايا α و β و γ مع المحاور X و Y و Z وأن المستوى يقطع هذه المحاور في النقاط x و y و z، على وجه الترتيب. يتضح من الشكل 3-5 أن:

$$d_{hkl} = x\cos\alpha = y\cos\beta = z\cos\gamma. \qquad 2\text{-}3$$

وحيث أنه طبقا لقانون جيب تمام ال ازوية يكو ن

$$\mathrm{Cos}^2\alpha + \mathrm{Cos}^2\beta + \mathrm{Cos}^2\gamma = 1. \qquad 3\text{-}3$$

من المعادلتين السابقتين 3-2 و3-3 وبعد التعويض عن جيوب التمام للزوايا نحصل على تعبير للمسافة d_{hkl} التي تفصل بين المستويات المتوازية hkl على الصورة الآتية،

$$d_{hkl} = \frac{1}{\sqrt{\frac{1}{x^2} + \frac{1}{y^2} + \frac{1}{z^2}}} \qquad 4\text{-}3$$

الكثافة الذرية لمستويات البلو رة ATOMIC DENSITY OF CRYSTAL PLANES

لد ارسة الخصائص الميكانيكية (وخاصة السلوك اللدن) لبلوارت المعادن، يجب معرفة كثافة الذ ارت الواقعة على المستويات البلورية المختلفة وذلك لتحديد إمكانية انزلاق المستويات على بعضها بعض من عدمه. تعرف الكثافة الذرية للمستوى البلور ي بأنها عدد الذ ارت لوحدة المساحات في مستوى بلوري معين. يمكن توضيح كيفية حساب الكثافة الذرية للمستوى بواسطة الأمثلة الآتية:

مثال 3-11

في بلورة الرصاص، أحسب الكثافة الذرية للمستويات :أ- [100] ، ب- [111] و ج- [110]، إذا علمت أن الرصاص يتبلور على شكل مكعبي متمركز الأوجه وله $a = 4.93\ A^{\circ}$.

الحل

(أ) فى المستوى [100] يكون توزيع الذ ارت كما هو مبين بالشكل(3-11 أ).يحتوى هذا المستوى على ذرتين اثنتين ¼*4 +1=2 وبالتالي تكون الكثافة الذرية لهذا المستوى ، ρ_{100}، بأنها تساوى عدد الذ ارت مقسوم على المساحة ،أي

$$\rho_{100} = \frac{2\ atom}{(a\ mm)^2} = \frac{2\ atom}{\left(4.93 * x10^{-7}\right)^2} = 8.23\ x10^{12}\ atom/mm^2$$

(ب) فى المستو ى [111] يكون توزيع الذ ارت كما هو مبين بالشكل 3-11 (ب). يحتوى هذا المستوى على ذرتين اثنتين (2= 3*1/6 + 3* 1/2) لكل مثلث PRQ، ارتفاعه $h = \sqrt{2}\cos 30^{\circ}$ وطول قاعدته تساوى a` 2 وبالتالي تكون مساحته تساو ى

$$\frac{1}{2} * \sqrt{2}a * \sqrt{2}a * \cos 30 = \frac{\sqrt{3}}{2} = a^2$$

وتكون الكثافة الذرية لهذا المستو ى تساو ى

$$\rho_{100} = \frac{4\ atom}{\sqrt{3}(2)^2} = \frac{4\ atom}{\sqrt{3}\left(4.93 * x10^{-7}\right)^2} = 9.5\ x10^{12}\ atom/mm^2$$

س/ ما هي التراكيب البلورية الثلاثة البسيطة نسبياً والتي تضم المعادن الأكثر شيوعًا؟

جواب: *FCC*و *BCC* و *HCP*

ميزات الشبائك المكعبة:

يتضمن نظام المكعب ثلاثة انواع من الشبائك هي:

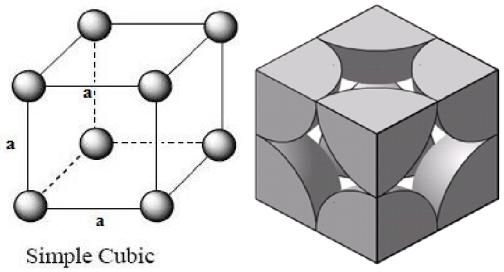
1- مكعب بسيط Simple Cubic (sc أو SC) :

وهو يحتوي على نقطة شبيكة واحدة اي $\frac{1}{8}$ نقطة في كل ركن من الاركان الثمانية ومتجهاته

$$\overrightarrow{a} = a\hat{i}\ , \quad \overrightarrow{b} = b\square j\ , \quad \overrightarrow{c} = ck\square$$

وهي متجهات أولية طول كل منها L او a .

$\frac{1}{8} * 8 = 1$ نقطة واحدة



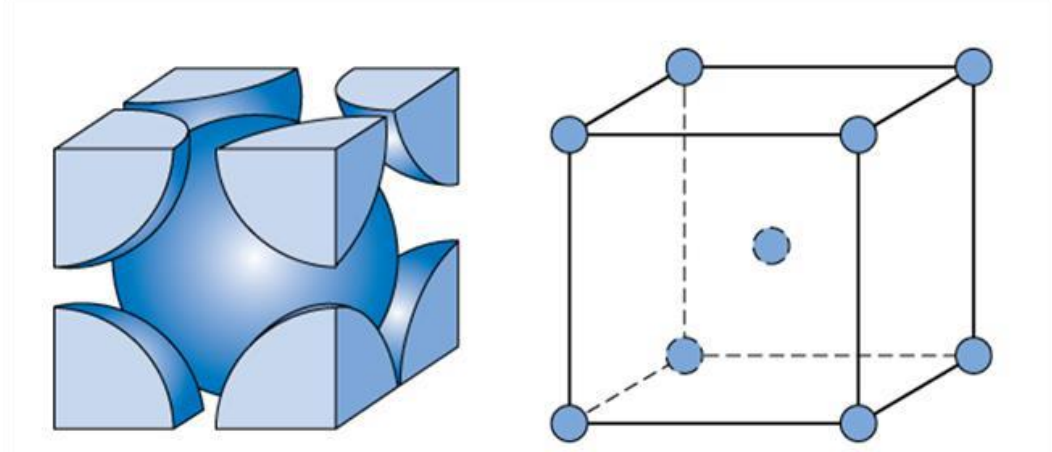
Simple Cubic

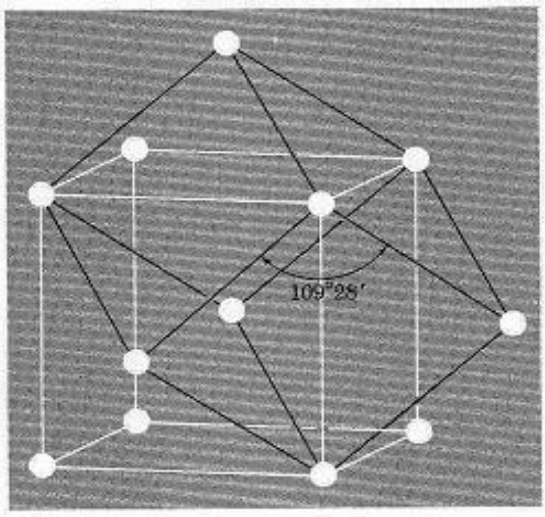
كعب متمركز الجسم Body Centered Cubic)bcc أو BCC

وهو يحتوي على نقطتين واحدة في الاركان وواحدة في مركز الخلية وهي من الشبائك غير الاولية لانه خلية الوحدة له غير اولية ويمكن حساب المتجهات الاولية ومن ثم خلية الوحدة الاولية له كالاتي:

نرسم ثلاثة متجهات صادرة من نقطة شبيكة في المركز المكعب ونعتبرها نقطة الاصل، بحيث تنتهي بثلاث نقاط واقعة عند اركان المكعب كما في الشكل ونكمل شكل معيني الاوجه لنحصل على خلية الوحدة الاولية ذات

المتجهات الاولية : $\overrightarrow{\mathbf{a}}, \overrightarrow{\mathbf{b}}, \overrightarrow{\mathbf{c}}$.





For the initial lattice $\begin{cases} \vec{a} = \overrightarrow{a_1} = \frac{a}{2}\left(\hat{i}+\hat{j}-\hat{k}\right) \\ \vec{b} = \overrightarrow{a_2} = \frac{a}{2}\left(-\hat{i}+\hat{j}+\hat{k}\right) \\ \vec{a} = \overrightarrow{a_3} = \frac{a}{2}\left(\hat{i}-\hat{j}+\hat{k}\right) \end{cases}$

ان خلية الوحدة الاولية معينية الاوجه طول ضلعها $\left(\frac{\sqrt{3}}{2}L\right)$ ومحاورها $\vec{a}, \vec{b}, \vec{c}$ وتحدث مع بعضها

زاوية مقدارها (091^o) تقريبا وموقعي النقطتين: $000, \frac{1}{2}\frac{1}{2}\frac{1}{2}$

س1/ اثبت ان الزوايا بين اواصر رباعي السطوح tetrahedral من الماس هي نفس الزوايا بين أقطار المكعب المتمركز الجسم BCC، كما في الشكل المجاور. استخدم تحليل المتجه الأولي لإيجاد قيمة الزاوية.

الزوايا بين: $\overrightarrow{a_1}$ and $\overrightarrow{a_2}$,$\overrightarrow{a_2}$ and $\overrightarrow{a_3}$, or $\overrightarrow{a_3}$ and $\overrightarrow{a_1}$.

$$cos\theta = \frac{a_1 \times a_2}{\|a_1\|\|a_2\|} = \frac{\frac{1}{4}a^2(-1-1+1)}{\frac{1}{4}a^2(1^2+1^2+1^2)} = -\frac{1}{3}$$

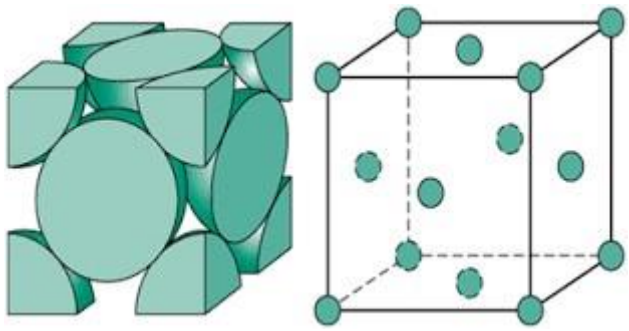
$$\theta = cos^{-}1(-\frac{1}{3}) \approx 109.47^0$$

س2/ اثبت ان حجم خلية الوحدة الاولية لمكعب bcc يساوي $\frac{1}{2}$حجم خلية الوحدة الاعتيادية لنفس الشبيكة.

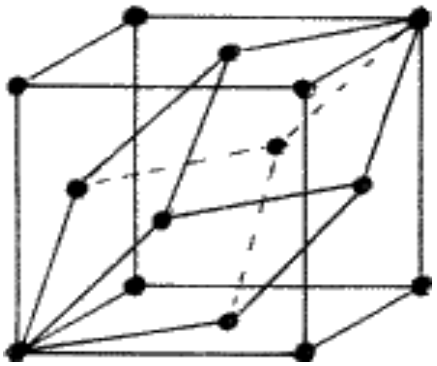
$$V = |\vec{a} \times \vec{b} \,.\, \vec{c}| \qquad = \qquad |\vec{a} \,.\, \vec{b} \times \vec{c}|$$

- مكعب متمركز الاوجه fcc(Face Centered Cubic أو FCC)

يحتوي على اربع نقاط شبيكة, نقطة من الاركان ونصف نقطة في كل وجه من الوجوه الستة. وهي ليست شبيكة اولية لان خلية الوحدة له ليست اولية.



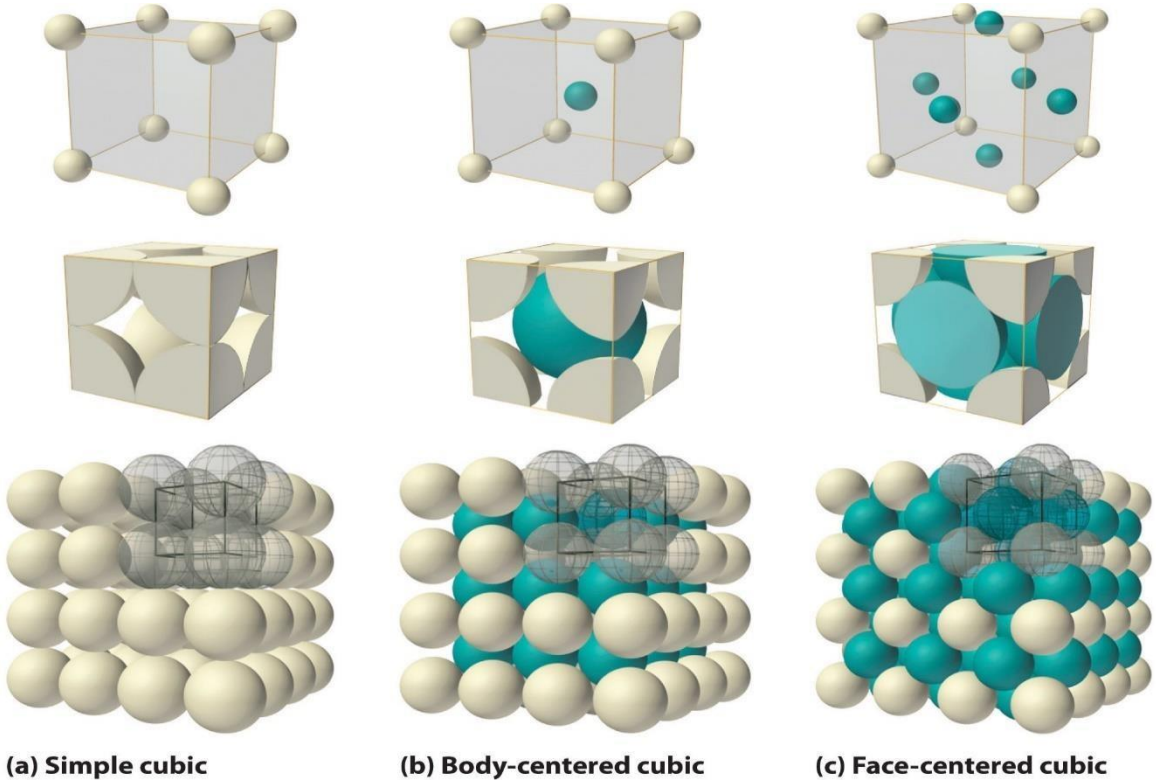
وللحصول على المتجهات الاولية نرسم ثلاثة متجهات صادرة عن نقطة شبيكة في أحد اركان المكعب ونعتبرها نقطة الاصل بحيث تنتهي بنقاط الشبيكة الواقعة في مراكز الاوجه القريبة من نقطة الاصل كما في الشكل المجاور. نكمل معيني الاوجه لنحصل على خلية الوحدة الاولية ذات المتجهات الاولية:



$$For\ the\ initial\ lattice \qquad \begin{cases} \vec{a} = \overrightarrow{a_1} = \frac{a}{2}(\hat{\imath} + \hat{\jmath}) \\ \vec{b} = \overrightarrow{a_1} = \frac{a}{2}(\hat{\jmath} + \hat{k}) \\ \vec{c} = \overrightarrow{a_1} = \frac{a}{2}(\hat{\imath} + \hat{k}) \end{cases}$$

مواقع النقاط $000\ ,\ 0\frac{1}{2}\frac{1}{2}\ ,\ \frac{1}{2}0\frac{1}{2}\ ,\ \frac{1}{2}\frac{1}{2}0$

س/ اثبت ان حجم الخلية الاولية لشبيكة fcc هو $\frac{1}{4}$ حجم الخلية الاعتيادية لتلك الشبيكة.



نسبة الملء Filling fraction او نسبة الرص Packing Fraction:

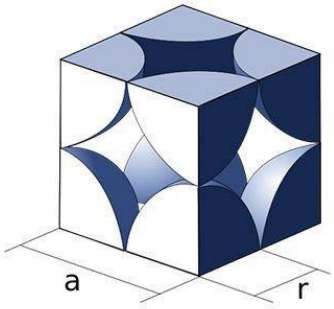
هي النسبة بين حجم الذرات الموجودة في خلية الى حجم تلك الخلية وتختلف الشبائك في نسبة ملء كل منها .ولغرض حساب نسبة الملء نفترض ان الذرات المتجاورة جدا في حالة تلامس , اي ان اقصر مسافة بين نقطتي شبيكة تمثل قطر الذرة)مسافة اقرب الجوار = 2r(وتحسب نسبة الرص كالآتي:

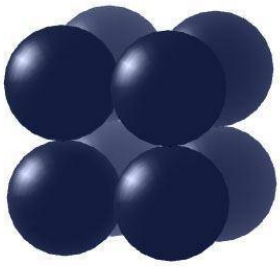
نسبة الرص (الملء) = حجم الذرة الواحدة * عدد الذرات في خلية الوحدة / حجم خلية الوحدة *100%

$$\frac{\frac{4}{3}\pi r^3 N}{V} * 100\% = \frac{4}{3}\pi r^3 \frac{N}{V} * 100\%$$

r : نصف قطر الذرة , 2r : قطر الذرة ويمثل مسافة اقرب الجوار

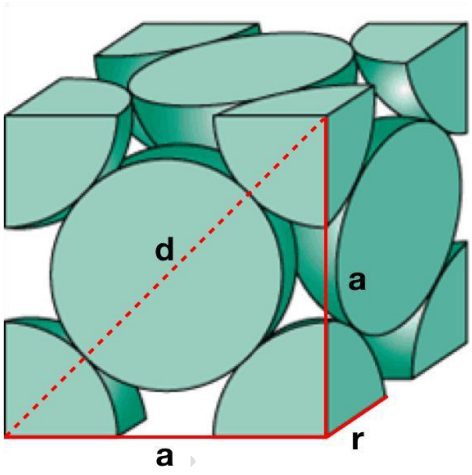
SIMPLE CUBIC UNIT CELL





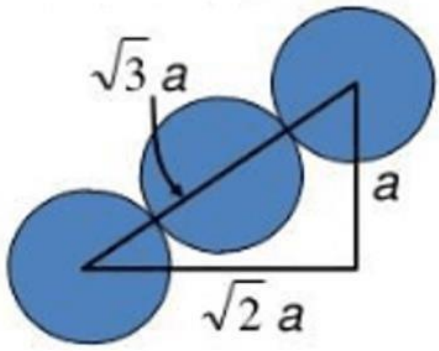
SC

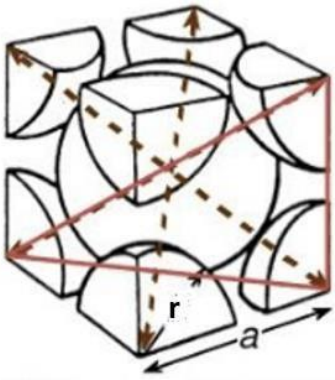
2r=a



FCC

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





BCC

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

س / ما مقدار نسبة الرص لكل من FCC , BCC , SC

والماس الجدول يمثل بعض مميزات شبائك نظام المكعب

وهي FCC , BCC , SC حيث (a=L)

	sc	bcc	fcc
حجم الخلية الاعتيادية	L^3	L^3	L^3
عدد نقاط الشبيكة لكل خلية اعتيادية	1	2	4

حجم الخلية الوحدة الاولية	L^3	$\frac{1}{2}L^3$	$\frac{1}{4}L^3$
عدد نقاط الشبيكة لكل وحدة حجم $\left(\frac{N}{V}\right)$	$\frac{1}{L^3}$	$\frac{2}{L^3}$	$\frac{4}{L^3}$
عدد الجوار الأول)العدد التناسقي(	6	8	12
مسافة الجوار الاول	L	$\frac{\sqrt{3}}{2}$ L	$\frac{1}{\sqrt{2}}$ L
عدد الجوار الثاني	12	6	6
مسافة الجوار الثاني	$\sqrt{2}$L	L	L
نسبة الملء	0.52	0.68	0.74
نسبة الجزء الفارغ	0.48	0.32	0.26

كيفية حساب الكثافة النظرية

يمكن حساب الكثافة النظرية للمواد باستعمال العلاقة الآتية:

$$\boldsymbol{\rho} = \frac{\boldsymbol{N\, A_w}}{\boldsymbol{V\, N_A}}$$

حيث تمثل $\boldsymbol{\rho}$ الكثافة النظرية $(\frac{g}{cm^3})$ N يمثل عدد الذرات في خلية الوحدة

V يمثل حجم خلية الوحدة (^{3}cm) و $\boldsymbol{N_A}$ يمثل عدد افكادرو=$023.3*10^{23}$ (atom/mol)

$\boldsymbol{A_w}$ يمثل الوزن الذري g/mol

مثال / يمتلك النحاس تركيب بلوري FCC ونصف قطره الذري 0.128 nm ، والوزن الذري له 6.33 g\mol. احسب الكثافة النظرية له.

الحل / عدد الذرات 4 ، $V=a^3$ ، $4r=\sqrt{2}\, a$, $V=(\frac{4}{\sqrt{2}}r)^3$

$$\boldsymbol{\rho} = \frac{4 * 63.5 \text{ g\mol}}{(\frac{4}{\sqrt{2}} * 0.128 * 10^{-7} cm)^3 * 6.023 * 10^{23} \text{atom/mol}}$$

$=8.89$ g\cm^3

تراكيب بلورية بسيطة Simple Crystal Structure

1- تركيب كلوريد السيزيوم Cesium Chlorid Structure (CsCl)

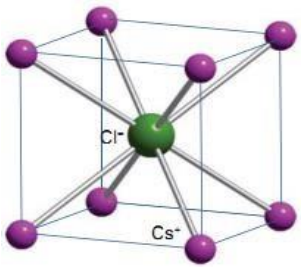
يمتلك كلوريد السيزيوم شبيكة برافيز مكعبة بسيطة Sc طول ضلعها 4.IIA والاساس مكون من ايونين هما Cs^+Cl^- , . واذا افترض ان ايون السيزيوم يحتل احد اركان الشبيكة ولتكن نقطة الاصل للمكعب اي $Cs^+(000)$ فان

ايون الكلور يحتل مركز المكعب اي الموقع $\left(\frac{1}{2}\frac{1}{2}\frac{1}{2}\right)$ Cl^- .

31

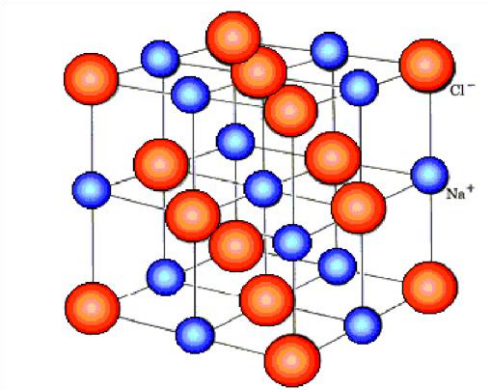
Cs^+ : 000

Cl^-: $\frac{1}{2}\frac{1}{2}\frac{1}{2}$



2- Sodium Chloride NaCl تركيب كلوريد الصوديوم

يمتلك شبيكة برافيز من نوع مكعب متمركز الوجوه fcc طول ضلعها 63.Å5 الخلية الواحدة الاعتيادية تحوي اربع نقاط شبيكة يرافق كل منها اساس مكون من ايونين احداهما Na^+ والاخر Cl^- تفصلهما مسافة قدرها نصف قطر خلية الوحدة المكعبة ولذلك تضم خلية الوحدة الاعتيادية اربعة ايونات صوديوم واربعة ايونات كلور اي اربعة جزيئات من كلوريد الصوديوم وتتوزع ايونات الكلور والصوديوم على المواقع الاتية:



تحفظ مهمة جدا

$$Na^+ : \ 000 \ , \ \frac{1}{2}\frac{1}{2}0 \ , \ \frac{1}{2}0\frac{1}{2} \ , \ 0\frac{1}{2}\frac{1}{2}$$

$$Cl^- : \ \frac{1}{2}\frac{1}{2}\frac{1}{2} \ , \ 00\frac{1}{2} \ , \ 0\frac{1}{2}0 \ , \ \frac{1}{2}00$$

وهناك تراكيب مشابهة لتركيب كلوريد الصوديوم مثل:

كلوريد البوتاسيوم وبروميد البوتاسيوم وبروميد الفضة .... الخ

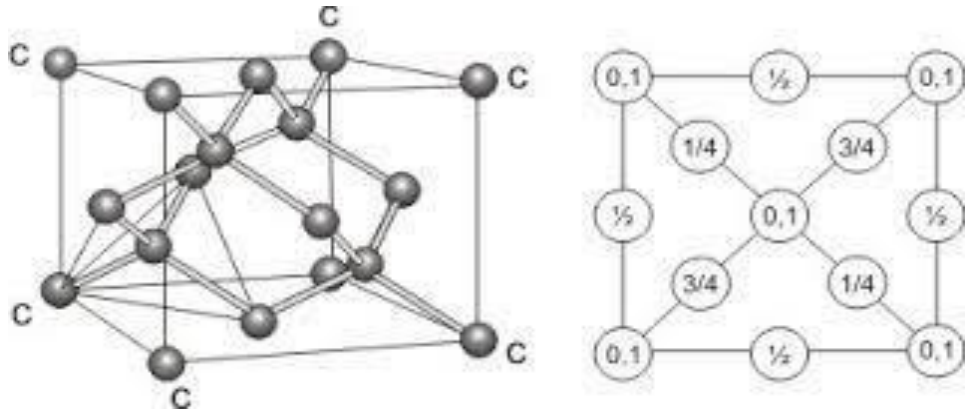
3- Diamond Structure تراكيب الماس

تركيب له شبيكة برافيز من نوع مكعبة متمركزة الوجوه fcc طول ضلعها 56.Å3 والاساس يكون من ذرتين متشابهتين من الكاربون C والمسافة بينهما تقدر بربع قطر خلية الوحدة المكعبة وان خلية الوحدة المكعبة الاعتيادية تحوي 8 ذرات كاربون موزعة على المواقع الاتية:

ذرة واحدة في احد اركان الخلية 000 وثلاث في مراكز اوجه الخلية $0\frac{1}{2}\frac{1}{2}$ ، $\frac{1}{2}0\frac{1}{2}$ ، $\frac{1}{2}\frac{1}{2}0$ واربع ذرات

داخل الخلية , اثنتان قريبتان من قاعدتها السفلى عند المواقع $\frac{1}{4}\frac{1}{4}\frac{1}{4}$ ، $\frac{3}{4}\frac{3}{4}\frac{1}{4}$ واثنتان قريبتان من قاعدتها العليا اي

عند المواقع $\frac{3}{4}\frac{1}{4}\frac{3}{4}$ ، $\frac{1}{4}\frac{3}{4}\frac{3}{4}$ كما في الشكل:



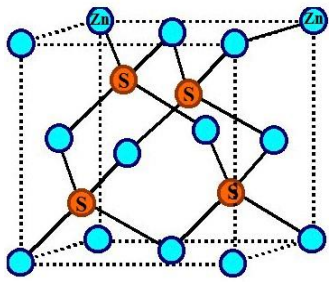
ان كل ذرة كاربون مرتبطة باربع ذرات مجاورة)جوار اول(ارتباطا تساهميا وتكون محاطة باثنتي عشرة ذرة كجوار ثان وعلى الرغم من صلابة الماس العالية تكون نسبة الملء له لا تتجاوز 34% .

التركيب المكعبي لكبريتيد الزنك Cubic Zinc Structure ZnS

يدعى التركيب المكعبي لكبريتيد الزنك والمركبات المشابهة له بركان الزنك وهو تركيب مشابه لتركيب الماس والاختلاف الوحيد هو ان الاساس في حالة ZnS مكون من ذرتين هما Zn و S بدلاً من ذرتي الكاربون المتشابهتين في الماس وترتب ذرات Zn و S بحيث تحتل المواقع الذرية الاتية:

$$Zn : 000 \ , \ 0\frac{1}{2}\frac{1}{2} \ , \ \frac{1}{2}0\frac{1}{2} \ , \ \frac{1}{2}\frac{1}{2}0$$

$$S : \frac{1}{4}\frac{1}{4}\frac{1}{4} \ ,$$



ان حجم خلية الوحدة لكبريتيد الزنك حوالي ثلاث مرات ونصف بقدر حجم خلية الماس حيث ان طول ضلع خلية الوحدة لكبريتيد الزنك هو 41.Å5 مما يجعل نسبة الملء صغيرة.

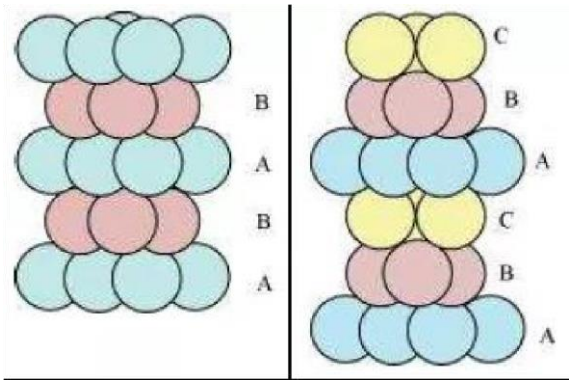
4- التركيب السداسي المقفل الملء والمتماسك hcp والمكعب المقفل الملء)ccp( )

ان التركيب البلوري مكعب متماسك Cubic – closed packed (ccp) هو عبارة عن مكعب متمركز الوجه او سداسي متماسك Hexagonal closed packed (hcp) ومن الامثلة على تركيب مكعب متماسك بلورات:

Cu , Ag , Al , NH_3 , HCl , HBr , Ar في حين ان التركيب سداسي متماسك بلورات , $_2SiO_2$ N_2 , O_2 , H

Cl , Zn , Mg , Be ,

ان نسبة الملء لكل من (ccp) و (hcp) تساوي 74.0 وهي اكبر قيمة لنسبة ملء يمكن الحصول عليها لاي تركيب بلوري.



(hcp) (ccp)

س /بين أن النسبة c/a للتركيب السداسي المثالي هي : c / a = 8/633.1 = 3

h. . .height of the equilateral triangle

a. . .lattice constant

$$h = \sqrt{a^2 - (a/2)^2} = \sqrt{1 - \frac{1}{4}} * a = \sqrt{\frac{3}{4}} * a$$

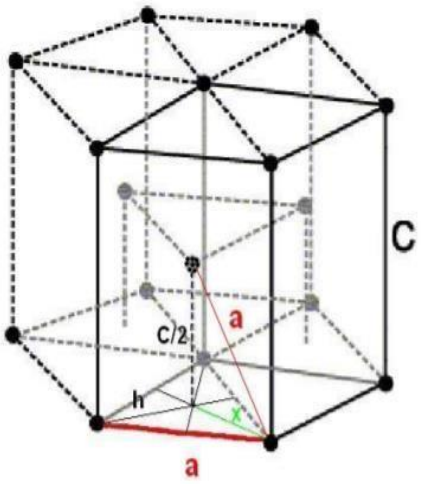
Distance x from an atom to the middle of the triangle:

$$x = \frac{2}{3} * h = \frac{2}{3} * \sqrt{\frac{3}{4}} * a$$

$$x = \frac{1}{\sqrt{3}} * a$$

$$\frac{c}{2} = \sqrt{a^2 - x^2} = \sqrt{a^2 - \frac{1}{3}a^2} = \sqrt{\frac{2}{3}} * a$$

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



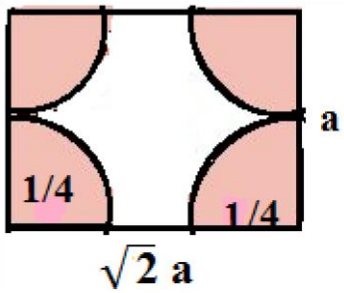
حساب كثافة المستويات ρ

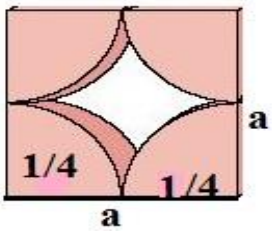
(SC)*

$$\rho = \frac{\text{No.of atoms}}{\text{Area}}$$

1- لحساب كثافة المستويات {001}

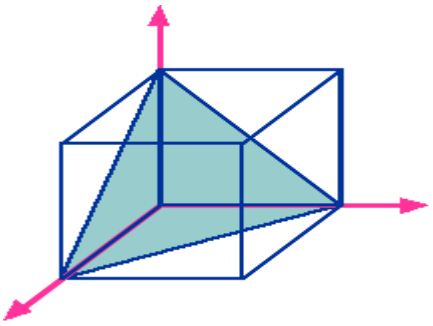
$$\rho = \frac{\frac{1}{4} * 4}{a^2} = \frac{1}{a^2}$$





2- لحساب كثافة المستويات {011}

3- لحساب كثافة المستويات {111}



$$h = \sqrt{(\sqrt{2}a)^2 - \left(\frac{\sqrt{2}}{2}a\right)^2}$$

$$\frac{1}{2}$$

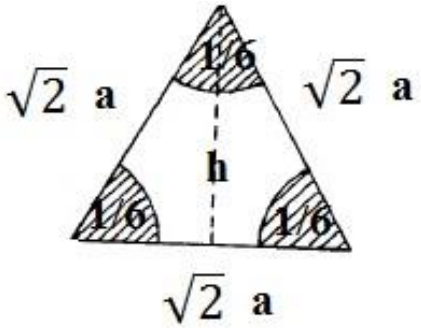
$$2a^2 \quad 1a^2 \quad 3a$$

2 2

$$\text{area} = \frac{1}{2}\sqrt{2}a * h$$

$$= \frac{1}{2}\sqrt{2}a * \frac{\sqrt{3}}{2}a$$

$$= \frac{\sqrt{3}}{2}a^2$$



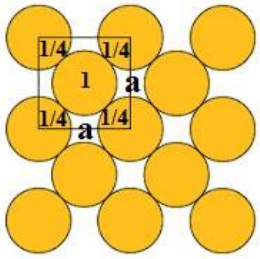
$$\rho = \frac{1}{a*\sqrt{2}a} = \frac{\frac{1}{4}*4}{\sqrt{2}a^2} = \frac{1}{\sqrt{2}a^2}$$

$$\rho = \frac{\frac{1}{6}*3}{\frac{\sqrt{3}}{2}a^2} = \frac{1}{\sqrt{3}a^2}$$

)FCC) **

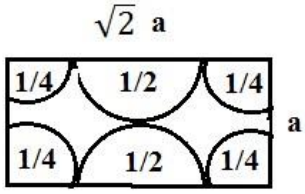
1- للسطوح {001}

ρ =



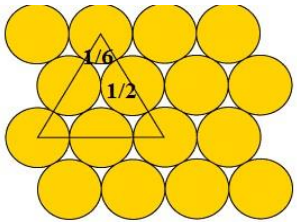
$$\rho = \frac{4**+2**}{\sqrt{2}a^2} = \frac{2}{\sqrt{2}a^2} = \frac{\sqrt{2}}{a^2}$$

2- للسطوح {011}



3- للسطوح {111}

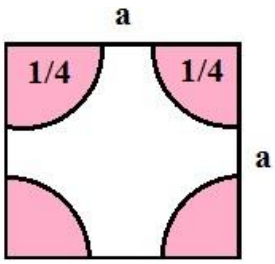
$$\rho = \frac{\frac{1}{6}*3+\frac{1}{2}*3}{\frac{\sqrt{3}}{2}a^2}$$



$$\rho = \frac{\frac{1}{2}+\frac{3}{2}}{\frac{\sqrt{3}}{2}a^2} = \frac{2}{\frac{\sqrt{3}}{2}a^2} = \frac{4}{\sqrt{3}a^2}$$

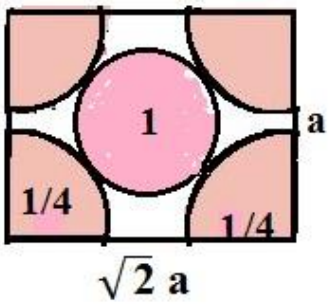
)BCC) ***

1- للسطوح {001}



2- للسطوح {011}

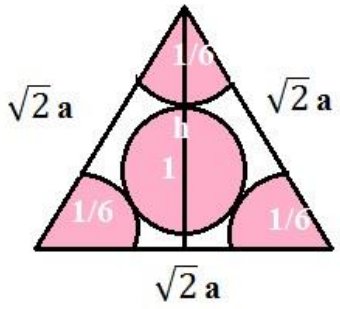
$$\rho = \frac{\frac{1}{4}*4+1}{\sqrt{2}a^2} = \frac{2}{\sqrt{2}a^2}$$



3- للسطوح {111}

$$\rho = \frac{\frac{1}{6}*3+1}{\frac{\sqrt{3}}{2}a^2}$$

$$= \frac{\frac{3}{2}}{\frac{\sqrt{3}}{2}\overline{a2}} = \frac{\sqrt{3}}{a^2}$$



مسائل متنوعة

1. معدن له تركيب bcc ونصف قطر ذراته $10*342.1^{-10}$ m . إحسب المسافة البينية للمستويات (111).
2. تصوّر لديك خلية تقليدية لمكعب من نوع fcc , إستنبط خلية مكعبة بسيطة sc من هذه الخلية ثم قارن بينهما من حيث الحجم وعدد الذرات.
3. يتبلور البلاديوم Pd بتركيب fcc فإذا كانت كتلته الذرية 180.9 amu وكثافته $16.6\ g\backslash cm^3$, جد نصف القطر الذري.
4. إذا علمت أن طول ضلع الخلية في نظام المكعب هو Å 2.62 , جد زوايا براك المناظرة للانعكاسات من السطوح : (012),(001), (011), وارسم العلاقة البيانية بين d وθ علماً أن الطول الموجي للأشعة المستخدمة هو Å 1.54 .
6. يمتلك الإنديوم تركيبا رباعيا ومعلمات الشبيكة Å 4.59 =a , Å 4.95 =c.

)أ(إذا كان عامل الرص 3.3.0 ونصف القطر الذري 0.1625 nm ، جد عدد الذرات في خلية الوحدة.

)ب(يبلغ الوزن الذري للإنديوم 82.114 g\mol ؛ احسب الكثافة النظرية له.

3. عند تسخين الحديد يتعرض للانتقال من تركيب BCC الى FCC احسب نسبة معامل الرص BCC

\ FCC لهذه المادة على افتراض ان ثابت الشبيكة لا يتغير .

7. احسب نسبة الجزء الفارغ لشبيكة الذهب Au نوع FCC.

8. احسب كثافة السطح الاكثر كثافة في تركيب BCC.

.. يمتلك Ni تركيب نوع FCC جد مسافة الجوار الثاني اذا علمت ان كثافته ووزنه الذري $8.83\ g/cm^3$ و
$58.7\ g/mol$.

10. اشتق تعبيرا رياضيا لايجاد d_{hkl} لتركيب Tetragonal)رباعي(.

11. لتركيب BCC لو فرضنا ان ذرة المركز أصبح نصف قطرها ثلاثة اضعاف ذرات الاركان فكم سيكون ثابت الشبيكة؟

12. جد كثافة مادة ذات تركيب رباعي ومحاور شبيكتها a=b =0.35 nm9, c=0.45nm ذات وزن ذري
141 g/mol.

13. التيتانيوم له تركيب HCP وكثافته $4.51\ g / cm^3$.)أ(ما هو حجم خلية الوحدة؟)ب(احسب ثوابت الشبيكة
a(وc(إذا كانت النسبة c/a= 1.58

51. يمتلك النيوبيوم نصف قطر ذري 43.1 Å وكثافته $57.8\ g/cm^3$. حدد فيما إذا كانت بنيته البلورية نوع
FCC أو BCC.

حيود الاشعة السينية فى البلورات.

تستخدم ثلاثة أنواع من حزم الأشعة في تجارب الحيود هي: الأشعة السينية، وحزم النيوترونات وحزم الإلكترونات. تكون المعالجة الرياضية للأنواع الثلاثة متشابهة تقريبا ولذلك سوف نفحص بالتفصيل حالة الأشعة السينية فقط. بعد مناقشة مختصرة لتوليد وخصائص الأشعة السينية، سنقدم استنتاجا مختصرًا لقانون براغ لتشتت الأشعة بواسطة المستويات البلورية. سنناقش أيضا تشتت الأشعة بواسطة الذرة وبواسطة البلورة. فى هذا السياق سوف نناقش الشبيكة الإنقلابية ومختلف الطرق العملية لدراسة التركيب البلوري.

1-5 الأشعة المستخدمة لدراسة التركيب البلوري

لكي تكون الأشعة مناسبة لدراسة التركيب البلوري للمادة فى الحالة الصلبة يجب أن يكون الطول الموجي للأشعة مساويا تقريبا للمسافة بين الذرات. وحيث أن المسافة بين ذرات المادة الصلبة تكون في حدود 10^{-8} cm فإن الأشعة التي بواسطتها يمكن الحصول على معلومات مهمة عن التركيب البنائى للمادة يجب أن يكون لها طول موجي في المرتبة نفسها (01^{-} ^{8}cm). عند سقوط بعض أنواع الإشعاعات على المادة الصلبة فإنها تتشتت بواسطة المستويات الذرية للمادة وتحيد عن مسارها وتتداخل معا مكونة نموذج حيود (Diffraction pattern) يحمل فى طياته معلومات عن التركيب البنائى للمادة. يمكن استخراج هذه المعلومات والحصول على تفاصيل التركيب البنائى للمادة المتبلورة عن طريق تحليل نماذج الحيود الجيدة للأشعة داخل هذه المادة.

يمكن استخدام العديد من أنواع الفوتونات في تجارب الحيود لدراسة التركيب البنائى للمادة المتبلورة منها: الأشعة السينية، النيوترونات والإلكترونات. بالرغم من أن هذه الأنواع تختلف فيما بينها في الطاقة (وبالتالي في الطول الموجي)، إلا أن المعالجة الرياضية للأنواع الثلاثة تكون متشابهة تقريبا.

تعتمد زوايا حيود الفوتونات فى المادة، بصورة أساسية، على كل من التركيب البنائى للمادة المسببة للحيود و الطول الموجى للفوتونات المستخدمة. تتعين طاقة فوتونالأشعة السينية طبقا لطولها الموجي من العلاقة:

$$E = hu = hc/\lambda \text{ ،} \qquad 1\text{-}5$$

حيث h ثابت بلانك ($6.62' \times 10^{-27}$ erg.sec)، n تردد الموجة و c هي سرعة الضوء (3×10^{8} m.sec^{-1}). ومن هذه العلاقة يمكن كتابة الطول الموجي للأشعة السينية على الصورة،

$$\lambda\ (A^{o}) = 12.4/\ E(Kev). \qquad 2\text{-}5$$

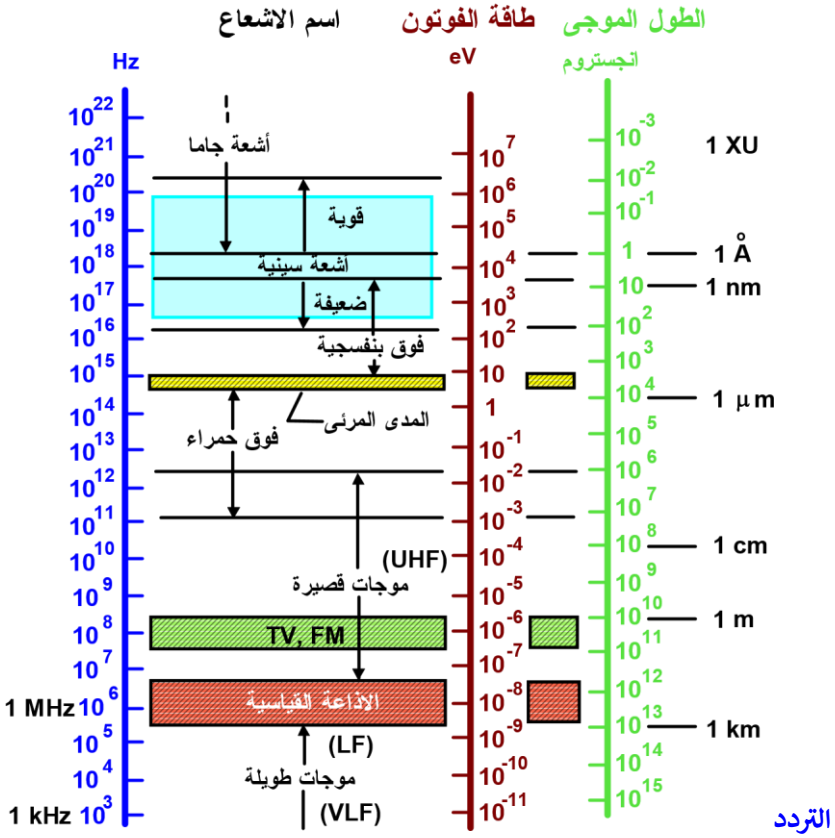
يتضح من هذه العلاقة أن طاقة فوتون الأشعة التي تكون في حدود 10-50 كيلو إلكترون فولت يعطى طول موجي في حدود 2.1-4.0 أنجستروم. يبين الشكل 5-1 موقع الأشعة السينية في طيف الموجات الكهرومغناطيسية. فى هذا الطيف بسبب غياب القيم الدقيقة للحدود العلوية والسفلية لمناطق الموجات الكهرومغناطيسية المختلفة فإن الحدود بين المناطق تكون اختيارية.

تصلح أشعة النيوترونات المعجلة في دراسة التركيب البنائى لبعض أنواع المواد الصلبة وذلك بسبب عزمها المغناطيسي، الأمر الذي يجعلها تتفاعل بشدة مع الكترونات الذرات التي تكون المادة.

ترتبط طاقة النيوترون المتحرك بسرعة كبيرة بطول موجات دى برولى المصاحبة له طبقا للعلاقة،

$$E = \frac{h^2}{2M_n \lambda^2} \qquad 3\text{-}5$$

حيث M_n كتلة النيوترون (675.1×10^{-42} gm)



الشكل 5-1 طيف الموجات الكهرومغناطيسية.

وبالتعويض عن كتلة النيوترون وثابت بلانك في هذه المعادلة يمكن الحصول على الطول الموجى في الصورة،

$$\lambda\,(A_\circ)=\frac{0.28}{[E\,(eV)]^{\frac{1}{2}}} \qquad .\quad 4\text{-}5$$

يكون الطول الموجى للنيوترون ذو الطاقة $0.08\ eV$ في حدود $1^\circ A$ ويطلق على مثل هذه النيوترونات أسم النيوترونات الحرارية.

تصلح الالكترونات المعجلة للاستخدام في تجارب الحيود وذلك بسبب شحنتها الكهربية، الأمر الذي يجعلها تتفاعل بشدة مع ذرات المادة. وأيضا، بسبب شحنتها تكونمسافة الاختراق للالكترونات اقل منها في حالة الأشعة السينية ولذلك تستخدم الأشعةالالكترونية في دراسة التركيب البلوري لأغشية رقيقة من المواد أو دراسة أسطح البلورات السميكة.

ترتبط طاقة الالكترونات المتحركة بسرعة كبيرة بطول موجات دى برولى المصاحبة لها طبقا للعلاقة،

$$E = \frac{h^2}{2m\lambda^2} \qquad 5\text{-}5$$

حيث m هي كتلة الإلكترون (11.9×10^{-43} gm). يمكن كتابة الطول الموجي المصاحب للإلكترون على الصورة،

$$\lambda\,(A^\circ) = \frac{12}{[E\ (eV)]^{\frac{1}{2}}} \qquad 6\text{-}5$$

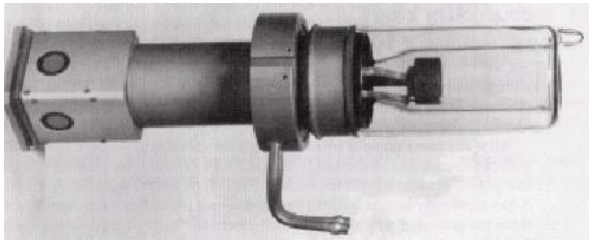
5-3-1 توليد الأشعة السينية

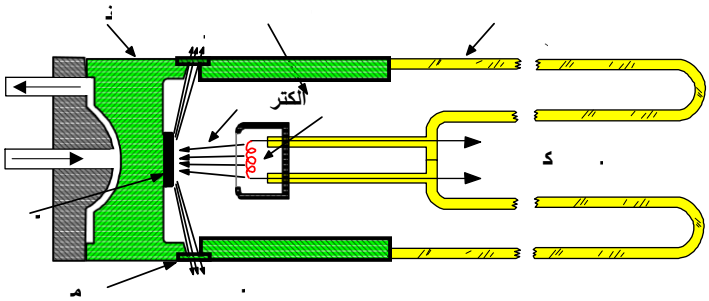
تم اكتشاف الأشعة السينية في صيف 1895 بواسطة العالم الألماني رونتجين (Roentgen). كان رونتجين مهتما بتوليد أشعة المهبط وبالصدفة لاحظ حدوث انبعاث وميض (أشعة) من شاشة فلورسنتيه (fluorescent) موضوعة على بعد عند حدوث تفريغ كهربي في أنبوبة أشعة المهبط. منذ تلك اللحظة كرس رونتجين كل طاقته لدراسة

خصائص هذه الأشعة المجهولة التي تسبب هذا الأثر وسماها الأشعة السينية (بمعنى الأشعة المجهولة). وقد قوبل هذا الاكتشاف بكثير من الاهتمام في الاوساط العلمية وما لبث وأن أستخدم في التصوير في المجال الطبي. تمخضت الخمس عشرة سنة اللاحقة فقط عن معلومات قليلة عن طبيعة هذه الأشعة الموجية حين استطاع العالم ماكس فون لاوى (Max Von Laue) عام 1912 الجزم بذلك عمليا. كما استطاع كنيبنج و فريدريك (Knipping - Friedrich) بعد عدة محاولات إجراء تجربة ناجحة لتشتت الأشعة السينية على بلورة كبريتات النحاس وقد لوحظ وجود بقع منتشرة حول البقعة

المركزية مكان سقوط الأشعة على اللوح نتيجة تشتت الإشعاع بواسطة المستويات الذرية للبلورة. وقد توصلوا بشكل قاطع إلى استنتاج أن الإشعاع يتكون من موجات وأن البلورة تتركب من ذرات مرتبة في شبيكة فضائية.

يمكن توليد الأشعة السينية بواسطة جهاز عبارة عن أنبوبة مفرغة تحتوى على مصعد (هدف) ومهبط، كما هو مبين بالشكل 5-2. عند تسخين المهبط بواسطة فتيلة تنبعث منه إلكترونات يتم تعجيلها نحو المصعد بواسطة فرق الجهد العالي المطبق بين المصعد و المهبط. تصطدم الالكترونات المعجلة بالمصعد وتتولد أشعة سينية تنبعث منه لتخرج من فتحة جانبية (نافذة) عبارة عن غشاء رقيق من معدن. وحيث أن معظم طاقة الالكترونات المعجلة تفقد عند الاصطدام بالمصعد على شكل طاقة حرارية (99% طاقة حرارية و1% لتوليد أشعة) يجب أن يصنع المصعد من معدن له درجة انصهار عالية ويجب أن يكون ذو كتله كبيرة لإطالة عمر التشغيل. يتم تبريد المصعد بواسطة دائرةتبريد (مائية) للتخلص من الحرارة المتولدة الزائدة. يكون فرق الجهد بين المهبطوالمصعد كبيرا ويتراوح بين 1 و 50 كيلو فولت (وأحيانا أكثر من ذلك).





الشكل 5-2 صورة ومخطط توضيحي لأنبوبة توليد الأشعة السينية.

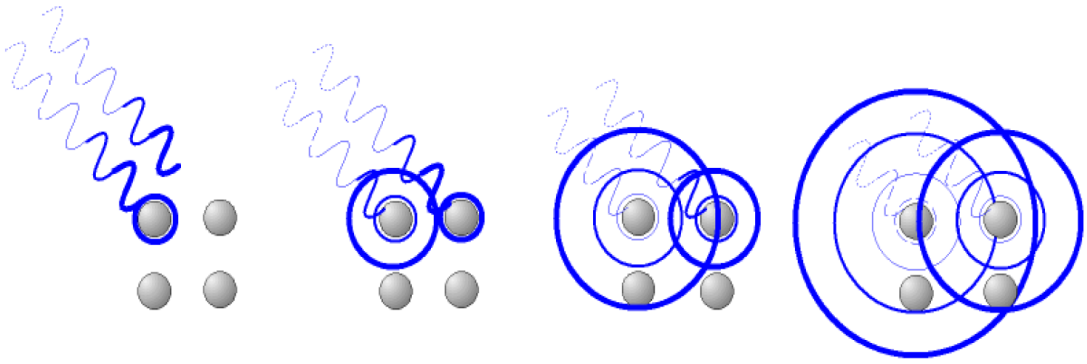
}قانون براغ في الحيود

في عام 1913 م وضع براغ الشروط الهندسية لحيود حزمة وحيدة الطول ألموجي 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).

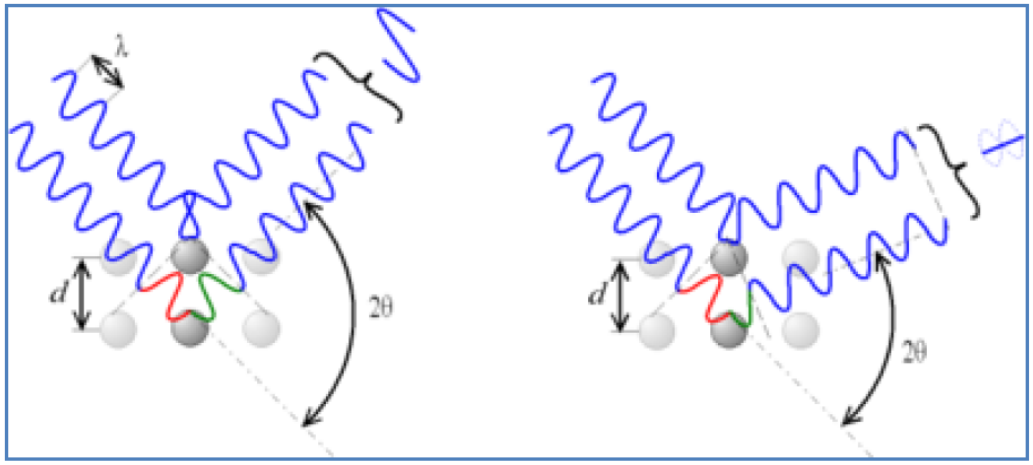
تسقط أشعة اكس بشكل حزمة متوازية على المستويات الذرية (تابع الأشكال بدقة من 1-8) حيث من المفترض أنها ستخترق الطبقات المختلفة للبلورة وتتبادل التأثير مع كافة المستويات الذرية حتى العميقة منها، ويفترض أيضا أن المستويات الذرية تعكس قسما صغيرا من الأشعة والباقي ينفذ إلى المستويات الأخرى

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 ظهر كم هائل من الأشعة المنعكسة الناجمة عن آلاف المستويات الذرية(شبكات حيود) ولكن القسم الأكبر منها يضعف شدته نتيجة لعملية التداخل والقسم الأخر تزداد شدته وهذا الشرط يتحقق عندما يكون فرق المسير بين الأشعة الساقطة(الواردة)والمنعكسة يساوي إلى عدد صحيح من طول الموجة المستخدمة اي:

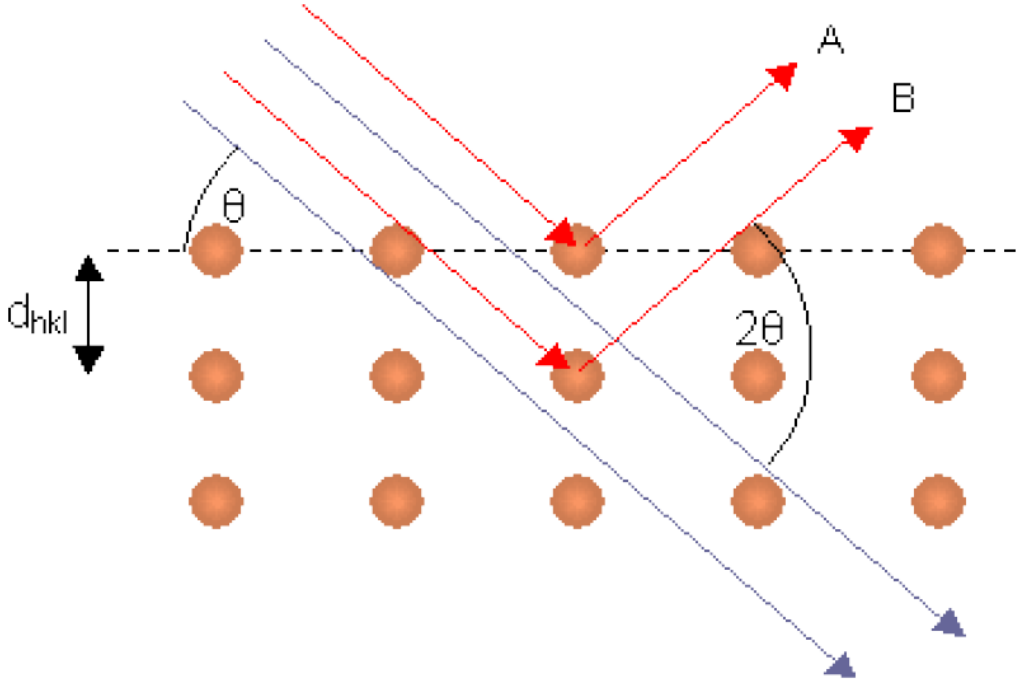
$$\Delta = n\lambda \quad \text{1.....}$$



شكل(1):تفاعل الإشعاع مع المادة



شكل(2):الحيود عن مستويين ذريين



شكل(3): الحيود واختراق الأشعة للمستويات

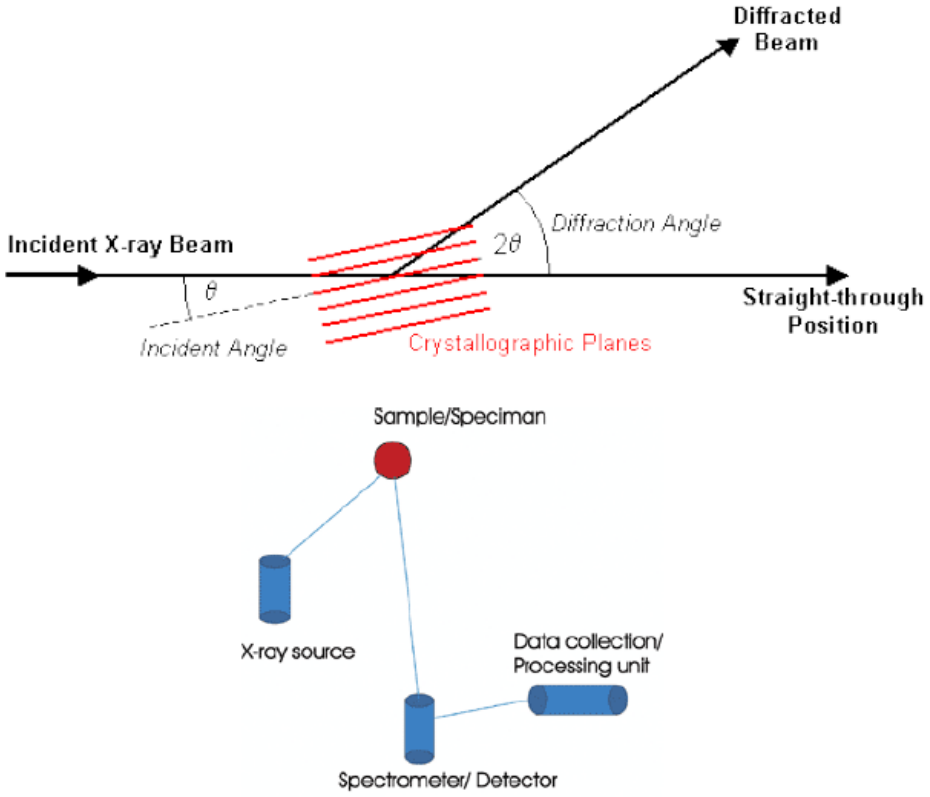
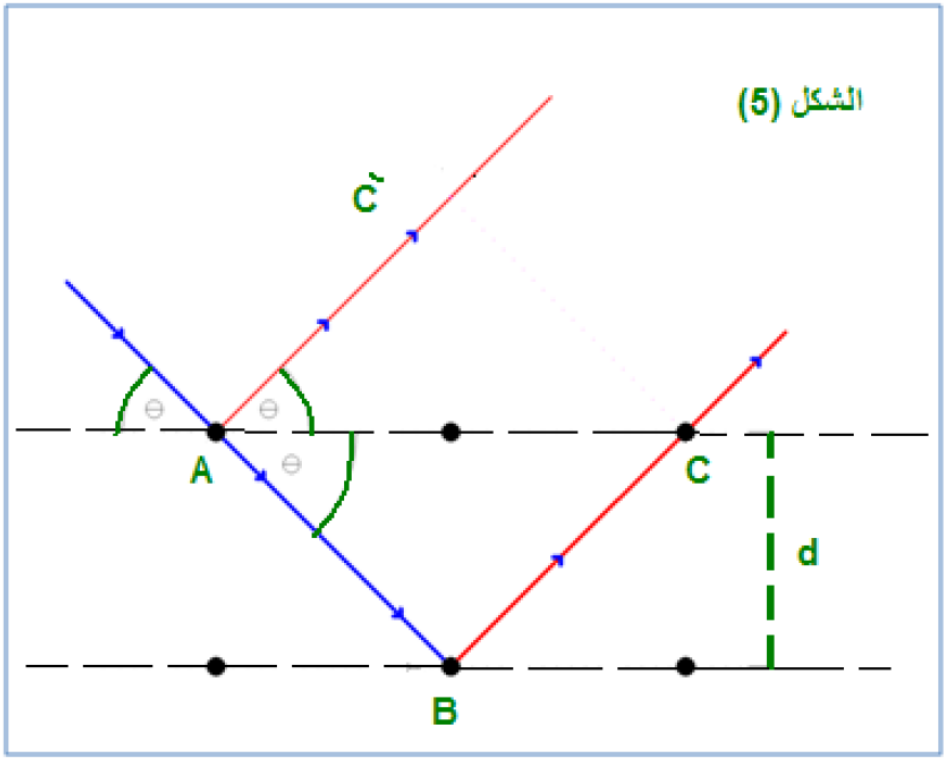


Figure 1

شكل(4) : شكل تخطيطي يمثل أشعة اكس الساقطة والشعاع المنعكس وفق نظرية الحيود لبراغ



ومن الشكل ألتخطيطيي (5) 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:

$$(AB + BC) - (AC') \quad \text{2.....}$$

وإذا كان هذا الفرق يحقق العلاقة (1) فإننا نستطيع أن نكتب العلاقة التالية:

$$(AB + BC) - (AC') = n\lambda \quad \text{3.....}$$

ونلاحظ من الشكل (5) أيضا العلاقات المثلثية التالية:

$$AB = \frac{d}{\sin\theta} \qquad BC = \frac{d}{\sin\theta}, \qquad AC = \frac{2d}{\tan\theta} \quad \text{4.....}$$

وكذلك نجد أن:

$$AC' = AC \cdot \cos\theta = \frac{2d}{\tan\theta}\cos\theta \quad \text{5.....}$$

نعوض في العلاقة (3) فنجد:

$$n\lambda = \frac{2d}{\sin\theta} - \frac{2d}{\tan\theta}\cos\theta = \frac{2d}{\sin\theta}(1 - \cos^2\theta) = \frac{2d}{\sin\theta}\sin^2\theta \quad \text{6.....}$$

ومنه نحصل على قانون براغ في الحيود:

$$n\lambda = 2d \cdot \sin\theta \quad \text{7.....}$$

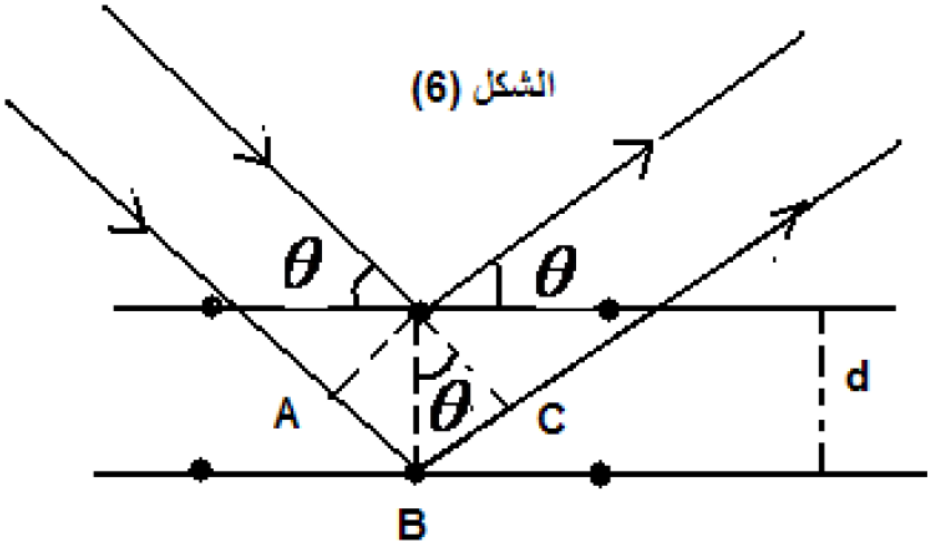
أو بشكل مختصر من الشكل (6) أيضا فرق المسار بين شعاعين احدهما يسقط على المستوي الأول والثاني على المستوي الثاني نجد:

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

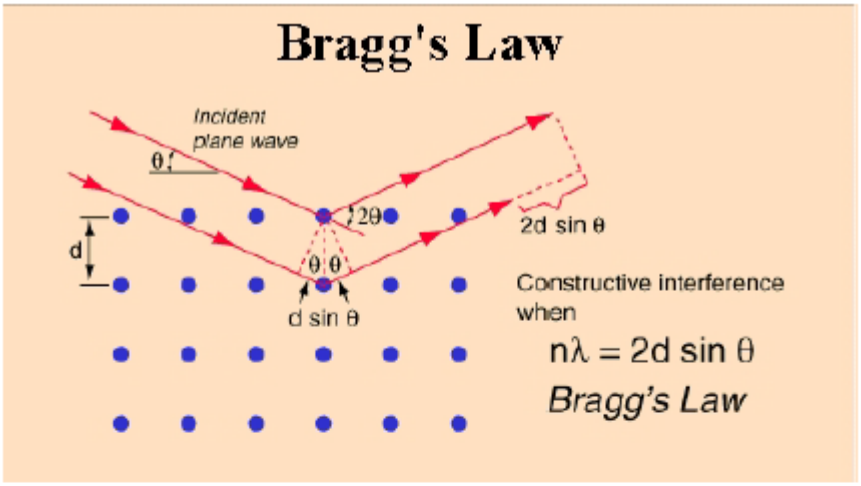
$$\sin\theta = \frac{BC}{d} \Rightarrow BC = d\ \sin\theta$$

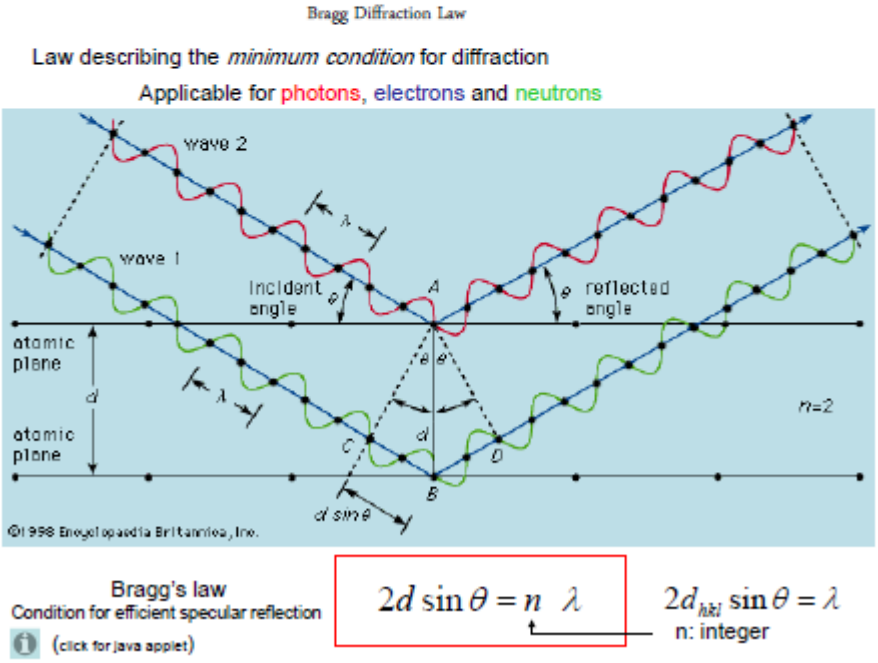
$$\Delta = 2BC = 2d\ \sin\theta = n\lambda \quad \text{8.....}$$

وهي نفس العلاقة (7). وتعطينا مبدئيا المسافة بين المستويات الذرية ، ويجب استعمال أكثر من طول موجي للحصول على تصور فضائي للبلورة.



الشكل (6)





شكل (7):قانون براغ وعملية الحيود هندسيا

المصادر:

1. فيزياء الحالة الصلبة د. مؤيد جبرائيل
2. فيزياء الجوامد د. محمد أحمد الجلالي
3. Introduction to Solid State Physics Charles Kittel
4. Fundamentals of Solid State Engineering Manijeh Razeghi
5. Materials Science and Engineering an Introduction William D. Callister