وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

كلية التربية طوز خورماتو

قسم الفيزياء

المرحلة الرابعة

عدد ساعات : 3 ساعات

عدد الوحدات: 6 وحدات

فيزياء الحالة الصلبة solid state physics

مفردات المنهج

فصل الاول :التركيب البلوري (Crystal Structure)

المقدمة الحالة البلورية والحالة غير البلورية , خلية الوحدة , شبائك البرافيزية والشبيكة غير البرافيزية , الشبائك (3D)والانظمة البلورية , معاملات الاوجه (أدلة ميلر) , حساب كثافة المستويات

فصل الثاني :الحيود البورية (Crystal

(iffraction

الاستطارة او التشتت , قانون براك ,طرائق التجريبية للحيود ,الشبيكة المقلوبة , شرط الحيود ,انطقة بريليون ,عامل التركيب الهندسي ,

فصل الثالث :حركية الشبيكة (Lattice Dynamic)

الفونون , الاستطارة غير المرنة للفوتونات بواسطة الفونونات , الاستطارة غير المرنة للنيوترونات بوساطة الفونونات , انماط اهتزاز لشبيكة خطية احادية الذرات ,انماط الاهتزاز لشبيكة احادية ثلاثية الابعاد ,انماط الاهتزاز لشبيكة خطية ثنائية الذرات ,تعامل الاشعاع مع المادة

فصل الرابع : الصفات الحرارية للمواد الصلبة

الانموذج كلاسيكي ,الانموذج اينشتاين للحرارة النوعية الانموذج ديباي للحرارة النوعية , التوصيل الحراري في العوازل, التشتت بالعيوب البلورية , التشتت عند حدود البلورة

فصل الخامس : العيوب البلورية (Crystal Defects)

انواع العيوب البلورية , حساب عيوب فرنكل ,العيوب الخطية ,العيوب الحجمية ,

فصل السادس : التوصيلية الفائقة (Superconductivity)

التوصيل الفائق ,تاثير ميسنر, ظاهرة الطفو المغناطيسي ,المجال الحرج ,نظرية BCS وازواج كوبر , الموصلات الفائقة عالية Tc,بعض التطبيقات الهامة للمواد فائقة التوصيل

اعداد

م . م روباك عزيز رشيد

فصل الاول :التركيب البلوري :crystal Structure

المقدمة :

توجد المادة (عناصر والمركبات) بثلاث حالات كما عرفنا سابقا وهي 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 والدرجة الحرارة هما المسببان الرئيسيان لتغير حالة المادة .

وهناك حالة الرابعة للمادة وهي حالة البلازما والتي تكون المادة فيها عبارة عن غاز المتأين , وحالة الخامسة 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"

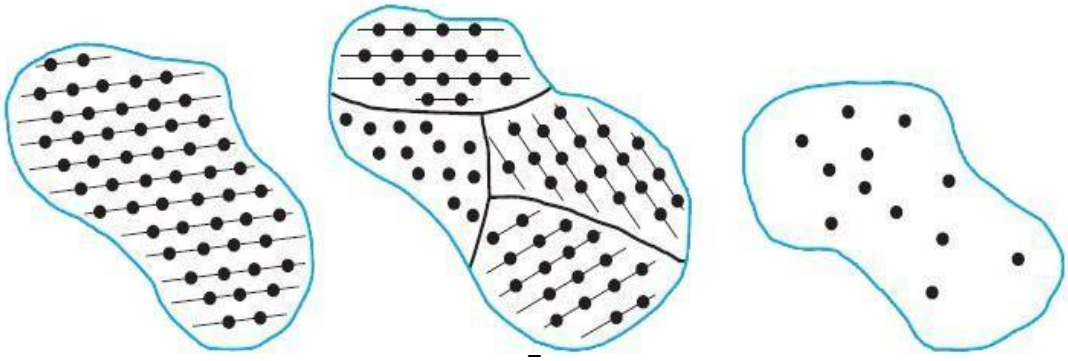
المواد الصلبة المتبلورة وغير المتبلورة:

المتبلورة المواد Crystalline: وهي 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 ومرتبة بشكل دوري وتمتلك نوعان من التماثل ويمكن اعتبار تركيبها تكرارا لأية خلية وحدة ومن هذه المواد هي الحديد والذهب وكلوريد الصوديوم وغيرها.

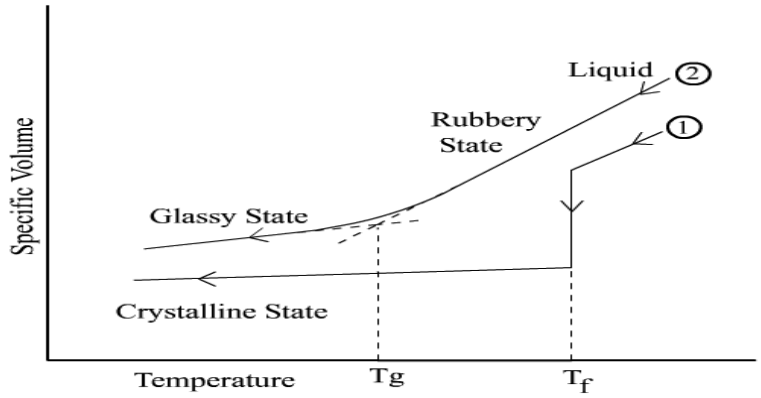
المتبلورة غير المواد non–Crystalline: وتسمى ايضا بالمواد العشوائية: وهي المواد التي تتجمع ذراتها بصورة عشوائية وبدون ترتيب ومن هذه المواد الزجاج.

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

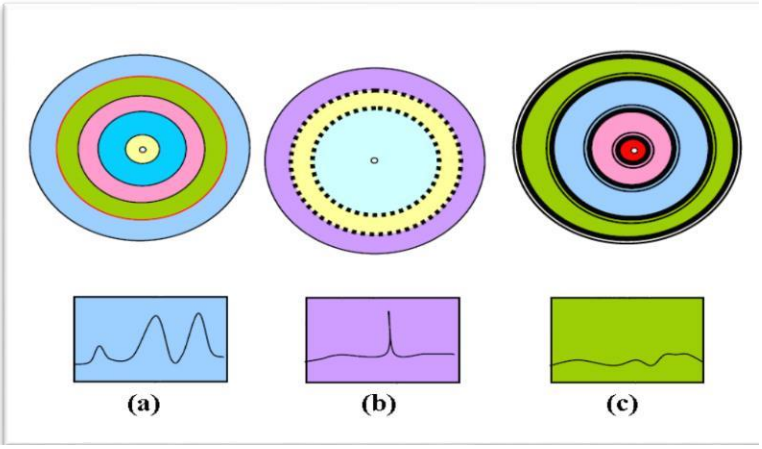


يمكن التمييز عمليا بين المواد المتبلورة وغير المتبلورة بثلاث معايير مستقلة هي:

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 االشعة 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 (Cells Unit)

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:

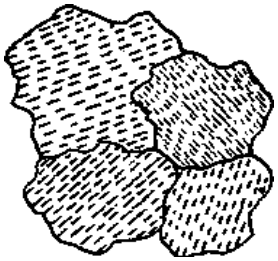
أ- بالدورية Periodicity : المنتظمة ثلاثية الابعاد حيث ان المجاميع المتماثلة من الذرات تكرر نفسها عند فواصل او فسح متساوية تماما.

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 Crystal : 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 (Base) والشبكية (Lattic).

الاساس : عبارة عن ذرة او مجموعة من ذرات في كل موقع نقطي من نقاط الشبيكة.

الشبيكة : في علم البلورات تكون الخواص الهندسية هي موضع الاهتمام وليست تركيب المادة وعليه نستبدل كل ذرة بنقطة هندسية تقع في موضع استقرار تلك الذرة.

أنواع الشبائك:

1- **الشبيكة البرافيزية : في هذا النوع تكون جميع النقاط الشبيكة متكافئة، أي ان جميع الذرات في البلورة تكون من نفس النوع.**
2- **الشبيكة الغير البرافيزية: في هذا النوع تكون نقاط الشبيكة غير متكافئة. حيث تكون مواقع A,B,C متكافئة مع بعضها، لكن المواقع A A' ، B B' ، C C' غير متكافئة مع بعضها.**

<u>ما الفرق بين التركيب الذري (Atomic Structure) والتركيب البلوري (Crystal Structure) ؟</u>

التركيب الذري يتعلق بعدد النيوترونات والبروتونات في نواة الذرة وعدد الالكترونات في مدارات الالكترونية.

اما التركيب البلوري فيعني بتركيب الذرات داخل المواد الصلبة البلورية بتشكيلات معينة.

خلية الوحدة Cell Unit : وهي أصغر وحدة في الشبيكة الفضائية، وهي الوحدة التي بتكرارها في الاتجاهات الثلاثة ينتج عنها بلورة كبيرة من المادة الصلبة ولها نفس تماثل خلية الوحدة.

حجم خلية الوحدة ثلاثية الابعاد ويعطى بالعلاقة:

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

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

التماثل البلوري (Crystal Symmetry) :

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

- **الانتقال Translation**
- **الدوران Rotation**
- **الانعكاس Reflection**
- **الانقلاب Inversion**

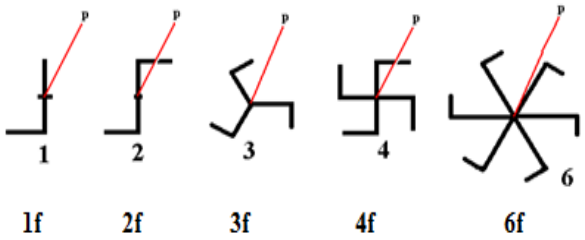
والتناظر هو تكرار او تطابق اجزاء شكل ما حول مستو او مستقيم او نقطة فالدائرة متماثلة حول اي قطر لها واذا امكن وصف وضعية معينة لجسم باكثر من اتجاه واحد بحيث لا يمكن التمييز بين هذه الاسطح يقال ان لهذا الجسم متماثل .والكرة متماثلة حول أكبر مستو دائري لها .والمكعب له حالات تماثل عديدة فهو متماثل قطريا وطوليا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

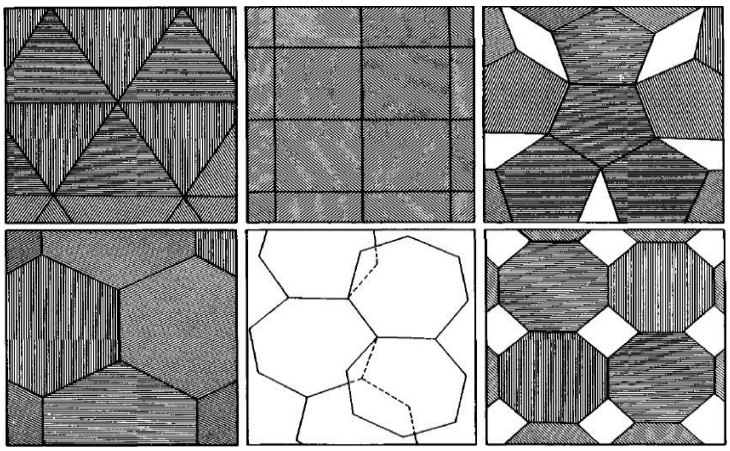
اما عدم التماثل Asymmetry : فهو الشكل الذي لا يملك صفة التكرار ولا يملك تطابق في اجزاءه مثل اليد اليمنى او اليد اليسرى للإنسان.

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:

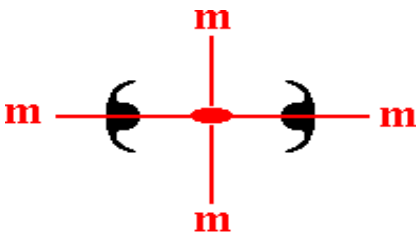
1- **محور دوراني مناسب :**هو مستقيم وهمي يمر بمركز البلورة بحيث لو دارت دورة كاملة (630) بغير اية ازاحة لتكررت خلال تلك الدورة وضعيات البلورة عددا من المرات ويجب ان تكون زاوية الدوران Ø أحد الاجزاء المتساوية الحاصلة من قسمة الدورة الكاملة على اعداد صحيحة n تسمى الطية fold. حيث تماثل هذه الارقام درجات التماثل المسموح بها n= 1,2,3,4,6 و $Ø=\frac{360}{n}$ حيث ان 5 , 7 , 8 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) $Ø=120^\circ$ وذات اربعة ريش $Ø=90^\circ$





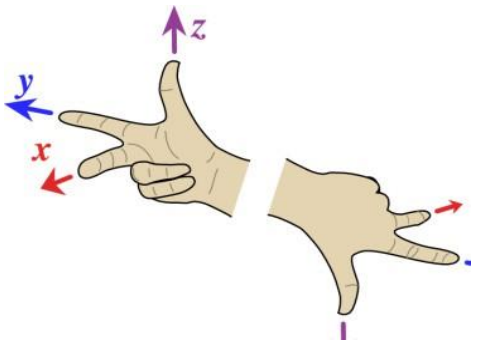
2- **محور دوراني غير مناسب:** وهو حدوث عملية تدوير تعقبها او تليها عملية انعكاس لكي يكرر الجسم نفسه اي انها عملية هجينة (دوران + انعكاس) وتوجد خمسة محاور دورانية انعكاسية يرمز لها (1,2,3,4,5)

3- مستوى التماثل: وهو مستوى وهمي يقسم الجسم او البلورة الى نصفين متشابهين بحيث يمكن ان يكون احد النصفين صورة للأخر ويرمز لهذه العملية (mirror) (m) .



2 m m

4- **مركز التماثل :** ان مركز التماثل هو مركز انقالب الن لهذا المركز خاصية قلب جميع الفضاء من خلال نقطة واحدة للتقاطع وابسط مثال لوضعنا ابهام اليد اليسرى ملامسا لالبهام اليد اليمنى واحدى اليدين اصابعها لأسفل وباطنها نحونا اما اليد الاخرى فاصابعها الى العلى وظهر اليد اليمنى واحدى اليدين اصابعها للأسفل وباطنها نحونا اما اليد الاخرى فاصابعها نحو الاعلى وظهر اليد نحونا نكون قد حصلنا على مركز التماثل ويرمز له $\bar{1}, \bar{2}, \bar{3}, \bar{4}, \bar{5}, \bar{6}$ $\bar{1}$ on bar

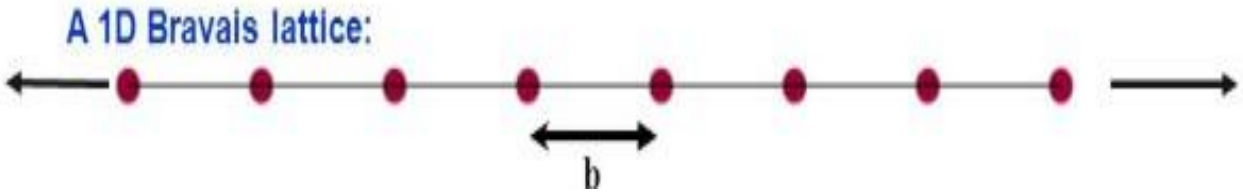


الشبائك المستوية وتماثلاتها:

تكمن أهمية هذه الشبائك لفهم خواص السطوح الفيزيائية لألجسام الصلبة وفهم دراسة حيود االشعة 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 االعادة باتجاه واحد وتسمى شبيكة خطية او ببعدين وتسمى شبيكة مستوية او بثالثة 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.



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

١- **شبيكة مائلة:** هي شبيكة عامة وال توجد عالقة خاصة بين اطوال متجهاتها االساسية وان الزاوية بين هذه المتجهات غير محدودة القيمة اي ان

$$a \neq b \qquad \emptyset \neq 90^{\circ}$$

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

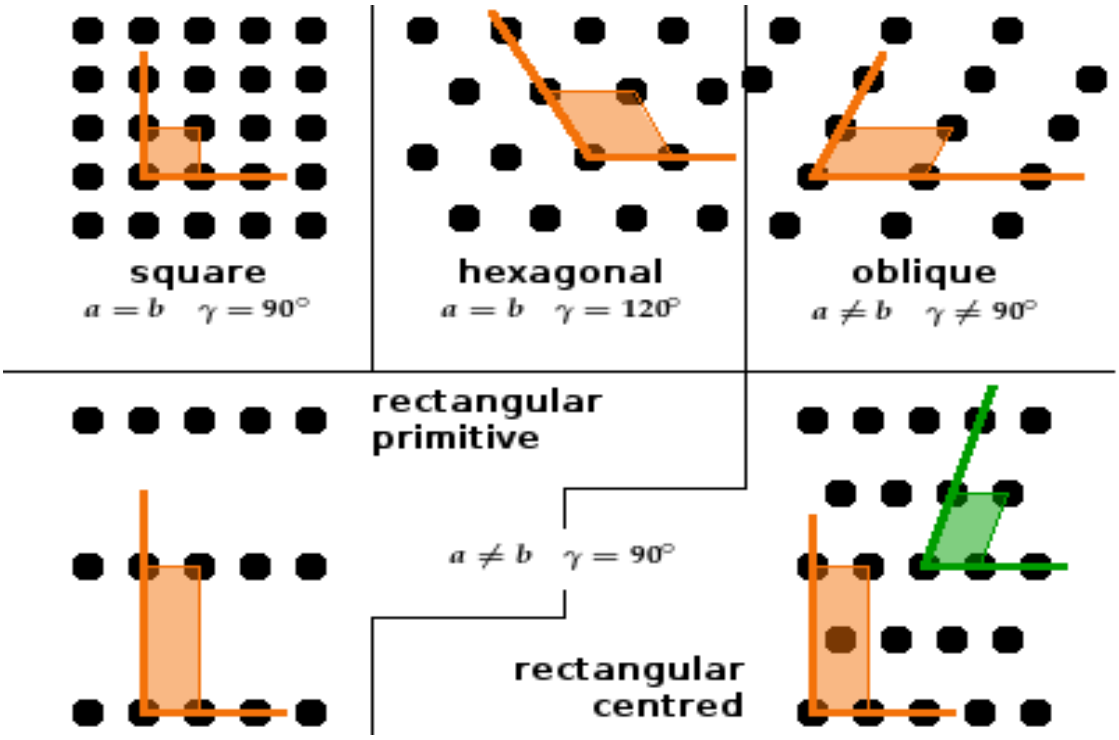
٢-**شبيكة مستطيلة اولية** : في هذا النوع هناك قيمة محدودة للزاوية $\emptyset \neq 90^{\circ}$ ولا يوجد تحديد لاطوال محاورها

$a \neq b$.كل ركن يمثل ¼ نقطة وكل خلية تمتلك 1 نقطة (1=4*¼)

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

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

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



الشبائك الفضائية ثلاثية الابعاد 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($8*\frac{1}{8}=1$)

2- شبائك ممركزة الوجوه Face Centered Lattice

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

3- شبائك ممركزة الجسم Body Centered Lattice

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