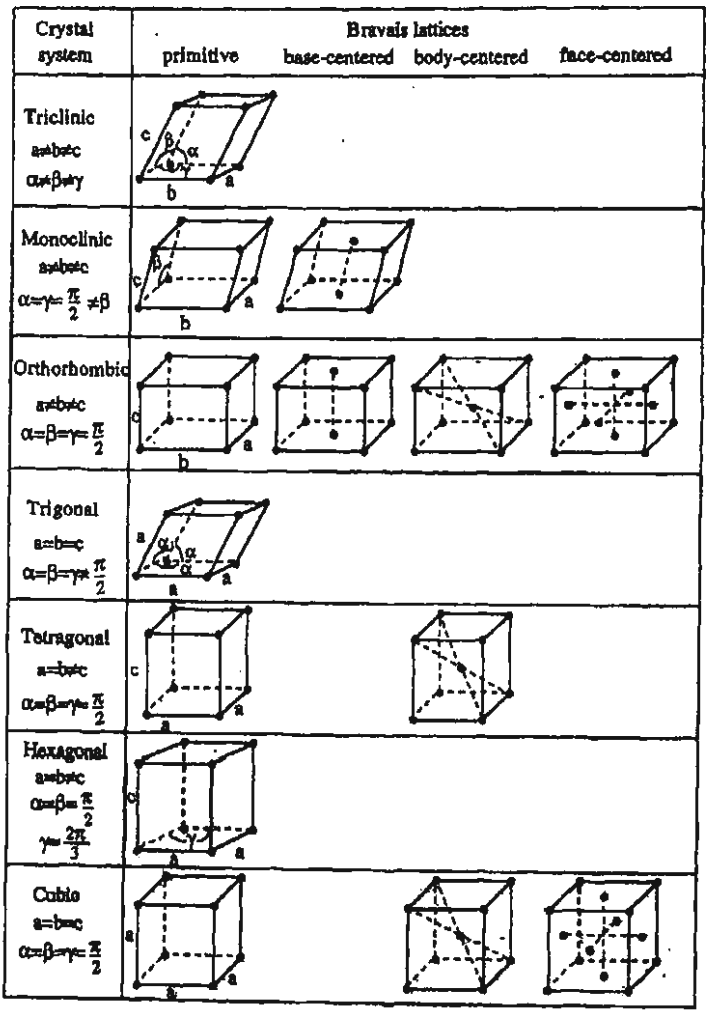
أما في الفضاء ذي الأبعاد الثلاثية فإن عمليات التماثل قد أدّت إلى تحديد أربعة عشر نوعاً من شبائك برافس. وهي مبينة في الشكل (1.9)

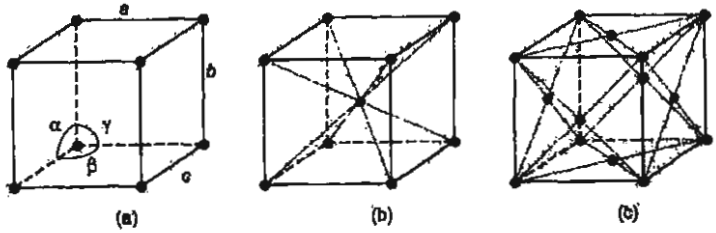


الشكل (1.9): شبائك برافس (أربع عشرة شبيكة).

مع الانتباه أن الخلايا المبينة في هذا الشكل هي خلايا عادية (conventional) وليست أولية.

وأكثر هذه الشبائك تماثلاً وسهولة في المعالجة هي البلورات المكعبة (cubic). وهي ثلاثة أنواع:

- المكعبة البسيطة (simple cubic) ويرمز لها بالرمز sc.
- المكعبة مع نقطة في مركز المكعب (body–centered) ويرمز لها بالرمز bcc.
- المكعبة مع نقطة في مركز كل وجه من وجوه المكعب (face–centered) ويرمز لها بالرمز fcc. (انظر الشكل 1.10)



الشكل (1.10): (a) المكعبة البسيطة. (b) المكعبة مع نقطة في مركز المكعب. (c) المكعبة مع نقطة في مركز كل وجه من وجوه المكعب

ومن يريد التعرف على هذه الأنواع وأشكالها وخصائصها وعمليات التماثل الممكنة فيها فيمكنه الرجوع إلى بعض المراجع التي تبحث في علم البلورات (Crystallography).

وحتى يكتمل الوصف الهندسي للبلورة يجب تحديد المتجهات الأولية والخلية الأولية كما ذكرنا سابقاً، كما يجب تحديد أنواع الذرات أو الأيونات أو الجزيئات داخل الخلية الأولية ومواضع هذه الذرات أو الأيونات أو الجزيئات. والبلورات البسيطة هي تلك التي تشتمل الخلية الأولية فيها على ذرة واحدة فقط. أما إذا اشتملت الخلية

الأولية على ذرتين أو أكثر فإن البلورة (أو الشبيكة) تصبح مركبة، أي كأنها مؤلفة من عدد من الشبائك البسيطة المتداخلة (sub lattices). ويوجد في نقاط كل واحدة من هذه الشبائك المتداخلة نفس النوع من الذرات.

1–2–2 الوصف الهندسي لبعض أنواع البلورات

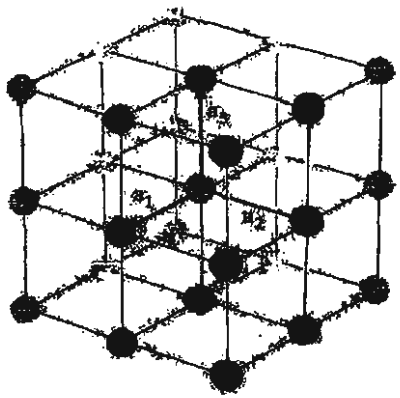
إن أكثر البلورات الموجودة في الطبيعة تماثلاً وأسهلها معالجة هي البلورات المكعبة. وسنأخذ أمثلة منها ونبين الخلية العادية والخلية الأولية والمتجهات الأولية ومواضع الذرات داخل الخلية في كل مثل من هذه الأمثلة. وأبسط أنواع الخلية المكعبة هي المكعبة البسيطة (sc)، والمتجهات الأولية فيها هي:

$$\vec{a}_1 = a(1,0,0)$$

$$\vec{a}_2 = a(0,1,0)$$

$$\vec{a}_3 = a(0,0,1)$$

والخلية الأولية فيها هي مكعب حجمه a^3 ، وفي رأس كل زاوية يوجد ذرة واحدة، وعدد أقرب الذرات المجاورة التي تحيط بالذرة الواحدة ست ذرات (انظر الشكل 1.11).



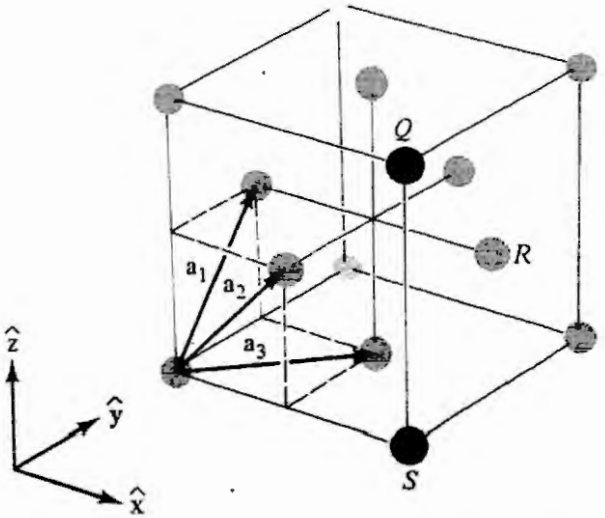
الشكل (1.11): الشبيكة المكعبة البسيطة (sc).

وتتكرر هذه الخلايا الأولية (البنائية) إلى مدى بعيد في الاتجاهات الثلاثة مكونة البلورة.

أما الأنواع الأخرى للخلية المكعبة فهي: المكعبة مركزية الوجه (fcc) والمكعبة مركزية الحجم (bcc):

أ- الشبيكة المكعبة مركزية الوجه

وهي التي نحصل عليها إذا أضفنا إلى الشبيكة المكعبة البسيطة نقطة أخرى إضافية في مركز كل وجه من وجوه المكعب الستة. (انظر الشكل 1.12).



الشكل (1.12): الشبيكة المكعبة مركزية الوجه (fcc)

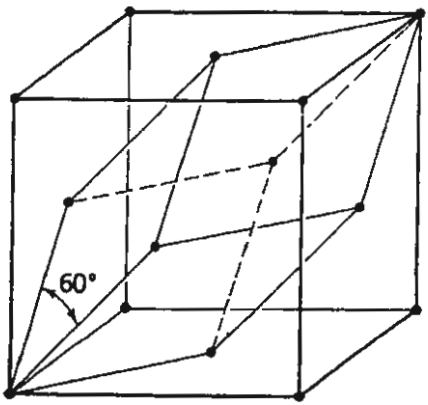
ومن الشكل نرى بان المتجهات الأولية لهذه الشبيكة (أقصر المسافات بين الذرات الموجودة في نقاط الشبيكة) هي:

$$\vec{a}_1 = \frac{a}{2}(0,1,1)$$

$$\vec{a}_2 = \frac{a}{2}(1,0,1)$$

$$\vec{a}_3 = \frac{a}{2}(1,1,0)$$

وكذلك فإن الخلية الأولية (أصغر حجم) هي متوازي المستطيلات الذي نحصل عليه من هذه المتجهات الأولية الثلاثة (انظر الشكل 1.13).



الشكل (1.13): الخلية الأولية للشبيكة (fcc).

لاحظ أيضاً أن هذه المتجهات الثلاثة ترتبط معًا كما يلي:

$$-a_1 + a_2 + a_3 = a(1,0,0)$$

$$a_1 - a_2 + a_3 = a(0,1,0)$$

$$a_1 + a_2 - a_3 = a(0,0,1)$$

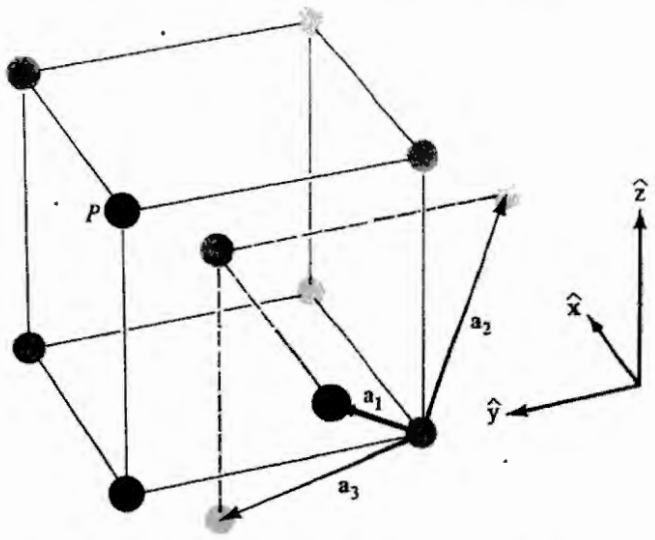
كما أن حجم الخلية الأولية يساوي $\Omega = \vec{a}_1 . (\vec{a}_2 \times \vec{a}_3) = \frac{a^3}{4}$

أي أن حجم الخلية الأولية (والتي تمثل الوحدة البنائية للبلورة) يعادل ¼ حجم الخلية العادية. كما أن عدد النقاط داخل الخلية العادية يساوي أربع نقاط

$(6\times\frac{1}{2}+8\times\frac{1}{8})$ وبذلك فإن الخلية الأولية تشتمل على نقطة واحدة. أما عدد أقرب الذرات المجاورة (nearest neighbors) التي تحيط بالذرة الواحدة فهو يساوي اثنتي عشرة ذرة وعلى مسافة $\frac{a\sqrt{2}}{2}$ منها. ومن المواد الصلبة التي تتبلور على هذا الشكل (fcc) الغازات الخاملة (Ne, Ar, Kr, Xe) وهي في حالة الصلابة، كما أن البناء البلوري لبعض العناصر هو أيضًا من هذا النوع ومنها (Ag, Al, Au, Cu, Pd, Pt, Pb, Pr, Sr).

ب- الشبيكة المكعبة مركزية الحجم

وهي التي نحصل عليها إذا أضفنا إلى الشبيكة المكعبة البسيطة نقطة أخرى إضافية في مركز المكعب (انظر الشكل 1.14)، ويظهر من هذا الشكل بأن المتجهات الأولية لهذه الشبيكة (اقصر مسافة بين النقاط) هي



الشكل (1.14): الشبيكة المكعبة مركزية الجسم (bcc).

$$\vec{a}_1 = \frac{a}{2}(-1,1,1)$$

$$\vec{a}_2 = \frac{a}{2}(1,-1,1)$$

$$\vec{a}_3 = \frac{a}{2}(1,1,-1)$$

لاحظ أن:

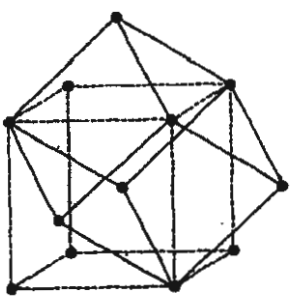
$$\vec{a}_1 + \vec{a}_2 + \vec{a}_3 = \frac{a}{2}(1,1,1)$$

وكذلك:

$$a_2 + a_3 = a(1,0,0)$$
$$a_1 + a_3 = a(0,1,0)$$
$$a_1 + a_2 = a(0,0,1)$$

أما الخلية الأولية فهي متوازي المستطيلات الذي أضلاعه a_1, a_2, a_3 (انظر الشكل 1.15) وحجمها يساوي

$$\Omega = \vec{a}_1 . (\vec{a}_2 \times \vec{a}_3) = \frac{a^3}{2}$$



الشكل (1.15): الخلية الأولية للشبيكة (bcc).