

الباب الخامس

الحالة الصلبة
The Solid State

الباب الخامس

الحالة الصلبة Soild State

- . خواص الحالة الصلبة .
- . التماثل .
- . مستوى التماثل .
- . محور التماثل .
- . مركز التماثل .
- . الشبكة الفراغية .
- . تركيب البلورة .
- . مستويات الشبكة وأبعادها .
- . طريقة تحديد موضع المستوى فى الفراغ .
- . الأنظمة البلورية .
- . البلورات الأيونية .
- . البلورات التساهمية .
- . البلورات الجزيئية .

- البلورات المعدنية .
- أشباه الموصلات .
- تغيرات الحالة ومنحنيات التسخين والتبريد .
- الأشعة السينية ، وتحديد الأبعاد البلورية .
- التشابه البلوري .
- تعدد الشكل البلوري .
- الأسئلة .

خواص الحالة الصلبة ، Properties of soil state

تتميز الحالة الصلبة بحجم وشكل ثابتين وهى بذلك تختلف عن الحالة الغازية والسائلة ،
إختلافا كبيرا . ويرجع السبب فى ذلك إلى أنه فى الصلب تكون الوحدات التركيبية سواء ذرات
أو أيونات أو جزيئات مترابطة مع بعضها البعض بقوى كبيرة منتظمة تماما ، ومثبتة فى أماكن
محددة ، ويكون فى حالة إتزان فى الصلب ولا يكون ترتيبها الفراغى عشوائيا كما هو الحال
فى الغازات والسوائل وتذبذب الجسيمات بالنسبة لأماكنها المحددة ولكنها لا تترك المادة ، وقد
كان يعتقد فى بادئ الأمر أن جميع الجوامد بلورية ، وأنه لا توجد الجوامد غير البلورية ،
ولكن فيما بعد اتضح أن الحالة الصلبة تشتمل على المواد البلورية والمواد الغير البلورية .
ويتميز الصلب المتبلر بالخواص التالية :

١ - نقطة انصهارها محددة .

٢ - حرارة انصهارها محددة .

٣ - شبكة بلورية محددة .

إذ تكون الذرات ، الأيونات أو الجزيئات فى الصلب المتبلر مرتبة فى نظام محدد ، يتكرر
على الدوام . وقد تكون قوى الربط ناشئة عن التجاذب بين الأيونات الموجبة والسالبة ، كما فى
بلورة كلوريد الصوديوم أو تكون نتيجة لوجود روابط كيميائية تتماسك فيها الذرات بروابط
تكافؤ فى تركيبات متواصلة ، كما فى الماس ، وقد تنشأ قوى الربط عن تجاذب بين الجزيئات
كما فى ثانى أكسيد الكربون الصلب .

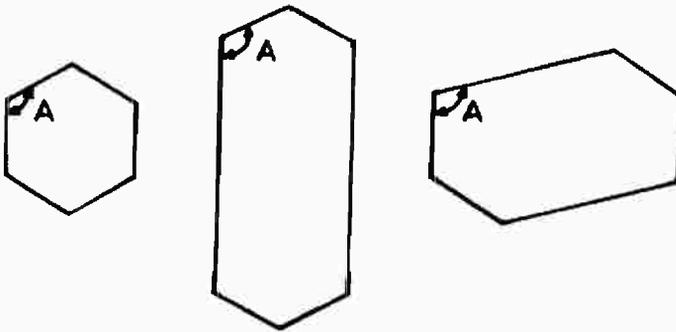
وتعرف المواد الصلبة التى لا تتوافر فيها الشروط السابقة بالمواد الصلبة الغير بلورية
وأمثلتها : الزجاج ، المطاط ، والصمغ الجامد . وقد أطلق تعبير (أمورفى) على المادة التى لا
يكون لها شكل هندسى طبيعى أو تركيب داخلى مرتب ، ولا يكون لأسطحها أوجه محددة ،
متكررة كما هو الحال فى المادة البلورية . وتكون جسيمات المادة الأمورفية مرتبة ترتيبا

عشوائيا كما هو الحال فى السوائل . ولذلك فإنها تعتبر سوائل فى مدى من درجات الحرارة .
بخلاف المواد البلورية التى تنصهر عند درجة حرارة ثابتة .

وإذا ما اختلفت خواص البلورات (قوى الشد ، المرونة ، التوصيل الحرارى ، التوصيل الكهربى ، معامل الإنكسار ، سرعة الذوبان) بإختلاف الإتجاهات ، فإن الجامد يعرف بأنه غير منتظم وتتضح هذه الظاهرة فى جميع البلورات ماعدا الأنظمة المكعبة ، أو المنتظمة . وإذا تساوت خاصية ما فى جميع الإتجاهات ؛ تعرف البلورة بأنها منتظمة وتتميز البلورات المكعبة ، وغير المتبلرة بأن لها خواص متماثلة مميزة فى جميع الإتجاهات ويعتمد حجم البلورات وكما لها على سرعة تكوينها .

التماثل ، Symmetry

قد يختلف شكل بلورة مركب أو عنصر ما ، بإختلاف الظروف التى يحدث عندها التبلور ، ولكن دائما تكون الزوايا بين الأوجه ثابتة . فبينما يعتمد الشكل الخارجى على النمو النسبى للأوجه المختلفة ، إلا أن الزوايا بين الأوجه تبقى دون تغير ، ويوضح ذلك بالتمثيل ثنائى الإتجاه ونرى فى شكل (١) أن الزوايا مثل (A) بين الأزواج من الجوانب المرادفة ، تكون مماثلة فى كل حالة بالرغم من إختلاف الأشكال تماما .



شكل (١) : التماثل رغم إختلاف الأشكال

وبذلك فإن قياس الزاوية في البلورة تعتبر جزءا هاما بالنسبة لدراسة البلورات في علم يعرف بعلم البلورات ، والجهاز المستخدم يعرف بالجونيوميتر ، وبالإضافة إلى الزاوية ، فإن هناك خاصية هامة للبلورات تعرف بالتماثل وينص قانون التماثل على أن :

(جميع البلورات من نفس المادة يكون لها نفس عناصر التماثل) .

مستوى التماثل :

يقال أن البلورة لها مستوى تماثل عندما يمكن تقسيمها بواسطة مستوى تخيلي إلى قسمين ، بحيث يكون أى منهما عبارة عن صورة مضبوطة في المرآة للأخر .

محور التماثل :

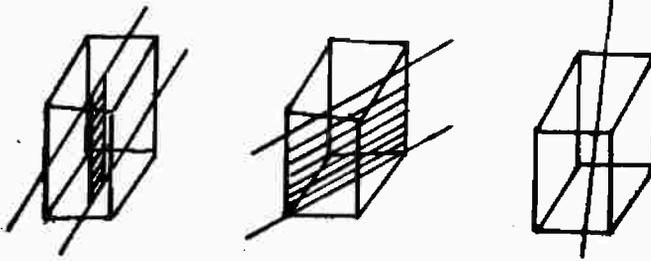
هو ذلك الخط التخيلي الذي يمكن أن يرسم عبر مركز البلورة ، وتدور حولها البلورة ٣٦٠ درجة . بحيث تقدم نفس الصورة بون تغير أكثر من مرة واحدة ، أثناء دورة كاملة . وفي الحقيقة فإنه من الممكن أن نجد بلورات تظهر بون تغير ، نفس الصورة مرتين ، ثلاث ، أربع أو ست مرات ، وذلك أثناء دورة كاملة مقدارها ٣٦٠ . ويعرف الخط بمحور التماثل .

فإذا ظهر الشكل الأصلي مرة ثانية بعدد دوران ١٨٠ درجة يعرف المحور بأن له تماثل ثنائي ، وهناك إمكانات أخرى لتكرار الشكل الخارجى للبلورة بعد كل ١٢٠ درجة بالنسبة للمحور ثلاثى التماثل ، أو بعد ٩٠ درجة للمحور رباعى التماثل أو بعد ٦٠ درجة بالنسبة للمحور سداسى التماثل ، وبالإضافة إلى ذلك ، فإنه قد يكون للبلورة مركز تماثل .

مركز التماثل :

هى تلك النقطة التى إذا رسم عبرها أى خط نجد أوجه البلورة فإنه سو يتقاطع مع سطح البلورة عند مسافات متساوية من كل الإتجاهات . ويمكن للبلورة مستوى واحد أو أكثر ،

وكذلك محور تماثل واحد أو أكثر ، ولكن لا يكون لها أكثر من مركز تماثل واحد . وفي الواقع هناك بلورات ليس بها مراكز تماثل لأنها تنمو بمعدل مختلف في اتجاهات متضادة وتحدد عناصر التماثل نوع البلورات أو بعبارة أخرى يعتمد العدد الكلى لعناصر التماثل ، وكذلك الأنواع المختلفة من التماثل على طبيعة البلورة ، ففي بلورة كلوريد الصوديوم وهى بلورة مكعبة ، يوجد ٢٣ عنصر تماثل ، ولذلك تعرف بأنها بلورة عالية التماثل ، أما بلورة كبريات النحاس $CuSO_4 \cdot 5H_2O$ فإنها عالية فى عدم التماثل ، وليس لها عناصر تماثل والشكل (٢) يوضح عناصر التماثل فى بلورة مكعبة .

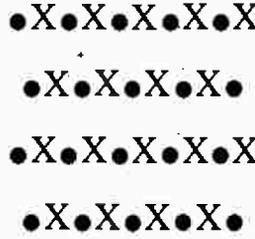


شكل (٢) : عناصر التماثل فى بلورة مكعبة

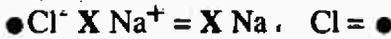
الشبكة الفراغية ،

يعتمد الشكل البلورى على نوع قوى الربط ، الحجم النسبى للأيونات أو الذرات المختلفة ، وعوامل أخرى عديدة . وتتكون البلورة من تكرار مجموعة أساسية من الذرات أو الأيونات فى ثلاثة اتجاهات ، وتمثل الشبكة البلورية بالشبكة الفراغية . وهى عبارة عن توزيع النقاط المتكونة نتيجة لتحرك نقطة واحدة ، بزيادات ثابتة على طول محاور البلورة الثلاث . ويؤدى إنتظام التركيب البلورى إلى فكرة الشبكة الفراغية .

ولكى يمكن تفسير هذا المبدأ ، سوف ندرس بللورة كلوريد الصوديوم فهي تتكون من ترتيب منتظم بالضبط من أيونات الصوديوم وأيونات الكلوريد ، وإذا مثلنا موقع كل Na^+ فى البللورة بنقطة (محددة بالعلاقة X) فإن النتيجة سوف تصبح $\bullet X \bullet X \bullet X \bullet X \bullet X$ ترتيبيا منتظما من النقاط فى شكل شبكة ثلاثى الإتجاه ، وتلك هى الشبكة الفراغية لأيونات Na^+ فى بللورة NaCl وتكون كما يلى :



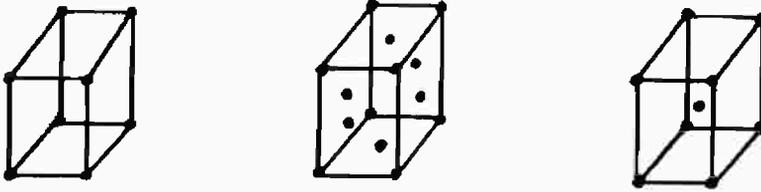
وبالمثل سوف تكون هناك شبكة فراغية بالنسبة لأيونات Cl وتتكون حينئذ



ويحدد تماثل الشبكة المتجمعة تماثل البللورة كلها . وتجدر الإشارة إلى أن كل نقطة شبكية فى الشبكة البللورية لها نفس المحيط مثل أى نقطة تمثل الذرة أو الأيون ويمكن إعتبار أن الشبكة الفراغية لبللورة مبينة من موديل أساس ثلاثى الإتجاه يعرف بالخلية الوحدة والخلية الوحدة ، عبارة عن الوحدة المتكررة التى تولد الموديل لكل فى الإتجاهات الثلاث .

والذى يحدد الشكل الخارجى للبللورة هو شكل الخلية الوحدة ، وأبعادها ونتيجة لمناقشات هندسية ، فقد أمكن إثبات أنه من الممكن أن يوجد فقط أربعة عشر شبكة فراغية بسيطة مختلفة . وبعبارة أخرى فإنه يوجد ١٤ طريقة ، ويمكن بواسطتها للنقاط المتماثلة أن تترتب فى نظام ثلاثى الإتجاه .

وتعرف هذه الأنواع المختلفة من الشبكة الفراغية بشبكات برفايس فمثلا تتكون جميع البلورات فى النظام المكعبى ، أو المنتظم من واحد أو أكثر من ثلاثة أنواع من الشبكات وهى :
مكعب بسيط ، مكعب ممرکز الوجه ، مكعب ممرکز الجسم والشكل (٣) يوضح ذلك .



شكل (٣) : أنواع من الشبكات

وتتكون الشبكة الفعلية من تكرار الخلية الوحدة هذه فى ثلاث إتجاهات ويكون الخلية المكعبة البسيطة نقاط فقط عند أركان كل مكعب وحدة وتحتوى الشبكة ممرکز الوجه بالإضافة إلى تلك النقاط فى الأركان على نقاط فى مركز كل من الأوجه الست ، بينما تشمل الشبكة ممركرة الجسم على نقطة فى كل مكعب ، بالإضافة إلى تلك النقاط الموجودة فى الأركان .

وقد تبين من إعتبرات هندسية أنه من الممكن أن يكون للبلورة نظريا ، تجمعات لعناصر التماثل عددها ٢٢ وهى تعرف بنقاط المجموعات وبالإضافة إلى شبكات برفايس ، فإن نقاط المجموعات تؤدي إلى ترتيبات مختلفة ، تعرف بالمجموعات الفراغية . واعتمادا على عناصر تماثل كل بلورة فإنها يجب أن تنتمى إلى واحدة أو أخرى من هذه المجموعات .

تركيب البلورة ،

إن الأشكال البلورية تنشأ من تكرار تلاصق وتراص وحدات صغيرة متعائلة تماما ، ترتبت فوق بعضها ، وفى جميع الإتجاهات ويطلق على الوحدة الصغيرة اسم الخلية الوحدة ، أو

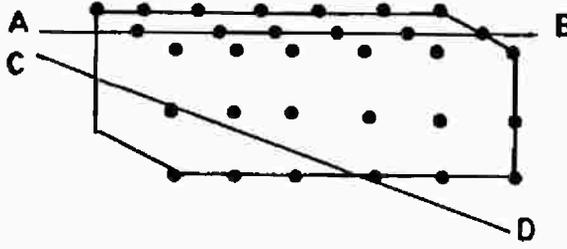
الخلية الأساسية أو الخلية الأولية ، وأن الشبكات البلورية الفراغية تنشأ من تراكم هذه الوحدة .

وتتكون الخلية الوحدة من جزيئات أو مجموعات ذرية ، أو ذرات أو أيونات وتؤلف جسيمات الخلايا الوحدة صفوفًا من نقاط متباعدة عن بعضها أبعادًا متساوية منتظمة وتأخذ الصفوف الإتجاهات الفراغية الثلاث a.b.c وتشكل بذلك الشبكة الفراغية ، وتكون فيما بينها زوايا يرمز لها α, β, γ وقبل إستخدام الأشعة السينية ، فى دراسة الأجسام البلورية ، فقد كانت المعلومات عن تركيب البلورية ، أو الأنظمة البلورية ، تعتمد على قياسات الزوايا بين الأوجه الخارجية للبلورة .

ولكل خلية أوجه وأحرف ، والوجه هو المستوى الخارجى المحدد للبلورة ويدل على التركيب الداخلى المنتظم لجسيمات البلورة ، وتنتج الأحرف من إتّام وجهين للبلورة والخلية الأساسية زوايا تقع بين هذه الأوجه .

مستويات الشبكة وأبعادها :

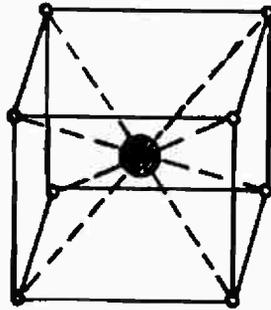
هناك عدة طرق لترتيب النقاط فى الشبكة الفراغية على هيئة مستويات متوازية ومتساوية البعد عن بعضها . وهى تعرف بمستويات الشبكة وتكون الأوجه الخارجية للبلورة الكاملة موازية لهذه المستويات ومعظم أنواع الأوجه الموجودة هى تلك التى ترادف مستويات تشمل على أكبر عدد من النقاط . ويمكن توضيح ذلك الوضع فى مخطط ثنائى الإتجاه شكل (٤) فعلى طول AB تكون نقاط الشبكة أكثر إتصاقًا بالمقارنة بالترتيب على طول CD .



شكل (٤) : مخطط ثنائي الاتجاه

البللورات الأيونية :

تتكون الشبكة الأيونية من أيونات متضادة الشحنة . ففي بللورة كلوريد الصوديوم تكون الأيونات مرتبطة معا عن طريق روابط أيونية تنتج من التجاذب الكهروستاتيكي بين الأيونات الموجبة Na^+ والسالبة Cl^- ، ونظرا لأن الشحنة تحيط بالأيون من كل جانب ، فإن الشحنات المتضادة تتراكم من جميع الجهات بحيث لا يمكن تمييز جهة تجاذب محددة على جهة أخرى . كما أن حجم الأيون هو الذي يحدد عدد ما يتسع له محيطه الخارجى من أيونات مضادة الشحنة . فبينما يحيط بأيون الصوديوم ست أيونات Cl^- فإن أيون Cs^+ يحاط بثمانية أيونات Cl^- كما فى شكل (٥) . وعلى الرغم من أن البللورات الأيونية قوية إلا أنها هشة ، لها مرونة صغيرة جدا كما أنها لا تنشى ولا تشكل .

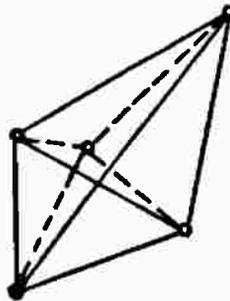


شكل (٥) : بللورة كلوريد الصوديوم

وتدل الحقيقة بأن مصهور NaCl يوصل التيار الكهربى على أن الأيونات التى تقوم بالتوصيل الكهربى ، توجد فعلا على هيئة أيونات مشحونة فى الشبكة البلورية ويتضح بذلك أن NaCl, CsCl لا يوجدان بشكل جزئى بسيط بل على هيئة أيونات ذات قوى تجاذب فيما بينها عالية الطاقة يطلق عليها طاقة الشبكة البلورية الأيونية وتتطلب التغلب عليها طاقة عالية لذا فإن درجة انصهارها كما يلى : NaCl درجة انصهاره 800°م و KCl درجة انصهاره 760°م ونجد أيضا أن درجات غليانها مرتفعة .

البلورات التساهمية :

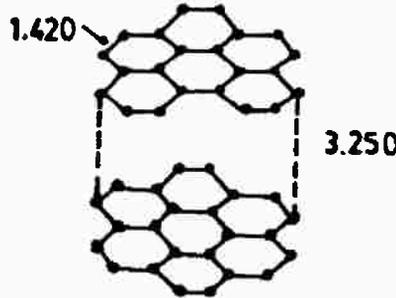
تكون البلورات مرتبطة ببعضها البعض عن طريق روابط تساهمية بين الذرات فى ثلاث إتجاهات وهى بلورات قوية ، وصلبة ، ودرجات انصهارها عالية وأمثلة ذلك تركيب الماس الذى يتكون من شبكة ثلاثية الإتجاه من ذرات الكربون ، كل منها مرتبط بأربع ذرات أخرى فى ترتيب رباعى وطول الرابطة C - C هى نفسها كما فى المركبات الأليفاتية (1.54 \AA^0) ويكون السيليكون ، والخاصين أو القصدير الرمادى أيضاً بلورات من بلورات الماس كما فى شكل (٦) وبذلك يمكن إعتبار أن بلورة الماس عبارة عن جزئ ضخم من الكربون ترتبط فيه الذرات بروابط ثنائية الإلكترون وهذا يعطى الماس الصلابة المعروفة وإرتفاع درجة انصهاره وغليانه (درجة انصهار الماس 3700°م تحت ضغط يساوى 100 جو ودرجة غليانه 3850°م) ويتكون من إرتباط كل ذرة كربون بأربعة أخرى هرم رباعى منتظم البعد بين كل ذرتين فى نفس المستوى 1.5445 إنجستروم . أما البعد بين مستويين يساويين 2.05 إنجستروم .



شكل (٦) : تركيب الماس

ويمكن فهم الفرق الكبير بين الجرافيت والماس من دراسة الشبكة البلورية لكل منهما فيكون الجرافيت من شبكات سداسية الأضلاع على هيئة شرائح مستوية مثل حلقات البنزين والمسافة بين الذرات في المستويين هي 3.250 أنجستروم وبذلك فإنه في مستوى ثنائي الإتجاه ، تكون ذرات الكربون مرتبطة بأحكام كما هو الحال في الماس . ولكن في الإتجاه الثالث ، تكون قوى التجاذب أقل بكثير . ونتيجة لذلك ، فإنه يمكن لطبقة أن تتلرق فوق الأخرى . وتكون البلورة على هيئة شرائح وبذلك لا تتحطم المادة تماما بتأثير الشد أو الإحتكاك وهذا التركيب على هيئة مستويات يعتبر جزءا من تفسير الفعل التشخيصى للجرافيت .

وفى بلورة الجرافيت تكون الرابطة الرابعة غير تساهمية خالصة كما فى الماس ولكنها تكون فى تبادل مستمر مع ذرات الكربون فى المستوى الأعلى ، والمستوى الأسفل وهو بذلك يشبه الرابطة π . وتشبه حركة الإلكترون الرابع هذا حركة الإلكترونات فى المعادن ولذلك يتميز الجرافيت بالتوصيل الكهربى والبريق المعدنى ، ويكون الجرافيت سهل التقصف تتم بسهولة كسر الرابطة بين المستويين كما فى شكل (٧) التالى :



شكل (٧) : بلورات الجرافيت

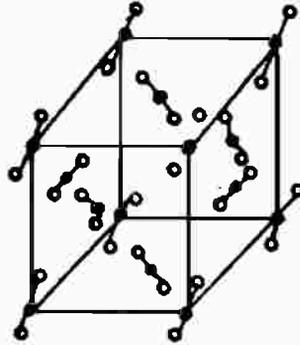
البلورات الجزيئية ،

تتكون البلورات الجزيئية متعادلة الشحنة كهربيا ، مرتبطة مع بعضها البعض بقوى تجانب

ضعيفة تعرف بقوى فان درفالز . وهى من نفس نوع القوى الموجودة بين الغازات ، وحيث أن قوى التعامل ضعيفة فإن البلورات الجزيئية تكون لينة ، ولها نقاطا انصهارها مختلفة .

وتتكون هذه البلورات الجزيئية عند تجمد السوائل أو تكثف الغازات إلى سوائل ، ثم تجمدها . فمثلا رابع كلوريد الكربون CCl_4 سائل عند درجة الحرارة العادية ولكن عند تبريد $23^\circ -$ م يتحول إلى بلورات .

جزيئية كما يتحول CH_2, C_2, H_2, N_2, S_2 ، وكذلك الغازات الخاملة إلى سوائل بالتبريد الشديد ، ثم إلى أجسام صلبة بلورية جزيئية والبلورات الجزيئية تتفك بسهولة تحت أى تأثير حرارى ضئيل وتسمى هذه البلورات المتعادلة كهربيا بلورات فان درفالز ، لأن سبب تماسكها هو قوى فان درفالز . أما الذرات داخل الجزيئات نفسها ، فترتبط فيما بينها بروابط تساهمية مثل بلورة ثانى أكسيد الكربون الصلبة . كما فى شكل (٨) التالى :



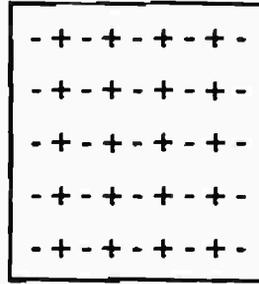
شكل (٨) : بلورة ثانى أكسيد الكربون الصلب (C ذرة كربون ، O ذرة أكسجين)

وهناك كثير من البلورات الجزيئية التى تتميز جزيئاتها بالإستقطاب أى أنها ليست متعادلة كهربيا ، ولكن لها قطبان أحدهما سالب والآخر موجب مثل : جزيئات الماء وفلوريد الهيدروجين . إذ يدخل عامل آخر غير قوى فان درفالز فى تماسك هذه البلورة هو عامل التجاذب القطبى ولذلك تكون درجة انصهار بلورات الثلج مثلا أكبر من درجة انصهار ثانى أكسيد الكربون الصلب المتبلر .

البللورات المعدنية :

الصفة المميزة للبلورات المعدنية هي أن الإلكترونات تكون فيها حرة ، مما يجعلها جيدة التوصيل للكهرباء ، كما أنها موصلة للحرارة . ويعكس الأنواع الأخرى ، فإن البللورات المعدنية يمكن ثنيها ، وتشكيلها نظرا لأنها تقبل الطرق والسحب ولها بريق وتعكس الضوء وجسيماتها محكمة الترتيب حيث يحيط بالجسيم الواحد عدد من الجسيمات أكبر من ذلك العدد الذي توحى به الإلكترونات الخارجية ويسمى هذا العدد بالعدد التناسقي وهذه الخاصية لا تتوفر إلا في المعادن .

ويمكن تفسير خواص المعادن فإذا تصورنا انفصال الإلكترونات التي تقع في مدار الذرة الخارجى لتصبح حرة حول الذرة ونتيجة لتجمع إلكترونات ذرات عديدة تنشأ سحابة إلكترونية يقع ضمنها الأيونات الموجبة ، وينشأ التماسك نتيجة للتجاذب بين الأيونات الموجبة والسحابة الإلكترونية ، والأيونات الموجبة هي التي تحتل مواقع شبكية ثابتة في البلورة المعدنية كما في الشكل (٩) ويمكن وصف المعدن بأنه عبارة عن أيونات موجبة جيدة الترتيب ، موجودة من الإلكترونات ، وهناك ثلاث أنواع من الترتيب الشبكي البللورى المعدنى وهى :



شكل (٩) : مقطع لبلورة معدنية

- ١ - مكعبة ممركرة الوجه .
- ٢ - مكعبة ممركرة الجسم .
- ٣ - سداسية متلاصقة الرص .

وفى البلورات الفلزية ، تكون إلكترونات التكافؤ مرتبطة بواسطة جميع الذرات البلورية ، وهى عالية الحركة ، وتكون طبقة التكافؤ التى قد تكون ممثلة جزئيا . متداخلة مع طبقة التوصيل غير الممتلئة .

ويتطلب إنتقال إلكترون إلى مستوى أعلى داخل الطبقة إضافية كمية صغيرة جدا من الطاقة ، نظرا لأن الطبقات تكون فى التصاق مع بعضها البعض ، وبذلك فإنه يمكن لإلكترونات التكافؤ فى فلز أن تتحول إلى مستويات أعلى عند إمتصاص ضوء طويل الطول الموجى ، وعندما تعود هذه الإلكترونات إلى مستويات طاقة أدنى فإنها تشع ضوءا وينشأ المظهر اللامع للمعادن نتيجة لهذه الظاهرة .

كما تفسر الحركة العالية للإلكترون فى البلورة المعدنية درجة توصيلها العالية للحرارة ، والكهربية فتقوم إلكترونات التكافؤ فى الفلز بإمتصاص حرارة على هيئة طاقة حركية ، وتنقلها بسرعة إلى جميع أجزاء الفلز حيث أن حركتها غير محددة نسبيا ، ولذلك فإن الأجسام الصلبة ذات الإلكترونات محدودة الحركة تتميز بتوصيل منخفض للحرارة . ويمكن أن يحدث التوصيل الحرارى عن طريق حركة الأيونات أو الجزيئات ذات الحركة الإبطاء .

أشباه الموصلات ،

وهناك موصلات وعوازل وأشباه موصلات بالنسبة للموصل مثل الليثيوم تكون طبقة التكافؤ من مسارات 2S متداخلة مع طبقة التوصيل الخالية من مسارات 2P وتكون هاتان الطبقتان مفصولتان عن طبقة التوصيل الخالية الأعلى والنتيجة عن مسارات الغلاف الثالث بواسطة طبقة طاقة ممنوعة .

ويحدث التوصيل الكهربى نتيجة لحركة الإلكترونات داخل منطقة التوصيل الأدنى ولا يكون هناك حاجة لإمداد طاقة لكى يمكن التغلب على حاجز الطاقة هي الطبقة الممنوعة لكى يمكن

الإستفادة من طبقة التوصيل الأعلى وفى المادة العازلة حيث توجد طبقة تكافؤ ممثلة تماما ، ومفصولة إنفصالا واسعا عن طبقة التوصيل الخالية ، وذلك بواسطة طبقة طاقة ممنوعة (حاجز للطاقة) .

وتكون حركة الإلكترون ، وبالتالي التوصيل الكهربى ممكن فقط ، إذا أمدت المادة بطاقة ، تدفع الإلكترونات عبر حاجز الطاقة الكبيرة نسبيا إلى طبقة التوصيل . وعادة لا يحدث مثل هذا الدفع ، وبذلك يكون توصيل العوازل صغيرا جدا ، فمثلا يكون للماس حاجز طاقة كبيرة ، يمنع الإلكترون من الإنتقال من مستويات الرابط والتكافؤ إلى مستويات التوصيل .

وشبه الموصل هو تلك المادة ذات التوصيل الكهربى المنخفض ، الذى يكون وسطا بين التوصيل الخاص بالموصل ، والتوصيل الخاص بالعازل ، ويزداد هذا التوصيل زيادة واضحة بزيادة درجة الحرارة ، وفى شبه الموصل تكون الطبقة العازلة (الممنوعة) ضيقة لدرجة تكفى . بحيث يمكن رفع الإلكترونات عن طريق الإثارة الحرارية والفراغات المتروكة نتيجة لإزاحة الإلكترونات من طبقة التكافؤ ، سوف تسمح للإلكترونات المتبقية فى طبقة التكافؤ لكى تحت تأثير مجال كهربى .

ويحدث التوصيل نتيجة لحركة الإلكترونات فى طبقة التكافؤ ، وكذلك فى طبقة التوصيل ، فالبنسبة لعناصر Ge, Si : وهما أشباه موصلات ، وهناك فرصة لإثارة بعض الإلكترونات إلى حيز التوصيل حيث يترك الإلكترون خلفه فراغا فى حيز التكافؤ ، وبالتالي يمكن أن ينتقل إليه إلكترون من نفس ذلك الحيز وبذلك يكون للفراغات دخل فى التوصيل .

الأسئلة

- ١ - تكلم عن خواص الحالة الصلبة ؟
- ٢ - أكتب ما تعرفه عن :
 - أ - عناصر التماثل .
 - ب - مستوى التماثل .
 - ج - محور التماثل .
 - د - مركز التماثل .
- ٣ - إشرح مع الرسم والأمثلة معنى الشبكة الفراغية ؟
- ٤ - أكتب مذكرات عن :
 - أ - تركيب البلورة .
 - ب - مستويات الشبكة وأبعادها .
- ٥ - تكلم بالتفصيل عن البلورات الأيونية ؟
- ٦ - إشرح مع الرسم البلورات التساهمية ؟
- ٧ - وضع مع الرسم البلورات الجزيئية ؟
- ٨ - أكتب مذكرات وافية عن :
 - أ - البلورات المعدنية ؟
 - ب - أشباه الموصلات ؟