****

أساسيات

**فيزياء الجوامد**

**لطلاب الفرق النهائية بكليات العلوم والهندسة والمعاهد التكنولوجية ومن في مستواهم**

**أ.د / الدرس خلف شكر**

**مقدمة**

رغم أن المكتبة العربية تعد واحدة من أغني المكتبات العالمية بالكتب والمراجع والموسوعات والدوريات والمخطوطات في مجالات العلوم الإنسانية , إلا أنها تعاني نقصا حادا في المجالات العلمية والتكنولوجية بشتي فروعها . ذلك نتيجة لندرة الترجمة والتأليف في العقود الأخيرة التي شهدت قفزات هائلة في تلك المجالات .

ولعل أبرز المعوقات لذلك هو عدم وجود سياسة مشجعة على المستوى القومي تتبني هذا التوجه , بل على العكس , نلاحظ أن الإتجاه العام يميل لتثبيط هذا النهج , الأمر الذي يبدو جليا من السياسة التعليمية في معظم البلدان العربية سواء في المدارس أو الجامعات التي تولي إهتماما يتزايد يوما بعد يوم باللغة الإنجليزية (على وجه الخصوص) على حساب اللغة العربية . ومن المؤكد , أن التقدم الحضاري للأمم يرتكز أساسا على التعليم باللغة الأم , فكما نعلم أن حجر الزاوية في تحقيق النهضة الشاملة والتقدم الحضاري للدول المتقدمة في عالم اليوم مثل الولايات المتحدة الأمريكية , إنجلترا , فرنسا , ألمانيا , اليابان , روسيا , الصين ...إلخ كان هو التعليم باللغة القومية . ولا عجب في ذلك , فاللغة الأم تعظم القدرة على التواصل والإستيعاب خاصة لمن حباهم الله تعالى بالإبداع والإبتكار العلميين ورزقوا في نفس الوقت بملكات لغوية متواضعة , ناهيك عن صعوبة بعض الصياغات اللغوية والأمثلة التي قد تكون مستوحاة من البيئة المحلية أو مرتبطة بالعادات والتقاليد , وهي ما يستعصي فهم فحواها ربما على المتخصصين من غير أهل اللغة . لذا , فهدفنا الأسمي الذي نسعي إليه هو تذليل حاجز اللغة أمام القارئ العربي عن طريق نقل المعلومة إليه باللغة الأم .

وتحقيقا لهذا الهدف قمنا بتجميع وإعداد هذا الكتاب باللغة العربية في فيزياء الجوامد كمساهمة متواضعة آملين أن يقدم الأساسيات الضرورية لطلاب الفرق النهائية لكليات العلوم وبعض الكليات والمعاهد الهندسية والتكنولوجية في هذا الفرع الهام من علم الفيزياء .

ولقد حاولنا جاهدين أن يكون شرح الموضوعات مستوفيا لشروط التسلسل المعلوماتي رياضيا وفيزيائيا , ومزودا بجداول وصور توضيحية وأشكال بيانية , وأن يكون أسلوب العرض بلغة علمية بسيطة وسلسة متضمنة المصطلحات العلمية الأساسية باللغة الإنجليزية كلما أمكن ذلك .

ولا يفوتني في هذا المقام أن أعبر عن شكري وامتناني لزملائي أعضاء هيئة التدريس وأبنائي من الهيئة المعاونة والعاملين بقسم الفيزياء بكلية العلوم بسوهاج الذين لم يبخلوا بأي عون أدبي أو معنوي أو بإسداء الرأي والنصيحة , وأخص بالشكر أبنائي الذين قدموا مساعدات سخية في كتابة وإخراج هذا الكتاب .

كما أود أن أعبر عن شكري وإمتناني لأستاذنا الجليل أ.د مصطفى كمال محمد أستاذ فيزياء الجوامد بجامعة المنصورة لما بذله من مجهود في مراجعة الكتاب وما أسداه من نصائح وإقتراحات وإضافات كانت ضرورية لملأ فراغات الكتاب .

وأخيرا نسأل الله سبحانه وتعالى أن يجد القارئ ضالته في هذا الكتاب وأن يؤجرنا لمحاولتنا ونيتنا , فإن لم يكن كما يبتغيه القارئ أو يريده المتخصص زميلا كان أو أستاذا لنا , فإننا نرحب شاكرين بإسداء النصيحة والتوجيه لصالح أبنائنا , وليجعله الله تعالى في ميزان حسناتنا جميعا . آمين .

المؤلف

أخي وزميلي العزيز أ.د الدرس خلف شكر

أتقدم بكل حب وإحترام لزميل قام بجهد مثمر ومتميز بالأصالة والإبداع بكل المقاييس في القرن الواحد والعشرين للمكتبة العربية , حيث أضاف كتابا مؤلفا منه لطلاب مرحلة البكالوريوس على مستوى الجامعات والمعاهد العلمية باللغة العربية . وفي الحقيقة يعد هذا الكتاب واحدا من الكتب التي تتناول مجالا صعبا في مجال فيزياء الحالة الصلبة , فإستطاع بكل مهارة أن يدمج مفهوم الفيزياء الحديثة وبالأخص فيزياء الكوانتم ومشتقاتها لتفسير المفاهيم الفيزيائية المتعلقة بمفهوم فيزياء الحالة الصلبة , وأن يربط الخواص الكهربية والميكانيكية والضوئية والمغناطيسية وغيرها لتوضيح أي مفهوم يتعلق بفيزياء الحالة الصلبة بتسلسل منطقي معبرا عن الأصالة المنهجية التي تخاطب العقل العلمي الفيزيائي مستخدما مفاهيم أدوات الرياضيات للتوضيح .

المخلص

أ. د مصطفى كمال محمد يوسف



أستاذ متفرغ بقسم الفيزياء – كلية العلوم جامعة المنصورة

|  |  |
| --- | --- |
| **محتويات الكتاب** | |
|  |  |
|  | **الصفحة** |
| **الباب الأول : الترابط في المواد الصلبة-------------------------------------------** | **13** |
| **1.1 مقدمة ------------------------------------------------------------------------------------** | **13** |
| **1.2 الروابط في الأجسام الصلبة ---------------------------------------------------------------** | **16** |
| **رابطة ڤان ديرڤال--------------------------------------------------------------------------** | **16** |
| **تفاعل التشتت-----------------------------------------------------------------------** | **16** |
| **التفاعل التوجيهي--------------------------------------------------------------------** | **18** |
| **تفاعل الحث-------------------------------------------------------------------------** | **19** |
| **الرابطة الآيونية----------------------------------------------------------------------------** | **20** |
| **الرابطة التساهمية--------------------------------------------------------------------------** | **24** |
| **القوة بين الذرات وإتجاهية الحركة المغزلية-------------------------------------------** | **27** |
| **خاصية التشبعية--------------------------------------------------------------------** | **31** |
| **خاصية الإتجاهية-------------------------------------------------------------------** | **32** |
| **الرابطة الكيميائية المختلطة-----------------------------------------------------------------** | **32** |
| **الرابطة المعدنية---------------------------------------------------------------------------** | **34** |
| **الرابطة الهيدروجينية----------------------------------------------------------------------** | **36** |
| **1.3 المقارنة بين أنواع الروابط-----------------------------------------------------------------** | **38** |
| **1.4 قوى التنافر--------------------------------------------------------------------------------** | **39** |
| **اسئلة وتمرينات -------------------------------------------------------------------------------** | **41** |
| **الباب الثاني : التركيب البللورى للمواد الصلبة------------------------------------** | **46** |
| **2.1 الشبكية الفراغية--------------------------------------------------------------------------** | **46** |
| **2.2 عناصر التماثل في البللورة-----------------------------------------------------------------** | **48** |
| **التماثل الإنتقالي -------------------------------------------------------------------------** | **48** |
| **التماثل الدوراني--------------------------------------------------------------------------** | **50** |
| **زوايا الدوران المسموحة ------------------------------------------------------------------** | **51** |
| **شبكية لانهائية وبللورة محدودة-----------------------------------------------------------** | **54** |
| **2.3 أنواع التركيب البللوري البسيط-------------------------------------------------------------** | **54** |
| **التركيب المكعبي البسيط -----------------------------------------------------------------** | **55** |
| **التركيب متمركز الحجم--------------------------------------------------------------------** | **55** |
| **التركيب متمركز الأوجه-----------------------------------------------------------------** | **57** |
| **2.4 بعض البارامترات البللورية ---------------------------------------------------------------** | **58** |
| **العدد التناسقى ----------------------------------------------------------------------------** | **58** |
| **الخلية الأولية ----------------------------------------------------------------------------** | **59** |
| **الخلية الإبتدائية--------------------------------------------------------------------------** | **60** |
| **معامل الحشر بين الذرات -----------------------------------------------------------------** | **61** |
| **الخلية الاولية لويجنر- زايتز----------------------------------------------------------------** | **62** |
| **الشبكية والأساس البللورى ----------------------------------------------------------------** | **63** |
| **2.5 أمثلة التركيب ذى الأساس البللوري--------------------------------------------------------** | **65** |
| **التركيب الماسي ---------------------------------------------------------------------------** | **65** |
| **التركيبان السداسى والمكعبي محكما الرص------------------------------------------------** | **67** |
| **التركيب البللوري لمركبات الزنك ----------------------------------------------------------** | **70** |
| **التركيب البللورى لكلوريد الصوديوم-------------------------------------------------------** | **70** |
| **التركيب البللورى لكلوريد السيزيوم-------------------------------------------------------** | **71** |
| **اسئلة وتمرينات -------------------------------------------------------------------------------** | **73** |
| **الباب الثالث : الشبكية المعكوسة-------------------------------------------------** | **78** |
| **3.1 مقدمة ------------------------------------------------------------------------------------** | **78** |
| **3.2 تعريف الشبكية المعكوسة ------------------------------------------------------------------** | **79** |
| **3.3 الشبكية المعكوسة نوع من أنواع شبكيات براڤى---------------------------------------------** | **80** |
| **3.4 العلاقة بين متجهات الشبكيتين الأساسية والمعكوسة----------------------------------------** | **80** |
| **3.5 مناطق بريليون ---------------------------------------------------------------------------** | **83** |
| **3.6 المستويات الذرية--------------------------------------------------------------------------** | **83** |
| **وصف المستوى البللوري------------------------------------------------------------------** | **87** |
| **المسافة بين المستويين الذريين المتجاورين-------------------------------------------------** | **90** |
| **المسافة البينية لبعض النظم البللورية ------------------------------------------------------** | **91** |
| **الزاوية بين مستويين بللوريين-------------------------------------------------------------** | **91** |
| **اسئلة وتمرينات -------------------------------------------------------------------------------** | **93** |
| **الباب الرابع : حيود أشعة إكس فى البللورات--------------------------------------** | **99** |
| **4.1 مقدمة -----------------------------------------------------------------------------------** | **99** |
| **4.2 طريقة براج -----------------------------------------------------------------------------** | **101** |
| **قانون براج------------------------------------------------------------------------------** | **101** |
| **زاوية براج------------------------------------------------------------------------------** | **103** |
| **4.3 طريقة لاوي-------------------------------------------------------------------------------** | **103** |
| **تكوين الموجة الحائدة---------------------------------------------------------------------** | **105** |
| **صورة اخرى لشرط لاوى-----------------------------------------------------------------** | **106** |
| **4.4 تكافؤ شرطى لاوى وبراج-----------------------------------------------------------------** | **108** |
| **4.5 مناطق بريليون وشرط لاوى--------------------------------------------------------------** | **109** |
| **4.6 بعض الطرق العملية لدراسة التركيب البللورى---------------------------------------------** | **111** |
| **طريقة لاوى ------------------------------------------------------------------------------** | **111** |
| **طريقة البللورة الدوارة-------------------------------------------------------------------** | **112** |
| **طريقة المسحوق------------------------------------------------------------------------** | **113** |
| **اسئلة وتمرينات ------------------------------------------------------------------------------** | **114** |
| **الباب الخامس : عيوب التركيب البللوري-----------------------------------------** | **119** |
| **5.1 مقدمة ------------------------------------------------------------------------------------** | **119** |
| **5.2 العيوب النقطية----------------------------------------------------------------------------** | **121** |
| **فراغات الشبكية---------------------------------------------------------------------------** | **121** |
| **الذرات البينية والذرات الإحلالية------------------------------------------------------------** | **122** |
| **الذرات الشائبة الإحلالية والذرات الشائبة البينية---------------------------------------------** | **123** |
| **5.3 الإنتشار الذري في التركيب البللوري --------------------------------------------------------** | **124** |
| **قوانين الانتشار لفيك---------------------------------------------------------------------** | **127** |
| **5.4 إنتروبيا النظام البللوري--------------------------------------------------------------------** | **131** |
| **الإنتروبيا التكوينية والإنتروبيا الحرارية-----------------------------------------------------** | **134** |
| **إنتروبيا النظام البللوري الحقيقي ---------------------------------------------------------** | **136** |
| **إعتماد تركيز الفراغات على درجة الحرارة-------------------------------------------------** | **138** |
| **5.5 العيوب الخطية ---------------------------------------------------------------------------** | **140** |
| **نموذج فرنكل لحساب قيمة الاجهاد الحرج-------------------------------------------------** | **143** |
| **وصف الانخلاع -------------------------------------------------------------------------** | **145** |
| **إنخلاع الحافة --------------------------------------------------------------------------** | **146** |
| **الإنخلاع الحلزوني-----------------------------------------------------------------------** | **148** |
| **سرعة الانخلاع الناتج من تأثير إجهاد قصي-----------------------------------------------** | **149** |
| **5.6 ميكانيكيات تقوية المعادن------------------------------------------------------------------** | **152** |
| **صلادة التشغيل ---------------------------------------------------------------------------** | **152** |
| **ميكانيكية التقوية عن طريق المحلول الصلب------------------------------------------------** | **152** |
| **ميكانيكية صلادة المترسبات----------------------------------------------------------------** | **154** |
| **ميكانيكية الحدود بين الحبيبات--------------------------------------------------------------** | **155** |
| **اسئلة وتمرينات -------------------------------------------------------------------------------** | **158** |
|  |  |
| **نماذج لأسئلة الإمتحانات-----------------------------------------------------------------------** | **566** |
| **المراجع-------------------------------------------------------------------------** | **I** |
| **أهم الرموز الفيزيائية المستخدمة-------------------------------------------------** | **iv** |
| **بعض الثوابت الفيزيائية----------------------------------------------------------** | **ix** |

**الباب الأول**

**الترابط في المواد الصلبة**

**Bonding in Solids**

**1.1 مقدمة** :

تتواجد المادة في الطبيعة في ﺇحدي الصور الثلاثة الصلبة , السائلة أو الغازية , ويمكن تحويلها من صورة ﺇلي أخري بإستخدام ظروف مناسبة . فالمادة الصلبة يمكن تحويلها ﺇلي سائلة ﺇذا سخنت ﺇلي درجة حرارة ﺇنصهارها , وﺇذا بردت لتتحول من حالتها السائلة ﺇلي حالتها الصلبة تبريدا بطيئا فإن ذرات هذه المادة تأخذ ترتيبا هندسيا منتظما مكونة بذلك التركيب البللوري (crystal structure) , أما ﺇذا كان التبريد فجائيا , وذلك بواسطة وضع المادة السائلة في وسط من الهيليوم السائل () أو النيتروجين السائل , فإن ذرات السائل التي تتحرك حركة عشوائية لا تتمكن من ترتيب نفسها ترتيباٴ هندسياٴ كما في الحالة السابقة , وتصبح المادة الصلبة الناتجة ذات تركيب عشوائي أي زجاجي البنية (Glassy structure) , مثل هذه المواد تسمى بالمواد غير المتبلورة (non-crystalline) أو التي لا شكل لها (amorphous) بمعنى أنها تتخذ ترتيبا عشوائيا (random).

وخلال هذا الكتاب سينصب ﺇهتمامنا بشكل أساسي على دراسة المواد الصلبة البللورية , التي يعتمد شكل تركيبها على نوع الترابط بين ذراتها , فمثلا :

1. بعض البللورات تتكون من ذرات متعادلة , وهي قليلا ما تتشوه بواسطة قوي الإرتباط الداخلية , وينتمي لهذا النوع بللورات الغازات الخاملة في حالتها الصلبة .
2. كثير من البللورات تتكون من آيونات موجبة وأخري سالبة , مثل ملح الطعام .
3. بللورات المعادن الفلزية القلوية (الألكاليدات alkalides) تتكون من آيونات كبيرة الحجم نسبياٴ محاطة بسحابة من الشحنات السالبة (بحر من ﺇلكترونات التوصيل) وينشأ عنها ما يسمى بالرابطة المعدنية .
4. كثير من البللورات تتكون من ذرات متعادلة , حيث تتشارك ﺇلكترونات التكافؤ في الربط بين الذرات المتجاورة , وينتمي لهذا النوع كل من السيليكون والكربون ....الخ .

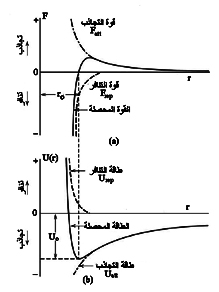
5 - كذلك توجد بللورات مكونة من جزيئات متعادلة الشحنة والتي يكون التأثير المتبادل فيما بينها ضعيفاٴ . ويمثل هذا النوع العديد من البللورات المكونة من الجزيئات العضوية .

وفي الواقع , تتواجد المادة في حالتها الصلبة المستقرة بسبب قوي التفاعل ذات الطبيعة الكهربية بين مكوناتها التي تتمثل في قوى تجاذب تعمل على ربط مكونات المادة وعدم إفلاتها بعيدا عن بعضها ، وقوي تنافر تعمل على منع هذه المكونات من الإندماج . وعندما تتساوى قوتا التنافر والتجاذب يستقر النظام وتصبح طاقته أقل مايمكن .

وعموما , تعطى طاقة النظام المكون من ذرتين أو جزيئين أو آيونين بالصورة العامة التالية :

حيث : r هي المسافة البينية بين الجسيمين , a , b & n,m ثوابت , n > m دائما . وتعطى القوة المحصلة F (مجموع قوتي التجاذب والتنافر) كالتالي :

حيث

 واضح من العلاقتين السابقتين أنه عند وضع الإستقرار حيث تكون طاقة الوضع نهاية صغرى وتكون كما في شكل (1-1) .

شكل (1-1): تغير القوى المحصلة (a) , وطاقة الوضع (b) للنظام مع المسافة بين الذرات.

وتعرف الطاقة الصغرى بطاقة الربط bond energy , كما يعرف الفرق بين طاقة الذرات في حالتها المنفصلة وطاقة الربط للبللورة بطاقة الإلتصاق cohesive energy . وفيما يلي سوف نناقش بإختصار طبيعة هذه الروابط .

**1.2 الروابط في الأجسام الصلبة :**

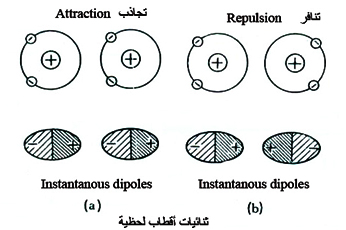
1. **رابطة ڤان ديرڤال bond Van der waals**

يرجع الترابط بين أي ذرتين أو جزيئين بشكل عام إلى قوى ڤان ديرڤال ، التي إقترحت في البداية لتصف حالة الغازات الحقيقية من خلال العلاقة الآتية :

حيث , , هي ضغط وحجم ودرجة الحرارة المطلقة للغاز على الترتيب , وكل من , ثوابت . وأضيفا الحدان , على المعادلة العامة للغازات كتصحيح يأخذ في الإعتبار تأثير قوي التجاذب والتنافر بين جزيئات الغاز الحقيقي . هذا النوع من طاقة الترابط المعطي بالعلاقة (1-3) , التي تبدو مثالية في وصف التفاعل بين جزيئات المواد ذات الروابط الكيميائية المشبعة مثل وكذلك بين ذرات الغازات الخاملة , تتواجد أيضاّ في حالتي الغازات والأجسام الصلبة ، حيث تظهر في ثلاث صور هي :

**أ - تفاعل التشتت Dispersion interaction**

لتوضيح طبيعة هذا التفاعل دعنا نأخذ مثالا بسيطا لذرتين من الهيليوم . نعلم أن توزيع الكثافة الإلكترونية في ذرة الهيليوم متماثل كرويا , ولذلك فإن متوسط قيمة عزمها الكهربي يساوي صفرا . ولما كانت مواضع الإلكترونات لحظية بسبب تغيراتها السريعة ، فإنه تنشأ ثنائيات أقطاب كهربية لحظية أيضا ، وعند إقتراب ذرتي الهيليوم يحدث تأثير ﺇلكتروني متبادل يؤدي إلى ﺇرتباط حركة الإلكترونات في الذرتين وظهور قوى تفاعل بينهما ، حيث تنشأ قوى تجاذب بين ثنائيات القطب في اللحظة التي تكون فيها مواضع الإلكترونات كما في شكل (1-2.a) وقوى تنافر في الحالة المبينة في شكل (1-2.b) . وحيث أن الوضع الأول (شكل (1-2.a يؤدي إلى تقليل طاقة النظام أي يؤدى ﺇلي إستقراره ، فإنه هو الأكثر ﺇحتمالا والأكثر تكرارا ، وبالتالي يكون هو المسئول عن قوة الجذب الدائمة بين ذرات الهيليوم . هذه القوة تعرف بقوة التشتت (Dispersion force) وتعزى إلى إرتباط حركة إلكترونات الذرات المتجاورة ، حيث يقوم ثنائي القطب في إحدى الذرات بإستقطاب الذرة الأخرى ليكون بها ثنائي قطب مستحثا مؤديا بذلك إلى ظهور قوة التجاذب كما في شكل (1-1.a) .



شكل (1-2) : قوى التفاعل بين ذرتي الهيليوم .

ولقد وجد العالم لندن (F. London) عام 1930 أن قيمة طاقة تفاعل التشتت () بين جسيمين يمكن حسابها من العلاقة التالية :

حيث هي الإستقطابية (Polarizability) لمادة الجسيمين وهي النسبة بين عزم ثنائي القطب وشدة المجال المؤثر , أي أن ، - طاقة إثارة الجسيمين ، r – المسافة بينهما .

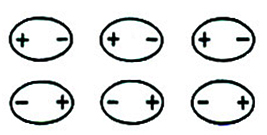
**ب - التفاعل التوجيهي Orientational interaction**

يوجد تفاعل كهروستاتيكي بين ثنائيات الأقطاب (خاصة في حالة الجزيئات القطبية) يعمل على توجيهها وتنظيمها في الوضع المناسب لأقل طاقة ممكنة للنظام مثل الوضع الموضح في شكل (1-3) . هذا الوضع يمكن أن يكون أكثر إستقراراّ في درجات الحرارة المنخفضة ، حيث تعطى طاقة التفاعل التوجيهي بالعلاقة الآتية :

- ثابت العزل للفراغ .

وفي درجات الحرارة العالية ، فإن إتجاهية العزوم تتشوه بواسطة الحركة الحرارية لثنائيات الأقطاب , حيث تمكن كيسوم (W. H . Kessom) من إستنتاج قيمة لطاقة تفاعل التوجيه للجزيئات القطبية تعطى بالعلاقة الآتية :

حيث هو ثابت بولتزمان ((Boltzman′s constant



شكل (1-3) : توجه العزوم في

الجزيئات القطبية .

**جـ - تفاعل الحث Induction interaction**

في حالة الجزيئات القطبية ذات الإستقطابية العالية يظهر عزم مستحث إضافي ( الخط المنقط – شكل 1-4) نتيجة لقوة تأثير مجال ثنائي القطب الثابت . ولقد بين ديباي "Debye" أن طاقة التجاذب التبادلي بين ثنائي القطب الأصلي للجزئ الأول – وثنائي القطب المستحث للجزئ الثنائي لا تعتمد على درجة الحرارة وتعطى طاقة تفاعل الحث بالعلاقة التالية :



شكل (1-4) :العزم المستحث في

الجزئيات القطبية .

وعموماّ ، عند تقريب جزيئين من بعضهما فإن أنواع التفاعلات الثلاثة السابقة يمكن أن تساهم في طاقة التفاعل الكلية للنظام U ، حيث :

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **المادة** |  |  |  |
| الماء Water | 19 | 4 | 77 |
| الأمونيا Ammonia | 50 | 5 | 45 |
| كلوريد الهيدروجين  Hydrogen chloride | 81 | 4 | 15 |
| أول اكسيد الكربون  Carbon monoxide | 100 | - | - |

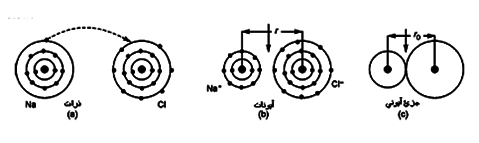
الجدول (1-1) يعطي النسبة المئوية لمساهمات طاقات التفاعل المختلفة في طاقة الترابط الكلية لڤان ديرڤال في حالات الماء ، الأمونيا , كلوريد الهيدروجين ، أول أكسيد الكربون .

جدول (1-1) :النسب المئوية لطاقات التفاعلات في طاقة

الترابط لڤان ديرڤال .

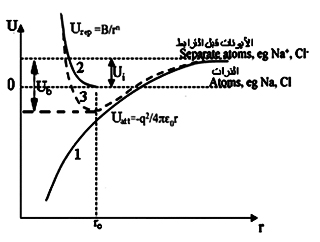
1. **الرابطة الآيونية Ionic bond**

الرابطة الآيونية هي عبارة عن قوة جذب كهربية (طبقا لقانون كولوم) بين آيونات المادة مختلفة الشحنة ، لذا فهي تظهر بوضوح في المركبات المكونة من العناصر الفلزية القلوية (Alkaline metals) التى تلي الغازات الخاملة في الجدول الدوري وعناصر الهاليدات (halides) التي تسبقها ، حيث تحدث عملية ﺇنتقال لإلكترون المدار الأخير لذرة الفلز ليكتمل المدار الأخير في ذرة الهاليد ويتحولا إلى آيون فلز موجب وآيون هاليد سالب ، وذلك لأن الذرة تميل دائماّ لإكمال مدارها الأخير سواء بفقد أوإكتساب الإلكترونات . ومثال ذلك مركب كلوريد الصوديوم ، فعندما تقترب ذرتا الصوديوم والكلور يحدث إنتقال لإلكترون ذرة الصوديوم ﺇلي ذرة الكلور ليكونا الآيونين ، ( شكل 1-5) , ويحدث الترابط بين الآيونين ويتكون المركب . ويطلق على هذا الترابط بالرابطة الآيونية .وتعطى طاقة التجاذب الآيوني بالعلاقة الآتية :

 حيث تمثل q شحنة كل من الآيونين .

شكل (1-5) : الرابطة الأيونية للمركب .

شكل (1-6) يبين تغير طاقة الربط الآيونية مع المسافة بين الذرات. وكما بينا من قبل , فإنه عند إقتراب الذرات من بعضها تزداد طاقة التجاذب بين الآيونات (منحنى 1) ، وعند قيمة معينة للمسافة r بين الذرات تبدأ قوة التنافر في الظهور وتزداد مع إقتراب الذرات من بعضها البعض (منحنى 2) . وتصبح الرابطة بين الذرات مستقرة (حالة الإتزان) عندما تتساوي قوتا التجاذب والتنافر, حيث تكون طاقة الربط للنظام نهاية صغرى (منحنى 3) وتكون قيمتها مساوية لقيمة U عند قيمتها الصغرى .



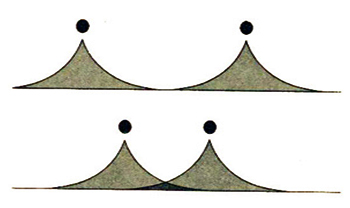
شكل (1-6) : طاقة الربط الآيونية لكلوريد الصوديوم (كمثال) .

وتبين العلاقة (1-8) أن القيمة المطلقة لطاقة التجاذب تزداد بإطراد ﺇلي مالا نهاية مع نقص المسافة r إلى الصفر . ويعنى ذلك إقتراب الآيونات وإلتحامها معاّ . وطبقاّ لمبدأ باولى ( الذي يقضي بأنه لا يمكن لفيرميونين من نوع واحد أن يشغلا حالة كمومية "كمية" واحدة في وقت واحد) تسعى الإلكترونات لشغل الحالات الخالية ذات الطاقات الأعلى مسببة زيادة طاقة النظام, وبالتالي تنشأ قوة تنافر وتزداد بسرعة مع نقص r محاولة منع تداخل الحالات الإلكترونية بحيث لا تنشغل أي حالة بأكثر من إلكترونين (شكل 1-7) . ولقد إقترح بورن ولاند Born & Lande)) أن طاقة التنافر بين آيونين تتناسب مع وتعطى بالعلاقة الآتية :

حيث B ثابت التناسب , - عدد ينحصر بين5 & 12 ويعرف بأس بورن Born expornent وتحدد قيمته عمليا من قياسات الإنضغاطية Compressibility للمادة الصلبة , التي تعرف بالعلاقة التالية :

وكما ذكرنا سابقا , فإن الطاقة الكلية للتفاعل U بين آيونين (منحنى 3 شكل 1-6) تعطى بالعلاقة الآتية :

.



شكل (1-7) : تداخل الحالات الإلكترونية وظهور قوة تنافر طبقا لمبدأ باولي .

عند النهاية الصغرى تتساوا قيمتا التجاذب والتنافر ، حيث يكون :

ومنها نجد أن :-

وبالتعويض عن B في العلاقة (1-10) نحصل على طاقة الربط كالتالي :

وتكون طاقة الشبكية البللورية التي تحتوي على عدد N من الجزيئات هي :

حيث ثابت مادلونج(Madelung Const.) ، وهو معامل يأخذ في الإعتبار تأثير تفاعل الجزئ مع بقية الجزيئات المجاورة . جدول (1-2) يعطي مقارنة بين قيم طاقات الربط المقاسة عملياّ وقيمها المحسوبة من المعادلة (1-12) ، والتي تبين ﺇتفاق القيم العملية مع النظرية .

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | | **البللورة** |
| **النظرية** | **التجريبية** |
| 754 | 752 | NaC |
| 630 | 650 | KI |
| 645 | 635 | RbBr |
| 585 | 595 | CsI |

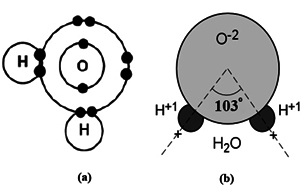
جدول (1-2) : مقارنة بين القيم العملية والنظرية لطاقة الربط الآيونية لبعض المواد .

وتتميز البللورات الآيونية بالخصائص التالية :-

1. معظم تركيباتها البللورية من النوع متمركز الأوجه F.C.C مثل NaC أو متمركز الحجم B.C.C مثل CsC .
2. تمتلك شفافية عالية high Transparency للضوء المرئي .
3. تعتبر هذه البللورات في حالتها الصلبة عازلات كهربية لإتساع المنطقة المحرمة بها .
4. عند درجات الحرارة العالية تمتلك هذه البللورات موصلية كهربية ليست كبيرة تتم عن طريق التوصيل بالآيونات .
5. كما يعتبر إستنتاج أس بورن من الفوائد الهامة لمعادلة طاقة الربط للآيونات البللورية .

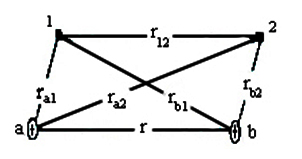
**3-الرابطة التساهمية Covalent bond**

لا يمكن أن نعزي وجود الترابط بين الجزيئات بالإضافة للتركيب البللوري الماسي (Diamond) إلى الرابطة الآيونية أو إلى رابطة ڤان ديرڤال . وذلك لأن الذرات المتشابهة (من نوع واحد) لا يمكنها تكوين آيونات مختلفة الشحنة مثل حالة الفلز – هاليد . من جانب آخر ، فالرابطة بين جزيئات أقوي بكثير من رابطة ڤان ديرڤال ، لذلك يمكن أن يكون دور قوة ڤان ديرڤال في هذه المركبات هو فقط تصحيح صغير لقوة الترابط الأساسية لهذه الجزيئات ، والتي عرفت بالرابطة التساهمية . شكل (1-8) يبين مشاركة ذرتي الهيدروجين مع ذرة الأكسجين لتكوين الرابطة التساهمية لجزئ الماء .

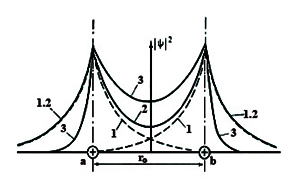
 ولمعرفة طبيعة هذه الرابطة دعنا ندرس حالة جزئ الهيدروجين , لذلك نفرض وجود ذرتين من الهيدروجين تفصلهما المسافة r ، وأن 2 ,1 يمثلان إلكتروني هاتين الذرتين ؛ b, aتمثلان نواتيهما على الترتيب . المسافات بين مكونات الذرتين موضحة على الرسم في شكل 1-8)) . ومن المعروف أن قيمة كثافة السحابة الإلكترونية (الدالة الموجية) التي تصف حالة الإلكترون في الذرة تقل سريعاّ مع زيادة المسافة من النواة ، لذلك فإن إحتمال

شكل (1-8) : الرابطة التساهمية لجزئ الماء .

تواجد الإلكترون 1 بالقرب من النواة b أو الإلكترون 2 بالقرب من النواة a يكون صغيراّ جداّ . وكما بينت الحسابات أنه إذا كانت فإن عدد مرات تردد أو إقتراب الإلكترون لنواة الذرة الأخرى يعادل مرة واحدة كل سنة . هذا يعنى أن الذرتين يمكن إعتبارهما ذرتين معزولتين عن بعضهما . فإذا كانت تمثل طاقة أى من الذرتين في الحالة المستقرة ground state , فإن طاقة النظام المكون منهما تساوي . وعندما تقترب الذرتان من بعضهما فإن إحتمال إقتراب الإلكترون من نواة الذرة الأخرى يزداد . ولقد وجد أنه عندما تكون فإنه يحدث تداخل بين السحابتين الإلكترونيتين للذرتين ويزداد تردد الإنتقال للإلكترون بين نواتي الذرتين إلى مرة في الثانية . وكلما إقتربت الذرتان أكثر فأكثر يزداد تردد الإنتقال أكثر فأكثر . وهذا يعني أنه لا يمكن في هذه الحالة أن ننسب أحد الإلكترونين لنواة بعينها ، وإنما كلاهما ينتميان إلى كلتا النواتين , أي أنهما متجمعان collectivized أو متشاركان ، وهذا هو جوهر الرابطة التساهمية .



شكل (1-9) : المسافات بين مكونات ذرتي الهيدروجين .

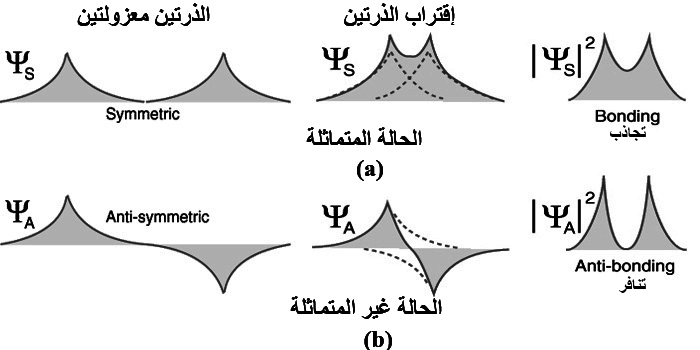
عملية تجميع (تشارك) الإلكترونين يصاحبها تغير في كل من توزيع الكثافة الإلكترونية , حيث هي الدالة الموجية المصاحبة للإلكترون , وكذلك في طاقة النظام مقارنة بالطاقة الكلية للذرتين المعزولتين . الخطان المتقاطعان1 في شكل (1-10) يمثلان كثافة السحابة الإلكترونية لكل من الذرتين المعزولتين . الخط الرفيع المتصل 2 يمثل الكثافة الكلية الناتجة من جمع كثافتي السحابتين الإلكترونيتين للذرتين المعزولتين ، أما الخط السميك المتصل 3 فإنه يمثل التوزيع الفعلي للكثافة الإلكترونية عبر المحور الواصل بين نواتي الذرتين نتيجة تشارك الإلكترونين . نلاحظ من شكل (1-9) أن كثافة الشحنة الإلكترونية بين ذرتي جزئ الهيدروجين تقل بسرعة في حالة التوزيع الفعلي للسحابة الإلكترونية مقارنة بالكثافة الناتجة من أي من الذرتين المعزولتين وذلك بالإبتعاد قليلا خارج المسافة بينهما ، وتكون هذه الكثافة داخل المنطقة بين النواتين أكبر من محصلة كثافة الذرتين المعزولتين . هذه السحابة الإلكترونية ذات الكثافة العالية والتي تملأ المسافة بين النواتين تكون مصحوبة دائما بنقصان في طاقة النظام ، مما يؤدي إلى ظهور قوة تجاذب بين ذرات هذا النظام .

شكل (1-10) : توزيع الكثافة الإلكترونية .

وهذا يعنى أن عملية تجميع (تشارك) زوج الإلكترونات تؤدي إلى تقارب نواتي الذرتين بعضهما إلى بعض ، وهو ما يعرف بالرابطة التشاركية أو التساهمية .

**القوة بين الذرات وإتجاهية الحركة المغزلية**

من النتائج الهامة للنظرية الكمية أنه عند إعادة توزيع إلكترونين بين ذرتين من نفس النوع تنشأ قوة جذب قوية إذا كانت الحركة المغزلية للإلكترونين في إتجاهين متضادين (antiparallel) أو قوة تنافر قوية إذا كانت الحركة المغزلية موحدة الاتجاه (Parallel) . وعرفت الحالة الأولى بالحالة المتماثلة (Symmetric) بسبب تجميع السحابة الإلكترونية وتماثل توزيعها حول الذرتين , حيث تكون محصلة الحركة المغزلية مساوية للصفر , مما يؤدي إلى نشوء قوة تجاذب أو ترابط (شكل a1-11.) . والحالة الثانية – بغير المتماثلة antisymmetric بسبب تفرق وتباعد السحابة الإلكترونية بين الذرتين , حيث تكون محصلة الحركة المغزلية لا تساوي صفرا , وبالتالي تنشأ قوة تنافرشكل (b (1-11.. ولمزيد من الإيضاح دعنا نتصور أن ذرتي هيدروجين تم دفعهما ليقتربا من بعضهما لأقصى ما يمكن (شكل(1-12 , وهو الوضع الذي يكون فيه بروتونا الذرتين في حالة تلامس تقريبا , وباعتبار طاقة النظام الإلكتروني فقط دون حساب طاقة التنافر الكهربية بين البروتونين , فإن الحركة المغزلية للإلكترونين تكون :

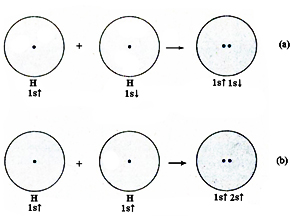
1. إما في إتجاهين متضادين (شكل(1-12-a ويكون مبدأ باولي بلا تأثير , حيث وجد أن الإلكترونين في هذه الحالة يرتبطان بطاقة تساوي .
2.  أو في إتجاه واحد (شكل (1-12-b ويكون تأثير مبدأ باولي متمثلا في إجبار إلكترون للإنتقال من المدار الذري إلى المدار , حيث تقل طاقة ربطهما لتصبح مساوية . الفرق الطاقي بين الحالتين a & b والذي يساوي يمثل مقدار الزيادة في طاقة التنافر .

شكل (1-11) : التوزيع الإلكتروني بين ذرتين وظهور قوى التجاذب والتنافر بينهما .

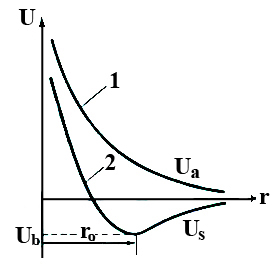
وعموما , لقد أكدت نتائج الحسابات الكمية لطاقة الربط لجزئ الهيدروجين التي توصل ﺇليها العالمان لندنF. London وهتلرW. H .Heitler عام 1927 أن قيمة طاقة النظام المكون من ذرتين متجاورتين من الهيدروجين تعتمد على إتجاهية الحركة المغزلية للإلكترونات وأن قيمتها عندما تكون الحركة المغزلية للإلكترونات متضادة الإتجاه والتي تعرف بالحالة المتماثلة تعطى كالتالي :

وقيمتها عندما تكون الحركة المغزلية متضادة الإتجاه والتي تعرف بالحالة غير المتماثلة تعطى بالعلاقة التالية :

حيث : - الطاقة الكلية للذرتين المعزولتين , -طاقة التفاعل الكهروستاتيكي (محصلة طاقة كولوم للجسيمات المشحونة بالنظام - وإشارته سالبة) ، - طاقة التفاعل التبادلي الناتجة من تبادل وضع الإلكترونات بين الذرات وإشارته سالبة وقيمته المطلقة أكبر من القيمة المطلقة لطاقة التفاعل أي أن : , S- تكامل التداخل للسحابات الإلكترونية Overlap integrals وقيمته تقع في المدى . بالتعويض عن قيم K، A ، S في العلاقتين (1-13) ، (1-14) نجد أن :

 أي أن طاقة النظام في الحالة المتماثلة أصغر من طاقته عندما تكون الذرتان معزولتين والعكس صحيح , لذلك تظهر قوة تجاذب في الحالة الأولى وقوة تنافر في الحالة الثانية .

(شكل(1-12 : تأثير مبدأ باولي على طاقة التنافر.

 شكل (1-13) يوضح إعتماد كل من على ، حيث r – المسافة بين الذرتين , وتعرف بنصف قطر بوهر(المستوى الصفري للطاقة أخذ عند) . يتضح من الشكل أنه في الحالة غيرالمتماثلة تزيد طاقة النظام بثبات مع ﺇقتراب الذرتين بعضهما من بعض (المنحنى 1) ، مما يؤكد على وجود قوة تنافر ، وفي الحالة المتماثلة (منحنى 2) نلاحظ تناقص طاقة النظام مع نقصان r حتى القيمة ثم تبدأ في الزيادة مع نقصانr عن القيمة ، وذلك بسبب ظهور قوة تنافر كبيرة يمكن تفسيرها على أساس مبدأ باولي . القيمة الصغرى لطاقة الوضع عندماتجعل إستقرار نظام ذرتي الهيدروجين (جزئ الهيدروجين) ممكنا ، ولفك هذا الترابط يلزم تزويد النظام بطاقة تكافئ عمق بئر الجهد  *.*

شكل (1-13) : إعتماد طاقة النظام لذرتين على المسافة بينهما .

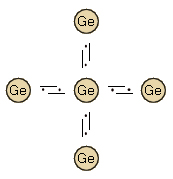
|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  | | **للغاز** | |
| 6.8 | C | 10.8 | C |
| 4.4 | Si | 9.5 |  |
| 3.5 | Ge | 5.0 |  |
| - | - | 4.4 |  |

وتظهرالقيم العملية 0.753 , 4.38 والنظرية 0.735 ,4.37 لكل من , على الترتيب تطابقا واضحا بين القيم التجريبية والنظرية . قيم طاقة الربط لبعض جزيئات الغازات والبللورات ذات الرابطة التساهمية المعطاة في جدول (1-3) تبين أن الرابطة التساهمية قوية جداّ , حيث تكون قيم الطاقة في حدود من إلى جول/ جزئ جرامي أو تزيد .

جدول (1-3) : طاقة الربط التساهمي لبعض المواد .

وتختص الرابطة التساهمية دون غيرها من الروابط بالخاصيتين الآتيتين :

**خاصية التشبعية Saturability**

هي خاصية تحدد أقصى عدد من الذرات يمكن أن يرتبط مع ذرة ما لتكوين رابطة تساهمية ، حيث تكون الحركة المغزلية لإلكترونات الرابطة فيها متضادة الإتجاه . لذلك في حالة تكوين جزئ الهيدروجين فإنه يمكن لكل ذرة أن تكون رابطة تساهمية فقط مع ذرة واحدة من الذرات المجاورة يكون فيها إتجاها الحركة المغزلية لزوج الإلكترونات متضادين . وعند تكوين بللورات عناصر المجموعة الرابعة ، حيث تمتلك كل ذرة أربعة ﺇلكترونات تكافؤ ، يمكن للذرة أن تتشارك مع أربع ذرات مجاورة ليكتمل مدارها بثمانية ﺇلكترونات ( شكل 1-14) ، وتكون الحركة المغزلية لإلكتروني كل فرع متضادة الاتجاه ، أي أن محصلتهما = صفرا ، ولذلك تكون الرابطة مستقرة .

شكل (1-14) : الرابطة التساهمية في الجرمانيوم .

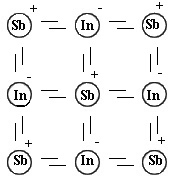
**خاصية الإتجاهية directionality**

وهي خاصية تحدد إتجاه تكون الرابطة التساهمية , حيث وجد أن الرابطة التساهمية تتكون في إتجاه زيادة كثافة السحابة الالكترونية لإلكترونات التكافؤ ، أي في إتجاه القيمة العظمى لتداخل السحابات الإلكترونية .

**4 - الرابطة الكيميائية المختلطة Mixed bond**

تتميز بللورات أشباه الموصلات من عناصر المجموعة الرابعة بالرابطة التساهمية الخالصة ، بينما تكون الرابطة مختلطة (تساهمية وآيونية) في بعض البللورات الأخرى مثل :

**المركبات**

بللورات أشباه الموصلات التي تنتمي لهذا النوع من التركيب تتكون بطريقة مشابهة لبللورات عناصر المجموعة الرابعة ، حيث كل ذرة A تحاط بأربع ذرات B والعكس بالعكس . شكل (1-15) يوضح مثل هذا التركيب في حالة InSb . لكي يكتمل مدار الذرة فإنه يحدث إنتقال إلكتروني من الذرة B (المجموعة الخامسة ) إلى الذرة A ( المجموعة الثالثة ) وتتم الرابطة التساهمية بين كل ذرة A وأربع ذرات B أو العكس ، كما تصبح عقد الشبكية مشغولة على التوالي بآيونات ، ويحدث إرتباط آيوني بجانب التساهمي .

شكل (1-15) : الرابطة المختلطة

في المركب InSb .

**المركبات :**

توجد طريقتان للحصول على مدارات مكتملة لذرات هذا التركيب .

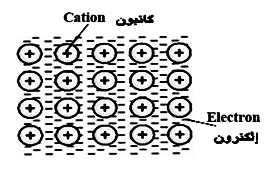
الطريقة الأولي :-

يحدث ﺇنتقال لإلكتروني X ليكملا مدار Y إلى ثمانية ﺇلكترونات ، وبالتالي تصبح الرابطة آيونية بين القطبين ، ، على الرغم من ﺇحتمال وجود رابطة تساهمية . ينتمي لهذا النوع أملاح الرصاص مثل .

الطريقة الثانية :-

ينتقل إلكترونان من Y إلى X ليصبح عدد ﺇلكترونات التكافؤ أربعة ﺇلكترونات وتحدث الرابطة تساهمياّ وآيونيا . ينتمي لهذا النوع أملاح البريليوم مثل .

**5 - الرابطة المعدنية Metallic bond**

 تسمى مجموعة العناصر التي تشغل بداية كل دورة من دورات الجدول الدوري بالفلزات أو المعادن . وتختص بللورات هذه المعادن بالمسافة الذرية الكبيرة نسبياّ والعدد الكبير من الذرات المجاورةnearest neighbors ، كما تتكون من آيونات موجبة محاطة بغاز من ﺇلكترونات التوصيل الحرة (شكل 1-16) .

شكل (1-16) : الرابطة المعدنية .

والترابط بين مكونات هذه البللورات المعدنية لا يمكن أن نعزيه إلى الرابطة الآيونية أو الرابطة التساهمية . فالرابطة الآيونية بين ذرات العناصرالمتشابهة من الفلزات التي لها نفس الميل للإلكترونات الإضافية غير ممكنة بسبب عدم ظهور آيونات مختلفة الشحنة . وعلى الجانب الآخر, فإن ذرات هذه العناصر ليس لديها العدد الكافي من ﺇلكترونات التكافؤ لتكوين غلاف مكتمل مع الذرات المجاورة ، وبالتالي تكوين الرابطة التساهمية غير ممكن أيضاّ . لذا ، فإن الترابط بين ذرات المعادن والذي عرف بالرابطة المعدنية (Metallic bond) لابد أن يكون له طبيعة أخرى ، وللحديث عن طبيعية هذه الرابطة يجب أن نأخذ في الإعتبار قوى التفاعل بين مكونات البللورة ، وهي :

1. قوة التنافر الكهروستاتيكي بين الآيونات الموجبة .
2. قوة الجذب الناشئة عن تفاعل السحابة الإلكترونية مع الآيونات الموجبة ، والتي تكون كافية ليس فقط لتعويض تأثير قوة التنافر بين هذه الآيونات ، وإنما لتقريبها من بعضها البعض أيضاّ .

3 - قوة التنافر الناشئة عن تداخل السحابات الإلكترونية (طبقاّ لمبدأ باولي) بسبب إقتراب الذرات من بعضها أقرب من حد معين .

4 - قوة الجذب لڤان ديرڤال والتي تشارك بشكل أو بآخر في ربط الذرات في هذه البللورات.

ويمثل التفاعل بين الآيونات الموجبة والغاز الإلكتروني أساس الرابطة المعدنية ، حيث تعمل سحابة الإلكترونات المتحركة في الفراغ البللوري على معادلة قوة التنافر بين الآيونات الموجبة وكذلك لتقريبها من بعضها البعض . نقص المسافة بين الآيونات يؤدي إلى زيادة تركيز الغاز الإلكتروني وبالتالي إلى زيادة القوة التي تزيد من تقارب الآيونات ، ومن ناحية أخري تزداد قوة التنافر بين الآيونات محاولة إبعادهم عن بعضهم البعض . ويستقر التركيب البللوري عندما تتساوا قوتا التنافر والتجاذب عند قيمة معينة للمسافة بين الذرات .

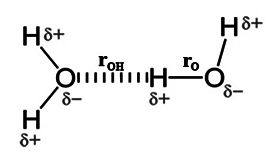
وتتشابه الرابطتان المعدنية والتساهمية في أن كليهما يعتمد على ظاهرة تجميع ﺇلكترونات التكافؤ(Collectivization) ، إلا انه في حالة الرابطة التساهمية تحدث عملية التجميع للإلكترونات التي تشارك في الرابطة التساهمية فقط والتي تظل دائماّ مرتبطة بذراتها الأصلية . أما في حالة الرابطة المعدنية فإنه يحدث تجميع لكل ﺇلكترونات التوصيل (السحابة الإلكترونية) للشبكية البللورية وتكون حرة الحركة في الفراغ البللوري دون ﺇرتباط مع ذراتها الأساسية . هذا التحرر لإكترونات التكافؤ من الربط يؤدي إلى نوع نموذجي للصفة الفلزية ولظاهرة إرتفاع التوصيلية الكهربية والتوصيلية الحرارية للمعادن الفلزية , بالإضافة إلى خاصية إنعكاس الضوء وقابلية المعدن الفلزي للسحب والطرق .

**6 - الرابطة الهيدروجينية Hydrogen bond**

تحدث الرابطة الهيدروجينية فقط بين ذرة الهيدروجين وذرة أخرى عالية السالبية الكهربية مثل ذرات الأكسجين ، النيتروجين ، الكلور ، الفلور ، حيث تقوم هذه الذرات بجذب ﺇلكترونات الربط في ذرات الهيدروجين وتتحول إلى ذرات سالبة الشحنة وتصبح ذرة الهيدروجين بعد تعريتها من إلكترون الربط موجبة الشحنة (بروتون) . وتظهر الرابطة الهيدروجينية كنتيجة للجذب الكهروستاتيكي بين هذه الشحنات ، لذلك فالرابطة الهيدروجينية تعتبر آيونية الجوهر .

وتعتبر الرابطة بين جزيئات الماء من أهم أمثلة الروابط الهيدروجينية , فرغم أن الرابطة بين مكونات الجزئ الواحد للماء تتم عن طريق الرابطة التساهمية (شكل1-8) ، إلا أن الترابط بين جزيئات الماء يحدث بواسطة الرابطة الهيدروجينية O-H عن طريق الجذب الكهروستاتيكي بين ذرة الأكسجين السالبة لأحد الجزيئات وذرة الهيدروجين الموجبة لجزئ آخر ، وتتصرف كهربيا كما لو كانت ثنائيات أقطاب ، حيث يكون للقطب H شحنة موجبة والقطب O شحنة سالبة كما في شكل (1-17) .

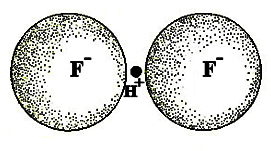
وتعد الرابطة الهيدروجينية هي المسئولة عن ترابط جزيئات السوائل ( الماء ، الأحماض ، الكحولات ، ...) , وبالتالي مسئولة عن التغير في خواصها المختلفة مثل اللزوجة ، درجة التبخر ، التمدد الحراري . ولما كان طول الرابطة الهيدروجينية للماء أكبر بكثير منه للرابطة



شكل (1-17) : الرابطة الهيدروجينية بين جزيئات الماء .

التساهمية ، فإن الشذوذ الحادث في كثافة الماء (زيادة قيمتها) عند رفع درجة حرارتها من 0 إلى 4 درجة مئوية يمكن إرجاعه لنقص عدد الروابط الهيدروجينية نتيجة عملية هدم الروابط الهيدروجينية في هذا المدى الحراري , ورفع درجة الحرارة أعلى من 4درجة مئوية يكون مصحوبا بنقص الكثافة نتيجة لزيادة حجم الماء بسبب التمدد الحراري .

والرابطة الهيدروجينية لا يمكنها أن تربط أكثر من ذرتين (شكل 1-18) وذلك لأنه يمكن لذرة الهيدروجين أن تفقد إلكترونها إلى أي ذرة أخرى في الجزئ لتصبح موجبة الشحنة (بروتون) ، وعن طريق الجذب الكهروستاتيكي مع الآيونين المجاورين (للفلور مثلا) تحدث قوة الربط ويتكون الآيون . ونظرا لصغر حجم البروتون وقرب الذرتين (الآيونين) وملاصقتهما له بدرجة لا تسمح لأكثر من ذرتين أن يتفاعلا معه ، فإنه لا يمكن لأكثر من ذرتين أن يرتبطا عن طريق الرابطة الهيدروجينية .



شكل (1-18) : الرابطة الهيدروجينية بين ذرتي الفلور .

**المقارنة بين أنواع الروابط المختلفة**

**رابطة ڤان ديرڤال**:

تتميز هذه الرابطة بالخصائص التالية :

1 – هي أكثر الروابط عمومية ، حيث تتواجد في جميع البللورات دون إستثناء , كما أنها مسئولة بشكل خاص عن الترابط في الحالات السائلة والصلبة للغازات الخاملة والأكسجين والنيتروجين والهيدروجين وكثير من المركبات العضوية وغير العضوية .

2 - تعتبرأضعف الروابط ، حيث أن طاقتها لا تتجاوز ، لذا فإن جميع المركبات التي ترتبط بواسطتها تكون غير مستقرة ، أو طيارة ونقطة الانصهار لها منخفضة .

3 - تعمل بشكل مثالي بين الذرات المتعادلة والجزيئات ذات المدارات الإلكترونية المكتملة .

**الرابطة الآيونية**

1 - هي رابطة كيميائية مثالية تناسب المركبات غير العضوية مثل فلز– هاليد ، الأكاسيد الفلزية ، الكربيدات ، النيتريدات ، السيليندات ، ..... الخ .

2 - طاقة الربط لها في حدود أي أكبر منها لرابطة ڤان ديرڤال بحوالي مائة مرة ، لذا فإن المواد التي تتميز بهذه الرابطة لها حرارة تصعيد ونقطة ﺇنصهار عاليتان .

**الرابطة التساهمية**

1 - تعتبر مسئولة عن ترابط معظم المركبات العضوية وبعض المواد الفلزية وشبه الفلزية مثل بللورات الماس والجرمانيوم والسيليكون ....الخ .

2 - طاقة الربط لها عالية أيضاّ وقيمتها في حدود , لذا فإن حرارة التصعيد ونقطة الانصهار للمواد المرتبطة بها عاليتان .

**الرابطة المعدنية**

مسئولة عن ترابط المعادن وبعض المركبات شبه الفلزية . طاقة الربط لها في حدود طاقة الربط للرابطة التساهمية .

**الرابطة الهيدروجينية**

رغم أنها رابطة ضعيفة ، إلا إنها تلعب دوراّ عظيماّ في الطبيعة .

ويجدر الإشارة هنا ، أنه من الناحية الواقعية ترتبط المواد الصلبة بأكثر من رابطة ، حيث تتحدد خصائص المادة وتركيبها بالرابطة التي تلعب الدور الأساسي .

**قوى التنافر Forces of repulsion**

تنشأ قوى التنافر أصلا من أنوية الذرات بسبب شحنتها الموجبة المحسوسة ، وتعتمد طاقة التفاعل بين الأنوية على المسافة (r) بينها وعلى درجة معادلة تأثيرها بواسطة ﺇلكترونات المدارات الداخلية أو بسبب تداخل السحابات الإلكترونية (المدارات الإلكترونية المغلقة) عندما تقترب الذرات من بعضها البعض . وطبقاّ لميكانيكا الكم فإن هذه الطاقة يمكن صياغتها على الصورة الآتية :-

حيث a هونصف قطر بوهر .

و تبين العلاقة السابقة أنه للقيم الكبيرة للمسافة r ، تكون طاقة التنافر صغيرة وتزداد بشدة عند القيم الصغيرة لها . وعندما تقترب الذرات من بعضها بمقدار يسمح للمدرات الإلكترونية أن تتداخل مع بعضها البعض ، فان عدد الإلكترونات يصبح أكبر من عدد الحالات المسموحة وتصعد الإلكترونات إلى الحالات الإلكترونية المسموحة ذات الطاقات الأعلى طبقاّ لمبدأ باولي ، هذا يؤدي إلى زيادة طاقة التنافرالتي يمكن صياغتها بالصورة الآتية :-

حيث ثابت يمكن تعيينه عمليا .

ورغم أن العلاقتين (1-16) ، (1-17) تتفقان مع النتائج العملية بشكل جيد , إلا أن العلاقة (1-9) تعد أكثر ﺇستخداما بواسطة الباحثين .

**أسئلة وتمرينات**

1. ناقش عملية التفاعل (قوى الجذب والتنافر) في جزئ ثنائي الذرة مع إستخدام أشكال توضيحية مناسبة موضحا مصدر كل من قوى التجاذب والتنافر بين الذرات .
2. أذكر أنواع الروابط في بللورات المواد الصلبة وإشرح طبيعة وخصائص كل منها بإختصار مع إستخدام أشكال توضيحية ما أمكن ذلك .
3. علل : أ- MgO يرتبط آيونيا . ب- رابطة ڤانديرڤال رابطة ضعيفة . ج – الترابط بين مكونات البللورات المعدنية لايمكن أن نعزيه إلى الرابطة الآيونية أو الرابطة التساهمية .

د- الترابط بين الجزيئات H2 , O2, N2 بالإضافة إلى التركيب الماسي لايمكن أن نعزيه للروابط الآيونية أو إلى رابطة ڤانديرڤال .

هـ- الرابطة الهيدروجينية لايمكنها أن تربط أكثر من ذرتين .

و- الشذوذ الحادث عند رفع درجة حرارة الماء من 0 إلى 4 درجة مئوية يعود إلى عملية هدم الروابط الهيدروجينية .

ل- الرابطة الهيدروجينية تعتبر آيونية الجوهر .

ع- المواد ذات الرابطة المعدنية تكون دائما معتمة Opaque .

1. أذكر واشرح نوع الرابطة (أو الروابط) بين الذرات في كل من :
2. جزئ H2O ب- O2 ج- CsI د- Si هـ - InSb و- Na .
3. بين التشابه والإختلاف بين الرابطتين المعدنية والتساهمية .
4. ما المقصود بكل من :

أ- تفاعل التشتت ب - إتجاهية الحركة المغزلية .

ج - خاصية التشبعية د – الرابطة الكيميائية المختلطة .

هـ - ظاهرة تجميع إلكترونات التكافؤ collectivization

1. رغم أن رابطة ڤانديرڤال تعتبر مثالية في وصف التفاعل بين جزيئات المواد ذات الروابط الكيميائية المشبعة وكذلك بين ذرات الغازات الخاملة , إلا أنها تظهر في حالة الأجسام الصلبة في ثلاث صور . أذكر وإشرح مع الرسم هذه الصور الثلاث .
2. وضح طبيعة الرابطة التساهمية مستخدما حالة جزئ الهيدروجين .
3. إشرح مع الرسم تأثير إتجاهية الحركة المغزلية على نوع القوة بين الذرات .
4. المواد ذات الرابطة المعدنية تتميز بخصائص فلزية نموذجية , لماذا ؟ أذكر هذه الخصائص .
5. ناقش الخاصية الآيونية لرابطة الألكالي هاليدات halides alkali مستعينا بقيم السالبية الكهربية لبعض العناصر المعطاة بالجدول الآتي :

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  |  |  |  |  |  | H  2.1 |
| F  4.0 | O  3.5 | N  3.0 | C  2.5 | B  2.0 | Be  1.5 | Li  1.0 |
| Cl  3.0 | S  2.5 | P  2.1 | Si  1.8 | Al  1.5 | Mg  1.2 | Na  0.9 |
| Br  2.8 | Se  2.4 | As  2.0 | Ge  1.8 | Sc  1.3 | Ca  1.0 | K  0.8 |
| I  2.1 | Te  2.1 | Sb  1.9 | Sn  1.8 | Y  1.3 | Sr  1.0 | Rb  0.8 |

1. أ- عرف كل من طاقة التأين , وطاقة الميل الإلكترونية (electron affinity) للذرة وبين علاقتهما بالسالبية الكهربية لعنصر (electron negativity) .

ب- وإذا كان لبللورة :

(Na) = 5.14 ev , ( = 3.71 ev

وأن طاقة الجذب الإلكتروستاتيكي بين آيوني الصوديوم والكلور تساوي 4.51 ev , فبين أنه يمكن للصوديوم والكلور تكوين جزئ ثنائي الذرة برابطة آيونية قوية .

**الحل :**

أ - طاقة التأين : هي الطاقة المطلوبة لتحرير إلكترون من الذرة المتعادلة . التشوقية الإلكترونية : هي مقدار الطاقة المكتسبة عند إضافة إلكترون لذرة متعادلة . وترتبط , بالسالبية الكهربية للعنصر بعلاقة تسمي علاقة ميليكان الآتية :

ويعبر عن هذه الطاقات بالإلكترون ڤولت . واضح أن تكون كبيرة للذرة التي لها , كبيرتان . وتتحدد آيونية الرابطة بين ذرتين بالفرق بين سالبيتيهما . أي أن آيونية الرابطة تساوي . وهذا يعني ان الفرق بين سالبيتي الذرتين يعتبر مقياسا لآيونية الرابطة بينهما .

ب - تتكون الرابطة في بللورة بخلع إلكترون ذرة الصوديوم وإضافته إلى ذرة الكلور , حيث يتحولا إلى آيونين مختلفي الشحنة , وعن طريق قوة الجذب الكهروستاتيكي بينهما يتم الترابط الآيوني . والفرق بين طاقة تأين الصوديوم المطلوب بذلها وطاقة التشوقية الإلكترونية التي تكتسب عند إضافة هذا الإلكترون إلى ذرة الكلور يساوي أقل طاقة مطلوب تزويدها لتكوين الرابطة , وهي :

هذا الفارق يتم تعويضه بواسطة مجال الجذب الكهروستاتيكي , حيث يشارك بطاقة تساوي  *عندما تكون المسافة بين الآيونين أقل ما يمكن , هذه المشاركة من المجال الكهروستاتيكي تزيد عن الطاقة المطلوبة بمقدار . أي أنه يمكن للصوديوم والكلور تكوين جزئ ثنائي الذرة برابطة آيونية قوية .*

1. إذا كانت الطاقة المطلوبة لتحطيم الروابط H – H في كيلومول تساوي , فإحسب الطاقة المطلوبة بالإلكترون فولت *eV* لتحطيم رابطة H – H واحدة .

الحل :

بما أن الطاقة تحطم الروابط H – H في أي أن تحطم الروابط H – H في مول واحد .

الطاقة المطلوبة لتحطيم رابطة H – H واحدة =

1. *إذا كانت طاقة التأين للصوديوم تساوي 5 eV , والتشوقية الإلكترونية للكلور electron affinity تساوي 3.5 eV فأثبت أن الطاقة المطلوبة لتحطيم الجزئ NaCl أي تأيينه إلى , تساوي 4.5 eV , إذا علمت أن ثابت الشبكية في بللورة NaCl يساوي 0.24 nm .*

*الحل : الطاقة المطلوبة لنزع الإلكترون الخارجي من ذرة الصوديوم وتحويلها إلى الآيون (طاقة التأين) تساوي 5 eV .*

*وحينما يضاف إلى ذرة Cl فإن طاقة تساوي 3.5 eV وهي قيمة التشوقية الإلكترونية للكلور تنطلق .*

*أي انه لتكوين آيوني الصوديوم والكلور من ذرتي Na , Cl يتطلب طاقة قدرها 1.5 eV .*

*ويرتبط الآيونان , بطاقة جهد V يمكن إيجاده بإستخدام قانون كولوم كالتالي :*

*وبالتعويض عن قيم شحنة الإلكترون e , وثابت العزل للفراغ , قيمة المسافة الإتزانية نجد أن :*

*أي أن الطاقة المنطلقة نتيجة تجاذب الآيونين وتكوين الرابطة تساوي .*

*أي يتكون المركب NaCl من الذرتين Na , Cl وتنطلق طاقة مقدارها :*

*وهذا يعني أنه لتحطيم الرابطة للجزئ NaCl وتحويله إلى الآيونين , يتطلب طاقة قدرها 4.5 eV .*

**الباب الثاني**

**التركيب البللورى للمواد الصلبة**

**Crystalline Structure of Solids**

تمتلك البللورات ترتيبا هندسيا منتظما لانهائيا للتركيب الداخلى فى الأبعاد الثلاثة ، أى يكون التركيب دوريا حيث يتكون ما يسمى بالشبكية البللورية (crystal lattice) وتمثل الذرات (الآيونات أو الجزيئات) عقد هذه الشبكية.

وفى عام 1848 أدخل براڤي مفهوم الشبكية الفراغية لوصف تركيب أى جسم بللورى , وتتميز شبكية براڤي بالتركيب الدورى المتكون نتيجة تكرار عناصر البللورة (عقد البللورة) ، حيث يمكن أن تمثل كل عقدة من عقد البللورة ذرة مفردة , مجموعة ذرات , جزىء أو آيون . ومفهوم شبكية براڤى يعكس فقط المواضع الهندسية لعناصر البللورة بغض النظر عن نوعية هذه العناصر.

**2.1 الشبكية الفراغية أو شبكية براڤي Bravias Lattice**

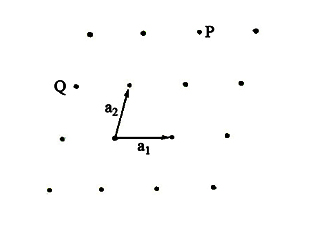
هناك تعريفان متكافئان لشبكية براڤي الفراغية هما :

1. هى التركيب الدورى اللانهائى المتكون من نقط منفصلة لكل منها نفس النظام الفراغى من حيث الموضع والإتجاه بغض النظر عن إختيار أى من هذه النقط كنقطة بداية .
2. هى النظام الفراغى المكون من كل النقط ذات نصف قطر المتجه  المعطى بالعلاقة الآتية :

(2-1) = n1+n2+n3=

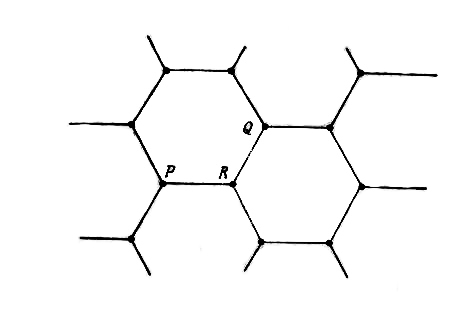
حيث أى ثلاثة متجهات غير واقعة فى مستوى واحد وتسمى المتجهات الأساسية , n3,n2,n1 تأخذ كل الأعداد الصحيحة الممكنة .

يبين شكل (2-1) المتجهين الأساسيين , لجزء من شبكية براڤى في مستوى واحد, حيث يمكن بواسطتهما تمثيل نقط الشبكية بأخذ كل القيم المختلفة لكل من n2,n1 ، فمثلا النقطة P تتصف بنصف قطر المتجه  = +2، ونصف قطر المتجه عند Q هو +- **=** .

 واضح أن هذه الشبكية تحقق كلا التعريفين السابقين لأن كل عناصرها متكافئة فراغيا من حيث الموضع وإتجاه الإنتقال .

شكل (2-1): شبكية براڤي في مستوى واحد .

أما التركيب المكون من نقط متجاورة والذي يشبه خلية النحل Honey Comb (شكل 2-2) فإنه لايحقق تعريف براڤي رغم أن مواضع عناصره تبدو متشابهة. وهذا بسبب عدم تطابق إتجاهات المتجهات الأساسية ، حيث يلزم إدارة الشكل بزاوية قدرها 180° عند الإنتقال من نقطة إلى أخرى مجاورة لها .



شكل (2-2) : تركيب خلية النحل لا يحقق شروط براڤي .

**2.2 عناصر التماثل في البللورة Symmetry elements in crystals :**

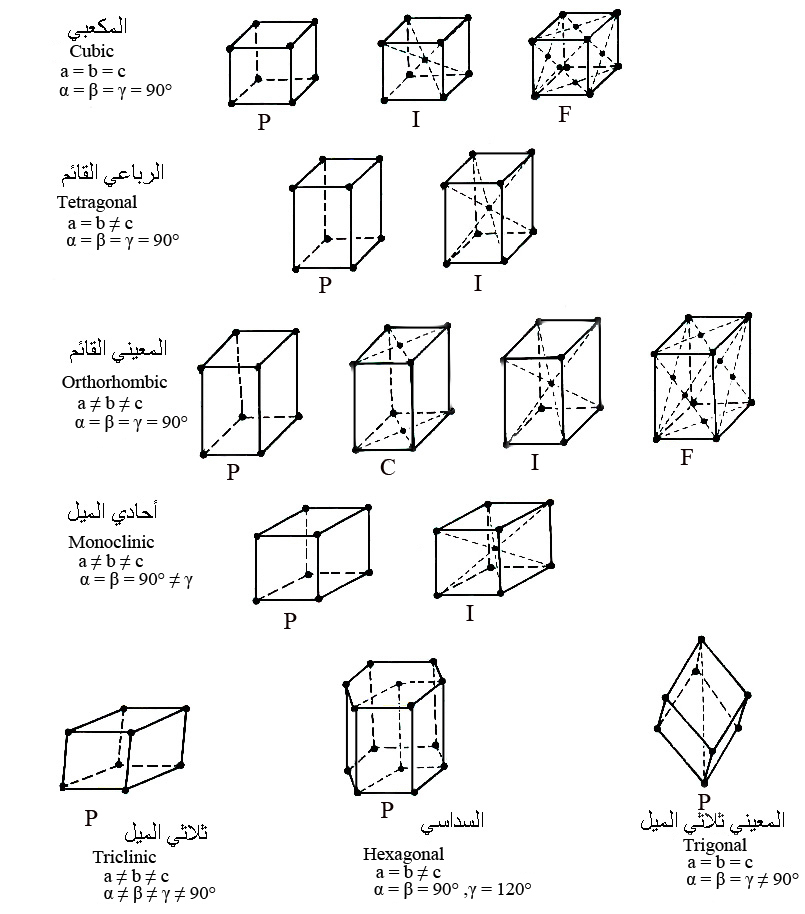
**1- التماثل الإنتقالي Translational symmetry** :

يتحقق التماثل الإنتقالي عندما تزاح البللورة (أو وحدة الخلايا) موازية لنفسها من موضعها الحالي إلى موضع آخر , فاذا كانا متجها الموضع قبل وبعد إجراء عملية الإزاحة هما , على الترتيب , فإن :

ويسمى متجه الإنتقال أو الإزاحة الفراغي Space translational vector ويعبر عنه بمجموع مضاعفات المتجهات الأساسية , أي أن :

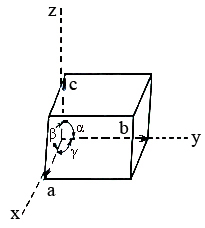
حيث , , أعداد صحيحة .

ولقد بين براڤي أنه لا يمكن أن يتواجد أكثر من 14 طريقة لترتيب النقط في الفراغ بحيث تخضع لتعريف الشبكية الفراغية . شكل (2-3) يبين شبكيات براڤي الأربعة عشر, حيث تسمي وحدات الخلايا التي تحتوي فقط على عقد عند الأركان بالخلايا البسيطة ، أما وحدات الخلايا الأخري فتسمي خلايا مركبة ، وهي تحتوي على عقد إضافية في مركز حجم الخلية أو في مراكز الأوجه.



شكل (2-3) : شبكيات براڤي .

ولتحديد نوع التنظيم للنقط فى الخلية الفراغية يستخدم نظام للمحاور كالمبين بشكل (2-4) . وبإختلاف أطوال المحاور والزوايا بينهم تنحصر الطرق الأربعة عشر في سبعة أنظمة فقط هى المكعب ، المنشور الرباعى القائم ، المنشور المعينى ، المنشور أحادى الميل ، المنشور متعدد الميول , المنشور السداسى القائم والمنشور ثلاثي التماثل . ويبين جدول (2-1) الأنظمة السبعة وعناصر التماثل الأساسية الخاصة بها.



شكل (2-4) : نظام المحاور

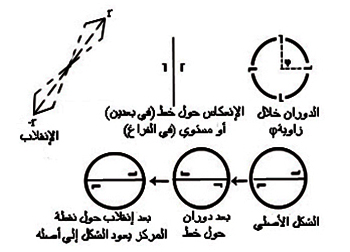
للشبكيات الفراغية .

جدول (2-1) : عناصر التماثل في الأنظمة السبعة للشبكية البللورية .

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **خصائص الخلية الإبتدائية** | **أنواع الشبكية** | **عناصر التماثل** | **نظام الشبكية** |
|  | بسيطة P | لا يوجد | Triclinic  منشور ثلاثي الميل |
|  | P  متمركز القاعدةI | محور دوراني | Monoclinic  أحادي الميل |
|  | P  C  متمركز الحجم)) I  متمركز الأوجه)) F | ثلاثة محاور دورانية | Orthorhombic  معيني قائم |
|  | P  I | محور دوراني | Tetragonal  رباعي قائم |
|  | P  I  F | أربعة محاور دورانية | Cubic  مكعبي |
|  | P | محور دوراني | Hexagonal  سداسي قائم |
|  | P | محور دوراني | Trigonal  (Rhombohedral)  ثلاثي التماثل |

1. **التماثل الدوراني rotational symmetry :**

يقال أن البللورة تملك **محور تماثل دورانيا** من النوع – n عندما يعيد الدوران بزاوية (حيثn عدد صحيح) البللورة لوضعها الأصلي . أما إذا رسم مستوى مار بمركز البللورة ليقسمها إلى نصفين متشابهين ، حيث يعتبر هذا المستوى كمرآة ينعكس عليها أحد نصفي البللورة ليعطي النصف الآخر ، فيقال حينئذ أن البللورة تملك **مستوى تماثل** . ويكون للبلورة مركز إنقلاب إذا كانت كل نقطة موضوعة عندr بالنسبة للمركز تملك نقطة مطابقة لها عند–r . ويكون للبلورة **محور دوران وإنقلاب** إذا أمكن إعادة البللورة لوضعها الأصلي بالدوران والإنقلاب معا (شكل 2- 5) .

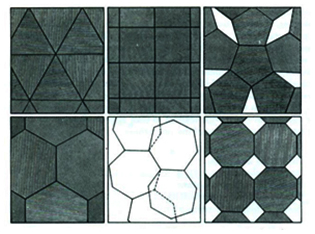


شكل (2-5) : الدوران والإنعكاس والإنقلاب كعناصر تماثل في التركيب البللوري .

1. **زوايا الدوران المسموحة**

كما ذكرنا ، تملك البللورة محور تماثل دورانيا من الرتبة n ((n-fold symmetry axis إذا كانت مواضع العقد لاتتغير بعد الدوران بزاوية قدرها . ولقد وجد أن ذلك يتحقق فقط عندما n = 1,2,3,4,6 ولا يتحقق في حالة n = 5 أو n > 6. ذلك لأن التماثل الإنتقالي translational symmetry)) لا يتحقق إلا عندما n = 1,2,3,4,6 . فكما يبين شكل (2-6) أن المضلعات الثلاثية والرباعية والسداسية يمكن رصها لتملأ فراغ الشبكية دون تداخل في المساحات أو ترك مساحات بينية , أي تكون متماثلة فراغيا محققة بذلك تعريف براڤي للشبكية الفراغية . في حين لا يتحقق ذلك للمضلعات الخماسية أو التي تمتلك أكثر من ستة أضلاع ، وبالتالي فهي لا تحقق التماثل الإنتقالي والدوراني . ويمكن التحقق من ذلك بمساعدة الشكل الهندسي البسيط الموضح في شكل (2-7) لشبكية بللورية في بعدين ، حيث يتكون الصف A من الذرات 1, 2, … , (m-1), m التي تبعد كل واحدة عن جارتها بالمسافة a ، وتكون المسافة بين الذرتين 1, m هي (m-1) a . ولنفرض أن الدوران بزاوية α يحقق التماثل في هذه الشبكية . إذن بإجراء الدوران بزاوية α ضد عقارب الساعة حول الذرة 2 نجد أن الذرة 1 تنتقل إلى الموضع ، وبالمثل الدوران بزاوية α مع عقارب الساعة حول الذرة (m-1) ينقل الذرة mإلى الموضع . واضح أن الذرتين , تقعان في الصفB وأن المسافة بينهما لابد أن تكون مضاعفات a طالما هذا الدوران يحقق تماثل تلك الشبكية , دعنا نعتبر أن حيث عدد صحيح . فإذا كانت المسافة بين الذرتين 2 , (m-1) هي (m-3) a فإن المسافة بين , تكون هي :

∴



شكل (2-6): التماثل الفراغي يتحقق

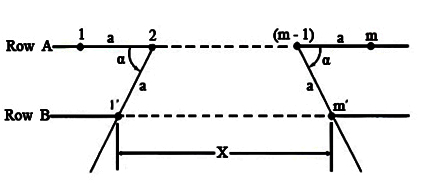
للمضلعات الثلاثية , الرباعية ,

السداسية ولا يتحقق للمضلعات

الخماسية أو للمضلعات ذات

الأكثر من ستة أضلاع .

ولما كانت كل من , m أعدادا صحيحة ، فإن المقدار – m)) هو عدد صحيح أيضا . وبما أن : 1 -1≤ cosα ≤ , فإن -5 ≤ -m ≤ -1 : .

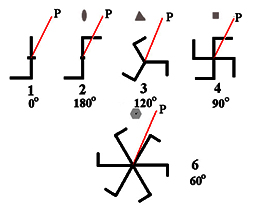


شكل (2-7): الدوران بزاوية لشبكية بللورية في بعدين .

أى أن القيم المسموحة للمقدار ( -m) هى -1,-2,-3,-4,-5 فقط ٬ وبالتالي تكون زوايا الدوران المسموحة هي فقط المدونة في جدول (2-2) والمحاور الخمسة المسموحة موضحة في شكل(2-8) .

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **n-fold** | **α** | **cos α** | **-m** |
| 1  6  4  3  2 | 0  60°=2π/6  90°=2π/4  120°=2π/3  180°=2π/2 | 1  1/2  0  -1/2  -1 | -1  -2  -3  -4  -5 |

جدول (2-2):زوايا الدوران المسموحة لتحقيق تماثل الشبكية .



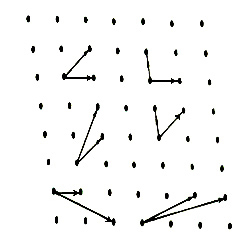
شكل (2-8): محاور الدوران المسموحة , p محور عمودي على مستوى الشكل .

1. **شبكية لانهائية وبللورة محدودة**

التعامل على مستوى نقط الشبكية ذات العدد الهائل يفترض إمتدادا لانهائيا للشبكية ، رغم أن البللورة في الحقيقة محدودة الأبعاد حتى لو كان حجمها كبيرا بدرجة كافية . كما أن تأثير محدودية البللورة على إمتداد الشبكية اللانهائي وعلى تماثل نقطها يكون مهملا لأن الجزء الأعظم من هذه النقط يقع بعيدا عن السطح . وعليه ، فإن البللورات الحقيقية تعامل على أنها محدودة الحجم ولانهائية الشبكية الفراغية.

**2.3 أنواع التركيب البللوري البسيط**

رغم سهولة إستخدام التعريف الثانى لشبكية براڤي بسبب صياغته الرياضية ، إلا أنه يرتبط بالصعوبات التالية :

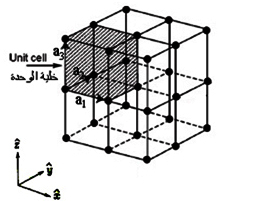
1. لأى شبكية فراغية يمكن إختيار المتجهات الأساسية بعدد لانهائى من الطرق غير المتكافئة (شكل 2-9) ، وبالتالى فإن الإختيار يكون أحيانا غير موفق .

شكل (2-9) : طرق عديدة لإختيار

المتجهات الأساسية .

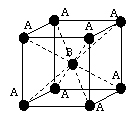
1. عادة من مجرد النظر إلى التركيب الدورى لنقط الشبكية يمكن تحديد ما إذا كان التعريف الأول لشبكية براڤى يتحقق أم لا ، وفى نفس الوقت فإنه غاية فى الصعوبة أن نقرر مباشرة هل توجد ثلاثية المتجهات الأساسية أم أنها غير موجودة . لذلك , دعنا نستعرض الأمثلة الهامة التالية :

**1 - التركيب المكعبي البسيط S.C :** تحتوي وحدة الخلية لهذا التركيب على عقدة عند كل ركن من أركانها . ورغم أن عنصرا واحدا ( عنصر البولونيوم Polonium ) هو فقط الذي يتبلور في تركيب مكعبي بسيط , إلا أن هذا التركيب يعتبر الأساس النظري لتبسيط دراسة التركيبات البللورية المكعبة الأخرى . يبين شكل (2-10) إحدى الشبكيات الفراغية للتركيب المكعبي البسيط S.C , حيث يمكن إختيار المتجهات الأساسية الثلاث لها بالصورة التالية :



شكل (2-10) : خلية مكعبة بسيطة (S.C) .

وكما هو واضح ، فإن كلا من المواضع الفراغية للعقد البللورية فى الشبكية وإتجاه المتجهات الأساسية فيها لا يتغيران ، أي أن عناصرها متكافئة فراغيا وبالتالي فهي تحقق تعريف براڤي للشبكية الفراغية .

**2 - التركيب متمركز الحجم (B.C.C)** : لو تصورنا أن عقد الشبكية الفراغية الممثلة للتركيب البسيط هي من النوع A, فلو أضفنا عقدة من النوع B فى مركز كل خلية ، فإن الشكل الناتج يعطى الشبكية الفراغية B.C.C كما فى شكل (2-11).

شكل (2-11) : الخلية الإبتدائية

للتركيب B.C.C .

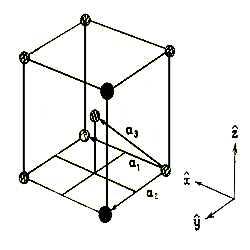
ويبدو لأول وهلة أن نقط المركزB ربما ترتبط مع التركيب الكلى للشبكية بعلاقة مختلفة عنها لعقد الأركان A, إلا أنه يمكن النظر لنقط المركزB على أنها عقد أركان لشبكية مكعبة بسيطة أخرى في مركزها عقدة من النوع A . ولذلك فإن الشبكية من النوع B.C.C يمكن إعتبارها على أنها إما شبكية من النوع البسيط تمثل عقدها النقط A مضافا ﺇليها فى مركز كل خلية عقدة من النوع B, أو أنها شبكية بسيطة عقدها من النوع B ويمثل عقدة المركز نقطة من النوع A , أي أن كل نقطة من نقط الشبكية يمكن أن تكون ركنية ويمكن أن تكون مركزية ، لذلك فان كل نقط الشبكية لها مواضع واتجاهات متطابقة ، وهذا يحقق تعريف شبكية براڤى .

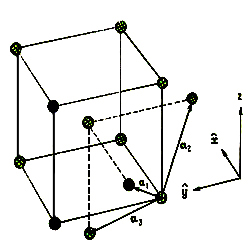
ويمكن إختيار المتجهات الأساسية الثلاثة للشبكية B.C.C كما فى شكل (2-12) كالتالي :

**a1** = a, **a2**= a, **a3** = (++) (2-3)

حيث إعتبرت إحدى عقد الأركان كبداية ثم أخذت المتجهات بينها وبين عقدتين ركنيتين وعقدة المركز. إلا أنه يوجد إختيار آخر يعطى تماثلا أكثر لثلاثية المتجهات الأساسية ، وفيه تؤخذ المتجهات بين إحدى العقد الركنية وثلاثة من العقد المركزية الأربعة المحيطة بها شكل (2-13), وفى هذه الحالة تعطى المتجهات الأساسية للشبكية B.C.C بالصورة الآتية :

2-4)) **a1**=(+-) , **a2**=(+-) , **a3** =(+-)

ويحقق كلا الإختياران تعريف براڤى للشبكية الفراغية المعطى بالعلاقة (2-1) ، حيث يمكن الحصول على كل نقط الشبكية بأخذ كل القيم الممكنة للأعداد n1,n2,n3 .



شكل(2-13) شكل (2-12)

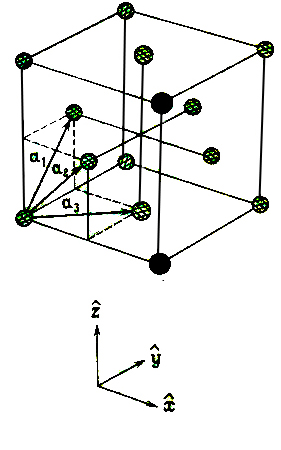
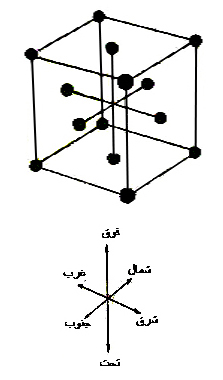
مجموعة متماثلة للمتجهات الأساسية للشبكية B.C.C المتجهات الأساسية للشبكية B.C.C .

**3 - التركيب متمركز الأوجه (F.C.C) Face Centered Cubic** :

يمكن الحصول عليه بإضافة عقدة فى مركز كل وجه من أوجه الخلية المكعبة لشبكية براڤى البسيطة (شكل (2-14. ولإثبات أن كل النقط متكافئة , نعتبر الشبكية المكعبة البسيطة المكونة فقط من النقط الواقعة فى مركز الأوجه الأفقية ، نلاحظ أن النقط الركنية أصبحت تمثل عقدا مركزية لهذه الشبكية الجديدة ، وبالمثل لكل أوجه الخلية الإبتدائية ،حيث يمكن إثبات أن كل العقد فى الشبكية F.C.Cيمكن أن تكون عقدا مركزية أو عقدا ركنية , وبالتالى فإن الشبكية F.C.C تحقق تعريف براڤى للشبكية الفراغية.

شكل (2-15) يبين مجموعة متماثلة للمتجهات الأساسية فى حالة الشبكية F.C.C حيث:

**a1** = (+) , **a2** = (+) , **a3** = (+) (2-5)

 ومما هو جدير بالذكر، أن الكثير من العناصر بالجدول الدوري تمتلك شبكيات بللورية إما من النوع F.C.Cأو النوع B.C.C. جدول (2-3) يعطى بعضا من هذه العناصر والثابت البللوري a () لها عند درجة حرارة الغرفة والضغط الجوى العادى .

شكل (2-15) شكل (2-14)

المتجهات الأساسية للشبكية F.C.C الخلية الإبتدائية للشبكية F.C.C

**2.4 بعض البارامترات البللورية :**

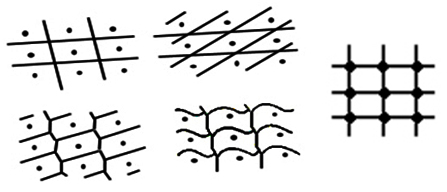
**1- العدد التناسقى Coordination Number**

نقط الشبكية التى تقع أقرب ما يمكن وتكون على مسافة ثابتة من نقطة ما فيها تسمى أقرب الجيران nearst neighbors)) . وفى شبكية براڤى عدد أقرب الجيران يكون واحدا لكل نقط الشبكية بسبب تماثل كل النقط , وتعتبر خاصية مميزة للشبكية , ويطلق عليه العدد التناسقى , وقيمته للشبكية المكعبة البسيطة تساوى 6 وللشبكية من النوع B.C.C تساوى 8 وللشبكية F.C.C تساوى 12 .

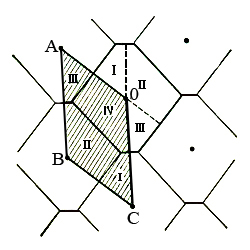
جدول (2-3) : بعض العناصر ذات التركيب البللوري **B.C.C** أو **F.C.C**

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **عناصر ذات شبكية من النوع B.C.C** | | | | **عناصر ذات شبكية من النوع F.C.C** | | | |
| **a()** | **العنصر** | **a()** | **العنصر** | **a()** | **العنصر** | **a()** | **العنصر** |
| 4.23(5K) | Na | 5.2 | Ba | 3.92 | Pt | 4.09 | Ag |
| 4.30 | Nb | 2.88 | Cr | 5.30 | La | 4.05 | Al |
| 5.59(5K) | Rb | 6.(78K) | Cs | 6.08 | Sr | 4.08 | Au |
| 3.31 | Ta | 2.87 | Fe | 3.52 | Ni | 5.58 | Ca |
| 3.88 | Tl | 5.23(5K) | K | 4.95 | pb | 5.16 | Ce |
| 3.02 | V | 3.49(78K) | Li | 3.89 | Pd | 3.61 | Cu |
| 3.16 | W | 3.15 | Mo | 5.16 | Pr | 3.84 | Ir |

1. **الخلية الأولية primitive cell**

تعرف الخلية الأولية بأنها أصغر حجم فراغى *V* من الشبكية البللورية الذى لو طبقت عليه كل عمليات الإنتقال الممكنة لامتلأ كل فراغ الشبكية دون حدوث تداخل أو دون ترك فراغات بينية. ويمكن ﺇختيار هذه الخلية بطرق عدة , كما يتضح من شكل(2-16) . وتحتوي الخلية الأولية على نقطة واحدة (وذلك إذا إختيرت بحيث لا تحوى نقطا على السطح) , وبالتالى فإذا كانت هى كثافة نقط الشبكية (عدد النقط في وحدة الحجوم) فان , أي أن , وهذا يعني أن حجم الخلية الأولية ثابت ولا يتوقف على طريقة إختيارها . فإذا اختيرت خليتان بطريقتين مختلفتين , فإنه يمكن إثبات أن حجميهما متساويان , وذلك بتقسيم إحداهما إلى اجزاء , ثم بإزاحة كل جزء منها فى إتجاه المتجه الأساسى المقابل يمكننا الحصول على شكل مطابق للخلية الأخرى. شكل 2-17)) يبين أنه بإزاحة أجزاء الخلية المظللة I,II,III بالازاحات CO , BO , AO على الترتيب وبازاحة الجزء IV بقيمة تساوى صفرا , نحصل على الشكل السداسى الممثل للخلية الأولية الأخرى .

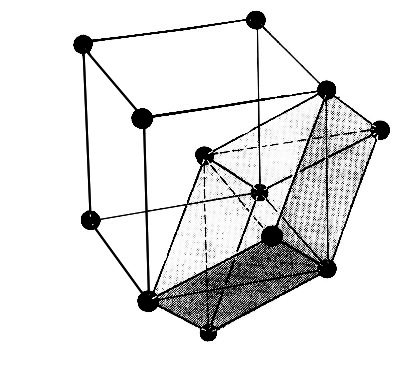
شكل :(2-16)طرق مختلفة لإختيار الخلية الأولية .



شكل (2-17) : حجم الخلية الأولية ثابت رغم

إستخدام طريقتين لإختيارها .

1. **الخلية الإبتدائية Elementary Cell**

الخلية الإبتدائية أو خلية الوحدة(unit cell) هى تلك المنطقة الفراغية التى يمكن أن تملأ كل الفراغ المكون للشبكية البللورية دون تداخل ودون ترك فراغات بينية ﺇذا طبقت عليها كل عمليات التماثل . وعادة تكون أكبر من الخلية الأولية وتعكس الخصائص المطلوبة لتماثل شبكية براڤي . فعند وصف الشبكية B.C.C تستخدم خلية إبتدائية مكعبة (شكل (2-18حجمها يساوي ضعف حجم الخلية الأولية , وفى حالة الشبكية F.C.C تستخدم خلية إبتدائية مكعبة حجمها يساوى أربع أمثال حجم الخلية الأولية .

شكل (2-18) : حجم الخلية الأولية يساوي نصف

حجم الخلية الإبتدائية للتركيب B.C.C .

1. ***معامل حشر الذرات atomic packing factor (PF) :***

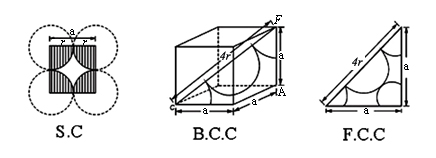
*يعرف معامل حشر الذرات بأنه نسبة الحجم المشغول بالكتلة المادية للذرات massive atoms في وحدة الخلية إلى الحجم الكلي للخلية .*

حيث حجم الخلية المكعبة *V* تساوي , *r* نصف قطر الذرة .

بإستخدام شكل (2-19) يمكن إيجاد العلاقة بين نصف قطر الذرة r والمسافة البينية a بين أي ذرتين متجاورتين لبعض الشبكيات البللورية , ففي **حالة الشبكية البسيطة S.C** نجد أن ثابت الشبكية a يعطى كالتالي :

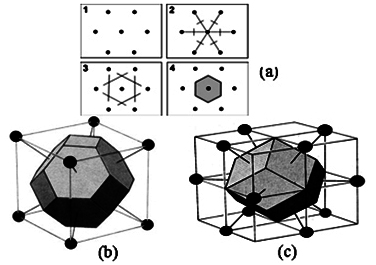
وفي **حالة التركيب B.C.C** نجد أن **:**

و **للتركيب F.C.C** نجد أن :



شكل (2-19)

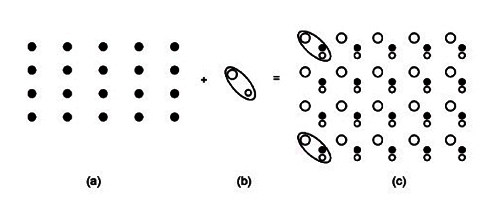
1. **الخلية الاولية لويجنر- زايتز Wigner- Seitz Primitive. Cell**

من المعروف أنه يمكن دائما إختيار خلية أولية بحيث يكون لها التماثل التام لشبكية براڤى, وأشهر هذه الخلايا هى تلك المعروفة بخلية ويجنر- زايتز . وإختيارها يتم (وليكن فى مستوى واحد) بأخذ ﺇحدى النقط كمركز, ثم بتوصيل النقط المجاورة لها بخطوط مستقيمة تمر بنقطة المركز (شكل 2-20.a) , وبتنصيف هذه الخطوط فإن الشكل الناتج من تقاطع المنصفات يعطي خلية ويجنر- زايتز. شكل (2-20.b&c) يعطي خليتي ويجنر زايتز في الفراغ للشبكيتين F.C.C & B.C.C . ومن التماثل الانتقالى لشبكية براڤى يتضح أنه ﺇذا أزيحت خلية ويجنر- زايتز فى ﺇتجاه متجه الشبكية الذى يربط بين نقطة مركز الخلية ونقطة أخرى مجاورة تنتج خلية ويجنر- زايتز أخرى مركزها النقطة الأخيرة , وبالتالى فإنه ﺇذا طبق على خلية ويجنر- زايتز عمليات الإنتقال الخاصة بكل المتجهات المحددة للشبكية , فإن كل فراغ الشبكية يمتلئ دون تداخل أو دون ترك أى فجوات بينية. وبالتالى فإن خلية ويجنر – زايتز تعتبر خلية أولية لها صفات تماثل شبكية براڤى .

شكل (2-20)

خلية ويجنر زايتز في بعدين (a) وفي الفراغ للشبكيتين F.C.C &(b) B.C.C (c) .

1. **الشبكية والأساس البللورى**

مما سبق نعلم أن الشبكية البللورية تتكون من تركيب لا نهائى من النقط (العقد) المتماثلة , التي قد تحتوي كل منها على أكثر من ذرة (آيون- جزىء -....ﺇلخ) , حيث يطلق عليها حينئذ أساس الشبكية أو الأساس البللوري ((Base of lattice . شكل 2-21)) يبين أن التركيب البسيط الذي تتكون كل عقدة فيه من ذرة واحدة يمكن أن يتحول إلى تركيب بللوري معقد ذي أساس مكون من ثلاث ذرات . ومن جهة أخري , فإنه يمكن التعامل مع التركيب البللوري عديد الذرات على أنه مكون من عقد تمثل أساسا بللوريا مكونا من أكثر من ذرة . هذه المجموعات من الذرات (الآيونات.... ﺇلخ) المكونة لأساس الشبكية يجب أن تكون متكافئة من حيث المكونات والموضع والإتجاه حتى تعكس التركيب البللوري وتحقق التماثل الخاص بشبكية براڤى .

شكل : (2-21)تركيب بللوري ذو أساس مكون من ثلاث ذرات .

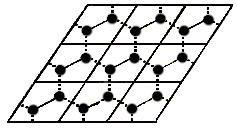
وبإستخدام مفهوم الأساس البللوري يمكن تبسيط الشبكيات الأكثر تعقيدا وتحويلها ﺇلي شبكيات من النوع البسيط . فمثلا , بينا أن تركيب خلية النحل فى بعدين لا يحقق شروط شبكية براڤى على إعتبار أن كل نقطة تمثل إحدى عقد هذا التركيب , بينما ﺇذا إعتبرنا أن كل نقطتين من هذه النقط والمتصلتين معا عن طريق خط تمثلان عقدة مركبة (أساس الشبكية), فإن مجموعة العقد (الأساسات) تعطى تركيبا مطابقا لشروط شبكية براڤى شكل(2-22) .

كذلك , ﺇذا ﺇعتبرنا أن الأساس البللوري (العقدة المركبة) للتركيبين B.C.C , F.C.C مكون من ذرتين وأربع ذرات على الترتيب , فإنه يمكن وصف التركيبين كأنهما شبكيتان مكعبتان بسيطتان. فاذا كانت هذه الشبكية البسيطة لها المتجهات a,a,a فان إحداثيات ذرتى الأساس للتركيب B.C.C هي :

O & (++) (2-7)

وإحداثيات ذرات أساس التركيب F.C.C هى:

O & (+) , (+) , (+) (2-8)



شكل (2-22) : خلية النحل تحقق شروط

براڤي بعد إستخدام مفهوم

الأساس البللوري .

**2.5 أمثلة التركيب ذى الأساس البللوري**

1. **التركيب الماسي Diamond or Tetrahedral**

ﺇذا أخذنا خليتين عنصريتين للشبكية البللورية F.C.C وأزحنا ﺇحداهما على القطر الرئيسى d = a)) للأخرى بمسافة تساوى ربع هذا القطر, فإننا نحصل على التركيب المسمى بالتركيب الماسي شكل (2-23.a) . وللحصول على شكل الخلية الإبتدائية لهذا التركيب فى شكل بسيط نعتبر الخلية الإبتدائية لأحد التركيبين F.C.C ونتبع الخطوات الآتية:

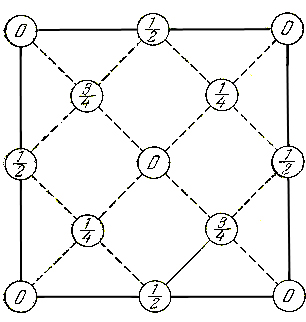
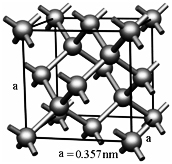
1- نأخذ الوجه الأمامي ونعكس عليه ﺇرتفاع كل نقط الخلية الإبتدائية (قيمة الاحداثي у) , وتتمثل نقط الوجه الخلفي بنفس قيم نقط الوجه الأمامي (وهي نقط الأركان والمركز والتي لها احداثي у = 0) كما فى الشكل (2-23.b) .

2- تمثل عقد مراكز الوجهين العلوي والسفلى والجانبين والتي لها إحداثي у = في منتصف الأضلاع .

3- بعد ذلك يمكن تمثيل عقد التركيب F.C.C الآخر وذلك بوضع جواركل عقدة من عقد التركيب الأول عقدة أخري تبعد عنها مسافة تساوي فى ﺇتجاه القطر الأساسى( أي بمسافة قدرها في إتجاه (у . وبذلك تكون العقد الممثلة بالإحداثيات , خاصة بالتركيب الثانى , ويصبح الشكل (2-23.b)ممثلا للخلية الإبتدائية للتركيب الماسي .

ولما كان جوار أى نقطة فى هذه الشبكية يختلف من حيث الاتجاه عن جوار جوارها , فإن هذه الشبكية لا تعتبر نوعا من أنواع شبكية براڤى . أما إذا إعتبرنا أن الأساس البللوري لهذا التركيب مكون من ذرتين ﺇحداثياتهما (000),((¼ ¼ ¼, فإنه يمكن معاملة هذا التركيب على أنه تركيب شبكى من النوع F.C.C , وبالتالى يصبح محققا لشروط براڤى للشبكية الفراغية. لذلك تحتوي الخلية الإبتدائية للتركيب الماسي على ثماني ذرات .

ومن أمثلة العناصرالتى تمتلك التركيب الماسي كل من الكربون, الجرمانيوم , السيليكون حيث لها ثوابت بللورية تساوي على الترتيب 3.56, 5.65, 5.43أنجشتروم .



(b) (a)

شكل(2-23) : الخلية الإبتدائية للتركيب الماسي في الفراغ (a) وشكل بسيط لها (b) .

**التركيبان السداسى والمكعبي محكما الرص**

**Hexagonal and cubic close-packed Structures**

عملية رص كرات صلبة متشابهة فى الفراغ بحيث تكون المسافات بينها أقل ما يمكن تتحقق بطريقتين. ﺇحدى هاتين الطريقتين تؤدى ﺇلى التركيب ذى التماثل المكعبى وخاصة التركيب F.C.C , أما الطريقة الثانية فإنها تعطى التركيب ذا التماثل السداسى. فإذا رصت الكرات رصا مكثفا لتكوين الطبقة الأولى A (شكل 2-24) بحيث تتلامس كل كرة مع ست كرات أخرى , فانه يمكن رص كرات الطبقة التالية بحيث تتلامس كل كرة منها مع ثلاث كرات من الطبقة الأولى , وفى هذه الحالة يؤخذ ﺇما الوضع B أو الوضع C (حيث أنهما متكافئان).

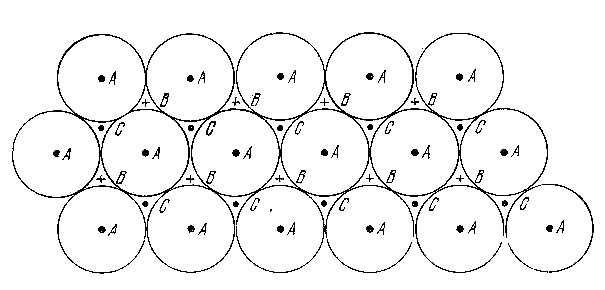
ويمكن رص الكرات في الطبقة الثالثة بإحدي طريقتين , ﺇذا اخذنا الوضع B على أنه يمثل الطبقة الثانية وبرص كرات الطبقة الثالثة فوق فراغات الطبقة الأولى التى لم تنشغل بكرات الطبقة الثانية ( وهو الوضع C), ثم بتكرار ما سبق بالكيفية ABCABC….. , فاننا نحصل على شبكية التركيب المكعبى F.C.C .أما ﺇذا وضعت كرات الطبقة الثالثة مباشرة فوق كرات الطبقة الأولى , أى فوق الوضع A, ثم كررنا ذلك (الوضع A فالوضع B فالوضع A.....وهكذا) فاننا نحصل على شبكية التركيب السداسى والذى يكون فيه الرص بالكيفيةABAB…… , ويتخذ التركيب شكلا كالمبين بشكل(2-25.a).

ولما كانت ﺇتجاهات النقط المحيطة لنقطة ما فى شبكية هذا التركيب تتغير من طبقة ﺇلى أخرى , لذلك فإن شبكية التركيب السداسى هذه لا تحقق شروط شبكية براڤى . بينما التركيب السداسى البسيط الناتج من رص الكرات بالطريقة (AAA…) ,أى بوضع كرات الطبقات الثانية والثالثة.....ﺇلخ فوق كرات الطبقة الأولى يعطى وصفا متماثلا لنقط الشبكية ويحقق شروط شبكية براڤى(شكل 2-26), وتعطى المتجهات الأساسية لها بالصورة الآتية :

**a1**= a, **a2** = + a,  **a3** = c (2-9)

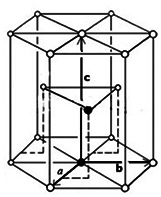
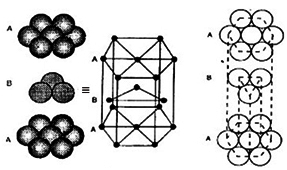
c - طول محور الخلية الإبتدائية والذى يوازي اتجاه رص الكرات .

كذلك , نلاحظ أن الشبكية السداسية من النوع ABA… مكونة من شبكيتين سداسيتين بسيطتين مزاحة ﺇحداهما بالنسبة للأخرى فى ﺇتجاه المحور c بالقيمة c/2 , ومزاحة فى الاتجاه الأفقى بحيث كل عقدة تقع فى مركز المثلث المصنوع بواسطة العقد الثلاثة للطبقة التى أسفلها (شكل 2-25.a). يبين )شكل (2-25.b الخلية الإبتدائية للتركيب السداسى ABA…. حيث طول المتجه = **a**طول المتجه **b** والزاوية بينهما 120 درجة . ومحور الخلية c عمودى على المستوى الذى يحوى كلا من المتجهين  **a,b**. والنسبة c/a للتركيب السداسى المثالى تساوى = 1.633 والأساس للشبكية يتكون من ذرتين (الكرتين السوداويتين), ﺇحداهما تقع فى مركز المحاور(نقطة الأصل) وﺇحداثياتها O (+ + ) , والأخرى ترتبط معها بمتجه نصف القطر**r** كالآتي :

**r** =  **a** +  **b** + **c** ….. (2-10)

شكل (2-24) : الحصول على التركيبين المكعبي F.C.C والسداسي بإستخدام الرص

المكثف للكرات .



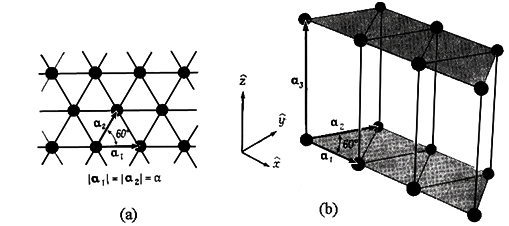
(b) (a)

شكل (2-25) : التركيب السداسي ABA… (a) , والخلية الإبتدائية للتركيب السداسي (b) .

وينتمي لهذا التركيب بللورات أكثر من 30 عنصرا . الجدول (2-4) يعطي النسبة c/a لبعض هذه البللورات .

جدول 2-4)) :النسبة c/a للتركيب السداسي لبعض العناصر .

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **c/a** | **البللورة** | **c/a** | **البللورة** | **c/a** | **البللورة** | **c/a** | **البللورة** |
| 1.57 | Y | 1.861 | Zn |  | Mg |  | He |
| 1.622 | Co | 1.886 | Cd |  | Ti |  | Be |



شكل (2-26) : شبكية سداسية بسيطة AAA… في مستوى واحد (a) وفي الفراغ (b) .

**3- التركيب البللوري لمركبات الزنك والمشابه له Zinc Blend**

عندما يكون التركيب الماسي خاصا بمركب مكون من عنصرين, حيث تتمركز ذرات كل عنصر فى مواضع أحد التركيبين F.C.C, فان هذا التركيب يسمى Zinc Blend, وذلك لأن مركبات الزنكZnS, ZnSe, ZnTe تنتمى لهذا النوع من التركيب. كما ينتمى لهذا التركيب بللورات أخرى عديدة منها :

CuF, Cu, BeS, BeTe, CdS, CdTe, GaP, GaAs, GaSb & InP.

**4- التركيب البللورى لكلوريد الصوديوم**

التركيب البللورى لكلوريد الصوديوم (شكل (2-27 يتكون من عدد متساو من آيونات الصوديوم Na+ وآيونات الكلور- موضوعة على هيئة نقط متتابعة فى شبكية مكعبة بسيطة , بحيث يكون عدد أقرب الجيران لأى آيون يساوى 6آيونات من النوع الآخر. هذا التركيب ينتمى ﺇلى التركيب متمركز الأوجهF.C.C , ويتكون الأساس البللوري له من آيون صوديوم فى النقطة (000) وآيون كلور فى النقطة ( ++). جدول 2-5)) يعطى بعض البللورات التى تنتمى لهذا التركيب .

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| a(A°) | البللورة | a(A°) | البللورة | a(A°) | البللورة | a(A°) | البللورة |
| 5.69  5.91  6.34 | CaS  CaSe  CaTe | 5.35  6.29  6.60 | KF  KC  KBr | 6.00  4.62  5.64 | LiI  NaF  NaC | 4.02  5.13  5.50 | LiF  LiC  LiBr |

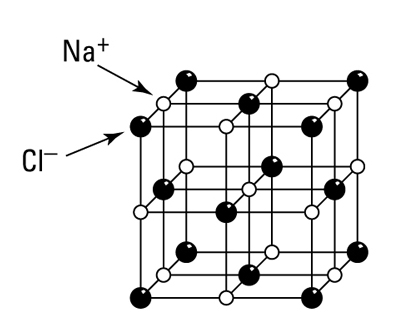
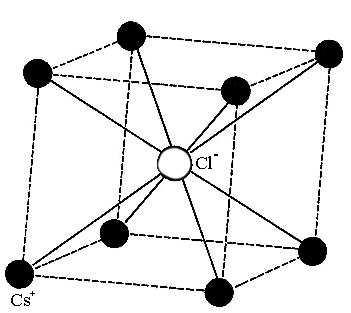
جدول(2-5) : بعض المركبات التى تنتمى للتركيب NaC

**5- التركيب البللورى لكلوريد السيزيوم**

التركيب البللورى لكلوريد السيزيوم يتكون من عدد متساو من آيوناتCs+ وآيونات الكلور- موضوعة فى نقط شبكية من النوع B.C.C بحيث يكون عدد أقرب الجيران مساويا 8 آيونات من النوع الأخر (شكل 2-28) . التماثل الانتقالى لهذه الشبكية هو نفسه كما فى الشبكية المكعبة البسيطة لبراڤى , حيث يتكون الأساس البللوري لها من آيون سيزيوم فى نقطة البداية (000) وآيون كلور فى مركز الخلية المكعبة (++) . جدول 2-6)) يعطي بعض الأمثلة لهذا التركيب.

جدول 2-6)): بعض المركبات التى تنتمى للتركيب CsC

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **a(A°)** | **البللورة** | **a(A°)** | **البللورة** |
| 3.83  3.97  4.20 | TC  TBr  TI | 4.12  4.29  4.57 | CsC  CsBr  CsI |



شكل (2-28) : التركيب البللوري CsC شكل (2-27) : التركيب البللوري NaC

جدول (2-7) يعطي تلخيصا لخصائص خلية الوحدة .

جدول (2-7) : خصائص خلية الوحدة لبعض الشبكيات البللورية .

****

**أسئلة وتمرينات**

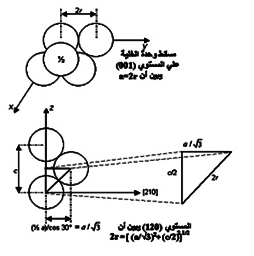
1. فرق بين المواد البللورية والمواد الأمورفية من حيث طريقة التحضير وشكل التركيب الداخلي .
2. عرف : الشبكية الفراغية لبراڤي , الأساس البللوري , العدد التناسقي , معامل الحشر الذري .
3. بين مع الرسم : أ- ماهي الخلية الأولية وأثبت أن حجمها ثابت مهما إختلفت طرق إختيارها .
4. ماهي خلية ويجنر – زايتز , وضح علاقتها بمناطق بريليون .
5. عرف خلية الوحدة وأوجد علاقتها بالخلية الأولية للتركيبات البللورية البسيطة .
6. إشرح التركيبات البللورية S.C , B.C.C , F.C.C وبين أن كل منها يحقق تعريف برافي للشبكية الفراغية وأكتب المتجهات الأساسية لكل منها .
7. أ – إشرح مع الرسم ما المقصود بعناصر وعمليات التماثل في البللورة .

ب- أوجد زوايا الدوران المسموحة للتماثل البللوري - وضح إجابتك بإستخدام أشكال توضيحية كلما أمكن .

1. قارن بين خصائص خلية الوحدة للشبكيات البللورية التالية :

S.C , B.C.C, F.C.C, D.C & Hep

من حيث : 1- حجم الخلية 2- عدد ذرات الخلية 3- العدد التنسيقيC.N 4- نصف قطر الذرة 5- معامل الحشر الذري pf .

1. " بإستخدام الأساس البللوري يمكن تبسيط الشبكيات الأكثر تعقيدا وتحويلها إلى شبكيات من النوع البسيط" وضح كيف يمكن ذلك في الحالات التالية :
2. تركيب خلية النحل (يحتوي على عقدة عند كل ركن من أركانها الست) .
3. التركيب B.C.C ج – F.C.C د- التركيب الماسيD.C هـ - التركيب السداسي Hep .
4. أ- ما المقصود بالتركيب محكم الرص , وكيف يمكن الحصول منه على التركيب ذي التماثل المكعبي والتركيب السداسي بنوعيه .
5. إرسم الخلية الإبتدائية (خلية الوحدة) للتركيب السداسي البسيط واكتب المتجهات الأساسية له .
6. ماذا نعني بكل من :
7. التركيب البللوري لمركبات الزنك .
8. التركيب البللوري لكلوريد الصوديوم .
9. التركيب البللوري لكلوريد السيزيوم .
10. يتبلور السيليكون على شكل التركيب الماسي بثابت بللوري يساوي 5.43 أنجشتروم . كم ذرة تحتويها الخلية الإبتدائية ؟ وكم عدد أقرب الجيران C.N ؟ إحسب المسافة بين أقرب الجيران , نصف قطر الذرة & معامل الحشر pf .
11. أوجد النسبة المثالية للشبكية السداسية ذات التركيب المكثف , وقارنها مع قيمها للعناصر التالية : . ما تفسيرك للإنحراف عن القيمة المثالية .

**الحل :**

النسبة المثالية للتركيب السداسي ذي الرص المكثف يمكن حسابها بإستخدام كرات صلبة مرصوصة في شبكية سداسية (الشكل المقابل) , فإذا كان نصف قطر الكرة r , فإن البارامتر a (b =) والبارامتر c يمكن كتابتهما بدلالة r كما يلي :

والنسبة نادرا ما تكون مثالية , وذلك بسبب تصرف المواد من حيث الإنزلاق على الأقل .

1. أ- اثبت أن ثابت الشبكية للشبكية المكعبة يعطى كالتالي :

حيث - عدد الذرات في خلية الوحدة , الوزن الذري , عدد أفوجادرو , كثافة المادة .

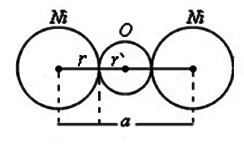
1. أوجد ثابت الشبكية للحديد ذي التركيب متمركز الحجم إذا علمت أن كثافته ووزنه الذري .

الحل :

1. يحتوي الحجم المولاري (حجم مول واحد ويساوي ) على ذرة . أي أن عدد الذرات في وحدة الحجوم = . وبطريقة أخرى , فإن عدد الذرات في وحدة الحجوم يساوي عدد الذرات في خلية الوحدة مقسوما على حجم الخلية أي يساوي .

1. ثابت الشبكية للحديد :

1. NiO ملح صخري , له تركيب بللوري مكعبي من النوع F.C.C (مثل NaCl) ذو ثابت شبكية وكثافته . أوجد :
2. حجم خلية الوحدة . ب- مجموع نصفي القطر
3. الكثافة في حالة البللورة التامة *.*
4. *نسبة المواضع الخالية (الفراغات) إلى المواضع الكلية في المادة .*

الحل :

1. حجم وحدة الخلية هو :

1. الكثافة في حالة البللورة التامة :

بما أن وحدة الخلية تحتوي على 4 عقد , كل عقدة مكونة من ذرة + ذرة O

بمقارنة كثافة البللورة التامة مع الكثافة المعطاة للبللورة الحقيقية يتضح أن تكون الفراغات يكون مصحوبا بنقص الكثافة .

1. وتعطى نسبة الفراغات في المادة (نسبة المواضع الخالية إلى المواضع الكلية) كالتالي :

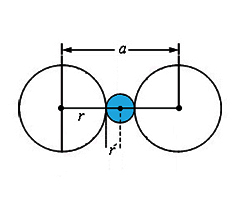
نسبة الفراغات في المادة

أي أن نسبة الفراغات في حدود 2% من المادة .

1. كثافة الألومنيوم تساوي وتركيبه البللوري من النوع F.C.C ووزنه الذري 26.98 . إحسب :
2. كم عدد الذرات في من هذا المعدن ؟
3. حجم الخلية الإبتدائية (خلية الوحدة) للألومنيوم .
4. نصف قطر ذرة الألومنيوم .
5. معامل الحشر الذري .
6. أوجد نصف قطر الكرة التي يمكن بالكاد حشرها في مركز الجسم للتركيب F.C.C .

الحل : أ- الحجم المولاري يحتوي على عدد أفوجادرو .

أذن يحتوي على عدد *n* ذرة , حيث :

1. 







**الباب الثالث**

**الشبكية المعكوسة**

**Reciprocal Lattice**

**3.1 مقدمة :**

تنبع أهمية الشبكية المعكوسة من كونها الأساس فى تحليل التركيب الدورى للبلورة , فهى على سبيل المثال تستخدم بصورة أساسية فى نظرية الحيود فى البللورات وفى النظرية الكمية للمعادن , كما أن العديد من الخصائص البللورية الهامة يتحتم لفحصها ﺇستخدام مفهوم الشبكية المعكوسة .

والشبكية المعكوسة للبلورة الأحادية المثالية (التى تتكرر بنيتها فى ثلاثة إتجاهات) تكون عبارة عن تنظيم لانهائي فى ثلاثة أبعاد , وتكون فيها المسافات بين المستويات متناسبة عكسيا مع المسافات بين المستويات فى الشبكية الأساسية. ومعنى ذلك أن المتجهات فى الفراغ الحقيقى لها أبعاد الطول ((L بينما يكون لها فى الفراغ المعكوس أبعاد مقلوب الطول(1-L) . وفى الواقع , فالشبكية المعكوسة تستمد مفهومها من أنه بدلا من وصف الموجة المتحركة خلال الشبكية البللورية بدلالة طولها الموجي (¸ mλ( يستخدم المتجه الموجى الذي قيمته K = 2π/λ¸ m-1 .

وبشكل أوضح , إذا كانت مواضع الذرات أو الجزيئات أو الآيونات المكونة لعقد الشبكية البللورية يمكن وضعها في الفراغ الحقيقي المعرف بالمحاور x, y, z مثلا , كما سبق دراسته , فإن الجسيمات مثل الإلكترونات , الفجوات , الفونونات ... إلخ يمكن وصفها في الفراغ المعكوس من خلال مايعرف بعلاقة التشتت بين طاقة الجسيم والمتجه الموجي , مما يتيح دراسة الخصائص الإنتقالية transport properties للمواد الصلبة .

**3.2 تعريف الشبكية المعكوسة :**

ﺇذا كانت لدينا مجموعة من النقط تمثل شبكية براڤى , فإنه يمكن لموجة مستوية عند اختيار معين لقيمة المتجه الموجيk = K أن تأخذ دورية هذه الشبكية . تسمى مجموعة المتجهات **K** فى هذه الحالة بمتجهات الشبكية المعكوسة . وبطريقة أخرى , فإن مجموعة المتجهات **K** تمثل الشبكية المعكوسة ﺇذا كانت الموجة المستوية عندما **k = K** تمتلك دورية شبكية براڤي (شكل) , وهذا يتحقق إذا كان لأي وكل من شبكية براڤي يكون صحيحا أن :

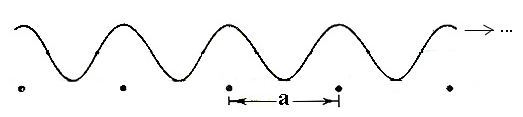
وبقسمة الطرفين على فإن :

أى أن الشبكية المعكوسة تمثل بمجموعة المتجهات الموجية المعرفة بالعلاقة )) لكل قيم الخاصة بشبكية براڤي الأصلية , والتي يمكن ﺇعادة صياغتها بالصورة الآتية :

ويتحقق ذلك فقط اذا كان :

**K**. = 2π (3-3)

حيث عدد صحيح .

r r+a ……………. r+

شكل (3-1) :الموجة المستوية تمتلك دورية شبكية براڤي عندما **k = K** .

**3.3 الشبكية المعكوسة نوع من أنواع شبكيات براڤي**

المتجه (كأي متجه فراغي) يمكن كتابته في صورة خطية بدلالة مركباته الثلاثة كالتالي :

(3-4) **K**= 1**b1**+2**b2**+3**b3**

حيث **b1**, **b2** , **b3** ثلاثة متجهات لا تقع كلها فى مستوى واحد.فإذا كانت العوامل 1,2,3 تمثل أعدادا صحيحة , فإنه بواسطة مجموعة المتجهات **K** يمكن الحصول على شبكية في الفراغ المعكوس ذات عناصر متكافئة فراغيا من حيث الموضع والاتجاه , وبالتالي تحقق تعريف براڤي للشبكية الفراغية .

**3.4 العلاقة بين متجهات الشبكيتين الأساسية والمعكوسة**

**قاعدة 1** : متجهات الشبكية المعكوسة ترتبط مع المتجهات الأساسية بالعلاقة التالية :

.= 2πδij ; δij = **b**1.**a**1= **b**2.**a**2 = **b**3.**a**3 = 2π i.e

**b**1.**a**2 = **b**2.**a**3 =**……**= 0 &

حيث,j تأخذان قيماً صحيحة من ٳلي , δij يعرف بعدد كرونكر (Cronker number) . ويكفي لٳثبات هذه القاعدة أن نبرهن أن العلاقة () تحقق التعريف () .

,

وبإستخدام القاعدة , فإن :

=

حيث (1n1 + 2n2 + 3n3)تمثل عدداً صحيحاً , لذلك فٳن العلاقة () تكون ناشئة أصلاً من التعريف () .

دعنا الآن نوجد علاقة بسيطة ومباشرة بين المتجهات .

**b**1.**a**1=*2π*

2π =

وكما هو واضح من العلاقة () أن :

فٳن يكون عمودياً على كل من , , أي يكون موازيا ًللمتجه العمودي على مستويهما , وفي نفس الوقت يتقاطع مع المتجه , نفرض أن الزاوية بينهما هي , لذلك يمكن ٳعادة كتابة العلاقة () كالآتي :

وبضرب طرفي العلاقة السابقة في وحدة المتجه  (في ٳتجاه ) نحصل على :

وبالمثل يمكن ٳثبات أن :

حيث تمثل حجم الخلية الإبتدائية "V" للشبكية الأساسية , تمثل حجمها "Vr" للشبكية المعكوسة , فٳذا كانت الخليتان من النوع المكعبي فٳنه يمكن إثبات أن حجميهما يرتبطان بالعلاقة . Vr =

**قاعدة 2:"** معكوسة الشبكية المعكوسة هي نفس الشبكية الأصلية" .

رغم أنه يمكن ٳثبات هذه القاعدة في الحالة العامة , ٳلا أننا هنا سوف نكتفي بٳثباتها في حالة الشبكية كمثال .

تعطى متجهات الشبكية المعكوسة بدلالة المتجهات الأساسية للشبكية كالآتي :

*وبالتعويض عن متجهات الشبكية الأساسية من العلاقات* (2-4) *نجد أن :*

وبالمثل يمكن ٳثبات أن :

*,*

أي أن الشبكية المعكوسة للشبكية هي شبكية من النوع .

فٳذا كانت هي متجهات معكوسة الشبكية المعكوسة فٳنه يمكن ٳيجادها كالتالي :

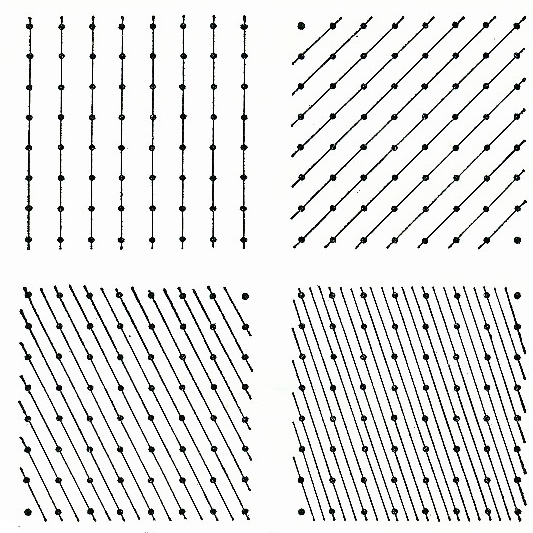
وبالمثل يمكن ٳثبات أن :

أي أن معكوسة الشبكية المعكوسة هي نفسها الشبكية الأصلية .

**3.5 مناطق بريليون Brillouin zones**

خلية ويجنر- زايتزللشبكية المعكوسة التي يمكن الحصول عليها بنفس الكيفية كما في حالة شبكية براڤي الأساسية تسمى منطقة بريليون الأولي , كما أن خلايا ويجنر- زايتز من الرتب الأعلى تعطي المناطق الأعلى لبريليون .

**3.6 المستويات الذرية (أو البللورية) Atomic planes**

المستوى الذري هو أي مستوى يربط بين ثلاث نقط غير واقعة على خط مستقيم واحد في شبكية براڤي الأساسية , وتسمي مجموعة المستويات المتوازية والتي تشمل كل نقط الشبكية الفراغية بعائلة المستويات الذرية , كما يعتبركل مستوى ذري عضواً في عائلة معينة للمستويات الذرية (شكل ) . وٳتفق على تعريف المستوى بالأعداد وهي أصغر الأعداد الصحيحة لمقلوبات الأجزاء المقطوعة بواسطة المستوى من المحاور الأساسية .

شكل (3-2) : عائلات من المستويات الذرية .

**قاعدة(3)** : مجموعة المتجهات لمعكوسة الشبكية التي ينتمي ٳليها المستوى الذري تعطي بالعلاقة , حيث هي أصغر الأجزاء المقطوعة من المحاور .

**البرهان**: بما أن المستوى هو المستوى الذي يقطع المحاور في الأجزاء, لذلك فٳن مجموعة متجهات الشبكية الأساسية التي ينتمي لها هذا المستوى تكون كالتالي :

حيث أي عدد صحيح .

وتتحقق العلاقة السابقة عندما تأخذ كل من إحدي القيم التالية :

ولوصف الشبكية تؤخذ عادة أصغر القيم , أي أن :

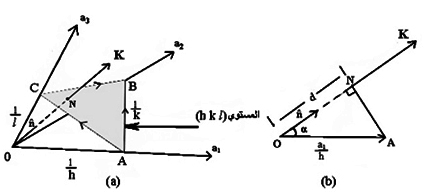
وبالتالي فٳن مجموعة المتجهات تأخذ الصورة التالية :

**نظرية** : "لكل عائلة من المستويات الذرية التي يبعد كل عضو فيها عن المجاور له بمسافة توجد شبكية معكوسة المتجه الأساسي لها عمودي على هذه المستويات وأقصر طول له يساوي " .

**البرهان :** نعتبر عائلة المستويات الذرية الذي يمثل المستوى أحد أعضائها , حيث يبعد مسافة عن المستوى المجاور الذي ٳختيرت عليه نقطة الأصل 0 شكل (3-3.a) , وبما أن هذا المستوى يقطع الأجزاء (مقدرة بطول ضلع الخلية الإبتدائية) من المحاور البللورية على الترتيب , فإن متجه الشبكية المعكوسة لهذه الشبكية يكون هو .

والمطلوب الآن ﺇثبات :

**أولا** : أن المتجه عمودي على المستوى , ويكفي لذلك ٳثبات أن عمودي على أي مستقيمين في هذا المستوى .

**ثانيا** : أن أقصر طول للمتجه هو .

شكل (3-3) : علاقة متجه الشبكية المعكوسة بعائلة المستويات الذرية .

من الشكل (3-3.a) يتضح أن : 

,

,

أي أن عمودي على المستوى وهو المطلوب أولاً .

وبٳعتبار شكل (3-3.b) فٳن :

,

وهو المطلوب ثانياً .

**وصف المستوى البللوري بواسطة معاملات ميللر Miller indices**

مما سبق يتضح مايلي :

1. المستوى الذي يقطع الأجزاء مقدرة بدلالة ثابت الشبكية المكعبة (a) يرمز له بالرمز حيث تسمي معاملات ميللر.
2. المستوى الذري يكون عمودياً على متجه الشبكية المعكوسة , حيث من تعريف الشبكية المعكوسة لابد أن تكون كل من أعدادا صحيحة .
3. معاملات ميللر يمكن تعيينها بأخذ مقلوب الأجزاء المقطوعة من المحاور بواسطة المستوى ثم تحويلها ﺇلي أعداد صحيحة , فمثلا إذا كانت القيم المقطوعة (بدلالة ثابت الشبكية) بواسطة مستوى معين من المحاور هي 4,1,2 على الترتيب , فإنه يمكن إيجاد معاملات ميللر التي يعرف بها هذا المستوى كالتالي :

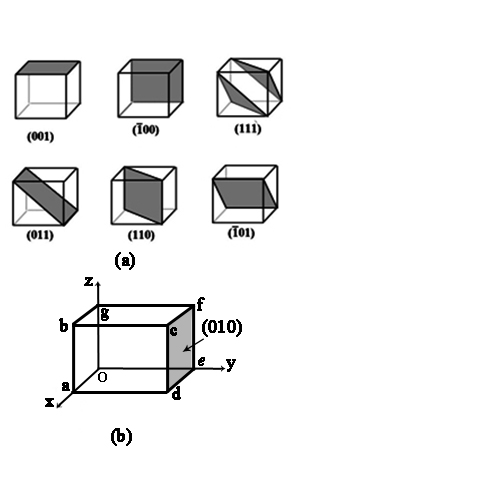
|  |  |
| --- | --- |
| الأجزاء المقطوعة بدلالة ثابت الشبكية هي | 4,1,2 |
| مقلوب هذه القيم | **½** ,1, **¼** |
| أقل أعداد صحيحة نحصل عليها بالضرب 4 | 1,4,2 |
| أي أن المستوى الذي يعرف بمعاملات ميللر | (142) |

**ملحوظات** :

1. معاملات ميللر تستخدم فقط في حالة المحاور المتعامدة .
2. المستوى الذي يقطع محورا ما في يكون معامل ميللر له يساوي صفراً .
3. معاملات ميللر تصف مستوى واحد أو عائلة من المستويات المتوازية .
4. إذا قطع مستوى أحد المحاور عند قيمة سالبة , فإن معامل ميللر له سيكون سالباً , وتوضع علامة السالبية فوق المعامل .

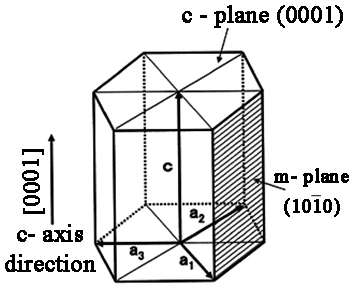
شكل (3-4.b) يبين بعض الأمثلة للمستويات في بللورة مكعبة , كما تعطي معاملات ميللر لبعض أوجه الشبكية البللورية المكعبة في الجدول التالي :

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **bcfg** | **Cdef** | **abcd** | **وجه المكعب** |
| , ,1 | ,1, | 1, , | الأجزاء المقطوعة مقدرة بدلالة ثابت الشبكية من المحاورx,y,z |
| 0,0,1 | 0,1,0 | 1,0,0 | مقلوب هذه الأجزاء |
| 0,0,1 | 0,1,0 | 1,0,0 | أقل أعداد صحيحة |
| (001) | (010) | (100) | تعريف المستوى |

1. الأوجه oade , oabg , oefg تقطع أجزاءً من المحاور مقاديرها هي (,, 0 )& ( , 0 , ) & ( 0 , ,) على الترتيب , أي أن كلا منها يقطع جزء مقداره الصفر من المحور العمودي عليه , والذي يكون معامل ميللر له يساوي (وهي كمية غير معينة) , لذلك لتعريف أي مستوى من هذه المستويات نتصور أننا حركنا المستوى الموازي له في الإتجاه السالب للمحور العمودي بمسافة تساوي البعد بين هذين المستويين , أو نتصور أننا نقلنا نقطة الأصل ﺇلي المستوى الموازي له حيث تصبح الأجزاء المقطوعة بواسطة هذه المستويات هي : &&وبالتالي يمكن تعريفها بالمعاملات ,, على الترتيب .
2. المستويات المتكافئة من حيث التماثل يمكن تعريفها بالصورة , لذلك يمكن التعبيرعن أوجه المكعب الستة بالدلالة .

شكل (3-4) : بعض المستويات الذرية

في البللورة المكعبة .

1. **إتجاه المستوى البللوري** يحدد بإتجاه العمودي عليه . ويستخدم الرمز للدلالة على هذا الإتجاه , فمثلاً الصورة تدل على إتجاه المستوى أي اتجاه العمودي عليه , وهو إتجاه المحور x شكل (3- 4).
2. *في حالة التركيب البللوري السداسي تستخدم أربعة معاملات هي لتعريف المستوى , حيث لتقابل المحاور .* المحاور *تقع على قاعدة المنشور ويصنع كل منها زاوية مع الآخر , والمحور الرابع* عمودي على مستوى هذه القاعدة ( شكل 3-5) . لذلك , يكون مستوى القاعدة والموازي للمحاور *معرفا بالمعاملات* (0001) *, والأوجه الجانبية للمنشور تكون معرفة بمعاملات من النوع .*

شكل (3-5):معاملات ميلر للتركيب السداسي

**المسافة بين المستويين الذريين المتجاورين بدلالة معاملات ميللر**

المتجهات الأساسية للخلية المكعبة البسيطة يمكن كتابتها كالتالي :

وبما أن متجه الشبكية المعكوسة يعطى كالتالي :

وبما أن :

وبالمثل نجد أن :

**المسافة البينية لبعض النظم البللورية**

بإعتبار أن المحاور الأساسية لهذه الأنظمة هي  **a** , **b** , **c**فإنه يمكن تلخيص علاقة المسافات البينية بمعاملات ميللر لبعض الأنظمة البللورية كالتالي:

1. النظام المعيني القائم :

1. النظام الرباعي القائم :

1. النظام السداسي :

**الزاوية بين مستويين بللوريين**

لإيجاد الزاوية بين المستويين , نوجد الزاوية بين العمودين عليهما . لنفرض أن العمودي على المستوى الأول هو :

والعمودي على المستوى الثاني هو :

حيث هي وحدات لثلاثة متجهات لا تقع كلها في مستوى واحد .

حيث :

**أسئلة وتمرينات**

1. أ- ما هو مفهوم الشبكية المعكوسة ؟ ومما تنبع أهميتها ؟
2. اثبت أن الشبكية الأساسية المتمثلة بمجموعة المتجهات يمكن تعريف الشبكية المعكوسة لها من خلال العلاقة التالية :

حيث متجه الشبكية المعكوسة .

1. بين أن الشبكية المعكوسة تعتبر نوعا من أنواع شبكية براڤي , وأثبت أن حجمي خليتيهما يرتبطان بالعلاقة . حيث , هما حجما خلية الوحدة للشبكيتين الأساسية والمعكوسة على الترتيب .
2. أوجد العلاقة بين متجهات الشبكية المعكوسة ومتجهات الشبكية الأساسية .
3. أوجد الشبكية المعكوسة للشبكيات S.C , B.C.C & F.C.C واثبت أن معكوسة الشبكية المعكوسة هي نفس الشبكية الأساسية . أوجد حدود منطقة بريليون الأولى لهذه الشبكيات .
4. أثبت أن : أ- المتجه لمعكوسة الشبكية التي ينتمي إليها المستوى يعطى بالعلاقة :

حيث *h , k* , هي أصغر الأجزاء المقطوعة من المحاور .

1. إثبت أن متجه الشبكية المعكوسة عمودي على المستوى .
2. اوجد المتجه العمودي على كل من المستوى (111) والمستوى (100) للشبكية S.C .
3. إثبت أن المسافة بين المستويين المتوازيين المتجاورين في الشبكية البللورية هي .
4. إثبت أنه للشبكية المكعبة البسيطة يكون .
5. ما المقصود بمعاملات ميلر ؟ كيف يمكن إستخدام هذه المعاملات في وصف :
6. المستويات الممثلة للأوجه الست لخلية مكعبة .
7. المستويات الممثلة لأوجه خلية سداسية .
8. بدلالة معاملات ميلر أوجد :
9. البعد بين أي مستويين ذريين متجاورين في شبكية مكعبة .
10. الزاوية بين أي مستويين بللوريين .
11. أ- إذا كان & حيث هي وحدات متجه لثلاثة متجهات لا تقع كلها في مستوى واحد . إثبت أن الزاوية بين المتجهين , يمكن إيجادها من خلال العلاقة الآتية :

1. أوجد الزوايا بين المتجهات الأساسية للخلية الإبتدائية للشبكيتين . B.C.C &F.C.C

ج- إذا كانت الزوايا بين روابط التركيب الرباعي للماس هي نفس الزوايا بين أقطار الشكل المكعب , فأوجد بإستخدام المتجهات قيم هذه الزوايا .

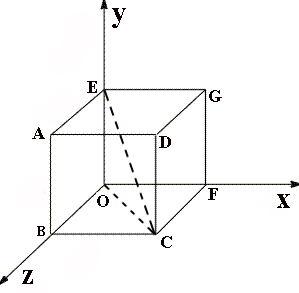
**الحل :** (أ)

,

(ب) في حالة الشبكية F.C.C يكون :

وتعطي الزاوية بين المتجهين كالآتي :

وبالمثل لباقي المتجهات .

(ج)يعطى متجها قطري المكعب **EC** , **GB** كما في الشكل التالي , حيث :

1. إذا كانت متجهات الخلية الأولية للشبكية الفراغية السداسية تعطي كالآتي :

1. أوجد الزوايا بين هذه المتجهات .
2. إثبت أن حجم الخلية الأولية يساوي .

ج – إثبت ان متجهات الخلية الأولية للشبكية المعكوسة هي :

د- أوجد حدود منطقة بريليون الأولي للشبكية الفراغية .

**الحل**

(د) : حدود منطقة بريليون الأولي للشبكية الفراغية السداسية هي المستويات العمودية المنصفة لمتجهات الخلية الأولية للشبكية المعكوسة , أي تكون كالتالي :

,

**الباب الرابع**

**حيود أشعة إكس فى البللورات**

**X-ray diffraction in crystals**

**4.1 مقدمة**

بسبب تركيبها الدوري البللوري يمكن للشبكية البللورية أن تعمل كمحزوز جيد لحيود الموجات diffraction grating . ولما كان ثابت الشبكية في حدود Å1 فإن الحيود يحدث على البللورة عندما يكون الطول الموجي لجسيمات الأشعة الساقطة يساوي تقريبا أو أقل من Å1 . ويستخدم عادة لهذا الغرض حيود الإلكترونات أو النيترونات أو الفوتونات , حيث يعطي كل منها معلومات هامة عن خصائص التركيب البللوري للأجسام الصلبة . ولتحديد نوع هذه المعلومات التي نحصل عليها يلزم حساب الطاقة (التقريبية) المطلوب سقوطها في كل حالة للحصول على محزوز حيود جيد .

1. الطاقة في حالة الإلكترونات :

1. الطاقة في حالة النيترونات :

1. الطاقة في حالة الفوتونات :

وهذه القيمة للطاقة تتوافر للأشعة السينية (X- Rays) .

لذلك , لدراسة الحيود عند الطاقات المنخفضة يستخدم شعاع إلكتروني ذو طاقة تقع في المدى 20 – 50 eV , . وبسبب كبر مقطع الإستطارة (cross section) لذرات البللورة في حالة الطاقات المنخفضة للإلكترونات , فإن الإلكترونات الساقطة لاتستطيع التغلغل إلى عمق البللورة . لذلك , فإن حيود الإلكترونات ذات الطاقات المنخفضة تعتبر تقنية هامة لدراسة التركيب السطحي للجوامد .

أما النيترونات فلها تأثيران على البللورة هما : توزيع الأنوية وتوزيع التمغنطية الإلكترونية , لذلك فإن حيود النيترونات على البللورات المغناطيسية يتيح تحديد التوزيع والتوجيه والترتيب للعزوم المغناطيسية . أي أن حيود النيترونات تعتبر تقنية مناسبة لدراسة التركيب للبلورات المغناطيسية .

ولما كانت طاقة أشعة – X تساوي عدة آلاف من الإلكترون فولت , حيث تقابل طول موجي في حدود , والذي يعتبر في نفس الرتبة لقيمة المسافة البينية للمستويات الذرية البللورية , لذلك تعتبر أشعة – X مناسبة بشكل نموذجي لدراسة التركيب الشبكي للأجسام البللورية . وتوجد طريقتان متكافئتان لدراسة حيود أشعة إكس على التركيب البللوري هما طريقة براج وطريقة لاوي .

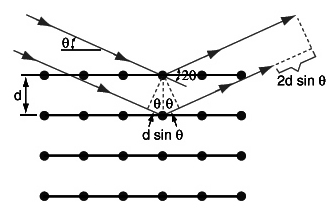
**4.2 طريقة براج Bragg method**

فى عام 1913 وجد براج أن المواد ذات التركيب البللورى تعطى نموذجا للتداخل يعكس صفات مادة البللورة , فعندما تسقط الأشعة السينية على أى ذرة متعادلة , فإن مجالها الكهرومغناطيسى المتردد يتسبب فى ﺇحداث ﺇستقطاب متردد داخل الذرة , وفى هذه الحالة فإن الذرات المستقطبة تعمل كمتذبذبات كهربية (electric oscillators) حيث تشع موجات لها نفس تردد الموجة الساقطة. ونتيجة لتداخل الأشعة المنعكسة من المستويات البللورية يمكن الحصول على علاقة تربط المسافة بين المستويات dhkl بزاوية سقوط الأشعة θ وطولها الموجى λ , ومنها يمكن ﺇيجاد قيمة dhkl , هذه العلاقة تسمي قانون براج للتداخل البناء.

**قانون براج Bragg law**

أعتبر براج أن البللورة عبارة عن رصة من المستويات الذرية المتوازية والتى يبعد كل منها عن المستوى المجاور له بالمسافة , فإذا سقطت موجة طولها الموجى λ بزاوية θ على المستويات البللورية (شكل(4-1 , فإن الإشعاعات الذرية تنعكس من المستويات المتعاقبة لتنتج الموجة المنعكسة , حيث ﺇفترض براج أن :

1. الشعاع الساقط على المستويات البللورية ينعكس منه جزء صغير كلما ﺇلتقى بأحد المستويات , بينما يمر الجزء الأعظم ﺇلى بقية المستويات , أى أنه ﺇعتبر أن المستوى الذرى يعمل كلوح من الزجاج المرسب عليه طبقة رقيقة من الفضة حيث يعكس جزء صغيرا من الأشعة الساقطة عليه وينفذ الباقي .
2. الإنعكاس الحادث على المستوى هو ﺇنعكاس مرن , بمعني أن الطاقة (وبالتالي الطول الموجي) للشعاع الساقط لا تتغير عند إنعكاسه , وذلك لأن الإنعكاس يحدث على ذرة مفردة . ومن نظرية التداخل , فإن التداخل البناء بين الأشعة المنعكسة من الأسطح المتوالية يحدث عندما يكون فرق المسار(Path difference P.D) بين الشعاعين المنعكسين من أي مستويين متواليين يساوي عددا صحيحا n من الأطوال الموجية للشعاع المستخدم .

وهو ما يسمى بقانون براج للتداخل البناء , وتسمي بزاوية براج .

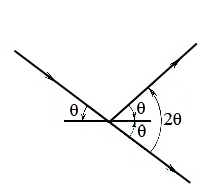
شكل (4-1) : قانون براج

للتداخل البناء .

**زاوية براج**

هي زاوية إنعكاس (أو سقوط) الشعاع على المستوى البللوري وتساوي نصف زاوية الحيود (شكل4-2) , ويشترط أن تكون زاوية حادة حتى يمكن للشعاع الساقط أن يتعامل مع كل المستويات البلورية , وبالتالي يمكن تحليل التركيب الداخلي للبللورة . وعندما فإن Sin < 1 , بإستخدام قانون براج نجد أن :

(4-3)2d > n λ

 فإذا كانتn =1 فإن قانون براج يصبح صالحا ﺇذا كانت الأشعة المستخدمة لها طول موجي أقل من ضعف المسافة البينية للمستويات الذرية .

شكل (4-2) : زاوية براج .

**4.3 طريقة لاوي Laue method**

إعتبر لاوي أن البللورة مكونة من نقط متشابهة تمثل عقد شبكية براڤي , وأن هذه النقط تعتبر مراكز لتشتت الأشعة الساقطة . كما ﺇعتبر أن كل مركز من هذه المراكز يسبب تشتت الشعاع الساقط عليه في كل الإتجاهات . وأكبر قمة للتداخل يمكن ملاحظتها فقط لتلك الإتجاهات وتلك الأطوال الموجية التي عندها كل الأشعة المنعكسة من كل نقط الشبكية تشارك في ﺇعطاء تداخل بناء.

ولإيجاد شرط التداخل البناء نعتبر مركزي التشتت المزاحين عن بعضهما بطول المتجه**d**  (شكل 4-3) . ولنفرض أن المصدر يسقط أشعته السينية من بعد لانهائي في الاتجاه بطول موجي (أي بمتجه موجي ) وأن الأشعة تتشتت فى الإتجاه بطول موجى λ أيضا (حيث أن الإنعكاس يعتبر إنعكاسا مرنا) أي بمتجه موجي , ويحدث التداخل البناء عندما يكون فرق المسار بين الأشعة المنعكسة مساويا عددا صحيحا من الأطوال الموجية , أي أن :

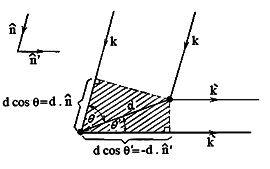
P. D = d cos θ + d cos

وبضرب طرفى المعادلة فى نحصل على :

(4-5) **d**. (-) = 2π

فإذا ﺇعتبرنا أن عدد مراكز التشتت لانهائى , وأن مواضع هذه المراكز تتمثل بعقد شبكية براڤي المزاح كل منها عن الأخرى بمتجه الشبكية , فإن التداخل البناء لكل الأشعة المرتدة يتمثل فى تحقيق العلاقة 4-5)) لكل قيم **d** والتى تمثل متجهات الشبكية لبراڤى .

(4-6) i.e .(-) = 2π والعلاقة (4-6) يمكن كتابتها بالصورة الأسية الآتية :

شكل (4-3) : شرط لاوي

للتداخل البناء .

وبمقارنة العلاقة 4-7)) بتعريف الشبكية المعكوسة المعطى بالعلاقة (3-2) نصل ﺇلى ﺇستنتاج لاوى الآتي : "للحصول على تداخل بناء لابد أن يكون تغير المتجه الموجى للشعاع الساقط بعد ﺇرتداده مساويا لقيمة متجه الشبكية المعكوسة " أى أن :

- = **K** (4-8)

وهو شرط لاوى للحصول على تداخل بناء .

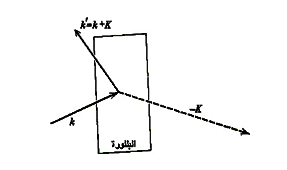
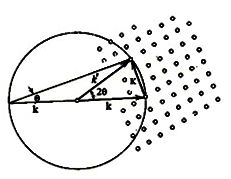
**تكوين الموجة الحائدة**

بديهيا أن الموجة المستوية الحرةالمصاحبة للفوتون الساقط بكمية حركةتختلف عنها داخل البللورة , حيث تعدل بواسطة المجال الدورى للإلكترونات أو بواسطة الخواص الضوئية للبلورة , أى أن :

حيث ثابت يعتمد على توزيع الكثافة الإلكترونية .

ومن ذلك فإن الموجة المستوية فى البللورة تملك مركبات ﺇضافية للمتجة الموجى , هذه المركبات تكون الموجة الحائدة , والتى تعمل كما لو كانت فوتونا له كمية حركة مركبة (شكل 4-4) .

وشرط حفظ كمية الحركة للنظام يتحقق فقط ﺇذا أعطت البللورة للفوتون الساقط كمية حركة ﺇضافية مقدارها . هذا العطاء أمكن تسجيله فى بعض الحالات , ﺇلا أن سرعة العطاء من بللورة كتلتها m تساوي1gm لتسبب ﺇنعكاسا لشعاع له طول متجه موجى للشبكية المعكوسة K= هو :

وهى قيمة صغيرة جدا لا يمكن تسجيلها .

(b) a))

شكل (4-4) : تأثير الخواص البللورية وتكوين الموجة المرتدة (a)

بمتجه موجي (b).

**صورة أخرى لشرط لاوى**

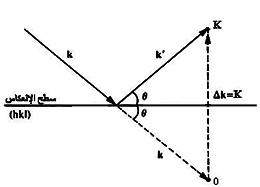
تبين مما سبق أنه لحدوث التداخل البناء يجب أن يتغيرمتجه الموجه للشعاع الساقط عند ﺇرتداده بمقدار يساوى متجه الشبكية المعكوسة.

وبأخذ القيمة القياسية للطرفين فان:

وبتربيع الطرفين نحصل على :

فاذا سقط شعاع بمتجه موجى على سطح ذرى مستوى وﺇنعكس بالمتجه (شكل4-5) , فإنه من العلاقة (4-9) يكون مسقط المتجه فى ﺇتجاه المتجه يساوى نصف قيمة K .أى أن العلاقة (4-9) يمكن تمثيلها بالشكل الهندسي المبين بالرسم (4-5) والذى نستنتج منه ما يلي :

1. هو ذلك المتجه العمودى على سطح الانعكاس والذى يغير ﺇتجاه الشعاع الساقط من الاتجاه الى الاتجاه .
2. بما أن مسقط المتجه للشعاع الساقط فى إتجاه المتجهينصف قيمة الطول , فإن ذلك يعنى أن سطح الانعكاس ينصف المتجهالمتعامد عليه .
3. لما كانت قيمه المتجه تبدأ من النقطة فان هذه النقطة يمكن ﺇعتبارها نقطة بداية (نقطة الأصل) فى الفراغ وأن النقطتين هما نقطتان من نقط الشبكية المعكوسة (أنظر شكل 4-4.a) .
4. المتجه الموجى للشعاع الساقط يحقق شرط لاوى المعطى بالعلاقة (4-9) فقط ﺇذا وقعت نهايته على سطح الانعكاس .
5. سطوح الانعكاس تسمى فى الفراغ بمستويات براج .



شكل (4-5): صورة أخرى

لقانون لاوي .

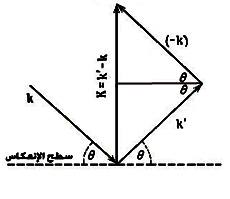
**4.4 تكافؤ شرطى لاوى وبراج**

يأتى تكافؤ شرطى لاوى وبراج للتداخل البناء للأشعة السينية المنعكسة على البللورات من العلاقة بين متجهات الشبكية المعكوسة وعائلات المستويات الذرية .

نفرض أن هما متجها الموجتين الساقطة والمنعكسة على الترتيب , حيث يحققان شرط لاوى للتداخل البناء عندما يكون كما بينا آنفا . ولما كان الانعكاس هو ﺇنعكاس مرن , فان طولى المتجهين , يكونان متساويين , وبالتالى فانهما يصنعان زاويتين متساويتين مع سطح الانعكاس (شكل 4-6) . وبما أن الشبكية المعكوسة تعتبر نوعا من أنواع شبكية براڤى , فإنه ﺇذا كان متجها لها فان يكون إمتدادا لنفس المتجه , وبالتالي يمكن كتابة العلاقة السابقة بالصورة  *,* ويتمثل المتجه بالمتجه العمودى على السطح العاكس المبين بشكل (4-6) .

ولما كان طول المتجه يساوى عددا صحيحا n من أصغر قيمة له , فإن :

حيث d هى المسافه بين أى مستويين متجاورين ومتعامدين على . ومن الشكل (4-6) نجد أن :

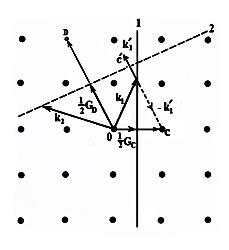


شكل (4-6): تكافؤ شرطي لاوي

وبراج للتداخل البناء .

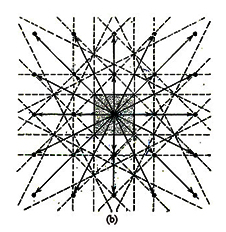
وهو شرط التداخل البناء للأشعة المنعكسة لبراج .أى أن شرطي لاوى وبراج متكافئان , وهذا يعني أن القمة الناشئة من التداخل البناء للأشعة المنعكسة والتى يحدث عندها تغير فى المتجه الموجى بالمقدار تبعا لشروط لاوى تكون هى نفسها القمة الناشئة من التداخل البناء للأشعة المنعكسة من عائلة المستويات الذرية فى الشبكية الأصلية لبراڤى . والرتبة n فى ﺇنعكاس براج تساوي طول المتجه مقسوما على طول المتجه , حيث هو أصغر متجه للشبكية المعكوسة يوازى المتجه .

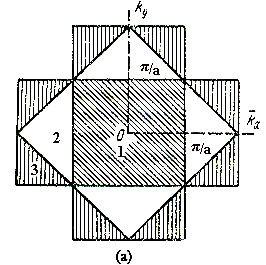
**4.5 مناطق بريليون , وشرط لاوى**

علمنا أن منطقة بريليون لرتبة معينة هى عبارة عن خلية ويجنر- زايتز فى الشبكية المعكوسة لنفس الرتبة . ومنطقة بريليون المحددة بهذه الطريقة تتوافق مع شرط لاوى لحيود الأشعة فوق المستويات البللورية المعطى بالعلاقة(4-9) . فإذا ﺇعتبرنا شبكية معكوسة تتمثل عقدها بالنقط المبينة بشكل (4-7) , وأن المتجه يربط بين نقطتى الشبكية المعكوسة O, C, فإن المستوى (1) العمودى على هذا المتجه والمنصف له يعتبر حدا من حدود منطقة بريليون , وهو فى نفس الوقت يمثل مستوى براج (سطح الإنعكاس) , وأى متجه اختيارى من نقطة البدء O حتى مستوى براج يمكن أن يحقق شرط لاوى للحيود ويمثل متجه الموجة الساقطة. المتجه الموجى للموجة المنعكسة يكون فى ﺇتجاه المتجه (الإتجاه من نقطة وقوع متجه الموجه الساقطة على سطح براج الى النقطة (c`. والمنطقة الأولى لبريليون هى خلية ويجنر– زايتز التى تحددها المستويات المتعامدة على أصغر متجهات الشبكية المعكوسة والمنصفة لها (أى تلك المتجهات التى تربط بين عقد أقرب الجيران), وتنشأ المنطقة الثانية , والثالثة بواسطة المنصفات للمتجهات الأكبر فالأكبر التى تربط بين العقد الأبعد فالأبعد وهكذا (شكل 4-8) .

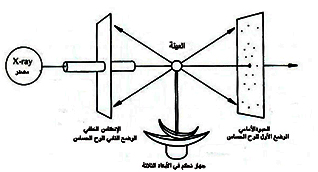
شكل(4-7): شرط لاوي ومناطق بريليون .

**4.6 بعض الطرق العملية لدراسة التركيب البللورى**

 نظرا لإمكانية تغير كل من الطول الموجى λ وﺇتجاه (زاوية) سقوط الأشعة θ فى قانون براج, فإنه يلزم تغيير ﺇحداهما مع تثبيت الأخرى . لذلك فإما نستخدم أشعة اكس عديدة الموجات والتى تحتوى على عدة أطوال موجية مع تثبيت زاوية السقوط , أو نستخدم أشعة اكس أحادية الطول الموجي مع تغيير زاوية السقوط . وسوف نتكلم بايجاز عن بعض الطرق المستخدمة فى هذا المجال .

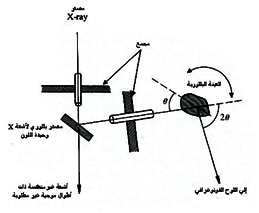
شكل(4-8) : مناطق بريليون الثلاثة الأولى (a) مستويات براج تمثل حدود مناطق بريليون (b) .

**طريقة لاوى Laue Method**

تعتبر من أبسط الطرق المستخدمة لدراسة التركيب البللورى (شكل 4-9) , حيث يسقط شعاع ضيق من أشعة اكس على عينة من البللورة الأحادية. ويحتوى هذا الشعاع على العديد من الأشعة مختلفة الطول الموجى , وتثبت زاوية السقوط . وعندما يتحقق قانون براج لأى طول موجى من الأطوال الخاصة بهذه الأشعة نحصل على نقاط الحيود مسجلة على اللوح الحساس . وهناك وضعان متكافئان لسقوط الأشعة يمكن عند أى منهما تثبيت اللوح لتسجيل مجموعة نقاط الحيود , التى تعطينا بدورها معلومات عن صفات وتركيب هذه البللورة الأحادية.

شكل(4-9) :طريقة لاوي.

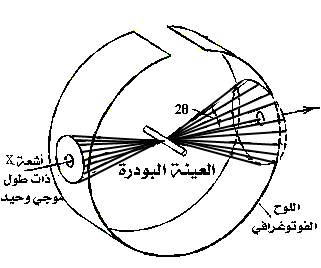
**طريقة البللورة الدوارةRotating crystal method**

 فى هذه الطريقة تتغير θ مع الزمن , وتكون الأشعة الساقطة على العينة أحادية الطول الموجي . شكل (4-10) يعطى رسما توضيحيا لهذه الطريقة , حيث نستخدم بللورة خاصة مثل الكوبلت للحصول على أشعة إكس بطول موجى وحيد . ومع دوران العينة تتغير الزاوية θ , ويوضع حول العينة لوح فوتوغرافي على شكل ﺇسطوانة ينطبق محورها مع محور دوران البللورة , وتسجل نقاط الحيود كلما تحقق قانون براج على الفيلم الحساس . وتكون الزاوية بين الشعاع الساقط والشعاع المنعكس هى .2θ

شكل(4-10) : طريقة البللورة

الدوارة .

**طريقة المسحوق Powder method**

 وتسمى بطريقة ديباى- شيررDebye-Scherrer , وفيها بدلا من ﺇستخدام اشعه اكس ذات الموجة الواحدة وزاوية متغيرة مع الزمن , نضع عينة بللورية تحتوى على كل الزوايا θ فى آن واحد . لذلك تطحن العينة البللورية لتكوين العديد من القطع البللورية الصغيرة التى يكون لها مختلف الإتجاهات . وعندما يتحقق قانون براج فإن الأشعه تنعكس فى شكل مخروط قاعدته عند اللوح الحساس ورأسه عند العينة , ويقوم شريط اللوح الفوتوغرافى بتسجيل الأشعة الساقطة عليه . وعن طريق فحص الشريط يمكن الحصول على معلومات كافية لمعرفة التركيب البللورى (شكل4-11) .

شكل(4-11) : طريقة المسحوق .

وعموما , يمكن باستخدام هذه الطرق الحصول على المعلومات التالية :

1. التمييز بين المواد البللورية والمواد الأمورفية .
2. تحديد أبعاد وحدة الخلية ونوع الشبكية للحالات البسيطة .
3. فحص ومتابعة التغير في التركيب الداخلي للمادة نتيجة أي عمليات أو معالجات تجرى عليها .

**أسئلة وتمرينات**

1. أ- اشرح لمذا يصلح التركيب البللوري كنموذج جيد للحيود يعكس صفات المادة عند سقوط أشعة إكس عليها .
2. أذكر فروض براج وإستنتج قانون التداخل البناء "قانون براج" وبين أنه صالح فقط عندما يكون الطول الموجي للأشعة المستخدمة أقل من ضعف المسافة البينية للمستويات الذرية .
3. هل تختلف فروض لاوي وبراج عن ماهية البللورة كمحزوز للحيود ؟ إشرح تصور كل منهما عن ذلك .
4. أ- أثبت أن شرط لاوي للتداخل البناء يعطى بالصورة :

حيث  **,** هما متجها الموجه الساقطة والمنعكسة على الترتيب ,  متجه الشبكية المعكوسة .

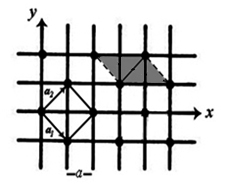
1. اثبت أن هذا الشرط يمكن وضعه على الصورة التالية :

واشرح المعنى الفيزيائي له , حيث وحدة متجه في إتجاه  **.**

1. اشرح مع التوضيح بالرسم دور البللورة في تكوين الموجة الحائدة . في ظل قانون حفظ كمية الحركة للنظام , هل يمكن تحديد كمية الحركة الإضافية التي يستمدها الفوتون من بللورة كتلتها 1 gm لتسبب إنعكاسا للشعاع الساقط ؟ ولماذا ؟
2. أ- اثبت أن شرطي لاوي وبراج للتداخل البناء متكافئان .
3. وضح علاقة شرط لاوي بكل من مستويات الإنعكاس لبراج وحدود مناطق بريليون .
4. أ- اشرح طريقة عملية لدراسة التركيب البللوري , وأذكر نوع المعلومات التي يمكننا الحصول عليها .
5. بين كيف يمكن الحصول على التركيب البللوري والتركيب الأمورفي في المادة , وكيف يمكن التمييز بينهما على نموذج الحيود لأشعة إكس .
6. يبين الشكل المعطى بللورة في بعدين مكونة من ذرات مرتبة في شبكية مكعبة .
7. مانوع الخلية المبينة بالشكل ؟, أوجد متجهاتها الأساسية .
8. عرف الشبكية المعكوسة وإشرح علاقتها بإنعكاس براج .
9. أكتب متجهات الشبكية المعكوسة وحدود منطقة بريليون الأولى لشبكية الخلية المعطاة بالرسم .
10. مستخدما الشكل المعطى , بين مع الرسم أن حجم الخلية الأولية لايعتمد على طريقة إختيارها.

الحل :

1. الخلية المبينة هي خلية أولية primitive cell تحتوي على عقدة واحدة . المتجهان الأساسيان لها هما :



حيث *a* – هو طول ضلع الخلية المربعة .

1. إذا كان مجموعة المتجهات الأساسية , مجموعة المتجهات للشبكية المعكوسة , فإن تعرف من خلال العلاقة التالية :

وفي الفراغ المعكوس يكون شرط الإنعكاس البناء هو , حيث هو متجه الشبكية المعكوسة .  **,**  - متجها الموجة للشعاع الساقط والشعاع المنعكس .

ج- متجهات الشبكية المعكوسة هي :

وحدود منطقة بريليون الأولى هي : &

د- بإختيار طريقة أخرى لرسم الخلية الأولية ولتكن خلية ويجنر زايتز (الخلية المظللة بالشكل) فإنه يمكن إثبات أن مساحتي الخليتين متساويتان , اذن يكون حجم الخلية الأولية (المساحة في بعدين) لايعتمد على طريقة إختيارها .

1. إذا كان الطول الموجي لأشعة إكس المستخدمة لفحص بللورة الألومنيوم يساوي 1.537 أنجشتروم , وكانت الأشعة المنعكسة ناتجة عن المستوى عند زاوية , فإذا علمنا أن التركيب البللوري للألومنيوم هو من النوع وكثافته والوزن الذري له , أوجد عدد أڤوجادرو.

الحل :

من قانون براج أن :

*,*

*حيث n = 4 في خلية الوحدة للتركيب F.C.C*

1. شعاع من الإلكترونات طاقته الحركية 1 KeV يحيد عن مساره أثناء مروره عبر صفيحة معدنية عديدة التبلور polycrystalline metal foil , فإذا كان التركيب البللوري للمعدن من النوع المكعبي والمسافة بين المستويات المتجاورة تساوي 1Å .
2. إحسب الطول الموجي للإلكترونات .
3. إحسب زاوية براج في حالة الرتبة الأولى لقمة الحيود .

الحل:

حيث هو الجهد المعجل للإلكترونات , شحنة الإلكترون .

1. يعطى قانون براج بالعلاقة التالية :

حيث n= 1 في حالة الرتبة الأولى لقمة الحيود .

1. يمكن الحصول على فرصة جيدة لتشعيع مادة بأشعة اكس إذا وضعت أمام تليفزيون ملون طاقة أنبوبة الصورة *picture tube potential* له في حدود 25 *KV* .
2. ما هي ميكانيكية إنتاج معظم أشعة اكس .
3. احسب أقصر طول موجي (أقصى طاقة) لأشعة اكس في التوزيع الطاقي المستمر الناتج .

ج- إذا وضعت بللورة ملح صخري أمام الأنبوبة , فإحسب زاوية براج لقمة الإنعكاس من الرتبة الأولى على المستويات (100) عندما , علما بأن كثافة بللورة الملح تساوي والوزن الجزيئي له 58.45 .

الحل :

1. عندما يطبق فرق جهد عالي على أنبوبة الصورة , فإن الإلكترونات المنبعثة من القطب السالب (الكاثود) والمعجلة بواسطة المجال الكهربي لهذا الجهد سوف تصطدم بالشاشة . فإذا كانت طاقة الإلكترونات تزيد على قيمة معينة فإنه يمكنها الوصول وإثارة إلكترونات المدارات الداخلية للذرات التي تتحرك تاركة فجوات موجبة مكانها . لذلك , عندما تسقط إلكترونات المدارات الخارجية لتملأ هذه الفجوات , فإن أشعةx- سوف تنبعث .
2. أقصى طاقة لفوتونات أشعة اكس تساوي طاقة الإلكترونات الساقطة *qV* , حيث *q* – شحنة الإلكترون .

ج- قانون براج للرتبة الأولى لقمة الإنعكاس هو :

حيث - هي المسافة بين أي مستويين متجاورين - وتساوي ثابت الشبكية *a* إذا كان الإنعكاس فوق المستويات (100) . وبإعتبار 1 مول , فإن الحجم يطى كالتالي :

,

حيث :

بالتعويض عن قيمتي , في قانون براج , نجد أن :

1. أعطيت قطعتان لمادتين شفافتين لايمكن التمييز بينهما بمجرد النظر , إحداهما بللورية التركيب والأخرى من الزجاج . صف طريقتين مختلفتين للتمييز بينهما .

الحل :

1- **تسخين المادة** : تنصهر المادة البللورية عند قيمة محددة لدرجة الحرارة وتستمر ثابتة حتى إنتهاء عملية الإنصهار للبللورة كليا . أما الزجاج فلايعطي درجة محددة للإنصهار .

2- **إستخدام نموذج الحيود لأشعة – X** : المادة البللورية تعطي نقاطا مضيئة منتظمة على نموذج الحيود , بينما الزجاج نموذجا منتشرا diffused للحيود .

**الباب الخامس**

**عيوب التركيب البللوري**

**Defects in Solids**

**5.1 مقدمة :**

إستخدم العديد من الطرق لفحص التركيب البللوري منها طرق الحيود مثل حيود الأشعة السينية , حيود الإلكترونات وحيود النيترونات ... وهي من الطرق الدقيقة لفحص تركيب بللورات المواد المختلفة . ولقد أكدت هذه الطرق حقيقة الاختلاف بين التركيب البللوري الحقيقي والتركيب المثالي , بسبب إحتواء البللورات الحقيقية على العديد من أنواع العيوب مثل: الفراغات (vacancies) , الإنخلاعات (dislocations) , الشوائب الكيميائية (chemical impurities) .... إلخ . والتركيب البللوري يمكن أن يكون مثاليا فقط عند درجة حرارة الصفر المطلق , وأي إرتفاع في درجة الحرارة ينشأ عنه تكون فراغات داخل هذا التركيب , حيث يكون وجودها ضروريا للحفاظ على أقل طاقة حرة للنظام .

وعموما يمكن أن تنشأ العيوب البللورية في الحالات الآتية :

1. أثناء نمو البللورات من المصهور (During Crystal growth) .
2. عند تأثير إجهاد على البللورة (Plastic deformation) .
3. عند تعرض البللورات للإشعاع (Radiation damage) .
4. عند حدوث تبريد مفاجئ للمصهور (quenching) .
5. عند إكتساب المادة لطاقة حرارية(Thermal agitation) .

**وأنواع العيوب** يمكن تقسيمها ﺇلي ما يلي :

1 – **عيوب نقطية** Point defects :

وتشتمل على فراغات الشبكية Lattice vacancies , الذرات البينية من نوع ذرات البللورة intrinsic Interstitial atoms, الذرات الشائبة الإحلالية Impurity substitutional atoms , الذرات الشائبة البينية Impurity interstitial atoms .

2- **عيوب خطية** Line defects : وتظهر في صورة حلقات loops , وتشتمل على ﺇنخلاعات الحافة Edge dislocationsوالإنخلاعات اللولبية Screw dislocations. والإنخلاعات المختلطة mixed dislocations .

3 –**عيوب سطحية** Surface defects : وتشتمل على تجمعات التصدعات السطحية stacking faults والعيوب الناتجة عن ﺇلتصاق السطح بسطح الوسط المحيط والذي ينتج عنه ﺇزدواجية في السطح الفاصل twin boundaries والحواجز الحبيبية grain boundaries... إلخ .

والعيوب ليست بالضرورة شيئا سيئا , فوجودها قد يكون مطلبا تكنولوجيا ملحا , فمثلا إضافة C إلى Fe يعطي مادة الصلب المستخدمة صناعيا بشكل واسع , Cu إلى Ni يعطي سبيكة تستخدم أسلاكها في صناعة الإزدواجات الحرارية thermocouples , Cr إلى Fe تنتج مادة لمقاومة التآكل corrosion resistance . كما أن أشباه الموصلات (مثل Ge , Si) بنوعيها الإلكتروني والفجوي والتي كانت (ولا زالت) أساس النهضة التكنولوجية في القرن الماضي , هي عبارة عن مواد تحتوي على شوائب لعناصر خماسية أو ثلاثية التكافؤ.

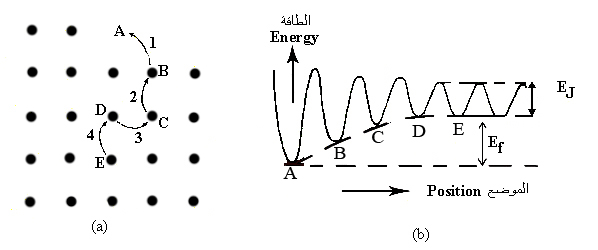
كذلك , وجود الإنخلاعات والحبيبات بحدودها الفاصلة يقوي المواد ويزيد صلابتها ومقاومتها للإذعان . وعموما , فوجود العيوب يؤدي إلى تخفيض طاقة البللورة ويجعلها أكثر إستقرارا .

وفي هذا الباب سوف نتناول بالدراسة النوعين الأولين .

**5.2 العيوب النقطية Lattice point defects**

**Lattice vacancies1- فراغات الشبكية**

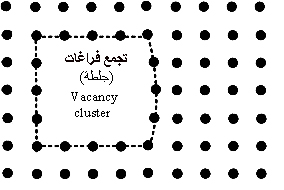
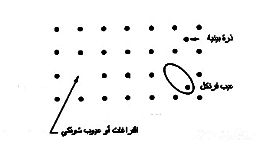
يبين شكل (a.5-1) مقطعا من بللورة بالقرب من السطح . نفرض أن ذرة مثل B قد قفزت ﺇلي الموضع A على السطح تاركة خلفها فراغا , هذا الفراغ يمكن أن تشغله ذرة أخري مثل C , حيث يتكون في مكانها الأصلي فراغ آخر. وتتكرر عمليات قفز الذرات من أماكنها عند تعديل أوضاعها الثيرموديناميكية لتملأ الفراغات الخالية تاركة خلفها فراغات أخري . هذا النوع من القفزات المتتالية يؤدي ﺇلي عملية إنتشار فراغ الشبكية داخل البللورة , وهو في نفس الوقت يعتبر ﺇنتشارا للذرات نفسها . والطاقة اللازمة لإتمام هذه العملية والتي ينتج عنها تكون فراغ داخل البللورة تسمي بطاقة التكوين ويرمز لها بالرمز Ef .

وفي الواقع فإن قيمة هذه الطاقة تتحدد بقيمة الطاقة المستنفذة في العدد الصغير من القفزات الذرية الأولي , وذلك لأنه بزيادة المسافة بين المصدر (أول موضع خالي يحدث فيه أول قفزة ذرية) وبين الفراغ المتكون بمقدار عدة ثوابت بللورية , فإن طاقة البللورة تصبح مستقلة عن موضع تمركزالفراغ , أو بمعني آخر فإنه يلزم لإحداث أول قفزة (B→A) طاقة كبيرة نسبيا , حيث تقل تدريجيا في القفزات التي تليها , وتصبح لها قيمة ثابتة EJ تساوي طاقة الحاجز بين أي موضعين متجاورين في الشبكية (شكل 5-1.b).

شكل (5-1) : عملية تكون الفراغات داخل البللورة (a) والطاقة اللازمة لإتمام العملية (b).

**2-الذرات البينية والذرات الإحلالية**

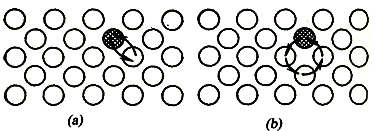
قد يحدث نتيجة الإثارة الحرارية أو لأي سبب خارجي آخر أن تهجر بعض الذرات القريبة من السطح أماكنها ﺇلي سطح المادة حيث تتكون فراغات داخل الشبكية في مواضع بعض العقد البللورية مسببة بذلك عيوبا في التركيب البللوري , هذه العيوب تسمي بعيوب شوتكي Schottky defects (شكل5-2.a ) . وفي بعض الأحيان قد يستلزم الحفاظ على الإتزان الثيرموديناميكي للنظام أن تهجر بعض الذرات مواضعها لتستقر في مواضع بينية Interstitial sites تاركة خلفها فراغات عند العقد البللورية , ويسمى هذا النوع من التشويه البللوري بعيوب فرنكل Frenkel defects (شكل 5-2.a) . كما يمكن لفراغين أو أكثر للعقد البللورية المتجاورة أن يشغلوا موضعين أو أكثر مكونين ما يعرف بالجلطة vacancy cluster ( شكل5-2.b ) .



b)) a))

شكل(5-2): العيوب النقطية , عيوب شوتكي وفرنكل (a)وتجمع الفراغات (جلطة) (b).

1. **الذرات الشائبة الإحلالية والذرات الشائبة البينية**

 في حالة السبائك (أي المواد التي تركيبها البللوري يحوي أكثر من نوع من الذرات , حيث يمكن إعتبار أن نوع الذرات ذا النسبة الأقل بمثابة شوائب في البللورة) قد يحدث أن تنحشرذرة من ذرات أصغر النوعين حجما في منطقة بينية ( بين مواضع عقد الشبكية خاصة إذا كان تركيز هذه الشوائب صغيرا) , ويعرف هذا النوع بعيوب الشوائب المتخللة impurity interstitial defects . كذلك فإنه يمكن للذرات تحت ظروف معينة أن تستبدل مواضعها , وقد يحدث ذلك لذرتين أو أكثر كما هو مبين في شكل (5-3) . وتبادل مواضع الذرات يسبب وجود تشويه في التركيب البللوري يعرف بعيوب الشوائب الإحلالية impurity substitutional defects .

شكل (5-3): العيوب الإحلالية عن طريق تبادل المواقع لذرتين (a) أو أربع ذرات (b).

**5.3 الإنتشار الذري في التركيب البللوري atomic diffusion in crystals**

يتضح مما سبق أنه يمكن أن تنتشر الذرات في البللورة بواحدة أو أكثر من الطرق التالية :

1. الإنتشار التبادلي : والذي فيه تتبادل المواضع بين ذرتين أو أكثر .
2. الإنتشار التخللي : ويحدث ذلك لذرات الشوائب إذا كان حجمها أصغر منه لذرات المادة الأصلية . فمثلا تنتشر ذرات الكربون في بللورة الحديد حيث أن حجم ذرة الكربون يساوي 0.6 من حجم ذرة الحديد .
3. الإنتشار عن طريق الفراغات : ويتم هذا النوع من الانتشار عن طريق إنتقال الذرة من مكانها وشغلها للمكان الخالي .

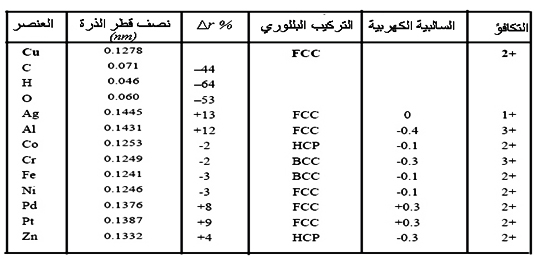
وطريقة الإنتشار في مادة ما تتوقف على شكل تركيبها البللوري ونوع ذراتها. ففي المواد النقية كما علمنا يتم الإنتشار (يسمى إنتشار ذاتي) عادة بواسطة الفراغات. أما في السبائك (المحاليل) فإن الإنتشار يمكن أن يتم عن طريق التخلل إذا كانت ذرات أحد أنواع مكوناتها صغيرة بالنسبة للذرات الأخري , ويتم عن طريق التبادل إذا كانا حجما النوعين متقاربين .

وعموما للحصول على محلول إحلالي تام الذوبانية من عنصرين )مثلا( فإنه يجب أن تتحقق الشروط التالية :

1. فرق نصفي القطر لذرتي العنصرين لاتزيد عن 15% .
2. التركيب البللوري لابد أن يكون واحدا .
3. السالبية الإلكترونية يجب أن تكون واحدة للعنصرين تقريبا , فإذا كانت مختلفة بين العنصرين بشكل كبير فإنه يتكون مركب compound بدلا من المحلول .
4. التكافؤ يجب أن يكون متشابها للعنصرين .

ولمزيد من التوضيح دعنا نتوقع , في ضوء الشروط السابقة , نوع المحلول الناتج للنحاس مع العناصر المعطاة في جدول (5-1) .

1. كل من Ni , Pd, Pt يحقق كل الشروط لتكوين محاليل صلبة إحلالية مع النحاس . كما أنه , برفع درجة حرارة كل من Co , Fe يتحول تركيب كل منهما إلى النوع F.C.C مما يمكنهما من تكوين محاليل إحلالية تامة الذوبانية مع النحاس في هذه الدرجات العالية .
2. كل من Ag , Al , Co , Fe , Zn يكون مع النحاس محاليل إحلالية غير كاملة الذوبانية وذلك لعدم تحقق شرط أو أكثر من الشروط المطلوبة للذوبانية التامة .
3. كل من C , H , O يكون مع النحاس محلولا تخلليا وذلك لأن أنصاف الأقطار الذرية لهذه العناصر أصغر كثيرا منها لذرة النحاس .

جدول (5-1)

وتحدد نسب العناصر (أو الشوائب dopants) في المركب بإحدى الطريقتين , إما طريقة نسبة الوزن *wt* % أوطريقة النسبة المولارية (الذرية) *at* % . فإذا كان المركب يحوي عنصرين *a* , *b* مثلا , فإن نسبة العنصر *a* تعطى كالتالي :

&

حيث , - هما النسبتان المئويتان الكتلية والذرية للعنصر *a* على التوالي .

, - كتلتا العنصرين *a* , *b* على الترتيب .

, – عددا الذرات للعنصرين *a* , *b* في المركب على الترتيب .

ويعطى عدد الذرات للعنصر *a* على سبيل المثال بالعلاقة التالية :

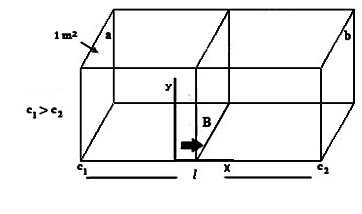
*حيث –* الوزن الذري للعنصر *a* .

في المركب متوازن التكافؤ (stoichiometric) المكون من العنصرين a, b يكون :

وهذا يعني أنه المركب متوازن التكافؤ يتساوى عدد ذرات العنصرين وكل منهما يساوي عدد الجزئيات في المركب.

كما يمكن تحويل النسبة الكتلية إلى الذرية أو العكس (أنظر مثال 15) من العلاقتين التاليتين :

**قوانين الإنتشار لفيك Fick's diffusion laws**

 نفرض سبيكة ما على هيئة قضيب مساحة مقطعه الوحدة , والتركيب البللوري لها يحوي أكثر من نوع من الذرات , فإذا افترضنا أن تركيز الذرات A لأحد هذه الأنواع يتغير بانتظام في إتجاه معين ( مثلا) , فإنه يمكن القول أن التركيز للذرات A عند المستوى (a) أكبر من تركيزها عند المستوى (b) (شكل 5-4) . والآن إذا أخذنا المستوى B في منتصف المسافة بين المستويين a,b ويوازيهما , فإن الذرات A أثناء إنتشارها تعبر المستوى B من الجانبين .

شكل (5-4) : الإنتشار الذري

في البللورات .

عدد مرات القفز من المستوى (a) إلى المستوى (b) في وحدة المساحات في الثانية الواحدة يساوي Pab.n1 ، وفي الإتجاه المضاد (أي من b ﺇلي a) يساوي Pba.n2, حيث n1 ,n2 هما عددا الذرات A في المستويين (a) , (b) على الترتيب , Pab , Pba هما الإحتمالان لوحدة الزمن كي تقفز ذرة A من المستوى a)) ﺇلي المستوى (b) والعكس على الترتيب . لذا فإن محصلة التدفق " " تعطي بالعلاقة الآتية :

= Pabn1 – Pban2 (5-6)

فإذا إفترضنا أننا ندرس التدفق عند نقطة داخل البللورة , وبفرض أن التركيز حول هذه النقطة يكون واحدا ، فإن إحتمال حدوث قفزة للذرة في أي اتجاه يكون ثابتا , حيث أن هذا الاحتمال يعتمد على التركيز أي أن :

Pab = Pba = P

= P(n1 – n2) ،

فإذا كانت المسافة بين المستويين (a), (b) هي فإن الممال أو التدرج التركيزي (dc/d) يعطي كالآتي :

= (n1–n2) /(dc/d)

ويكون مقدار التدفق في وحدة الحجوم في الثانية الواحدة هو :

= P (dc/d)

وبالضرب في الحجم نحصل على التدفق للحجم الكلي في وحدة الزمن كالآتي :

= -P2(dc/d) (5-7)

والإشارة السالبة ضرورية لأن التدفق يحدث دائما في إتجاه نقص التركيز ، والعلاقة (5-7) يمكن وضعها في صورة المتجهات الآتية :

= - D gradC (5-8)

حيث D = P2يسمى معامل الانتشار ، - التيار الإنتشاري ، وتعرف العلاقة (5-8) بالقانون الأول لفيك للانتشار . معامل الانتشار D للمواد التي خواصها واحدة في جميع الإتجاهات (isotropic) هو كما سبق يساوي (مربع مسافة الانتشار/ زمن الانتشار) ، أما المواد مختلفة الخواص في الإتجاهات المختلفة anistropic فإن قيمة D تختلف أيضا باختلاف هذه الاتجاهات.وترتبط قيمة D بدرجة الحرارة المطلقة T بالعلاقة الأسية الآتية :

D = Do (5-9)

حيث E تسمي طاقة التنشيط للانتشار , ثابت بولتزمان , Do ثابت لا يعتمد على درجة الحرارة .

والملاحظ أن قانون فيك المعطي بالعلاقة (5-8) يهمل تأثير الزمن على عملية الانتشار , أي يصلح استخدامه فقط في حالة التدفق المنتظم steady state flow , وهذا يتأتي فقط إذا كان الممال التركيزي ثابت , أو بمعني آخر عندما يكون التركيز عند أي نقطة ثابتا ، وفي الواقع , فإن عملية الانتشار نفسها تؤدي ﺇلي تغيير التركيز عند أي نقطة مع الزمن , لذلك يلزم إدخال الزمن كمتغير في علاقة الانتشار . ولهذا نفرض عنصرا من المادة مساحة مقطعه وسمكه d مترا , تنتشر المادة خلاله في الاتجاه كما هو مبين بشكل (5-5) . ورغم أن التركيز عند أي نقطة يتغير مع الزمن , إلا أن كمية المادة الكلية Vdc/dt المنتشرة في حجم V من الجسم تظل ثابتة مع الزمن . واضح أن كمية المادة المنتشرة في الحجم dتكافئ الفرق بين تدفقي المادة على جانبي الشريحة , +d

i.e V(dc/dt) = (dc/dt) = 1-2

بالتعويض عن 1 , 2 نجد أن :

. d = {-D (dc/d)x – [- D (dc/d)x + dx]} (dc/dt)

= D[(dc/d) x + dx – (dc/d)x] (5-10)

= D d(dc/d) = D (d/d)(dc/d).d

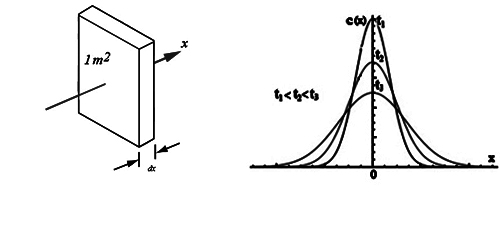
= D (d2c/d 2).d

dc/d = D d2c/d 2 (5-11)

وبحساب الإنتشار في الإتجاهات الثلاثة z,y, فإن :

dc/dt = D (d2c/d2 + d2c/dy2 + d2c/dz2 )

= D

حيث هو مؤثر لابلاسLaplace's operator ، وتسمي هذه العلاقة بقانون الإنتشار الثاني لفيك في صورته التفاضلية .

b)) a) )

شكل (5-5): الإنتشار خلال شريحة سمكها d (a) إعتماد التركيز على مسافة وزمن الإنتشار (b) .

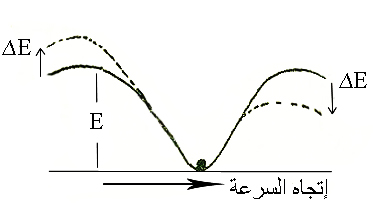
والآن ، إذا إفترضنا قضيبا من مادة نقية طوله لانهائي ومساحة مقطعه الوحدة (شكل 5-5.a) , وأننا أدخلنا كمية S من مادة منتشرة عند = 0 , فإن حل معادلة الإنتشار في الإتجاه يعطي من العلاقة الاتية :

(5-13) C =

فإذا رسمت هذه العلاقة لأزمنة مختلفة , فإننا نحصل على منحنيات تتطابق مع المنحنيات العملية وتكون هذه المنحنيات متماثلة حول المحور = 0 كما هو مبين بشكل b.5-5) .

وقوانين فيك للانتشار لا يمكن تطبيقها في الحالات التالية :

1. في حالة انتشار مادة يمكن أن تتحد كيميائيا مع مادة البللورة , فمثلا عند انتشارالكربون في الفلزات , يحدث نتيجة للتفاعل الكيميائي أن تتكون كربيدات الفلزات , وبالتالي فأي انتشار للكربون بعد ذلك داخل البللورة يكون ﺇنتشارا في كربيد الفلز.
2. إذا كانت الجزيئات المنتشرة مشحونة , حيث عند إنتشارها تتأثر بالمجال الكهربائي المؤثر , وبالتالي فإنها تكتسب سرعة (طاقة) في إتجاه أو ضد إتجاه المجال (تبعا لنوع شحنتها) ويؤدي ذلك ﺇلي نقص ظاهري في إرتفاع حاجز الطاقة في إتجاه سرعتها وزيادة ظاهرية في الإتجاه المضاد (شكل 5-6) .
3. إذا كانت الجزيئات المنتشرة ثنائية الشحنة وفي بللورة أحادية التأين ، حيث عندما يحل آيون ثنائي بدلا من آيون أحادي في البللورة , فإنه كي تحافظ البللورة على تعادلها الكهربي لابد أن ينشأ فراغ مشحون داخل البللورة .



شكل (5-6): تغير حاجز الطاقة أثناء

انتشار الجزئيات المشحونة .

**5.4 إنتروبيا النظام البللوري The entropy of crystalline system**

المفهوم الفيزيائي للإنتروبيا : الإنتروبيا هي متغير يعبر عن حالة الفوضي (disorder) في نظام ثيرموديناميكي معين . فإذا اكتسب نظام ما كمية من الحرارة H∆ سعرًا عند درجة الحرارة المطلقة T ، فإن التغير في انتروبيا النظام S ∆ يعطي كالآتي :

S = ∆E/T (5-14) ∆

H ∆∆E = J. ,

حيث ∆E هي الطاقة الحرارية المكتسبة , 4.18 J/cal.= Jهو ثابت جول . وتكون S∆ موجبة عندما يكتسب النظام كمية من الحرارة , حيث تؤدي إلى زيادة حركة مكوناته وبالتالي زيادة الفوضي , والعكس إذا فقد النظام كمية من الحرارة , فهذا يعني نقصا في فوضي النظام . أما إذا كانت درجة الحرارة ثابتة , فإن التغير في الانتروبيا يكون ناتجا عن تغير طوري (التحول من صلب ﺇلي سائل مثلا) أو ناتجا عن التغير في الطاقة الداخلية بسبب تغير الطاقة الإهتزازية للذرات.

**مثال (1)** : كم يكون التغير في الانتروبيا عند انصهار قطعة من الثلج كتلتها20gm في درجة الصفر المئوي , إذا كانت الحرارة الكامنة لانصهار الجليد تساوي 80 cal./gm ؟

**الحل** :

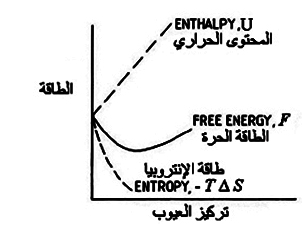
∆E = J ∆H = 4.18( 20 x 80) = 6700 J

∆ S = ∆E /T = 6700/273 = 24.5 J/K

أي أن إنتروبيا النظام إزدادت عند تحول الثلج ﺇلي ماء , وهذه الزيادة تعتبر مقياسا لفوضي جزيئات الماء .

وترتبط الإنتروبيا بالطاقة الداخلية (المحتوى الحراريenthalpy) للنظام من خلال القانون الأول للديناميكا الحرارية بالصورة التالية :

= U – TS (5-15)

حيث & U هما الطاقتان الحرة والداخلية للنظام على الترتيب ، TS - طاقة الإنتروبيا (شكل5-7).

شكل (5-7) : طاقات النظام البللوري (القانون الأول للديناميكا الحرارية)

والآن , إذا كان لدينا عدد N من الذرات , n من الفراغات يراد توزيعها داخل التركيب البللوري , فإن عدد الطرق المختلفة لهذا التوزيع تعطي من العلاقة الإحصائية الآتية :

W = (N+n)/ ( N n) (5-16)

فإذا كانت N=10 , n =2 فإن :

W = (10+2) / (102) = 66

أي أنه يمكن الحصول على حالة ما من التوزيع لهذه البللورة بعدد يساوي 66 طريقة مختلفة .

وعموما إذا كان لدينا نظام ما يمكن أن يصل ﺇلي حالة معينة بعدد W من الطرق المختلفة , فانه بواسطة الديناميكا الحرارية والميكانيكا الإحصائية أمكن ربط هذا العددW بإنتروبيا النظام S بالعلاقة التالية :

S = Ln W (5-17)

حيث - ثابت بولتزمان .

**الإنتروبيا التكوينية والإنتروبيا الحرارية للنظام البللوري**

**configurational and thermal entropies**

الإنتروبيا S في نظام بللوري هي مجموع الإنتروبيا التكوينية Sconf. (التي تعبر عن الفوضي في نظام التكوين البللوري) والانتروبيا الحرارية ) Sth التي تعبر عن الفوضي الناشئة عن التغير الحراري للنظام) .

S = Sconf. + Sth. (5-18) i.e

ووجود عدد n من الفراغات داخل نظام بللوري مكون من عدد N من الذرات يسبب زيادة في انتروبيا التكوين تعطى كالآتي :

Sconf. = Ln Wconf = Ln [(N+ n) / (Nn) ] (5-19)

وبإستخدام صيغة ستيرلنج (Stirling formula) حيث :

Ln = Ln – for >> 1 (5-20)

Sconf = [ (N+n) Ln (N+n) – (N+n) - (N Ln N –N) – (n Ln n – n)]

= [ (N+n) Ln (N+n) – N Ln N - n Ln n – (N+n) + (N+n) ]

= [N Ln (N+n)+n Ln (N+n) – N Ln N - n ln n]

وعادة يكون n<<N , لذا يمكن إهمال n بالنسبة للعدد N .

Sconf. = [ (N Ln N +n ln N - N Ln N - n Ln n]

= n Ln (N/n) (5-21)

فإذا إكتسبت البللورة كمية من الحرارة , فإن طاقة تذبذب العقد سوف تزداد ويؤدي ذلك ﺇلي زيادة الإنتروبي بالقيمة الآتية :

Sth = Ln Wth  (5-22)

حيث Wth هي عدد الطرق المختلفة التي تتوزع بها الطاقة الإهتزازية للبللورة على كل الإهتزازات الممكنة فيها , فإذا كانت كل ذرة تتذبذب بثلاثة إهتزازات لكل منها تردد υ في الإتجاهات الثلاثة , فإن عدد الإهتزازات الممكنة يساوي3N , حيث يمكن من الميكانيكية الإحصائية إثبات أن :

= (5-23) Wth

Sth = 3N [1+ Ln (T/hυ)] (5-24)

لذلك فإن الإنتروبيا الكلية S للنظام تكون كالتالي :

S = n Ln (N/n) + 3N [1+ Ln (T/hυ)] (5-25)

**مثال**(2) : إذا كان 1m3 من النحاس يحتوي على عدد من الذرات يساوي 8.57x1028 ذرة عند درجة حرارة 1000K, فأوجد قيمة انتروبيا النظام عند الدرجة المذكورة إذا كان :

n/N (at 1000K) = 4x10-5 , = 1.38x10-23

, h = 6.62x10-34  , υ = 1x1013Hz .

**الحل :**

n = 4x10-5 N = 4x10-5 x8.57x1028 = 3.428x1024

Sconf. = n Ln (N/n) = 0.0004785

Sth = 3N [1+ Ln (T/hυ)] = 6.15929

S = Sconf +Sth = 6.1598

وتكون طاقة الانتروبيا (TS) هي :TS = 6.1598x103

نستنتج من هذا المثال ما يلي :

1. Sth/Sconf ≈ 13x103

وهذا يعني أن الإنتروبيا الحرارية تشارك في إنتروبيا النظام الكلية بقيمة كبيرة جدا بالنسبة لنظيرتها الخاصة بالتكوين .

1. TS/n = 6.1598x103 /3.428x1018 =1.797x10-15

وهذا يعني أن الفراغ الواحد يمكن أن يسبب زيادة مقدارها 1.797x10-15  في طاقة إنتروبيا النظام .

1. من المعروف أن الطاقة الحرة لأي نظام بللوري تكون عند قيمتها الصغري عند درجة الصفر المطلق , وبإرتفاع درجة الحرارة عن ذلك تزداد طاقة الجزيئات أو الذرات (الطاقة الداخلية للنظام) . ولما كان أي نظام يحاول الحفاظ على طاقته الحرة عند قيمتها الصغري , فإن هذه الزيادة في الطاقة الداخلية لابد أن تقابلها زيادة مكافئة في إنتروبيا النظام بحيث تصبح الطاقة الحرة للنظام عند نفس قيمتها الصغري (كما يتضح من القانون الأول للديناميكا الحرارية) . وحيث أن وجود الفراغات يسبب زيادة في طاقة إنتروبيا النظام (كما تبين من المثال السابق) فإن النظام يحاول خلق عدد مناسب من الفراغات داخله ليتمكن من موازنة الزيادة في طاقته الداخلية عند أي درجة حرارة أعلى من الصفر المطلق . وعلى ذلك فإن أي نظام بللوري لابد أن يتواجد به عدد مناسب من الفراغات إذا كانت درجة حرارته أعلى من الصفر المطلق .

**إنتروبيا النظام البللوري الحقيقي Entropy of a real crystal**

كما بينا آنفا , فإن النظام البللوري الذي يحتوي على عدد Nذرة يكون خاليا من الفراغات عند T = 0K ويسمى نظاما تاما (perfect) . فإذا أصبحت T > 0Kفإن عددا مناسبا n من الفراغات يتكون داخل النظام للحفاظ على الإتزان الثيرموديناميكي ، ويصبح النظام غير تام (imperfect) . وباعتبارأن تأثير تكون الفجوات يمتد فقط لأقرب الجيران من الذرات المجاورة لكل فراغ , فإن هذه الذرات تتذبذب بتردد υ' يختلف عن التردد υ للذرات البعيدة عن الفراغات . فإذا إفترضنا أن عدد أقرب الجيران هو m فإن عدد الذرات التي لها تردد υ' يساوي nm ، عدد الذرات التي لها تردد υ يساوي N-nm ، لذلك فإن :

Sth(imp.)  = 3mn [1+ Ln (T/h υ')] + 3(N-mn) [1+ Ln (T/hυ)]

Sth(perf.)  = 3N [ 1+ Ln (T/ hυ) ]

∆Sth = Sth(imp.) - Sth(perf.)

= 3mn [Ln (T/h υ') - Ln (T/hυ) ]

= 3mn Ln (υ/ υ' ) (5-26)

وتكون الزيادة في الإنتروبيا الحرارية نتيجة لفراغ واحد هي :

δ Sth = ∆Sth /n = 3m Ln (υ/ υ') (5-27)

وبالنسبة لإنتروبيا التكوين فإن :

Sconf.(imp.) = Ln ((N+n)/ Nn) = n Ln (N/n)

Sconf(perf.) = 0

Sconf = n Ln (N/n) (5-28)∆

أي أن الفراغ الواحد يسبب زيادة في إنتروبيا التكوين مقدارها هو :

δSconf = Ln (N/n) (5-29)

وتكون الزيادة في الإنتروبيا الكلية الناتجة عن فراغ واحد هي :

δStotal = δSth + δSconf.

= 3m Ln (υ/ υ') + Ln (N/n)

= Ln [(N/n) (υ/ υ')3m ] (5-30)

**إعتماد تركيز الفراغات على درجة الحرارة**

مما سبق يتضح أن البللورة التامة يكون لها إنتروبيا حرارية فقط حيث S**conf** = 0 , وبالتالي فإن القانون الأول للديناميكا الحرارية يمكن كتابته على الصورة التالية :

= U perf. – TSth (5-31)

وإذا كانت T > 0K , فإن عددا n فراغا سوف تخلق في النظام ، فإذا كانت طاقة تكوين الفراغ الواحد هي E**υ** , فإن الطاقة الداخلية للنظام سوف تزداد بمقدار طاقة التكوين nE**υ** للفراغات ، كما أن انتروبيا النظام تزداد بالمقدار (S**th** +∆S**conf**∆) , لذلك فإن المعادلة (5-31) تصبح للنظام غير التام كالآتي :

= Uperf. +nEυ – T (Sth + ∆Sth + ∆Sconf)

= (Uperf. – TSth) + nEυ – nT(δSth+δSconf)

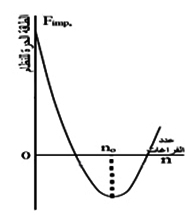
= + nEυ – nT(δStotal) (5-32)

وقيمة الطاقة الحرة للنظام تكون صغري عندما يكون عدد الفراغات no بالنظام مناسبا لإعطاء زيادة في طاقة الانتروبيا مساوية للزيادة في الطاقة الداخلية للنظام .وتختلف قيمة عن قيمتها الصغري  min. عند أي عدد من الفراغات يسبب زيادة أونقصا في قيمة الانتروبيا عن قيمة التغير في الطاقة الداخلية ( شكل 5-8) , حيث يتضح أن :

بإجراء تفاضل العلاقة (5-32) نحصل على :

E**υ** = T δStotal = T Ln [(N/no) (υ/ υ')3m ]

N/no = (υ/ υ')-3m

i.e no /N = (υ/ υ') 3m (5-34)

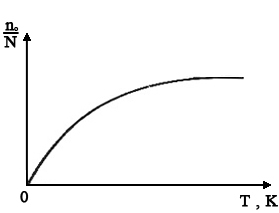
حيث .

شكل(5-8): إعتماد الطاقة الحرة للنظام البللوري على عدد الفراغات .

يتضح من العلاقة السابقة أنه عندما T = 0Kفإن عدد الفراغات يساوي صفرا في النظام . وبرفع درجة الحرارة T فإن عدد الفراغات الاتزاني no يزداد أسياٴ مع T (شكل 5-9) . ولقد وجد أن التغير النسبي no/N يتناسب طرديا مع التغير في مقاومة المادة R∆ . لذلك ، فإنه يمكن عمليا تحقيق العلاقة السابقة أو دراسة التغير no/N مع درجة الحرارة وذلك بدراسة R∆ مع T .

بطريقة مماثلة يمكن الحصول على علاقة إعتماد عيوب فرنكل على درجة الحرارة , والتي يمكن كتابتها بالصورة التالية :

ne = (N) 1/2  (5-35)

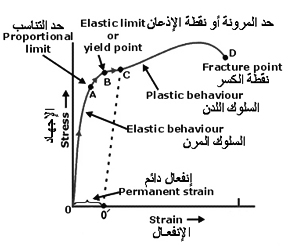
حيثN - عدد عيوب فرنكل , عدد الأماكن البينية المشغولة ،Ef  طاقة التكوين لعيب فرنكل .

شكل (5-9) : إعتماد تركيز الفراغات

في النظام على درجة الحرارة .

ولقد تبين أن المادة تعاني نقصا في كثافتها بسبب عيوب شوتكي , حيث أن حجمها يزداد دون زيادة مقابلة في كتلتها . في حين أن وجود عيوب فرنكل لا يسبب تغيرا في كثافة البللورة , وذلك لأن الزيادة في الحجم بسبب هذه العيوب يقابلها نقص مكافئ في الحجم نتيجة لإنضغاط أجزاء الشبكية البللورية .

**5.5 العيوب الخطية Line defects**

عند دراسة الخواص الميكانيكية للبلورات تبين وجود فرق كبير في خواص البللورات المثالية عنها للبلورات الحقيقية . ويرجع هذا الفرق ﺇلي وجود كميات كبيرة من عيوب معينة في التركيب الحقيقي عرفت بالإنخلاعات (Dislocations) . فإذا وضعت مادة بللورية تحت تأثير قوة صغيرة (في مدي المرونة) فإن المادة تتغير أبعادها (أي تنفعل) , فإذا أزيل تأثيرهذه القوة فإن المادة تستعيد حالتها الأصلية ، وفي هذا المدي يتناسب الإجهاد المؤثر طرديا مع مقدار الإنفعال الحادث للمادة , وهو ما يعرف بقانون هوك . أما إذا كانت القوة المؤثرة كبيرة بحيث يتعدي تأثيرها منطقة مرونة المادة , فإن الإنفعال الحادث لا يتلاشي كلية عند زوال القوة المؤثرة , ولكن تتبقي قيمة معينة من هذا الانفعال (الجزء oo' في شكل 5-10).

شكل (5-10) : العلاقة بين الإجهاد

والإنفعال (منحنى

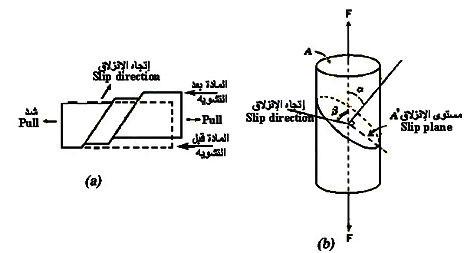
المرونة) للمادة .

وفي مدي المرونة يكون تأثير الإجهاد بحيث يسبب إزاحة كل ذرة من ذرات البللورة بعيدا عن مواضع إستقرارها إزاحات مرنة ومتجانسة , وبالتالي فإن الإنفعال يكون متجانسا لكل أجزاء البللورة , بينما ﺇذا تعدت قيمة الإجهاد حد المرونة , فإن تأثيره على البللورة لا يكون متجانسا ، بل يكون الإنفعال قويا في مناطق معينة . فإذا كان الإجهاد كبيرا بدرجة كافية فإنه يحدث قطع موضعي للروابط بين الذرات في هذه المناطق , وينشأ عن ذلك ﺇنزلاق (Slip) لمستوى ذري أوأكثر (شكل 5-11.a) , فإذا أثرت قوة الشد F عموديا على المقطع A من ﺇسطوانة مثبتة عند قاعدتها (شكل (5-11.b , وكان المستوى الذري ذوالمساحة A' يمثل مستوى الإنزلاق , فإن :

A' = A/cosα

وتكون القوة المماسية على مستوى الإنزلاق هي F cosβ ، ويكون الإجهاد المماسي على مستوى الإنزلاق هو :

= = (F/A) cos α cosβ (5-36) =

مما سبق يتضح أنه عند تأثير إجهاد على مادة ما فإن ذرات هذه المادة تزاح عن مواضع ﺇستقرارها ﺇزاحات صغيرة إذا كان هذا الإجهاد في مدي مرونة المادة , وعند قيم أكبر للإجهاد فإن الروابط الذرية تضعف تدريجيا وتنساب المادة ببطء في مواضع معينة , وعند قيم معينة للإجهاد تسمي

شكل (5-11): مستوى وإتجاه الإنزلاق بسبب إجهاد مماس (a) وإجهاد طولي (b) .

بالاجهاد الحرج (Critical stress) يرمز له بالرمز يحدث كسر للروابط الذرية في هذه المواضع ويبدأ المستوى الذري الذي يحوي هذه الذرات في الانزلاق .ولقد دلت الفحوص المعملية على أن المستويات الذرية التي تعاني ﺇنزلاقات في البللورة هي تلك المستويات التي لها درجة تماثل عالية , وﺇتجاه الانزلاق عادة يكون في الاتجاه الذي يكون خلاله عدد الذرات لوحدة الأطوال كبيراٴ. والجدول (5-2) يبين نوع وﺇتجاه الانزلاق في بعض البللورات البسيطة .

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **ﺇتجاه الانزلاق** | **مستوى الانزلاق** | **نوع التركيب** | **البللورة** | **ﺇتجاه الانزلاق** | **مستوى الانزلاق** | **نوع التركيب** | **البللورة** |
| [1120] | (0001) | Hexagonal | Cd | [110] | (111) | F.C.C | A |
| [110] | (110) | NaC | NaC | [110] | (111) | F.C.C | Cu |
| [110] | (110) | NaC | NaF | [110] | (111) | F.C.C | Ag |
| [110] | (110) | NaC | KC | [110] | (111) | F.C.C | Au |
| [110] | (110) | NaC | KBr | [111] | (110) | B.C.C | Fe |
| [110] | (110) | NaC | KI | [111] | (112) | B.C.C | W |
| [110] | (111) | Diamond | Ge | [1120] | (0001) | Hexagonal | Mg |
| [110] | (111) | Diamond | Si | [1120] | (0001) | Hexagonal | Zn |

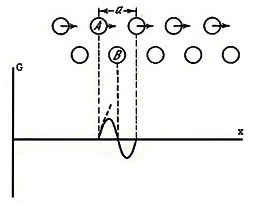
جدول (5-2) : مستوى وﺇتجاه الانزلاق في بعض البللورات .

**نموذج فرنكل لحساب قيمة الإجهاد الحرج**

في عام 1926 حاول فرنكل حساب قيمة الإجهاد القصي الحرج Critical shear stress**))**  بإستخدام نموذج بسيط مكون من مستويين من ذرات بللورة مثالية (تامة) المسافة بينهما d ، والمسافة بين كل ذرتين في المستوى هي a , وأن المستوى العلوي يقع تحت تأثير إجهاد قصي (شكل 5-12) .

لتحريك الذرة A مسافة صغيرة مقدارها يلزم التأثير بإجهاد قصي قدره مثلا . وبزيادة قيمة الإجهاد فإن المسافة تزداد . وعموماٴ فلقد وجد أن العلاقة بين الإجهاد والإزاحة يمكن أن تعطي بالعلاقة الآتية :

= sin[2π(/a)] (5-37)

حيث هو الإجهاد القصي الحرج – وهو الإجهاد اللازم لتحريك الذرة A مسافة قدرها a/4 .

شكل (5-12) : تأثير الإجهاد القصي على بللورة مكونة من مستويين ذريين .

والعلاقة بين الإجهاد القصي والإنفعال الناتج تعرف بمعامل القص أومعامل المرونة القصي shear modulus)) ويرمز له بالرمز .

i.e = /

= sin( 2π /a) / ( /d)

حيث هي الإنفعال القصي .

وباعتبار أن = a /4 فإن :

a /4d ≈ /4 =

حيث افترضنا أن a ≈ d .

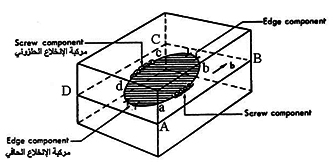
ولقد وجد أن قيمة المحسوبة بهذه الطريقة لمعظم المعادن من الدرجة فمثلا Al (2.8x1010), Cu (7.5x1010), Pb (1.4x1010) , Fe (11.6x1010) , أي أن الإجهاد القصي الحرج لهذه المواد يكون له قيمة تساوي 1x1010 تقريبا , في حين أن النتائج العملية قد بينت أن قيمة تتراوح بين 105 – 106 للبللورات الحقيقية النقية . ومعني ذلك أن القيمة المحسوبة بنموذج فرنكل تساوي 104 – 105 مرة من القيمة العملية . هذا الاختلاف الكبير بين قيم المحسوبة بواسطة نموذج فرنكل وبين قيمه التي أمكن الحصول عليها عمليا يدل على فشل هذا النموذج الذي أخذ في إعتباره دراسة البللورة التامة . وبالتالي , فإن البللورات الحقيقية تختلف في خواصها الميكانيكية عن البللورات التامة (المثالية) . هذا الإختلاف يرجع ﺇلي وجود كميات كبيرة من التشوهات (العيوب) في التركيب الحقيقي سميت بالإنخلاعات dislocations . لذلك , فإنه لشرح المشاهدات العملية للخواص الميكانيكية للبللورات الحقيقية يلزم وجود تصور كامل لطبيعة وماهية هذا النوع من العيوب . لذا فقد ﺇقترح العلماء بعد ظهور نموذج فرنكل بعدة سنوات نموذجا نظريا يعطي تصورا كاملا عن الإنخلاعات , حيث استخدم هذا النموذج في تفسير كل الظواهر العملية المتعلقة بالخواص الميكانيكية غير المرنة للبللورات الحقيقية . ولقد تأكد نجاح هذا النموذج بعد ظهور الميكروسكوب الإلكتروني , حيث أمكن معرفة تركيب الإنخلاعات تفصيليا. ولقد وجد أن الإنخلاعات توجد في صورة حلقات (Loops) , وكل حلقة يمكن تحليلها ﺇلي نوعين من الإنخلاعات هما :ﺇنخلاع الحافة والإنخلاع الحلزوني .

**وصف الانخلاع Geometry of dislocation**

الانخلاع الحلقي هو عبارة عن الخط الدائري (contour) أو الحد الفاصلabcd)) بين المساحة المنزلقة والمساحة غير المنزلقة للبللورة (شكل 5-13) , الذي يمكن تعريفه بأنه المنطقة غير المستقرة بين الجزءين ABCD & abcd .

فإذا وقعت البللورة تحت تأثير إجهاد قصي , فإن الانخلاع يتحرك وينمو خلال مستوى الانزلاق ABCD حتى يصل ﺇلي أحد سطوح البللورة (وليكن BC مثلا) ، ونتيجة لذلك فإنه عند الخط BC نجد أن جزء البللورة العلوي قد أزيح بقيمة معينة تعطي بواسطة متجه بيرجر(burger vector) **b** ، وهو متجه يحدد قيمة وإتجاه الإنزلاق . وأثناء حركة الإنخلاع فإن النسبة بين المساحة abcdومساحة مستوى الانزلاق ABCD والتي تسمى بنسبة أو كسر الإنزلاق (Fraction of slip) تعطى كالآتي :

= (5-38)



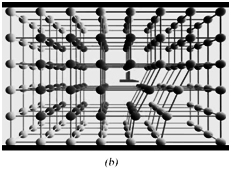
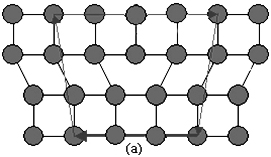
شكل (5-13) :الإنخلاع

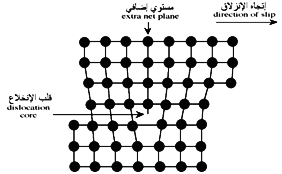
الحلقي .

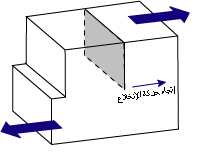
وكما ذكرنا من قبل , فإن الإنخلاع الحلقي يتكون من نوعين من الإنخلاعات هما إنخلاع الحافة والإنخلاع الحلزوني , ويكون المتجه **b** في حالة ﺇنخلاع الحافة عموديا على خط الانخلاع , وفي حالة الإنخلاع الحلزوني يكون موازيا لخط الإنخلاع .

**إنخلاع الحافة Edge dislocation**

شكل (5-14) يعطي مواضع الذرات في تركيب بللوري يعاني تشويهاٴ بسبب وجود ﺇنخلاع حافي . هذا التشويه يكافئ التشويه الناتج بسبب حشر مستوى ذري إضافي في الجزء العلوي للبللورة . فمثلا لو حشرنا مستوى ذري sheat of atoms في بللورة مكعبة – شكل (5-15.a) , فإن هذا المستوى يعمل على ضغط المسافة بين الذرات في الجزء العلوي منها , ولما كانت المسافة بين هذه الذرات لها قيمة ثابتة , فإن النصف العلوي من البللورة ينبعج في المنطقة القريبة من المستوى الذري الإضافي , بينما تظل أبعاد البللورة كما هي في الأجزاء البعيدة , ويحدث تشويه كبيرعلى طول الطرف السفلي للمستوى الذري الإضافي , وتسمي المنطقة التي يحدث فيها أكبر تشويه بقلب الإنخلاع core of dislocation , وهي منطقة الجوار المباشر للحافة السفلية للمستوى الذري الإضافي والتي تمتد بطول هذه الحافة .



شكل(5-14): إنخلاع الحافة في بعدين (a) وفي ثلاثة أبعاد (b) .

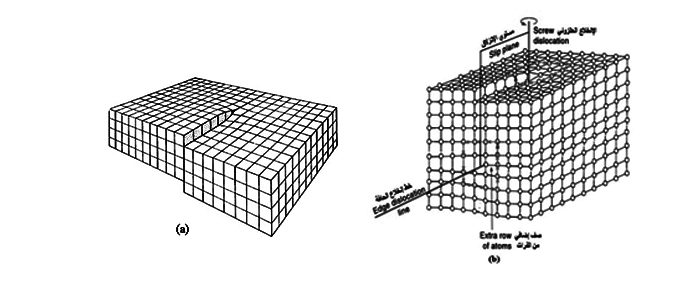
 (b) (a)

شكل:(5-15) إنخلاع الحافة الناتج بسبب حشر مستوى ذري إضافي ينزلق عموديا على خط الإنخلاع (a) ويحدث أكبر تشويه في منطقة قلب الإنخلاع (b) .

فإذا أثرت قوة من الشمال مثلا (كالخبط) , فإن الإنخلاع يتحرك في ﺇتجاه ﺇليمين , أي يكون ﺇتجاه الإنزلاق عموديا على خط الإنخلاع . وفي منطقة قلب الإنخلاع يكون التشويه عاليا لدرجة أن عدد أقرب الجيران Coord.No. يمكن أن يختلف عنه في التركيب البللوري الأصلي . وتقل درجة التشويه بالابتعاد عن هذا القلب ، حيث على بعد عدة مسافات ذرية منه يصبح التشويه صغيرا جدا أو غير موجود .

**الإنخلاع الحلزوني Screw dislocation**

التشويه الحادث للبلورة نتيجة لتواجد ﺇنخلاع حلزوني يكافئ التشويه الناتج في بللورة بعد إجراء العملية التالية عليها ، نأخذ البللورة ونقطع بها قطعاٴ رفيعاٴ ﺇلي عمق معين , بعد ذلك نحرك أحد جانبي البللورة حول القطع ﺇلي أعلى مسافة ذرية واحدة بالنسبة للنصف الآخر , ثم نضغط على جانبي البللورة بحيث تقع كل الذرات حول القطع في مستوى واحد . هذا المستوى عبارة عن سطح حلزوني كما هو مبين في شكل (5-16) .



شكل (5-16): الإنخلاع الحلزوني يكافئ التشويه الناتج عن إحداث قطع رفيع في البللورة (a) ويكون مستوى الذرات حول القطع حلزونيا (b) .

**سرعة الانخلاع الناتج من تأثير إجهاد قصي**

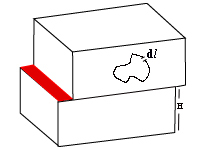
ذكرنا فيما سبق أنه بدلالة المتجه**b**  يمكن تحديد مقدار وإتجاه الإنزلاق للإنخلاعات , وقد أخذت قيمة هذا المتجه مساوية لثابت الشبكية , حيث أنها هي أقل قيمة تكفي لحشر مستوى ذري واحد (أي لعمل إنخلاع بسيط) , وعليه فإن قيمة الإزاحة لأي إنخلاع تساوي عدد المسافات الذرية التي يتحركها الإنخلاع مضروبة في قيمة المتجه **b**  . فإذا إعتبرنا إنخلاعا حلقيا داخل بللورة (شكل 5-17) وأنه نتيجة لتأثير اجهاد قصي تحرك الإنخلاع مسافة ما , حيث في النهاية نشأ بروز في النصف العلوي للبللورة بالنسبة لنصفها السفلي , وإذا ﺇفترضنا أن عنصر الإنخلاع dS قد تحرك مسافة d , فإن الإزاحة الناتجة للإنخلاع تعطي من :

= (dS d A) مقدار الإزاحة

/ H = (dS d /AH) b = (dS d /V) b مقدار الازاحة = الإنفعال القصي

(d /dt) = (d/dt).(dS/V) b = v.(dS/V) b (5-39)

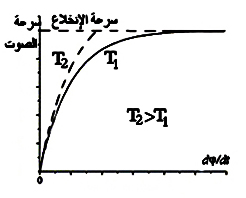
حيث v هي سرعة الإنخلاع , (dS/V) تمثل كثافة الإنخلاعات في البللورة ( حيث تعبر عن طول الإنخلاعات في وحدة الحجوم من البللورة ) .



شكل(5-17): حركة الإنخلاع الحلقي

تحت تأثير إجهاد قصي .

واضح أنه بزيادة معدل الإنفعال القصي (d /dt) في البللورة فإن سرعة الإنخلاع تزداد . ولقد وجد أن أقصي قيمة لهذه السرعة هي سرعة الصوت في المادة ، كما وجد أن درجة الحرارة تزيد من هذه السرعة (كما هو مبين في شكل 5-18) .

 ولقد تبين عملياٴ أن وجود الإنخلاعات في البللورة يزيد من ليونتها , حيث تزداد الطاقة الداخلية للبللورة مع كثافة الإنخلاعات , وأن الانخلاع الواحد يرفع الطاقة الداخلية للبللورة بمقداريتراوح بين 5-10 eV لكل مستوى ذري يمر فيه الانخلاع .

شكل(5-18) : علاقة سرعة الإنخلاع

بمعدل الإنفعال في البللورة .

كذلك ثبت علميا أن وجود الإنخلاعات يمكن أن يؤدي إلى ظواهر متعددة للسلوك المعدني , فالمعادن الشائبية أو السبائك المعدنية تكون عادة أكثر متانة من المعادن النقية , لأن الشوائب والعيوب البللورية تنجذب للإنخلاع , وعندما يحمل الإنخلاع بالشوائب لا يتمكن من الحركة بسهولة ويؤدي ذلك إلى زيادة الصلادة .

وبشكل عام قد يؤدي وجود العيوب إلى تحسين الخصائص الميكانيكية للمادة الصلبة مثل مقاومة الإذعان yield strength , الليونة ductility , والخشونة roughness...إلخ . فمثلا الخصائص الهامة تكنولوجيا لللحديد الصلب جاءت نتيجة لحشر ذرات الكربون interstitial incorporation في شبكية الحديد , كذلك خصائص سبيكة النحاس الأصفر (: Brass نحاس+ زنك) المميزة مقارنة بمكوناتها المعدنية تأتي بسبب التقوية الناتجة عن الذرات الإحلالية solution strengthening , والصلادة الناتجة للمعادن بعد طرقها وهي ساخنة لدرجة الإحمرار (الطريقة المتبعة منذ قرون) مما يتسبب في تكوين إنخلاعات داخل المعدن تعمل على زيادة مقاومة الإذعان له . ومن ناحية أخرى , قد تأكد أن التشويه اللدن plastic deformation يحدث عندما يوجد عدد كبير من الإنخلاعات التي تتحرك ويتضاعف عددها , وبمعنى آخر فإن حركة الإنخلاعات في المادة قد تحدث تشويها ماكروسكوبيا macroscopic deformation يؤدي إلى إذعان المادة وفقدها لخواصها الميكانيكية المرغوبة (شكل 5-10) . وكما نعلم فإن قيمة الإجهاد اللازم لتحريك الإنخلاع تكون أقل بعدة رتب منها للإجهاد النظري المطلوب لإزاحة مستوى ذري كامل , لذلك يكون تأثير الإجهاد لتحريك الإنخلاع مفضلا أكثر من الناحية الطاقية . هذه السهولة الحرجة لحركة الإنخلاعات تؤثر سلبا على صلادة المادة وقوتها . وبالتالي فإنه لتحسين الخصائص الميكانيكية للمادة (أي زيادة مقاومة المادة للإذعان والشد yield and tensile strengths) فإنه ببساطة نحتاج إلى ميكانيكية تعمل على إعاقة تحركية هذه الإنخلاعات والحد من إنتشارها . وتوجد أربع طرق أساسية لتقوية المعادن , كل منها تعمل على منع حركة الإنخلاعات وإنتشارها , أو تجعلهما غير مفضلين من الناحية الطاقية , هذه الطرق عرفت بميكانيكيات التقوية strengthening mechanisms .

**5.6 ميكانيكيات تقوية المعادن**

1. **صلادة التشغيل work hardening**

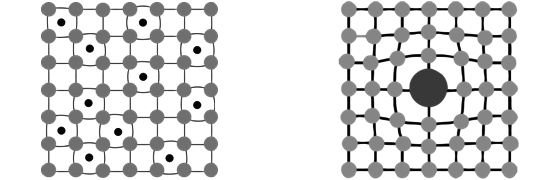
العامل الرئيسي المسئول عن صلادة التشغيل هو تفاعل الإنخلاعات فيما بينها , فعندما يكون عدد الإنخلاعات كبيرا تحدث هذه التفاعلات مولدة مجالات إجهادية stress fields في المادة . هذه المجالات الإجهادية تبدي تفاعلات تنافر أو تجاذب فيما بينها تؤدي إلى إعاقة حركة الإنخلاعات . إضافة لذلك , إذا تقاطع إنخلاعان يحدث تشابك لخطي الإنخلاعين يؤدي إلى ظهور نتوء ((jog , هذه التشابكات والنتوءات تعمل كنقاط وتدية أو إبرية pinning points تعارض حركة الإنخلاع .

وترتبط كثافة الإنخلاعات بقوة مقاومة الإذعان بالعلاقة التالية :

وتبين العلاقة السابقة أنه بزيادة كثافة الإنخلاعات تزداد مقاومة المادة للإذعان , أي يزداد الإجهاد القصي المطلوب لتحريك الإنخلاعات . هذه العملية يمكن ملاحظتها بسهولة أثناء شغل المادة .

1. **ميكانيكية التقوية عن طريق المحلول الصلب**

**Solid solution strengthening/ alloying**

في هذه الطريقة تذاب ذرات عنصر ما في عنصر آخر , حيث ينتج عيوب نقطية إحلالية أو حشرية (بينية) في البللورة (شكل 5-19) . هذه الذرات المذابة تسبب تشويهات distortions للشبكية تعمل على إعاقة حركة الإنخلاع , وبالتالي زيادة إجهاد الإذعان للمادة . كما ينشأ حولها مجال إجهاد يمكن أن يتفاعل مع هذه الإنخلاعات . وبسبب إنتشار الذرات المذابة في المادة فإن الإجهادات التي قد تكون إجهادات ضغط أو شد طبقا لحجم الجسيم المذاب تنتشر خلال الشبكية وتتداخل مع الإنخلاعات القريبة مسببة إعاقتها . هذا يعني أن الذرات المذابة تؤثر كحواجز جهدية potential barriers تمنع إنتشار الإنخلاع وتعيق نموه أو كليهما معا .

b) ) (a)

شكل (5-19): إنفعال الشبكية نتيجة إضافة الذرات المذابة البينية (a) والإحلالية b)) .

ويعطى الإجهاد القصي المطلوب لتحريك الإنخلاعات في المادة بالعلاقة التالية :

حيث هو تركيز المذاب , الإنفعال الناتج في المادة بسبب المذاب .

زيادة تركيز الذرات المذابة يؤدي إلى زيادة إجهاد الإذعان للمادة , ولكن يوجد حدود لكمية المذاب المضاف قبل ظهورالطورالثانيsecond phase في السبيكة بسبب التشبع الفائق supersaturating .

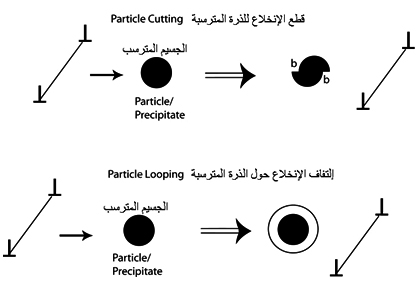
1. **ميكانيكية صلادة المترسبات**

**precipitation hardening mechanism**

تحضير السبيكة لمعظم الأنظمة الثنائية binary systems عند تركيزات أعلى من قيمها المحددة بواسطة المخطط الطوري phase diagram يكون مصحوبا بوجود طور ثاني , هذا الطور يمكن تكوينه أيضا بواسطة المعالجة الحرارية أو الميكانيكية . جسيمات مترسبات الطور الثاني تعمل كنقاط وتدية أو إبرية بنفس طريقة المذاب السابقة , هذه الجسيمات لا تكن بالضرورة ذرات مفردة . الإنخلاعات في المادة تتفاعل مع هذه الجسيمات المترسبة بإحدى طريقتين (شكل 5-20) :

1. إذا كانت المترسبات صغيرة الحجم ذات نصف قطر في حدود فإن الإنخلاعات تقطعها , وهذا يؤدي إلى تغير مساحة سطح الجسيمات المعرض للمادة matrix , وبالتالي تزيد الطاقة السطحية بين الجسم والمادة . ويعطى الإجهاد القصي بدلالة نصف قطرالجسيم وطول الإنخلاع L كالآتي :

1. أما إذا كانت الجسيمات المترسبة أكبر ونصف قطرها في حدود , فإن الإنخلاعات تلتف حول الجسيمات على شكل تقوس bowing أو حلقة looping مما يجعل الإنخلاعات أكثر طولا . ويعطى الإجهاد القصي بدلالة نصف قطر الجسيم وطول الإنخلاع في هذه الحالة بالعلاقة التالية :



شكل (5-20) : رسم توضيحي لتفاعل الإنخلاعات مع الجسيم , إما يتقاطع معه أو

يتقوس حوله مكونا إنخلاع حلقي .

1. **ميكانيكية الحدود بين الحبيبات**

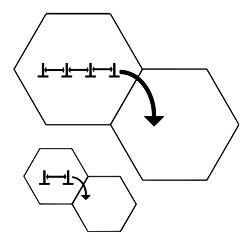
**Grain boundary strengthening**

في المعادن عديدة التبلور polycrystalline يكون حجم الحبيبات ذا تأثير هام جدا على الخصائص الميكانيكية , وحيث أن الحبيبات عادة تتبلور في اتجاهات مختلفة فإنه ينشأ حدود فاصلة بين هذه الحبيبات . فعندما يحدث تشويه للمادة ينتج عنه حركة إنزلاقية , فإن هذه الحدود بين الحبيبات تعمل كعائق لحركة الإنخلاع , وذلك للسببين التاليين :

1- لابد للإنخلاع أن يغير اتجاه حركته ليناسب اتجاه تبلور الحبيبات . 2- عدم إتصال مستويي الإنزلاق من الحبيبة 1 إلى الحبيبة 2 المجاورة .

وتعتمد قيمة الإجهاد المطلوب لتحريك الإنخلاع من حبيبة إلى أخرى والذي يسبب تشويها يؤدي إلى إذعان المادة plastic deformation على حجم الحبيبات grain size . وكما نلاحظ من شكل (5-21) فإن حجم الحبيبات الكبير يساعد على تراكم الإنخلاعات مما يؤدي إلى زيادة القوة المحركة لها من حبيبة إلى أخرى , كما يقل متوسط عدد الإنخلاعات لكل حبيبة مع نقص الحجم المتوسط للحبيبات . وهذا يؤدي إلى نقص ضغط الإنخلاع على الحدود بين الحبيبات بسبب صغر القوة المحركة للإنخلاعات , الأمر الذي يزيد من صعوبة حركة الإنخلاعات بين الحبيبات المتجاورة .

والعلاقة بين إجهاد الإذعان ومتوسط طول قطر الحبيبات  *والتي تعرف بعلاقة هول- بيتش* Hall-Petch*تعطى كالآتي* *:*

حيث هو إجهاد الإذعان الأصلي , , ثوابت .

شكل (5-21): رسم توضيحي لمفهوم تراكم

الإنخلاعات وكيفية تأثيرها على

مقاومة المادة للتشويه .

وحقيقة أن إجهاد الإذعان يزيد مع نقص حجم الحبيبات لا تكون مطلقة , لأن حجم الحبيبات لا يقل إلى مالانهاية . حيث وجد أنه عندما يقل حجم الحبيبات يظهر فراغ يؤدي إلى عدم تواؤم شبكي lattice mismatch , وعند قيمة أقل من تقريبا للقطرالمتوسط للحبيبات يحدث إنزلاق للحدود بين الحبيبات وهو مايعرف بظاهرة إنزلاق أو تلاشي الحدودgrain-boundary sliding .

**أسئلة وتمرينات**

1. ماهي أنواع العيوب في التركيب البللوري ؟ هل يعتبر وجود العيوب في البللورة عاملا سلبيا , ولماذا ؟ وضح إجابتك بذكر أمثلة .
2. أ- أذكر الشروط اللازمة للحصول على محلول صلب تام الذوبانية .
3. ما الفرق بين : السبائك , المحاليل الصلبة والمركبات ؟

أ- أذكر طرق الإنتشار الذري في التركيب البللوري .

1. اشتق قانون فيك في حالتي عدم إعتماد وإعتماد التركيز على الزمن .
2. متى يصبح قانونا فيك غير قابلين للتطبيق ؟
3. أ- ما المقصود بالإنتروبيا في النظام البللوري ؟
4. إشتق صيغة للإنتروبيا في نظام بللوري مكون من N ذرة , n - فراغا عندما :
5. يهمل تأثير الذرات المجاورة . 2- يؤخذ في الإعتبار تأثير أقرب الجيران .
6. أوجد وإرسم علاقة إعتماد عيوب شوتكي (الفراغات) n على درجة الحرارة T وبين كيف يمكن تحقيقها عمليا .
7. أ- ماهي أنواع العيوب الخطية , وكيف أمكن لنموذج فرنكل التنبؤ بوجودها ؟ صف هذه العيوب بالتفصيل .
8. عندما تتأثر البللورة بإجهاد أكبر من الإجهاد الحرج تحدث إنزلاقات لمستويات بللورية في إتجاهات معينة . ما هي المستويات البللورية والإتجاهات الأكثر إحتمالا لهذه الإنزلاقات ؟
9. ما المقصود بميكانيكيات تقوية المعادن ؟ أذكر أربعة طرق لتقوية المعادن وإشرح ميكانيكياتها – مع الرسم .
10. بللورة مكعبة بسيطة أحادية الذرة تحتوي على *N* عقدة , فراغا عند الإتزان الحراري .

أ- أوجد عدد الفراغات *n* في البللورة عند درجة حرارة *T* إذا كان كل فراغ يحتاج طاقة تكوين مقدارها .

1. أوجد العلاقة *n (T)* عند الإتزان الحراري إذا أخذنا في الإعتبار تأثير إهتزازات الشبكية .
2. أوجد التركيز الإتزاني وطاقة التكوين للفراغات في من النحاس عند درجة إذا علمت أن :

,

,

&

الحل:

حجم 1 مول يحتوي عددا من الجسيمات قدره . وبقرض أن حجم يحتوي عددا N .

1. ماهي المراكز الشائبية الملونة *impurity color centers* وكيف تؤثر على الموصلية الكهربية للجوامد ؟

الإجابة :

المراكز الملونة هي عيوب بللورية تسبب ظهور اللون في البللورة , وذلك لأن الإلكترونات في منطقة العيوب تمتص ضوء في مدى معين للطول الموجي , ويظهر اللون الناتج عن جزء الطيف الذي لم يمتص .

فمثلا : فراغات الكربون (ذرات الكربون الناقصة) في الماس تمتص الضوء ويصدر اللون الأخضر , كذلك إحلال بدلا من في الكوارتز يسبب ظهور اللون الدخاني للكوارتز (smoky quartz .

وفي درجات الحرارة العالية يمتلك الطور إلكترونات في موضع الفراغات . هذه الإلكترونات هي عبارة عن مراكز ألوان ويرمز لها F – centers نسبة إلى الكلمة الألمانية Farben والتي تعني اللون , بالمثل تسخين ZnS حتى 773 K يسبب نقص الكبريت S , مما يجعل المادة تبرق (تتلألأ) fluoresce بشدة في الضوء فوق البنفسجي .

وبسبب هذه العيوب يمكن تحويل الأكاسيد المعدنية العازلة إلى مواد شبه موصلة نتيجة لوجود العديد من مراكز الصيد المختلفة للإلكترونات . والمواد غير المتوازنة من حيث التكافؤ non – stoichiometric يمكن الحصول منها على أشباه موصلات n - أو – p , فمثلا أكسيد النيكل NiO يكتسب الأكسجين عند تسخينه في الهواء , وبالتالي يمتلك مواقع تؤثر كصائدات للإلكترونات , أي يعمل كشبه موصل p – type . وعلى العكس , يفقد أكسيد الزنك ZnO الأكسجين عند تسخينه والزيادة في ذرات معدن Zn في العينة تعطي إلكترونات , وبالتالي تعمل كشبه موصل من النوع – n .

1. إحسب نسبة الأماكن الذرية الخالية للرصاص عند درجة إنصهاره على إفتراض أن طاقة تكوين الفراغ الواحد هي .

الحل :

1. إحسب عيوب فرنكل في المتر المكعب لأكسيد الزنك ZnO عند , إذا علمت أن طاقة التكوين تساوي وأن كثافة أكسيد الزنك عند تساوي , الوزن الذري للزنك 65.41 وللأكسجين 16 .

الحل : يعطى عدد الأماكن الكلية *N* في الشبكية في المتر المكعب من العلاقة التالية :

1. *عينة من كتلتها 200 mg يراد تطعيمها بالأنتيمون Sb لتكوين النظام بحيث تكون النسبة . أوجد كتلة الأنتيمون المطلوب إضافتها للعينة لتحقيق هذه النسبة , علما بأن الوزن الذري لكل من Sn , O & Sb هي على الترتيب كالتالي 118.69 , 16 , 121.75 .*

*الحل :*

*أولا نوجد كتلة Sn في العينة :*

عدد ذرات *Sb* المطلوب إضافتها

=

*× = كتلة Sb بالجرام المراد إضافتها*

1. عينة من CdTe كتلتها 12 gm , إذا علمت أن الوزن الذري للكادميوم هو 112.4 وللتريليوم 127.61 , فأوجد :
2. وزن كل من الكادميوم والتريليوم في العينة .
3. نسبة الكادميوم بالوزن .
4. عدد ذرات الكادميوم في العينة .
5. عدد ذرات التريليوم في العينة .
6. عدد الجزيئات CdTe .
7. نسبة الكادميوم المولارية (الذرية) . مع التعليق على النتائج .

الحل :

1. وزن الكادميوم بالجرام تعطى كالتالي :

*حيث هي الكتلة الكلية للعينة*

1. نسبة الكادميوم في العينة بالوزن :

1. عدد ذرات الكادميوم في العينة :

عدد أفوجادرو × عدد المولات للكادميوم =

1. عدد ذرات التيليريوم في عينة المركب :

1. عدد جزيئاتCdTe في العينة :

1. النسبة المولارية (الذرية) للكادميوم :

واضح أن : عدد ذرات الكادميوم = عدد ذرات التيليريوم = عدد جزيئات المركب . مثل هذا المركب CdTe هو مركب متوازن التكافؤ stoichiometric ويكون فيه :

عدد الأنيونات (anions) = عدد الكاتيونات (cations)

1. *إذا رمزنا للنسبتين الكتلية والذرية لعنصر ما في مركب ثنائي بالرمزين , على الترتيب . أ- أثبت أن :*

*&*

*حيث ,* هماالوزنان الذريان للعنصرين *a* , *b* على الترتيب .

1. حقق العلاقتين بإستخدام نتائج المثال السابق .

*الحل**:****العلاقة الأولى*** *( التحويل من إلى ) :*

*وبالتعويض عن , من العلاقة (3-5) نجد أن :*

*بالقسمة بسطا ومقاما على نجد أن :*

***العلاقة الثانية*** *(التحويل من إلى ) :*

*بالتعويض عن , من العلاقة (3-5) نجد أن :*

*بالقسمة بسطا ومقاما على نجد أن :*

***تحقيق العلاقتين*** *بإستخدام نتائج المثال السابق للمركب CdTe , حيث وجد أن :*

وبمعلومية الوزن الذري لعنصري السبيكة , حيث :

وبالتعويض في علاقتي التحويل نجد أن :

1. للنظام الثلاثي عندما *x = 1, 2, 3* .
2. أوجد : نسبة العناصر بالوزن *وبالوزن الذري* علما بأن الأوزان الذرية للعناصر على الترتيب هي كالتالي : , إعتبر كتلة العينة 10 جرام .
3. أوجد النسبة بين الكاتيونات والأنيونات عندما مع التعليق .

الحل :

ب- عندما فإن المركب يكون

= الوزن الذري للبزموت

= الوزن الذري للتيليريوم

= الوزن الذري للسيلينيوم

مجموع الأوزان الذرية =

1007.36 =

كتلة البزموت في العينة

كتلة التيليريوم في العينة

كتلة السيلينيوم في العينة

عدد ذرات البزموت

عدد ذرات التيليريوم

عدد ذرات السيلينيوم

أي أن المركب غير متوازن التكافؤ non- stoichiometric .

**نماذج لأسئلة الإمتحانات**

**النموذج الأول**

**السؤال الأول :**

صوب العبارات التالية :

1. كل من البللورة والشبكية البللورية تعتبر تركيبات دقيقة لانهائية .
2. تعتبر أشعة اكس مناسبة لدراسة التركيب البللوري لأن ترددها عالي جدا .
3. زيادة درجة الحرارة للنظام البللوري تكون دائما مصحوبة بزيادة عدد الفجوات في التركيب للحفاظ على قانون بقاء الكتلة .
4. تنتشر ذرات الكربون متخللة في بللورة الحديد لأن الكربون أقل كثافة منه للحديد .

**السؤال الثاني :**

اثبت أن التركيب متمركز الحجم B.C.C يحقق تعريف براڤي للشبكية الفراغية وأوجد له :

1. المتجهات الأساسية . ب- العدد التنسيقي .
2. المسافة بين أي مستويين في العائلة (111) .

**السؤال الثالث :**

1. أذكر نوع الروابط وأذكر خصائصها في كل من :
2. H2O 2- InSb 3- O2
3. إذا كانت الطاقة المطلوبة لتحطيم الروابط H – H في كيلومول تساوي , فاحسب الطاقة المطلوبة بالإلكترون ڤولت لتحطيم رابطة H – H واحدة .

**السؤال الرابع :**

للنظام البللوري الحقيقي الذي يحتوي على N ذرة , n فراغا , أوجد :

1. الزيادة في كل من الإنتروبي الحرارية والإنتروبي التكوينية لكل فراغ عند درجة حرارة T للنظام أعلى من الصفر المطلق .
2. أوجد علاقة إعتماد تركيز الفراغات على درجة الحرارة موضحا المعنى الفيزيائي لهذه العلاقة .

**السؤال الخامس :**

أذكر سبب فشل نموذج فرنكل في حساب قيمة واقعية لمعامل المرونة القصي لبللورة الجسم الصلب , ووضح مفهوم كل من الإنخلاع الحلقي , الإنخلاع الحلزوني , والإنخلاع الحافي .

**السؤال السادس :**

1. اكتب العلاقة بين متجهات الشبكية البللورية الأساسية ومتجهات الشبكية المعكوسة .
2. أوجد معكوس الشبكية المعكوسة للشبكية البسيطة (S.C) . علق على النتيجة .
3. برهن أن متجه الشبكية المعكوسة يكون عموديا على المستوى البللوري .

**النموذج الثاني**

**السؤال الأول :**

علل :

1. حجم الخلية الأولية في الشبكية البللورية لايعتمد على طريقة إختيارها .
2. تستخدم حيود الإلكترونات ذات الطاقات المنخفضة لدراسة سطوح المواد الصلبة البللورية , بينما يستخدم حيود النيترونات لدراسة التركيب المغناطيسي لها .
3. حجم الخلية الإبتدائية للتركيب F.C.C يساوي أربعة أمثال حجم الخلية الأولية .
4. الشبكية المعكوسة تعتبر نوعا من أنواع شبكيات برافي .

**السؤال الثاني :**

1. ارسم الخلية الأولية لويجنر – زايتز للشبكية البللورية البسيطة في بعدين ووضح علاقتها بمنطقة بريليون .
2. إذا كانت المتجهات الأساسية للشبكية السداسية البسيطة تعطى كالتالي :

1. أثبت أن متجهات الشبكية المعكوسة لها تعطى بالصورة التالية :

1. أوجد حدود منطقة بريليون الأولى .
2. أوجد الزاوية بين المتجهين .

**السؤال الثالث :**

1. وضح مفهوم الشبكية المعكوسة وبين أنها ترتبط مع الشبكية الأساسية من خلال العلاقة , حيث R , K هما متجها الشبكية الأساسية والمعكوسة على الترتيب .
2. اكتب متجه الشبكية المعكوسة للشبكية الأساسية المكونة من المستويات , وأثبت أنه عمودي على هذه المستويات .

**السؤال الرابع :**

1. ناقش شروط الحصول على محلول صلب إحلالي تام الذوبانية من عنصرين .
2. يعتقد أن وجود العيوب (الإنخلاعات مثلا) في المواد البللورية قد يؤدي إلى تحسين خصائصها الميكانيكية . إشرح مع الرسم تأثير حجم الحبيبات والحدود الفاصلة بينها على الخصائص الميكانيكية في المعادن عديدة التبلور .

**السؤال الخامس :**

1. اكتب شرطي لاوي وبراج للتداخل البناء للأشعة السينية وأثبت أنهما متكافئان .
2. إشرح مع الرسم تجربة لاوي لدراسة التركيب البللوري .

**السؤال السادس :**

1. صف مع الرسم : عيوب فرنكل وشوتكي – الإنخلاع الحلقي موضحا إتجاه متجه بيرجر .
2. إشرح مع الرسم طرق إنتشار الذرات في البللورات وأذكر الحالات التي لايطبق فيها قانونا الإنتشار .

**بعض إمتحانات المستوى الثالث في فيزياء الجوامد (1)**

**المراجع**

**(References)**

1. Solid State Physics , G.I.Epifanov , Moscow institute of electronic engineering , 1979 .
2. Solid State Physics , Neil W Ashcroft , N.David Mermin , Cornell University 1976. Volume I & II .
3. Physics of Solids , Charles A. werrt, Robb M Thomson , University of Illinois, 1964.
4. Introduction to Solid State Physics , Charles Kittel , I-V Editions , John Willey and Sons ,Inc.1978.
5. Optical Properties of Solid , Mark Fox , University of Sheffield , 2006.
6. G.D.Mahan , J Appl. Phys.,1980.
7. K.Kawamura etal , Thin Solid Films,2003.
8. Point –defects – induced band-gap narrowing , H.Sam etal, Thin Solid Films, 2004.
9. Electronic Properties of Crystalline Solids , Richard H.Bube , Academic press , New York ,1974.
10. Solid State Physics ,J.S.Blakemore , Cambridge Univ. press 2004.
11. Electronic Emission .L.N.Dobrylsov , M.V.Gomounova , Moscow , Nawka press 1966.
12. Solid State Physics , H.Ibach,H.Luth ; Springer, Indian reprint 2004.
13. Solid State Physics and its applications , R.J.Elliott , A.F.Gibson ; G.B.1976.
14. A modern Handbook of physics , B.M.Yavorsky and A.A.Detlaf . Mir Publishers , Moscow 1982 .
15. Physics of Semiconductors and Dielectrics , P.T.Areshken , High School , Moscow 1977 .
16. Materials Science , B.Arzamasov , Mir Publishers , Moscow 1989.
17. Electronic processes in Non-crystalline Materials, N.F.Mott and E.A.Davis , Clarendon , Oxford ,1971.
18. Mostafa Kamal , A.B.El Bediur , Radiation Effects in solids , vol 159 pp.651-657 , 2004 .
19. G.E.Doan , The principles of physical Metallurgy , Mc Graw - Hill Book company , INC, New York , Toronto , London , Library of congress card Number 52-743 , 1953 .
20. Green ,D., An Introduction to Mechanical properties of Ceramics, Cambridge Solid State Science Series ,Eds. Clarke, D.R.Suresh,S.,Ward,I.M.,1998 .
21. D.Kuhlmann-Wilsdrof, "Theory of Plastic deformation", Materials Science and Engineering A,vol. 113 , pp 1-42,1989.
22. Introduction to Modern solid state physics, “Yuri M Galperin”, FYS 448 Dept. Phys., 0316 Oslo.
23. Solid dtate physics, problems and solutions, Laszlo Mihaly & Michael C. Martin, John Wiley & Sons, Inc., New York, 1996.
24. Problems and solution on Solid State Physics, World scientific publishing Co. Pte. Ltd, Lim Yung – Kuo, 1995.
25. Solid state Physics, Chetan Nayak, Univ. California, Los Angeles, 2000.
26. Asm handbook, Metallography and Microstructure Vol.9 Asm International, Materials Park, 1985.
27. William D. Callister, Jr., Materials science and Engineering An Introduction, John Wiley& Sons, Inc. 2004.
28. V. Raghavan, Materials science and Engineering, 3rd edition, Prentice Hall of India Private Limited, New Delhi, 1990.
29. A.H. Hussein, Modern Physics II, Superconductivity, 2004.
30. H. S. Nalwa, Handbook of Thin Films Materials, Vol. 3 Academic Press, 2001.
31. Bassani and Pastori – Parravicini, Electronic states and optical transition in solids, Pergamon Press, NY (1975).
32. S. K. J. Al Ani etal, The Optical absorption edge of amiorphous Si monoxide, J. mat. Science, 19(1984).
33. أساسيات فيزياء الجوامد د . رأفت كامل واصف دار النشر للجامعات –

القاهرة 1994 .

1. فيزياء الحالة الصلبة , د. يحيي نواري الجمال جامعة الموصل – العراق .

**ملحقات**

**جدول : بادئات مضاعفات وكسور الوحدات الأساسية في النظام SI**

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **الرمز Symbol** | **البادئة Perfix** | **معامل الضرب Multiplying factor** | **الرمز Symbol** | **البادئة Perfix** | **معامل الضرب Multiplying factor** |
| **إكزا exa** | E | 1018 | **أتو atto** | A | 10-18 |
| **بيتا peta** | P | 1015 | **فيمتو femto** | F | 10-15 |
| **تيرا tera** | T | 1012 | **بيكو pico** | P | 10-12 |
| **جيجا giga** | G | 109 | **نانو nano** | N | 10-9 |
| **ميجا mega** | M | 106 | **ميكرو micro** | U | 10-6 |
| **كيلو kilo** | k | 103 | **ميللي milli** | M | 10-3 |
| **هيكتو hecto** | h | 102 | **سنتي centi** | C | 10-2 |
| **ديكا deca** | da | 10 | **ديسي deci** | D | 10-1 |

**بعض الثوابت الفيزيائية**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **الكمية** | **الرمز** | **القيمة** |
| **نصف قطرالهيدروجين لبوهر** |  |  |
| **سرعة الضوء في الفراغ** | C |  |
| **شحنة الإلكترون** | e |  |
| **كتلة السكون للإلكترون** |  |  |
| **الشحنة النوعية للإلكترون** |  |  |
| **كتلة السكون للبروتون** |  |  |
| **كتلة النيترون** |  |  |
| **ثابت الجاذبية** | G |  |
| **ثابت بلانك** | h |  |
| **عدد أڤوجادرو** |  |  |
| **الثابت العام للغازات** | R |  |
| **ثابت بولتزمان** |  |  |
| **السماحية الكهربية للفراغ (الثابت الكهربي)** |  |  |
| **النفاذية المغناطيسية الفراغ(الثابت المغناطيسي)** |  |  |
| **بوهر ماجنتون** |  |  |
| **العزم المغناطيسي للإلكترون** |  |  |
| **ثابت ستيڤان – بولتزمان** |  |  |
| **الإلكترون ڤولت** | eV |  |
| **درجة الحرارة عندما** |  |  |
| **التردد عندما** |  |  |
| **الطول الموجي عندما** |  |  |