

## الباب الخامس

### الخواص الكهربائية للمواد (Electrical Properties of Materials)

- 1.5. مقدمة .
- 2.5. العازل وشبه الموصل والموصل .
- 3.5. أشباه الموصلات .
- 1.3.5 التركيب الذري لأشباه الموصلات .
- 2.3.5 طريقة عمل أشباه الموصلات .
- 3.3.5 أشباه الموصلات ذات الشوائب .
- 4.3.5 الوصلة الثنائية .
- 4.5. المغناطيس .
- 5.5. الخواص المغناطيسية .
- 6.5. خطوط المجال المغناطيسي .
- 7.5. المواد المغناطيسية .
- 8.5. الناقلية المغناطيسية .
- 9.5. الناقلات .
- 10.5. ضروريات القابلات .
- 11.5. المواد العازلة لخطوط النقل .
- 12.5. التلوث .
- 13.5. طلاء العوازل .
- 14.5. حماية الأجزاء المعدنية من التآكل .
- 15.5. كيفية اختيار المواد الموصلة والعازلة .
- 16.5. الخواص الكهربائية لبعض الفلزات الموصلة واستعمالاتها .
- 17.5. العوازل الكهربية .
- 18.5. تمارين .

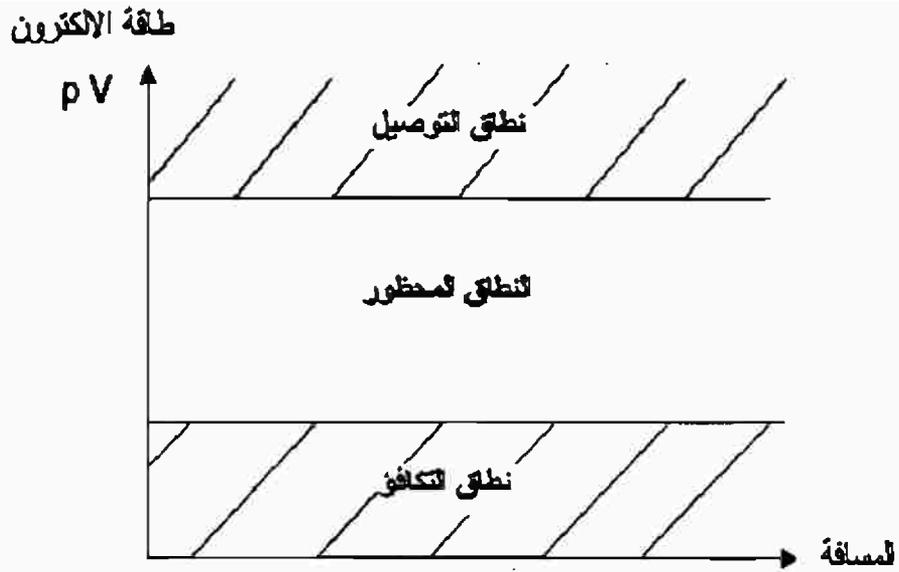
أشرنا سابقاً أن الذرة تتركب من نواة موجبة الشحنة في المركز تدور حولها في مدارات إلكترونات سالبة الشحنة ، والشحنة الموجبة للنواة تعادل تماماً مجموع الشحنات السالبة للإلكترونات التي تدور حول النواة . وإن الذرة في حالتها الطبيعية متعادلة كهربائياً ، حيث أن كل إلكترون يمثل كمية مجموعة الشحنة السالبة لذلك فإن كمية كافية من الشحنات الموجبة ضرورية لموازنة الشحنات السالبة للإلكترونات ، وتقع هذه الجسيمات الموجبة في المنطقة المركزية للذرة وتدعى البروتونات كذلك تحتوي الذرة على مكونات ذات شحنة متعادلة وتسمى النيوترونات . وكما هو معروف أن المادة تتكون من عدة ذرات من نوع واحد أو مختلفة الأنواع . فمثلاً الهيدروجين هو أبسط تركيب ذري له بروتون واحد في النواة مع إلكترون واحد في المدار الخارجي .

## 2.5 العازل وشبه الموصل والموصل

من المعروف أن المواد الصلبة لها نطاق توصيل ونطاق تكافؤ يفصل بينهما نطاق محظور ، هذه النطاقات تسمى بنطاقات مستويات الطاقة وتعرف هذه النطاقات كما يلي :

### (a) نطاق التوصيل (Conduction Band)

وهو النطاق العلوي للشكل (1-5) . والذي يمثل مستويات الطاقة للإلكترونات فعندما توجد إلكترونات في هذا النطاق فإنه يمكن تحريكها بتسليط مجال كهربائي عليها . وبينما يكون للمادة عدد كبير من الإلكترونات في نطاق التوصيل ، فإن المادة تعمل كموصل للكهرباء .



الشكل (1-5)

العلاقة بين طاقة الإلكترون والمسافة

(b) النطاق المحظور (Forbidden Band)

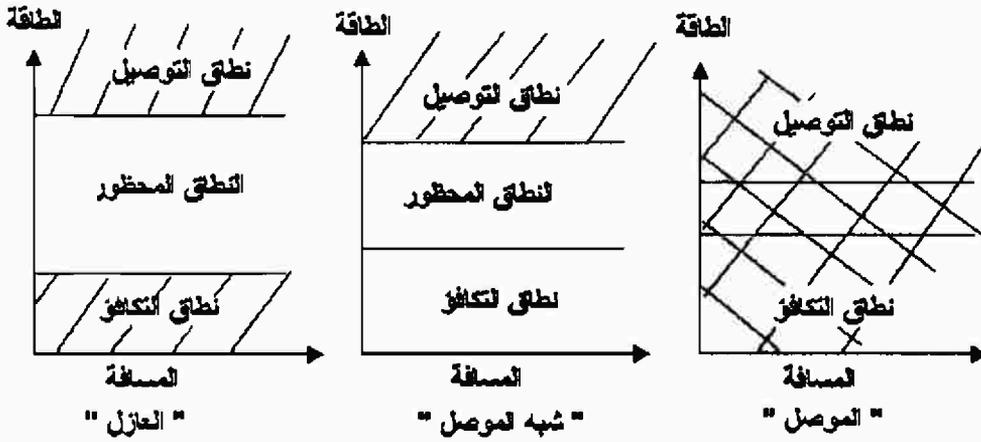
هذا النطاق يوجد مباشرة تحت نطاق التوصيل ولا يوجد إلكترون في هذا النطاق ويمكن للإلكترونات أن تقفز ذهاباً أو إياباً من نطاق التكافؤ السفلي إلى نطاق التوصيل العلوي ولكنها لا تستقر إطلاقاً في النطاق المحظور .

(c) نطاق التكافؤ (Valence Band)

يتكون هذا النطاق من سلسلة مستويات طاقة تحوي إلكترونات التكافؤ ، هذه الإلكترونات مرتبطة أكثر أو أقل بالنسبة للمفردة ومن لم يكن مدى تحركها محدوداً بدرجة أكبر من مدى تحرك الإلكترونات في نطاق التوصيل . إن مقدار اتساع الفاصل بين نطاق التوصيل ونطاق التكافؤ هو الذي يحدد فيما إذا كانت المادة عازلة أو شبه موصلة أو موصلة وكما مبين في الشكل (2-5) ، الذي يوضح الفرق بين العوازل وأشباه الموصلات والموصلات .

ففي المواد الموصلة يندمج نطاق التكافؤ ونطاق التوصيل إذا سلطت قوة دافعة خارجية صغيرة على الموصل فهي كافية لإحداث سريان التيار .

أما في المواد العازلة فيوجد اتساع شديد في النطاق المحظور ، والنطاق المحظور يتسع كلما زادت كمية الطاقة اللازمة لنقل الإلكترونات في نطاق التكافؤ إلى نطاق التوصيل . وفي العوازل تكون حزمة الطاقة مشغولة تماما بالإلكترونات وبذلك يحتاج العازل لكمية كبيرة من الطاقة لمرور ولو كمية ضئيلة من التيار خلال المادة . أما بالنسبة إلى المواد شبه الموصلة فسوف نتطرق إليها بالصورة المفصلة الآتية .



الشكل (2-5)

يمثل الفرق بين الموصل وشبه الموصل والعازل

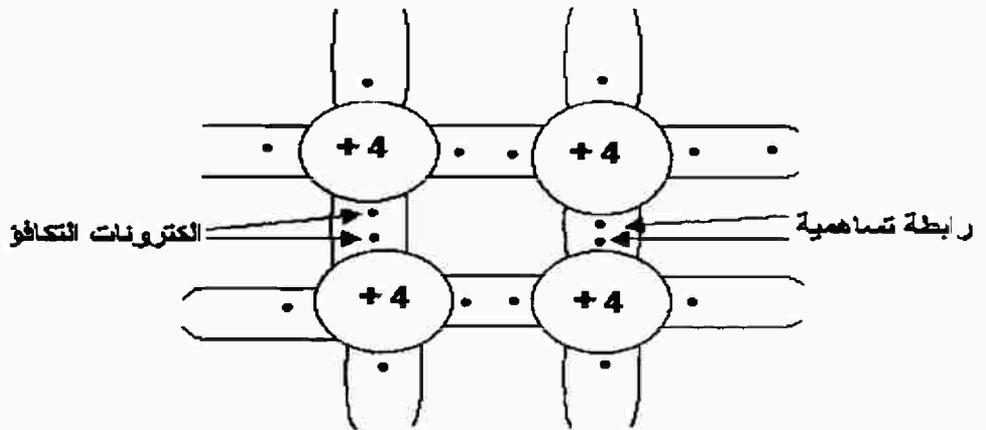
### 3.5 أشباه الموصلات (Semi-Conductors)

هذه المواد عند درجات الحرارة المنخفضة لا تحتوي على إلكترونات حرة الحركة ولذلك تعتبر عوازل ، ولكن عند درجات الحرارة العالية فإن بعض الإلكترونات في هذه المواد ستحرر من ذراتها وتصبح حرة الحركة

تاركة الذرة موجبة الشحنة وهي تسمى بالفجوة " الثقب " ، وفي هذه المواد فيتم التوصيل الكهربائي عن طريق الإلكترونات المحررة . الآن التوصيل الكهربائي في هذه الحالة منخفض و يمكن زيادة عدد الإلكترونات الحرة في أشباه الموصلات ، وبالتالي زيادة القدرة على التوصيل وذلك بإعطاء هذه المواد طاقة معينة كتسخينها إلى درجات حرارة مرتفعة مثلاً أو إسقاط أشعة ذات أطوال موجية معينة عليها .

### 1-3-5 التركيب الذري لأشباه الموصلات ( السليكون ، الجرمانيوم ) .

يحتوي الغلاف الخارجي لأشباه الموصلات على أربعة إلكترونات فالسليكون تحتوي الذرة الواحدة منه على أربعة عشر إلكترون منها أربعة إلكترونات في الغلاف الخارجي ، والجرمانيوم تحتوي الذرة الواحدة منه على (32) إلكترون منها أربعة إلكترونات في الغلاف الخارجي لذا فإن التركيب الذري لأشباه الموصلات يتبع خط رباعي حيث تشترك أو تساهم كل ذرة بأخذ إلكترون التكافؤ التابع لها من الذرة المجاورة وتسمى هذه بالرابطة التساهمية و يبين الشكل (3-5) التركيب البلوري لأشباه الموصلات .



الشكل (3-5)

التركيب البلوري لأشباه الموصلات

### 2-3-5 طريقة عمل أشباه الموصلات

نتيجة للتركيب البلوري لأشباه الموصلات فإنه من الصعب جدا قطع الرابطة التساهمية في درجات الحرارة المنخفضة ، وبالتالي فإنه من الصعب تحرير الإلكترونات الداخلة في تكوين الرابطة التساهمية إلا أنه في درجات الحرارة العالية فإن عدد قليل من الإلكترونات ستكون لديه طاقة تمكنه من قطع الرابطة التساهمية التابعة لها . بذلك يصبح الإلكترون حر الحركة ويشترك في التوصيل الكهربائي عندئذ سوف يخلف يترك كل إلكترون متحرر مكاناً فارغاً يدعى بالفجوة (hole) وتكمن أهمية الفجوة في أنها تعتبر ناقلة للتيار الكهربائي شأنها في ذلك شأن الإلكترون .

فعندما تتكون فجوة نتيجة تحرر إلكترون من النسق البلوري يصبح من السهل على أي إلكترون آخر في ذرة مجاورة أن يتحرر ويتحرك ليملا هذه الفجوة مخلفا مكانه فجوة أخرى . وهكذا فإنه عندما تتحرك إلكترونات نتيجة لوجود البلورة في درجات حرارة معينة تتكون فجوات موجبة الشحنة وليكن الافتراض أن حركتها في الاتجاه المعاكس لحركة الإلكترونات . تدعى كل من الإلكترونات والفجوات هذه بحاملات الشحنة بالتوصيل الكهربائي .

### 3-3-5 أشباه الموصلات ذات الشوائب

يوجد نوع من الشوائب التي تحسن موصلية شبه الموصل ويبين الشكل(4-5) مقطع لتركيب شبكي عندما تحل شائبة خماسية التكافؤ مثل الزرنيخ محل ذرة السليكون ، وأربع من إلكترونات التكافؤ لهذه الشائبة تشترك في الروابط التساهمية ، بينما الإلكترون الخامس يكون في حالة مختلفة فهو لا يشترك في عملية التأثير وهذا يعني أنه غير موجود في حزمة التكافؤ وكما موضح في الشكل(4-5) ، فمن المتوقع أن كمية صغيرة من الطاقة

تكفي لتحرير هذا الإلكترون الإضافي مقارنة مع تلك الطاقة اللازمة لتحرير الإلكترونات المشاركة في الأواصر التساهمية . هذا النوع من الشوائب ذات التكافؤ الخماسي يسمى مانح (Donor) ، لأنه يوجد إلكترون متحرك هو الإلكترون الخامس الزائد عند الترابط الرباعي . والسليكون المرتبط بذرات الشوائب يسمى سليكون من نوع (n) لأن غالبية حاملات الشحنة المتحركة هي عبارة عن الإلكترونات السالبة .

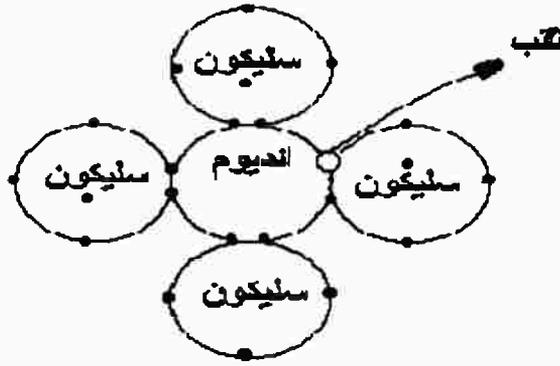


الشكل (4-5)

ارتباط ذرات السليكون مع ذرة الزرنيخ لزيادة الموصلية

بالمثل يمكن تنشيط بلورة السليكون بزيادة عدد الثقوب بها ، وذلك بأن نضيف إليها ثلاثة إلكترونات تكافؤ مثل الانديوم أو الجاليوم أو الألمنيوم فمثلا بإدخال ذرة الأنديوم في التشابك البلوري للسليكون نجد أنه ينقصها إلكترون واحد لتتشارك بأربع روابط تساهمية وبذلك تحدث فجوة مرتبطة بذرة المجموعة الثالثة كما موضح في الشكل (5-5) .

هذا النوع من الشوائب ذات التكافؤ الثلاثي يسمى المتقبل (Acceptor) والسليكون المنشط بذرات المتقبل يسمى سليكون من نوع (P-type) لأن غالبية حاملات الشحنات هي عبارة عن ثقوب موجبة .

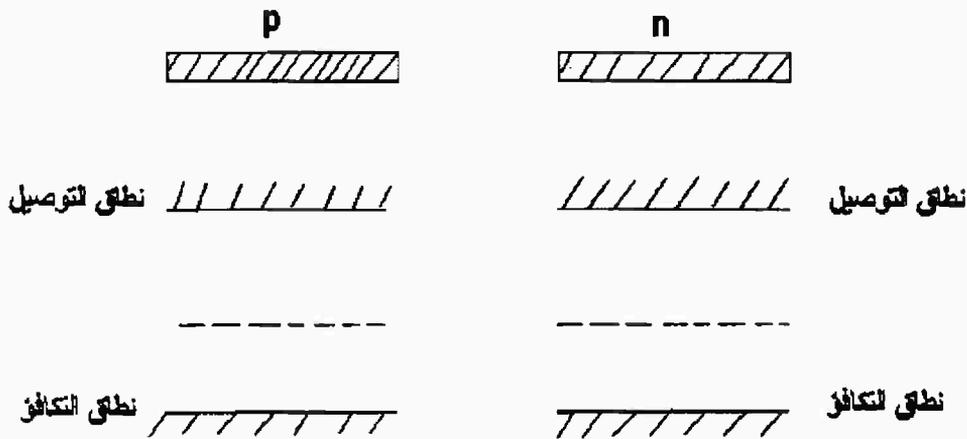


الشكل (5-5)

ارتباط ذرات السليكون مع ذرة الانديوم

### 4-3-5 الوصلة الثنائية (P - n Junction)

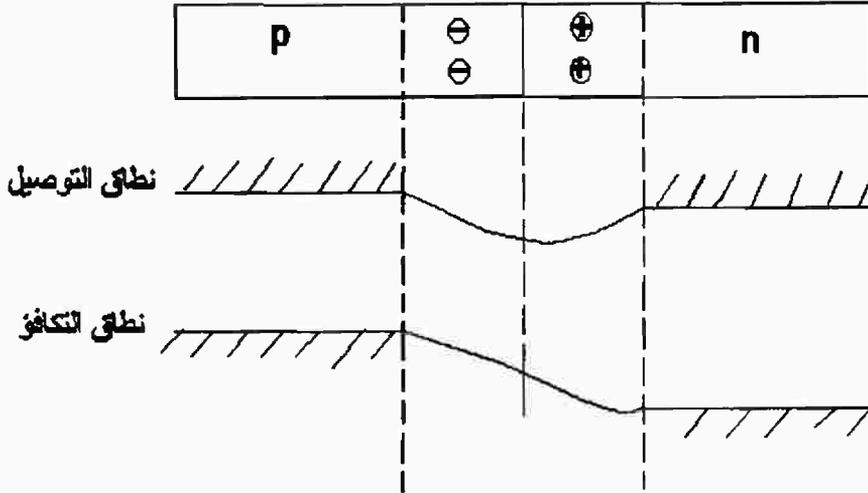
إن شبه الموصل المطعم بشوائب واهبة يملك عدد كبير من الإلكترونات في حزمة التوصيل عند درجة الحرارة العادية ويعرف بالنوع السالب (n-type) ، أما شبه الموصل المطعم بشوائب قابلة (acceptors) فيعرف بالنوع الموجب (p-type) ، لنفرض أن قطعة من شبه الموصل معزول من نوع (n) وأخرى من نوع (p) كما موضح في الشكل (6-5) أدناه .



الشكل (5-6)

الوصلة الثنائية بين النوعين السالب والموجب

فإذا تم توصيل بين القطعتين فإن الإلكترونات تنتقل من مناطق التركيز العالي (n-type) إلى مناطق التركيز الواطئ (p-type) ويحدث العكس بالنسبة للفجوات حيث تنتقل من مناطق التركيز العالي (p-type) إلى مناطق التركيز الواطئ (n-type) والشكل (7-5) ، أدناه يبين الرسم التخطيطي لحزمة الطاقة عند التوازن الحراري لفرق (p - n) :



الشكل (7-5)

الرسم التخطيطي لحزمة الطاقة عند التوازن الحراري

نتيجة لانتقال الإلكترونات والفجوات نلاحظ المادة نوع (P) تحمل شحنة سالبة بسيطة لاكتساب بعض الإلكترونات من المادة نوع (n) من جهة أخرى نجد أن المادة نوع (n) الموجودة في المنطقة تحصل على شحنة موجبة بسيطة نتيجة لفقدائها بعض الإلكترونات .

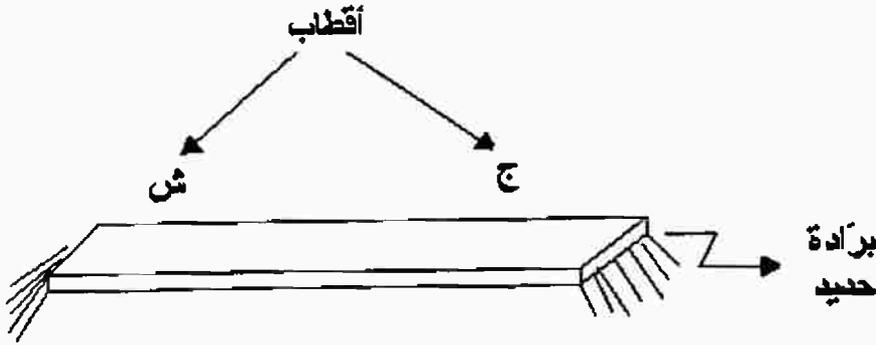
## 4.5 المغناطيس (Magnet)

أكتشف الإغريق في العصور القديمة نوعا من الأحجار التي عثروا عليها بالقرب من مدينة مغنسيا في آسيا الصغرى . حيث تمتاز هذه الأحجار بقدرتها على جذب أطراف الحديد . وهذا النوع من الأحجار هو عبارة عن نوع من الحديد الخام المسمى بالمجناتيت أو " الحجر الممغنط " . كما أطلق على خاصية الجذب باسم المغناطيسية ، ويطلق على الفراغ الذي يظهر فيه الأثر المغناطيسي باسم المجال المغناطيسي . كما لوحظ بأننا إذا قمنا بحك قضيب فولاذي لمغناطيس طبيعي وبتجاه واحد فإن القضيب الفولاذي يكتسب خاصية الجذب ، أي أنه بالإمكان الحصول على مغناطيس اصطناعي من مغناطيس طبيعي .

## 5.5 الخواص المغناطيسية (Magnetic Properties)

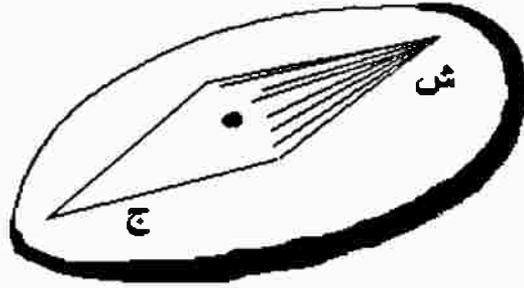
(a) الخاصية الأولى :

إذا قمنا بنثر برادة الحديد حول مغناطيس ، نلاحظ أن برادة الحديد تتجمع بغزارة حول نهايتيه . تطلق على تلك النهايات التي تتمتع بأشد قوة جذب باسم القطبين لذلك يمكن أن نقول لكل مغناطيس قطبان يتمتعان بأشد قوة جذب .



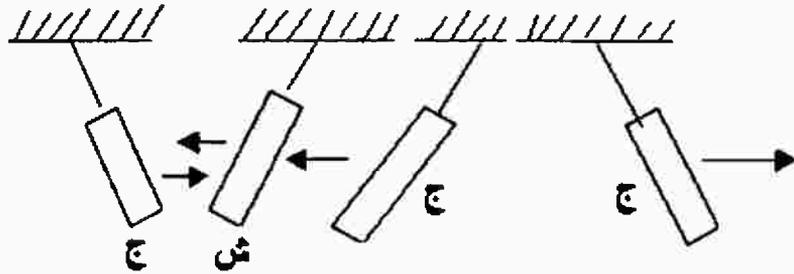
(b) الخاصية الثانية :

إذا وضعت إبرة مغناطيسية حول حامل يسمح لها بالدوران نرى بأنها تقصد وضعية الشمال الجغرافي ، الجنوب الجغرافي . ونستدل من هذه الخاصية أن قطبي المغناطيس يتجهان أحدهما نحو الشمال الجغرافي فنسميه القطب الشمالي ، والآخر نحو قطب الجنوب الجغرافي فنسميه القطب الجنوبي .



(c) الخاصية الثالثة :

إذا قرّب قطب شمالي المغناطيس من قطب شمالي لمغناطيس آخر ( كلا المغناطيسين لهما حرية الحركة ) نرى أن المغناطيسين يتدافعان ويبتعدان عن بعضهما ، كذلك إذا قرّب قطب جنوبي لإحدهما من قطب جنوبي آخر ، نراهما أيضا يتخذان نفس الوضعية السابقة أي يبتعدان عن بعضهما بينما إذا قربنا قطب شمالي لأحدهما من قطب جنوبي للآخر يحدث أن المغناطيسين يتجاذبان .

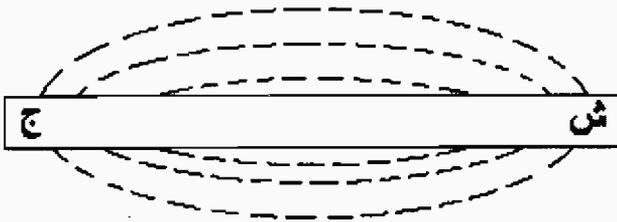


لذا بإمكاننا القول أن القطبان المتشابهان يتنافران والقطبان المختلفان يتجاذبان .

إذا كسرنا مغناطيس إلى نصفين ، نرى أن كل قسم من الأقسام أصبح له قطب شمالي وقطب جنوبي ، أي أن كل قسم أصبح يتمتع بخواص مغناطيس كامل ، إذا تابعا وقسمنا القسمين الناتجين كل منهما إلى قسمين آخرين نحصل من جديد على أقسام جديدة لها خواص المغناطيس الكامل ، وهكذا يمكن متابعة هذا التقسيم حتى نصل إلى عناصر صغيرة جدا أي إلى ذرات الحديد التي لا تقبل التقسيم . وفي هذه الحالة يمكن التصور بأن الخواص المغناطيسية لهذه الذرة إنما هي ناشئة عن حركة الإلكترونات حول النواة التي يمكن أن نعتبره كمغناطيس صغير له قطب شمالي وقطب جنوبي لذلك يمكن القول أنه لا يمكن الحصول على مغناطيس له قطب واحد وأن كل مغناطيس مهما صغر حجمه له قطبين شمالي وجنوبي .

### 6.5 خطوط المجال المغناطيسي (Magnetic Field Lines)

لو وضعنا مغناطيس فوق لوح من الزجاج ونثرنا ذرات من الحديد فوق ذلك اللوح ، نرى بأن تلك الذرات ( بعد ضرب اللوح بضربات خفيفة ) ستنتظم على شكل خطوط مغلقة تلتصق بكلا القطبين وتلتقي مع بعضها وقد أطلق على تلك الخطوط باسم خطوط المجال المغناطيسي (Magnetic Field) وقد أتفق على أن هذه الخطوط للمجال المغناطيسي تخرج من القطب الشمالي وتدخل إلى القطب الجنوبي كما يوضح ذلك الشكل (5-8) .

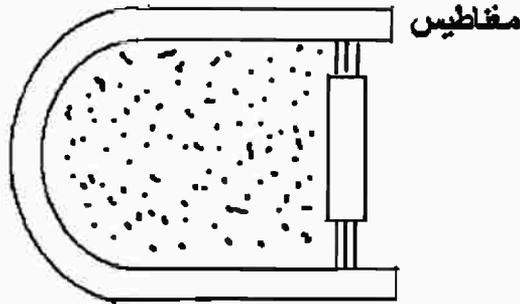


## 7.5 المواد المغناطيسية

إن المغناطيس لا يجذب إليه جميع المواد في الطبيعة وإنما يجذب فقط المواد المسماة بالمواد الفرومغناطيسية وهي : الحديد , النيكل , الكوبالت ومن هذه المواد هناك قسم يحافظ على مغناطيسيته وقسم آخر لا يحافظ عليها وإنما يفقد معظمها فوراً . تسمى المواد التي تحافظ على مغناطيسيتها باسم المواد القاسية . وتسمى المواد التي تفقد مغناطيسيتها باسم المواد اللينة .

### 8.5 الناقلية المغناطيسية " النفاذية " (Permanence)

إذا وضعنا قطعة من الحديد اللين في مجال مغناطيسي ، نلاحظ أن خطوط المجال المغناطيسي تمر عبر الحديد اللين وتتجنب قدر الإمكان المرور في الهواء ، أي أن نفاذية المواد الحديدية للخطوط المغناطيسية أكبر من نفاذية الهواء . يرمز للنفاذية بالرمز  $(\mu)$  .



وأن قيمة نفاذية الهواء مقاربة لنفاذية الفراغ المطلق وتساوي تقريباً :

$$\mu_0 = 4\pi \times 10^{-07} \frac{\text{Henry}}{\text{meter}}$$

وإن نسبة نفاذية بقية المواد إلى نفاذية الفراغ المطلق تعطي ما يسمى النفاذية النسبية أي أن :

$$\mu_r = \frac{\mu}{\mu_0} \dots \dots \dots (1-5)$$

حيث أن :

$\mu_r$  : هي النفاذية النسبية .

$\mu$  : هي النفاذية المطلقة .

وتكون النفاذية النسبية لبعض المواد الاخرى المواد كما يلي :

للنحاس = 0.999

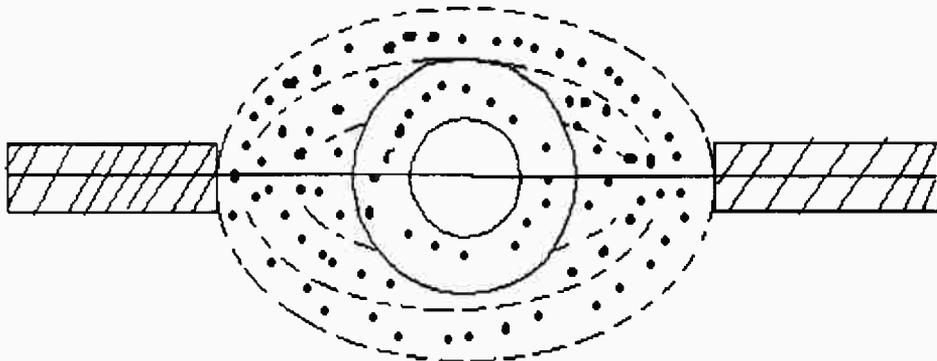
للماء = 0.999

الهواء = 1

الحديد = 5

الفراغ المطلق = 1

لو أعدنا التجربة السابقة بوضع حلقة من الحديد في المجال المغناطيسي فإننا نلاحظ أن الخطوط تمر عبر الحديد في الحلقة ، بينما في داخل الحلقة تكاد تنعدم خطوط المجال أي أن الحلقة تعزل المجالات المغناطيسية وهذا ما يفيدنا كثيراً في حماية أجهزة القياس من المجالات الأرضية ( مجال الأرض مثلاً ) والتي قد تؤثر عليها .



## 9.5 الناقلات (Conductors)

يتم نقل التيار الكهربائي من أماكن توليده إلى مراكز الأحمال والاستهلاك بواسطة أسلاك ، ولما كانت هذه الأسلاك تقوم بنقل التيار الكهربائي من مكان لآخر فإنها تسمى بالناقلات . ومن أهم الأنواع الشائعة الاستخدام في نقل القدرة الكهربائية بالنسبة للجهود العالية والمتوسطة هي :

1- الخطوط الهوائية .

2- القابلات الأرضية .

ومن أهم ميزات ناقلات القدرة الكهربائية من مختلف الأنواع هي :

a- قابلية عالية للتوصيل الكهربائي .

b- تحمل قوة الشد الميكانيكية العالية .

c- أن تكون لها مقاومة نوعية منخفضة .

d- تحمل الظروف الجوية المختلفة .

e- رخيصة الثمن نسبياً .

وتعتبر الخطوط الهوائية أحد الوسائل المهمة لنقل القدرة الكهربائية من مراكز الإنتاج إلى أماكن الاستهلاك ، وأهم العناصر المستخدمة في شبكات النقل هي :

(a) موصلات النحاس الأحمر

وهو عبارة عن موصل من مادة جيدة التوصيل للكهرباء ويحتوي على عدد الأسلاك المستديرة متساوية القطر والمجدولة معا لولبيا مكونة قطر الموصل . ويعتبر النحاس الأحمر المسحوب من أفضل أنواع الموصلات استعمالا ويمتاز هذا النوع بما يلي :

1- بقدرة عالية على تحمل الشد .

2- معامل تمدده أقل بكثير من النحاس الأحمر الطري .

3- ذو متانة عالية .

4- له مقاومة نوعية منخفضة .

5- له أفضل قابلية للتوصيل مقارنة بباقي المعادن وهي تعتمد على درجة نقاوته فكلما زادت النقاوة زادت قابلية التوصيل وقلت مساحة المقطع .

### (b) موصلات الألمنيوم (Aluminum Conductors)

يعتبر الألمنيوم من المعادن الجيدة التوصيل للكهرباء ويحتوي على أسلاك من الألمنيوم المسحوبة المستديرة متساوية القطر والمجدولة معا لولبيا مكونة قطر الموصل . ويمتاز هذا النوع من الموصلات بما يلي :

1- خفيف الوزن .

2- يعتبر ثاني المعادن قابلية للتوصيل بعد النحاس .

3- رخيص الثمن نسبيا .

4- عند الضغوط العالية يكون الفقد في الطبقة المضيئة(الكرونا) أقل .

### (c) الكرونا

هي ظاهرة تحدث بين أي خطين هوائيين يرتفع ضغطهما لدرجة تكفي للتأين عند سطحي الخط ، وإذا ارتفع الضغط أعلى من ذلك وفي ظروف جوية رطبة يحاط الخط بطبقة مضيئة تسمى بالكرونا وعادة ما يصحب الكرونا صوت أزيز ورائحة الأوزون .

وقد تم الإقلال من موصلات الألمنيوم كنوع من أنواع الموصلات في شبكات الخطوط الهوائية لعيوبها الآتية :

1- نقطة الانصهار منخفضة ، حيث يكون تأثير القصر عليه خطيرا جدا .

2- يحتاج إلى أذرع ذات مساحة كبيرة لأنه معرض إلى التآرجح .

3- لحامه يحتاج لعناية أكثر من أي معدن آخر .

#### (d) موصلات الألمنيوم المقوي بالصلب (الفولاذ)

وهي عبارة عن أسلاك من الألمنيوم المسحوبة المستديرة متساوية القطر والمجدولة معا لولبياً على قلب من أسلاك الصلب المجلفن . ويستعمل هذا النوع من الموصلات عادة في خطوط النقل ذات الجهود العالية والفائقة ويستعمل قلب الصلب في هذا النوع لزيادة قوة تحمل الشد لموصل الألمنيوم أما الغرض من استعمال الصلب المجلفن فهو لمنع حدوث عملية الصدأ والتآكل الكهروكيميائي .

#### (e) القابلات الأرضية

تستخدم الكابلات الكهربائية لنقل وتوزيع الطاقة الكهربائية من محطات التوليد إلى محطات التحويل ومنها للمستهلكين . وفي أغلب الأحيان تستخدم الخطوط الهوائية لنقل وتوزيع الطاقة الكهربائية ، ولكن في المناطق السكنية يتوجب استخدام القابلات الكهربائية والتي توضع في باطن الأرض لتفادي الأخطار التي قد تنتج عن وجود الخطوط الهوائية بجوار المساكن على الرغم من كون تكاليف القابلات أعلى بكثير من تكاليف الخطوط الهوائية . وتستخدم القابلات الأرضية عادة في الجهود المتوسطة والمنخفضة حيث تم خلال السنوات الأخيرة تحقيق تقدم كبير في صناعة القابلات والتي أدت إلى تصنيع قابلات تعمل على جهد مرتفع جدا تصل إلى حد (500 kV) .

#### (f) مكونات القابلات

تتكون جميع القابلات في الغالب من المكونات الرئيسية التالية :

- 1- الموصلات .
- 2- المواد العازلة .
- 3- مواد التغليف .
- 4- الفرش .
- 5- مواد التدريع .
- 6- الغلاف الواقي .

## (1) الموصلات :

تصنع الموصلات عادة من النحاس أو الألمنيوم النقيان ويعتبر النحاس من أجود أنواع المواد من حيث قابليته للتوصيل الكهربائي وكذلك مقاومته للتآكل وإمكانية تشكيله بسهولة . أما الألمنيوم فإن قابليته للتوصيل الكهربائي أقل من النحاس ويعتبر الألمنيوم أخف وزنا من النحاس ، حيث تبلغ سعة حمل التيار لموصلات الألمنيوم حوالي 80% من سعة حمل التيار لموصلات النحاس ذات الحجم نفسه .

## (2) المواد العازلة :

من الشروط الواجب توفرها في عوازل القابلات أنه يتم عادة تقسيم القابلات نسبة لنوع العازل المستعمل ، وعادة أنواع العوازل في الكابلات لا بد أن يتحقق فيها ما يلي :

- a- تمتلك خاصية المقاومة النوعية العالية .
- b- تمتلك خاصية ارتفاع جهد الكسر للعازل .
- c- تكون قابلة لامتناس الرطوبة الجوية أو من الوسط المحيط .
- d- تكون قادرة على تحمل درجات الحرارة العالية دون حدوث تلف كبير فيها.
- e- غير قابلة للإشعال .
- f- لا تتأثر بالأحماض والقلويات .

وحيث أنه لا يمكن عمليا الحصول على عازل يحمل جميع هذه المواصفات لذلك فإن اختيار العازل المناسب سيعتمد على الغرض المطلوب لأجله العازل المعني و كذلك على كمية العازل المسموح بها .

ومن أهم المواد العازلة للقابلات هي :

- 1- المطاط (Rubber) .
- 2- متعدد الأثيلين (البولي أثيلين Polyethylene ) .

- 3-كلوريد عديد الفينيل(كلوريد البولي فينيل (Polyvinyl Chloride P.V.C).
- 4- المواد الليلية مثل الورق .
- 5- القار الأحمر المقسى بالكبريت (Vulcanized Bitumen) .
- 6- خيوط الحرير - القطن المطلية بالمينا (Enameled Silk – Cotton) .
- 7- الجوتابارشا وهو نوع من الصمغ الهندي (Gotta – Parcha) .
- 8- مادة الـ X.L.T.E. .

### (1) المطاط (Rubber)

يعتبر المطاط خير مادة عازلة ولكن المشكلة تكمن في أن الكابلات المغلفة بالمطاط لا تتحمل الصدمات أو الضغوط الميكانيكية....الخ وبالتالي يجب وضع هذه الألواح من الكابلات في أسباب لحمايتها ولذلك تستخدم أنواع أخرى من المطاط كمادة عازلة مثل المطاط السيلكوني والذي يمتاز بزيادة مقاومته للصدمات والضغوط الميكانيكية وكذلك قيمة إجهادات الجهود المختلفة .

### (2) البولي أثيلين (P.E.)

وهو مركب صناعي يمتاز بأن له قوة عزل عالية جدا ويكون عمره طويل في الاستعمال وهو صلب مع قليل من المرونة ، ويعتبر ممتاز من الناحية الكهربائية و الميكانيكية وله جهد كسر قدره (400 kV /cm) ، وهو غير قابل للاحتراق إلا إذا تعرض للهب مستمر فإنه يحترق ثم يتوقف احتراقه بعد ذلك بسنتيمترات قليلة ولهذه الخواص فهو يستعمل بكثرة في العوازل .

### (3) كلوريد البولي فينيل (P.V.C.)

ويستعمل أيضا بكثرة في عمليات العزل لأنه يمتاز بارتفاع مقاومته النوعية وجودة جهد العزل والتحمل الميكانيكي وتزداد قوة صلابته عند ارتفاع درجة الحرارة بمعدلات عالية أما الرطوبة والحوامض والقلويات فلا تؤثر فيه .

#### (4) الورق

وهو المادة العازلة الرئيسية في القابلات وهو ذو خواص كهربائية جيدة في العزل خاصة عند كونه جافاً ، وتستخدم فيه الزيوت في عملية تشبييع أو إستشراب الورق العازل ومن خواصه أيضاً قلة قابليته لامتصاص الماء وتجري عمليات لف شرائط الورق العازل حول الموصلات بكل دقة بحيث تكون خالية من التجعدات وبالتالي فإن شرائط الورق الملفوفة حول الموصلات لا تتأثر بعمليات ثني الكابل أثناء فرزها ووضعها في باطن الأرض .

#### (5) القار الأحمر المقسى بالكبريت

وهو أرخص كثيراً من المطاط ويقاوم التآكل الناتج عن الغازات والأبخرة والماء وله مقاومة نوعية (10 أوم / سم) ولا يتأثر بالرطوبة ومن عيوبه عدم إمكانية مقاومة ارتفاع درجة حرارته .

#### (6) الحرير والقطن المغطى بالمنيا

هذه العوازل تستعمل في عزل الموصلات المستخدمة في الضغوط المنخفضة ويغطي الموصل أما بطبقة أو بطبقتين من القطن أو الحرير وهذه تغطي الأسلاك المستخدمة في الأجهزة وملفات المحركات .

#### (7) الصمغ الهندي (الجوتا بارشا)

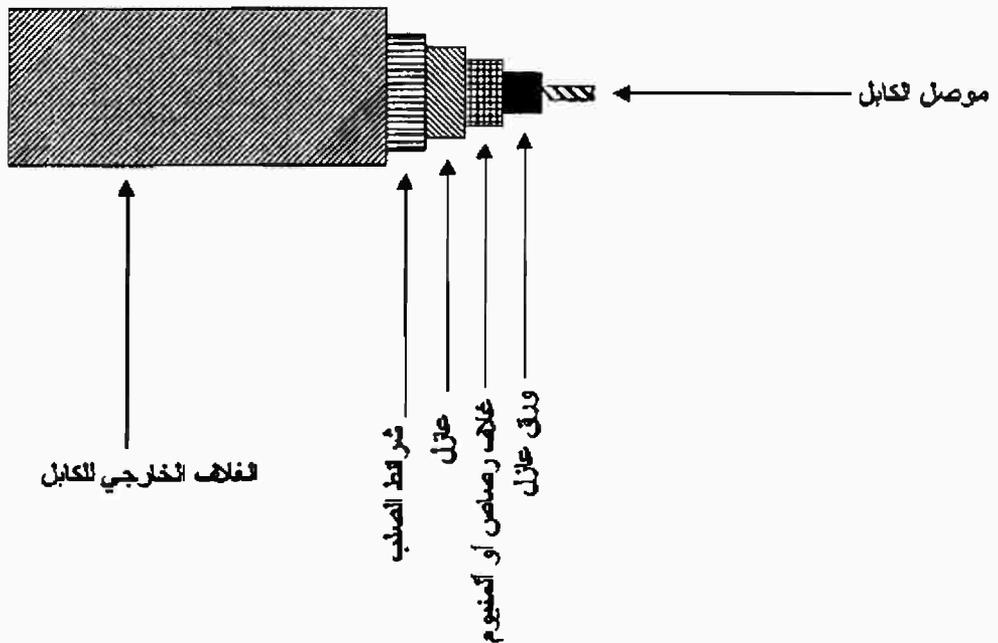
وهو يشبه إلى حد كبير المطاط إلا أنه يصبح هشاً عند درجة حرارة أعلى من  $66^{\circ}\text{C}$  إن المقاومة النوعية تتراوح من  $(2.5 \Omega \text{ إلى } 2.5 * 10 \Omega)$  ويصبح هشاً لو تعرض للهواء ، وهو لا يمتص الرطوبة حيث لا يمكنه مقاومة حتى الضغط المتوسط وتحتاج الكابلات من هذا النوع إلى مهارة خاصة في لحامها .

## (8) مادة الـ (X-L-B-E)

تعتبر هذه المادة من المواد العازلة والجيدة والتي تمتاز بعدم تأثرها بالماء وكذلك بزيادة ارتفاع مقاومتها الحرارية ومرونتها العالية وكذلك تمتاز بمقاومتها للصدمات والضغوط الميكانيكية .

### (3) مواد التغليف

في العادة يتم تغليف القابلات باستخدام مادة الرصاص أو مادة الألمنيوم المسطح باعتبار أن هذه المواد مقاومة للرطوبة ، وعند تغليف الكابلات يجب التأكد من خلو الغلاف من أية مسامات وخاصة القابلات الزيتية وعادة ما يستخدم الألمنيوم لخفة وزنه ولزيادة مرونة الكابل . كما يستخدم الغلاف المعدني كحماية للقابل حيث يستخدم كتأريض للقابل أي أن جهده صفرا بالنسبة لفرق الجهد بالموصلات التي تنسب إليه .



الشكل (8-5)

مواد التغليف للكابل

#### (4) الفرش :

وهي الغلاف الواقي أو الألمنيوم والفرش هامة نتيجة تأثير الرصاص بالنسبة لتأثرها بالتفاعلات الكهروكيميائية والمواد العضوية ، وهي عبارة عن طبقة من شريط القطن أو الورق وقبل عملية التغطية به يجب تخفيفه وإشباعه بمادة غير قابلة لامتصاص الرطوبة والمواد المستعملة لمنع الرطوبة لها كما تمنع التفاعلات الكيميائية مع الغطاء المعدني أو غطاء التسليح .

#### وضع الغطاء الواقي :

يتم وضع درع للقابلات بواسطة لفها بطبقتين من الشريط الصلب أو باستخدام عدة طبقات من أسلاك الصلب وتوضع بعض المواد الفاصلة بين الغلاف وصلب التدريع وهذه المواد الفاصلة تتكون من طبقات الورق أو الخيش .

#### الغطاء الواقي :

يتم تغطية القابلات بمادة واقية من الصدأ وكان يستخدم لهذا الغرض الخيش المشبع بالقطران وذلك بلف الكابل بشريط من هذا الخيش ولكن حالياً تستخدم مادة (P.V.C.) كغطاء واقي للقابلات .

#### 10.5 ضروريات القابلات

إن من أهم الضروريات التي يجب أن تتوفر في أي قابل هي :

(a) يجب أن يكون النحاس أو الألمنيوم المستعمل بحجم مناسب وأن يكون الكابل مناسب للتيار المار فيه نتيجة التحميل الذي ينتج عنه ارتفاع درجة الحرارة .

- (b) يجب أن يكون للقابل سمك عزل مناسب وأن يمتلك درجة عالية من الأمان ويكون معتمد عند الضغط المسلط عليه .
- (c) يجب أن تكون جميع المواد المستعملة في صناعة الكابلات خاملة كيميائياً وثابتة طبيعياً في أي مكان توضع فيه .
- (d) يجب أن يجهز القابل بحماية ميكانيكية تمكنه من مقاومة وضعه في أي مكان .

## 11.5 المواد العازلة لخطوط النقل (Insulators)

### 1.11.5 الخزف (Ceramic)

كان الخزف المادة المتعارف عليها في العزل في فترة العشرين سنة الماضية ، وكذلك الزجاج إلا أن الخزف لا زال هو المادة المستعملة لصناعة العوازل الكبيرة جدا ولقد تم تصنيع نماذج بطول (17) متر . من الناحية الميكانيكية والكهربائية فإن العوازل المصنوعة من الخزف لا تتأثر كثيرا بالعوامل الطبيعية ، وكذلك في حالة حدوث الشرر أو الوميض الكهربائي وذلك طول فترة حياتها الافتراضية ، حيث أن الخزف لا يتأثر بالحرارة إلا إذا قاربت من  $1400^{\circ}\text{C}$  ، أما في حالة وجود مثل الشحوم على السطح الخزفي فقد تسبب في الشرارة الكهربائية وبالتالي ينتج عنها تآكل سطحي " تعرية " ورغم أن هذا الأمر هو بعيد الاحتمال إلا أنه إذا ما حصل فسيكون أمرا خطيرا جدا خاصة إذا ما كانت العوازل معبأة بالغاز .

### 2.11.5 الزجاج (Glass)

إن الزجاج بحكم كون درجة حرارة ذوبانيته التي تساوي  $800^{\circ}\text{C}$  فإن هذا يجعله عرضة للتلوث في حالة حدوث عملية الشرر الكهربائي ، خاصة إذا وجد تآكل سطحي كالذي يحصل عند أماكن مسامير التثبيت وحيث ما تجمعت الأبخرة ، أو إذا كان التلوث الجوي للعوازل كبير . إن الزجاج يتحمل قوة شد

أكبر من الخزف وهذا يعتمد على طريقة التصنيع إذ لوحظ أن وجود شوائب في الزجاج يجعله سهل الكسر وتسمى هذه العملية بالتركيز الأيوني ولكن هناك تقنيات تفيد التغلب عليه بتصنيع مواد عالية المقاومة للشد .

### 3.11.5 عوازل البوليمر (Polymer)

هذه النوعية من العوازل تمتاز بخفة الوزن وجمال المظهر وكذلك عدم تجمع المياه عليها بسهولة ، فهي صالحة للأماكن عالية التلوث ، وهذه النوعية من العوازل عادة ما يتم تصنيعها من الألياف الزجاجية المخلوطة بمادة لاصقة ويتم طلاؤها بمادة البوليمر لتوفير الحماية . ومن عيوب هذه النوعية أن أي ضعف في الوصلات أو بين أسطح الغطاء والألياف الزجاجية قد يسمح بتسرب المياه إلى الداخل وبالتالي حدوث ما يسمى بالتآين أو (التفاعل الأيوني) وكذلك إنتاج بعض الأحماض التي تهاجم الألياف الزجاجية . أن سطح هذه العوازل يتأثر بالأشعة فوق البنفسجية والشرارة الكهربائية إذا ما حدثت ، ولكن قد تم التغلب على هذه المشاكل بطرق حديثة إذا تم استعمال مواد لينة لتجنب مشكلة التكسير التي قد تحدث للبوليمر ، ولقد تم تصنيع عدة عوازل من مواد مختلفة لعل أهمها (رباعي فلورو متعدد الأثيلين PTFE أو التفلون) وهو مادة مصنعة من البوليمر والأثيلين وكذلك الـ (Epr) وهي مادة مصنعة من الأثيلين والابروبين والمطاط وأهم ميزة لهذه العوازل هي عدم قدرة المياه على التجمع عليها .

### 12.5 التلوث (Pollution)

يعتبر التلوث من أكثر الأخطار لحدوث الوميض الكهربائي على العوازل الكهربائية ويؤدي إلى فشل مهام العوازل . إن مشكلة الشرر الكهربائي (Flash Over) على العوازل الكهربائية هي مشكلة قديمة جدا حيث أنه في العام 1870 ظهرت هذه المشكلة على عوازل خطوط النقل

وتم التغلب عليها باختراع عوازل مغمورة بالزيت ، نتيجة لارتفاع فرق الجهد المستعمل لنقل الكهرباء ، حيث أصبح مهم جدا التركيز والبحث لوضع حلول لهذه المشكلة ولكن لم يبدأ ذلك إلا في بداية الثلاثينات من هذا القرن وذلك عندما واجه الإنجليز هذه المشكلة في شبكة (132kV) حيث قاموا بأبحاث معملية نتج عنها وضع نماذج حَقِيقِيَّة في منطقة كرايدون الصناعية والتي توجد فيها محطة لتوليد الطاقة ، يستعمل فيها الفحم كوقود وبالتالي فهي منطقة تلوث عالي وهناك توصلوا إلى تطوير عوازل تثبتت بالمسمار وصالحة للاستعمال ضد الضباب ، أما في الأجزاء الأخرى من أوروبا فقد وجدت نفس المشاكل في محطة روها وهي منطقة صناعية لإنتاج الفحم وتم إجراء بعض الاختبارات ، حيث قاموا بتلويث بعض العوازل بمواد طبيعية مثل كلوريد الصوديوم وبعض أنواع الرمال حيث تم تبليلها بالبخار ورشها على العوازل ثم تحميل تلك العوازل بعد أن تصل درجة التوصيل إلى أعلى حد في محلول كلوريد الصوديوم .

### 13.5 طلاء العوازل

هناك اتجاه يختلف اختلافا كبيرا عن الطرق السابقة للحماية من عملية الشرر الكهربائي وذلك باستعمال عوازل خزفية مع طلاء سطحها بمادة شبه موصلة ولماعة ، وهذه الطريقة تشمل على طلاء السطح الخارجي بالكامل للعازل بمادة لماعة يتم خلطها ببعض أكاسيد المعادن لتجعلها عالية المقاومة على الطبقة السطحية . وهذه الميزة تجعل جزء بسيط من التيار ينفذ خلال شبه الموصل في جميع الأحوال وبالتالي رفع درجة حرارة سطح العازل مما يجعل المياه التي قد تتجمع تتبخر بسرعة .

وكما لكل طريقة عيوب فإن هذه الطريقة لا تخلوا من بعض العيوب ، مثل تشقق الطبقة اللماعة ويمكن أن تحصل تلك خصوصا عندما يكون هناك سريان

تتأثر بين الماء والمادة اللّماعة . وأخيراً في المناطق العالية التلوث ، فإن بعض معطيات التوزيع يجب احتوائها داخل مباني رغم ضرورة تنظيف العوازل الخارجة عن المبنى .

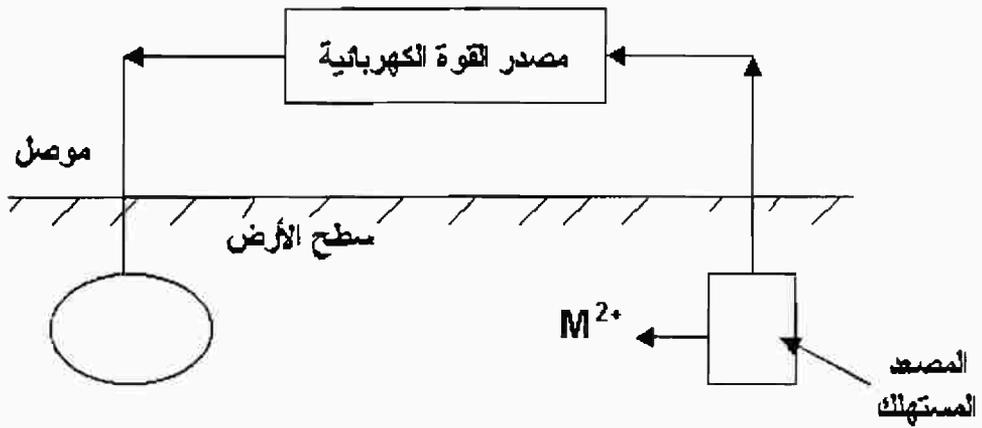
## 14.5 حماية الأجزاء المعدنية من التآكل

إن من المعايير المهمة التي يقاس بها تقدّم الدول الآن هي مقدار الاهتمام الذي توليه هذه الدولة أو تلك ببرامج حماية إنشائها المعدنية والمتابعة الجيدة والكشف الدوري للمعدات لأن الفقد والخسارة نتيجة عدم حماية تلك المنشآت والمعدات قد يصل إلى ملايين الدولارات سواء في الدول المتقدمة أو النامية . إن ترشيد استخدام المعدات أصبح حالياً أهم من تصنيع المعدة بحد ذاته لأن حماية المعدن من التآكل وتجنب حوادث الانهيارات الميكانيكية وتلوث أوساط البيئة بالمواد المشعة والمواد الكيميائية الخطرة .

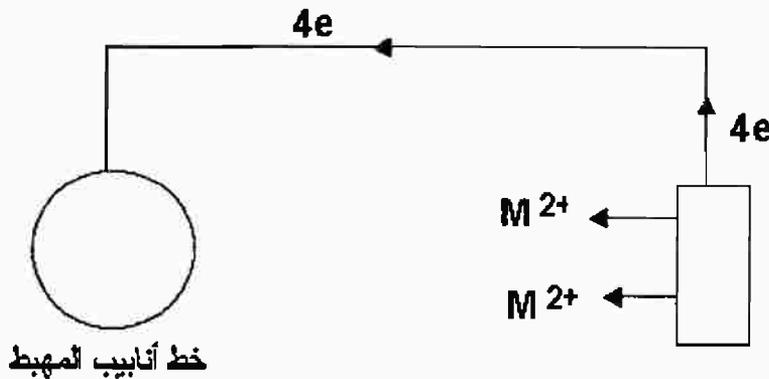
إن التآكل هو الفعل التدميري للإنشاءات نتيجة لتفاعل موادها مع الوسط البيئي مما ينجم عنه فقدان وتناقص في الخواص المصممة والمصنعة لهذه المواد . ويأخذ التآكل أشكالاً متعددة وتفاوت درجات حدوثه من وسط إلى آخر ومن معدن إلى آخر لذا كان موضوع حماية المعادن من التآكل هو موضع اهتمام ودراسة لكثير من المهتمين بقضايا المواد.

ويشترط في تطبيق الحماية أن تكون اقتصادية الاستخدام وأمنة التطبيق فأهم هذه الطرق هو المفاضلة بين المواد الهندسية بما يتماشى مع أوساطها التآكلية وتأخذ الحماية مسلك آخر وذلك عن طريق التحكم في درجة التآكل للأوساط بالإضافة إلى استعمال مانعات التآكل الكيميائية أو تغيير الظروف البيئية من حرارة وضغط وتركيز أو عزل الوسط الآكل عن المعدن باستخدام

الطلاء لقطع دائرة التآكل ، التي تستلزم وجود المانع كموصل أيوني ووجود المصعد لعملية الأكسدة والمهبط لعملية اختزال الأيونات كما سبق شرحه في الباب الرابع يمثل جانبا وقائيا واسع التطبيق . وقد يشترط الطلاء مع ما يعرف بالحماية الكهربية أو المهبطية والتي تستخدم لحماية الإنشاءات المعدنية وتتم تلك الحماية باستعمال معادن وسبائك أخرى تعمل كمصاعد تضحية في سبيل الإنشاءات المعدنية المطلوب حمايتها وهذه الطريقة قد تتم باتصال بمصعد يضحى به بفعل ذاتي نتيجة لفرق الجهد الكهروكيميائي عن المادة المطلوب حمايتها كما هو واضح في الشكلين (9-5) والشكل (10-5) .



الشكل (9-5) دائرة وتفاعلات الحماية المهبطية من التآكل باستخدام الدفع الكهربائي



الشكل (10-5) دائرة وتفاعلات الحماية المهبطية من التآكل باستخدام أقطاب التضحية

## 15.5 كيفية اختيار المواد الموصلة والعازلة

(How To Choose Conductors and Non – Conductors)

في هذا البند سوف نقوم بعرض ثلاث حالات لاختيار المادة المناسبة لتطبيقات مختلفة تبين لنا الحلول المناسبة لكيفية اختيار المواد الموصلة والعازلة .

### الحالة الأولى :

اختيار مادة الجسم الخارجي لجهاز التلغاز حيث يؤخذ بنظر الاعتبار في هذه الحالة عدة عوامل في اختيار المادة المناسبة ، ولكثرة الإقبال على المنتج فهو من الأشياء واسعة الانتشار لدرجة كبيرة جدا . ولذا لا بد و أن تكون المادة قابلة للتشكيل بالطرق المعروفة وتكلفتها كذلك بحدود مقبولة ، إضافة إلى ذلك لا بد أن تكون المادة المناسبة ذات مقاومة ميكانيكية عالية بما فيه الكفاية للمحافظة على الأجزاء الإلكترونية الداخلية في جهاز التلغاز .

مما لا شك فيه أن هناك العديد من المواد الفلزية المناسبة والتي يمكن تشكيلها بالطرق الاعتيادية ، ولكن يستبعد منها ما هو غالي الكلفة وأيضا يمكن استخدام البلاستيك وتشكيله من خلال عدة عمليات مختلفة وعلى هذا الأساس فإن المصمم مطالب بأن يختار ما بين الفولاذ والألمنيوم والأنواع المختلفة من البلاستيك . ولا بد أن يأخذ المصمم بنظر الاعتبار كذلك نوع الأجهزة المطلوبة لتشكيل ذلك الهيكل وتصنيع الأبعاد .

يضاف إلى ما ذكر أن هناك عوامل خاصة يجب مراعاتها جيدا وهي أن تكون مادة الجزء الخارجي لجهاز التلغاز غير قابلة لتوصيل التيار الكهربائي وتوفير تبريد وتهوية للأجزاء الإلكترونية الداخلية حتى لا ترتفع درجة حرارتها . كذلك يجب ألا تؤثر الخواص المغناطيسية للمادة المستخدمة على

الدوائر الكهربائية الحساسة في جهاز التلفاز كما يجب أن لا تؤثر مادة الهيكل الخارجي لجهاز التلفاز على الصوت الصادر من الجهاز .

ويجب أن يحدد المصمم أي من تلك الخواص ذات التأثير الأساسي على جهاز التلفاز وعلى كفاءة تشغيله ، وقد تكون المغناطيسية هي أهم تلك الخواص بالإضافة إلى مشاكل التصنيع ، وعليه يتم استبعاد العديد من المواد وسيكون التركيز على مادة أو مادتين ، وهنا يتضح أن المادة المختارة لن تكون هي أقل المواد تكلفة بل أنسبها وأكثرها ملائمة لظروف العمل وحاجة السوق .

### الحالة الثانية :

إذا كان المطلوب اختيار عازل حراري ، فسيتم استبعاد المواد الفلزية أولاً حيث أن معامل توصيلها الكهربائي هو عالي جداً بالمقارنة بالمواد الأخرى مثل البلاستيك ومواد السيراميك ، وعند المقارنة بين السيراميك والبلاستيك نجد أن السيراميك هو المادة الأكثر شيوعاً واستخداماً . أما إذا كان المطلوب عازل كهربائي فيفضل استخدام أي بوليمر وهناك العديد منها ويتم اختيار البوليمرات في هذه الحالة لأنها تتمتع بخواص ميكانيكية جيدة إضافة إلى خواصها الممتازة في العزل الكهربائي .

ويمكن أن تؤثر حالة المادة في كيفية الاستخدام . فمثلاً يستعمل أكسيد المغنيسيوم أو المغنيسيا في العزل الحراري ، ويعتمد معامل العزل الحراري له على حالته فعندما يكون على صورة مسحوق ، فيتراوح معامل التوصيل له  $(0.3 - 0.4 \frac{Btu}{hr.ft.F^{\circ}})$  ، ولكن عندما يكون على صورة طوب فإن قيمة معامل التوصيل قد تصل إلى 27 .

## الحالة الثالثة :

اختيار مادة للموصلات الكهربائية ، إن الخاصية الأساسية المطلوب توفرها في هذه الحالة هي معامل توصيل كهربائي جيد ، وبالنظر إلى الأنواع المختلفة من المواد (مواد فلزية - بلاستيك - مواد سيراميكية) ، فإن الاختبار الأول والأوحد لتوصيل التيار الكهربائي لن يكون إلا للفلزات لما لها من خاصية توصيل جيدة للتيار الكهربائي مقارنة مع بقية أنواع المواد الأخرى .

وبطبيعة الحال ، فإن بعض الفلزات تعتبر أفضل نسبيا في التوصيل الكهربائي من البعض الآخر . ويوضح الجدول (1-5) المقاومة الكهربائية لعدد من الفلزات المشهورة والتي يمكن تشكيلها على صورة أسلاك أو شرائح (حيث أن الموصلات الكهربائية غالبا ما تكون بهيئة أسلاك أو شرائح حتى تلائم الهدف المطلوب) . من المعروف أن الفلزات غير النقية وكذلك السبائك حتى تلك الحاوية على نسبة منخفضة من المعادن هي ذات مقاومة عالية لتوصيل التيار الكهربائي وذلك بالمقارنة مع الفلزات النقية أو الفلز لوحده .

جدول (1 - 5)

وزن موصل مكافئ لوحدة طول من نحاس	المساحة السطحية المكافئة لمقاومة 100 ملم <sup>2</sup> من النحاس	المقاومة في الكثافة $\frac{ohm \cdot kg}{m^2} \times 10^{-03}$	معامل التوصيل النسبي (للنحاس هو 100%)	المقاومة الكهربائية $\frac{ohm}{m} \times 10^{-03}$	الكثافة كجم/م <sup>3</sup>	المادة
1.00	100	15.0	100	1.67	8900	نحاس
3.59	381	53.8	26	6.33	8520	نحاس أصفر
28.10	3333	422	3	48.000	8800	سبيكة مونيوم
4.06	410	60.9	24	6.84	8900	نيكل
5.09	581	76.4	17	9.71	7870	حديد
37.00	4166	555	2.4	70.00	7930	فولاذ

15.60	1237	234	8	20.66	11340	رصاص
2.81	354	42.2	28	5.91	7140	خارصين
0.48	159	716	63	2.65	2700	ألمنيوم
0.93	303	14	33	5.0	2800	مغنيسيوم
0.52	266	7.74	38	4.45	1740	سبائك ألمنيوم
3.11	145	46.7	69	2.42	19300	ذهب
1.13	97	17	103	1.62	10500	فضة
0.29	269	4.37	37	4.50	970	صوديوم
211.00	82335	3.63	0.12	1375	2300	كربون

يوضح الجدول (2-5) مقارنة بين عدد من الخواص لكل من الحديد والفولاذ المقاوم للصدأ والألمنيوم بسبائكته وسبائك النحاس (النحاس الأصفر أو المونيل) ، ويظهر من الجدول أن الفلز النقي هو ذو معامل توصيل كهربائي أفضل من أي سبيكة فلز ، ونتيجة لذلك فإن الفلز غير النقي يكون خيرا من السبيكة وفي أسوأ الحالات يتم اختيار إحدى سبائك ذلك الفلز منخفضة المحتويات لذلك الغرض .

ولاختيار فلز كموصل للتيار الكهربائي ، وبالنظر إلى الجدول (2-5) نجد أن الفضة تتفوق على النحاس في خاصية التوصيل الكهربائي ، لكن وعلى الرغم من ذلك فإن جميع الاختيارات تتجه أما إلى النحاس أو الألمنيوم وذلك للأسباب التالية :

- 1- الفرق بين معامل التوصيل الكهربائي للفضة وفضة النحاس والألمنيوم فارق طفيف .
- 2- الفضة أغلى في التكلفة كثيرا مقارنة بالنحاس أو الألمنيوم .
- 3- الفضة نادرة التوافر سواء في الطبيعة كخام أو في الأسواق المحلية أو العالمية بينما فلزا النحاس والألمنيوم أكثر توافرا وإنتاجا .

وبهذا يبقى الاختيار محصورا بين فلزي النحاس والألمنيوم ، وكان النحاس هو المفضل في السابق والمسيطر الرئيسي في سوق الموصلات الكهربائية ، ولكن بدأ الألمنيوم يظهر ويأخذ دورا جيدا في الاستخدام ويحل جزئيا محل النحاس في بعض تطبيقات التوصيلات الكهربائية . حيث يتوقف الاختيار بين هذين الفلزيين على طبيعة الاستخدام وعلى الجزء الذي سيستخدم الموصل فيه وسنأخذ ثلاثة أمثلة لتوضيح هذه المسألة ، المكائن الكهربائية ، الخطوط العلوية للنقل ، والتوصيلات المنزلية . وتتدخل عوامل التصميم والتشكيل والخواص الميكانيكية في اختيار نوع الفلز المناسب وفيما يلي نتناول كل حالة من الحالات أعلاه على حدة :

#### (a) المكائن الكهربائية

في معظم المكائن الكهربائية أو المستعملة للتيار الكهربائي يكون المكان المخصص للأسلاك والتوصيلات الكهربائية في الغالب صغيرا ومحدودا ولهذا ، يفضل اختيار أسلاك ذات أقل مقاومة لوحدة المساحة السطحية وتبعاً لهذا فإن الفضة هي الأفضل يليها بدرجة أقل النحاس كما مبين في جدول (5-1) ولكي تعطي الأسلاك المصنوعة من الألمنيوم قيمة المقاومة نفسها فإن مساحتها السطحية تزيد بحوالي 50% ، مقارنة بأسلاك النحاس ولذا فإنه قياساً إلى وحدة الحجم وهو العامل الأساسي في الاختيار في المكائن الكهربائية تكون الأفضلية للنحاس .

#### (b) الخطوط العلوية لنقل الطاقة الكهربائية

لن يكون في هذه الحالة عامل قلة المساحة السطحية أو وحدة الحجم هو العامل الأساسي بالنسبة لأسلاك الخطوط العلوية لنقل الطاقة الكهربائية حيث يتوفر الفراغ الكافي لأي حجم من الأسلاك ، ويكون عامل الأساس في الاختيار عندئذ هو الموصل ذو قوة التوصيل الأعلى لكل وحدة وزن ، أي

الفلز الذي يوصل التيار الكهربائي مع أقل فقد في الطاقة . وبالنظر إلى ذلك العامل في جدول(5-1) ، فإن فلز الألمنيوم أفضل من النحاس وبفوقه مرتين .

وإذا أخذ بنظر الاعتبار معامل التوصيل فقط ، فإن الصوديوم هو أفضل العناصر مجتمعة ولكن الصوديوم يستبعد نظراً لأنه سريع الانفجار والاشتعال عند تلامسه مع الماء . ويمكن التفكير مستقبلاً في استخدام الصوديوم كعنصر موصل وذلك بوضعه داخل غلاف ، ومثال ذلك الموصل عندما يتم استخدامه سيكون أفضل من النحاس بأربعة أضعاف وبضعفين عن الألمنيوم .

وعلى الرغم من تفوقه بمرتين على النحاس في التوصيل الكهربائي لوحدة الوزن ، فإن استخدام الألمنيوم مازال محدوداً وذلك لأن المادة المستخدمة في صناعة الخطوط العلوية لنقل التيار الكهربائي يتم تثبيتها بين نقطتين .

ومن المفضل أن تكون المسافة بين تلك النقطتين أكبر ما يمكن أي يكون طول الأسلاك أكبر ما يكون ، وذلك لكي يتم تشكيل تلك الأسلاك بالأطوال المطلوبة ، لا بد أن يكون جهد خضوعها عالي وبالنظر إلى جهود خضوع الفلزات المختلفة نجد أن جهد خضوع النحاس يبلغ أكثر من ضعف جهد خضوع الألمنيوم ، وبالنظر في الخواص الميكانيكية كذلك الكهربائية أي التوصيل الكهربائي لكل وحدة خاصة ميكانيكية يتضح أن النحاس هو أفضل قليلاً من الألمنيوم ولكن يمكن التغلب على نقطة الضعف هذه باستخدام الفولاذ كقضبان للمساعدة مع أسلاك الألمنيوم .

جدول (5 - 2) خواص بعض المواد الهندسية

نوع المادة	الكثافة النوعية	معامل المرونة كجم/سم <sup>2</sup> x 10 <sup>5</sup>	مقاومة الشد كجم / سم <sup>2</sup> x 10 <sup>2</sup>	معامل التوصل الحراري سم.سم <sup>2</sup> /سم.ثانية.م <sup>2</sup>	معامل التمدد الحراري (سم / سم . م <sup>2</sup> ) x 10 <sup>6</sup>	عند درجة حرارة 20 م <sup>2</sup> أرم . سم المقاومة الكهربائية
الفلزات والسبائك :						
ألومنيوم 99.9 %	2.7	7.0	8.4	0.55	25.2	<sup>6</sup> 10 x 2.65
سبائك الألومنيوم	2.7 (+)	7.0	18.0 (+)	0.34 (+)	21.6	<sup>6</sup> 10 x 3.5
النحاس الأحمر	8.75	9.1	31.6-24.5	0.377	18.7	<sup>6</sup> 10 x 11.0
النحاس الأصفر	8.47	10.5	33.6	0.30	19.8	<sup>6</sup> 10 x 7.0
سبيكة البرونز	8.8	11.2	33.0	0.20	18.0	<sup>6</sup> 10 x 9.6
نحاس 99.9 %	8.96	11.9	22.4	0.94	16.6	<sup>6</sup> 10 x 1.7
حديد زهر رمادي	7.2	9.1	31.6-20.4	0.11	12.0	<sup>6</sup> 10 x 67
رصاص 99.9 %	11.43	1.4	1.75	0.08	28.8	<sup>6</sup> 10 x 20.65
مونيبل	8.84	18.4	52.7	0.06	14.0	<sup>6</sup> 10 x 48.2
نيكل 99.5 %	8.89	21.7	52.5-38.5	0.15	13.3	<sup>6</sup> 10 x 6.9
فضة 99.9 %	10.49	7.7	16.8	0.99	19.6	<sup>6</sup> 10 x 1.8
فولاذ (1020)	7.86	21.1	38.5	0.12	12.0	<sup>6</sup> 10 x 8.4
فولاذ مقاوم 304	7.93	21.1	105 - 63	0.035	9.0	<sup>6</sup> 10 x 70
المواد الخزفية						
ألومينا (Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	3.8	35	27	0.07	5.4	-
الطوبوق (الطوب) :						
الطفل الحراري	2.1	-	-	0.002	4.5	<sup>8</sup> 10 x 1.4
الجرافيت	1.56	0.98	-	0.35	3	86
السليكا (SiO <sub>2</sub> )	1.75	-	-	0.002	2	<sup>8</sup> 10 x 1.2
الخرسانة	2.4 ±	4 - 1	0.16-0.08	0.0025	12.6	-
الزجاج						
أنواع	2.5	9 - 5	5.6 - 2.8	0.0018	9	0.0041- 0.0007
كربيد السليكون	3.17	-	14 - 3.5	0.029	4.5	2.5

هناك تنافس بين الألمنيوم والنحاس للاستخدام في التوصيلات الكهربائية المنزلية الداخلية ، ولكن الدول الأوروبية مازالت تستخدم النحاس نظرا لبعض المشاكل التي تلازم استخدام الألمنيوم في التوصيلات المنزلية ومنها :

- 1- ضعف مقاومة الألمنيوم إذ تؤدي إلى تقصفه أثناء عملية التركيب .
- 2- يكون الألمنيوم بسهولة طبقة من الأكسيد على السطح ويعمل الأكسيد المتكون كعازل ، ويقلل كثيرا من معدل التوصيل الكهربائي ويصاحب ذلك ارتفاع درجة حرارة السلك ونتيجة لذلك يزداد معدل الأكسدة وتستمر تلك الدائرة المغلقة من نقص معدل التوصيل وتكوين الأكسيد .
- 3- صعوبة توصيل أسلاك الألمنيوم باللحام نظرا لتكوين الأكسيد على السطح ، إضافة إلى أن الوصلات بين أسلاك الألمنيوم تكون نقطة البداية للتآكل الكيميائي ، فضلا عن كونها عامل مساعد على ذلك خاصة في الأوساط الرطبة . ويعد النحاس أفضل الفلزات وأسهلها من ناحية اللحام وتظل توصيلاته جيدة لسنوات طويلة دون حدوث متاعب أو مشاكل من جراء استعمالها . ولذا فإن النحاس سيظل لسنوات طويلة قادمة هو من أفضل أنواع الأسلاك لنقل التيار الكهربائي في التوصيلات المنزلية .

## 16.5 الخواص الكهربائية لبعض الفلزات الموصلة واستعمالاتها

### 1.16.5 النحاس (Copper)

تتكون عائلة النحاس من كل من النحاس والفضة والذهب ، وهي فلزات غير نشطة عرفها الإنسان منذ القدم وتعرف أيضا بفلزات العملة . وقد استعمل النحاس قبل الحديد وذلك بسبب وجود عناصر هذه المجموعة حرة في الطبيعة ، حيث يسهل استخراجها واستعمالها وتتميز فلزاتها

بسهولة قابليتها للطرق والسحب وجودة التوصيل الكهربائي والحراري والجدول (3-5) يوضح بعض الخصائص الطبيعية لهذه العائلة .

### جدول (3 - 5)

بعض الخصائص الطبيعية لعناصر عائلة النحاس

العنصر	الرمز	الكثافة g/cm <sup>3</sup>	درجة الانصهار، c°	درجة الغليان، c°	الرقم الذري
النحاس	Cu	8.9	1083	2336	29
الفضة	Ag	10.5	961	1950	47
الذهب	Au	19.0	1063	2600	79

ومن أهم ميزات معدن النحاس أنه يتميز بلونه الأحمر ويوجد في الطبيعة على هيئة أكسيد النحاسوز (Cu<sub>2</sub>O) أو ما يعرف (الكوبريت) ، وكبريتيد النحاسوز (Cu<sub>2</sub>S) وكذلك بيريت النحاس (CuFeS<sub>2</sub>) ، ونادرا ما يوجد النحاس بحالة انفرادية وتبلغ نسبته حوالي 0.01% من وزن القشرة الأرضية .

النحاس فلز لين احمر اللون ينصهر بدرجة حرارة 1083c° ويغلي مصهوره في درجة حرارة 2336 c° ويتميز بجودة توصيله للتيار الكهربائي ويعتبر من أجود الفلزات الرخيصة توصيلا للتيار الكهربائي ، وهو فلز ثقيل ذات قابلية عالية للطرق والسحب حيث يمكن عمل شرائح رقيقة وأسلاك رفيعة منه .

يعتبر النحاس ثاني أهم معدن بعد الحديد نظرا لاستخداماته المتعددة فمنه تصنع الأسلاك الكهربائية والأواني والتحف النحاسية ويدخل في تركيب العملات المعدنية ، كما يدخل في أعمال الطباعة وفي صناعة الأقفال والمفاتيح

والمفصلات وإن أهم الاستخدامات تكمن في اشتراكه في العديد من السبائك المعدنية مختلطا بنسب مختلفة مع عناصر فلزية وغير فلزية وأهم تلك السبائك ما يلي :

#### 1- سبائك النحاس مع الخارصين

وتعرف بالنحاس الأصفر (Brass) وتحتوي من 20% - 40 من وزنها خارصين والباقي نحاس وتستخدم في صناعة الآلات وصناعة أوراق خفيفة تستخدم بديلا لأوراق الذهب .

#### 2- سبائك النحاس مع القصدير

وأهمها سبيكة البرونز وتتكون من 90% - 95 نحاس ، 5% - 10 قصدير. وتمتاز بصلابتها وسرعة انصهارها كما تقاوم التآكل . هناك سبيكة معدن الأجراس وتتكون من 19%-28 قصدير وكذلك سبيكة برونز الفوسفور وتتكون من 93% نحاس ، 6% قصدير و 1% فوسفور وتصنع منها أجزاء الآلات التي تتعرض للتآكل ، وفي صناعة دافعات السفن حيث يمنع الفوسفور نمو الطحالب البحرية عليها ومن السبائك الأخرى برونز التماثيل التي تتكون من 90% نحاس ، 5% قصدير ، 4% ، خارصين و 1% رصاص .

#### 3- برونز الألمنيوم

وتتكون من 90% نحاس و 10% ألمنيوم ولونها أصفر ذهبي تدخل في صناعة النقود .

#### 4 - سبيكة المونيل (Monel)

وتتكون من 70% نحاس و 30% نيكل وتصنع منها التوربينات المختلفة وبعض الأجهزة الكيميائية .

#### 5 - سبائك النقود

تحتوي العملات النحاسية على القصدير والخارصين ، إضافة إلى النحاس بنسب تتراوح ما بين 1%-3 للقصدير و 1%-15 للخارصين ، أما العملات الفضية فهي تحتوي على 70% من وزنها فضة إضافة للنحاس كما

تدخل بعض الفلزات الأخرى في تركيب بعض العملات أهمها البلاديوم والألمنيوم .

## 2.16.5 الألمنيوم (Aluminum)

وهو معدن أبيض فضي رمزه (Al) يوجد في المجموعة IIA من الجدول الدوري وهو أكثر المعادن وفرة ويؤلف 8% من قشرة الأرض . يوجد في الطبيعة على شكل خام البوكسيت (أكسيد الألمنيوم المميه) والكربوليت ( $Na_2AlF_6$ ) والفلسبار (سليكات الألمنيوم) ، والصلصال ومعادن كثيرة أخرى . وهو معدن نشط يتأثر بالهواء مشكلا طبقة واقية من الأكسيد على سطحه . وهو خفيف الوزن يزداد قوة عند سبكه ، لذلك يكثر من استعمال سبائكه في تركيب الآلات والأجهزة المنزلية . وهو ناقل جيد للكهرباء ويستعمل غالبا في قابلات الإرسال العالية حيث يعتبر عامل الخفة أمرا مهما للغاية . وزنه الذري 27.0 ونقطة انصهاره  $660.5\text{ }^{\circ}\text{C}$  ونقطة غليانه  $2520\text{ }^{\circ}\text{C}$  ، ووزنه النوعي 2.6989 عند درجة حرارة  $20\text{ }^{\circ}\text{C}$  .

إن من أهم خواص الألمنيوم التي تؤثر بشدة على استعماله في الحياة العملية هي خفة وزنه وإفته الشديدة للأوكسجين ، ونظرا لكثافته النسبية والتي تبلغ حوالي ثلث كثافة الحديد وسبائك النحاس فإنه يستعمل بعد إضافة كميات صغيرة من عناصر أخرى في عمل المسبوكات اللازمة لصناعة الطائرات والسيارات والصناعات الهندسية . بالإضافة إلى ذلك فإن عمليات السبك والمعالجة الحرارية يمكنها إنتاج سبائك من الألمنيوم أقوى بكثير من الصلب (على أساس الوزن للوزن) ، بحيث أمتد استخدام سبائك الألمنيوم في الأجزاء الهامة من محركات الطائرات وأجسامها .

إن إلفة الألمنيوم الشديدة للأوكسجين تعد في نفس الوقت خاصية ضارة ونافعة . حيث أن ضررها يسبب الزيادة في تكلفة استخلاص المعدن نفسه التي تفرضها طريقة التحليل الكهربائي . فعادةً ما يستخلص أي معدن بتسخين خامس أكسيده مع عامل مختزل رخيص مثل الكربون (على صورة فحم الكوك) وينقى المعدن الخام الناتج بأكسدة الشوائب الموجودة فيه بواسطة الهواء وهذا هو أساس استخلاص الحديد الغفل وصناعة الصلب بعد ذلك .

إلا أن إلفة الألمنيوم مع الأوكسجين هي أكبر من الكربون لذا يمكن استخلاصه بشكل اقتصادي بواسطة التحليل الكهربائي فقط حيث أن استخدام المواد المختزلة الأخرى والتي لها ميل أكبر للاتحاد مع الأوكسجين من الألمنيوم سوف تجعل هذه الطريقة باهظة التكاليف أيضاً . إن أول من قام بإنتاج الألمنيوم بطريقة التحليل الكهربائي هو العالم " هول " عام 1866 عندما استخدم خليط مصهور من أكسيد الألمنيوم وخام الكريوليت للحصول على معدن الألمنيوم النقي .

على الرغم من إلفته الشديدة للاتحاد بالأوكسجين ، فإن الألمنيوم يقاوم التآكل والصدأ بشكل كبير ويرجع ذلك إلى تكون طبقة رقيقة من الأكسيد المتناسك على سطح المعدن والتي ستمنع استمرار تأثره بالأوكسجين . ويمكن تدعيم هذه المقاومة بعملية المصعدية (Anodizing) وهي طريقة تتم فيها زيادة سمك طبقة الأكسيد على سطح المعدن بطريقة صناعية وهذه الطبقة من الأكسيد تكون صلبة ويمكن تلوينها بصبغ عضوي أو غير عضوي .

وتستعمل قابلية الألمنيوم الشديدة للأوكسجين كذلك في صناعة الصلب حيث يعمل على اختزال الأوكسجين من حديد الصب ويستعمل أيضاً في عمليات اللحام مثل لحام الترميت لأنه يتمتع بخاصية توصيل حراري

وكهربائي تصل إلى حوالي 50% من خاصية النحاس ، وإذا أخذنا بنظر الاعتبار فرق الوزن بين المعدنين نجد أن الألمنيوم يفضل على النحاس في عمليات التوصيل الكهربائي ، لذلك فإنه يستخدم حاليا في صناعة القابلات الكهربائية وعادة ما يكون مجدولا حول قضيب من الصلب لتقويته ، والألمنيوم النقي نفسه معدن طري وضعيف وعلى الرغم من ذلك فهو يستعمل عادة على صورة سبائك في الاستخدامات الهندسية .

### 1.2.16.5 سبائك الألمنيوم (Aluminum Alloys)

تضاف العناصر أساسا إلى السبيكة لتحسين الخواص الميكانيكية مثل قوة الشد والصلادة والتماسك والتشغيل وفي بعض الأحيان لتحسين اللدونة وخواص السباكة الأخرى . إن العيوب الأساسية التي تصيب سبيكة الألمنيوم هي الغازات الذائبة أثناء عملية الصهر . فالألمنيوم المنصهر مثلا له القدرة على إذابة كمية كبيرة من غاز الهيدروجين ، إذا كان متواجدا في جو الفرن وعند تبريد المعدن فإن ذوبان الهيدروجين يصل تقريبا إلى الصفر ، مما يؤدي إلى تكون فقاعات غازية لا تستطيع الهروب فتتكون الثقوب الإسفنجية في المعدن . ويمكن التغلب على هذا العيب بمعالجة المعدن المنصهر قبل الصب بمعامل مساعد مناسب أو بإمرار غاز النتروجين أو الكلور في المعدن المنصهر أو إضافة مركب سداسي كلوروايثان .

تستخدم سبائك الألمنيوم أما على صورة مسبوكات أو على صورة مطروقات فبينما يمكن تحسين خواص العديد منها بما يسمى بعملية " التصلد بالترسيب " فإنه بالإمكان تقسيم سبائك الألمنيوم إلى أربعة مجموعات وذلك حسب الاستخدامات الذي تدخل به هذه السبائك ومن بين تلك المجموعات :

## 1- السبائك المطاوعة غير المعالجة حراريا (Wrought Alloys Which Are Non - Heat Treated)

إن أهم المتطلبات في هذه السبائك القوة الكافية والتماسك بعد التشغيل على البارد مع مقاومة جيدة للتآكل . فهذه السبائك تستعمل في صنع اللوحات لأرضيات عربات النقل ويستفاد في هذه الحالة من المقاومة العالية لسبائك الألمنيوم - مغنيسيوم للتآكل . أما السبائك التي تحتوي على نسبة عالية من المغنيسيوم فلها مقاومة ممتازة لمياه وجو البحر ، ولذلك فهي تستعمل في الإنشاءات البحرية .

ويتم إكساب الخواص الميكانيكية لهذه السبائك بواسطة التشغيل على البارد وهي على أساس ذلك تنتج على أصناف طري ، ربع صلد ، نصف صلد ، ثلاثة أرباع صلد ، وصلد . ومن عيوب هذه السبائك أنه بمجرد تشكيلها النهائي فإنه لا يمكن تغيير خواصها الحرارية بعد ذلك بعكس السبائك التي تتصلد بالترسيب لذا فإن المعالجة الحرارية تؤثر في خواصها الميكانيكية تأثيرا كبيرا .

وكما هو متوقع فإن معظم هذه السبائك " باستثناء سبيكة الألمنيوم - السليكون " لها بنية تتكون كلها من محاليل صلبة . وذلك يفسر سر مطيليتها العالية ومقاومتها الشديدة للتآكل .

## 2- السبائك المسبوكة غير المعالجة حراريا (Molded Alloys Which Are Non - Heat Treated)

هذه المجموعة من السبائك تحتوي على تلك المواد التي تستعمل في الأغراض العامة بالسباكة في الرمل أو في القوالب . وهذه السبائك تستخدم عندما يكون التماسك وخصائص اللدونة في السباكة والمقاومة للتآكل أهم من المتانة .

إن أهم السبائك المستخدمة في هذه المجموعة هي التي تحتوي على نسبة 9-13% من السليكون مع قليل من النحاس . وهذه السبائك تمتلك خاصية المزيج اليوتكتيكي أي المزيج ذو نقطة الانصهار بالغة الحد الأدنى الأمر السذي يكسبها صلاحية السبك في القوالب ، حيث أن مجال تجمدها يكون قليلا . ويمكن تهذيب البنية الكبيرة للمزيج اليوتكتيكي (eutectic mixture) بعملية تدعى التعديل (modification) ، وهي تتلخص بإضافة قليل من الصوديوم حوالي (0.1%) للمنصهر قبل الصب . والغرض من ذلك هو تأخير ترسيب السليكون عندما وصول درجة حرارة المنصهر إلى درجة حرارة المزيج اليوتكتيكي .

### 3.16.5 الفضة (Silver)

رمزه (Ag) وهو معدن نفيس طري أبيض اللون يقع في المجموعة IB من الجدول الدوري وهو عنصر انتقالي . عرف معدن الفضة منذ القدم واستخدم في صناعة المجوهرات والزينة وصنع العملة . ويوجد بصورة خاصة في خامات كبريتيد النحاس والرصاص والخاصين كما يوجد في الأرجنتيت ( $Ag_2S$ ) وخامات الفضة الأخرى . يتم تركيز الفضة بطرق مختلفة منها ، التنقية البوتقية واستخراجها مع السيانيد كما تتم تنقيتها بواسطة التحليل الكهربائي .

تتميز الفضة بأعلى ناقلية حرارية وكهربائية بين جميع الفلزات ، وتستخدم في المجسات الكهربائية وسبائكها في طب الأسنان والملاغم الخاصة به . ورغم أن الفضة هي من أكثر المعادن النفيسة فاعلية ، إلا أنها لا تتأكسد في الهواء ولا تذوب في القلويات أو الحوامض غير المؤكسدة ولكنها تذوب بسرعة في حمض النتريك أو حمض الكبريتيك المركز . تفقد لمعانها عند تفاعلها مع الكبريت أو كبريتيد الهيدروجين فتنشكّل طبقة من

كبريتيد الفضة القائمة . وزن العنصر الذري (107.9) ونقطة انصهاره  $962^{\circ}\text{C}$  أما نقطة غليانه فهي ( $2170^{\circ}\text{C}$ ) ووزنه النوعي عند ( $20^{\circ}\text{C}$ ) هو 10.5 .

من أهم أملاح الفضة هي هاليدات الفضة ( $\text{AgX}$ ) ، وهي أملاح بلورية تستخدم في التصوير الفوتوغرافي . ويكون كلوريد الفضة أبيض اللون وبروميد الفضة أصفر شاحب . أما الملح الآخر المعروف فهو نترات الفضة ( $\text{AgNO}_3$ ) ، وهي مادة صلبة بلورية شفافة تستخدم كمطهر وكمادة قابضة .

#### 4.16.5 الرصاص (Lead)

رمزه ( $\text{Pb}$ ) وهو فلز أبيض مزرق ثقيل كثافته  $11.34\text{g/cm}^3$  ، ينصهر عند درجة حرارة  $328^{\circ}\text{C}$  ، ويغلي مصهوره عند درجة حرارة  $1751^{\circ}\text{C}$  ويوجد الرصاص في الطبيعة بنسبة  $0.002\%$  تقريبا من وزن القشرة الأرضية ، ولا يوجد منفردا وتعتبر الجالينا ( $\text{PbS}$ ) والسيرويت ( $\text{PbCO}_3$ ) أهم خاماته كما يوجد في خامات الإنجليزيت ( $\text{PbSO}_4$ ) والكروكوزيت ( $\text{PbCrO}_4$ ) وتنتشر خاماته في مناطق متعددة من العالم من أهمها كندا وأمريكا وأستراليا والمكسيك وشمال روسيا . إن الرصاص معدن قابل للطرق ويقطع عند سحبه إلى قضبان . وهو من الفلزات الثقيلة كما سبق ذكره ورغم أن درجة انصهاره منخفضة إلا أنه يغلي في درجة حرارة عالية ويترك أثراً رمادياً عند امراره على ورقة بيضاء .

#### 1.4.16.5 استخدامات الرصاص

لرصاص استخدامات كثيرة ، فهو يستعمل في صناعة رصاص البنادق وأنابيب نقل مياه الشرب وتبطين حجرات تحضير حمض الكبريتيك وهو من الأحماض المهمة وتعمل منه صناديق ذات جدران سميكة تحفظ فيها المواد

المشعة لمنع تسرب إشعاعاتها . يحضر منه أكاسيد الرصاص التي تدخل في صناعة النقااب وفي الطلاء وكمواد مؤكسدة وفي صناعة الكريستال والزجاج البلوري ويستخدم كذلك في تحضير مادة رابع أثيل الرصاص (Tetraethyl Lead)  $[Pb(C_2H_5)_4]$  والذي يستعمل في صناعة الجازولين الإثيلي وتحسين جودة الجازولين كما يستخدم الرصاص في صناعة المراكم (الخلايا) مثل خلية المرمك الرصاصي التي تستخدم في بطارية السيارات .

### 2.4.16.5 سبائك الرصاص (Lead Alloys)

من أهم سبائك الرصاص ما يلي :

- 1- سبيكة اللحام ، وتتكون من 34% قصدير و 66% رصاص .
- 2- سبيكة فلز الطباعة ، وتتكون من 5% قصدير ، 15% ، أنتيمون و 80% رصاص وتتميز بانخفاض درجة انصهارها عن فلز الرصاص ، حيث تنصهر في درجة حرارة  $240C^{\circ}$  وعندما تتجمد فإنها تتمدد ومن ثم تأخذ الشكل اللازم لحروف الطباعة عند صنعائها .
- 3- صلب الرصاص ، ويتركب من 10% ، 90% رصاص ويستخدم في صناعة ألواح المراكم الرصاصية وفي تسقيف أسطح المباني .

### 5.16.5 الكربون (C) (Carbon)

ويرمز له بالرمز (C) ، وللكربون أهمية كبيرة في الحياة لأنه يدخل في تركيب الأنسجة الحية النباتية و الحيوانية وهو مصدر مهم للحصول على الطاقة الحرارية ويدخل في العديد من الصناعات الكيميائية ، ولقد كان الكربون المصدر الرئيسي للحصول على الطاقة الحرارية خلال الثورة الصناعية في أوروبا والتي كان محركها الأساسي هو طاقة البخار المتولدة عن احتراق الكربون .

يوجد الكربون في صورته العنصرية " منفردا " ومتحدا مع العديد من العناصر ، وتتعدد المواد والمركبات التي يدخل في تركيبها الكربون فهو يوجد في الورق والمنسوجات والمركبات الكيميائية العضوية وغير العضوية مثل الكربونات وهو أساسي لبناء خلايا الكائنات الحية وهكذا فإن الكربون يوجد في :

(1) في الحالة العنصرية مثل الفحم النباتي والحيواني والحجري والماس والجرافيت والسناج .

(2) يوجد متحدا مع غيره من العناصر مكونا مركبات مثل أول وثاني أكسيد الكربون وصخور الحجر الجيري المكونة لسلاسل الجبال وكربونات وبيكربونات الصوديوم . يرجع السبب في كثرة مركبات هذا العنصر إلى قدرة ذرته على الاتحاد مع بعضها لتكوين سلاسل طويلة قد تحتوي على أكثر من 90 ذرة كربون في مركب كيميائي واحد كذلك قدرته على الاتحاد مع العديد من العناصر مثل عنصر الهيدروجين أو النتروجين أو الأوكسجين .

### 1.5.16.5 صور الكربون

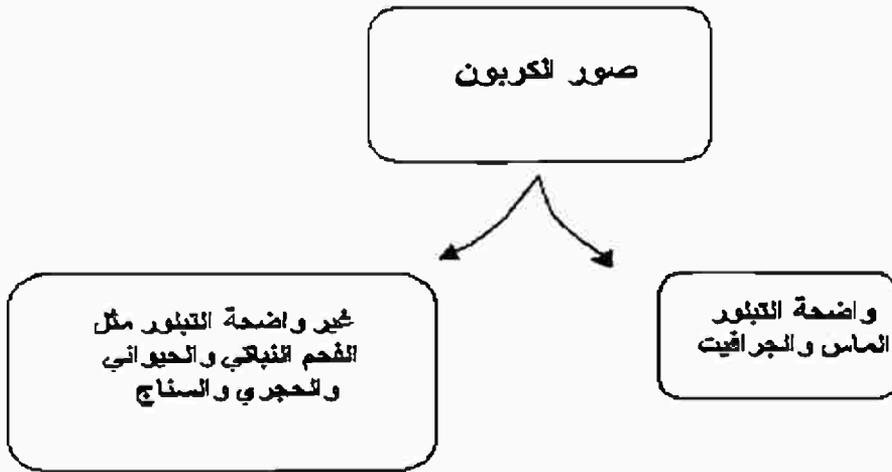
يوجد عنصر الكربون في عدة صور تتكون جزيئاتها من نفس الذرات وتختلف في عدد ذرات الكربون وترتيبها وطريقة ترابط هذه الذرات مع بعضها ، مما يترتب عليه اختلاف كبير في الخواص الطبيعية وقد تحتوي هذه الصور على شوائب متعددة تساهم في تحديد شكلها ولونها وحجمها ومساميتها وطاقاتها الداخلية .

ولقد أثبتت الدراسات العلمية بواسطة استخدام الأشعة السينية أن هذه الصور تتكون من عدد هائل من التجمعات لذرات الكربون في الجزيء في نظامين بلوريين مختلفين هما :

1- الماس (Diamond) .

2- الجرافيت (Graphite) .

وقد أثبت فحص الصور الأخرى للكربون أن نظامها لا يختلف عن النظام البلوري للجرافيت إلا أنها تحتوي على شوائب تجعل هذه الصور ذات شكل بنائي غير منتظم ، وأطلق عليها صور الكربون غير المتبلور ومن أمثلتها ، الفحم النباتي والفحم الحيواني والفحم الحجري والسناج " الهباب " كما يوضحها الشكل (5-11) أدناه :

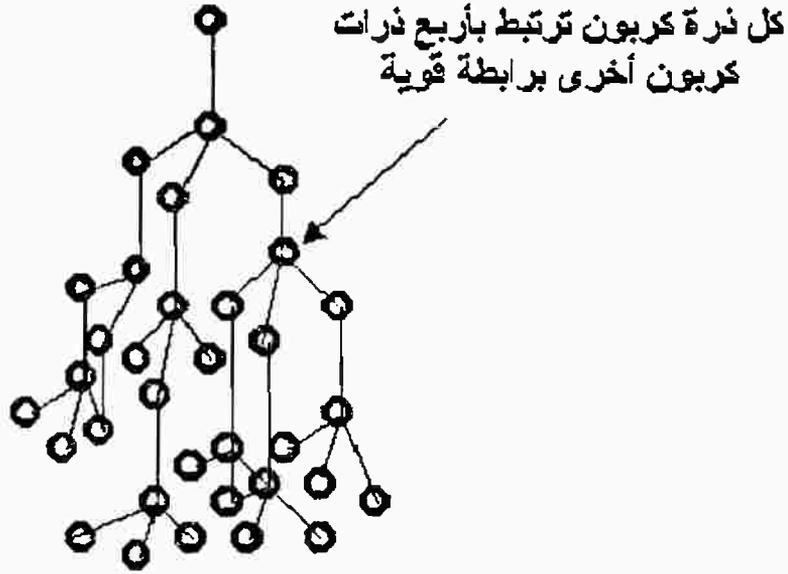


الشكل (5-11)

صور الكربون

### 2.5.16.5 صور الكربون واضحة التبلور

الماس (Diamond) هو احد صور الكربون واضحة التبلور ، حيث تكون بلورات الماس على هيئة منشور ذو ثمانية أوجه ترتبط فيه ذرات الكربون بقوة كما موضح في الشكل (5 - 12) .



الشكل (12-5)

الترابط في بلورات الماس

### 3.5.16.5 خواص الماس الطبيعية

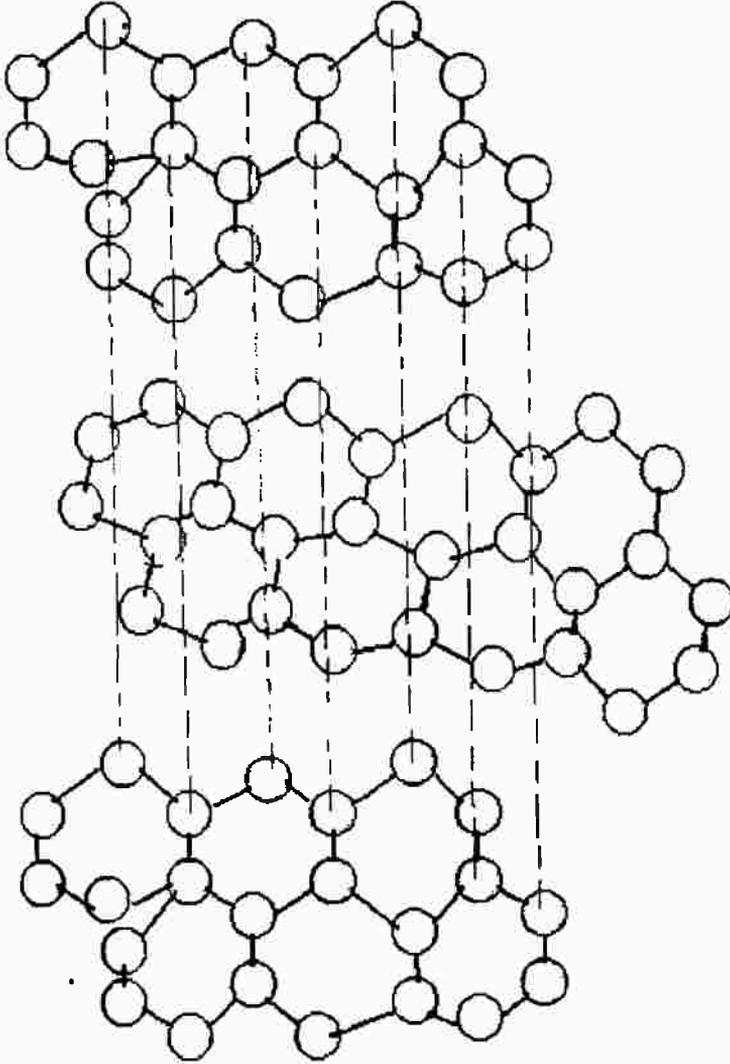
- (1) شفاف عديم اللون إذا كان نقيًا وإذا احتوى على شوائب فإنه يتلون بلونها .
- (2) إذا تعرض للضوء ويحدث بريقًا ولمعانا شديدين بسبب معامل انكساره الكبير وكثرة سطوحه .
- (3) شديد الصلادة ويعود سبب ذلك إلى قوة الترابط بين ذرات الكربون في بلورته .
- (4) كثافته  $3.5 \text{g/cm}^3$  ، ودرجة انصهاره  $3570^\circ\text{C}$  ، ولا يوصل الكهرباء .

### 4-5-16-5 استعمالات الماس

- 1- يستخدم في صناعة المجوهرات ويختلف ثمنه حسب نوعه .
- 2- يستخدم في صنع مثاقب الصخور وأدوات قطع الزجاج .
- 3- تسحب من خلاله أسلاك رفيعة من التنجستن والتي تصنع منها فتيلة المصباح الكهربائي .

## 6.16.5 الجرافيت (Graphite)

تتشكل بلورات الجرافيت على شكل صفائح منتظمة ، تكون ذرات الكربون فيها متباعدة عن بعضها مما يسبب ضعف تماسكها كما موضح في الشكل (5-13) .



الشكل (5-13)

التركيب الطبقي للجرافيت

### 1.6.16.5 الخواص الطبيعية للجرافيت

- (1) لون المادة رمادي ولها بريق ولمعان .
- (2) كثافتها 2.25 جرام لكل سم<sup>3</sup> عند درجة حرارة 20C° .
- (3) ملمسها ناعم وتترك أثرا أسودا على الأصابع .
- (4) درجة انصهارها 3527C° عند ضغوط أكبر من الضغط الجوي .
- (5) تتحول إلى بخار عند درجة حرارة 3500C° .
- (6) عاكسة للحرارة وجيدة التوصيل للكهرباء .

### 2.6.16.5 استعمالات الجرافيت

يستعمل الجرافيت في الأغراض والمجالات التالية :

- (1) صناعة أقلام الرصاص بخلط مسحوقه مع الطين أو الصلصال " حيث تزداد صلابته بزيادة نسبة الطين فيه .
- (2) صنع أقطاب الأعمدة المستخدمة في عمليات التحليل الكهربائي لأنه موصل جيد للكهرباء .
- (3) صنع البواتق التي تتحمل الحرارة الشديدة وذلك بخلطه مع الطين أيضا .
- (4) تسهيل انزلاق محاور الآلات المتحركة بخلطه مع الشحوم المستعملة في طلاء هذه المحاور .
- (5) طلاء بعض الأدوات الحديدية لحمايتها من الصدأ .
- (6) يستعمل في الطباعة .

## 17.5 العوازل الكهربائية (Electrical Non – Conductors)

إن منع انتشار التيار الكهربائي أو الفولتية باستخدام مواد " عوازل " لها مقاومة عالية لتدفق التيار ، من شأنه زيادة مقاومة الفولتيات العالية دون أن تتحلل أو تتدهور فاعليتها مع الزمن . وقد تكون مقاومة ضوء الشمس والمطر أو الحك مهمة أيضاً . وتهبط عادة مقاومة العوازل للكهرباء مع الحرارة ويستثنى من ذلك الورق والأسبتوس ، وهو معدن لا يحترق ولا يوصل الحرارة ويكون على شكل خيوط تصنع منها بعض الأقمشة والأدوات غير القابلة للاحتراق . وتتفاوت الخصائص الميكانيكية للعوازل وفقاً للتطبيقات حيث تتطلب القابلات مثلاً تغطية مرنة بمادة مثل متعدد كلوريد الفينيل (PVC) ، بينما يستخدم الزجاج أو الخزف للمواد المطاطية الصلبة مثل العوازل المستخدمة لإسناد قابلات نقل الكهرباء . والعوازل الحرارية تعتبر عموماً عوازل كهربائية جيدة .

إن العازل هو جهاز أو وسيلة ذات مقاومة عالية للتيار الكهربائي تستخدم لدعم أو لفصل الموصلات لمنع انسياب تيار غير مرغوب فيه منها إلى أجزاء أخرى . ويطلق هذا المصطلح أيضاً على مادة نطاق طاقتها العادي مملوء ومنفصل عن نطاق الإثارة الأول بواسطة نطاق منعدم الإلكترونات يمكن اختراقه فقط بواسطة إلكترون له طاقة قيمتها عدة إلكترون فولت تكفي لتمزيق المادة . ومن أهم العوازل الكهربائية ما يلي :

### 1.17.5 المايكا (Mica)

وهي مجموعة من معادن السليكات الشائعة وتتألف من صفائح أكسيد السليكون ( $SiO_2$ ) رباعي الأوجه مع الألمنيوم الذي يحل محل السليكون إلى حد ما . ويحتوي على كاتايونات وزمر هيدروكسيلية بين طبقاته . أنواعه

الرئيسية هي البيوتيت والغلوكونيت . يوجد على نطاق واسع في الصخور النارية والرسوبية ويتعرض للتعرية فيصبح معدن طيني يظهر شقوقا قاعدية مثالية وينتج قشورا مرنة تستخدم بمثابة عوازل كهربائية في المتسعات (Capacitors) ، ويستخدم كذلك في الدهانات والحبر وورق الجدران والمطاط والكسوات الصامدة ضد الماء .

## 2.17.5 البلاستيك (Plastics)

وتدعى أيضا باللدائن وهي مواد قابلة للقولبة أثناء التصنيع إلى أشكال مطلوبة هناك أنواع قليلة من البلاستيك الطبيعي مثل البييتيومين والراتنجات والمطاط إلا أن معظمها من صنع الإنسان ، وبصورة رئيسية من المواد البتروكيميائية . وتتوفر فيها الكثير من الخواص المفيدة مثل الصلابة والمرونة والمتانة والكثافة المنخفضة والقدرة على العزل والخمول ومقاومة الأكسدة .. الخ .

جميع اللدائن هي بوليمرات عالية لها بنية من الكربون ويتألف كل جزيء منها من الآلاف وحتى ملايين من الذرات ، ويقسم البلاستيك إلى صنفين :

1- الصنف الأول ويدعى بلاستيك التلدن الحراري حيث ينصهر هذا الصنف أو يلين عكسيا عند التسخين ويتضمن السليلوز وغيره من أنواع البلاستيك السليلوزي واللوسيت والنايلون ومتعدد الأثيلين وبوليمرات الستايرين والفينيل ومركب متعدد الفورمالدهيد ومتعدد الكربونات .

2- الصنف الثاني ويدعى بلاستيك التصلد الحراري وبالرغم من أن هذه الأنواع تتم قولبتها عند تصنيعها كبوليمرات بسيطة . إلا أنها تتحول بالحرارة والضغط وفي بعض الأحيان بواسطة مصلد ثنائي إلى شكل متصلب وغير قابل للانصهار . يتضمن هذا النوع من البلاستيك كل من البكليت وبعض راتنجات الفينول الأخرى وراتنجات الإيبوكسي ومتعدد الإستر

والسيكلونات واليوريا فورمالديهايد وراتجات فورمالديهايد الميلايين وبعض أنواع متعدد اليورثان . وسيتم تناول هذا النوع بالتفصيل في الباب السادس .

### 3.17.5 الخزف و السيراميك (Ceramic and Porcelain)

وهذه تنتج بمعالجة مواد لا فلزية وغير عضوية مثل " الصلصال " عند درجات حرارة مرتفعة . تشمل المواد الخزفية الحديثة على منتجات متنوعة مثل البورسلين أو ما يعرف بالخزف الصيني وقرميد الأفران والعوازل الكهربائية ومغانط الحديد والمخارط الأمامية للصواريخ يكون الخزف بشكل عام خاملا كيميائيا في معظم الظروف وهو مادة صلبة تستطيع تحمّل درجات حرارة عالية في الاستخدامات الصناعية وتعتبر الكثير من المواد الخزفية أكاسيد فلزية مقاومة للحرارة .

### 4.17.5 الزجاج (Glass)

وهو مادة تتشكل بالتبريد السريع لبعض السوائل المنصهرة بحيث لا تتبلور ولكنها تحتفظ ببنية غير بلورية . والزجاج هو في الحقيقة عبارة عن سائل فائق البرودة ذو لزوجة عالية جدا تجعله يبدو كمادة صلبة صالحة لكافة الأغراض العملية . وقد يتبلور بعض أنواع الزجاج بشكل أني أو قد يفقد بريقه أو شفافيته . والمواد المشكلة للزجاج قليلة وفي شكله الطبيعي والصناعي يعتمد على السليكا ( $\text{SiO}_2$ ) والسليكات .

يتشكل الزجاج الطبيعي بواسطة التبريد السريع للصهارة ، وهي المادة الصخرية الذائبة في باطن الأرض والتي تنشأ الصخور البركانية منها حين تبرد حيث ينتج السبج وهو الزجاج البركاني الأسود والذي تصنع منه معظم

النواتج الزجاجية الحديثة ورغم أن السليكا يشكل الزجاج إلا أنه لزج جدا و ذو نقطة انصهار عالية جدا لمعظم الأغراض . لذا تتم إضافة الصودا لخفض نقطة الانصهار ولكن سليكات الصوديوم الناتجة تذوب في الماء لذلك يضاف الجير الذي يعمل كمتبنت بالاشتراك مع أكاسيد فلزية أخرى ضرورية لنزع الألوان....الخ ، تبلغ النسب العادية لمكونات الزجاج لمكونات الزجاج 70%  $(SiO_2)$  و 15%  $(Na_2O)$  و 10%  $CaO$  .

### 5.17.5 الورنيش (Varnish)

وهو محلول من الراتنجات يستعمل لإعطاء غطاء صلب وشفاف للخشب أو للمعدن أو للصبغ أي هو سائل يصقل به سطح المعدن أو الخشب لزيادة خاصية العزل الكهربائي فيه .

## 18.5 تمارين

- س1- تكلم بالتفصيل عن مستويات الطاقة في الذرة مع تمثيل كل نوع .
- س2- ما معنى الوصلة الثنائية (P- n) وبين متى تحدث ، أشرحها بالتفصيل .
- س3- وضح بالرسم التركيب البلوري لذرتي شبه الموصل السليكون والجرمانيوم .
- س4- تكلم باختصار عن الخواص المغناطيسية للمواد .
- س5- ما معنى المواد القاسية ، وما هي المواد اللينة .
- س6- ما هي أهم ميزات وعيوب موصلات الألمنيوم .
- س7- تكلم بالتفصيل عن المواد المستعملة كعوازل للقاطبات.
- س8- كيف يتم اختيار المواد الموصلة والعازلة وضح وذلك بالأمثلة .

س9- ما هي أهم المشاكل التي تصاحب استخدام الألمنيوم في الأغراض المنزلية .

س10- عدد صور الكربون ثم تكلم عن كل منها موضحا أهمية كل من الجرافيت - الماس .

س11- تكلم بالتفصيل عن مميزات عائلة النحاس .

س 12- تكلم عن خامات النحاس الطبيعية وأهم استخداماته .

س13- ما هي أهم سبائك كل من العناصر التالية واستخداماتها : النحاس - الألمنيوم - الرصاص .

س 14- تكلم باختصار عن الخواص الكهربائية للمواد الموصلة التالية : الفضة - الجرافيت .

س 15- تكلم عن العوازل الكهربائية التالية :

المايكا - البلاستيك - السيراميك والخزف - الزجاج - الورق - الورنيش .

س16- أجب بعلامة ( √ ) أو خطأ ( X ) أمام العبارات التالية مع تصحيح الخطأ :

- 1) تتجمع برادة الحديد حول وسط المغناطيس وليس عند أطرافه .
- 2) العازل هو مادة أو جهاز ذو مقاومة عالية للتيار الكهربائي .
- 3) تتناسب قوة الجذب بين قطبي مغناطيس طرفيا مع مربع المسافة بينهما .
- 4) تدعى الفلزات الموجودة في عائلة النحاس بفلزات العملة .
- 5) في الحماية المهبطية يستخدم المعدن المضحي به كمهبط لعملية الطلاء .