# الفصل السابع : الخواص الكهربائية للمواد

تظهر المواد مدى واسعاً من قيم قابليتها على التوصيل الكهربائي. تتفوق الموصلات الجيدة (كالفضة والنحاس والألمنيوم) على المواد العازلة الجيدة في قيم توصيلتها الكهربائية بمقدار $10^{20}$ على الأقل.

## الموصلية الكهربائية Electrical Conductivity

تعرف الموصلية الكهربائية على انها قابلية المادة لتوصيل التيار الكهربائي. وينتج توصيل التيار الكهربائي عن حركة الالكترونات أو الأيونات أو كليهما داخل المادة. وبصورة عامة تكون المواد المعدنية الصلبة (العناصر) جيدة التوصيل الكهربائي.
تقسم المواد اعتماداً على قابليتها لتوصيل التيار الكهربائي الى ثلاثة اقسام رئيسة:

### 1- الموصلات Conductors

من أهم الموصلات المعادن (الفلزات) والتي تكون ذات مقاومة نوعية كهربائية منخفضة (موصلتيها الكهربائية عالية) تتراوح تقريباً من $10^{-8}$ الى $10^{-6}$ اوم – متر في درجة حرارة الغرفة, ومن امثلة الموصلات الجيدة الفضة والنحاس والألمنيوم والحديد.

### 2- اشباه الموصلات Semiconductors

تكون قيمة المقاومة النوعية الكهربائية لها متوسطة بين الموصلات والعوازل, اذ تتراوح بين $10^{-4}$ الى $10^{6}$ اوم – متر في درجة حرارة الغرفة. ومن امثلتها السليكون والجرمانيوم.

### 3- العوازل Insulators

تتميز المواد العازلة كهربائياً بمقاومتها النوعية الكهربائية العالية والتي تتراوح بين $10^{7}$ الى $10^{18}$ اوم – متر في درجة حرارة الغرفة , ومن امثلة العوازل الخشب والزجاج والمطاط والنايلون.
عند وضع كمية من الشحنة الكهربائية على طرف موصل فإنها ستنتشر بسرعة على سطح الموصل الى يحصل التوزيع المتعادل للشحنة الكهربائية. بينما عند وضع نفس الشحنة على جهة العازل فإنها لن تنتشر وتبقى في مكانها. ان حركة الشحنة داخل الموصلات ناتجة عن حركة الالكترونات. تكون بعض الالكترونات حرة غير مرتبطة بقوة الى اية ذرة أو جزيئة, على الرغم من كونها مرتبطة بقوة بالمادة ككل. ان الالكترونات الواقعة في المدارات الداخلية تكون مرتبطة بقوة الى نواة الذرة, بينما تكون الالكترونات الخارجية مرتبطة بقوة ضعيفة الى النواة, ان هذه الالكترونات

تكون الالكترونات الحرة للمادة. تتحرك الالكترونات الحرة بحرية داخل المادة ككل وتعاني تصادمات متكررة.

ان الالكترونات الحرة تشكل الغاز الالكتروني الحر (Free Electron Gas). ان هذه الالكترونات تكون محفوظة داخل المادة, كما تحفظ جزيئات الغاز داخل الوعاء المغلق. ان عملية شحن الموصل تتضمن اضافة أو سحب الكترونات منها, اذ ستكتسب المادة صافي شحنة موجبة اذا تم سحب الكترونات منها, وستكون صافي الشحنة سالبة في حالة اضافة الالكترونات اليها. ان الشحنة الموجبة للمادة تعني نقصاً في عدد الكتروناتها وعلى العكس من ذلك تعني الشحنة السالبة للمادة زيادة في عدد الكتروناتها. ومن التصادمات التي تعانيها الالكترونات الحرة أو الأيونات الموجبة اثناء حركتها تنشأ المقاومة الكهربائية لسريان التيار الكهربائي, وينشأ عنها حرارة تتناسب طردياً مع مربع قيمة التيار الكهربائي وتعرف المقاومة الكهربائية على انها خاصية المادة التي تعاكس (أو تعيق) سريان التيار الكهربائي(أي الالكترونات) خلالها.

## ظاهرة التوصيلية الكهربائية الفائقة

## The Superconductivity Phenomena

من المعروف ان مقاومة المواد الموصلة العادية تقل كلما انخفضت درجة الحرارة وانها تصل الى الصفر عند درجة حرارة الصفر المطلق 0K أي عند $-273^{o}C$ . يمكن الوصول الى درجات حرارة منخفضة باسالة الغازات, مثل الاوكسجين والنتروجين والهيدروجين والهليوم. وقد وجد ان مقاومة بعض المعادن مثل الرصاص والقصدير والزنك والزئبق تصبح صفراً عندما تنخفض درجة حرارتها الى درجة حرارة معينة تسمى درجة الحرارة الحرجة $T_C$ ( Critical Temperature) وتظهر ما يعرف اليوم بالتوصيلية الفائقة Superconductivity . ان مقاومة المادة تصبح صفراً ويمكن لتيار كهربائي ان يسري الى سنوات عديدة في حلقة من مادة موصلة من دون الحاجة الى بطارية أو مصدر القوة الدافعة الكهربائية. وتم اكتشاف العديد من المواد ذات التوصلية الفائقة, ومن اهم هذه المواد السبائك التي تم اكتشافها حديثاً من انها مواد ذات توصيلية فائقة عند درجات حرارة مرتفعة نسبياً (اكثر من 100K). ويحاول العلماء الحصول على مواد ذات توصيلية فائقة عند درجة حرارة الغرفة لما لها من تطبيقات واسعة في الصناعة.

وتستخدم الآن المواد ذات التوصلية الفائقة في صنع المغانيط الكهربائية التي تستطيع ان تنتج مجالاً مغناطيسياً ذا قيمة عالية. والجدول (1) يبين بعض العناصر والسبائك فائقة التوصيلية الكهربائية مع درجات حرارتها الحرجة $T_C$.

**الجدول (1) درجة الحرارة الحرجة لتحول المادة الى التوصيلية الفائقة لبعض العناصر والسبائك**

| العنصر او المركب | | درجة الحرارة الحرجة $T_c$ (K) |
|---|---|---|
| الالمنيوم | Al | 1.2 |
| الانديوم | In | 3.4 |
| الرصاص | pb | 7.2 |
| الزئبق | Hg | 4.15 |
| القصدير | Sn | 3.72 |
| الفاناديوم | V | 5.30 |
| نيوبيوم – جرمانيوم | $Nb_3Ge$ | 23.2 |
| فانديوم-سليكون | $V_3Si$ | 17.1 |
| نيوبيوم – المنيوم | $Nb_3Al$ | 17.5 |
| نيونيوم – زركونيوم | $Nb_{.90}Zr_{.10}$ | 10.8 |
| السبيكة | $Nb_3Sn$ | 18.05 |
| السبيكة | NbN | 16.0 |
| السبيكة | $Nb_3Al_{.8}Ge_{.2}$ | 20.0 |
| السبيكة | $V_3Ga$ | 16.5 |

## اسئلة الفصل السابع

**س1: قارن بين الموصلات واشباه الموصلات والعوازل من حيث المقاومة النوعية الكهربائية ؟**

**س2: اعطي امثلة على الموصلات واشباه الموصلات والعوازل؟**

**س3: عرف الغاز الالكتروني الحر ؟**

**س4: كيف تنشأ المقاومة الكهربائية لسريان التيار الكهربائي؟**

**س5: عرف المقاومة الكهربائية ؟**

**س6: علل يمكن لتيار كهربائي ان يسري لعدة سنوات في حلقة من مادة موصلة من دون الحاجة الى بطارية أو مصدر القوة الدافعة ؟**

**س7 : وضح العلاقة بين المقاومة الكهربية ودرجة الحرارة لمادة فائقة التوصيل؟**

# حلول اسئلة الفصل السابع

**س1: قارن بين الموصلات واشباه الموصلات والعوازل من حيث المقاومة النوعية الكهربائية ؟**

**في الموصلات يتراوح مقدارالمقاومة النوعية الكهربائية تقريباً من $10^{-8}$ الى $10^{-6}$ اوم – متر في درجة حرارة الغرفة وفي اشباه الموصلات يتراوح مقدار المقاومة النوعية الكهربائية من $10^{-4}$ الى $10^{6}$ اوم – متر في درجة حرارة الغرفة وتتميزالمواد العازلة كهربائياً بمقاومتها النوعية الكهربائية العالية والتي تتراوح بين $10^{7}$ الى $10^{18}$ اوم – متر في درجة حرارة الغرفة .**

**س2: اعطي امثلة على الموصلات واشباه الموصلات والعوازل؟**

**ومن امثلة الموصلات الجيدة الفضة والنحاس والألمنيوم والحديد ومن امثلة اشباه الموصلات السليكون والجرمانيوم ومن امثلة العوازل الخشب والزجاج والمطاط والنايلون.**

**س 3: عرف الغاز الالكتروني الحر ؟**

**ان الالكترونات الحرة تشكل الغاز الالكتروني الحر (Free Electron Gas) وان هذه الالكترونات تكون محفوظة داخل المادة, كما تحفظ جزيئات الغاز داخل الوعاء المغلق**

**س4: كيف تنشأ المقاومة الكهربائية لسريان التيار الكهربائي؟**

**بسبب التصادمات التي تعانيها الالكترونات الحرة أو الأيونات الموجبة اثناء حركتها تنشأ المقاومة الكهربائية لسريان التيار الكهربائي .**

**س5: عرف المقاومة الكهربائية ؟**

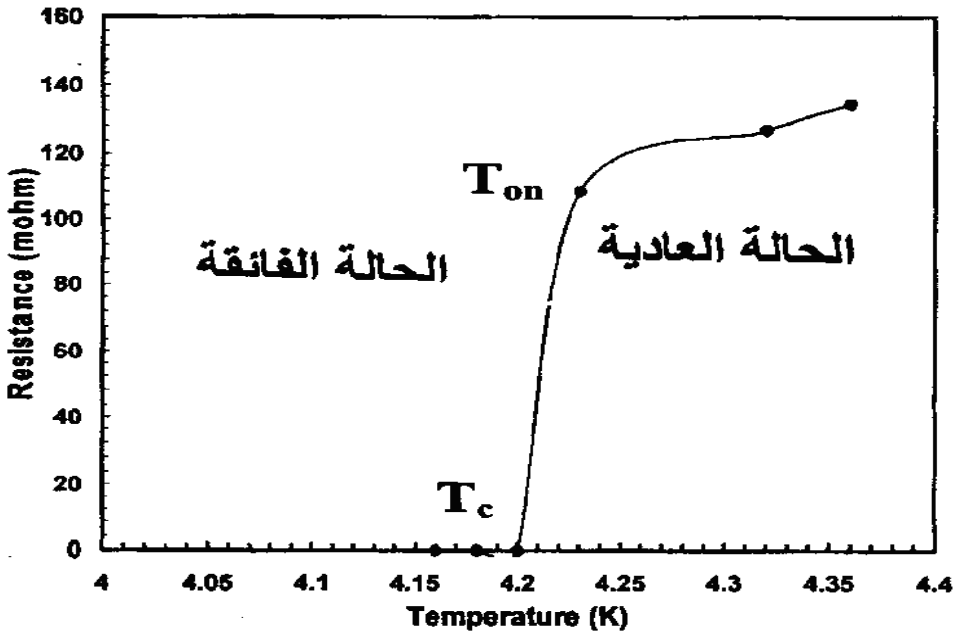
**تعرف المقاومة الكهربائية على انها خاصية المادة التي تعاكس (أو تعيق) سريان التيار الكهربائي(أي الالكترونات) خلالها.**

**س6: علل يمكن لتيار كهربائي ان يسري لعدة سنوات في حلقة من مادة موصلة من دون الحاجة الى بطارية أو مصدر القوة الدافعة ؟**

**عندما تكون المادة ذات توصيلية فائقة فان مقاومتها تصبح صفراً ويمكن لتيار كهربائي ان يسري الى سنوات عديدة في حلقة من مادة موصلة من دون الحاجة الى بطارية أو مصدر القوة الدافعة الكهربائية**

**س7 : وضح العلاقة بين المقاومة الكهربية ودرجة الحرارة لمادة فائقة التوصيل؟**

**ان سلوك المقاومة الكهربية مع درجة حرارة الغرفة وحتى درجة حرارة التحول يسمي بالحالة العادية نظرا لأن المادة تسلك سلوك الموصلات حيث تزداد المقاومة مع زيادة درجة الحرارة . بينما يعرف سلوك المادة عند درجة حرارة أقل من أو تساوي الدرجة الحرجة بالحالة الفائقة حيث تنعدم المقاومة الكهربية للمادة تماما في تلك المنطقة كما موضح في الشكل .**


160
140
120
100
80
60
40
20
0
Resistance (mohm)
$T_{on}$
$T_c$
الحالة الفائقة
الحالة العادية
4
4.05
4.1
4.15
4.2
4.25
4.3
4.35
4.4
Temperature (K)