وزارة التعليم العالي والبحث العامي

جامعة القادسية

كلية التربية قسم الفيزياء

عنوان البحث

دراسة التوصيلية الكهربائية الفائقة في المواد و تطبيقات

بحث مقدم الى مجلس كلية التربية/جامعة القادسية وهو جزء من متطلبات نيل شهادة البكالوريوس في الفيزياء

مقـــــدم من قبل الطالبين

محمد حسن مالك

محمد قاسم حسين

بأشـــراف / م.م إشراق عبودي

١٤٣٨هـ

٢٠١٧م

بســـــم الله الرحمن الرحيم

{ يَرْفَعِ اللَّهُ الَّذِينَ آمَنُوا مِنْكُمْ وَ الَّذِينَ أُوتُوا الْعِلْمَ دَرَجَاتٍ}

صدق الله العلي العظيم

[المجادلة]

الشكر والتقدير

الحمد لله رب العالمين والصلاة والسلام على خاتم الانبياء والمرسلين وعلى آله الطيبين الطاهرين لا يسعني وانا اختتم دراستي هذه إلا ان اتقدم بالشكر والعرفان وعظيم الامتنان الى استاذتي المشرفة(أشراق عبودي)لما ابدته لي من توجيهات قيمة وملاحظات سديدة انارت طريق الباحث فجزاه الله عني خير الجزاء.

كما اتقدم بخالص الشكر لأساتذتي الكرام في قسم الفيزياء الذين بذلوا جهودهم خلال دراستي للسنوات الاربعة الماضية....

والى كل من مد يد العون والمساعدة بقلب صادق

الباحث

الإهداء

إلى ....رمز الحب والحنان والتضحية والايثار.....

امـــي الحبيبة

إلى....عماد الخيمة التي تفيأت بظلال حبه وقيمه فباتت نبراته تعكس الفؤاد ابدا وتسري في شراييني نهرا من الثقة بالنفس والشوق الى الحقيقة.....

أبـــي العزيز

إلى....من يفيض لهم قلبي حبا وحنانا....

إخوتي وأخواتي

إلى.... من أكن لهم الحب والاحترام....

أســـــاتذتي

ألفصل ألاول

ألتوصيل ألكهربائي

(1-1) المقدمة	**Introduction**
(1-2) دالة فيرمي- ديراك	**Fermi-Dirac Function**
(1-3)الموصلات	**Conductors**
(1-4)العوازل	**Insulators**
(1-5) اشباه الموصلات	**Semi conductors**

(1-1)ألمقدمة : Introduction

يعرف التوصيل الكهربائي في المواد على انه قابلية انتقال الشحنة الكهربائيه من موقع إلى موقع اخر وتعتمد هذه على الايونات والتي تتوقف قابلية حركتها على نوع المادة والالكترونات وكذلك الفراغات الالكترونية electronic vacancy.تتكون الفراغات الالكترونية في البنية البلورية ذات الاواصر التساهمية في حالة فقدان احد الالكترونات من المزدوج الالكتروني للاصرة .كما يتكون الفراغ الالكتروني في المواد ذات الاواصر الايونية عند كسر الاصرة الايونية فيتكون في هذه الحالة الكترون حر Free electron وفجوة Hole وتعتبر الفجوات شحنة موجبة على الرغم من انها في الحقيقة نقص في الشحنة السالبة ضمن البنية البلورية[1]

لقد اعتمد تصنيف المواد الصلبة على معاملات توصيلها الكهربائي ،فأننا نجد انواع ثلاثة منها:

١-مواد جيدة التوصيل الكهربائي (الموصلات) وهي المواد الفلزيه مثل النحاس الذي يكون معامل توصيله الكهربائي بحدود (10^7) .

٢-اشباه الموصلات مثل السيليكون والجرمانيوم وكبريتيد الرصاص الذي معامل توصيله بحدود (10^2) .

٣-مواد رديئة التوصيل الكهربائي (العوازل) مثل الابونيت ومعامل توصيله بحدود(10^{-8}) .

ثم اكتشف فيما بعد مواد ذات موصلية فائقة (**superconductor**)، اي ان مقاومتها للتيار الكهربائي تصبح صفرا عند التبريد لدرجه معينة من درجات الحرارة (سنتكلم عنها لاحقا)

[1,2,3]

(1-2)توزيع الالكترونات على مراتب الطاقة :دالة فيرمي ديراك Fermi-Dirac Function

ان مراتب الطاقة في المادة تتوزع في حزم وتبدأ هذه المراتب عند ادنى مرتبة في ادنى حزمة صعودا إلى حزمة التكافؤ ثم إلى حزمة التوصيل وتحتل الكترونات المادة هذه

المراتب فتبدأ الالكترونات في احتلال المراتب الدنيا ثم الاعلى فالاعلى حتى آخر الكترون في المادة حيث تأخذ كل مرتبة الكترون واحد.فعلى سبيل المثال لو افترضنا ان المتر المكعب من مادة يحتوي على 10^{28} ذرة وان كل ذرة تحتوي 14 الكترون (العدد الذري يساوي 14) فأن هذه الالكترونات وهي $1.4*10^{29}$ الكترون في المتر المكعب الواحد تحتل مراتب بنفس العدد وهذه الالكترونات تبدأ بالمرتبة(١) صعودا إلى المرتبة الاخيرة في سلم الطاقة ولهذا نجد الحزم الواطئة مليئة بالالكترونات واخر حزمة نجد فيها الالكترونات هي حزمة التكافؤ وتليها حزمة التوصيل .

تتوزع الالكترونات في اعلى سلم طاقة ، وهي الكترونات المدار الخارجي في الذرة المنفردة،بين حزمتي التكافؤ والتوصيل وما يهمنا هو معرفة عدد الالكترونات عند الحافة السفلى لحزمة التوصيل وعدد المراتب الشاغرة عن الحافة العليا لحزمة التكافؤ هذه الاعداد من الالكترونات والفراغات نراها تعتمد على مستوى الطاقة لهذه المراتب والالكترونات وايضا تعتمد على درجة الحرارة.[1]

أن احتمالية ملء مرتبة من قبل الكترون تعتمد على درجة الحرارة المطلقة T وموقع المرتبة في سلم الطاقة ويطلق عليه دالة فيرمي - ديراك Fermi Dirac Function ويعبر عنها رياضيا بالمعادلة الاتية:

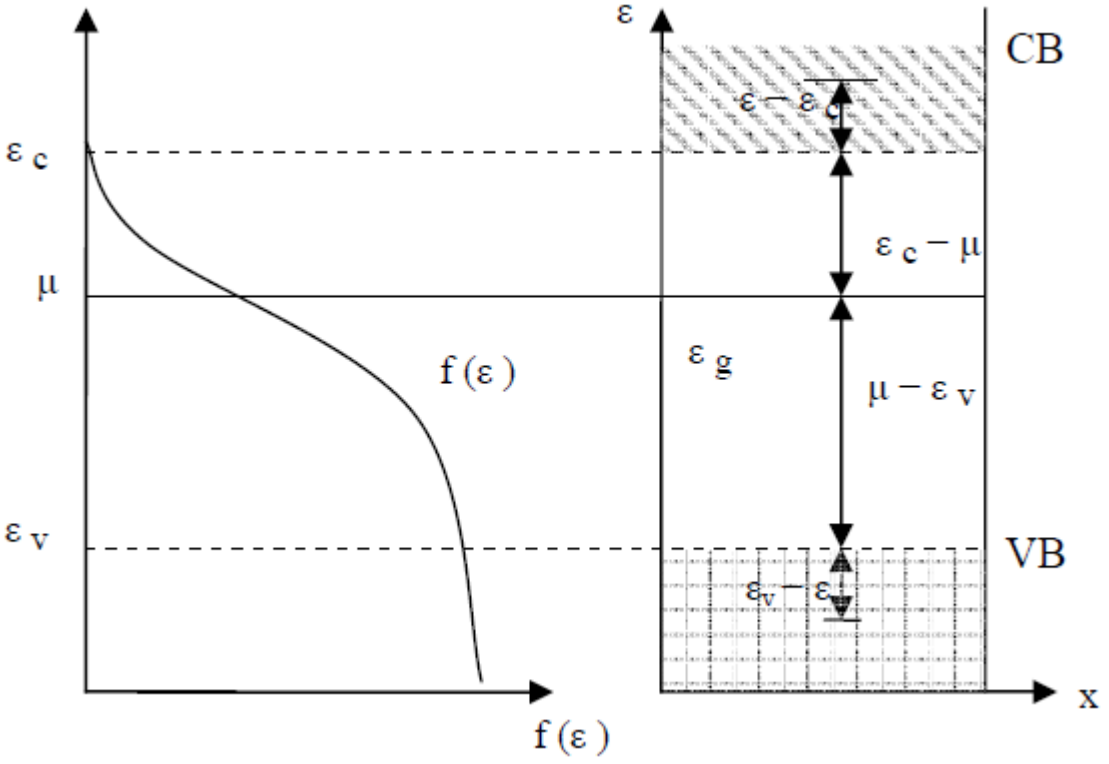
$$F(E) = \frac{1}{1 + \exp(\frac{E - EF}{KT})}$$

حيث ان:

F(E) هي احتمالية وجود الكترون في المرتبة ذات الطاقة E .[1,4,5]

EF يمثل منسوب او مستوى يؤخذ كمرجع في تحديد موقع الترتيب ويعرف بمنسوب فيرمي. T درجة الحرارة المطلقة. Kثابت بولتزمان.

والشكل (1-1) يوضح منحني دالة فيرمي:



شكل(1-1)توزيع دالة فيرمي-ديراك حيث يقع مستوي فيرمي u داخل فجوة الطاقة.[7]

ويتضح من دالة فيرمي -ديراك مايأتي:

١-احتمالية وجود اكثر من اللكترون في مستوي اعلى من E_F عند الصفر المطلق هي صفر،وهذا يعني ان جميع الالكترونات تقع تحت E_F عند الصفر المطلق وان جميع المراتب فوق E_F تكون خالية.

٢-عند اي درجة حرارة اخرى (T>0) تكون احتمالية اشغال مرتبة ذات طاقة E_F هي 0.5

اي 50% .

٣-تزداد احتمالية اشغال المراتب الواقعة فوق منسوب E_F مع ارتفاع درجة الحرارة وكلما كانت المرتبة بعيدة عن E_F كانت احتماية اشغالها بالالكترون اقل . ويلاحظ ان الدالة F(E)

للمراتب التي تعلو E_F تقترب من العلاقة:

$$F(E) \cong \exp[_(\frac{E_EF}{KT})] \quad .....(1\text{-}2)$$

٤-ونرى ان احتمالية اشغال المراتب الواقعة تحت المنسوب E_F تقترب من العلاقة :

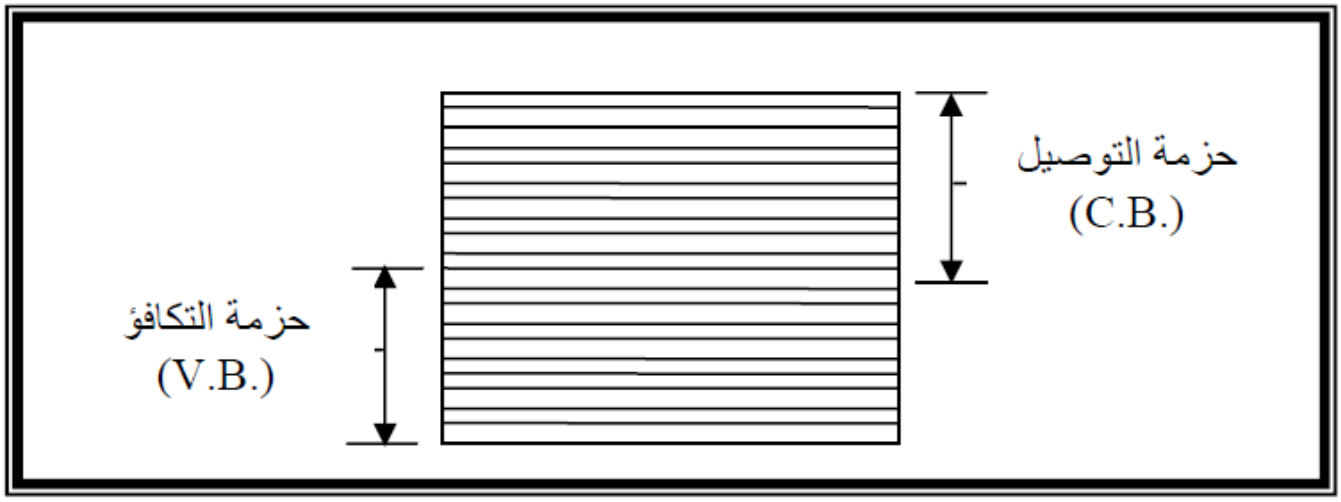
$$F(E) \cong 1_\exp[\frac{E_EF}{KT}).....(1\text{-}3)$$

حيث ان (E_EF) تكون في هذه الحالة سالبة .ولما كانت $F(E)$ تمثل احتمالية اشغال المرتبة فأن $(1\text{-}F(E))$ تمثل احتمالية خلو المرتبة من الالكترون .وبهذا فأن احتمالية وجود مراتب شاغرة تحت E_F هي: [3]

$$1 - F(E) = 1 - \exp(\frac{E_{EF}}{KT})$$

(1-3)الموصلات: Conductors

تتوزع الالكترونات في الحزم وكما هو معروف ،وعند درجة حرارة الصفر المطلق لا تستطيع الالكترونات التحرك خلال البلورة ذلك لانها جميعها مرتبطة بشدة إلى ذراتها وبالتالي فانها تملأ حزمة التكافؤ من اوطا مستوى إلى اعلى مستوى من الطاقة والذي يدعى مستوى فيرمي Fermi level وبعبارة اخرى فان حزمة التوصيل عند درجة حرارة الصفر المطلق تكون فارغة وهذا يعني انه لايوجد طاقة كافية عند اي الكترون لكي ينتقل في حزمة التوصل. [1]



مخطط حزم الطاقة في الموصلات

شكل(2-1) حزم ألطاقة في الموصلات[7]

من جهة اخرى عند ارتفاع درجة الحرارة فوق الصفر المطلق فأن الطاقة الحرارية التي سوف يكتسبها الالكترونات ستمكن بعضا من هذه الالكترونات من الافلات من ذراتها والانتقال إلى حزمة التوصيل حيث تستطيع هناك التحرك في مدارات ذات انصاف اقطار اكبر من السابق ويكون ارتباط هذة الالكترونات بالذرات ضعيفا عندما تكون في حزمة التوصيل عند تسليط فرق جهد عبر الموصل فأن مجالا كهربائيا سوف

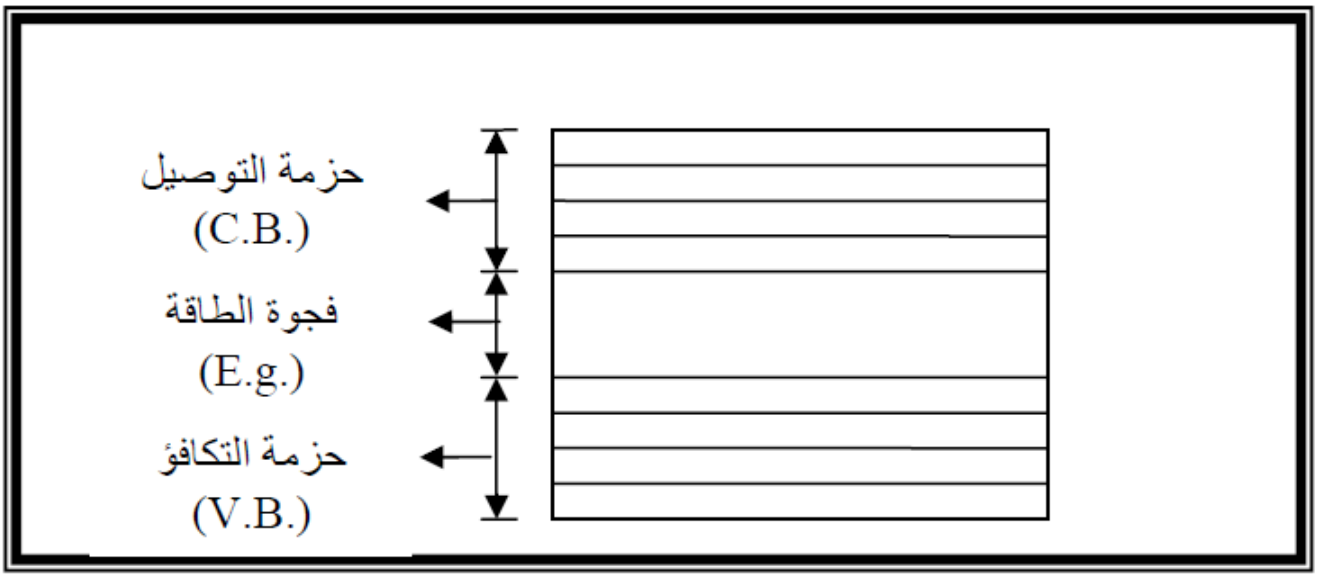
يتولد داخل الموصل يعمل على تعجيل الالكترونات الحرة في حزمة التوصيل بسبب القوة التي يتعرض لها والتي تساوي :

$$F=-eE.....(1-5)$$

ومن الامثلة عليها الفضة،النحاس ،الحديد والرصاص.

(1-4) العوازل: Insulators

العوازل هي مواد لا يمكنها توصيل التيار الكهربائي بسبب كبر فجوة (ثغرة) الطاقة بين حزمة التكافؤ وحزمة التوصيل .فمثلا في الماس نجد ان فجوة الطاقة تساوي تقريبا (6.2ev) ولكي ينتقل الاكترون من حزمة التكافؤ إلى حزمة التوصيل يجب منحه قيمة من الطاقة تساوي (6.2ev) أو اكثر . فأذا استخدمنا مجالا كهربائيا لمنح الالكترون هذه الطاقة فأننا نحتاج إلى مجال شدته حوالي10^{8}*6.2 فولت/ سم (اذا اعتبرنا ان نصف قطر الذرة في حدود 10^{-8}) وبذلك فأنه لايمكن منح الالكترون هذه الطاقة وبذلك نجد ان الماس من العازلات الجيدة.[1,3,2]



مخطط حزم الطاقة في العوازل

شكل(3-1) فجوة الطاقة في العوازل[7]

ومن الامثلة على المواد العازلة (الزجاج-الخزف -الكوارتز- البورسلين - الابونيت - الكهرمان

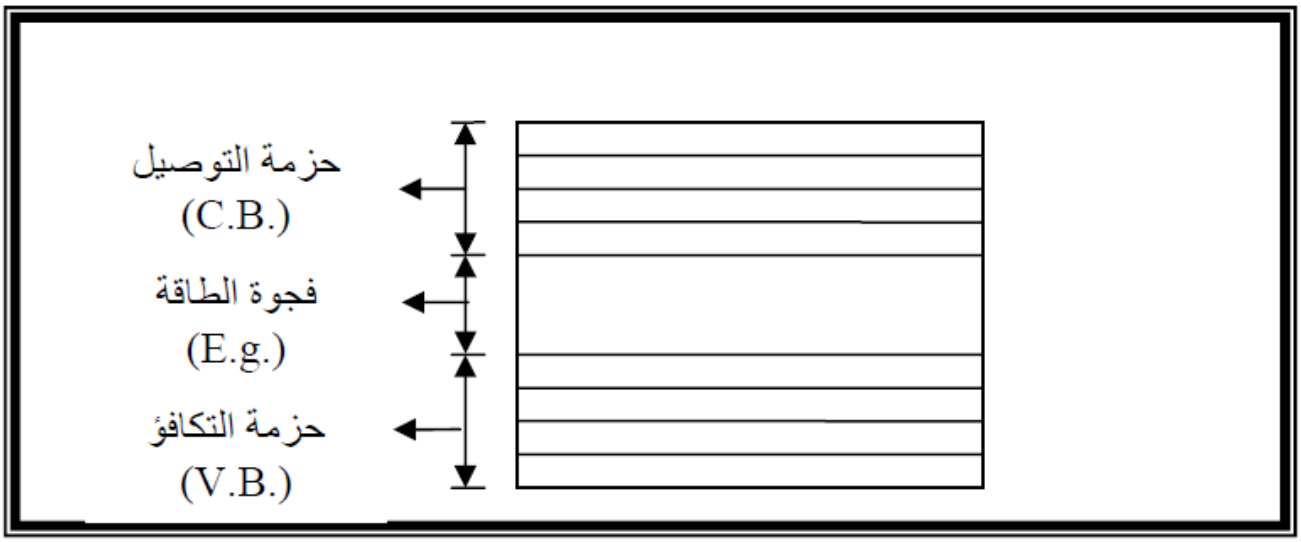
(1-5) أشباه الموصلات: Semi conductors

تعد اشباه الموصلات بانها مواد عازلة عند درجات الحرارة المنخفضة ولكنها تصبح جيدة التوصيل نوعا ما عند رفع درجة حرارتها. فأذا كانت حزمة التكافؤ مملوءة تماما بألالكترونات ولكي يتمكن الالكترون من عبور فجوة الطاقة الصغيرة نسبيا للوصول إلى حزمة التوصيل فأنه يحتاج إلى طاقة حرارية K_BT. وهكذا تلعب الطاقة الحرارية دورا مهما في مساعدة الالكترونات على عبور فجوة الطاقة.

وبما ان اشباه الموصلات تصبح جيدة التوصيل عند درجات حرارة عالية ولكن هذا لايعني انها اصبحت تتصرف كفلز.ويرجع السبب هو ان اشباه

الموصلات عند درجات الحرارة العالية تمتلك مقاومة ذات معامل حراري سالب اي ان مقاومتها تقل بصورة عامة مع ارتفاع درجة الحرارة بينما تزداد مقاومة المواد الموصلة عند ارتفاع درجة الحرارة .

اما اشباه الموصلات غير النقية اي التي تحتوي على شوائب فأن المقاومة تزداد بازدياد درجات الحرارة وعند درجة حرارة معينة ، تبدأ بالنقصان وبشكل كبير .يعد الجرمانيوم والسليكون من اهم اشباه الموصلات التي تستخدم في الاجهزة الالكترونية . ان السليكون والجرمانيوم عنصران من عناصر المجموعة الرابعة في الجدول الدوري وان الغلاف الخارجي في كل منهما يحتاج إلى اربعة الكترونات لكي يمتليء . والتركيب الالكتروني للغلاف الخارجي للسيليكون هو $3S^2\ 3P^2$ اي ان الغلاف الخارجي 3P يحتاج إلى اربعة الكترونات لكي تمتليء.[1,2,3,5]



مخطط حزم الطاقة في اشباه الموصلات

شكل(4-1) فجوة الطاقة في اشباه الموصلات[7]

ومن اهم خواص المواد شبه الموصلة:

١-تمتلك مقاومة ذات معامل حراري سالب.

٢-تكون قيمة مقاومته النوعية بين 10^{-5} _ 10^{4} اوم-متر.

٣-ان القدرة الكهربائية-الحراية التي يمكن ان تولدها هذه المواد عالية جدا.

٤-تمتلك المواد شبه الموصلة على نوعين من حاملات الشحنات وهما الفجوات والالكترونات .

٥-يمكن السيطرة على مقاومة المواد الصلبة وذلك بأضافة شوائب ثلاثية التكافؤ أو خماسية التكافؤ.

*مقارنة بين الموصلات والعوازل وأشباه الموصلات:

وجه المقارنة	المواد الموصلة	المواد العازلة	اشباه الموصلات
امثلة	الفلزات(الحديد،الفضة، الرصاص.....)	الزجاج-الخزف-الكوارتز-البورسلين	الجرمانيوم-السليكون-كبريتيد الرصاص
المقاومة النوعية	(من ٨١٠-٥ إلى ٨١٠-٨) اوم.متر	كبيرة جدا (من ٦٨١٠ إلى ١٦٨١٠) اوم.متر في درجات الحرارة الاعتيادية.	متوسطة عند درجة الحرارة العادية بحدود ٠,٥ اوم.متر
نطاق التكافؤ	مملؤ بالالكترونات	مملؤ بالالكترونات	مملؤ بالالكترونات

نطاق التوصيل	مملؤ جزئيا بالالكترونات عند درجات الحرارة الاعتيادية.	خالي من لالكترونات عند درجات الحرارة الاعتيادية	خالي تماما من الالكترونات في درجة الصفر المطلق
طاقة الفجوة	صغيرة جدا بحدود(٠,٠١) الكترون فولت.	كبيرة جدا(٥) الكترون. فوات	(من٢ إلى ٠,٧) الكترون.فولت
تأثير رفع درجة الحرارة على المقاومة	تزداد المقاومة	تنخفض المقاومة ولكنها تظل كبيرة لدرجة ان المادة الصلبة تنصهر قبل ان تصبح موصلة	تنخفض المقاومة بشكل كبير

* تأثير اضافة الشوائب على مقاومة المواد:

١- المواد الموصلة:لا يؤثر وجود الشوائب في الفلزات على تركيز حاملات الشحنة المتحركة ولكنه يغير نشاطها كثيرا حيث تحدث الشوائب عيوبا بلورية في الشبيكة البلورية تزيد من مقاومتها للتيار الكهربائي اذن الشوائب في الفلزات تزيد المقاومة للتيار الكهربائي.

٢-المواد العازلة:في المواد العازلة يكون لذرات الشوائب الكترونات ضعيفة الصلة بهذه الذرات حيث يمكن لهذه الالكترونات ان تنفصل بسهولة عن ذراتها وتصبح حرة اذن الشوائب في المواد العازلة تقلل من مقاومتها بصورة عامة.

٣-أشباه الموصلات: تقل المقاومة بصورة كبيرة في اشباه الموصلات نتيجة اضافة الشوائب اليها. وأكثر من ذلك يمكن اختيار الشوائب بطريق

خاصة تغير مقاومة اشباه الموصلات في الاتجاه المطلوب ولذلك تستخدم اشباه الموصلات المشوبة على نطاق واسع.

الفصل الثاني

التوصيل الفائق super conductivity

(2-1)المقدمة

(2-2)تفسير وجود الناقلية الفائقة

(2-3)مبدأ اساسي للتوصيل الفائق

(2-4)درجة الحرارة الحرجة

(2-5) طرد المجال المغناطيسي من داخل الموصلات الفائقة

(2-6) طاقة الثغرة للموصل الفائق

(2-7) التوصيل الفائق عند درجات حرارة مرتفعة

(2-8) بعض تطبيقات المواد فائقة التوصيل

(2-9) فوائد الموصلات الفائقة

(2-1)ألمقدمة :

إن ظاهرة التوصيلية الفائقة مثيرة من جميع جوانبها سواء ما يتعلق بدراستها أو ما يتعلق بتطبيقاتها، فسلوكها الكهربائي (عدم المقاومة للتيار) وسلوكها المغناطيسي (رفض المجال المغناطيسي) هما السمتان البارزتان لها، وقد جعلا منها مواداً ذات تطبيقات غير محصورة بعدد، فمن المعلوم أن مقاومة التيار الكهربائي في جميع المواد العادية هي السبب في ضياع وفقد الكثير من الطاقة الكهربائية، وهي السبب أيضاً في عطل كثير من الأجهزة الكهربائية وارتفاع حرارتها، ومن جهة ثانية، فالمجال المغناطيسي اعتاد على التغلغل في جميع المواد العادية بدون استثناء. وأما المواد الفائقة فمقاومتها للتيار الكهربائي تصل إلى الصفر، وهو صفر غير مبالغ فيه من الناحية العملية، مع أن البعض ذكر إنه ربما توجد مقاومة في حدود صغيرة، ومن ناحية أخرى فالمجالات المغناطيسية لا تستطيع الدخول إلى جسم الموصل الفائق مادام بصورته الفائقة، مما يبشر بتطبيقات كثيرة تعتمد على تلك الخاصية على وجه التحديد. ومن التطبيقات ما يتعلق بالنواحي العسكرية ومنها ما يتعلق بالنواحي المدنية والصحية والمواصلات وغير ذلك مما سوف نتطرق إليه في حينه.

وفي عام ١٩٨٦م اكتشف العالمان (Bednorz and Muller) مادة سيراميكيه (LaBCO) اظهرت موصليه فائقه ابتداء من الدرجة ٣٥كلفن مما يعني انه من ذلك الوقت بدأ العلماء يحاولون اكتشاف مواد سيراميكيه ذات موصليه فائقه.

لقد اكتشفت هذه الظاهره عام ١٩١١ من قبل العالم الفيزيائي الهولندي كاميرلنك اونيس Kammerlingh ones من خلال دراسة التوصيل الكهربائي لزئبق نقي عند درجات حراره واطئه جدا. فلقد وجد ان المقاومه النوعيه للزئبق تختفي فجأة (تكاد ان تكون صفرا) عند تبريده عند درجة حرارة سائل الهيليوم (4.2k).

ان قيمة المقاومه النوعيه للزئبق في حالة التوصيل الفائق كما وجدها اونيس بحدود

10^{-12}من قيمة المقاومة في الحالة الاعتياديه . وحديثا وجد ان تيارا محتثا يقدر بعدة مئات من الامبيرات يسري في حلقه من الرصاص في حالة التوصيل الفائق ولم يحدث تغيير فيه لفترة تتراوح بحدود سنة كاملة. وهذا برهان اكيد على ان المقاومه النوعيه فعلا تكاد ان تكون صفرا في حالة التوصيل الفائق.

لقد فتحت التجارب في السنوات الاخيره مجالا واسعا للتعرف على اكثر من (30) عنصرا ومئات المركبات تصلح لتكون فائقة التوصيل عند درجات حراره حرجه ان ظاهرة التوصيل الفائق تشهد ضجه اعلاميه واسغه وتنافسا عجيبا بسبب استخدامها في تطبيقات واسعه.

وتحدث حالة التوصيل الفائق في تشكيلة واسعة من المواد مثل: المواد الخفيفة كالقصدير والألمنيوم، والسيراميك والسبائك الثقيلة، وبعض أشباه الموصلات، ولكن لا يمكن صنع موصلات فائقة من المعادن النبيلة كالذهب والفضة، ولا من المعادن الفيرو مغناطيسية.[1,4]

وبعد هذا الاكتشاف استمر العلماء بالبحث عن مواد ذات درجات تحول أعلى، غير أن هذا البحث استمر لفترة طويلة دون كسر حاجز العشر درجات كلفن حتى اكتشف مركب النيوبيوم Nb في أول الأربعينيات حيث وصلت درجة التحول إلى حوالي ١٥ درجة كلفن واستمرت كذلك ولمدة ثلاثين سنة وبالتحديد حتى عام ١٩٧٣ حيث أضيف مركب جديد ذو درجة تحول تصل إلى ٢٣ كلفن. والمركب المقصود هو .Nb3Ge

(2-2)تفسير وجود الناقلية الفائقة:

إن مصدر المقاومة الكهربائية في المعادن هو تصادم الإلكترونات الحرة سواء مع الشبيكة البلورية أو مع العيوب و الشوائب (إذ يؤدي ذلك إلى استقرار المقاومة النوعية على قيمة دنيا لا تتعلق بدرجة الحرارة)، وإن ما يُشعر بوجود المقاومة هو تغيّر متجه اندفاع الإلكترون بعد كل تصادم. أما في حالة الناقلية الفائقة فإن الإلكترونات تترابط فيما بينها لتشكل أزواجاً من الإلكترونات تدعى أزواج كوبرCooper pairs ؛ إذ إن تشيكل هذه الأزواج يخفض من طاقة هذه الإلكترونات. قد يبدو غريباً أن يترابط إلكترونان يحملان شحنة كهربائية من النوع نفسه، ولكن بما أن الإلكترونات تسبح ضمن شبيكة بلورية فيمكن فهم هذا التزاوج كما يأتي: عند مرور الإلكترون ضمن الشبيكة البلورية يولد اضطراباً ضمن هذه الشبيكة و يؤدي هذا الاضطراب إلى توليد فونون (كمّ اهتزاز الشبيكة) يمتصه إلكترون آخر.

يمكن فهم انعدام المقاومة في إطار هذه النظرية على أنه ناتج من أن الاندفاع الكلي لزوج الإلكترونات يبقى محفوظاً ومن ثم لا يتأثر الزوج بالتصادمات. يحدد اندفاع زوج الإلكترونات بكثافة التيار المار في الجسم، وعندما تتجاوز هذه الكثافة قيمة محددة تدعى كثافة التيار الحرج ينفصل زوج الإلكترونات و يعود الجسم إلى حالته الطبيعية.

وضعت هذه النظرية من قبل جون باردينJohn Bardeen و ليون كوبرLeon Cooper و جون شريفرJohn Schrieffer في عام ١٩٥٧، وهي تفسر جزءاً كبيراً من خواص المواد في حالة الناقلية الفائقة، ولكنها لم تنجح في تفسير وجود درجة حرارة حرجة أعلى من درجة حرارة الآزوت السائل.

(2-3)مبدأ اساسي للتوصيل الفائق:

التوصيل الفائق أو التوصيل المفرط هي ظاهرة تحدث في بعض المواد عند تبريدها إلى درجات حرارة منخفضة جدا تقترب من الصفر المطلق (صفر كلفن) ، حيث تسمح الموصلات الفائقة بمرور الكهرباء خلالها دون أي مقاومة كهربية تقريباً.

عادة تنخفض المقاومة الكهربائية للموصلات المعدنية تدريجيا مع انخفاض درجة الحرارة، وفي حالة الموصلات العادية كالنحاس أو الفضة فإن الشوائب الموجودة في المادة تعاكس الوصول إلى حد أدنى من المقاومة في درجات الحرارة المنخفضة. ولذلك فعند الاقتراب إلى درجة حرارة تقارب درجة الصفر المطلق فإن عينة من النحاس مثلا لا يمكن أن تصل لدرجة ممانعة (مقاومة) تساوي الصفر. أما في حالة الموصلات الفائقة فإن الممانعة تنخفض على نحو مفاجيء إلى الصفر عندما يتم تبريد المادة إلى درجة حرارة أقل من الدرجة الحرجة لهذه المادة، غالبا ٢٠ كلفن أو أقل.

ففي حالة التوصيل المطلق يمكن لتيار كهربائي يمر في حلقة من مادة فائقة التوصيل أن يستمر في السريان إلى وقت غير محدود وبدون وجود مصدر للطاقة بعد إعطاء الدفعة الأولى. وظاهرة التوصيل الفائق ظاهرة تفسرها ميكانيك الكم، ولا يمكن فهمها على أساس أنها تجسيد لظاهرة الموصل المثالي ضمن إطار الميكانيك الكلاسيكي

(2-4)درجة الحرارة الحرجة Critical temperature:

تعرف درجة الحرارة الحرجة بانها الدرجة الحرارية التي يتم فيها التحول من الحالة الاعتياديه للمادة إلى حالة التوصيل الفائق اي ان قيمة المقاومة النوعيه للمادة تكاد ان تكون صفرا.

ولقد وجد ان درجة الحرارة الحرجة تعتمد على العوامل التاليه:

١-نقاوة المادة.

٢-الضغط المسلط على المادة.

٣-سمك المادة.

٤-الشحنة الكهروستاتيكيه على المادة.

وقد كان الإعتقاد السائد أن الدرجة الحرجة لجميع المواد فائقة التوصيل هي درجة حرارة موحدة تقدر بـ- ٢٧٣م ولكن بعد إجراء التجارب اتضح أن درجة التحول تختلف باختلاف المادة الموصلة كيميائيا فمثلا الزئبق يصل الى المقاومة الصفرية في درجة حرارة -٢٦٩م وهو ما غير المفهوم العام للموصلات وفتح المجال للبحث عن مواد يمكن أن تصل الى مقاومتها الصفرية في درجة حرارة الغرفة ٢٥م مما يمكننا في استخدامها في مجالات كثيرة.

فمثلا العلاقه بين المقاومة النوعيه ودرجات الحرارة الحرجة لعنصر القصدير Sn فاذا كان الفلز نقيا فنرى ان مدى درجات الحرارة الحرجة التي عندها تقل قيمة المقاومة النوعيه إلى الصفر تكون صغيرا جدا بينما اذا احتوى معدن القصدير على شوائب فنلاحظ ان مدى درجات الحرارة التي عندها تقل قيمة المقاومة تكون كبيرة نوعا ما.

ان درجة الحرارة الحرجة للمادة تعتمد على الضغط المسلط على المادة .فلقد وجد ان زيادة الضغط يحدث انخفاضا في درجة الحرارة الحرجة Tc .اما تاثير سمك المادة فانه كلما كانت المادة على هيئة غشاء رقيق نجد ان Tc

تقل بشكل كبير عند مقارنتها بعينه من نفس المادة ذات سمك كبير ان لهذين العاملين دور كبير على تحويل اشباه الموصلات من الحالة الاعتيادية إلى الحالة فائقة التوصيل .اما بالنسبة إلى وجود الشحنه الكهروستاتيكيه على سطح المادة فالدراسة لازالت مستمرة للتعرف بعمق على دورها على انخفاض وارتفاع درجة الحرارة الحرجة.[1]

المادة	نوع المادة	درجة الحرارة الحرجة Tc(K) بالكلفن
الروديوم	١	3.25×10^{-4}
زنك	١	0.88
الالمنيوم	١	1.20
قصدير	١	3.72
زئبق	١	4.15
النيوبيوم-الجرمانيوم	١	23.2
YBCO ($YBa_2Cu_3O_7$)	٢	92
الثاليوم-الباريوموالنحاس اوكسيد الكالسيوم	٢	125
$HgBa_2Ca_2Cu_3O_8$	٢	133

جدول(١) قيم درجة الحرارة الحرجة لبعض العناصر والمركبات.[1]

(2-5)- طرد المجال المغناطيسي من داخل الموصلات الفائقة:

من أهم ميزات الموصلات الفائقة قدرتها على طرد المجالات المغناطيسية من داخلها أو من الوسط الذي تحتويه. والمسألة يمكن النظر إليها بالصورة التالية: عندما يتعرض موصل ما (من النوع الديامغناطيسي) إلى مجال مغناطيسي خارجي فإن ذلك الموصل يحاول التخلص من المجال باستحداث تيارات كهربائية تلف حول سطحه تسمى بالتيارات السطحية. ومن المعلوم أن التيار الكهربي يسبب ظهور مجال مغناطيسي، وهو في حالة الموصل يكون بالضبط بعكس اتجاه المجال الأصلي (الخارجي). غير أن الموصلات العادية –كما هو معلوم – ذات مقاومة للتيار الكهربائي بما في ذلك التيارات المضادة للمجالات المغناطيسية، والنتيجة هي أن المجال المضاد يكون أقل بكثير من المجال الخارجي، وبالتالي، يدخل الأخير في قلب وبنية الموصل، والصورة تختلف تماماً عند الحديث عن الموصل الفائق. إن التيارات المضادة في هذه الحالة لا تقابل بأية مقاومة كهربية وبالتالي فلديها القدرة على الاستجابة التامة لشدة التيار الخارجي: فتزيد بزيادته وتقل بنقصانه بحيث توجد مجالات تتساوى معه بالضبط وتضاده في اتجاهها فيسلم جرم الموصل من المجال الخارجي حسب المعادلة التالية:

$$M=-H \quad .....(2-3)$$

حيث تمثل الـ M التمغنط (المجال المغناطيسي المضاد) وتمثل H المجال الخارجي المطبق. و من إشارة السالب ندرك أن التمغنط مساوٍ تماماً للمجال الخارجي ومضاد له

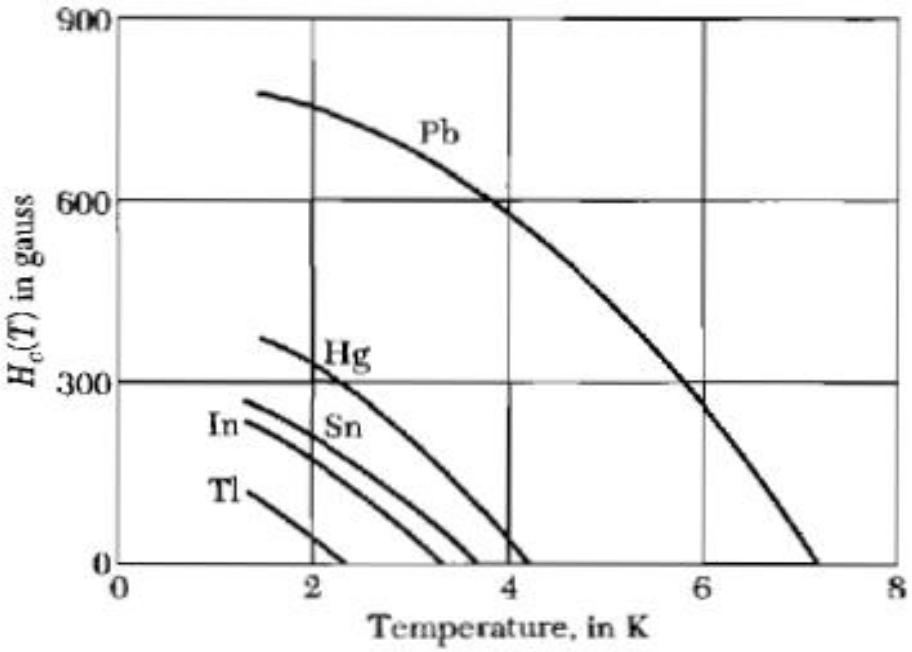
في ألاشارة والعجيب في الأمر أنه حتى لو كان هناك مجال مغناطيسي يتعرض له الموصل الفائق قبل تبريده، فإنه بمجرد التبريد تحت درجة التحول سوف يتم طرد المجال المغناطيسي الذي كان في داخله وتعرف الظاهرة بظاهرة ميسنر وهي أكثر وضوحا في ألموصلات من النوع الاول وهذا وتنقسم المواد الفائقة من حيث سلوكها مع المجال المغناطيسي الخارجي إلى قسمين رئيسيين: النوع الأول Type-I والنوع الثاني Type-II، ففي النوع الأول (معظم

الموصلات التقليدية من هذا النوع) يرفض الموصل المجال الخارجي تماماً حتى الوصول إلى مجال مغناطيسي معين يسمى المجال الحرج Critical Magnetic Field ورمزه HC ، وعند هذا المجال يتم تدمير التوصيلية الفائقة تماماً ويدخل المجال المغناطيسي الخارجي إلى قلب الموصل ولا يعود الموصل بعدها إلى التوصيل الفائق مرة أخرى إلا بعد تسخينه فوق درجة تحوله ثم تبريده ثانية، حيث إن التيار المار في الموصل يحدث مجالاً مغناطيسياً، فإن هذا النوع من المواد غير ملائم لكثير من التطبيقات التي تحتاج إلى تيارات عالية، إذ إن تلك التيارات سوف تعود على الموصل بالتدمير وإنهاء خاصية التوصيل الفائق.

وأما الموصلات من النوع الثاني فهي مختلفة تماماً، إن لديها مجالين مغناطيسيين حرجين. فعند وصول المجال الخارجي إلى المجال الحرج الأول HC1، وهو عادة صغير، فإن التوصيلية الفائقة لا تفقد وإنما يتحول جزء من الموصل إلى موصل عادي. إن ذلك الجزء المتحول يظهر موزعاً بصورة بؤر منتظمة على طول وعرض الموصل بحيث يمر خط مغناطيسي واحد فقط من خلال كل بؤرة. يطلق على البؤرة الواحدة فورتكس(Vortex)، ويطلق على الموصل الذي هو في الحالة الجامعة للتوصيل الفائق والعادي بأنه في الحالة المختلطة Vortex State. إن عدد البؤر الطبيعية تزداد كلما زاد المجال المغناطيسي الخارجي وتستمر في الزيادة حتى يأتي المجال على الموصل بكامله محولاً إياه إلى موصل عادي عند المجال الحرج الثاني HC2. وهذا المجال الثاني كبير جداً إذا ما قورن بالمجال الحرج للموصلات من النوع الأول ويصل إلى (عشرات التسلا)، وحيث إن جميع الخواص المميزة للتوصيل الفائق تظل موجودة أثناء الحالة المختلطة، وأن تلك الحالة تستمر إلى حصول مجالات عالية جداً، صار هذا النوع من الموصلات مرشحاً لتطبيقات كثيرة جداً بغض النظر عن شدة التيار اللازمة، ومشكلة بسيطة حصلت بسبب الحالة المختلطة وهي أن تلك البؤر تبدأ في الحركة عندما يمر التيار بقربها بسبب قوة لورنتز محدثة ضياعاً في الطاقة، وبالتالي مدمرة للموصل نفسه. غير أن تلك المشكلة تم التغلب عليها بدراسة خواص الموصلات

ووضع إسفينات خاصة تمسك بالبؤر كل إسفين يمسك بواحدة. تلك الإسفينات ويطلق عليها Pinning Centers تقوم بدور مهم وهو منع البؤر من الحركة، وزرع الإسفينات في الموصل يتم عادة بطرق كثيرة منها الإشعاع النيوتروني العمودي ومنها إضافة مواد معدنية على شكل مساحيق تخلط مع المادة الموصلة أثناء ألتحضير وغير ذلك ألكثير من ألطرق.

جميع الموصلات الفائقة عالية الحرارة تعد من النوع الثاني، ومن أهم فوائد الطرد المغناطيسي الاستفادة من الموصلات من هذا النوع في صنع دروع مغناطيسية توفر مناخاً خالياً من المجالات المغناطيسية، وبالتحديد فقد أمكن الحصول على دروع تصل قدرتها على العزل إلى 180 db [4,1].

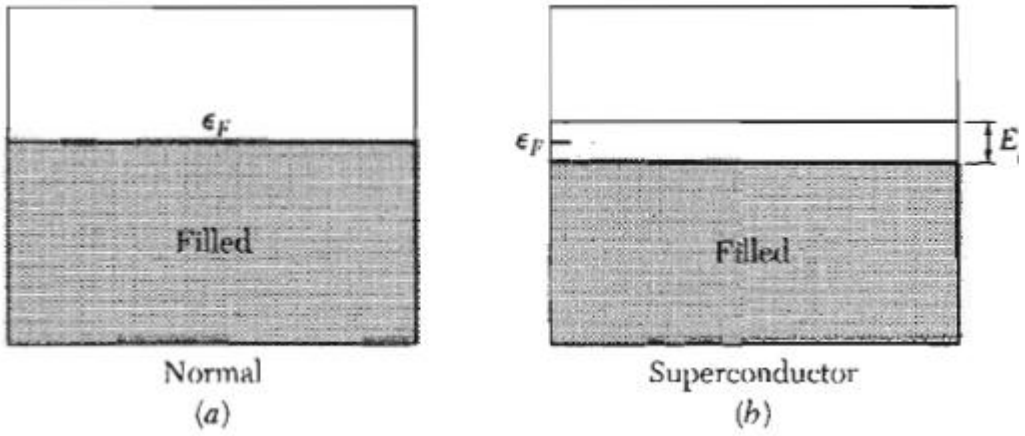


شكل يبين كيفية اختلاف المجال المغناطيسي الحرج باختلاف نوع الموصل.

(2-6)-طاقة الثغرة للموصل الفائق: Energy gap

يعتمد استقرار الموصل الفائق على قوة الرابطه بين الكتروني ازواج كوبر وتفسر النظريات حالة الموصل الفائق بوجود طاقة ثغرة بين الحالة الارضية ground state والحالة المثارة للنظام كما مبين بالشكل

(2-3)

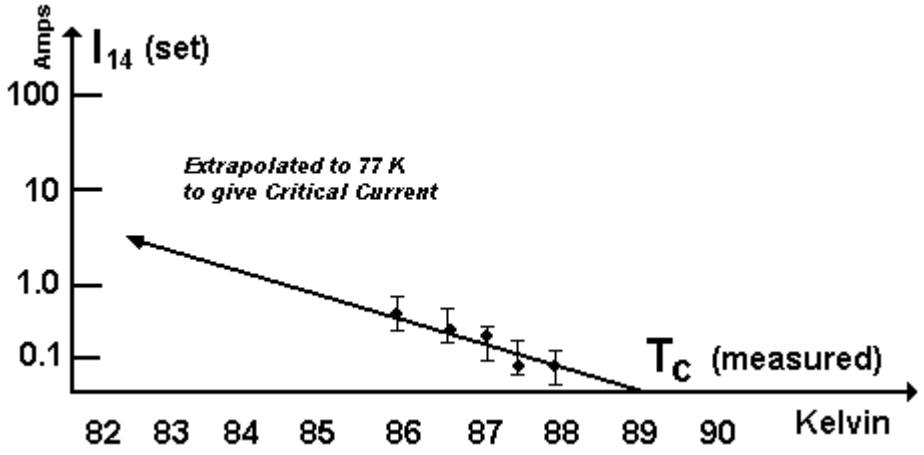


شكل a-يمثل موصل اعتيادي . b -يمثل موصل فائق.[7]

وتعرف طاقة الثغرة بانها الطاقة اللازمة لكسر الرابطة بين الكتروني كوبر وقد اثبتت نظرية باردن كوبر شريفر BCS لميكانيكية التوصيل في الموصلات الفائقة ،ان طاقة الثغرة عند T=0K تتناسب مع درجة الحرارة الحرجة Tc حيث Eg=3.53Tc وطاقة الثغرة في الموصل الفائق صغيرة في حدود KTc (0.001 eV) عند الصفر المطلق ولذلك فهي لا تقارن بطاقة الثغرة في شبه الموصل،ولذلك عند التاثير على موصل فائق بمجال مغناطيسي تزداد طاقة احد الكتروني زوج كوبر بينما تنقص طاقة الثاني فأذا كانت شدة المجال كبيرة بما فيه الكفاية ينفصل الالكترونين وتنتهي حالة الموصلية الفائقة.[4]

(2-7)التوصيل الفائق عند درجات حرارة مرتفعة:

استمر العلماء بالبحث عن مواد ذات درجات تحول أعلى، غير أن هذا البحث استمر لفترة طويلة دون كسر حاجز العشر درجات كلفن حتى اكتشف مركب النيوبيوم Nb في أول الأربعينيات حيث وصلت درجة التحول إلى حوالي ١٥ درجة كلفن واستمرت كذلك ولمدة ثلاثين سنة وبالتحديد حتى عام ١٩٧٣ حيث أضيف مركب جديد ذو درجة تحول تصل إلى ٢٣ كلفن. والمركب المقصود هو .Nb3Ge



شكل مخطط يوضح كيفية تغير المقاومة مع درجات الحرارة للموصلات الفائقة.[7]

وحصلت بعد ذلك قفزة متميزة في سجل المواد فائقة التوصيل عندما قام كل من جورج بدنورز وكارل ميولار (J. George Bednorz and Kark Alex Muller) في عام ١٩٨٦ بنشر تقرير حول نجاحهما في تحضير مركب سيراميكي هو La-Ba-Cu-O درجة تحوله في حدود ٣٠ كلفن تم تحضيره في معامل شركة IBM في سويسرا، وقد استحق العالمان جائزة نوبل بالمشاركة ليس للقفزة في حرارة التحول ولكن لأنهما فتحا

المجال لتحضير مواد سيراميكية لأول مرة. وسرعان ما قاد ذلك الاكتشاف مجموعة البحث في جامعة هيوستن بالتعاون مع مجموعة مماثلة في جامعة ألاباما الأمريكيتين إلى استبدال عنصر اللانثانيوم La بعنصر اليتريوم Y للحصول على السيراميك Y-Ba-Cu-O والذي فاقت حرارة تحوله ولأول مرة في التاريخ درجة الغليان لغاز النيتروجين والبالغة ٧٧ كلفن. لقد وصلت حرارة التحول إلى أكثر من ٩٠ كلفن لذلك المركب الذي اكتشف في يناير من عام ١٩٨٧ والذي سرعان ما صار أساساً لعدة مركبات تلته على الفور عندما التفت عدد ضخم من الباحثين وعلى طول العالم وعرضه إلى دراسة ذلك الجيل الجديد من المركبات، يحدوهم أمل كبير بالحصول على مركبات تتحول عند حرارة الغرفة.

وبعد سنة تقريباً تم اكتشاف مركب Bi-Sr-Ca-Cu-O ذي درجة التحول البالغة ١١٠ درجات كلفن وبعده بقليل اكتشف مركب الثاليوم-Tl-Ba-Ca Cu-Oوالذي يفقد مقاومته الكهربائية نهائياً عند ١٢٥ كلفن وازدادت بذلك القوة الحثية التي كانت قوية من الأصل والتي حولت الأنظار إلى تلك المركبات غير العادية. غير أن إضافة مركبات جديدة لم يتحقق إلا بعد عدة سنوات في حوالي عام ١٩٩٣ عندما أضيف مركب الزئبق-Hg-Ba : Ca-Cu-Oوالذي يتحول عند ١٣٥ درجة كلفن ولم تتم أية إضافة تذكر حتى يومنا هذا. و قد يصح أن أقول: إننا بدأنا بالزئبق وانتهينا به! والحق أن درجة الحرارة التحولية وصلت إلى ١٦٠ كلفن لبعض المركبات والتي منها مركبات الزئبق خاصة، غير أنه هذا يتم عند تسليط ضغوط عالية جداً .

وباكتشاف المركبات التي تفوق حرارتها ٧٧ درجة كلفن وهي درجة غليان النيتروجين؛ دخلنا عصراً جديداً من الموصلات وهو ما اصطلح على تسميته بالموصلات فائقة التوصيل عالية الحرارة High Temperature Superconductorsواختصاراً بـHTS ، في حين حملت الفئات السابقة لذلك التاريخ اسم: الموصلات فائقة التوصيل التقليدية

إن: LTS. واختصاراً بـ Low Temperature Superconductors لاكتشاف الموصلات الجديدة أهمية خاصة، حيث إن استخدام النيتروجين المسال رخيص جداً وغير مكلف في نقله وحفظه مما يبشر بتطبيقات كثيرة. لقد كانت فكرة الحصول على موصلات فائقة عند حرارة الغرفة فكرة سخيفة تنال الضحك من سائر العاملين في مجال المواد حتى عام ١٩٨٧ عندما صار الحلم أقرب ما يكون إلى الحقيقة. [7,6,5]

(8-2)بعض تطبيقات المواد فائقة التوصيل :

•المواصلات: وفي القطارات على وجه الخصوص :

هل تستطيع تصور قطار يطير في الهواء كما تفعل الطائرة ويسير بسرعة كسرعتها؟ نعم إنه القطار الطافي. إن من شأن الاستفادة من ظاهرة الطفو المغناطيسي أو التعليق أن توفر قطارات معلقة في الهواء، وبالتالي فهي تسير بدون احتكاك مما يعطي توفيراً هائلاً في الطاقة من جهة ويوفر سرعات كبيرة إلى جانب التخلص من الضوضاء. ثم إن تلك القطارات سوف تكون مريحة جداً وخالية من المطبات لأنها تسير على وسادة هوائية. في اليابان تم تجريب هذه الفكرة عملياً ، حيث يرتفع القطار حوالي عشرة سنتيمترات عن المسار. والقطار يحوي المواد فائقة التوصيل في حين تتوفر المغناطيسات الكبيرة على الطريق. وفي داخل القطار يتوفر جهاز تبريد، وهذا الجهاز هو كل ما يلزم حيث يستفاد من قوة التنافر مع المغناطيسات نفسها في دفع القطار وتسييره بسرعات تزيد على ٥٠٠ كم في الساعة .

***عجلات الطاقة:**

عندما يدور قرص ضخم الكتلة حول محوره فإنه يقال إن لديه طاقة حركية، ولديه الاستعداد للتخلي عن تلك الطاقة لصالح شيء آخر متى ما لزم الأمر. لقد تمت الاستفادة من هذه الفكرة في تخزين كمية كبيرة من الطاقة في عجلات ضخمة الكتلة تدور بسرعات عالية جداً وتحفظ في داخل كبسولات خاصة، أستفيد منها ولوقت طويل في تحريك

القطـارات خاصـة. غيـر أن المشـكلة التـي كانـت تقابـل دائمـاً هـي أن الاحتكـاك الـداخلي يسـتمر فـي اسـتنزاف الطاقـة الحركيـة مـع مـرور الزمن، غير أن الاستفادة من ظاهرة الطفو المغناطيسي يجوز أن تمكنا من صنع عجلات دوارة في جو خال من الاحتكاك تماماً مما يجعلها تحتفظ بطاقتها إلى الأبد، وهكذا جميع الحركات والآلات يمكن أن تستفيد من الظاهرة في أن تكون لا احتكاكية مما يقلل الحاجة إلى كثير من الصيانة والأعطال ويجعل عمرها يتضاعف إلى عدة مرات .

• التطبيقات العسكرية:

إن قدرة الموصلات الفائقة على طرد المجالات المغناطيسية جعلت منها مرشحة لاستعمالها في الرادارات العسكرية. فمن المعلوم أن دقة الصور التي يوفرها الرادار تعتمد على قدرته على التحليل غير أن تلك القدرة تتأثر سلباً بالمجالات المغناطيسية المجاورة سواء الأرضية أو غيرها. وحتى تتصور المشكلة راقب ما يحصل لجهاز التلفاز عندما يتم تشغيل جهاز كهربائي يعتمد على التيار المتردد، إن الصورة سوف تصاب بالتشوش والسبب هو المجالات المغناطيسية المجاورة والتي أفسدت الجو على حركة الإلكترونات المهبطية التي هي المسؤولة عن الصورة. وهذا هو ما يحصل مع الرادار بالضبط غير أن الأخير أكثر حساسية بشكل كبير، وقد تم الاقتراح باستعمال الدروع المغناطيسية لحل هذه المشكلة. والدروع المشار إليها عبارة عن اسطوانات ذات مقاسات مختلفة مصنوعة من المواد فائقة التوصيل، يوضع بداخلها مصدر الإلكترونات المهبطية فيحميها من المجالات الخارجية ويجعل الصورة الرادارية غاية في الوضوح.

وأيضاً فمن التطبيقات العسكرية استخدام كاشف السكويد للكشف عن أدق الأعطال المتمثلة في الشقوق والشروخ في أجسام الطائرات العسكرية والمدنية على حد سواء، والطريقة تسمى بأسلوب الكشف غير الضار (Non Destructive Testing NDT) وللكاشف القدرة التامة للكشف عن عيوب فنية أو شروخ في داخل أجسام الطائرات ولو كانت متوغلة في عمق يزيد كثيراً عن عشرة سنتيمترات .

• **التطبيقات الطبية :**

يمكن الاستفادة من نفس الدروع التي سبقت الإشارة إليها في تطبيقات طبية كثيرة، وبصورة عامة فإنه عندما يراد دراسة الإشارات الكهربائية والمغناطيسية الصغيرة جداً المتولدة من المخ أو القلب أو الجهاز العصبي، فإنه يفضل توفير جو خالٍ من المجالات المغناطيسية الخارجية التي تكون عادة أكبر كثيراً من تلك الإشارات. وقد تم الاستفادة بنجاح في بعض المناطق كما في اليابان من خاصية الدروع المغناطيسية، مما وفر قدرات فائقة على قراءة الإشارات الصغيرة المشار إليها مما يوفر مزيداً من التشخيص لتلك الأعضاء الحساسة من جسم الكائن الحي .

إذا تمت الاستفادة من قدرة كاشف السكويد الهائلة لقراءة المجالات المغناطيسية المتناهية في الصغر مع استخدام الدروع المغناطيسية، نكون بذلك وفرنا جهازاً متكاملاً يمكن أن يحل محل الأجهزة المستخدمة حالياً ويفوقها من حيث الدقة. وقد تم بالفعل استخدام الكاشف ندما وضعت مجموعة كبيرة منها بشكل نصف كروي تغلف رأس المريض، وصل عدد السكويدات في المجوعة الواحدة إلى ٦٤ في بعض التجارب .

(9-2)فوائد الموصلات الفائقة:

الفائدة أولا من ناحية الطاقة ، ثانيا من ناحية تطبيقات عظيمة ،فإذا وصلنا إلى مادة جديدة لها خاصية الفائقية فى التوصيل الكهربي و ذلك عند درجة حرارة الغرفة ؛فنحن بذلك نوفر كثيرا من الطاقة والجهد المبذولين من أجل التبريد والانتقال بالمادة إلى هذه الحالة، بداية من خواص المادة فائقة التوصيل أنها تفقد كامل مقاومتها الداخلية للتيار الكهربي ، وعند مرور تيار كهربي بين نقطتين نحن نحتاج لوجود فرق فى الجهد ؛حتى نتغلب على مقاومة المادة الموصلة ، و حين نقول أن كامل مقاومتها الداخلية غير موجودة .ستستنتج أننا إذا قمنا بإزالة فرق

الجهد الخارجى سيستمر مرور التيار الكهربى لعشرات السنين،حيث ان فى ظاهرة ميسنر عندما تقرب مغناطيسا دائما من حلقة معدنية فى حالة التوصيل الفائق ،ستقطع المادة خطوط الفيض المغناطيسى للمغناطيس الدائم ، ويتولد بها بالحث تيار كهربائي وعند مرور هذا التيار الكهربائي فى الحلقة سيولد بدوره مجالا مغناطيسيا معاكسا للمجال المؤثر فيتنافران ؛ وبالتالى يرتفع المغناطيس ، وطالما ظلت القطعة المعدنية فى حالة التوصيل الفائق سيظل المغناطيس معلقا..متخيل؟!..الآن ماذا فعلنا نحن ؟؟نحن أنشأنا قوة جديدة لأعلى تغلبت على وزن المغناطيس الأسفل بشكل دائم ألا يمكننا أن نرفع قطارا ونتغلب على قوة الاحتكاك كما حدث فى اليابان ، لكننا بالمادة الجديدة سنوفر كثيرا من الطاقة اللازمة للتبريد، ثم ألا يمكننا أن نرفع روبوت مثلا ونجعله يسير على الماء أى أننا سنلغى قوة وزنه إلى أسفل بهذه الظاهرة، فتصبح قوة الطفو هى المسيطرة ، ثم ألا يمكنك أن ترفع الحاسوب الذى تعمل عليه الآن بدون وجود للمكتب ، ألا تتوقع أن خاصية مثل هذه لو توفرت فى درجات الحرارة العادية سوف تصبح ملهمة لاختراعات واختراقات عديدة ؟...الشىءالثانى أن المادة الفائقة التوصيل لها خواص أخرى مذهلة ،وهي قدرتها على التقاط أضعف الإشارات الكهرومغناطيسية (تستخدم فعليا فى الأقمار الصناعية) ..تخيل أننا طورنا هذه التقنية ليصبح جوالك أو مستقبل القنوات الفضائية يعمل بهذه المادة ..أما عن تأثير ارتفاع درجة الحرارة على هذه المادة فأقول بأنه من المفترض أن يُحدد المدى الطبيعى لانخفاض وارتفاع درجة الحرارة و يوضع فى الاعتبار اثناء محاولة الوصول إلى التركيب الكيميائى لهذه المادة الجديدة ، بمعنى أنها إذا وجدت هذه المادة فلن تتأثر تأثرا ملموسا حتى إذا بلغ الارتفاع فى درجة الحرارة المدى الأقصى لها ،كما أننا يمكننا ان نحمى المادة من الارتفاع الطفيف فى درجة الحراة باستخدام عوازل حرارية مناسبة ..كما أعتقد أن الفرق بين ٢٥ درجة سليزية إلى درجة تفوقها بخمس أو عشر أو عشرين درجة ليست مشكلة ..المهم أولا أن نبدأ العمل فى المنطقة الموجبة لدرجات الحرارة السليزية .

ألفصـــــل ألثالث

(ألاستنتـــاجات،التوصيـــــات)

(3-1) ألاستنتـــاجات

(3-2) ألتوصيـــــات

(3-1)ألاستنتـــاجـات:

نستنتج من ذلك ان للتوصيل الفائق اهمية بالغة وخاصة في المستقبل ان تم أدخال المواد ذات الموصلية الفائقة عند درجات الحرارة العالية في الحياة العملية بشكل واسع وكذلك عند استخدام اسلاك كهربائية من مواد ذات موصلية فائقة في التوصيل الكهربائي فأن ذلك سوف يزيد من مجالات استخدام الموصلات الفائقة.

كذلك للموصلات الفائقة فائدتين عظيمتين الاولى في مجال الطاقة والثانية في مجال التطبيقات .

وكذلك نستنتج ان المواد فائقة التوصيل، تنقسم إلى قسمين حسب درجة حرارتها:

١. المواد فائقة التوصيل منخفضة الحرارة (Low temperature superconductor) واختصارا (LTC) وتسمى أيضا المواد فائقة التوصيل التقليدية مثل الزئبق وتمتاز بانخفاض درجة حرارتها الحرجة.

٢.المواد فائقة التوصيل عالية الحرارة (High temperature superconductor) واختصارا (HTC) وتمتاز بارتفاع درجة حرارتها الحرجة.

وايضا تنقسم الى قسمين حسب مجالها الحرج وهما:

١_موصل فائق من النوع الأول (Type I): من خصائص هذا النوع أنه عندما تتجاوز قيمة المجال المسلط المجال الحرج فإن الموصل يتحول كليا إلى الحالة الاعتيادية وتصبح قيمة العزم المغناطيسي صفراً وبهذا يتمكن المجال الخارجي من اختراق الموصل بصورة كلية.

٢-موصل فائق من النوع الثاني (Type II): يتميز بوجود قيمتان للمجال الحرج، القيمة الأولى وهي أقل قيمة لنرمز لها B^1، والقيمة الثانية وهي أعلى قيمة ونرمز لها B^2. فاذا تجاوزت قيمة المجال

المسلط B^1 ولم تتجاوز B^2 سيكون الاختراق جزئي للموصل ولن يتحول الموصل إلى الحالة الاعتيادية بل سيصل إلى حالة جديدة تسمى الحالة المختلطة، أما إذا تجاوزت قيمة المجال المسلط القيمة B^2 فسيتحول الموصل إلى الحالة الاعتيادية لأن المجال سيخترقه بصورة كلية.

(3-2) التوصيـــات:

أن اهم الاستخدامات المستقبلية التي من الممكن ان تعتمد عملية التوصيل الفائق في مبدأ عملها هي:

١- صناعة قطارات تسير بسرعة هائلة على وسادة من المغناطيس.

٢-صناعة الاجهزة الالكترونية المختلفة وخاصة صناعة اجهزة حاسوب صغيرة الحجم وسريعة الاداء.

٣-صناعة اسلاك ضخمة فائقة التوصيل لأنارة المدن مثلا.

٤-عمل ملفات عملاقة لكي تخزن الطاقة الكهربائية.

٥-صناعة الاجهزة ذات التوصيل الفائق والتي تستخدم في مجال البحوث بدلا من المغانيط التقليدية.

٦-صناعة اجهزة خاصة لتوليد الطاقة الكهربائية.

ألمصـــــادر:

1- فيزياء الإلكترونيات

(محمد، وكاع فرمان) و(ألنعمة،مظفر نعمة) كلية الهندسة جامعة الموصل(٢٠٠١)

2- الإلكترونيات

الدكتور(حسين،صادق باقر)

3- فيزياء الحالة الصلبة

(الجمال،يحيى نوري)جامعة الموصل(٢٠٠٠)

4-R.A.Levy "Principle of solid State Physics",1st eds, Academic press(London) Ltd ,(1975)

5- J.S.Blakmore "Solid state Physics",2nd edn,

W.B.Sounders Co. (1974)

6- أساسيات فيزياء الجوامد

(واصف،رأفت كامل) ألقاهرة :دار النشر للجامعات (٢٠٠٨)

7- فيزياء ألحالة ألصلبة.... تأليف د.صبحي سعيد الراوي و د. شاكر جابر شاكر و د.يوسف مولود حسين :جامعة الموصل (١٩٩٨)

8- مجلة كلية التربية ألاساسية /جامعة بابل/ بحوث ألمؤتمر العلمي الرابع لكلية ألتربية الأساسية/ جامعة بابل ٢٠١١م

9- Introduction to solid state physics (Charles Kittel) University California,Berkeley