جمهوريه العراق
وزاره التعليم العالي
والبحث العلمي

جامعه القادسية
كليه العلوم
قسم الكيمياء

المواد فائقة التوصيل الكهربائي

بحث تخرج مقدم الى مجلس كليه العلوم / قسم الكيمياء

كأحد متطلبات نيل شهاه البكالوريوس في علوم الكيمياء

مقدم من قبل

محمد علي كاظم بدر

حسن خزعل عبد علي

بأشراف الأستاذ المساعد

احمد كاظم المسناوي

1437 هـ

2016م

بسم الله الرحمن الرحيم

(وقل ربي أدخلني مدخل صدق
وأخرجني مخرج صدق واجعل لي من
لدنك سلطانا نصيرا)

صدق الله العلي العظيم

سورة الاسراء -الايه -٨٠

الإهداء

إلى الينبوع الذي لا يمل العطاء إلى من حاك سعادتي بخيوط منسوجة من قلبه .

والدي العزيز

إلى القلب الناصع بالبياض رمز الحب وبلسم الشفاء إلى من أرضعتني الحب والحنان .

والدتي الحبيبة

إلى من هم ملاذي إذ جار الزمان .

أخواني وأخواتي

إلى من هم عونني في وقت الضيق ومن إعطاني النصح السديد .

أصدقائي

واهدي ثمره جهدي إلى من بعثوا في العلم والمعرفة .

أساتذتي

شكر وتقدير

أتقدم بخالص شكري واعتزازي الى جميع أساتذتي واخص بالذكر الأستاذ

المشرف الأستاذ المساعد احمد كاظم الحسناوي لجهوده القيمة في إعداد البحث

بالشكل الأمثل وكذلك اشكر قسم الكيمياء المتمثل برئيسها أ.م.د. فائق فتح الله كريم

واشكر عماده كليه العلوم المتمثلة بعميدها أ.م.د. عبد الأمير سمير لما بذلوه من جهد

صادق طوال سنين دراستي وفقهم الله لكل خير

الموضوع	رقم الصفحة
مقدمه عامه	١
مواد فائقة التوصيل	٣
خصائص مواد فائقة التوصيل	٣
أولا/ظاهره الموصلية الفائقة	٣
شكل (١)سلوك المقاومة الكهربية مع درجه الحرارة للزئبق فائق التوصيل	٥
ثانيا/ ظاهره التكميم المغناطيسي	٦
شكل (٢)سلوك المجال المغناطيسي للمواد في الحالة العادية والحالة الفائقة	٨
ثالثا / ظاهره الطفو	٨
شكل (٣) ظاهره الطفو للمواد فائقة التوصيل	٩
رابعا / طاقه الفجوة	٩
شكل (٤) شريط التوصيل للحالة العادية وطاقه الفجوة للحالة الفائقة	٩
خامسا / أزواج كوبر	١٠
سادسا/ المواد الفائقة ذو الحرارة العالية	١١
جدول (١) انظمه المواد فائقة التوصيل ذو الحرارة العالية	١٢
بعض المواد فائقة التوصيل	١٣
سابعا / تطبيقات المواد فائقة التوصيل	١٣
١-جهاز سكويد	١٣
٢-أجهزه الميكروويف	١٤
٣- كبلات ألقدره	١٤
٤- المغناطيس الفائق	١٥
٥-أجهزه الرادار	١٥
٦- القطار الفائق	١٥
٧- التطبيقات العسكرية	١٦
ثامنا / تطلعات ومعوقات المواد الفائقة	١٦
المراجع	١٨

مقدمة عامة:

تقسم المواد من حيث قدرتها على توصيل الكهرباء إلى عوازل (Insulators)) مثل الخشب ، و أنصاف الموصلات(Semiconductors) مثل السيليكون ، وموصلات (Conductors) مثل النحاس ، ولكن هناك نوع آخر أو هومايعرف باسم الموصلات فائقة التوصيل (Superconductors)

والموصلات فائقة التوصيل سميت هكذا نظر الأنها عند درجة حرارة معينة (منخفضة نسبيا) تصبح مقاومتها للكهرباء مساوية للصفر ،و تصبح قدرتها على التوصيل فائقة جداً ،حيث أنه إذا ما وجد تيار كهربى فحلقة متصلة من هذه المادة فإنه سوف يسرى داخل الحلقة بدون وجود مصدر للجهد الكهربى .

إن ظاهرة التوصيلية الفائقة مثيرة من جميع جوانبها سواء ما يتعلق بدراستها أو ما يتعلق بتطبيقاتها . فسلوكها الكهربي) عدم المقاومة للتيار (وسلوكها المغناطيسي) رفض المجال المغناطيسي (وهما السمتان البارزتان لها؛ جعلا منها مواد ذات تطبيقات غير محصورة .فمن المعلوم أن مقاومة التيار الكهربي 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 أنه ربما توجد مقاومة في حدود شكل .1 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.

في عام 1908 م نجح العالم الهولندي الشهير هيك كامرلين أونيس في ضغط ثم إسالة غاز الهليوم الذي يتحول من الحالة الغازية إلى السائلة عند درجة 4.2 كالفن 268-) درجة مئوية (وبعدها بثلاث سنوات وأثناء دراساته على مقاومية بعض العناصر، لاحظ انعدام المقاومة لمادة الزئبق النقي عندما تقترب درجة حرارته من الصفر المطلق. وقد استحق هذا العالم جائزة نوبل في الفيزياء بسبب هذين الاكتشافين .واصطلح بعد ذلك على تسمية درجة الحرارة التي تفقد المادة عندها مقاومتها وتتحول من مادة عادية إلى موصل فائق بدرجة حرارة التحول (Critical Temperature)، أو اختصاراً بدرجة التحول ويرمز لها

بالرمز . TC وأطلق على تلك المواد بالمواد فائقة التوصيل .وبعد هذا الاكتشاف استمر العلماء بالبحث عن مواد ذات درجات تحول أعلى .غير أن هذا البحث استمر لفترة طويلة دون كسر حاجز العشر درجات كالفن حتى اكتشف مركب النايوبيوم NbN في أول الأربعينيات حيث وصلت درجة التحول إلى حوالي 15 درجة كالفن واستمرت كذلك ولمدة ثلاثين سنة وبالتحديد حتى عام 1973 حيث أضيف مركب جديد ذو درجة تحول تصل إلى 23 كالفن .والمركب المقصود هو.Nb3Ge .

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 1986 بنشر تقرير حول نجاحهما في تحضير مركب سيراميكي هو La-Ba-Cu-O درجة تحوله في حدود 30 كالفن تم تحضيره في معامل شركة IBMفي 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 بعنصر اليتريوم للحصول على السيراميك Y-Ba-Cu-O والذي فاقت حرارة تحوله ولأول مرة في التاريخ درجة الغليان لغاز النيتروجين والبالغة 77 كالفن .لقد وصلت حرارة التحول إلى أكثر من 90 كالفن لذلك المركب الذي اكتشف في يناير من عام 1987 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 110 درجات كالفن وبعده بقليل اكتشف مركب الثاليوم Tl-Ba-Ca-Cu-O والذي يفقد مقاومته الكهربائية نهائياً عند 125 كالفن 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 1993 عندما أضيف مركب الزئبق-Hg-Ba-Ca : Cu-Oوالذي يتحول عند 135 درجة كالفن ولم تتم أية إضافة تذكر حتى يومنا هذا .و قد يصح لي أن أقول :إننا بدأنا بالزئبق وانتهينا به !والحق أن درجة الحرارة التحولية وصلت إلى 160 كالفن لبعض المركبات والتي منها مركبات الزئبق خاصة، غير أنه هذا عندما يتم تسليط ضغوط عالية جداً .

وباكتشاف المركبات التي تفوق حرارتها 77 درجة كالفن وهي درجة غليان النيتروجين؛ دخلنا عصراً جديداً من الموصلات وهو ما اصطلح على تسميته بالموصلات فائقة التوصيل عاليةالحرارة

High Temperature Superconductors واختصاراً بـ HTS في حين حملت الفئات السابقة لذلك التاريخ .

اسم :الموصلات فائقة التوصيل التقليدية Low Temperature Superconductors واختصاراً بـ LTS : إن لاكتشاف الموصلات الجديدة أهمية خاصة حيث أن 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 1987 عندما صار الحلم أقرب ما يكون إلى الحقيقة.

المواد فائقة التوصيل :

خصائص هذه المواد:-

عند درجة حرارة معينة تعرف بدرجة حرارة التحول تصبح مقاومتة هذه الموادللتيار الكهربى مساوية للصفر .اكتشف كذلك أن هذه المواد عند درجة حرارة التحول حساسة جداً للمجال المغناطيسى، حيث تنفر المجال المغناطسيى الخارجى أى أنها تعكس المجال المغناطيسى مهما ضعفت شدته .هاتان الخاصيتان فتحت الأبواب أمام العلماء لاستغلالها فى ابتكارات واختراعات ذات كفاءة عالية تدخل فى معظم مجالات العلوموالتكنولوجيا، حيث أن هذه المواد (Superconductors) سوف تحل محل أنصاف الموصلات (Semiconductors)التى تدخل الأن فى صناعة الترانسيستور و الدوائر الالكترونيةالمتكاملة .

أولا - ظاهرة الموصلية الفائقة : Phenomena of superconductivity

من المعلوم أن المقاومة الكهربية للجوامد تنشأ أثر حيود البلورات الحقيقية عن سلوك الشبيكة البلورية المثالية للمواد والتي تساعد علي تشتت الإلكترونات أثناء عملية التوصيل الكهربي مما يؤدي إلي فقد جزء كبير من الطاقة الكهربية علي شكل حرارة . ولذلك فقد كان الاعتقاد السائد هو استحالة انعدام المقاومة الكهربية (الموصلية الكهربية تساوي مالا نهائية) لتلك البلورات مع انخفاض درجة الحرارة حتى عند الصفر المطلق نظرا لعدم إمكانية تحضير بلورات مثالية تكون خالية تماما من العيوب البلورية

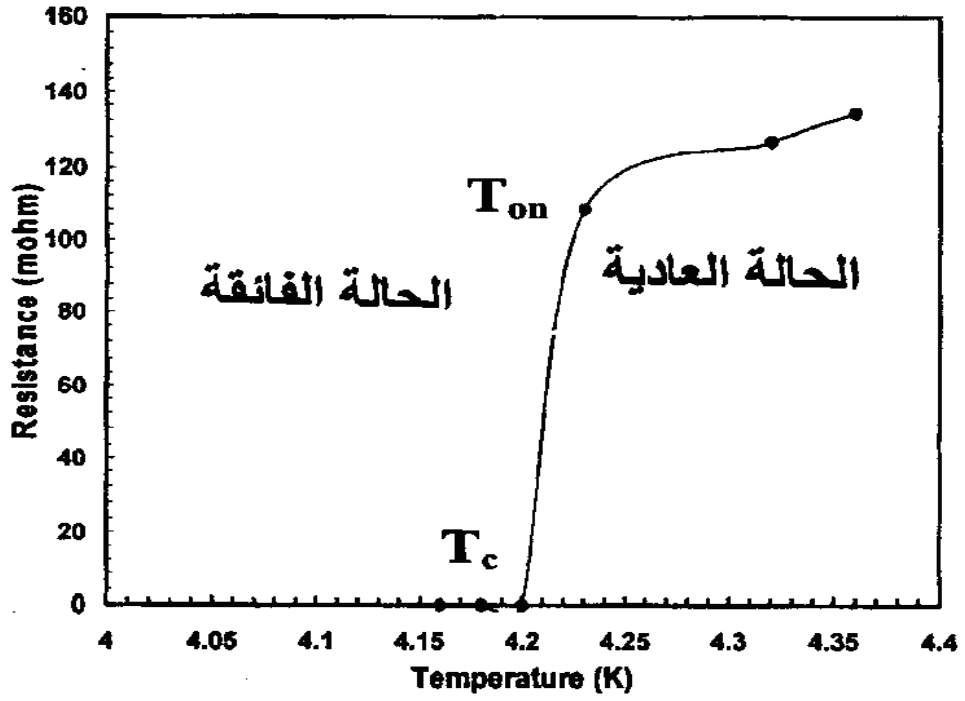
. علاوة علي ذلك فإن تشتت الإلكترونات علي بعضها البعض ينشىء هو الآخر قدراً ملموسا من المقاومة الكهربية حتى في إهمال تشتت الإلكترونات علي الفونونات وعيوب الشبيكة البلورية . الجدير بالذكر أن المقاومة الكهربية للمواد وحتى نهاية القرن الثامن عشر كانت تقاس حتى درجات حرارة منخفضة والتي كانت درجة حرارة النتروجين السائل 77 درجة مطلقة (أي ما يعادل 196 درجة تحت الصفر المئوي) . لكن مع بداية القرن التاسع عشر تمكن الباحثين من الحصول علي الهليوم السائل والذي وصلت درجة حرارته إلي 4.2 درجة مطلقة (أي ما يعادل 268.8 درجة تحت الصفر المئوي) . وبالتالي تمكن الباحثين من قياس المقاومة الكهربية للمواد عند درجات حرارة منخفضة حتى هذه الدرجة .

في عام 1911 بينما كان العالم الهولندي هيك كامرلين أونيس [1] يقوم بقياس المقاومة الكهربية للزئبق النقي عند درجة حرارة الهليوم السائل وجد أن المقاومة الكهربية للزئبق تنهار وتؤول إلى أقل من 0.00001 أوم (الصفر تقريبا) كما يتضح في شكل (١) . ولذا أطلق أونيس علي هذه الظاهرة بالموصلية الفائقة لأن التوصيل الكهربي يصل للما لانهاية عند هذه الدرجة . كما أطلق علي درجة الحرارة التي تتحول عندها المادة من الحالة العادية إلي الحالة الفائقة بدرجة الحرارة الحرجة T_c . بينما درجة الحرارة التي تبدأ عندها المقاومة الكهربية في الانخفاض المفاجئ سميت بدرجة حرارة التحول T_{on} كما يعرف الفرق بين درجة الحرارة الحرجة ودرجة حرارة البداية بعرض الانتقال .

العالم الهولندي أونيس

أما سلوك المقاومة الكهربية خلال المنطقة من 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 .

وبالطبع كان أونيس أول عالم أكتشف هذه الظاهرة وقد حصل علي جائزة نوبل عن استحقاق لهذا الإنجاز العظيم في عام 1913 .



شكل (١) : سلوك المقاومة الكهربية مع درجة الحرارة للزئبق فائق التوصيل

علي الجانب الأخر فإنه في عام 1933 وجد العالمان الألمان ميز نر و أوشنفيلد [2] أن المواد فائقة التوصيل تطرد المجال المغناطيسي المطبق عليها إلي الخارج و ذلك عند تبريدها حتى درجة الحرارة الحرجة وفي وجود المجال المغناطيسي كما يتضح في شكل (٢) . ونظراً لحدوث هذه الظاهرة فقد صنف ميزنر وأوشنفيلد المواد الفائقة علي أنها من عائلة المواد الدايامغناطيسية . ويختلف هذا السلوك تماما مع ما يحدث في الموصلات حيث تنشأ تيارات تأثيرية عند وضعها في المجال المغناطيسي ولكن سرعان ما يزول هذا التيار أثر المقاومة الكهربية للمادة ويستطيع المجال اختراق المادة . لكن في المواد فائقة التوصيل فإن هذه التيارات التأثيرية تكون دائمة ولا تنعدم نظرا لانعدام المقاومة الكهربية لتلك المواد مما يساعد في إنتاج عزوم مغناطيسية تعاكس المجال المغناطيسي الخارجي فتمنعه من اختراقها . وقد سميت هذه الظاهرة بتأثير ميزنر نسبة إلى العالم ميزنر . هذا وقد وجد أن القابلية المغناطيسية للمادة الفائقة تساوي سالب الواحد الصحيح مما يؤكد على أن المادة الفائقة تولد عزم مغناطيسي مضاد ومساو للمجال المغناطيسي الخارجي وبالتالي لا يستطيع المجال اختراقها كما هو الحال في المواد الدايامغناطيسية .

العالم الألماني ميزنر

ثانيا :ظاهرة التكميم المغناطيسي:

كما سبق فإن المواد الفائقة مثيرة في كل جوانبها .من تلك الأمور المثيرة هي ظاهرة التكميم المغناطيسي . وفكرة الظاهرة أنه إذا تم صنع موصل فائق على صورة حلقة) مهما كانت متناهية الصغر (فإن مقدار

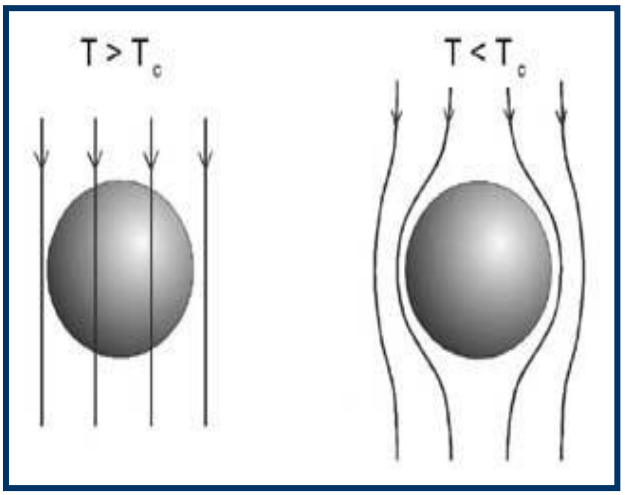
المجال المغناطيسي الذي يمر من خلال تلك الحلقة يجب أن يكون مساوياً تماماً لعدد صحيح من الكمات

المغناطيسية يطلق على كل منها الرمز fo ويبلغ مقدار الكمة الواحدة :وتسمى أيضاً بالفلاكسويد ومعنى التكميم أنه لو تعرض الموصل إلى مجال يزيد قليلاً عن عدد صحيح من الكمات) بزيادة أقل من نصف كمة (؛ فإن الزيادة ترفض ولا تمر من خلاله، في حين أنه لو تعرض لمجال يقل قليلاً عن عدد صحيح من الكمات بمقدار ضئيل) أقل من نصف كمة (فإنه يتكيف بحيث يكمل النقص من تلقاء نفسه !من أجل أن يحافظ على العدد الصحيح من الكمات .أي لو مر مجال يساوي إلى مائة كمة مضافاً إليها ربع كمة فإن ذلك الربع يرفض ولا يمر من خلاله في حين لو كان بدل الربع نصف أو أكثر ولكن أقل من واحد صحيح؛ فإن الموصل يكمله إلى واحد صحيح !وهذا بالضرورة يقتضي أن التيار الذي يلف يزيد وينقص بمقدار ضئيل متجاوباً مع المجال الخارجي.

لقد تبين أن هذه الظاهرة ذات أهمية بالغة جداً .فهي مبدأ ما صار يعرف بمجس السكويد Superconducting Quantum Interference Device (SQUID) .إن السكويد) بسكون السين (عبارة عن جهاز حساس جداً للمجالات المغناطيسية وبإمكانه أن يميز التغير في المجال المغناطيسي إذا زاد عن أي بحساسية تفوق ، بمعنى آخر يستطيع قياس مجال شدته تصل إلى والتي تساوي واحد من مليون من وحدة التكميم المغناطيسي نفسها .وهي حساسية مفرطة أكبر بكثير من الإشارات الصادرة عن المخ أو القلب أو سائر الجهاز العصبي في الكائن الحي.

ومجس السكويد ينقسم إلى نوعين أساسيين حيث يعتمد الأول منهما على التيار المستمر dc-SQUIDفي حين يعتمد الآخر على التيار ذي التردد الراديوي . rf-SQUID وفي حين ينتشر استخدام الأول على نطاق واسع بصور أفلام رقيقة من المادة الفائقة يوضع بينها مواد عازلة من أجل توفير التملص الإلكتروني فإن

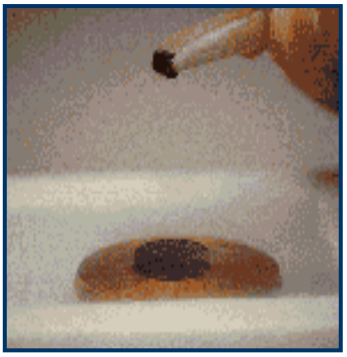
النوع الثاني يعمل أيضاً من الأفلام الرقيقة أو بالاعتماد على فكرة عمل خرق أو أكثر في مادة موصلة فائقة تعمل على صورة قرص مثل حبة الأسبرين .وقد وجد أنه كلما زاد عدد الخروم زادت الحساسية تبعاً لذلك . ووجود خرم واحد يعني قياس المجال المغناطيسي مباشرة في حين أن وجود أكثر من خرم يعني قياس التغير التدرج في المجال المغناطيسي .والفكرة الأخيرة جعلت من المجس أهمية تطبيقية عالية، فهو لا يقيس المجال العام المتوافر، بل يقيس التغير مهما كان صغيراً .والأجهزة المعتمدة على مجس السكويد صارت متوفرة تجارياً وبأسعار منافسة ويقدمها عدد من الشركات العالمية.



شكل (٢) : سلوك المجال المغناطيسي للمواد في الحالة العادية والحالة الفائقة

ثالثا- ظاهرة الطفو : Floating phenomena

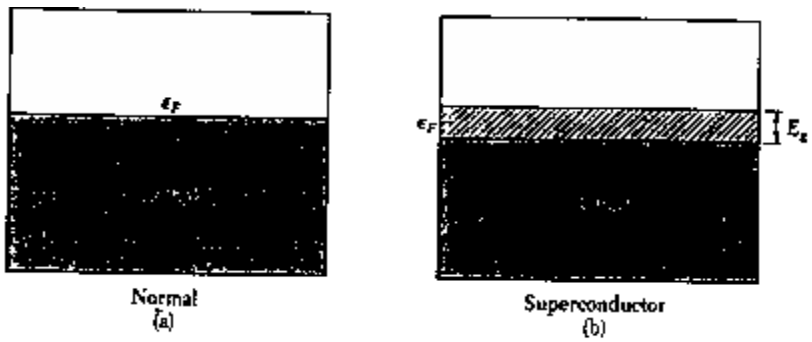
من المعلوم أن الموصل الفائق هو موصل تام التوصيل و تنعدم مقاومته الكهربية عند درجة الحرارة الحرجة. ولذا فإننا إذا أدخلنا تياراً كهربياً في حلقة من سلك فائق التوصيل فإن هذا التيار سوف يستمر في السريان إلى ما شاء الله طالما أن السلك يظل محتفظاً بموصلتيه الفائقة. في احدي التجارب استمر سريان التيار بدون انقطاع في حلقة من سلك فائق التوصيل لمدة عامين ونصف دون أي نقص في شدته و دون تغذية الحلقة بأي مصدر كهربي خارجي [3] . و لقد تم تسمية التيارات التي لا تجد أية مقاومة لسريانه في موصل فائق بالتيارات الدائمة والتي تحدث عند مجالات مغناطيسية متغيرة مما ينشأ ظاهرة الطفو المثيرة الموضحة بالشكل (٣) . عند وضع مغناطيس صغير فوق موصل فائق فإن المجال المغناطيسي علي سطح الموصل الفائق يسبب تيارات دائمة تُنشئ قوي تنافر مع المغناطيس بحيث تقوي وتشتد كثيراً باقتراب المغناطيس من الموصل الفائق حتى يتم رفع المغناطيس في الهواء فيظهر وكأنه عائم في الهواء .



شكل (٣) : ظاهرة الطفو في المواد فائقة التوصيل

رابعا - طاقة الفجوة : Energy gap

في الموصلات تنعدم تقريبا طاقة الفجوة ويكون شريط التكافؤ ملاصق لشريط التوصيل . ولقد كان المعتقد عدم وجود طاقة فجوة في المواد فائقة التوصيل كما هو الحال في الموصلات . ولكن تبين العكس ووجد أن هناك طاقة فجوة تنشأ من خلال التفاعل بين الإلكترونات [4,5] لتكوين ما يسمي بأزواج كوبر مما يتسبب في وضع الإلكترون في مستوي فارغ بالنسبة لموضعه في مستوي فيرمي للغازات كما يتضح في شكل (٤) .



شكل (٤) : شريط التوصيل للحالة العادية و طاقة الفجوة للحالة الفائقة

خامسا - أزواج كوبر : Cooper Pair

في 1957 حدث تقدم ملحوظ في علم الموصلية الفائقة بواسطة الفيزيائيين الأمريكان Bardeen, [6] Cooper and Schrieffer Theory (BCS) . هؤلاء العلماء الثلاثة أرسوا نظرية BCS للموصلية الفائقة للمواد عند درجات الحرارة القريبة من الصفر المطلق . لقد وجدت النظرية حلاً يفسر ميكانيكية التوصيل الكهربي في المواد الفائقة والتي تبنى على فكرة أزواج كوبر نسبة إلى العالم كوبر أحد مؤسسي النظرية .

باردين- كوبر- شريفر

لقد أشارت النظرية إلي أن هناك قوي ترابط تنشأ بين الإلكترونات في المواد فائقة التوصيل بخلاف ما تمليه النظرية الكلاسيكية من وجود قوي التنافر لكولوم بين الإلكترونات سالبة الشحنة بحيث يحدث تجاذب بين الإلكترون ونظيره لتكوين ما يسمي بأزواج كوبر . هذه العملية تحدث نتيجة تفاعل الإلكترون مع الشبيكة البلورية والتي تعمل علي جعل أحد الإلكترونات كما لو كان محاط بحاجز من الشحنات الموجبة بحيث تكون أكبر بكثير من الشحنات السالبة التي يمتلكها الإلكترون الثاني . وبذلك تطغي قوي التجاذب علي قوي التنافر مما يؤدي إلي تقارب الإلكترونين من بعضهما مكونين أزواج كوبر .

سادسا- المواد الفائقة ذو الحرارة العالية : High T_c superconductors

أهمية خاصة للموصلات الفائقة عالية الحرارة:

1- أنها سهلة التحضير ويستطيع جميع المهتمين بالحصول عليها بيسر.

2- أنها رخيصة الثمن حيث أن أكبر مكوناتها هو النحاس والباريوم والكالسيوم وهي رخيصة ومتوفرة.

3- أنها تتحول فوق درجة غليان النيتروجين وهو رخيص الثمن ومتوفر في كل مكان وسهل النقل والحمل ويبقى لفترات طويلة مقارنة بسلفه الهليوم المسال.

4- أن الفرق بين درجات تحولها ودرجة الوسيط المبرد) النيتروجين (كبير) في حالة مركبات الزئبق تفوق الخمسين درجة (مما يجعلها أكثر استقراراً حيث أن ذلك الاستقرار يزيد بتزايد الفرق بين درجة حرارة العمل ودرجة حرارة التحول.

جدول (١) يوضح أهم أنظمة المواد فائقة التوصيل التي تم التوصل إليها منذ اكتشافها حتى الآن وكذلك درجة الحرارة الحرجة لكل نظام

جدول (١) : أنظمة المواد فائقة التوصيل ذو الحرارة العالية

الدرجة الحرجة بالكلفن	النظام	أسم المكتشف	سنة الاكتشاف
35	$La_{2-x}Ba_xCuO_4$	Bednorz and Muller [7]	1986
38	$La_{2-x}Sr_xCuO_4$ (La: 214)	M.Tarascon et.al. [8]	1987
90	$YBa_2Cu_3O_7$ (Y: 123)	M.K.Wu et.al. [9]	1987
110	$Bi_2Sr_2Ca_2Cu_3O_{10}$ (Bi: 2223)	M.Maeda et.al. [10]	1988
127	$TI_2Ba_2Ca_2Cu_3O_8$ (TI: 2223)	Z.Z. Sheng et.al. [11]	1989
134	$HgBa_2Ca_2Cu_3O_8$ (Hg: 1223)	A. Shilling et.al. [12]	1993
164	(Hg:1223) under pressure	B.A. Hunter et.al. [13]	1994
39	$Mg\ B_2$	J.Akimitsu et.al. [14]	2001

بعض المواد ألاخرى تتمتع بتلك الخاصية مثل :

١-الألومنيوم AL والدرجة الحرجة =1.2K

٢-أنديوم والدرجة الحرجة =3,4

٣-الرصاص والدرجة الحرجة =7,19

٤-الزئبق والدرجة الحرجة =4.15

٥-نيوبيوم والدرجة الحرجة =9.26

٦-أوزميوم والدرجةالحرجة= 0.66

٧-قصدير والدرجة الحرجة =3.72

٨-تنجستون والدرجة الحرجة= 0.012

٩-فنديوم والدرجة الحرجة =5.3

١٠-زنك والدرجة الحرجة= 0.87

وبالإضافة إلى ذلك فقد وجد أن بعض السبائك والمركبات السيراميكية تظهر موصلية فائقة عند درجاتحرارة أعلى بكثير من تلك التى تظهر عندها فى الفلزات النقية .

سابعا- تطبيقات المواد فائقة التوصيل : Superconducting application

للمواد فائقة التوصيل تطبيقات عديدة سوف نذكر البعض منها كالتالي :

١- جهاز سكويد :

يتركب جهاز سكويد لقياس شدة التمغنط من حلقة من الموصل الفائق مكونة من وصلتين من المواد فائقة التوصيل تسمي وصلات جوزيف صن . يتمكن جهاز سكويد من رصد التغير في الفيض المغناطيسي في ضوء الجهد المتردد الناتج أثر التغير في الطور بين أزواج كوبر عبر الوصلتين . ويتميز جهاز سكويد بحساسية عالية جدا لقياس الفيض المغناطيسي تصل إلى حوالي 10^{-14} تسلا . هذه المجالات

تعتبر أقل من المجال المغناطيسي للأرض بمقدار 10^{11} مرة علي الأقل . وبالتالي فقد أستطاع الباحثين من استخدام جهاز سكويد في رصد المجالات المغناطيسية الناتجة عن أعضاء جسم الإنسان مثل القلب والمخ والجهاز العصبي والتي كان من الصعب رصدها بالأجهزة المعتادة حيث أنها كانت تتطلب حساسية عالية جدا في القياس نظرا لأن المجال المغناطيسي الناتج عن هذه الأعضاء يكون محدود جدا ويحتاج لدقة وحساسية عالية في القياس . على سبيل المثال المجال المغناطيسي للقلب يكون في حدود 10^{-10} تسلا و عن المخ يكون في حدود 10^{-13} تسلا [15] .

٢- أجهزة الميكروويف Microwaves :

تتميز المواد الفائقة بصغر قيم المقاومة الكهربية عند درجات حرارة الغرفة . من المعلوم أيضا أنة يحدث فقد في شدة الميكروويف بالقرب من سطوح المواد نظرا للمقاومة الكهربية والتي تضعف من شدة الميكروويف بالقرب من سطوح تلك المواد . بمقارنة المقاومة النوعية للمواد الفائقة مع نظيرتها في المعادن عند الترددات العالية للميكروويف وجد أن مقاومة المواد الفائقة تكون أقل بكثير من المعادن مثل النحاس . وبالتالي فإنه يمكن طلاء أسطح أجهزة الميكروويف بمواد فائقة التوصيل لتلاشي الفقد في شدة الميكروويف عند الترددات العالية [16].

٣- كابلات القدرة : Power cables

لقد وجد أن المواد الفائقة تتحمل تيارات كهربية عالية مما أدي إلي تصنيع كابلات من المواد الفائقة بحيث تتمكن هذه الكابلات من حمل تيارات كهربية تصل إلي خمسة أضعاف ما يتحمله كابل من النحاس بنفس الأبعاد والمواصفات . وبالتالي تتمكن هذه الكابلات من نقل الطاقة من مكان لأخر بدون أي فقد يذكر مما سوف يساهم في نقل خطوط الطاقة بين الدول المختلفة إذا ما توفر الدعم اللازم لذلك .

٤- المغناطيس الفائق :Superconducting magnets

تستخدم المواد فائقة التوصيل في تصميم المغناطيس الفائق بحيث يتم تبريد المغناطيس الفائق في الهليوم السائل بحيث تكون المقاومة الكهربية للملفات مساوية للصفر مما يجعل الطاقة المفقودة مساوية للصفر حتى عن تسخين الأسلاك . ومن هنا فإن مصدر تيار منخفض يكون مناسب لمرور التيار بشرط المحافظة على درجة حرارة الهليوم السائل . وبالتالي فإنه يمكن الحصول علي مجالات مغناطيسية تفوق المغناطيس المصنوع من الموصلات بعشرات المرات [17].

٥- أجهزة الرادار : Radar apparatus

لتصور هذه المشكلة يمكنك مراقبة ما يحدث لجهاز التلفاز عندما يتم تشغيل جهاز كهربائي بالقرب منة . إن الصورة سوف تصاب بالتشويش نتيجة المجالات المغناطيسية المجاورة والتي تؤثر على حركة الإلكترونات المسئولة عن تكوين الصورة . وهذا بالفعل ما يحدث مع أجهزة الرادار بالضبط ولكنها تكون أكثر حساسية حيث تتأثر بالمجالات الخارجية . وللتغلب علي ذلك تم استعمال الدروع المغناطيسية والتي هي عبارة عن اسطوانات ذات مقاسات مختلفة مصنوعة من المواد الفائقة يوضع بداخلها مصدر الإلكترونات فيحميها من المجالات الخارجية ويجعل صورة الرادار غاية في الوضوح .

٦- القطار الفائق : Superconducting train

بنيت فكرة تصميم هذه القطارات علي ظاهرة الطرد المغناطيسي بحيث تطفو أو تعوم عجلات القطارات المصنوعة من المواد فائقة التوصيل علي مغناطيس فائق شديد . وبالتالي ينعدم الاحتكاك بين عجلات القطارات والقضبان مما يساعد في زيادة سرعة القطارات ولذا سميت بالقطارات العائمة أو الفائقة . وقد كان الاختبار الحقيقي عام 1986 حيث تم اختبار قطار فائق مكون من ثلاث عربات حيث وصلت سرعته إلي (Km/h) 352.4 . ولقد تم البدء في تنفيذ ذلك تجاريا عام 1990 في مشروع قومي مدعم في اليابان أطلقوا علية Maglev . ولقد تمكنت وزارة النقل من تبني الفكرة وتم افتتاح أول خط سكة حديد من المواد الفائقة واختبارها في إبريل 1997 . في نفس العام ديسمبر 1997 تم تنفيذ عجلات

قطار من المغناطيس الفائق أطلقوا عليها MLX01 حيث يتكون القطار من ثلاث عربات سجلت سرعة قدرها (Km/h) 531 . وفي شهر مارس من عام 1999 تم تصنيع قطار فائق مكون من خمس عربات حيث وصلت سرعته (Km/h) 548 وفي ديسمبر 2003 وصلت سرعة القطار الفائق إلي 581 (Km/h) . في سول بكوريا الجنوبية هناك قطار فائق سرعته (Km/h) 300 وسوف تصل سرعته في 2008 إلي (Km/h) 412 . هذا القطار طوله 388 m ووزنه 771 طن ويحتوي علي 18 عربة ويسع 935 راكب [18] .

٧-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 خال 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 عندما وضعت مجوعة كبيرة منها بشكل نصف كروي تغلف رأس المريض .وصل عددها السكويدات في المجوعة الواحدة إلى 64 في بعض التجارب.

ثامنا- تطلعات ومعوقات المواد الفائقة :

بالرغم من هذا النجاح الباهر في مجال الموصلية الفائقة إلاّ أنه ما زالت هناك مشكلات عديدة تتعلق بالمواد الفائقة مثل صعوبة تشكيل هذه المواد في صورة أسلاك أو دوائر كهربية بحيث يمكنها حمل تيارات كهربية عالية غير مسموح بها في الموصلات العادية . ولذا فإن البحث جاري على قدم وساق للحصول علي مواد فائقة عند درجة حرارة الغرفة وفي الوقت ذاته تكون قابلة للتشكل بحيث يمكن بناء

أجهزة تدخل في تصميمها دوائر كهربية من المواد الفائقة دون خشية الآثار السلبية المترتبة عن ارتفاع درجة الحرارة أو غير ذلك من آثار تزول بفعل استخدام هذه المواد . إضافة إلي ذلك فإنها سوف تساهم في توليد مجالات مغناطيسية قوية جدا تكون قادرة علي احتواء بلازما الاندماج النووي ذو الحرارة العالية والتي من الصعب حتى الآن إيجاد مواد تتحمل هذه الحرارة العالية . علي الجانب الأخر فإنه يمكن توظيف هذه المجالات المغناطيسية في تطوير أجهزة التشخيص الطبي بالرنين النووي المغناطيسي والتي تمكننا من الحصول علي صور تشريحية مفصلة ودقيقة لأي عضو من أعضاء جسم الإنسان . علاوة علي ذلك فإنه يمكن استخدامها في تطوير وسائل النقل مثل بناء القطارات العائمة بدون تكاليف باهظة مثلما يحدث الآن . بالفعل سوف يكون حدث علمي غير مسبوق ويفوق الوصف والخيال .

إن التقدم يجري ببطء ولكن تتحقق نسبة من النجاح كل فترة إلاَّ أن غاية الطموح المتمثلة في الحصول علي تركيبية تتحقق فيها الموصلية الفائقة عند درجة حرارة الغرفة لم تتحقق بعد . لكن عندما يتحقق هذا الهدف سوف تدخل الصناعة المعاصرة ثورة تكنولوجية جديدة لم يشهدها التاريخ من قبل وتكون الموصلية الفائقة يوم ذاك هي العمود الفقري للتكنولوجيا الجديدة في جميع المجالات . ولكن المطلوب الآن هو توفير الوسائل الضرورية التي تمكن الباحثين من تصنيع هذه المواد وتشكيلها بالكيفية المطلوبة فقد تكون تلك المواد في صورة أسلاك أو كابلات وقد تدخل في تركيب الشرائح الإلكترونية وقد تكون جزءاً رئيسياً من أجزاء محرك الطائرة وغير ذلك .

والله الموفق والمعين

المراجع : References

1-الخصائص الكهربائية والمغناطيسية في الفيزياء

المؤلف :مصطفى نمر دعبس

الناشر :دار غيداء للنشر

رقم تسلسلي عالمي :2005-111-044

2- H.Kamerlingh Onnes, Leiden comm. 119b, 120b, 124c (1911).

3- W. Meissner and R. Ochsenfeld, Naturwissenchaften, 21, 787 (1933).

4- A.Bourdillon and N.X. Tan Bourdillon, High Temperature Superconductors, New York (1994).

5- Charles Kittel, Introduction to Solid state Physics, Jokn Wiley & Sons, Inc. (1986).

6- M.F. Crommie, L.C. Bourne, A.Zetti and A.Stacy, Phys. Rev. B 35, 8853 (1987).

7- J. Bardeen, L.N. Cooper and J. R. Schrieffer, Phys. Rev. 106, 162 (1957); 108,1175 (1957).

8- J.G. Bendnortz and K.A. Muller, Z.Phys. B 64, 189 (1987).

9- J.M. Tarascon, L.H. Greene, W.R. Mckinnon, G.W. Hull and T.H. Geballe, Science 235, 1373 (1987).

10- M.K. Wu, J.R. Ashburn, C.J. Torny, F.H. Hor, R.L. Meng, L. Gao,Z. J. Huang, Y.Q. Wang and C.W. Chu, Phys.Rev. Lett. 58, 908 (1987).

11- H.Maeda, Y. Tanaka, M. Fukutomi and T. Asano, JPN.J. Appl. Phys. 27, L209 (1988).

12- Z.Z. Sheng and A.M. Hermann, Nature 332, 138 (1988).

13- A.Shilling, M.Cantoni, J.D. Guo and H.R. Ott, Nature 363, 56 (1993); S.N. Putiling , E.V. Antipov, Chmaissen and M. Marezio, Nature 362, 226 (1993).

14- B.A. Hunter, J.D. Jorgensen, J.L. Wanger, R.L. Hitterman and R.B. Von Dreele, Physica C 221, 1 (1994).

15- J. Nagamatsu, N. Nakagawa, T. Muranaka, Y. Zenitani and J. Akimitsu, Nature 410, 63 (2001).