جمهوريه العراق
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
جـــــامعـــــة بـــابـــــل
كلـــــية التـــــربـــية
قســـم الفيـــزياء

المواد فائقة التوصيل وتطبيقاتها

بحث مقدم الى مجلس كليه التربية للعلوم الصرفة / قسم الفيزياء

كأحد متطلبات نيل شهاه البكالوريوس

مقدم من قبل الطالبة (كوثر علي خشف)

بأشراف أ.م.د(صبا رزاق سلمان)

١٤٤٤ ٥ ٢٠٢٣م

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

(يَرْفَعِ اللَّهُ الَّذِينَ آمَنُوا مِنْكُمْ وَالَّذِينَ أُوتُوا الْعِلْمَ دَرَجَاتٍ وَاللَّهُ بِمَا تَعْمَلُونَ خَبِيرٌ) .

صدق الله العلي العظيم

سورة المجادلة، آية: ١١.

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 عوني 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 الأستاذة صبا رزاق سلمان لجهودها القيمة في إعداد البحث بالشكل الأمثل وكذلك اشكر مقرر قسم الفيزياء المتمثل بالسيد أ.م.د. علي عبيس محسن وفقهم الله لكل خير

المحتويات

الموضوع	رقم الصفحة
الفصل الاول	١
مقدمه عامه	٢
ظاهره الوصلية الفائقة	٥
ظاهره الطفو	٨
ازدواج كوبر	٩
خصائص مواد فائقة التوصيل	١٠
الفصل الثاني	١١
ظاهره التكميم المغناطيسي	١٢
طاقه الفجوة	١٤
المواد الفائقة ذو الحرارة العالية	١٥
المواد الفائقة ذو الحرارة المنخفضة	١٨
تطبيقات المواد فائقة التوصيل	١٩
المصادر	٢٢

الفصل الاول

١-١ 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 اآخر اوً 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 فىحلقة 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 أيض ا 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 .١ 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 ١٩٠٨ م نجح العالم الهولندي الشهير هيك كامرلين أونيس في ضغط ثم إسالة غاز الهليوم الذي يتحول من الحالة الغازية إلى السائلة عند درجة ٤.٢ كالفن ٢٦٨-) 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 اختصار ا بدرجة التحول ويرمز لها بالرمزTC . 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 النايوبيومNbN في أول الأربعينيات حيث وصلت درجة التحول إلى حوالي ١٥ درجة كالفن واستمرت كذلك ولمدة ثلاثين سنة وبالتحديد حتى عام ١٩٧٣ حيث أضيف مركب جديد ذو درجة تحول تصل إلى ٢٣ كالفن .والمركب المقصود هوGe3Nb. .

وحصلت بعد ذلك قفزة متميزة في سجل المواد فائقة التوصيل عندما قام كل من جورج بدنورز وكارل ميولار (George Bednorz and Kark Alex Muller) في عام ١٩٨٦ بنشر تقرير حول نجاحهما في تحضير مركب سيراميكي هوO-Cu-Ba-La درجة تحوله في حدود ٣٠ كالفن 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 بعنصر اليتريوم للحصول على السيراميكY-Ba-O-Cu والذي فاقت حرارة تحوله ولأول مرة في التاريخ درجة الغليان لغاز النيتروجين والبالغة ٧٧ كالفن .لقد وصلت حرارة التحول إلى أكثر من ٩٠ كالفن لذلك المركب
الذي اكتشف في يناير من عام ١٩٨٧ والذي سرعان ما صار أساس ا 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 تقريبا تم اكتشاف مركبO-Cu-Ca-Sr-Bi ذي درجة التحول البالغة ١١٠ درجات كالفن وبعده بقليل اكتشف مركب الثاليومO-Cu-Ca-Ba-Tl والذي يفقد مقاومته الكهربائية نهائي ا عند ١٢٥ 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 ١٩٩٣ عندما أضيف مركب الزئبق-: O-CaCu-Ba-Hg والذي يتحول عند ١٣٥ 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 ١٦٠ كالفن لبعض المركبات والتي منها مركبات الزئبق خاصة، غير أنه هذا عندما يتم تسليط ضغوط عالية جداً .

وباكتشاف المركبات التي تفوق حرارتها ٧٧ درجة كالفن وهي درجة غليان النيتروجين؛ دخلنا عصر ا جديد ا من الموصلات وهو ما اصطلح على تسميته بالموصلات فائقة التوصيل عاليةالحرارة

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

اسم :الموصلات فائقة التوصيل التقليديةLow Temperature Superconductors واختصار ا بـ: LTS

إن لاكتشاف الموصلات الجديدة أهمية خاصة حيث أن استخدام النيتروجين المسال رخيص جد ا 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.

١-٢ ظاهرة الموصلية الفائقة

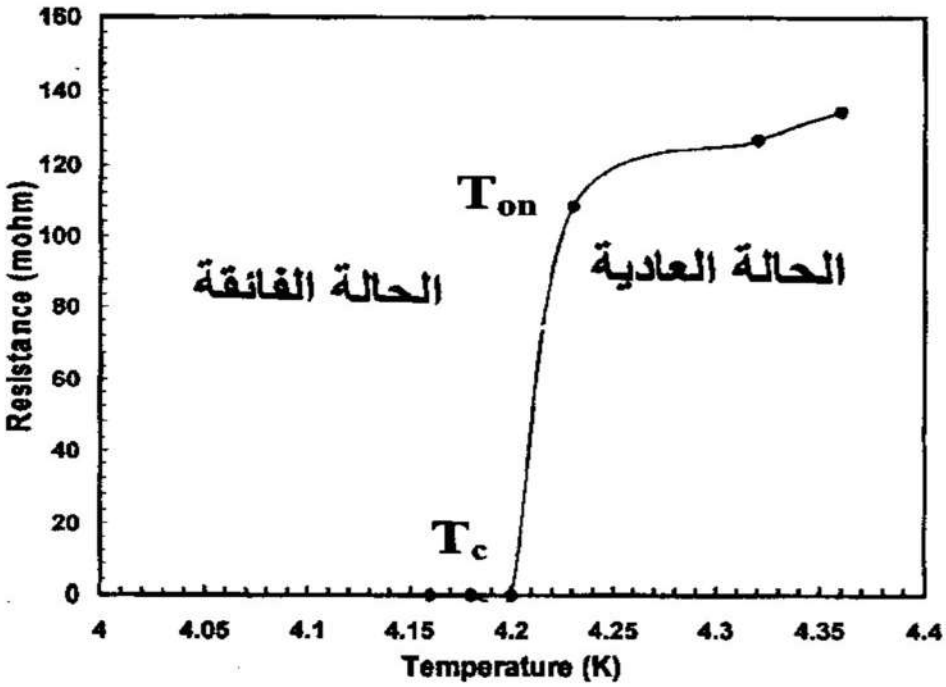
من المعلوم أن المقاومة الكهربية للجوامد تنشأ أثر حيود البلورات الحقيقية عن سلوك الشبيكة البلورية المثالية للمواد والتي تساعد علي تشتت الإلكترونات أثناء عملية التوصيل الكهربي مما يؤدي إلي فقد جزء كبير من الطاقة الكهربية علي شكل حرارة . ولذلك فقد كان الاعتقاد السائد هو استحالة انعدام المقاومة الكهربية 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 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(**1**) : سلوك المقاومة الكهربية مع درجة الحرارة للزئبق فائق التوصيل

علي الجانب الأخر فإنه في عام 1933 وجد العالمان الألمان ميز نر و أوشنفيلد 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 . 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

١-٣ظاهرة الطفو

من المعلوم أن الموصل الفائق هو موصل تام التوصيل و تنعدم مقاومته الكهربية عند درجة الحرارة الحرجة. ولذا فإننا إذا أدخلنا تياراً كهربي اً 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 . 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). 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(٢) : ظاهرة الطفو في المواد فائقة التوصيل

١-٤ ازدواج كوبر

في 1957 حدث تقدم ملحوظ في علم الموصلية الفائقة بواسطة الفيزيائيين الأمريكان (Bardeen, Cooper and chrieffer). 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 .

١-٥ خصائص مواد فائقة التوصيل

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 العلوم والتكـــــنولوجيا، حـــيث أن هذه الـــمواد(Superconductors) ســـــوف تحـــل محل أنصاف المـــوصلات (Semiconductors) التى تدخل الأن فى صناعة الترانسيستور و الدوائر الالكترونية المتكاملة .

كما تظهر إحدى خواص المواد فائقة الموصلية، التي قد تكون مفيدة ومثيرة للاهتمام، عند وضعها بالقرب من مغناطيسٍ قوي، حيث يعمل حقله المغناطيسي تلقائياً على تحريضِ تياراتٍ كهربائية على سطح الموصل الفائق، فتظهر حقولٌ مغناطيسية معاكسة تنتج عن تلك التيارات، تتسبب برفع الموصل الفائق فوق المغناطيس، ليبقى معلقاً في الهواء جرّاء وجود قوة مغناطيسية غير مرئية، كما تتصرف الالكترونات على المستوى الميكروسكوبي في المواد فائقة الموصلية بطريقة مختلفة جداً عن تلك الموجودة في المعادن العادية، إذ تنتقل أزواج الالكترونات عبر تلك المواد مع بعضها البعض، الأمر الذي يتيح لها التحرك بسهولةٍ من طرفٍ لآخر، مشابهةً بذلك حركة الركاب المتمتعين بأولوية العبورِ لطريقٍ سريع ومزدحم، أما الالكترونات المنفردة فتبقى عالقةً في الزحام.

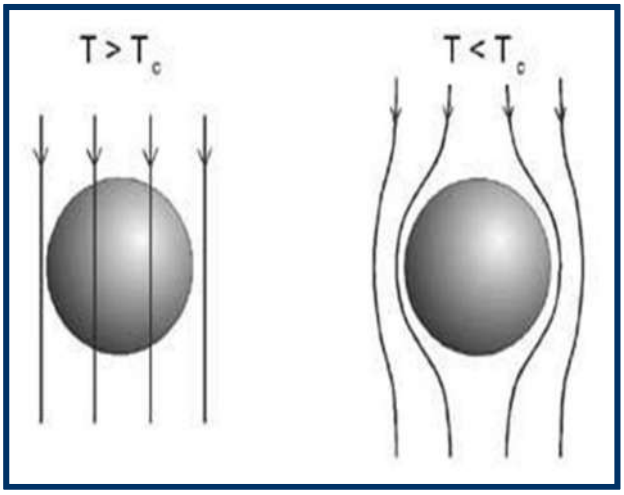
الفصل الثانى

٢-١ ظاهرة التكميم المغناطيسى:

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 مساوي لعدد صحيح من الكمات المغناطيسية يطلق على كل منها الرمز(fo) ويبلغ مقدار الكمة الواحدة وتسمى أيضا بالفلاكسويد ومعنى التكميم أنه لو تعرض الموصل إلى مجال يزيد قليلا عن عدد صحيح من الكمات) بزيادة أقل من نصف الكمية فإن الزيادة ترفض ولا تمر من خلاله، في حين أنه لو تعرض لمجال يقل قليلا عن عدد صحيح من الكمات بمقدار ضئيل) أقل من نصف كمة (فإنه يتكيف بحيث يكمل النقص من تلقاء نفسه من أجل أن يحافــظ على
العدد الصحيح من الكمات .أي لو مر مجال يساوي إلى مائة كمة مضاف ا 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 متجاوب مع المجال الخارجي.

لقد تبين أن هذه الظاهرة ذات أهمية بالغة جـــــداً .فهي مبدأ ما صار يعرف بمجس السكويد (Superconducting Quantum Interference Device (SQUID . إن السكويد بسكون السين (عبارة عن جهاز حساس جد ا 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 المستمرSQUID-dc في حين يعتمد الآخر على التيار ذي التردد الراديوي SQUID-rf . 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 أيض ا 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 .

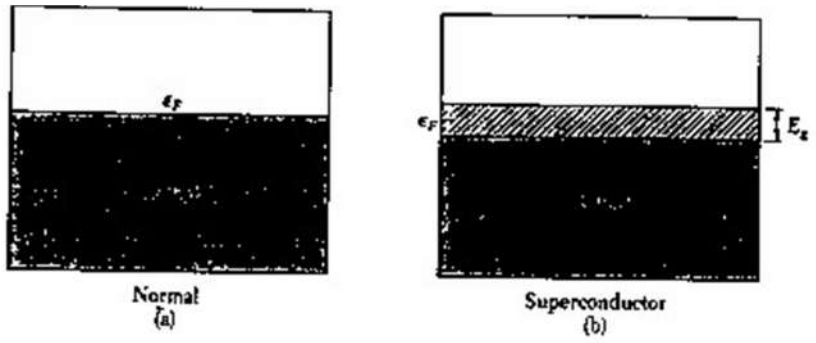
والأجهزة المعتمدة على مجس السكويد صارت متوفرة تجارياً وبأسعار منافسة ويقدمها عدد من الشركات العالمية.



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

٢-٢ فجوة الطاقة: 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 لتكوين ما يسمي بأزواج كوبر مما يتسبب في وضع الإلكترون في مستوي فارغ بالنسبة لموضعه في مستوي فيرمي للغازات كما يتضح في شكل(٣).



(شكل رقم ٣)

٢-٣ المواد الفائقة ذو الحرارة العالية :

تكمن أهمية خاصة للموصلات الفائقة عالية الحرارةفي مايلي:

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

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

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

٤- أن الفرق بين درجات تحولها ودرجة الوسيط المبرد) النيتروجين (كبير) في حالة مركبات الزئبق تفوق

الخمسين درجة (مما يجعلها أكثر استقرار ا حيث أن ذلك الاستقرار يزيد بتزايد الفرق بين درجة حرارة العمل ودرجة حرارة التحول.

جدول رقم (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

١٩٨٦	and Muller Bednorz [٧]	$La_{٢-x}Ba_xCuO_{٤}$	٣٥
١٩٨٧	.et.al M.Tarascon [٨]	$La_{٢-x}Sr_xCuO_{٤}$ (La: ٤١٢)	٣٨
١٩٨٧	[٩]M.K.Wu et.al.	$YBa_{٢}Cu_{٣}O_{٧}$ (Y: ٣٢١)	٩٠
١٩٨٨	[١٠]M.Maeda et.al.	$BiSr_{٢}Ca_{٢}Cu_{٣}O_{١٠}$ (Bi: ٢٢٢٣)	١١٠
١٩٨٩	.et.al Sheng .Z.Z [١١]	$TIBa_{٢}Ca_{٢}Cu_{٣}O_{٨}$ (TI: ٢٢٢٣)	١٢٧
١٩٩٣	.et.al Shilling .A [١٢]	$HgBa_{٢}Ca_{٢}Cu_{٣}O_{٨}$ (Hg: ١٢٢٣)	١٣٤
١٩٩٤	.B.A. Hunter et.al [١٣]	under pressure (Hg: ١٢٢٣)	١٦٤
٢٠٠١	.et.al J.Akimitsu [١٤]	$B_{٢}Mg$	٣٩

بعض المواد ألاخرى تتمتع بتلك الخاصية مثل :

١-الألومنيومAL والدرجة الحرجةK1.2=

٢-أنديوم والدرجة الحرجة =4,3

٣-الرصاص والدرجة الحرجة =19,7

٤-الزئبق والدرجة الحرجة =4.15

٥-نيوبيوم والدرجة الحرجة =9.26

٦-أوزميوم والدرجةالحرجة0.66 =

٧-قصدير والدرجة الحرجة =3.72

٨-تنجستون والدرجة الحرجة0.012 =

٩-فنديوم والدرجة الحرجة =5.3

١١-زنك والدرجة الحرجة0.87 =

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

٢-٤ المواد فائقة التوصيل ذات درجة الحرارة المنخفضة : Low Temperature Super Conductivity

تعرف هذه المواد بالمواد فائقة التوصيل التقليدية مثل الزئبق ، حيث تمتاز بإنخفاض درجة حرارتها الحرجة (في المدى ١٤٠-٠ كلفن فعند الاقتراب إلى درجة حرارة تقارب درجة الصفر المطلق فإن عينة من النحاس مثلا لا يمكن أن توصل لدرجة ممانعة (مقاومة) تساوي الصفر. أما في حالة الموصلات الفائقة فإن الممانعة تنخفض على نحو مفاجئ 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 ميكانيكا الكم، ولا يمكن فهمها على أساس أنها تجسيد لظاهرة الموصل المثالي ضمن إطار الميكانيكا الكلاسيكية.

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

٢-٥ تطبيقات المواد فائقة التوصيل

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 .

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 .

3- *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 .

4- 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.

5-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.

6- 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 352.4 (Km/h) . 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 01MLX حيث يتكون القطار من ثلاث عربات سجلت سرعة قدرها 531 (Km/h) . وفي شهر مارس من عام 1999 تم تصنيع قطار فائق مكون من خمس عربات حيث وصلت سرعته 548 (Km/h) وفي ديسمبر 2003 وصلت سرعة القطار الفائق إلي 581(Km/h) . في سول بكوريا الجنوبية هناك قطار فائق سرعته 300 (Km/h) وسوف تصل سرعته في
2008 إلي 412 (Km/h) . هذا القطار طوله 388 m ووزنه 771 طن ويحتوي علي 18 عربة ويسع 935 راكب.

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 جد ا المتولدة من المخ أو القلب أو الجهاز العصبي، فإنه يفضل توفير جو خال من المجالات المغناطيسية الخارجية التي تكون عادة أكبر كثير ا 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 مزيد ا 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 جهاز ا متكاملا يمكن أن يحل محل الأجهزة المستخدمة حالي ا 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.

٨-التطبيقات العسكرية:

إن قدرة الموصلات الفائقة على طرد المجالات المغناطيسية جعلت منها مرشّحة لاستعمالها في الرادارات العسكرية. فمن المعلوم أن دقة الصور التي يوفرها الرادار تعتمد على قدرته على التحليل غير أنّ تلك القدرة تتأثر سلباً بالمجالات المغناطيسية المجاورة سواء الأرضية أو غيرها. وحتى تتصور المشكلة راقب ما يحصل لجهاز التلفاز عندما يتم تشغيل جهاز كهربائيّ 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 أليها عبارة عن اسطوانات ذات مقاسات مختلفة مصنوعة من المواد فائقة التوصل، يوضع بداخلها مصدر الإلكترونات المهبطية فيحميها من المجالات الخارجية ويجعل الصورة الرادارية غاية في الوضوح.

References : المراجع

1-الخصائص الكهربائية والمغناطيسية في الفيزياء المؤلف :مصطفى نمر دعبس الناشر :دار غيداء للنشر رقم تسلسلي عالمي: 044-111-2005 .

2 -c124b, 120b, 119Leiden comm. ,H.Kamerlingh Onnes

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

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

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

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

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

8 - 1987) 189 ,64J.G. Bendnortz and K.A. Muller, Z.Phys. B 5711,801)7591 .
Mckinnon, G.W. 9- .J.M. Tarascon, L.H. Greene, W.R (1987) 1373 ,235Geballe, Science
. Hull and T.H

9- .M.K. Wu, J.R. Ashburn, C.J. Torny, F.H. Hor, R.L. Meng, L. Gao,Z. J

10- .(1987) 908 ,58Lett. .Huang, Y.Q. Wang and C.W. Chu, Phys.Rev

11- .H.Maeda, Y. Tanaka, M. Fukutomi and T. Asano, JPN.J. Appl. Phys

.(1988) 209L ,27
12.(1988) 138 ,332Z.Z. Sheng and A.M. Hermann, Nature
13- ;(1993) 56 ,363A.Shilling, M.Cantoni, J.D. Guo and H.R. Ott, Nature
. 226 ,362Antipov, Chmaissen and M. Marezio, Nature .S.N. Putiling , E.V
14- B.A. Hunter, J.D. Jorgensen, J.L. Wanger, R.L. Hitterman and R.B. Von
.(1994) 1 ,221Dreele, Physica C
15- ,410J. Nagamatsu, N. Nakagawa, T. Muranaka, Y. Zenitani and J. Akimitsu, Nature
3 (1002)6