وزارة التعليم العالي و البحث العلمي
جامعة بابل
كلية التربية للعلوم الصرفة
قسم فيزياء

# مواد فائقة التوصيل

بحث تقدم به الطالبة

عذراء عادل كاظم

كأحد متطلبات نيل شهادة البكالوريوس في قسم الفيزياء / كلية التربية للعلوم الصرفة – جامعة بابل

إشراف الاستاذ: م. عمار يحيى كاظم المعموري

١٤٤٤هـ ٢٠٢٣م

بِسْمِ ٱللَّهِ ٱلرَّحْمَٰنِ ٱلرَّحِيمِ

# ((امنو بالله ورسوله وانفقوا مما جعلكم مستخلفين فيه فالذين امنو منكم وانفقوا لهم اجر كبير) )

صدق الله العظيم

سورة الحديد

جزء من اية (٧)

## الاهداء

الى من بلغ الرسالة وادى الامانة ، ونصح الامة ، الى نبي الرحمة والنور سيدنا

محمد (صلي الله علُيه واله وسلم)

الى من علمني العطاء بدون انتظار ، الى من احمل اسمه بكل افتخار

( والدي العزُيز)

الى معنى الحنان والتفاني ، الى بسمة الحُياة وسر الوجود . الى من كان وعائها سر نجاحي وحنانها بلسم جراحي

(امي الحبُيبة)

الى من حبهمٌ يجري في عروقي يُلهج بذكراهم فؤادي

(اخوتي)

الى من سرنا سوًيا ونحن نشق الطريق معا نحو النجاح والابداع

(زملائي)

الى الذُين امدوني بالعلم والمعرفة والثقافة على مر اربع سنوات

(اساتذتي الاعزاء جميعا)

## الشكر والتقدير

الحمد الله رب العالمين والصلاة والسلام على سيد المرسلين محمد (صلى الله عليه واله وسلم) ، وبعد فاني احمد الله كثيرا واشكره شكرا وفيرا لما وفقني له واعانني في اتمام بحثي هذا وان اسجل اجلالا وعرفانا عظيم شكري وامتناني لأستاذي الفاضل (**م.عمار يحيى كاظم المعموري**)المشرف على هذا البحث لما بذله من جهد علمي صادق ، ولما غمرني به من خلق علمي وتوجيهات رشيدة كما ان شكري موجه لادارة كلية التربية للعلوم الصرفة بجامعة بابل قسم الفيزياء

للمجهودات المبذولة من قبل اساتذتنا الكرام في الجامعة لتوفير افضل بيئة للتدريس في افضل الاحوال التي تلائم طلبة العلم

كذلك شكري وحبي الى اسرتي و بالأخص ابي وامي واخوتي لما قدموه من تعاون ومشقه وصبر اثناء الانشغال بالدراسة

# الفهرست


| | |
|---|---|
| الفصل الاول مواد فائقة التوصيل | ١ |
| المقدمة | ٢ |
| خصائص مواد فائقة التوصيل | ٣ |
| ظاهرة مواد فائقة التوصيل | ٣ |
| ظاهرة الموصلية الفائقة | ٣ |
| ظاهرة التكميم المغناطيسي | ٦ |
| ظاهرة الطفو | ٧ |
| طاقة الفجوة | ٨ |
| انواع الموصلات الفائقة | ٩ |
| تطلعات ومعوقات المواد الفائقة | ٩ |
| الفصل الثاني تطبيقات مواد فائقة التوصيل | ١٠ |
| جهاز سكويد | ١١ |
| اجهزة الميكرفون | ١١ |
| كابلات القدرة | ١٢ |
| المغناطيس الفائق | ١٢ |
| اجهزة الرادار | ١٣ |
| القطار الفائق | ١٣ |
| بعض التطبيقات الهامة للمواد فائقة التوصيل | ١٤ |
| عجلات الطاقة | ١٨ |
| التطبيقات العسكرية | ١٨ |
| التطبيقات الطبية | ١٩ |
| تطبيقات اخرى | ١٩ |

# فهرست الاشكال


| | | |
|---|---|---|
| ١- | العالم الهولندي اونيس | 4 |
| ٢- | سلوك المفاومات الكهربائية مع درجة الحرارة للزنبق فائق التوصيل | 5 |
| ٣- | العالم الألماني ميزنر | 6 |
| ٤- | سلوك المجال المغناطيسي للمواد في حالة العادية و الحالة فائقة | 7 |
| ٥- | ظاهرة الطفو في المواد فائقة التوصيل | 8 |
| ٦- | شريط التوصيل للحالة العادية و طاقة الفجوة للحالة الفائقة | 8 |

# الخلاصة

تم دراسة هذا البحث  فانه يتحدث عن فصلين الفصل الاول يتحدث عن مواد فائقة التوصيل

ومن المواضيع التي تحدثنا عنها هي خصائص مواد فائقة التوصيل ظاهرة مواد فائقه التوصيل

هناك كان اربع ظواهر ولقد تحدثنا عنها وكذلك انواع الموصلات وتطلعات ومعوقات المواد

الفائقة

اما فصل الثاني فقد تحدث عن تطبيقات مواد فائقة التوصيل ومن التطبيقات التي تحدثنا

عنها هي جهاز السكويد واجهزة الميكرفون كابلات القدرة والمغناطيس الفائق اجهزة الرادار

القطار الفائق والتطبيقات الطبية وعجلات الطاقة و التطبيقات العسكرية و التطبيقات الطبية

وتطبيقات اخرى للمواد

# الفصل الاول

# مواد فائقة التوصيل

## (١-١)المقدمة

حتى الآن ، كان تاريخ المواد فائقة التوصيل مكون من نوعين: الموجة و الموجة الآن ، اكتشف باحثو كورنيل - بقيادة براد رامشو ، الأستاذ المساعد ديك وديل ريس جونسون في كلية الآداب والعلوم - نوعًا ثالثًا محتملاً وهو الموجة

تتحرك الإلكترونات في الموصلات الفائقة معًا فيما يعرف بأزواج كوبر. يمنح هذا "الاقتران" الموصلات الفائقة أشهر خصائصها - لا توجد مقاومة كهربائية - لأنه من أجل توليد المقاومة ، يجب تفكيك أزواج ، وهذا يتطلب طاقة[1].

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 وفقدان 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 حيث ان الصفر غبر مبالغ فيه من ناحية،ومن ناحية اخرى 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[2].

## (١-٢)خصائص مواد فائقة التوصيل

عند درجة حرارة معينة تعرف بدرجة حرارة التحول تصبح مقاومتة هذه المواد للتيار الكهربي مساوية للصفر اكتشف كذلك أن هذه المواد عند درجة حرارة التحول حساسة جدا للمجال المغناطيسي، حيث تنفر المجال المغناطسيي الخارجي أي أنها تعكس المجال المغناطيسي مهما ضعفت شدته . هاتان الخاصيتان فتحت الأبواب أمام العلماء لاستغلالها في ابتكارات واختراعات ذات كفاءة عالية تخل في معظم مجالات العلوم والتكنولوجيا، حيث أن هذه المواد سوف تحل محل أنصاف الموصلات التي تدخل الآن في صناعة الترانسيستور و الدوائر الالكترونية المتكاملة[2].

## (١-٣)ظاهرة مواد فائقه التوصيل

هـــــــي ظاهرة تحدث في بعض المواد عن تبريدها الى درجة حرارة منخفضة جداً تقترب من الصفر المطلقة ( صفـــــر كلفـــــن )حيث تسمح الموصلات الفائقة بمرور الكهرباء خلالها دون اي مقاومة كهربائيــة تقريبـــــاً ، وهي ظاهرة غريبة فسلوكها الكهربائي من حيث عدم المقاومة للتيار الكهربائي وسلوكها المغناطيسي هما السمتان البارزتان لها ، مـــا جعل بعض المواد ذات تطبيقات غير محدودة . ويحدث التوصيل الفائق في الفلزات والسبائك في درجات حرارة قريبة من الصفر المطلـق ويصبح كل من الرصاص والزئبق فائق التوصيل في هذه الدرجة[2].

### أولا - ظاهرة الموصلية الفائقة :

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

علاوة على ذلك فإن نشئت الإلكترونات علي بعضها البعض ينشيء هو الآخر قدراً ملموسا من المقاومة الكهربية حتى في إهمال تشتت الإلكترونات علي الفونونات وعيوب الشبيكة البلورية .

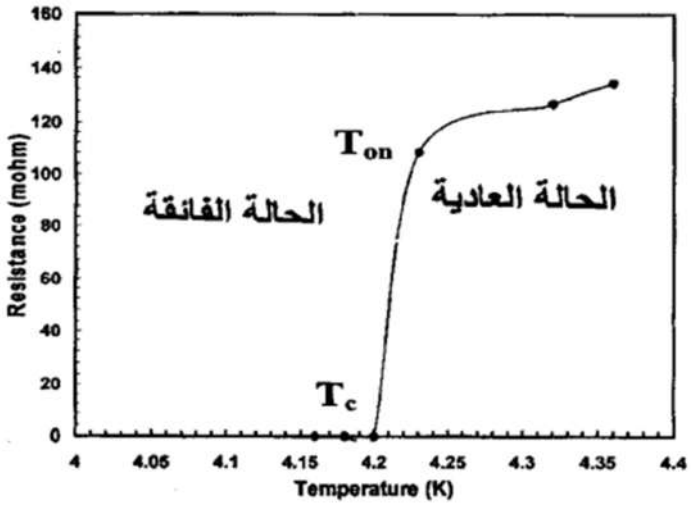
الجدير بالذكر أن المقاومة الكهربية للمواد وحتى نهاية القرن الثامن عشر كانت تقاس حتى درجات حرارة منخفضة والتي كانت درجة حرارة النتروجين السائل ٧٧ درجة مطلقة ( أي ما يعادل ١٩٦ درجة تحت الصفر المئوي ) . لكن مع بداية القرن التاسع عشر تمكن الباحثين من الحصول علي الهليوم السائل والذي وصنت درجة حرارته إلى ٤.٢ درجة مطلقة (أي ما يعادل ٢٦٨.٨ درجة تحت الصفر المنوي ) . وبالتالي تمكن الباحثين من قياس المقاومة الكهربية للمواد عند درجات حرارة منخفضة حتى هذه الدرجة

في عام ١٩١١ بينما كان العلم الهولندي هيك كامرلين أونيس [٣] يقوم بقياس المقاومة الكهربية للزنبق التقي عند درجة حرارة الهليوم السائل وجد أن المقاومة الكهربية للزنيق شهار وتؤول إلى أقل من ٠.٠٠٠٠١ 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 العلاية إلى الحالة الفائقة بدرجة الحرارة الحرجة T . بينما درجة الحرارة التي تبدأ عندها المقاومة الكهربية في الانخفاض المفاجي سميت بدرجة حرارة التحول .... كما يعرف الفرق بين درجة الحرارة الحرجة ودرجة حرارة البداية بعرض الانتقال

**العالم الهولندي اونيس**

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 تعدم المقاومة الكهربية للمادة تماما في تلك المنطقة

وبالطبع كان أرئيس أول عالم اكتشف هذه الظاهرة وقد حصل على جائزة نوبل عن استحقاق لهذا الإنجاز العظيم في عام ١٩١٣ .




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

على الجانب الآخر فإنه في عام ١٩٣٣ وجد العالمان الألمان ميز نر و آوشنفيلد [٤] أن المواد فائقة التوصيل نطرد المجال المغناطيسي المطبق عليها إلى 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 و أوشنفيلد المواد الفائقة على أنها من عائلة المواد دايا مغناطيسية . 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 سبة إلى العالم ميز نر . 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 دايا مغناطيسية

**العالم الالماني 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 مساويا تماماً لعدد صحيح من الكمات

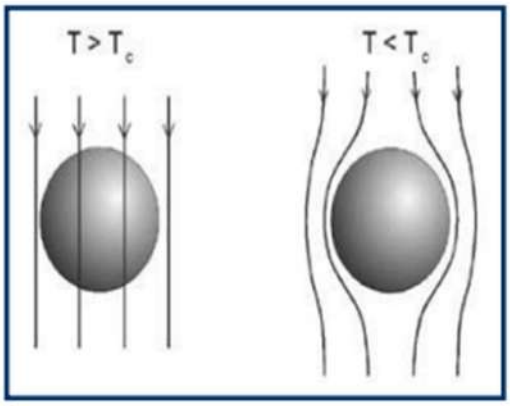
المغناطيسية يطلق على كل منها الرمز fo ويبلغ مقدار الكمة الواحدة وتسمى أيضا بالفلاكسويد ومعنى التكميم أنه لو تعرض الموصل إلى مجال يزيد قليلا عن عدد صحيح من الكمات ) بزيادة أقل من نصف كمة (؛ فإن الزيادة ترفض ولا تمر من خلاله، في حين أنه لو تعرض لمجال يقل قليلا عن عدد صحيح من الكمات بمقدار ضئيل) أقل من نصف كمة (فإنه يتكيف بحيث يكمن النقص من تلقاء نفسه إمن أجل أن يحافظ على العدد الصحيح من الكمات .أي لو من مجال يساوي إلى مائة كمة مضافاً إليها ربع كمة فإن ذلك الربع يرفض ولا يمر من خلاله في حين لو كان بدن الربع نصف أو أكثر ولكن أقل من واحد صحيح؛ فإن الموصل يكمله إلى واحد صحيح أو هذا بالضرورة يقتضي أن التيار الذي ينف يزيد وينقص بمقدار ضئيل متجاوباً مع المجال الخارجي لقد تبين أن هذه الظاهرة ذات أهمية بالغة جداً فهي مبدا ما صار يعرف بمجس السكويد إن السكويد بسكون السين

عبارة عن جهاز حساس جدا 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-SQUID في حين يعتمد الآخر على التيار ذي الترند الراديوي ، وفي حين ينتشر استخدام الأول على نطاق واسع بصور أفلام رقيقة من المادة الفائقة بوضع 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 تبعا 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 صغيرا والأجهزة المعتمدة على مجس السكويد اصدارات متوفرة تجاريا وبأسعار منافسة ويقدمها عدد من الشركات العالمية




**شكل رقم (٢) سلوك المجال المغناطيسي للمواد في حالة العادية والحالة الفائقة**

## ثالثا ظاهرة الطفو :

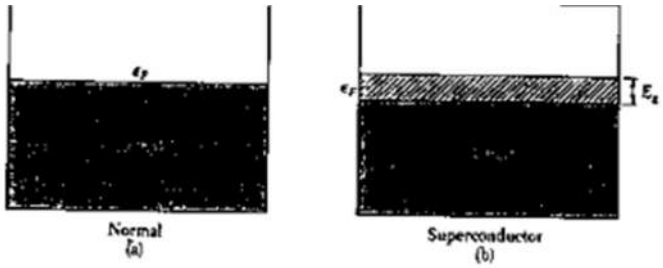
من المعلوم أن الموصل الفائق هو موصل تم التوصيل و تنعدم مقاومته الكهربية عند درجة الحرارة الحرجة. ولذا فإننا إذا أدخلنا تياراً كهربيا في حلقة من سلك فائق التوصيل فإن هذا التيار سوف يستمر في السريان إلى ما شاء الله طالما أن السلك يظل محتفظاً بموصلتيه الفائقة. في احدي التجارب استمر سريان التيار بدون انقطاع في حلقة من سلك فائق التوصيل لمدة عامين ونصف دون أي نقص في شدته و دون تغذية الحلقة بأي مصدر كهربي خارجي [٥] . و لقد تم تسمية التيارات التي لا تجد أية مقاومة لسرياته في موصل قالق 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 على سطح الموصل

الفائق يسبب تيارات دائمة تنشي قوي تنافر مع المغناطيس بحيث تقوي وتشتد كثيراً باقتراب المغناطيس من الموصل الفائق حتى يتم رفع المغناطيس في الهواء فيظهر وكانه عالم في الهواء .

**شكل (٣) : ظاهرة الطفو في المواد فائقة التوصيل**

## رابعا - طاقة الفجوة :

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 [٦] لتكوين ما يسمي بزواج 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**

## (١-٤)أنوع الموصلات الفائقة

تقسم الموصلات الفائقة حسب درجة حرارتها الحرجة إلى:

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

٢-المواد فائقة التوصيل عالية الحرارة واختصارا (HTC) وتمتاز بارتفاع درجة حرارتها الحرجة[7]

## (١-٥)تطلعات ومعوقات المواد الفائقة :

بالرغم من هذا النجاح الباهر في مجال الموصلية الفائقة إلا 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 إلى ذلك فإنها سوف تساهم في توليد مجالات مغناطيسية قوية جدا تكون قادرة على احتواء بلازما الاندماج النووي ذو الحرارة العالية والتي من الصعب حتى الآن إيجاد مواد تتحمل هذه الحرارة العالية . على الجانب الآخر 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 الانسان علاوة على 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 بجري ببطء ولكن تتحقق نسبة من النجاح كل فترة إلا أن غاية الطموح المتمثلة في الحصول على 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 جزءا رئيسيا من أجزاء محرك الطائرة وغير ذلك[7].

# الفصل الثاني

# تطبيقات مواد فائقة التوصيل

## (٢-١)تطبيقات مواد فائقة التوصيل

### 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 ١٠:١٤ تسلا . هذه المجالات تعتبر أقل من المجال المغناطيسي للأرض بمقدار $١٠^{١١}$ مرة علي الأقل . وبالتالي فقد استطاع 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 تسلا و عن المخ يكون في حدود$^{-٣}$ ١٠ تسلا [٨] .

### ٢- أجهزة الميكروويف

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 [8].

### ٣- كابلات القدرة :

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 إلى خمسة أضعاف ما يتحمله كابل من النحاس بنفس الأبعاد والمواصفات . وبالتالي تتمكن هذه الكابلات من نقل الطاقة من مكان لآخر بدون أي فقد يذكر مما سوف يساهم في نقل خطوط الطاقة بين الدول المختلفة إذا ما توفر الدعم اللازم لذلك .

### ٤- المغناطيس الفائق :

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[8]

## 5-أجهزة الرادار :

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 .[8] .

## ٦- القطار الفائق :

بنيت فكرة تصميم هذه القطارات على 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 ١٩٨٦ 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 ١٩٩٠ 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 ١٩٩٧ . في نفس العام ديسمبر ١٩٩٧ تم تنفيذ عجلات

قطار من المغناطيس الفائق أطلقوا عليها MLX01 حيث يتكون القطار من ثلاث عربات سجلت سرعة قدرها ٥٤٨km/h . وفي شهر مارس من عام ١٩٩٩ تم تصنيع قطار فائق مكون من خمس عربات حيث وصلت سرعته 581 km/hوفي ديسمبر ٢٠٠٣ وصلت سرعة القطار الفائق إليkm/h . في سول بكوريا الجنوبية هناك قطار فائق سرعته 300 km/hوسوف تصل سرعته في2008 إلى Km/h 412 km/h . هذا القطار طوله 388 m ووزنه ٧٧١ طن ويحتوي على ١٨ عربة ويسع ٩٣٥ راكب [8] .

## (٢-٢)بعض التطبيقات الهامة للمواد فائقة التوصيل

إن اكتشاف مواد فائقة التوصيل للكهرباء عند درجات حرارة مرتفعة نسبيا سوف يجعلها تدخل في تركيب كل جهاز ممكن تصوره . أول هذه التطبيقات هو الحصول على وسيلة غير مكلفة لنقل التيار الكهربائي ، لأن التكاليف المادية لنقل التيار عبر أسلاك النحاس مرتفعة نظراً للفقد الكبير في الطاقة على شكل حرارة متبددة نتيجة مقاومة السلك كذلك إذا ما قارنا قيمة التيار الذي يمكن نقله عبر السلك

النحاسي حيث تبلغ شدته (١٠٠) أمبير لكل سنتيمتر مربع بينما في السلك المصنوع من مركب الـ (YBa2Cu307) تبلغ (١٠٠٠٠٠) أمبير لكل سنتيمتر مربع .كذلك فإن هذه المواد لها تطبيقات عديدة في مجال الالكترونيات لما تمتاز به من قدرة عالية في فتح وإغلاق الدائرة الكهربائية لتمرير التيار ومنعه ، وهذا يشكل عنصر أساسي في بني الكمبيوتر والبحث جار الآن لإدخال هذه المواد في صناعة السوبر كمبيوتر، وإذا ما توصل إلى ذلك فإن هذا سوف يؤدى إلى تطور كبير في مجال الكمبيوتر . أما في مجال الطب فقد تم صناعة أجهزة ذات حساسية عالية جداً

للمجالات المغناطيسية المنخفضة الشدة ، وتستخدم الآن كبديل للمواد المشعة المستخدمة في تشخيص الأمراض التي قد تصيب الدماغ، حيث يتم الكشف عن التغير في المجال المغناطيسي المنبعث من الدماغ والتي تبلغ شدته (10-13)تسلا

، وهذا مقدار صغير جدا لكن تلك الأجهزة قادرة على قياسه كذلك يمكن بدقة تحديد مصدر الإشارات العصبية الصادرة من الدماغ وأيضـا يمكن أن تستخدم في البحث عن المعادن الدفينة في باطن الأرض وعن مصادر المياه والنفط لأنها تحدث تغيراً طفيفاً في المجال المغناطيسي للأرض وهذا التغير يمكن التقاطه بواسطة هذه الأجهزة . لقد فتحت التجارب في السنوات الأخيرة مجالاً واسعاً للتعرف على أكثر من (٣٠ ) عنصراً ومئـات المركبـات تصلح أن تكـون فائقة التوصيل عند درجات حرارة حرجة. وتشهد ظاهرة التوصيل الفائق هذه الأيام ضجة إعلامية وتنافساً دولياً [9]

عجيباً إذ إن تطبيقاتهـا ستشكل ثورة حقيقية في نهاية القرن العشرين حيث إنها ستفتح افاقاً في المجالات وأهمها :

* صنع قطارات تسير بسرعة هائلة على وسادة من المغناطيس .

* صناعة الأجهزة الالكترونية المختلفة وخاصة صناعة أجهزة حاسوب صغيرة الحجم و سريعة الأداء .

* صناعة أسلاك ضخمة فائقة التوصيل لنقل الكهرباء لإنارة المدن مثلاً .

* عمل ملفات عملاقة لكي تخزن الكهربائية .

* صناعة الأجهزة ذات التوصيل الفائق والتي تستخدم في مجال البحوث بدلاً من المغانيط التقليدية

* صناعة أجهزة خاصة لتوليد الطاقة الكهربائية.

بعض التطبيقات في المواصلات وفي القطارات على وجه الخصوص :- وهنالك أيضاً تطبيقات على مجال أوسع ، فهل تستطيع تصور قطار يطير في الهواء كما تفعل الطائـرة ويسير بسرعة كسرعتهـا ؟ نعم إنه القطار الطافي . ففي اليابان تم تصميم عام (1979) قطار يعمل على قضبـان مصنوعـة من هذه المواد فائقة

التوصيل ، وعندما تبرد هذه القضبان إلى درجة الحرارة المطلوبة فإن القطار بكامله يرتفع عن سطح القضبان نتيجة التنافر المغناطيسي ويصبح وكأنـه يسير على الهـواء وهذا يمنع الاحتكاك مما يقلل من استهلاك الوقود . حيث شيد في خط تجريبي يعرف بخط ياما ناشي ماقليف في اليابان . إن مـن شـأن الاستفادة من ظاهرة الطفـو 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 المـواد فائقة التوصيل في حين تتوفر المغناطيسات الكبيرة على الطريق . وفي داخل القطار يتوفر جهـاز تبريد وهذا كل ما يلزم حيث يستفاد من قوة التنافر مع المغناطيسات نفسها في دفع القطار وتسييره بسرعات تزيد على ٥٠٠ كم في الساعة . وتـم فـي عـام(1999) تجربة قطار يسير بسرعة (٥٤٩) ك /س ويعتـزم اليابانيون تشييـد خـط أخـر يعتمد على الموصلات فائقة التوصيل .

تستعمـل الموصلات الفائقـة في صنع مغناطيسات كهربائية قوية جدا كتلك المستخدمة في أجهزة التصوير بالرنين المغناطيسي وتلك المستخدمة في مسرعات الجزيئات ، كما تستخدم الموصلات الفائقة في صنع الدوائر الكهربائية الرقمية وفلاتر المايكروويف في محطات الإرسال للهواتف الخلوية وفي الكثير من التطبيقات الكهربائية والعلمية . ان تقنيات الموصلات الفائقة تحمل آمال كبيرة لخفض استثمارات تصنيع المولدات، ونقل وتوزيع الطاقة الكهربائية ، وتوزيعهـا و بعـد تطويرها ستحقق خفضـاً هائلاً في الطاقة الضائعة على شكل حرارة ، التي قد تصل أحيانا إلى ما يعادل (٢٠%) من إجمالي الطاقة الكهربائية المنتجة .

وقـد اقتربت نفقـات الموصلات الفائقـة مـن الحدود الاقتصادية المقبولة في عدد من التطبيقات في مجالات القوى الكهربائية مثل :

١-. التوليد .

٢-. نقل القوى الكهربائية .

٣-. تخزين الطاقة .

وأول تطبيق على المستوى الكبير للتوصيل الفائق سوف يكون خطوط نقل القوى الكهربائية . وهناك احتمال لتطبيقات التوصيل الفائق ، وهي منظومة تخزين الطاقة المغناطيسية ، وسوف تمكن هذه المنظومة مؤسسات الكهرباء من تخزين الطاقة الكهربائية للاستخدام المستقبلي ، وبكفاءة تزيد على (٩٠%)مقارنة بالبدائل المتاحة حالياً، التي تتراوح كفاءتها من (٧٠%) إلى (٧٥%) وتقوم وزارة الدفاع الأمريكية بدراسة تصميم وتكاليف بناء محطة تجريبية بطاقة تخزين من (٢٠-٣٠)

ميكاواط/ساعة أساسها الموصلات الفائقة ذات الحرارة المنخفضة. ومن أهم الدول التي عملت في هذا المجال ، بجانب الولايات المتحدة الأمريكية ، ألمانيا الاتحادية - اليابان - المملكة المتحدة ، وقد أظهرت النتائج الأولية إمكانية إنتاج مولدات كهربائية بسعة (٥٠) مكياواط/ساعة . إن الانتقال الكامل لمرحلة تصنيع جميع مكونات ، أي نظام كهربائي من المواد فائقة التوصيل ، لن يكون قريباً ، بل المتوقع في المستقبل القريب أن يؤدي التقدم في تقنية المواد الفائقة التوصيل إلى استخدام نظم توليفية من كل من المواد التقليدية والمواد فائقة التوصيل ، في صناعة معدات توليد الطاقة الكهربائية وتوزيعها ونقلها[9].

## (٢-٣)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 جدا وتحفظ في داخل كبسولات خاصة ، استفيد منها ولوقت طويل في تحريك القطارات خاصة. غير أن المشكلة التي كانت تقابل دائماً هي أن الاحتاك الداخلي يستمر في استنزاف الطاقة الحركية مع مرور الزمن . غير أن الاستفادة منظاهرة الطفو المغناطيسي يجوز أن تمكننا 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 ما يقلل الحاجة إلى كثير من الصيانة والأعطال ويجعل عمرها يتضاعف إلى عدة مرات[9]

## (٢-٤)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 . 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 التدميري . [(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 [9].

**٣-٥ التطبيقات الطبيـة:**

يمكن الاستفادة من نفس الدروع التي سبقت الإشارة إليها في تطبيقات طبية كثيرة . و بصورة عامة فإنه عندما يراد دراسة الإشارات الكهربائية والمغناطيسية الصغيرة جدا المتولدة من المخ أو القلـب أو الجهاز العصبي ، فإنه يفضل توفيـر جـو خـال 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 وفـرنا جهازاً متكاملاً يمكن أن يحـل محـل الأجهزة المستخدمة حالياً ويفوقهـا من حيث الدقة . وقـد تم بالفعل استخدام الكاشف عندما وضعت مجوعة كبيرة منهـا بشكل نصف كروي تغلف رأس المريض . وصل عددها السكويدات في المجوعة الواحدة

إلى (٦٤) في بعض التجارب[9]

## (٢-٦)تطبيقات أخـرى

عـدد آخر من التطبيقات لـم نتعرض لـه مثل الاستفادة من قدرات كواشف السكويد في الدراسـات الجيولوجية والدراسات المتعلقة بالنفط والكشف عنه ، وكذلك في دراسات تتعلق بقيـاس مغناطيسيـة المواد (القابلية المغناطيسية) . وأمـا تطبيقات وصلات جوزيف صن في الإلكترونيات فلو لم يكن منها إلا التغلب على التشتت والفقد التي تشكو منها تلك الأجهزة عندما يتم تصغيرها بشدة. إن من شأن تلك[9]

المشكلة في الموصلات وأشباه الموصلات العادية أن تحد في نهاية المطاف من التردد الأعلى المسموح به في شرائح الحاسبات الآلية على سبيل المثال . ونحن نسمع كل يوم عن زيادة هائلة في سرعات تلك الحاسبات التي يتوقع لها أن تقف في يوم من الأيام بسبب المشاكل التي أشرنا إليها . إن استخدام وصلات جوزيف صن من شأنه أن يوفر سرعات مضاعفة دون التورط في مشاكل كتلك وبالتالي فمن الممكن أن تطلق للإنسان الحرية من جديد لكي ينطلق في تطوير أجهزته لتحقق مزيداً من السرعات . على سبيل المثال فقد نجحت شركة فوجستو اليابانية في عام (١٩٩٠) في تصنيع شريحة تحتوي على (٢٠٠٠٠) وصلة جوزيف صن وكانت سرعتها (١) جيجا هيرتز (1GHz ) وهي تفوق السرعات العادية المتوفرة آنذاك بعشرات المرات ولاتستهلك إلا (12) مللي واط ، أي أقل استهلاكاً للكهرباء من شرائح السليكون المشابهة بأكثر من سبعة آلاف مرة ، وقد تم حديثا الحصول على شرائح تعتمد على تقنية التكميم الفردي السريع للمجال المغناطسي

[Rapid Single Flux Quantum (RSFQ)] للحصول على سرعات وصلت إلى (100) جيجاهيرتز (GHz100) وهي سرعات يستحيل نظرياً الحصول عليه باستخدام التقنية القديمة ، تقنية شرائح السيليكون أو الجرمانيوم . أيضاً تستخدم المواد فائقة التوصيل كمغناطيسات قوية جداً. والسبب في ذلك أن النوع الثاني منها Type II له قابلية على الاحتفاظ بكمية كبيرة من المجالات المغناطيسية حيث يشكل ما يشبه المصيدة عندما تمر من خلاله ثم تبريده بعد ذلك . وهي فكرة على بساطتها يمكن استخدامها للاحتفاظ بسجلات الكترونية لشدات المجال المغناطيسي الأرضي في أماكن متعددة. حيث تؤخذ الموصلات إلى المكان المعين وعندما تتعرض للمجال يتم تبريدها بعد ذلك وتحتفظ بالمجال المسجل أثناء عملية [9]

التبريد إلى الأبد . كذلك يمكن استخدام الموصلات لصنع ملفات ذات تيار عال جدا مما يوفر مجالات مغناطيسية كبيرة (ربما عشرات التسلا) بسبب شدة التيار الهائل الذي يمر دون مقاومة والذي قد يزيد على ثلاثة آلاف أمبير للمليمتر المربع في المواد الجيدة[9]

# المصادر


1-https://www.sciencedaily.com/releases/2020/09/200921170502.htm

http://www.ebnmasr.net/forum/t61827.html

2-المواد فائقة التوصيل وتطبيقاتها(مقدمة)

٣-الخصائص الكهربائية والمغناطسية في الفيزياء –مصطفى نمر –دار غيداء -٢٠٠٥

4-H.kamerlingh onnes ,leiden comm 119b ,120b ,124c,(1911)

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

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

٧- https://www.alnwrsraby.net/33453/

٨-محمد علي ، حسن خزعل –المواد فائقة التوصيل – جامعة القادسية –قسم علوم كيمياء –سة النشر ٢٠١٦

٩-زهراء احمد –مواد فائقة التوصيل –جمهورية العراق وزاره الكهرباء -٢٠١٧