وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

جامعة بابل

كلية التربية للعلوم الصرفة

قسم الفيزياء

الموصلات الفائقة و تطبيقاتها في القطارات المغناطيسية

بحث مقدم الى

كلية التربية للعلوم الصرفة / قسم الفيزياء وهو جزء من متطلبات نيل شهادة البكالوريوس

في قسم الفيزياء

من قبل الطالبة

زينب جاسم جراد

بإشراف

م.د. محمد هاشم عباس

1445 هـ

2024 م

الآية القرآنية

بسم الله الرحمن الرحيم

وَعِندَهُ مَفَاتِحُ الْغَيْبِ لَا يَعْلَمُهَا إِلَّا هُوَ * وَيَعْلَمُ مَا فِي الْبَرِّ وَالْبَحْرِ * وَمَا تَسْقُطُ مِن وَرَقَةٍ إِلَّا يَعْلَمُهَا وَلَا حَبَّةٍ فِي ظُلُمَاتِ الْأَرْضِ وَلَا رَطْبٍ وَلَا يَابِسٍ إِلَّا فِي كِتَابٍ مُّبِينٍ

سورة الانعام 59

الحمد لله بعد أعوام من الدراسة والتعب، تخرجت بفضل الله

ودعاء أحبتي

ومساندتهم ودعمهم إليّ، أهدي تخرجي وفرحتي هذه إلى أهلي وأقاربي،

أشكر الله لما وفقنا لهذا ونسأله التوفيق في الحياة القادمة

وأن يوفقنا إلى المزيد لما يحبه ويرضاه علينا.

الى من جرع الكأس فارغا ليسقيني قطرة الحب، إلى من عمل بكد في سبيلي وعلمني

معنى الكفاح، إلى من دفعني إلى العلم وبه ازداد افتخاراً

والدي العزيز

إلى من ربتني وأنارت دربي، إلى معنى الحب وبسمة الحياة إلى من كان دعائها سر

نجاحي إلى الغالية على قلبي

أمي الحبيبة

إلى من هم أقرب إلى روحي وبهم استمد عزمي وإصراري إلى زينة الحياة وشموع الدرب

أخوتي وأخواتي

الى كل من رافقني في مشواري الدراسي من صديقاتي وزميلاتي

إلى جميع اساتذتي طوال فترة دراستي

إلى هؤلاء جميعاً اهدي ثمرة مجهودي هذا

والله ولي توفيق

نتقدم بأسمى عبارات الشكر والتقدير الى كل من اوقد لنا مشعل الحياة وحملنا على سفينة النجاة

الى كل من صرنا بفضله نكتب ونقرأ

الى كل من علمنا علما به ينتفع وأدب به يرتفع

بدا من معلمي الابتدائي وصولا الى اساتذتنا في التعليم الجامعي

تحية عطر وشكر وتقدير خاص للدكتور المشرف (م.د. محمد هاشم عباس) على كل ما قدمه لنا من توجيهات ومعلومات قيمة ساهمت في اثراء موضوع دراستنا في جوانبها المختلفة فله اسمى عبارات الثناء والتقدير

كما أتقدم ببالغ الشكر وكثير الامتنان الى من اعانني وقدم دعما او تسهيلات لهذه الدراسة اما فيض شكري وامتناني وفائق تقديري وعرفاني

فلوالدي الحبيب وامي

الحبيبة اللذين افاضا علي بدعائمها الدائم لي بالتوفيق.

الخلاصة

لقد فتحت التجارب في السنوات الأخيرة مجالًا واسعا للتعرف على أكثر من 30 عنصراً ومئات من المركبات تصلح لأن تكون فائقة التوصيل عند درجات حرارة حرجة وتشهد ظاهرة التوصيل الفائق هذه الأيام ضجة إعلامية وتنافسا دوليا عجيبا إذ ان تطبيقاتها ستشكل ثور ة حقيقية في نهاية القرن العشرين حيث إنها ستفتح افاقاً في عدة مجالّات .

كذلك فإن هذه المواد لها تطبيقات عديدة في مجال الإلكترونيات لما تمتاز بها من قدرة عالية في فتح وإغلاق الدائرة الكهربائية لتمرير التيار ومنعها وهذا يشكل العنصر أساسي في بني الكمبيوتر والبحث جار الآن لإدخال هذه المواد في صناعة السوبر كمبيوتر وإذ ا ما توصل إلى ذلك فإن هذا سوف يؤدي إلى تطور كبير في مجال الكمبيوتر .

أما في مجال الطب فقد تم صناعة أجهزة ذات حساسية عالية جداً المجالَات المغناطيسية المنخفضة الشدة وتستخدم الأن كبديل للمواد المشعة المستخدمة في تشخيص الأمراض التي قد تصيب الدماغ حيث يتم الكشف عن التغير في المجال المغناطيسي المنبعث من الشماع والتي تبلغ شدته (١٠ - ١٣) تسلا وهذ ا مقدار صغير جداً لكن تلك الأجهزة قادرة على قياسها ، كذلك يمكن بدقة تحديد مصدر الإشارات العصبية الصادرة من الدماغ وأيضا يمكن أن تستخدم في البحث عن المعادن الدفينة في باطن الأرض وعن مصادر المياه والنفط لأنها تحدث تغيراً طفيفا في المجال المغناطيسي للأرض وهذه التغيرات يمكن التقاطها بواسطة هذه الأجهزة

قائمة المحتويات

ت	عنوان الموضوع	رقم الصفحة
-	الواجهة	I
-	الاية القرانية	II
-	الاهداء	III
-	الشكر والتقدير	IV
-	الحلاصة	V
-	قائمة المحتويات	VI
-	قائمة الاشكال	VIII
الفصل الاول		
1.1	المقدمة	1
1.2	الهدف من البحث	8
الفصل الثاني		
2.1	ظاهرة الموصلية الفائقة	9
2.2	تعريف التوصيل الفائق	10
2.3	آلية التوصيل الفائق	11
2.4	مميزات الموصلات الفائقة	12
2.5	استخدامات الموصلات الفائقة	13
2.6	أنواع الموصلات الفائقة	14
2.7	أهمية خاصة للموصلات الفائقة عالية الحرارة	16
2.8	مزايا المواد فائقة التوصيل	17
2.9	ظاهرة ميزنر "التنافر المغناطيسي	19
2.10	ظاهرة الطفو	20
2.11	أزواج كوبر	21
الفصل الثالث		
3.1	تطبيقات المواد فائقة التوصيل	24
3.1.1	خطوط النقل	24
3.1.2	التطبيقات العسكرية	25
3.1.2	التطبيقات الطبية	25
3.1.4	التطبيقات الصناعية	26
3.1.5	التطبيقات الكهربائية وتخزين الطاقة	26
3.1.6	جهاز سكويد	27
3.1.7	أجهزة الميكروويف	27
3.1.8	كابلات القدرة	28
3.1.9	المغناطيس الفائق	28

3.1.10	أجهزة الرادار	29
3.1.11	عجلات الطاقة	29
3.2	تطبيقات المواد فائقة التوصيل في القطارات المغناطيسية	30
	المصادر	34

قائمة الاشكال

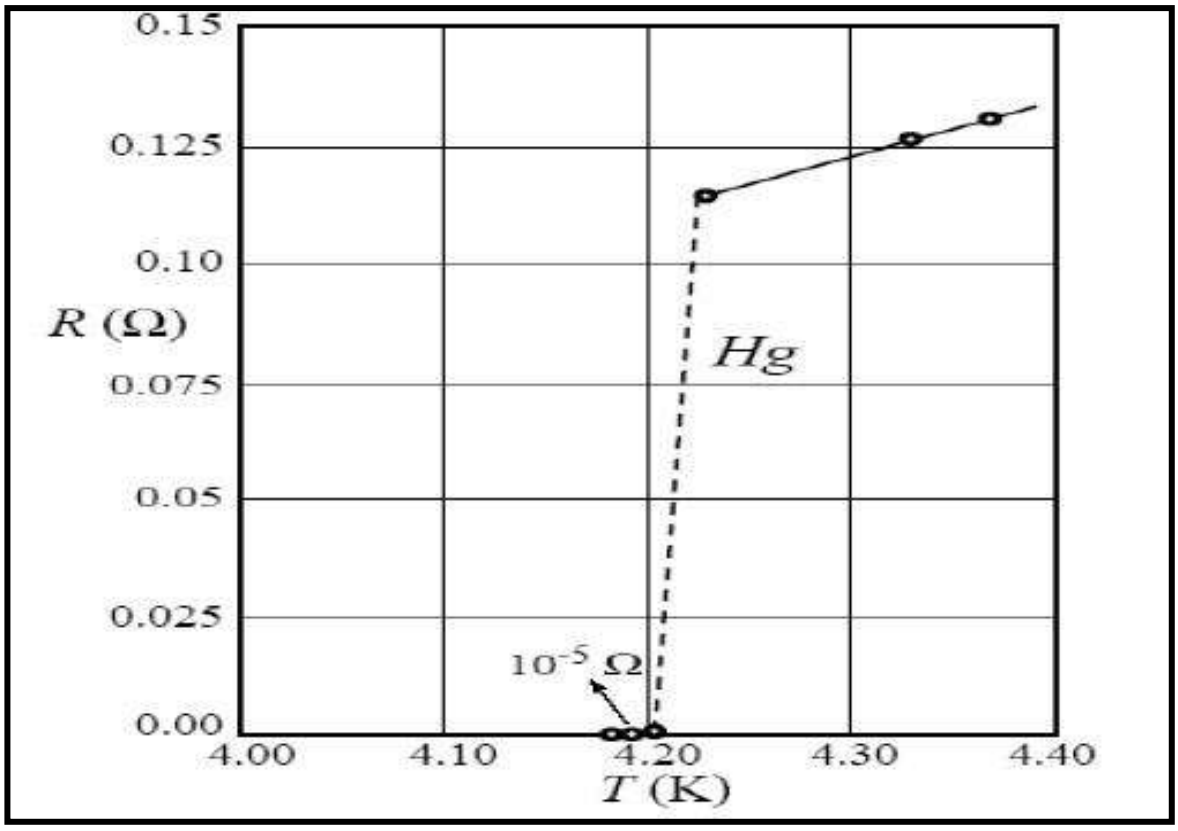
رقم الشكل	الموضوع	رقم الصفحة
(1.1)	المقاومة الكهربائية للزئبق عند درجة حارة منخفضة	1
(1.2)	سلوك المقاومية كدالة لدرجة الحرارة	2
(1.3)	يبين الشكل كيف الالكترون يمر بين صفين من النوى الموجبة الشحنة وهذه النوى القلوب الايونية الموجبة تجذب الالكترونات المارة، وهذا هو المبدأ الاساسي لنظرية (BCS).	5
(2-1)	سلوك المقاومة الكهربائية مع درجة الحرارة للزئبق فائق التوصيل	10
(2-2)	منحني التمغنط لموصل فائق التوصيل من النوع الأول	13
(2-3)	منحني التمغنط لموصل فائق التوصيل من النوع الثاني	14
(2-4)	تمثيل بياني لأزواج كوبر	17
(2-5)	تفاعل الإلكترون الحر الذي يتحرك خلال الشبيكة مع الأيونات الموجبة	17
(2-6)	يوضح موصل فائق وموصل مضاد لظاهرة ميزنر	18
(2-7)	ظاهرة الطفو في المواد فائقة التوصيل	19
(2-8)	العلاقة بين (JHT)	20
(2-9)	يوضح الحد الطوري بين الحالة العادية والحالة فائقة التوصيل	21
(2-10)	يوضح منحنى مغنطة موصل فائق التوصيل من النمط الأول تحت حيث لا يتم إختراق المجال	22
(2-11)	يوضح منحنى مغنطة موصل فائق من النمط الثاني حيث يكون السلوك مثل حالة النمط الأول وفيما بين و تنحدر M بنعومة نحو الصفر وترتفع B بنعومة نحو M	22
(3 – 1)	في الموصلات الفائقة لن يعترض طريق الالكترونات اية عوائق ولن تضيع بسبب ذلك اية طاقة	24
(3 – 2)	جهاز الرنين المغناطيسي الطبي يستخدم مغناطيسا فائق التوصيل كي يحصل على مجال مغناطيسي عالي الطاقة	25
(3 – 3)	يوضح نقل الكهرباء بدون خسارة للطاقة	26
(3 – 4)	يوضح كابلات القدرة	27
(3 – 5)	مغناطيس فائق التوصيلية	28
(3 – 6)	قطار فائق السرعة	29
(3 – 7)	قطار خارق لا يحتاج الى وقود	30
(3 – 8)	مجال مغناطيسي قوي يعمل على تكوين وسادة مغناطيسية ترفع القطار وتمنعه من ملامسة السكة الحديدية	32

الفصل الاول

Chapter 1

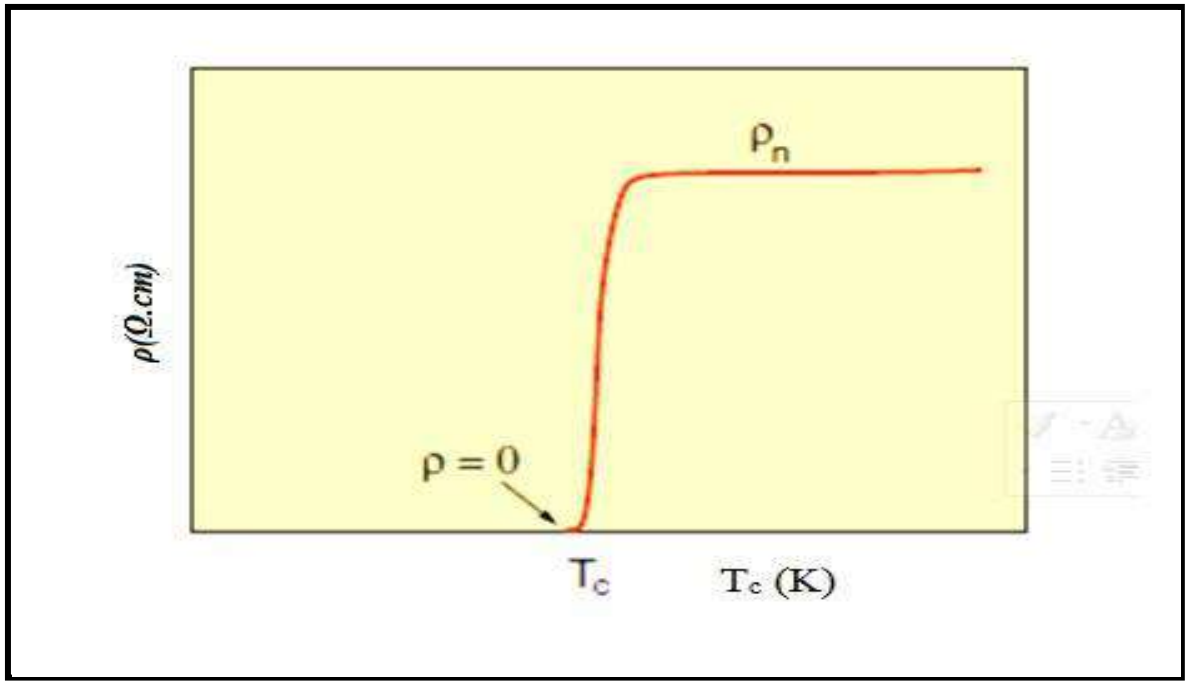
1.1 المقدمة

في عام 1908م نجح العالم الهولندي الشهير هيك كامرلينك 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 اي في عام 1911 لاحظ الفيزيائي الهولندي كاميرلنك اونيس (Kmmerling Onnes), في اثناء د ارسته لتغير المقاومة الكهربائية مع درجة الح ارة للزئبق الصلب)Hg وعند درجات ح ارة منخفضة جدا مستعملا بذلك التبريد بالهليوم السائل ان الزئبق يفقد مقاوميته الكهربائية عندما تكون درجة حرارته اقل من (4.2 K) وهي نقطة غليان الهليوم السائل كما موضح في الشكل, وهذا الاكتشاف ادى به الى ادارك وجود ظاهرة جديدة في المواد الصلبة تسمى **التوصيل الفائق الكهربائي**.



الشكل (1-1): المقاومة الكهربائية للزئبق عند درجة حارة منخفضة [1].

وبعد سنة واحدة اي في عام 1912 اكتشف أونيس ايضا, انه عند تسليط مجال مغناطيسي محوري قوي بما فيه الكفاية فان قيمة المقاومة ترجع الى حالتها الطبيعية, و في عام 1913 وجد ان عنصر الرصاص يصبح فائق التوصيل عند درجة حرارة (Tc = 7K) وعموما فان سلوك المقاومية كدالة لدرجة الح ارة عند تبريد المادة بالهليوم او النتروجين السائل موضح بالشكل [1] .



الشكل (2 – 1) :سلوك المقاومية كدالة لدرجة الحرارة [2] .

ومع استمرار عمليات البحث في هذه الظاهرة المدهشة فقد اكتشف في عام 1933 كل من مازنر و اوخنسفيلد(Meissner & Ochsenfeld) واحدة من اهم الخواص الاساسية للمواد فائقة التوصيل واكبرها حيث وجدا بان المجال المغناطيسي لايخترق المادة فائقة التوصيل. علي الجانب الأخر فإنه في عام 1933 وجد العالمان الألماني 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 (2). 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 [2].

العالم الألماني ميز نر

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 . في حين اقترح كورتر و كاسيمير(Gorter&Casimir) في العام 1934 نموذج المائعين (Tow-Fluid Model) والذي يفسر ظاهرة التوصيل الفائق, حيث يفترض هذا النموذج ان المائع الالكتروني في المادة فائقة التوصيل ممكن ان يوصف كمجموعة من مائعين (طبيعي وفائق التوصيل) .حيث ان الخواص للمكونات

الطبيعية مماثلة لتلك الخواص في النظام الالكتروني في المعادن الطبيعية. اما المكونات فائقة التوصيل فهي المسؤولة عن السلوك فائق التوصيل وان هذه الألكترونات لاتعاني استطارة عندما تكون قيمة الانتروبي تساوي صفر (انتظام تام) وعلى طول تشاكه بحدود($nm10^3$). وكذلك وضمن هذا النموذج فان تحليل الحرارة النوعية ومعلومات المجال الحرج دفع بكورتر وكاسيمير باقتراح صيغة تجريبية لاعتماد درجة الحرارة على كثافة الألكترونات الفائقة التوصيل حيث ان ($n_s=n(1-t^4)$) و($t=T/T_c$) و(n) هي الكثافة الكلية لالكترونات التوصيل [1].

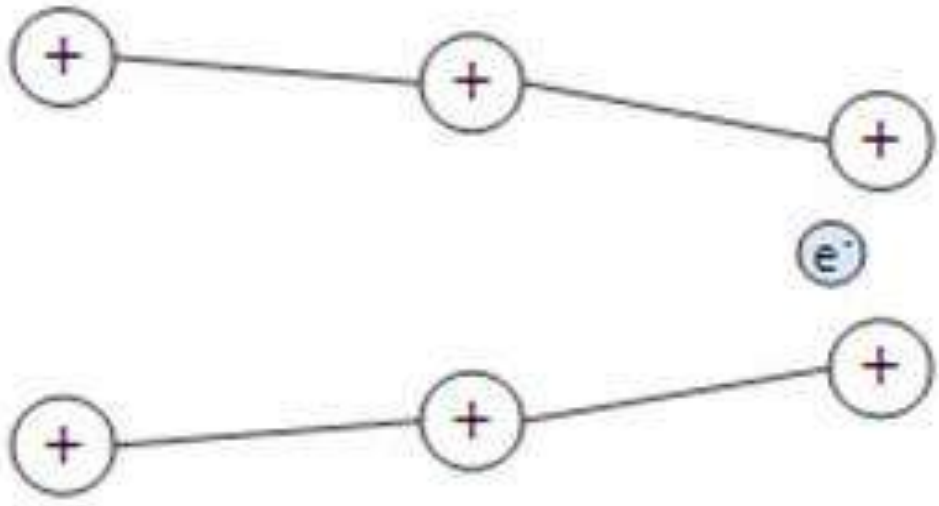
وقد ادى الاخوان لندن(F.&H.London) في العام 1935 دورا مهما خدم مفهوم ظاهرة التوصيلية الفائقة حيث تمكنا من تطوير الديناميكيا الكهربائية لظاهرة التوصيلية الكهربائية الفائقة من خلال تقديم معادلة لندن والتي اعدت كصيغة رياضية لتوضيح ظاهرة التوصيلية الكهربائية الفائقة وتأثير مازنر,ولقد وجدا عامل مهم يتعلق بالتوصيلية الكهربائية الفائقة والذي سمي بعمق الاختراق (λ). وكذلك بينا ان تأثير مازنر هو كنتيجة لتحقيق الحد الأدنى من الطاقة الحرة الكهرومغناطيسية المحمولة من قبل التيار فائق التوصيل, وفي عام 1947, قام العالم هايزنبرك بعمل سلسلة من البحوث في محاولة منه لتوضيح التوصيلية الكهربائية الفائقة بوساطة تحليل تفاعل كولوم في العديد من الأنظمة الألكترونية ومنها المعادن,حيث عدها كغاز الكتروني حر. وفي الوقت نفسه تقريبا قام كل من بورن وجانك(Born&Cheng) بمراقبة آلية مشابهة ذات علاقة بتفاعل كولوم اخذين بنظر الاعتبار وجود دورية الشبيكة البلورية. ان معادلة لندن تزودنا بوصف لخاصية الدايامغناطيسية الشاذة للمواد فائقة التوصيل في المجال الخارجي الضعيف , والتعميم الآخر لحالة المجالات القوية انجز من خلال نظرية العالمين (كينزبرك–لانداو) (Ginzburg-Landau) في العام 1950. والتي ادت دورا مهما في فهم فيزياء ظاهرة التوصيلية الكهربائية الفائقة من خلال دارسة دالة الموجة لوصف سلوك الألكترونات فائقة التوصيل. وبعد هذه الاكتشافات 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 [2].

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 1986 بنشر تقرير حول نجاحهما في تحضير مركب سيراميكي هو La-Ba-Cu-O− درجة تحوله في حدود 30 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 بعنصر اليتريوم للحصول على السيراميك Y-Ba-Cu− والذي فاقت حرارة تحوله ولأول مرة في التاريخ درجة الغليان لغاز النيتروجين والبالغة 77 كلفن .لقد وصلت حرارة التحول إلى أكثر من 90 كلفن 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 [2].

بالاضافة الى ذلك لقد اجريت دراسات عديدة لظاهرة التوصيلية الفائقة ووضعت نظريات مختلفة لتفسير هذه الظاهرة. ان اخر هذه النظريات التي اصبحت مقبولة ومقنعة هي النظرية التي وضعها الفزيائيون باردين (Bardeen) وكوبر (Cooper) وشريفر (Schrieffer) عام 1957، حيث حصلوا بموجبها على جائزة نوبل في الفيزياء عام 1972، ولقد اطلق على هذه النظرية بنظرية (BCS) نسبة الى الحروف الاولى

من اسماء هؤلاء العلماء. لقد لاقت نظرية (BCS) نجاحا متميزا عن باقي النظريات في تفسير الكثير من الظواهر الفيزيائية التي تتميز بها المواد فائقة التوصيل مثل ظاهرة مايسنر. ان الخوض في تفاصيل هذه النظرية يتطلب منا معلومات كافية في ميكانيك الكم المتقدم وفي الرياضيات المتقدمة العالية اللذين يقعان خارج نطاق المعلومات الحالية لهذا الموضوع، وبسبب محدودية الوقت المخصص للمنهج سوف نكتفي في دراستنا هذه بذكر الشرح المبسط لذكر نظرية (BCS) . لقد فسرت نظرية (BCS) ان انعدام المقاومة الكهربائية في المواد فائقة التوصيل ناتج عن الحالة الخاصة لترتيب الكترونات التوصيل من التاثير المتبادل بين الالكترونات واهتزازات الشبيكة. لقد افترض انه بدلا من التنافر بين زوج من الالكترونات نتيجة القوى الكهروستاتيكية ،فان الكترونات التوصيل تتجمع في طبقة رقيقة جدا بالقرب من سطح فيرمي وتكون قادرة على التجاذب. وقد وضحت نظرية (BCS) ذلك على اساس استجابة القلوب الايونية الموجبة في البلورة للالكترونات المارة بالقرب منها وكما مبين في الشكل ادناه [2]:



شكل (3-1): يبين الشكل كيف الالكترون يمر بين صفين من النوى الموجبة الشحنة وهذه النوى القلوب الايونية الموجبة تجذب الالكترونات المارة، وهذا هو المبدأ الاساسي لنظرية (BCS).

تقسم المواد من حيث قدرتها على توصيل الكهرباء إلى عوازل (Insulators) مثل الخشب ، و اشباه الموصلات (Semiconductors) مثل السيليكون ، وموصلات (Conductors) مثل النحاس ، هناك نوع اخر أو هو ما يعرف **باسم الموصلات فائقة التوصيل (Superconductors)** ولكن الموصلات فائقة التوصيل سميت هكذا نظرا لأنها عند درجة حرارة معينة (منخفضة نسبيا) تصبح مقاومتها للكهرباء مساوية للصفر ، و تصبح قدرتها على التوصيل فائقة جداً ، حيث أنه إذا ما وجد تيار كهربي فحلقة متصلة من هذه المادة فإنه سوف يسرى داخل الحلقة بدون وجود مصدر للجهد الكهربائي . 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. [1]

1.2 الهدف من البحث

الهدف من البحث هو دراسة الموصلات الفائقة و استكشاف وتحليل هذه التقنية المتقدمة ودراسة كيف يمكن استخدامها في تحسين أداء وتقنية القطارات المغناطيسية.

الفصل الثاني

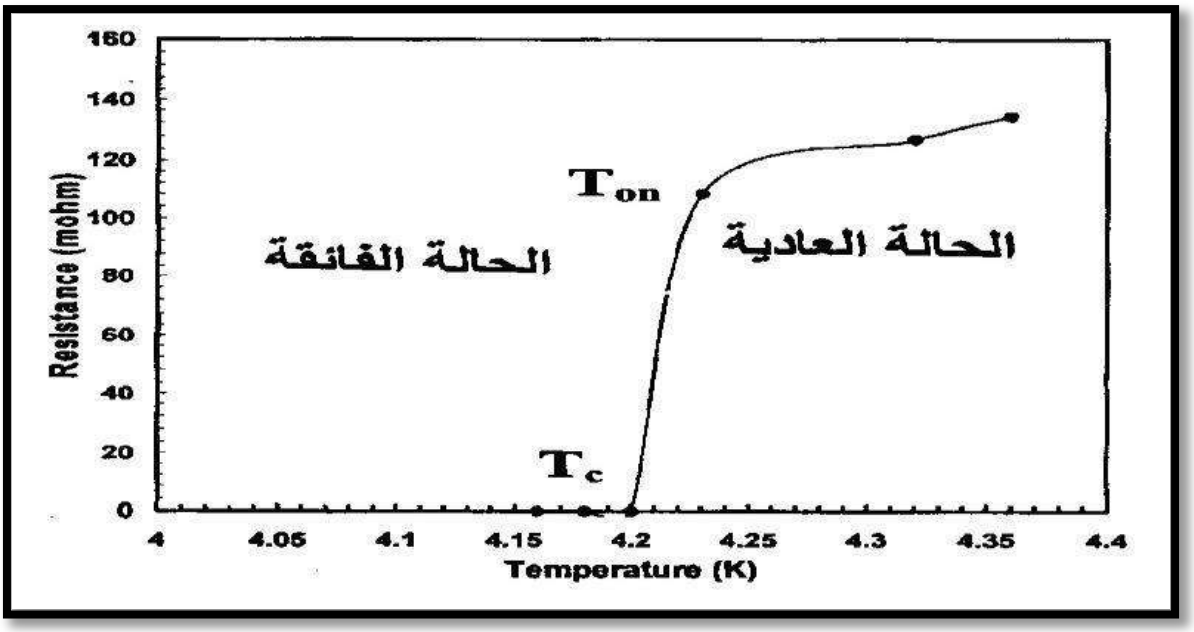
Chapter 2

2.1 ظاهرة الموصلية الفائقة

من المعلوم أن المقاومة الكهربائية للجوامد تنشأ أثر حيود البلورات الحقيقية عن سلوك الشبيكة البلورية المثالية للمواد والتي تساعد على تشتت الإلكترونات أثناء عملية التوصيل الكهربائي مما يؤدي إلي فقد جزء كبير من الطاقة الكهربية على 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 على ذلك فإن تشتت الإلكترونات على بعضها البعض نشئ هو الآخر قدراً ملموسا من المقاومة الكهرائبية حتى في إهمال تشتت الإلكترونات على الفوتونات وعيوب الشبيكة البلورية. الجدير بالذكر أن المقاومة الكهربائية للمواد وحتى نهاية القرن الثامن عشر كانت تقاس حتى درجات حرارة منخفضة والتي كانت درجة حرارة النتروجين السائل 77 درجة مطلقة (أي ما يعادل 619 درجة تحت الصفر المئوي). لكن مع بداية القرن التاسع عشر تمكن الباحثين من الحصول على الهليوم السائل والذي وصلت درجة حرارته إلي 24، درجة مطلقة (أي ما يعادل 862.8 درجة تحت الصفر المئوي) وبالتالي تمكن الباحثين من قياس المقاومة الكهربائية للمواد عند درجات حرارة منخفضة حتى هذه الدرجة. في عام 1911 بينما كان العالم الهولندي هيك كامرلين أونيس يقوم بقياس المقاومة الكهربائية للزئبق النقي عند درجة حرارة الهليوم السائل وجد أن المقاومة الكهربائية للزئبق تنهار وتؤول إلى أقل من 0001.0 أو (الصفر تقريبا) كما يتضح في شكل (1-2) [3].

لذا أطلق أونيس على هذه الظاهرة بالموصلية الفائقة لأن التوصيل الكهربائي يصل للما لانهاية عند هذه الدرجة كما أطلق على درجة الحرارة التي تتحول عندها المادة من الحالة العادية إلي الحالة الفائقة بدرجة الحرارة الحرجة Tc بينما درجة الحرارة التي تبدأ عندها المقاومة الكهربائية في الانخفاض المفاجئ سميت بدرجة حرارة التحول Ton كما يعرف الفرق بين درجة الحرارة الحرجة ودرجة حرارة البداية بعرض الانتقال .

أما سلوك المقاومة الكهربية خلال المنطقة من درجة حرارة الغرفة وحتى درجة حرارة التحول يسمى 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 على جائزة نوبل عن استحقاق لهذا الإنجاز العظيم في عام 1913 [3].



الشكل (1-2) : سلوك المقاومة الكهربائية مع درجة الحرارة للزئبق فائق التوصيل [3] .

2.2 تعريف التوصيل الفائق

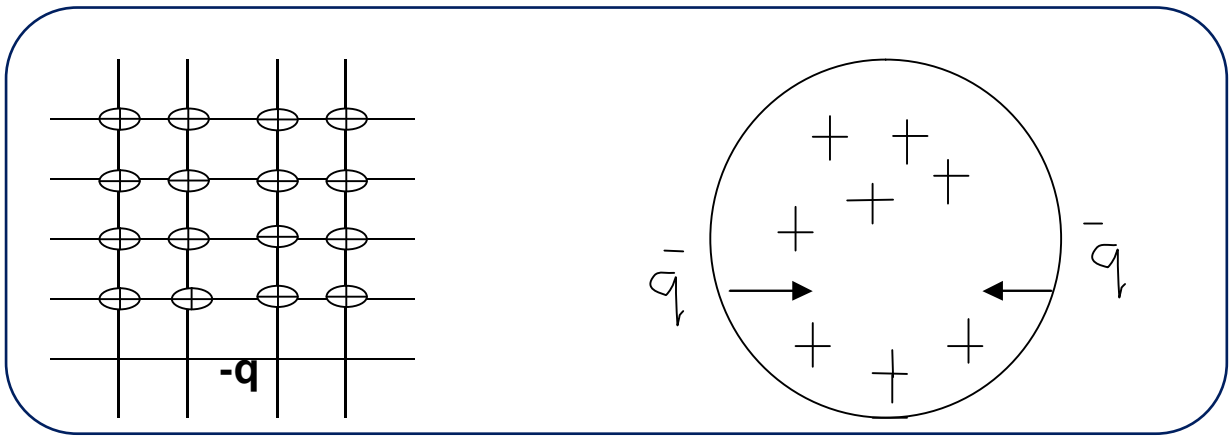
تحدث ظاهرة التوصيل الفائق عند إنعدام المقاومة الكهرائبية والفيض المغناطيسي داخل بعض المواد عند تبريدها إلى درجات حرارة منخفضة وتسمى درجة الحرارة التي عندها او عند درجات حرارة ادنى منها بـ الدرجة الحرجة ويرمز لها بالرمز T_C .فالمواد التي في حالتها العادية (Normal State) تتحول إلى حالة التوصيل الفائق (Super Conductivity State) عندما تنخفض درجة حرارتها إلى درجة الحرارة الحرجة او أقل

وتختلف قيمة من مادة إلى اخرى. وبذلك تكون المادة الموصلة قد فقدت مقاومتها ، وتصنيفها ضمن المواد ذات المغنطيسية العكسية " الديامغنطيسية [4].

2.3 آلية التوصيل الفائق

يحدث التوصيل في الموصل الإلكتروني بإنتقال الإلكترونات تحت تأثير المجال ليسري تيار كهربائي . تبين المقاومة "التشتت والتصادم "الذي يحدث للإلكترونات بالفعل البيني مع مكونات البلورة وتصادمها مع الشوائب وعيوب البلورة ، ولكن عند الصفر المطلق تسكن حركة الإلكترونات وتظهر بعض المقاومة المتبقية في جميع الموصلات المعتادة. ويمكن فهم آلية التوصيل الفائق من تفاعل الإلكترون الحر الذي يتحرك خلال البلورة مع الأيونات الموجبة التي تجذبها بعيداً عن أماكن إتزانها مولدة شحنة موجبة تجذب بها إلكترونات اخرى فبالتالي ينشأ تجاذب بين الإلكترونات ، فإذا زادت قوى التجاذب عن قوى التنافر فإنه يتيح لإلكترونات الإتحاد تكوين ازواج تعرف بـ ازواج كوبر حيث ترتبط هذه الإلكترونات بمقدار طاقة الترابط . فإذا بذلت طاقة فإن الإلكترونات تعود لطبيعتها . ويسمى الفرق في الطاقة بين المنسوب الأعلى لزوج الإلكترونات والأدنى المناظر للحالة العادية بفجوة الطاقة E_g [5].

b =bound ، g= gap



شكل(2-2): تمثيل بياني لأ زواج كوبر، تفاعل الإلكترون الحر الذي يتحرك خلال الشبيكة مع الأيونات الموجبة [5].

2.4 مميزات الموصلات الفائقة

الموصلات الفائقة أو المواد الفائقة هي مواد تتمتع بقدرة استثنائية على توصيل التيار الكهربائي بدون مقاومة أو مقاومة قريبة جدًا من الصفر عند تبريدها إلى درجات حرارة منخفضة جدًا، تسمى بدرجة الحرارة الحرجة . وتتميز الموصلات الفائقة بعدة مميزات مهمة، ومنها: [6]

1. مقاومة صفرية :تعني أن الموصلات الفائقة تتيح تدفق الكهرباء بدون أي مقاومة تقريبًا عند درجات الحرارة الحرجة المنخفضة .وهذا يعني أنها تتيح تيارًا كهربائيًا مستمرًا وقويًا دون خسائر كبيرة في الطاقة بسبب الاحتكاك.
2. كفاءة عالية :نظرًا لعدم وجود مقاومة تذكر في الموصلات الفائقة، فإنها تعمل بكفاءة عالية جدًا .وهذا يعني أنها تستهلك كمية أقل من الطاقة لنفس التيار المار في الموصلات التقليدية، مما يقلل من التكلفة ويحسن استخدام الطاقة.
3. التيار العالي :الموصلات الفائقة قادرة على حمل تيار كهربائي عالي بدون أن تتأثر بزيادة درجة حرارتها . وهذا يعني أنها قادرة على التعامل مع تيارات كهربائية كبيرة وتطبيقات ذات قدرة عالية
4. قوة مغناطيسية :تتميز الموصلات الفائقة بقدرتها على تحمل مجالات مغناطيسية قوية دون أن تفقد خواصها الفائقة .وهذا يسمح بتطبيقات مغناطيسية قوية مثل القطارات المغناطيسية وأجهزة الرنين المغناطيسي وتخزين الطاقة المغناطيسية.
5. تطبيقات واسعة :الموصلات الفائقة تستخدم في العديد من المجالات التقنية والعلمية مثل البحوث الفيزيائية والتجارب، والتطبيقات الطبية مثل الرنين المغناطيسي الطبي، وتطبيقات النقل مثل القطارات

2.5 استخدامات الموصلات الفائقة

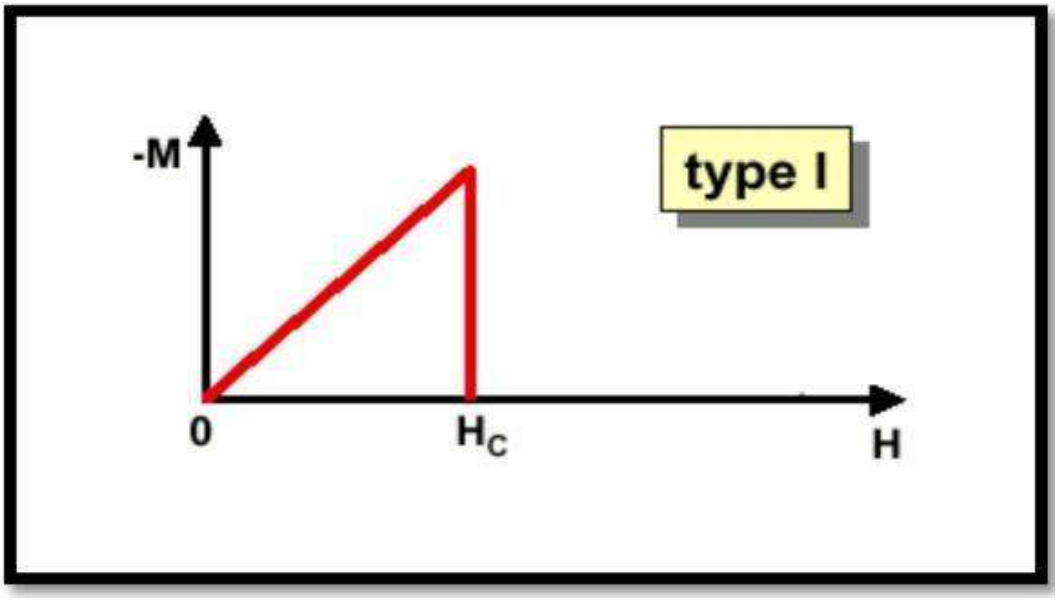
ويستخدم التوصيل الفائق في المجال الكهرومغناطيسي. وقد تمكن الباحثون من تطوير مغانط فائقة التوصيل، تستخدم كهرباء أقل من المغانط الكهربائية العادية. وقد مكنت مغانط التوصيل الفائق علماء الفيزياء من إنشاء معجل جسيمات أكثر فاعلية، وهي أجهزة تزيد سرعة جُسَيمات الذرة. ويبحث العُلماء اليوم عن الاستخدامات الممكنة للمواد الجديدة فائقة التوصيل عند درجة حرارة عالية. فهم مثلاً يجرون اختبارًا على جهاز مفتاح فائق التوصيل يضبط الدوائر الكهربائية في الحاسوب. وتعمل هذه الأجهزة بسرعة فائقة ولا تنُتجِ أي حرارة تقريباً. وقد يكون التوصيل الفائق مفيدًا لتوصيل الكهرباء. فخطوط القدرة المصنوعة من المواد فائقة التوصيل يمكن أن تحمل تيارًا عبر مسافات بعيدة دون فقدان أي قدرة بسبب المقاومة الكهربائية. وخطوط القدرة هذه يمكن أن توفِّر كميات كبيرة من الطاقة. وإضافة إلى ذلك، فهي تسهل اختيار مناطق لمحطات القدرة بحيث يكون تأثير تلك المحطات على الناس وعلى البيئة قليلاً. وهنالك العديد من المشاكل التي يجب حلها قبل الاستخدام التجاري للموصلات الفائقة عند درجات الحرارة العالية. ويصعب تصنيع معظم الموصلات الفائقة الخزفية. ونجد الخزف أيضًا مادة سريعة الانكسار وليس من السهل تصنيعها في هيئة أسلاك. ولكن طور الباحثون أشرطة رفيعة مرنة تستطيع حمل تيارات كبيرة. هذه بعض المميزات الرئيسية للموصلات الفائقة، وتعتبر هذه التقنية مثيرة للاهتمام ولها تطبيقات متعددة توفر فوائد كبيرة في مجالات مختلفة[6].

2.6 أنواع الموصلات الفائقة

تقسم الموصلات الفائقة حسب درجة حرارتها الحرجة إلى:

أ- النوع الأول

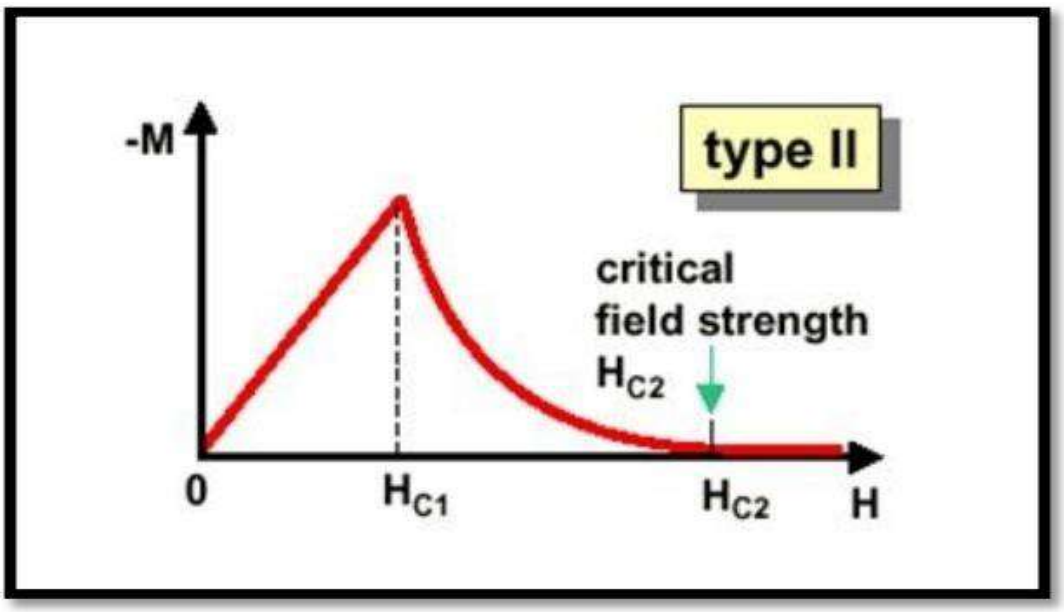
وجد أن هنالك ثلاثين نوعاً من المعادن النقية في حالة تبريدها الى درجات حرارة واطئة فأنها تظهر مقاومية كهربائية مساوية للصفر ،وكذلك تم طردها للمجال المغناطيسي من داخلها عند تحولها من الحالة الطبيعية إلى الحالة فائقة التوصيل (تأثير مازنر (، وتسمى هذه المعادن بالموصلات الفائقة من النوع الأول ، (Type-Superconductors) وان التوصيلية الفائقة توجد فقط عند درجات الحرارة الواطئة والأقل من درجات الحرارة الحرجة وايض اً عندما يكون المجال المغناطيسي اقل قيمة من المجال المغناطيسي الحرج ،وقد وصف النوع الأول من الموصلات الفائقة من قبل نظرية (BCS) والتي تعتمد على الازدواج الألكتروني من خلال تفاعل اهتزازات الشبيكة ان النوع الأول من الموصلات الفائقة تكون محدودة الفائدة بسبب أن المجالات المغناطيسية الحرجة تكون صغيرة جداً والحالات فائقة التوصيل تختفي بصورة مفاجئة عند درجات الحرارة الحرجة ،وأن هذا النوع من الموصلات الفائقة ، بالموصلات الفائقة الرخوة (Soft-Superconductors) وكما في الشكل (1-7) . يمتاز النوع الأول بأن طول التشاكه الذي هو خاصية لحجم دالة الموجة للزوج الالكتروني (هو اطول من عمق الاختراق(،وان معامل كينزينييرك -لانداو هو ،(K1/2) كما انه يظهر استجابة تامة لتأثير مازنر ،وايض اً توجد له قيمة واحدة للمجال المغناطيسي الحرج (H) وتكون واطئة جد اً بحدود ،(0.11) ولقيمة اقل من (H) تكون المادة فائقة التوصيل وأعلى منها تكون في حالتها الطبيعية [7]



الشكل (3-2): منحني التمغنط لموصل فائق التوصيل من النوع الأول [7]

ب- النوع الثاني .

تسمى الموصلات الفائقة من النوع الثاني (Type Il-Superconductors) بالموصلات الصلبة (Hard-Superconductors) والتي تبقي الحالات فائقة التوصيل عند درجات حرارة عالية ومجالات مغناطيسية عالية بدأ النوع الثاني من الموصلات الفائقة في عام 1930مع سبائك بزموت –رصا ص ، حيث وجد أن العديد من السبائك والمركبات تظهران الخاصية فائقة التوصيل ،وقد ظهرت بأنها تمتاز بمجالات حرجة أعلى بكثير ،كما انها تستطيع حمل كثافات تيار عالية جداً وهي في الحالة فائقة التوصيل ان الموصلات الفائقة من النوع الثاني تكون اشد صلابة ميكانيكياً من النوع الاول وايضاً تظهر مجالات مغناطيسية حرجة أعلى بكثير من تلك التي ممكن أن تظهر في النوع الاول مثل سبيكة (النيوبيوم "تيتانيوم) (NDT) المستعملة في بناء المغانط فائقة التوصيل ذات المجالات العالية،.وكما موضح في الشكل [7].



الشكل (3-2): منحني التمغنط لموصل فائ ق التوصيل من النو ع الثاني

نجد في النوع الثاني من الموصلات الفائقة عندما يكون المجال المغناطيسي بين المجالين المغناطيسيين الحرجين فان الموصل الفائق يكون في الحالة المختلط (Mixed State) التي تسمى بالحالة الدوامية (Vortex state)والتي تكون فيها العديد من اللباب للمادة الطبيعية محاطة بالمادة فائقة التوصيل وبزيادة المجال المغناطيسي فان الدوامات في الفائقة تزداد الى ان تعود المادة فائقة التوصيل الى حالتها الطبيعية[7].

2.7 أهمية خاصة للموصلات الفائقة عالية الحرارة

1- سهلة التحضير ويستطيع جميع المهتمين بالحصول عليها بيسر

2 - رخيصة الثمن حيث إن أكبر مكوناتها هو النحاس والباريوم والكالسيوم وهي رخيصة ومتوفرة

3- 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 إن ذلك الاستقرار يزيد بتزايد الفرق بين درجة حرارة العمل ودرجة حرارة التحول

5- انه يسهل تشكيلها بأشكال مختلفة مثل الرقائق والأفلام أو المواد المكدسة وكذلك وحيدة التبلور [8].

2.8 مزايا المواد فائقة التوصيل

الميزة الأولى والأكثر وضوحا : هو الخسائر ضئيلة الطاقة التي تحدث في الموصلات الفائقة على عكس الموصلات العادية. فإنه يصبح أكثر تكلفة وكفاءة في استهلاك الطاقة للغاية إذا يمكن تشغيلها الأجهزة الكهربائية مع عدم وجود مقاومة لتدفق الإلكترونات. وهم بالتالي قادرا على تحمل تيارات كبيرة لفترة طويلة مع خسائر ضئيلة الطاقة في شكل حرارة. في جميع التجارب التي أجريت حتى الآن ، قامت التيارات فائقة لسنوات مع عدم وجود خسائر للتسجيل. لديهم أيضا القدرة على السماح للأجهزة الإلكترونية لتعمل بشكل أسرع بكثير ، ومركبات النقل ، مثل القطارات ، لتصل إلى سرعات تصل إلى 581 كلم [8].

الميزة الثانية هو قدرتها على العمل في درجة حرارة أعلى بكثير من الحرج موصل جيد للكهرباءوكثير غيرها على تدفق منه. وكان وكيل التبريد المستخدمة قبل عام 1986 الهليوم السائل ، وهي مكلفة ولكن المبرد الخيار الواقعي الوحيد نظرا لدرجات حرارة منخفضة الحرجة من الموصلات الفائقة من النوع 1. أصبحت فائقة ومع ذلك ، عندما تم اكتشاف أول نوع موصل جيد للكهرباء التي كان لها و أن درجة الحرارة الحرجة من النيتروجين السائل (77 ك) ،. النيتروجين السائل هو حوالي 20 مرة أكثر فعالية كمبرد من الهليوم السائل وحوالي 1 / 10 ومكلفة ، مما يجعل الموصلات الفائقة من النوع 2 أكثر فعالية من حيث التكلفة من الموصلات الفائقة التقليدية. ويبين الجدول 1 قائمة على كل من النوع 1 والنوع 2 ودرجات حرارة فائقة التوصيل انتقاداتهم منها. كما تم اكتشاف أنه يمكن جعل بعض الموصلات الفائقة من النوع 2 من العناصر الأرضية النادرة. هذه

الخصائص لا يكون لها عدد من المزايا في المستقبل المنظور لشبكات الكهرباء ، والمحركات والمولدات وأجهزة الكمبيوتر التي سيتم التعامل معها أدناه [8].

مادة	نوع	Tc(K)
الروديوم	1	3.25×10^{-4}
زنك	1	0.88
الالمنيوم	1	1.20
قصدير	1	3.72
زئبق	1	4.15
قيادة	1	7.20
النيوبيوم-الجرمانيوم	1	23.2
YBCO ($YBa_2Cu_3O_7$)	2	92
الثاليوم-الباريوموالنحاس اوكسيد الكالسيوم	2	125
$HgBa_2Ca_2Cu_3O_8$	2	133

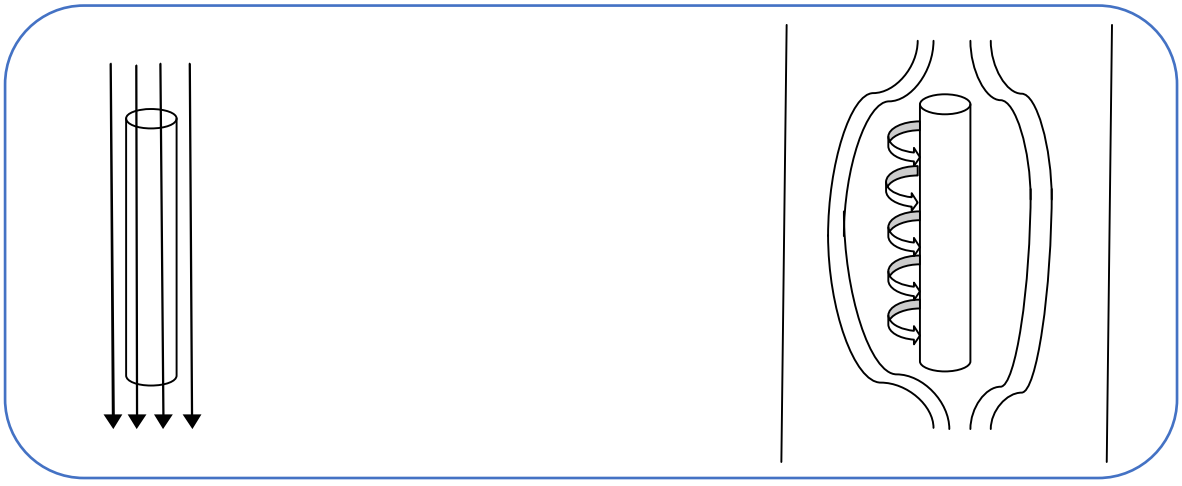
الجدول 1 - درجة الحرارة الحرجة من مختلف الموصلات الفائقة.

ويمكن اختصار هذه المزايا بأنها

1. سهلة التحضير.
2. رخيصة الثمن نسبيا"
3. تتحول فوق درجة غليان النيتروجين وهو رخيص الثمن وسهل الحمل والنقل والحفظ.
4. الفرق بين درجات تحولها ودرجة الوسيط المبرد(النيتروجين)كبير مما يجعلها أكثر إستقرارا".
5. يسهل تشكيلها بأشكال مختلفة مثل الرقائق والأفلام أو المواد المكدسة

2.9 ظاهرة ميزنر "التنافر المغناطيسي

توضح هذه الظاهرة أن المواد عند التحول لموصل فائق تكون حساسة جدا للمجال المغناطيسي ، حيث تنفر المجال المغناطيسي وتعكسه مهما ضعفت شدته . ويمكن تفسير ذلك بأنه عند إنتقال المادة من الحالة العادية إلى حالة المقاومة الصفرية فإنها تنشأ خلال هذه العملية تيارات سطحية وذلك بسبب التغييرات المفاجئة للروابط الذرية والجزيئية في المادة الموصلة حيث تؤدي هذه التيارات إلى إلغاء المجال المغناطيسي داخل الموصل وعليه ينشأ تأثير مغناطيسي عكسي على اي جسم يقترب من الموصل . ويلاحظ ان سلوك الموصل الفائق في المجال المغناطيسي يشبه تماماً سلوك المادة الديامغانطيسية من حيث تنافرها مع المجال ، إذ يعتمد الحث المغناطيسي B في اي مادة على المجال المغناطيسي المؤثر H والعزم المغناطيسي M وفقاً للمعادلة $B = {}_0 M + H\mu_o$ وبتطبيق أثر ميزنر للموصل الفائق يكون B=0 وبالتالي تكون M=- μoH أي ان القابلية المغنطيسية سالبة ولذلك فالموصل الفائق مادة ديا مغنطيسية تامة [9].



$T>T_c T<T_c$

شكل (4- 2): يوضح موصل فائق وموصل مضاد لظاهرة ميزنر

فإذا بردنا كرة لتصبح فائقة التوصيل نجد انه في وجود مجال مغناطيسي ثابت وعند درجة حرارة أسفل تطرد خطوط الحث المغناطيسي خارج الكرة.فإذا كان لدينا موصل فائق عند درجة حرارة أقل من درجته الحرجة ومطبق عليه مجال مغناطيسيH نجد ان الطاقة تستنفذ في إنشاء مجال خارجي بالتيارات الكهربية والتي تلقي المجال المغناطيسي في باطن الموصل الفائق ،إذا كان المجال المطبق كبير فإن المادة تعود إلى حالتها العادية من حيث دواعي الطاقة ويتمكن المجال من إختراقها وذلك لأنه على الرغم من أن الحالة العادية لها طاقة حرة كبيرة مقارنة بحالة التوصيل الفائق تحت في مجال H=0 إلا أنه عند مجال كبير ودرجة كافية تكون الزيادة في الطاقة الحرة كبيرة من التغيير الناشئ عن خفض طاقة المجال المغناطيسي عندما تختفي التيارات الساترة بما يسمح لخطوط المجال المغناطيسي بإختراق العينة. ويتم الإختراق عند زيادة شدة المجال على الأبعاد الهندسية للعينات أي عندما تكون العينة على هيئة إسطوانة طويلة ونحيفة ويوازي محددها مع إتجاه المجال فإن النوعين من السلوك يظهران ويمثل كل منهما نمطاً محدداً من الموصلات الفائقة [10].

2.10 **ظاهرة الطفو** Floating phenomena

من المعلوم أن الموصل الفائق هو موصل تام التوصيل و تنعدم مقاومته الكهربائية عند درجة الحرارة الحرجة ولذا فإننا إذا أدخلنا تياراً كهربائياً في حلقة من سلك فائق التوصيل فإن هذا التيار سوف يستمر في السريان إلى أن السلك يظل محتفظاً بموصليتها الفائقة في احدي التجارب استمر سريان التيار بدون انقطاع في حلقة من سلك فائق التوصيل لمدة عامين ونصف دون أي نقص في شدته اودون تغذية الحلقة بأي مصدر كهربي خارجي. ولقد تم تسمية التيارات التي لا تجد أية مقاومة ل سريانها في موصل فائق بالتياراتالدائمة والتي تحدث عند مجالات مغناطيسية متغيرة مما ينشأ ظاهرة الطفو المثيرة الموضحة بالشكل (6-2) عند وضع مغناطيس صغير فوق موصل فائق فإن المجال المغناطيسي عل ى سطح الموصل الفائق يسبب

تيارات دائمة تُشئ قوي تنافر مع المغناطيس بحيث تقوي وتشتد كثيراً باقتراب المغناطيس من الموصل الفائق حتى يتم رفع المغناطيس في الهواء فيظهر وكأنه عائم في الهواء [11].

الشكل(5-2) : ظاهرة الطفو في المواد فائقة التوصيل

2.11 أزواج كوبر

في 1975 حدث تقدم ملحوظ في علم الموصلية الفائقة بواسطة الفيزيائيين الامريكا ن Cooper and Schrieffer Theory (BCS) Bardeen هؤلاء العلماء الثلاثة اسسو نظرية BCS الموصلية الفائقة للمواد عند درجا ت الحرارة القريبة من الصفر المطلق لقد وجدت النظرية حل يفسر ميكانيكية التوصيل الكهربائي في المواد الفائقة والتي تبنى على فكرة أزواج كوبر نسبة إلى العالم كوبرأحد مؤسسي النظرية. لقد أشارت النظرية إلى أن هناك قوى ترابط تنشأ بين الإلكترونات في المواد فائقة التوصيل بخلاف ما تمليها النظرية الكلاسيكية من وجود قوى التنافر كولوم بين الإلكترونات سالبة الشحنة بحيث يحدث تجاذب بين الإلكترون ونظيره لتكوين ما يسمى بأزواج كوبر هذه العملية تحدث نتيجة تفاعل الإلكترون مع الشبيكة البلورية والتي تعمل على جعل أحد الإلكترونات كما لو كان محاط بحاجز من الشحنات الموجبة بحيث تكون أكبر بكثير من الشحنات السالبة التي يمتلكهاالإلكترون الثاني وبذلك تطغى قوى التجاذب على قوى التنافر مما يؤدي إلي تقارب الإلكترونيين مـــــــــــــن بعضـــــــــــــهما مكـــــــــــــونين أزواج كـــــــــــــوبر [7].

الفصل الثالث

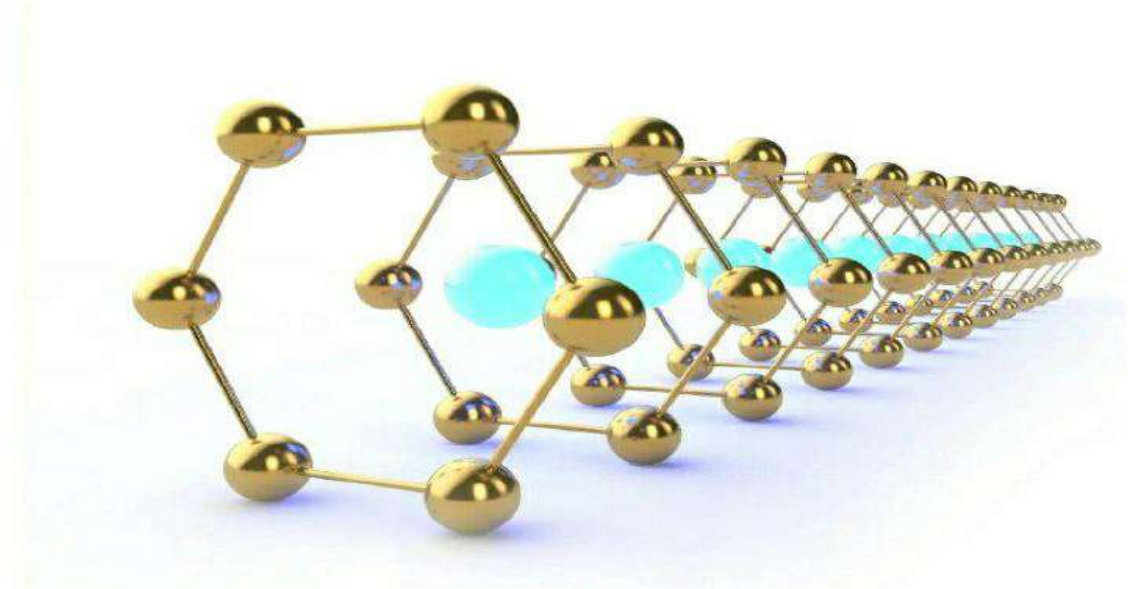
Chapter 3

3.1 تطبيقات المواد فائقة التوصيل

تشهد ظاهرة التوصيل الفائق هذه الأيام ضجة إعلامية وتنافسا دولياً عجيباً، وذلك لتطبيقاتها التي فتحت أفاقا في الكثير من المجالات وأهمها: صنع قطارات تسير بسرعة هائلة على وسادة من المغناطيس. صناعة الأجهزة الإلكترونية المختلفة وخاصة صناعة أجهزة حاسوب صغيرة الحجم وسريعة الأداء. صناعة أسلاك ضخمة فائقة التوصيل لنقل الكهرباء لإنارة المدن مثلاً. هناك العديد من التطبيقات المختلفة للمواد فائقة التوصيل نذكر منها:

3.1.1 خطوط النقل

تنتج خطوط (كابلات) النقل فائقة التوصيل خسائر أقل بكثير من الخطوط العادية، فهي مهمة جدا لنقل الطاقة، حيث لاقت اهتماما متزايدا من قبل الباحثين والمصنعين، وذلك لقدرتها على حمل تيارات كهربائية تصل إلى خمسة أضعاف ما يتحمله كابل من النحاس بنفس الأبعاد، وبالتالي تنقل الطاقة من مكان لآخر دون فقدان يذكر[11].



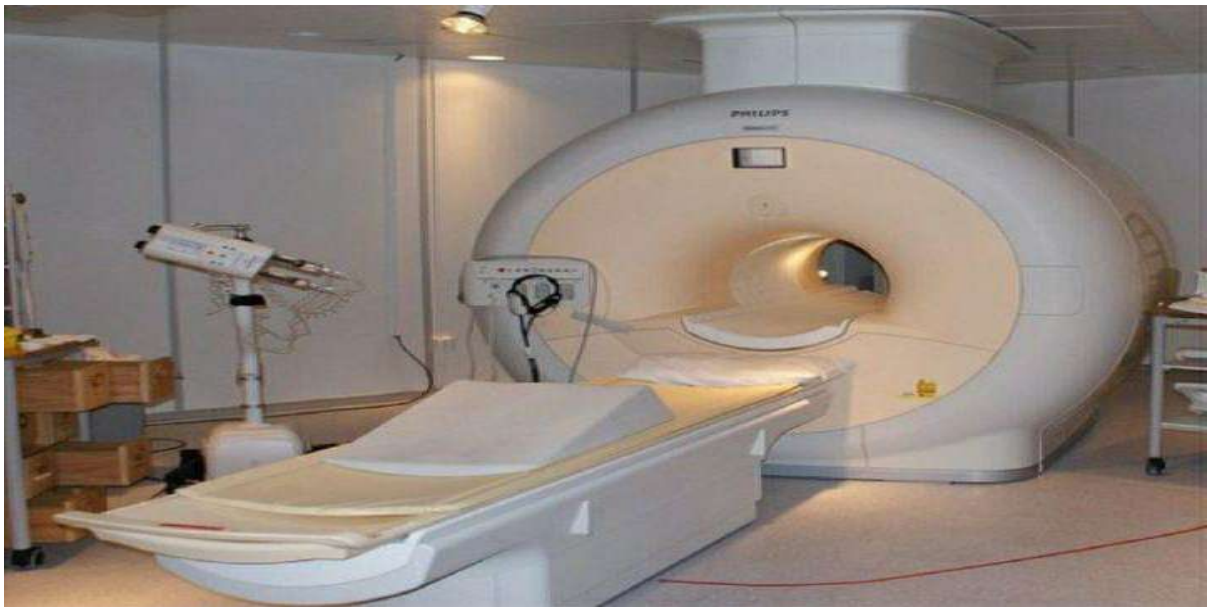
يوضح الشكل (1 – 3): في الموصلات الفائقة لن يعترض طريق الالكترونات اية عوائق ولن تضيع بسبب ذلك اية طاقة

3.1.2 التطبيقات العسكرية

استعملت الموصلات الفائقة في الرادارات العسكرية، لقدرتها على طرد المجالات المغناطيسية، وتجعل الصورة الرادارية غاية في الوضوح، وذلك باستعمال الدروع المغناطيسية والتي هي عبارة عن اسطوانات ذات مقاسات مختلفة مصنوعة من مواد فائقة التوصيل، يوضع بداخلها مصدر للإلكترونات، فيحميها من المجالات الخارجية. تستخدم أيضا في كاشف السكويد (يتكون من حلقة وهي عبارة عن وصلتين من مواد فائقة التوصيل)، ودوره رصد التغير في الحقل المغناطيسي، والكشف عن أدق الأعطال المتمثلة في الشقوق و الشروخ في أجسام الطائرات العسكرية والمدنية [11].

3.1.3 التطبيقات الطبية

يمكن الاستفادة من نفس الدروع المغناطيسية التي سبق الإشارة إليها في تطبيقات طبية كثيرة، وذلك لدراسة الإشارات الكهربائية والمغناطيسية الصغيرة جدا المتولدة من المخ أو القلب أو الجهاز العصبي. وتستخدم المواد الفائقة التوصيل في أجهزة الرنين المغناطيسي لتوليد مجال مغناطيسي كبير، يسمح لها بالحصول على صور داخل جسم المريض [11].



الشكل (2 – 3): جهاز الرنين المغناطيسي الطبي يستخدم مغناطيسا فائق التوصيل كي يحصل على مجال مغناطيسي عالي الطاقة

3.1.4 التطبيقات الصناعية

يتم استخدام المغنطيسيات القوية لفصل الشوائب عن الأطعمة وعن المواد الخام وذلك مثل اوكسيد الالمونيوم وكربونات الكالسيوم وهناك تقنيات تستخدم تلك المغنطيسياتللوصول إلى درجات حرارة منخفضة تصل الى 10 كلفن . وايضا يتم استخدامها في المصانع لرفع الآلات والأجزاء الحديدية الثقيلة ونقلها من مكان إلى آخر وقد تم صنع مواد ذات احجام كبيرة للسنتمتر المربع عند درجة حرارة 77كلفن في مجال مغنطيسي شدته 1 تسلا أما عند إزاحة المجال فإن شدة التيار تصل الى17 ألف أمبير للسنتمتر المربع [11].

3.1.5 التطبيقات الكهربائية وتخزين الطاقة

يمكن إستخدام الموصل الفائق في توليد مجال مغنطيسي ذو كثافة عالية جداً تمكنه من توليد طاقة كهربية ضخمة دون اي فقد في الطاقة. تستخدم أسلاك من شبكة النيوديوم – تيتانيوم المبردة بالهيليوم السائل ويمكن ايضا استخدام النيتروجين السائل في عملية التبريد وامتصاص الحرارة الناشئة [11].

يوضح الشكل (3– 3) : نقل الكهرباء بدون خسارة للطاقة

3.1.6 جهاز سكويد

يتركب جهاز سكويد لقياس شدة التمغنط من حلقة من الموصل الفائق مكونة من وصلتين من المواد فائقة التوصيل تسمى 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

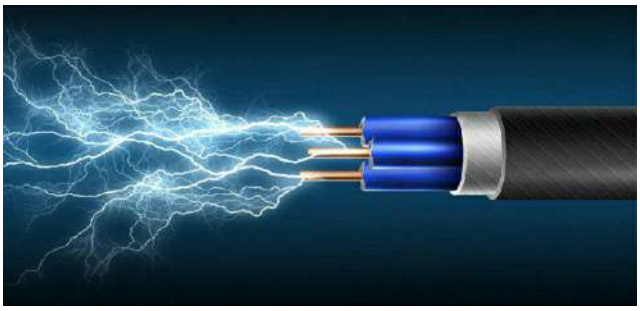
لقياس الفيض المغناطيسي تصل إلى حوالي 10–14 تسلا هذه المجالات تعتبر أقل من المجال المغناطيسي للأرض بمقدار 1000 مرة علي الأقل.وبالتالي فقد أستطاع الباحثين من استخدام جهاز سكويد في رصد المجالات المغناطيسية الناتجة عن أعضاء جسم الإنسان مثل القلب والمخ والجهاز العصبي والتي كان من الصعب رصدها بالأجهزة المعتادة حيث أنها كانت تتطلب ساسية 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 100 تسلا و عن المخ يكون في حدود 10013 تسلا [11].

3.1.7 أجهزة الميكروويف

تتميز المواد الفائقة بصغر قيم المقاومة الكهربائية عند درجات حرارة الغرفة من المعلوم أيضا أنه 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 [12].

3.1.8 كابلات القدرة

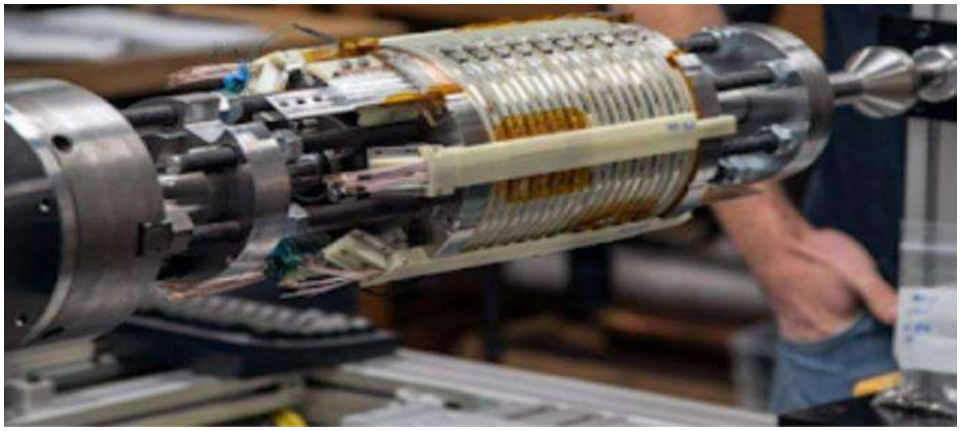
لقد وجد أن المواد الفائقة تتحمل تيارات كهربائية عالية مما أدي إلي تصنيع كابلات من المواد الفائقة بحيث تتمكن هذه الكابلات من حمل تيارات كهربائية تصل إلى خمسة أضعاف ما يتحملها كابل من النحاس بنفس الأبعاد والمواصفات وبالتالي تتمكن هذه الكابلات من نقل الطاقة من مكان لأخر بدون أي فقد يذكر مما سوف يساهم في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



يوضح الشكل : (4– 3) كابلات القدرة

3.1.8 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 [13].



3.1.10 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 بوضع بداخلها مصدر الإلكترونات فيحميها من المجالات الخارجية ويجعل صورة الرادار غاية في الوضوح [13].

3.1.11 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، لقد استفيد منها ولفترة طويلة في تحريك القطارات. غير أن المشكلة التي كانت تواجهها دائماً هي أن الاحتكاك الداخلي يستنزف الطاقة الحركية مع مرور الزمن، غير أن الاستفادة من ظاهرة الطفو المغناطيسي تمك ننا من صنع عجلات دوارة في جو خال من الاحتكاك تماماً مما يجعلها تحتفظ بطاقتها إلى الأبد، وهكذا جميع المحركات والآلات يمكن أن تستفيد من الظاهرة اللاحتكاكية مما يقلل الحاجة إلى كثير من اعمال الصيانة والأعطال ويجعل عمرها يتضاعف إلى عدة مرات [14].

3. 2 تطبيقات المواد فائقة التوصيل في القطارات المغناطيسية

القطارات الفائقة هي تكنولوجيا متقدمة في مجال النقل تهدف إلى تحقيق سرعات عالية جدًا للقطارات. تعتمد هذه القطارات على مفهوم المغناطيسية العالية (Maglev)، وهي تقنية تستخدم المجالات المغناطيسية للتحكم في تحرك القطارات دون أي احتكاك مع السكة.تعمل القطارات الفائقة بواسطة تعليق المركبة فوق السكة باستخدام المغناطيسات. تولد المغناطيسات القوة المغناطيسية اللازمة للرفع ودفع القطار عند المستوى المطلوب من السكة، وبالتالي يتم تقليل الاحتكاك بين القطار والسكة إلى الحد الأدنى. ينتج عن ذلك تحقيق سرعات عالية جدًا وقد تصل لمئات الكيلومترات في الساعة.تتمتع القطارات الفائقة بعدة مزايا. فهي توفر سرعات سفر أعلى بكثير مقارنة بالقطارات التقليدية، مما يقلل من وقت السفر بشكل كبير. كما أنها تعتبر بيئيًا أكثر فعالية، حيث أنها لا تعتمد على الوقود الأحفوري ولا تنتج انبعاثات ضارة للبيئة. بالإضافة إلى ذلك، فإن الاحتكاك المنخفض يعني أن الصيانة المطلوبة للسكك الحديدية والقطارات أقل بكثير[15].

الشكل (6– 3): قطار فائق السرعة

تعتبر القطارات الفائقة تقنية مبتكرة ومستقبلية في مجال النقل، وهناك بعض الدول التي تعمل على تطوير وتنفيذ هذه التكنولوجيا، مثل اليابان والصين وألمانيا وكوريا الجنوبية. ومع ذلك، يجب ملاحظة أن تحقيق هذه القطارات الفائقة يتطلب استثمارات كبيرة في البنية التحتية والتكنولوجيا، وقد لا تكون متاحة على نطاق واسع

في جميع أنحاء العالم حاليًا. يستخدم هذا النوع من القطارات في العديد من الدول وتضعه بعضها تحت الدراسة؛ كما أنه تحت الإنشاء في البعض الآخر، ويعد القطار فائق السرعة وسيلة نقل ذات قدرة كبيرة وله الكثير من المميزات، ولهذه الفئة من القطارات دور كبير في خدمة التطوير الاقتصادي والاجتماعي أصبح القطار فائق السرعة أحد الاختراعات التكنولوجية الهامة في نقل الركاب في النصف الثاني من القرن العشرين، ففي بداية عام ٢٠١٠ كان يوجد تقريبا ١٤٦٠٠ كم من خطوط القطارات فائقة السرعة، وذلك في دول مختلفة حول العالم؛ يتضمن الكثير منها مسارات تقليدية تم تطويرها، ومن المتوقع أن يصل هذا الرقم إلى ٣٥٠٠٠ كم في الـ ١٥ سنة القادمة ويوجد نوعين منها : إما ذات العجل الصلب الإطارات المطاطية على أنظمة السكة الحديد وإما ذات أنظمة التحليق المغناطيسية؛ لذلك فإن هذه الوسيلة تكون الأنسب للركاب الذين يرغبون في تقليل وقت السفر والخدمة الفضلي[15].

لذلك فإن تكلفة إنشاء القطارات فائقة السرعة عالية جدا؛ حيث إنها تتطلب بنية تحتية قوية، ومن ثم تتطلب استثمارا عاليا في تلك البنية، كذلك يجب أن نضع في الاعتبار كيفية انتقال تلك التكلفة إلى المستخدمين؛ حيث إنه من المستحيل البدء في تنفيذ مثل هذا المشروع دون النظر إلى مسألة التكلفة للمستخدمين وكذلك الدولة. لهذا فإن قرار إنشاء خطوط فائقة السرعة يحتاج إلى تنسيق بين العديد من الجهات؛ سواء الإدارية والمحلية والقومية، وعلى كل المستويات؛ لكي يتم الحصول على أفضل نتيجة، فمنذ نشأة هذا النوع من القطارات ودائما تتم الإشارة إلى أنه أحد الاستثمارات التي تساعد في تطوير الاقتصاد وتنمية المجتمع [16].

فيعرف البعض تكنولوجيا القطارات فائقة السرعة على أنها مجموعة من العناصر التي تشكل البنية التحتية لهذا النظام، وتنقسم هذه البنية إلى ثلاثة أنواع من الخطوط كالخطوط المنفصلة المبنية لسرعات ٢٥٠ كم في الساعة، والخطوط الموجودة التي تم تطوير سرعتها إلى 200 كم في الساعة، والخطوط المتطورة التي تقيد سرعتها بظروف كل دولة كالتطور المدني وخصائص وسمات سطح الأرض. ولا يوجد تعريف محدد

للقطارات فائقة السرعة أو حتى اسم محدد لها، ففي بعض الأحيان يطلق عليه القطار السريع أو يسمى القطار فائق السرعة، فتلك القطارات تتضمن كثيرا من العوامل المعقدة مما يجعل التعريف بها يختلف طبقا للتصنيف المستخدم من أجله، كما يعكس الاتحاد الدولي للقطارات فائقة السرعة هذا التنوع من كل النواحي كالبنية التحتية والتشغيل في القطارات على وجه الخصوص، حيث تم صنع قطارات تسير بسرعة هائلة (مقاربة لسرعة الطائرة) على وسادة (سكة) مغناطيسية . إن من شأن الاستفادة من ظاهرة الطفو المغناطيسي أو التعليق أن تتوفر قطارات معلقة في الهواء، وبالتالي فهي[16]:-

1- تسير بدون احتكاك مما يعطي توفيراً هائلاً في الطاقة من جهة ويوفر سرعات كبيرة من جهة اخرى،

2- التخلص من الضوضاء.

3- تلك القطارات سوف تكون مريحة جداً وخالية من المطبات لأنها تسير على وسادة هوائية.

وفي اليابان تم تجريب هذه الفكرة عملياً، حيث يرتفع القطار بحدود عشرة سنتيمترات عن المسار. والقطار يحوي المواد فائقة التوصيل في حين تتوفر المغانط الكبيرة على الطريق. وفي داخل القطار يتوفر جهاز تبريد، وهذا الجهاز هو كل ما يلزم حيث يستفاد من قوة التنافر مع المغانط نفسها في دفع القطار وتسييره بسرعات تزيد على 500 كم في الساعة. بنيت فكرة تصميم هذه القطارات على ظاهرة الطرد المغناطيسي بحيث تطفو أو تعوم عجلات القطارات المصنوعة من المواد فائقة التوصيل على 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 إلى (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 افتتاا أول خط سكة حديد من المواد الفائقة واختبارها في إبريل 1997 في نفس العام ديسمبر ١٩٩٧ تم تنفيذ عجلات قطار من المغناطيس الفائق أطلقوا عليها MLX حيث يتكون القطار من ثلاث عربات سجلت سرعة

قدرها (Km / h) 53 وفي شهر مارس من عام ١٩٩٩ تم تصنيع قطار فائق مكون من خمس عربات حيث وصلت سرعته (Km / h)548 وفي ديسمبر 2003 وصلت سرعة القطار الفائق إلى (Km / h) 581 . في سول بكوريا الجنوبية هناك قطار فائق سرعته Km / (h) 300 وسوف تصل سرعته في 2008 إلى (Km / h) 412 هذا القطار طوله 388 m ووزنه 771 طن ويحتوي على 18 عربة ويسع 935 راكب [16].

الشكل (8 – 3) مجال مغناطيسي قوي يعمل على تكوين وسادة مغناطيسية ترفع القطار وتمنعه من ملامسة السكة الحديدية

المصادر

1. محاضرات المواد فائقة التوصيل م. د. شذى هاشم مهدي / م. م. رحاب نصرفاضل / قسم علوم الفيزياء / كلية التربية للعلوم الصرفة (ابن الهيثم / جامعة بغداد) بغداد – العراق 2019
2. نبذة عن المواد فائقة التوصيل / أستاذ الفيزياء د. أحمد صدقي
3. "معلومات عن موصلية فائقة على موقع enciclopedia.cat". enciclopedia.cat. مؤرشف من الأصل في 2019-08-04.
4. تحضير مركبات **O-Cu-Ba-Y** فائقة التوصيل ودراسة خصائصها التركيبية والكهربائية / رسالة ماجستير / مروة وليد عبد الرحمن / جامعة بغداد / كلية التربية للعلوم الصرفة / أبن الهيثم / قسم الفيزياء 2019
5. محاضرات المواد فائقة التوصيل وتطبيقاتها
6. أ.دمحمد محمد الزيدية، خواص المواد الصلبة، جمهورية مصر ، القاهرة ، دار النشر مدينة نصر ، الطبعة الأولى ، 2008
7. أ.د رأفت كامل واصف ، اساسيات فيزياء الجوامد ، جامعة القاهرة ، دار النشر للجامعات المصرية ، الطبعة الثالثة ، 2008.
8. أ.د محمد أمين سليمان و(آخرون) ، فيزياء الجوامد ، القاهرة ، مدينة نصر ، دار الفكر العربي ، الطبعة الأولى ، 2005
9. A.Barone and Paterno, Physics and Applications of the Josephson Effect, wiley, (1982.)
10. C. Francke, M. Offiner, A. Kramer, L. Mex and J.Muller, Supercond. Sci. Technol. 11, 1311 (1998.)
11. Rohlf, James William, Modern Physics from A to Z, wiely (1994)
12. Mansour, Raafat R. "Microwave superconductivity." *IEEE transactions on microwave theory and techniques* 50.3 (2002): 750-759.
13. Kawaguchi, Tamio, et al. "Superconducting narrowband filter for receiver of weather radar." *IEICE transactions on electronics* 92.3 (2009): 296-301.
14. Hartikainen, Teemu, Risto Mikkonen, and Jorma Lehtonen. "Environmental advantages of superconducting devices in distributed electricity-generation." *Applied energy* 84.1 (2007): 29-38.
15. Werfel, F. N., et al. "Superconductor bearings, flywheels and transportation." *Superconductor Science and Technology* 25.1 (2011): 014007.
16. Miryala, Santosh, and Michael Rudolf Koblischka. "Experimenting with a Superconducting Levitation Train." *European Journal of Physics Education* 5.4 (2014): 1-9.