وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

جامعة بابل

كلية التربية للعلوم الصرفة

قسم الفيزياء

(تطبيقات المواد فائقة التوصيل)

بحث تخرج مقدم الى مجلس كلية التربية للعلوم الصرفة

كجزء من متطلبات نيل شهادة البكالوريوس

من قبل الطالب

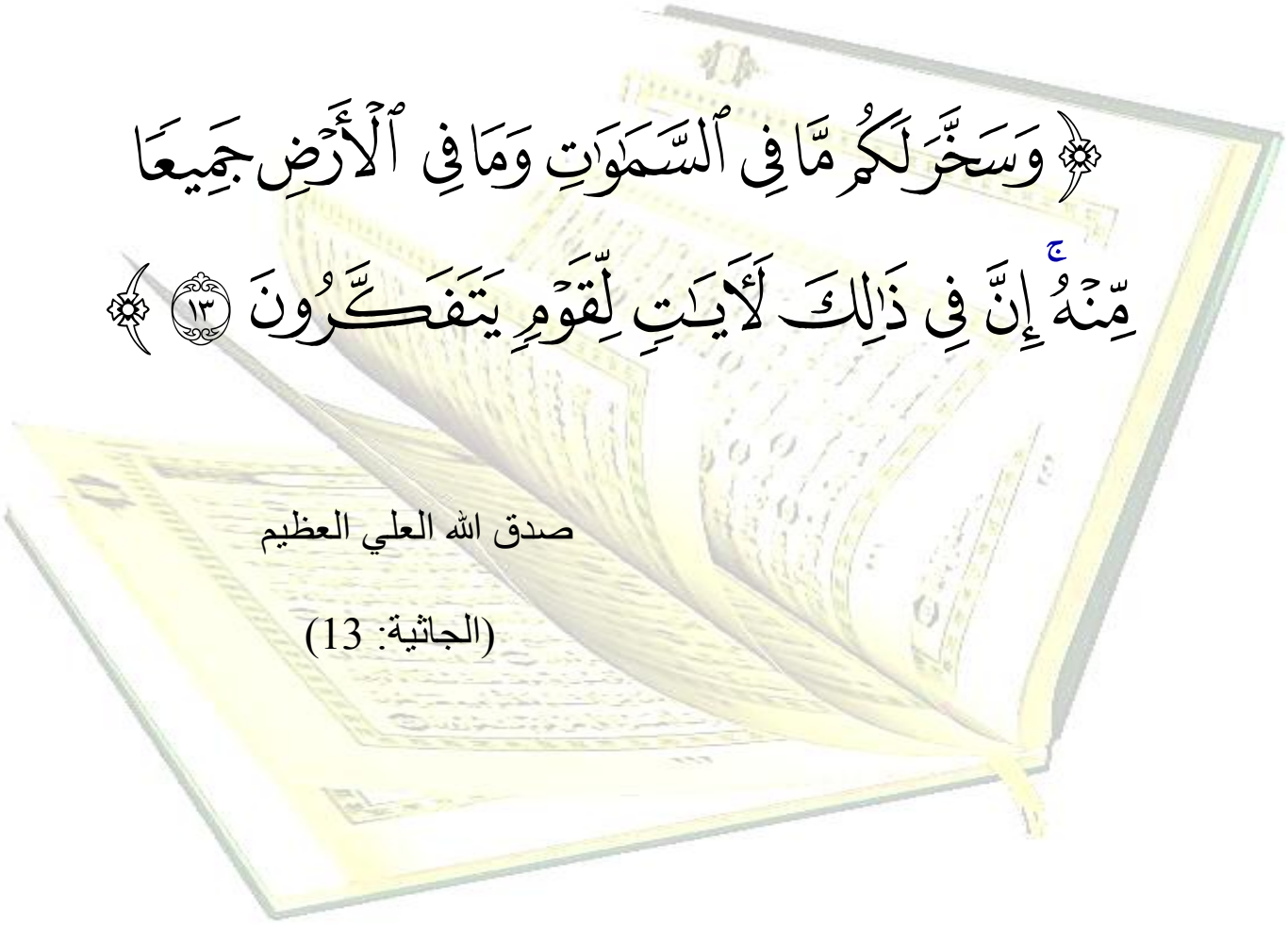
عباس مظهر فالح

بإشراف

أ .م .د . صفا احمد جبار

1447 2026م

بسم الله ا لرحمن الرحيم



﴿ وَسَخَّرَ لَكُم مَّا فِي ٱلسَّمَٰوَٰتِ وَمَا فِي ٱلۡأَرۡضِ جَمِيعٗا
مِّنۡهُۚ إِنَّ فِي ذَٰلِكَ لَأٓيَٰتٖ لِّقَوۡمٖ يَتَفَكَّرُونَ ١٣ ﴾

صدق الله العلي العظيم

(الجاثية: 13)

الشكر والتقدير

الحمد لله أولاً وآخراً الذي وفقني لإتمام هذا البحث، ووفقني لاجتياز هذه المرحلة العلمية والصلاة والسلام على النبي المصطفى واله الطبين الطاهرين.

أتقدم بخالص الشكر وعظيم الامتنان إلى أستاذتي (صفا احمد جبار) لما قدمته لي من توجيه علمي سديد، وملاحظات قيّمة، وصبر كريم كان لها الأثر الكبير في إنجاز هذا البحث بصورة أفضل.

كما أتقدم بالشكر إلى جميع أساتذتي الكرام في قسم (الفيزياء) لما بذلوه من جهد في تعليمي وإرشادي طوال فترة دراستي.

ولا يفوتني أن أتقدم بجزيل الشكر إلى كل من ساهم من قريب أو بعيد في إتمام هذا العمل، سواء بالدعم العلمي أو المعنوي.

وأخص بالشكر والامتنان عائلتي الكريمة على دعمهم المستمر وتشجيعهم الدائم الذي كان دافعاً لي للاستمرار والنجاح.

والله وليّ التوفيق.

الاهداء

إلى من كانا سبب وجودي ونجاحي...

إلى من تعبا لأرتاح، وسهرا لأنام مطمئناً...

إلى أغلى ما أملك في هذه الحياة...

أبي وأمي

أطال الله في عمرهما وأدامهما تاجاً على رأسي.

إلى عائلتي الكريمة التي كانت سندي بعد الله،

وإلى كل من دعمني بكلمة طيبة أو دعوة صادقة.

أهدي ثمرة جهدي المتواضع هذا،

راجياً من الله أن يكون فيه الخير والنفع

الخلاصة

المواد فائقة التوصيل من أهم الاكتشافات في فيزياء الحالة الصلبة، إذ تتميز بقدرتها على نقل التيار الكهربائي دون مقاومة عند درجات حرارة منخفضة، إضافة إلى ظاهرة طرد المجال المغناطيسي (تأثير ميسنر). وقد فتحت هذه الخصائص المجال أمام تطبيقات تقنية متقدمة أحدثت نقلة نوعية في عدة مجالات علمية وصناعية.

تناول هذا البحث مفهوم التوصيل الفائق، وأنواعه، والظروف الفيزيائية اللازمة لحدوثه، مع التركيز على أهم تطبيقاته العملية، مثل أجهزة التصوير بالرنين المغناطيسي في المجال الطبي، والقطارات المغناطيسية فائقة السرعة، وأنظمة تخزين الطاقة، ونقل القدرة الكهربائية بكفاءة عالية، إضافة إلى استخدامه في أجهزة القياس الحساسة والحواسيب الكمية.

وخلص البحث إلى أن المواد فائقة التوصيل تمثل تقنية واعدة لمستقبل الطاقة والنقل والتقنيات المتقدمة، إلا أن التحدي الرئيس ما يزال متمثلاً في الحاجة إلى درجات حرارة منخفضة وتكاليف التبريد المرتفعة، مما يدفع العلماء إلى مواصلة البحث عن مواد فائقة التوصيل تعمل عند درجات حرارة أعلى لتوسيع نطاق استخدامها عملياً .

جدول المحتويات

الموضوع	رقم الصفحة
الايه القرآنية	II
الاهداء	III
الشكر والتقدير	IV
الخلاصة	
قائمة المحتويات	
الفصل الاول	6-1
الفصل الثاني	13-7
الفصل الثالث	17-14
المصادر	19-18

الفصل الاول

1.1المقدمة:

في الفيزياء تُقسم بعض المواد من حيث موصليتها الى مواد موصله وأخرى غير موصله ففي بعض المواد عند تبريدها إلى درجات حرارة منخفضة جدا تقترب من الصفر المطلق (صفر) كلفن)، حيث تسمح الموصلات الفائقة بمرور الكهرباء خلالها دون أي مقاومة كهربائية تقريباً

عادة تنخفض المقاومة الكهربائية للموصلات المعدنية تدريجيا مع انخفاض درجة الحرارة، وفي حالة الموصلات العادية كالنحاس أو الفضة فإن الشوائب الموجودة في المادة تمنع الوصول إلى حد أدنى من المقاومة في درجات الحرارة المنخفضة. ولذلك فعند الاقتراب إلى درجة حرارة تقارب درجة الصفر المطلق فإن عينة من النحاس مثلا لا يمكن أن 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 20 كلفن أو أقل [1].

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 [2]

1.2 تاريخ المواد فائقة التوصيل

يعود اكتشاف حالة الموصلية الفائقة إلى عالم الفيزياء الهولندي «كامرلنغ أونس-

Kamerlingh Onnes» عام 1911. كان أونس يدرس الخصائص الكهربائية لمادة الزئبق في مختبره في جامعة ليدن Leiden university» في هولندا. واكتشف أن المقاومة الكهربائية للزئبق تتلاشى كليًا عند تبريده بشكل الكبير، لحوالي درجة مئوية فقط فوق الصفر المطلق * وليتأكد من نتيجته؛ طبق أونس تيارًا كهربائيًا على عينة من الزئبق المبرد ، ثم فصل منبع التيار

استمر جريان التيار في الزئبق دون أي ضياع، مما أكد انعدام المقاومة الكهربائية، وفتح لنا أبوابًا واسعة من تطبيقات الموصلية الفائقة. الصفر المطلق - Absolute zero هو أقل درجة حرارة يمكن الوصول لها وتساوي -273.15 درجة مئوية. أمضى الباحثون عقودًا من الزمن يبحثون في طبيعة الموصلية الفائقة وما يسببها. فوجدوا أن عدة مواد ليس (كلها تكتسب خاصية الموصلية الفائقة عند تبريدها إلى درجة حرارة معينة توسع فهمنا للموصلات الفائقة مع اكتشاف الفيزيائيين «والترو «روبرت أو كسنفلد- Robert أنها "تطرد الحقول المغناطيسية قريبة مما يعني أنها تمنع الحقول الضعيفة من التوغل فيها. وقد سميت هذه الظاهرة «تأثير ميسنر – Meissne » عام 1933.ميسنر – Meissne «Walther ثم عام 1950 نشر عالما الفيزياء النظرية «ليف لانداو-Lev Landau» و «فيتاليجينزبرغ-Vitaly Ginzburg أول نظرية ناقشت كيفية عمل الموصلات الفائقة. نجحت نظريتهما في توقع خصائص الموصلات الفائقة ولكنها درستها على المقياس الكبير، وأهملت ما يحدث على المستويات دون الذرية وأخيرًا؛ طور الفيزيائيون جون باردين John Bardeen » و «ليون كوبر » و «روبرت شريفر - Robert Schrieffer» نظرية BCS المتكاملة عن الموصلية الفائقة عام 1957 [3].

1.3 الدراسات السابقة

في مطلع القرن العشرين طور فيزيائيون تقنية جديدة لتبريد المواد إلى درجة حرارة قريبة من الصفر المطلق (oC273 وبدأت عملية اكتشاف خواص المواد وقدرتها على توصيل الكهرباء في مثل هذه الظروف الحرجة. في بعض العناصر مثل الزئبق والرصاص لاحظ العلماء شيئا مدهش فائقة ا وهو انه عند درجة حرارة معينة تصبح موصلية هذه المواد للكهرباء بدون اي مقاومة تذكر. بعد هذا الاكتشاف بعشرات السنوات تبين هناك خصائص مماثلة لآلاف المركبات من السيراميك وحتى انابيب الكربون النانوية. اطلق على هذه الحالة من المادة باسم المواد التوصيل ، توصل المواد فائقة التوصيل التيار الكهربي بدون اي مقاومة واجريت تجارب للتحقق من ذلك وتبين ان سلك من مادة فائقة التوصيل على شكل حلقة استمر مرور التيار الكهربي فيها لفترة كبيرة جدا ويتوقع ان يستمر التيار إلى مليارات السنوات بدون اي فقد. تسلك الكترونات المواد فائقة التوصيل على المقياس الميكروسكوبي سلوكا مختلفا تماما عن سلوكها في المواد المعدنية الموصلة. تتزاوج الالكترونات في الموصلات فائقة التوصيل مع بعضها البعض مما يسمح لها بالحركة بسهولة في المادة. هذا الامر يشبه نوعا ما طريق او مسار الركاب في الطرق السريعة الالكترونات المنفردة تعاني من مقاومة عالية بسبب تصادماتها المستمرة مع انوية الذرات مما يجعل حركتها داخل المادة محاطة بالتصادمات الكثيرة ولكن في حالة الالكترونات

المتزاوجة يكون لها مسار خاص داخل المادة بدون ان تعاني من تصادمات مع انوية الذرات. هناك "بحث جديد بدأ من جامعة كلفورنيا الجنوبية تجاه تحسين فهمنا حول كيف تنشأ الموصلية الفائقة superconductivity. وبدلا من دراسة الموصلية الفائقة في المادة بالكامل مثل الاسلاك تمكن فريق البحث من عزل بعض ذرات الألومنيوم ودراستها بشكل منفرد هذه المجموعة من الذرات يمكن ان تلعب دور الذرة الفائقة وتشارك الكتروناتها بطريقة تحاكي ذرة كبيرة. من النتائج المدهشة التي توصلوا لها هو ان هذه المجموعات من الذرات كشفت عن وجود تزاوج الكتروني عند درجة حرارة 100 كلفن اي ما يعادل 173 درجة تحت الصفر. وهذه درجة حرارة منخفضة جدا بالطبع لكنها اكبر بـ ١٠٠ مرة من درجة الحرارة المطلوبة لسلك من الالومنيوم ليصبح موصلا فائقا ومن هنا يطرح السؤال وهو لماذا مجموعة من الذرات تصبح موصلة فائقة عند درجة حرارة نفسه اعلى من درجة الحرارة اللازمة لملاين الذرات في السلك؟ لدى الفيزيائيون بعض الافكار لكن الظاهرة لا تزال غامضة ومن يدري ربما في المستقبل نحصل على مواد فائقة التوصيل عند درجات حرارة اعلى" [4]

1.4 التوصيل الفائق

هي ظاهرة تحدث في بعض المواد عند تبريدها لدرجات حرارة منخفضة جدا حيث تسمح المواصلات الفائقة بمرور الكهرباء خلالها دون أي مقاومة كهربائية

1.5 الموصلة الفائقة

هي عملية توصيل الحرارة بوساطة بعض الفلزات والسبائك والخزف دون مقاومة. ويحدث التوصيل الفائق في الفلزات والسبائك في درجة حرارة قريبة من الصفر المطلق وهي -273,15م.

ويُصبح كل من الرصاص والزئبق والصفيح فائق التوصيل في هذه الدرجة. وتصبح بعض أنواع الخزف مُوَصِّلات فائقة عند درجة حرارة قد تصل إلى 138م

1.6 خصائص المواد الفائقة التوصيل

عند درجة حرارة معينة تعرف بدرجة حرارة التحول تصبح مقاومة 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 [5].

1.7 مزايا المواد فائقة التوصيل

هناك عدة مزايا لاستخدام اكثر من المواصلات فائقة التوصيل العادية :

الميزة الأولى: والأكثر وضوحا هو الخسائر ضئيلة الطاقة التي تحدث في المواصلات الفائقة على عكس المواصلات العادية فإنه يصبح اكثر تكلفة وكفاءة في استهلاك الطاقة للغاية إذ يمكن تشغيلها الأجهزة الكهربائية مع عدم وجود مقاومة لتدفق الإلكترونيات وهم بالتالي قادرا على تحمل التيارات كبيرة لفترة طويلة مع خسائر ضئيلة الطاقة على شكل حرارة، في جميع التجارب التي اجريت لحد الآن،قامت التيارات فائقة لسنوات مع عدم وجود خسائر للتسجيل لديهم القدرة ايضاً على السماح للأجهزة الإلكترونية لتعمل بشكل اسرع بكثير ومركبات النقل مثل القطارات لتصل إلى سرعة 581كم

الميزة الثانية هو قدرتها على العمل في درجة حرارة اعلى بكثير من الحرج الموصل جيد للكهرباء نتيجة لهذه الميزة وكثير من غيرها على تدفق منه وكان وكيل التبريد المستخدمة قبل عام1986الهليوم السائل وهي مكلفة ولكن المبرد الخيار الواقعي الوحيد نظرا لدرجات الحرارة منخفضة الحرجة من المواصلات الفائقة من النوع

أصبحت فائقة مع ذلك عندما تمّ اكتشاف اول نوع موصل جيد للكهرباء التي كان لها وان درجة الحرارة الحرجة من النيتروجين السائل (77ك) النيتروجين السائل هو حوالي 20 مرة اكثر فعالية كمبرد من الهيليوم السائل وحوالي10/1 ومكلفة مما يجعل المواصلات الفائقة النوع الثاني اكثر دقة من حيث التكلفة من المواصلات 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 الشبكات الكهرباء ، والمحركات والمولدات وأجهزة الكمبيوتر التي سيتم التعامل معها أدناه [6].

الجدول يوضح : درجات الحرارة الحرجة في مختلف المواصلات

مادة	نوع	Tc(k)
الروديوم	1	X10−4 3.25
زنك	1	0.88
الالمنيوم	1	1.20
قصدير	1	3.72
زئبق	1	4.15
قيادة	1	7.20
النيوبيوم-الجرمانيوم	1	2.23
YBCO(YBa2cu2o7)	2	92
التاليوم- الباريومو النحاس اكسيد الكالسيوم	2	125
HgBa2ca2cu3o3	2	133

1.8 انواع المواد فائقة التوصيل

تقسم الموصلات الفائقة حسب درجة حرارتها الحرجة إلى:

1- المواد فائقة التوصيل منخفضة الحرارة واختصاراً (LTC) وتسمى أيضاً المواد فائقة التوصيل التقليدية مثل الزئبق وتمتاز بانخفاض درجة حرارتها الحرجة.
2- المواد فائقة التوصيل عالية الحرارة واختصاراً (HTC) وتمتاز بارتفاع درجة حرارتها الحرجة

الفصل الثاني

2.1 النظريات والظواهر للمواصلات الفائقة

يصح القول بأن نظرية وضع أسسها ثلاثة من كبار العلماء وهمباردين وكوبر وشريفر J. Bardeen, L. N. Cooper, and وعرفت باسمهم: نظرية باردين كوبر – شريفر أو اختصاراً بـ Theory ، أقول في حين يصح القول بأن تلك النظرية التي وضعت في عام 1957 استطاعت أن تفسر معظم جوانب الموصلات الفائقة التقليدية ؛ فإنها بالتأكيد لم تستطع التغلب على الصعوبات التي واجهتها فيما يتعلق بالموصلات من الجيل الجديد الموصلات الفائقة عالية الحرارة. لقد عجزت عن تفسير الظاهرة من أساسها،بل إنها كانت تتوقع استحالة الحصول على موصلات فائقة عند درجات عالية مثل 135 كالفن فى حالة مركبات الزئبق. غير أن تلك الموصلات الجديدة حازت مزيداً من الاهتمام من جانب النظريين من العلماء دون التوصل إلى نظرية مرضية إلى يومنا هذا. ولذلك فإنها مازالت تحمل المزيد من التحدي العلمي و تعطي مثالاً للتخلف الشديد للنظرية عن التطبيق في هذا المجال. ففي حين نجحنا في جعل تلك الموصلات حقيقة قائمة؛ فإننا لم نستطع بعد فك طلاسمها. وكلما عكف العلماء على وضع نموذج جديد؛ أصيبوا بضربة قوية من جانب التجريبيين الذين سرعان ما يعلنون عن مواد جديدة أو خواص جديدة [7].

2.2 نظرية BCS

من المعلوم بالضرورة أن نقل التيار في الموصلات يتم عادة بواسطة الإلكترونات الحرة، ومصدر المقاومة في الموصلات عادة هو من تصادم تلك الإلكترونات مع إلكترونات أخرى ومع الأيونات والذرات التي تخرج عادة عن النظام الدوري الشبيكي المنتظم للمادة. وأيضاً بالتفاعل مع ما يسمى بالفونونات وهي عبارة عن كمات الطاقة الحرارية في داخل الموصلات ولم يخطر على بال أحد أن تخرج مادة من المواد عن هذا الوضع الذي يسبب حصول مقاومة محدودة مهما كانت صغيرة. وتم وضع نظريات كثيرة يكمل بعضها بعضاً تصف ظاهرة التوصيلية والمقاومة في الموصلات بجدارة وكفاءة تامة. إلا أن تلك النظريات التقليدية وجدت نفسها وجهاً لوجه أمام ظاهرة لم تستطع تفسيرها على الإطلاق، ألا وهي ظاهرة التوصيلية الفائقة. من المعلوم أن الإلكترونات تحمل ذات الشحنة وبالتالي فحسب قانون كولوم يفترض أن تتنافر عن بعضها قدر المستطاع. إلا أن الظروف المواتية تعكس نتيجة القانون بميكانيكية خاصة لوحظت بسبب اعتماد التوصيلية الفائقة على أثر النظائر والنظائر هي مواد من نفس النوع ولكن تختلف في العدد الذري. فقد وجد أنه كلما زاد العدد الذري لنظير كلما قلت اقتربت من الصفر المطلق) درجة

تحوله وكان في هذا دليل كاف بأن الإلكترونات المسؤولة عن التوصيلية الفائقة لابد وأنها تتفاعل بطريقة أو أخرى مع الشبيكة بحيث تكون المحصلة لصالح الإلكترونات نفسها. فجاءت فكرة الأزواج لتفسر الأمر. فعندما يمر الإلكترون الأول بين الأيونات فإنه ولزمن قصير جداً يؤدي إلى انجذابها إليه ولكنه يمر بسرعة فيتركها وهي مازالت متقاربة من بعضها مما يؤدي إلى زيادة تركيز الشحنة الموجبة لحظياً في المنطقة تلك الشحنة المركزة بدورها تجذب إلكترونا آخر إليها. وبهذه الطريقة يظل الجو مهيئاً لإلكترون آخر بحيث يكون الاثنان في وضع ارتباط دائم بصورة زوج وهذا مايطلق عليه حسب النظرية الكمية بمدأ تبادل التفاعل من خلال الفونون الذي هو وجه عملة آخر للقول بأن الالكترون الاول يؤدي الى اهتزاز الايوانات لصالح الإلكترون الثاني بالطبع الأزواج الإلكترونية تحمل شحنة مساوية إلى ضعف شحنة الإلكترون الفرد 2 ولفاً مغزلياً مساوياً للصفر حيث أن أحد الزوجين لفه إلى أعلى (1/2) والآخر لفه إلى أسفل (-1/2) ولهما اندفاعان متضادان فيلغي بعضهما بعضاً. وكما هو معلوم في الفيزياء الإحصائية فإن الجسيمات الأولية في تجمعها في حالة واحدة ذات ظروف متشابهة تخضع للتوزيع الإحصائي بحسب لفها المغزلي. فإذا كان اللف كسرياً فإنه يستحيل - حسب مبدأ باولي – أن يجتمع أكثر من جسيمين في حالة واحدة وتسمى الجسيمات من هذا النوع فرميونات. أما عندما يكون اللف رقماً صحيحاً بما في ذلك الصفر؛ فإنه يجوز أن يجتمع عدد غير محدود من تلك الجسيمات في نفس الحالة كما في الفوتونات التي تجتمع فتشكل أشعة الليزر. وتسمى الجسيمات من هذا النوع بالبوزونات. وبالتالي فقد توصلنا إلى أن عدداً غير محدود من الأزواج الإلكترونية يجوز أن يتكثف في حالة كمية واحدة ان وضع الازواج الالكترونية جعل الشبكية لاتؤثر في حركتها على الاطلاق وبالتالي فهي تتحرك دون مقاومة ومن اعجيب ان تلك الشبكية بأهتزازاتها هي المسؤولة عن المقاومة عند درجة حرارة معينة وكان من جراء فكرة الازواج الالكترونية ان تنقسم الالكترونات الى جزء فائق وآخر عادي حيث يقوم الاول بجميع الاعباء الكهربائية ويمنح الموصل جميع الصفات وتتكون فجوة في طاقة الموصل بين الحالات الحاوية للأزواج وتلك الحاوية للألكترونيات العادية وهذه الفجوة Egهي ميزة خاصة بالمواصلات الفائقة لايشاركها فيها غيرها [8].

2.3 ظاهرة المواد الفائقة التوصيل

هي ظاهرة تحدث في بعض المواد عن تبريدها الى درجة حرارة منخفضة جدا تقرب من الصفر المطلقة (صفر كلفن) حيث تسمح المواصلات الفائقة بمرور الكهرباء خلالها دون أي مقاومة كهربائية تقريبا

وهي ظاهرة غريبة فسلوكها الكهربائي من حيث عدم المقاومة للتيار الكهربائي وسلوكها المغناطيسي هما السمتان البارزتان لها ما جعل بعض المواد ذات تطبيقات غير محدودة ، ويحدث التوصيل الفائق في الفلزات والسبائك في درجات حرارة قريبة من الصفر المطلق ويصبح كل من الرصاص والزئبق فائق التوصيل في هذه الدرجة .

2.4 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 196 درجة تحت الصفر المئوي) . لكن مع بداية القرن التاسع عشر تمكن الباحثين من الحصول علي الهليوم السائل والذي وصنت درجة حرارته إلى 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 1911بينما كان العلم الهولندي هيك كامرلين أونيس يقوم بقياس المقاومة الكهربية للزنبق التقي عند درجة حرارة الهليوم السائل وجد أن المقاومة الكهربية للزنيق شهار وتؤول إلى أقل من ٠.٠٠٠٠٠١ أوم (الصفر) (تقريبا) . 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.

2.5 ظاهرة التكميم

كما سبق فإن المواد الفائقة مثيرة في كل جوانبها من تلك الأمور المثيرة هي ظاهرة التكميم المغناطيسي. وفكرة الظاهرة أنه إذا تم صنع موصل فائق على صورة حلقة (مهما كانت متناهية الصغر) فإن مقدار المجال المغناطيسي الذي يمر من خلال تلك الحلقة يجب أن يكون مساوياً تماماً لعدد صحيح من الكمات المغناطيسية يطلق على كل منها الرمز Φ_0 ويبلغ مقدار الكمة الواحدة وتسمى أيضاً بالفلَكسويد.

ومعنى التكميم أنه لو تعرض الموصل إلى مجال يزيد قليلاً عن عدد صحيح من الكمات (بزيادة أقل من نصف كمة) فإن الزيادة ترفض ولا تمر من خلاله، في حين أنه لو تعرض لمجال يقل قليلاً عن عدد صحيح من الكمات (بمقدار ضئيل أقل من نصف كمة) فإنه يتكيف بحيث يكمن النقص من تلقاء نفسه من أجل أن يحافظ على العدد الصحيح من الكمات. أي لو أن مجالاً يساوي إلى مائة كمة مضافاً إليها ربع كمة فإن ذلك الربع يرفض ولا يمر من خلاله، في حين لو كان بين الربع نصف أو أكثر ولكن أقل من واحد صحيح فإن الموصل يكمله إلى واحد صحيح أو هذا بالضرورة يقتضي أن التيار الذي ينشأ يزيد وينقص بمقدار ضئيل متجاوباً مع المجال الخارجي. لقد تبين أن هذه الظاهرة ذات أهمية بالغة جداً فهي مبدأ ما صار يعرف بمجس السكويد إن السكويد بسكون السين عبارة عن جهاز حساس جداً للمجالات المغناطيسية وبإمكانه أن يميز التغير في المجال المغناطيسي إذا زاد عن أي حساسية تفوق، بمعنى آخر يستطيع قياس مجال شدته تصل إلى والتي تساوي واحداً 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 [9].

ومجس السكويد ينقسم إلى نوعين أساسيين حيث يعتمد الأول منهما على التيار المستمر dc-SQUID في حين يعتمد الآخر على التيار ذي التردد الراديوي، وفي حين ينتشر استخدام الأول على نطاق واسع بصور أفلام رقيقة من المادة الفائقة يوضع بينها مواد عازلة من أجل توفير التلامس 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 الخروق زادت الحساسية تبعاً لذلك. ووجود خرم واحد يعني قياس المجال المغناطيسي مباشرة في حين أن وجود أكثر من خرم يعني قياس التغير التدريجي 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 إصدارات متوفرة تجارياً وبأسعار منافسة ويقدمها عدد من الشركات العالمية

2.6 ظاهرة الطفو

من المعلوم أن الموصل الفائق هو موصل تام التوصيل وتنعدم مقاومته الكهربائية عند درجة الحرارة الحرجة. ولذا فإننا إذا أدخلنا تياراً إلى حلقة من سلك فائق التوصيل فإن هذا التيار يستمر في السريان إلى ما شاء الله طالما أن السلك يظل محتفظاً بموصليته الفائقة. في إحدى التجارب استمر سريان التيار دون أي نقص في شدة، ووُجد أن حلقة من سلك فائق التوصيل لمدة طويلة جداً دون أن تنقص شدته ودون أن تزود الحلقة بأي مصدر كهربائي.

لقد تمت تسمية التيارات التي لا نجد لها أية مقاومة لسريانها في موصل فائق بالتيارات الدائمة، والتي تحدث في الحلقات المغناطيسية تبعاً لظاهرة الطفو الشهيرة الموضحة بالشكل .عند وضع مغناطيس صغير فوق موصل فائق فإن المجال المغناطيسي على سطح الموصل الفائق بسبب تيارات دائمة تنشأ قوى تنافر مع المغناطيس بحيث تقوى وتشتد كثيراً باقتراب المغناطيس من الموصل الفائق حتى يتم رفع المغناطيس في الهواء ويظل معلقاً في الهواء [10].

2.7 فجوة الطاقة

في الموصلات تنعدم تقريباً طاقة الفجوة ويكون شريط التكافؤ ملاصقاً لشريط التوصيل. وقد كان المعتقد عدم وجود طاقة فجوة في المواد فائقة التوصيل كما هو الحال في الموصلات. ولكن تبين وجود أن هناك طاقة فجوة تنشأ من خلال التفاعل بين الإلكترونات لتكوين ما يسمى بأزواج كوبر مما يسبب في وضع الإلكترون في مستوى فراغ بالنسبة لموضعه في مستوى فيرمي للفلزات

2.8 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 كهربائية بحيث يمكنها حمل تيارات كهربائية عالية غير مسموح بها في الموصلات العادية. ولذا فإن البحث جارٍ على قدم وساق للحصول على مواد فائقة عند درجة حرارة الغرفة وفي الوقت ذاته تكون قابلة للتشكيل بحيث يمكن بناء أجهزة تدخل في تصميمها دوائر كهربائية 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 جداً تكون قادرة على احتواء بلازما الاندماج النووي ذي 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 على صور تشريحية مفصلة ودقيقة لأي عضو من أعضاء جسم الإنسان. 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.

الفصل الثالث

3.1 . تطبيقات المواد فائقة التوصيل

3.1.1 جهاز سكويد

يتركب جهاز سكويد لقياس شدة التدفق من حلقة من الموصل الفائق مكوّنة من وصلتين من المواد فائقة التوصيل تسمى وصلات جوزيفسن. 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 جداً لقياس الفيض المغناطيسي تصل إلى حوالي 10^{-14} تسلا. هذه المجالات تعتبر أقل من المجال المغناطيسي للأرض بمقدار 10^{11} مرة على الأقل. وبالتالي فقد استطاع الباحثون 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 إنها كانت تتطلب حساسية عالية جداً في القياس نظراً لأن المجال المغناطيسي الناتج عن هذه الأعضاء يكون محدوداً جداً ويحتاج لدقة وحساسية عالية في القياس. على سبيل المثال المجال المغناطيسي للقلب يكون في حدود 10^{-10} تسلا وعن المخ يكون في حدود 10^{-13}

3.1.2. أجهزة الميكروويف Microwaves

تتميز المواد الفائقة بصفر قيم المقاومة الكهربائية عند درجات حرارة الغرفة. من المعلوم أيضاً أنه يحدث فقد في شدة الميكروويف بالقرب من سطوح المواد نظراً للمقاومة الكهربائية 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

3.1.3 المغناطيس الفائق: Superconducting magnets

تستخدم المواد فائقة التوصيل في تصميم المغناطيس الفائق بحيث يتم تبريد المغناطيس الفائق في الهيليوم السائل بحيث تكون المقاومة الكهربائية للملفات مساوية للصفر مما يجعل الطاقة المفقودة مساوية للصفر حتى عن تسخين الأسلاك. ومن هنا فإن مصدر تيار منخفض يكون مناسباً لمرور التيار بشرط المحافظة على درجة حرارة الهيليوم السائل. وبالتالي فإنه يمكن

الحصول على مجالات مغناطيسية تفوق المغناطيس المصنوع من الموصلات بعشرات المرات [10].

3.1.4 أجهزة الرادار: Radar apparatus

لتصور هذه المشكلة يمكنك مراقبة ما يحدث لجهاز التلفاز عندما يتم تشغيل جهاز كهربائي بالقرب منه. إن الصورة سوف تصاب بالتشويش نتيجة المجالات المغناطيسية المجاورة والتي تؤثر على حركة الإلكترونات المسؤولة عن تكوين الصورة. وهذا بالفعل ما يحدث مع أجهزة الرادار بالضبط ولكنها تكون أكثر حساسية حيث تتأثر بالمجالات الخارجية. وللتغلب على 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.

3.1.5 القطار الفائق: Superconducting train

بُنيت 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.

كان الاختبار الحقيقي عام 1986 حيث تم اختبار قطار فائق مكون من ثلاث عربات حيث وصلت سرعته إلى 352.4 (Km/h). ولقد تم البدء في تنفيذ ذلك تجارياً عام 1990 في مشروع قومي مدعم في اليابان أطلقوا عليه Maglev. ولقد تمكنت وزارة النقل من تبني الفكرة وتم افتتاح أول خط سكة حديد من المواد الفائقة واختبارها في إبريل 1997. في نفس العام ديسمبر 1997 تم تنفيذ عجلات قطار من المغناطيس الفائق أطلقوا عليها MLX01 حيث يتكون القطار من ثلاث عربات سجلت سرعة قدرها 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 إلى 581 (Km/h). في سيول بكوريا الجنوبية هناك قطار فائق سرعته 300 (Km/h) وسوف تصل سرعته في 2008 إلى 412 (Km/h). هذا القطار طوله 388 m ووزنه 771 طن ويحتوي على 18 عربة ويسع 935 راكب

3.1.6 عجلات الطاقة

عندما يدور قرص ضخم الكتلة حول محوره فإنه يقال إن لديه طاقة حركية، ولديه الاستعداد للتخلي عن تلك الطاقة لصالح شيء آخر متى ما لزم الأمر. لقد تمت الاستفادة من هذه الفكرة في تخزين كمية كبيرة من الطاقة في عجلات ضخمة الكتلة تدور بسرعات عالية جداً وتحفظ في داخل كبسولات خاصة، أستفيد منها ولوقت طويل في تحريك القطارات خاصة. غير أن المشكلة التي كانت تقابل دائماً هي أن الاحتكاك الداخلي يستمر في استنزاف الطاقة الحركية مع مرور الزمن. غير أن الاستفادة من ظاهرة الطفو المغناطيسي يجوز أن تمكننا من صنع عجلات دوارة في جو خالٍ من الاحتكاك تماماً مما يجعلها تحتفظ بطاقتها إلى الأبد، وهكذا جميع المحركات والآلات يمكن أن تستفيد من الظاهرة في أن تكون لا احتكاكية مما يقلل الحاجة إلى كثير من الصيانة والأعطال ويجعل عمرها يتضاعف إلى عدة مرات [11].

3.1.7 التطبيقات العسكرية

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

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

3.1.8 التطبيقات الطبية

يمكن الاستفادة من نفس الدروع التي سبقت الإشارة إليها في تطبيقات طبية كثيرة، وبصورة عامة فإنه عندما يراد دراسة الإشارات الكهربائية والمغناطيسية الصغيرة جداً المتولدة من المخ أو القلب أو الجهاز العصبي، فإنه يفضل توفير جو خالٍ من المجالات المغناطيسية الخارجية التي تكون عادة أكبر كثيراً من تلك الإشارات. وقد تم الاستفادة بنجاح في بعض المناطق كما في اليابان من خاصية الدروع المغناطيسية، مما وفر قدرات فائقة على قراءة الإشارات الصغيرة المشار إليها مما يوفر مزيداً من التشخيص لتلك الأعضاء الحساسة من جسم الكائن الحي[12].

المصادر

المصادر العربية

1- زهراء احمد ،مواد فائقة التوصيل، جمهورية العراق، وزارة الكهرباء، 2017

2- محمد علي، حسن خزعل ،المواد فائقة التوصيل ، جامعة القادسية، قسم علوم الكيمياء، 2016.

المصادر الاجنبية

1. .M. Tarascon, L.H. Greene, W.R. Mckinnon, G.W. Hull and T.H. Geballe, Science 235, 1373 (1987).
2. A. Bourdillon and N.X. Tan Bourdillon, High Temperature Superconductors, New York
3. A. Shilling, M. Cantoni, J.D. Guo and H.R. Ott, Nature 363, 56 (1993)؛
4. Charles Kittel, Introduction to Solid State Physics, John Wiley & Sons, Inc
5. H. Kamerlingh Onnes, Leiden comm. 119b, 120b, 124c
6. H. Maeda, Y. Tanaka, M. Fukutomi and T. Asano, JPN. J. Appl. Phys. 27, L209(1988)
7. J. Bardeen, L.N. Cooper and J.R. Schrieffer, Phys. Rev. 106, 162 (1957); 108, 1175 (1957).
8. J.G. Bednorz and K.A. Muller, Z. Phys. B 64, 189.(1987)
9. M.F. Crommie, L.C. Bourne, A. Zetti and A. Stacy, Phys. Rev. B 35, 8853 (1987)

10. M.K. Wu, J.R. Ashburn, C.J. Torng, F.H. Hor, R.L. Meng, L. Gao, Z.J. Huang, Y.Q. Wang and C.W. Chu, Phys. Rev. Lett. 58, 908 (1987).
11. W. Meissner and R. Ochsenfeld, Naturwissenschaften, 21, 787
12. Z.Z. Sheng and A.M. Hermann, Nature 332, 138 (1988)