

المُوصِّلِيَّةُ الفائقة ومستقبل التقنية

محمود عبد الحفيظ

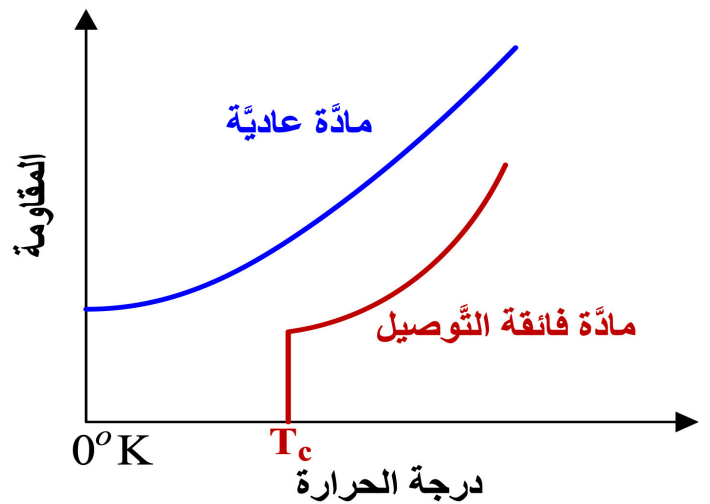
أستاذ مساعد محاضر في جامعتي هارفارد (الولايات المتحدة) وأوبسالا (السويد)

أولاً: مقدّمة

حالات مميّزة للمادّة في الطّبيعة. الحالة الأولى هي الحالة الصّلبة وتتنّصّف بها مواد مثل الحديد والرّمال والرّمال والرّمال وغيرها الكثير. تميّز هذه الحالة ببنائها الذّري المترابط ممّا يجعلها قويّة البنية وأنّ تتخذ أشكالاً وأحجاماً ثابتة. الحالة الثانية هي الحالة السّائلة مثل المياه والزيتون وكل المواد الكيميائيّة السّائلة، ويكون التّرابط بين ذرّاتها أو جزيئاتها أقلّ من نظيراتها في الحالة الصّلبة ممّا يمكّنها من التّحرّك انسيابياً. تميّز هذه الحالة أيضاً بحجم ثابت عند درجة حرارة وضغط معينين، وهي تأخذ شكل الإناء الذي توضع فيه. الحالة الثّالثة هي الحالة الغازيّة مثل بخار الماء والرّيح والدخان، وهي على النقيض من أسلافها يكون التّرابط بين ذرّاتها أو جزيئاتها شبه معدوم. كما أنّ ليس لها شكل أو حجم ثابت وتشغل الحيز الذي توضع فيه حيث تكون مكوّناتها في حركة دائبة تميّز بالتصادمات الثنائيّة بين هذه المكوّنات.

مع تقدّم العلم، اكتشف الإنسان أنّ هناك حالات أخرى للمادّة. فقد تمّ التعرّف على ما يعرف بالبلازما لأوّل مرّة في المختبر بواسطة السير ويليام كروكس (Sir William Crookes) عام 1879. البلازما هي واحدة من عدّة حالات أساسية للمادّة، وتتكوّن أساساً من جسيمات مشحونة، وتشكّل مزيجاً من الشّوارد أو الإلكترونات، كما إنّها الشّكل الأكثر وفرة من المادّة العادية في الكون، وينتشر معظمها في النّجوم (بما في ذلك الشّمس)، ولكنها تهيمن أيضاً على الوسط المخلخل في الفضاء البينجمي interstellar والبيمجريّ intergalactic. يمكن توليد البلازما بشكل صناعي أيضاً، على سبيل المثال، عن طريق تسخين غاز محايد أو تعريضه لمجال

الموصليّة (النّاقليّة) الفائقة هي ظاهرة فيزيائيّة يعود اكتشافها إلى بداية القرن العشرين وتتميّز بمجموعة من الخواص التي تفتّ ملاحظتها في بعض المواد عند تبريدها إلى درجات حرارة متدنيّة. فعند حرارة تبلغ بضعة درجات كلفن تفقد هذه المواد مقاومتها الكهربائيّة وتطرد المجال المغنطيسي في ظاهرة فريدة تعرف بتأثير مايسنر (Meissner effect). تُعرف المواد التي لها هذه الخواص بالمواد فائقة التّوصيل. تختلف هذه المواد في طبيعتها عن المواد الموصّلة العاديّة التي تتناقص مقاومتها تدريجياً مع انخفاض درجة الحرارة. فالمواد فائقة التّوصيل تنخفض موصليتها الكهربائيّة إلى الصّفر فجأة عند درجة حرارة حرجة معيّنة تعتمد على طبيعة المادّة نفسها، كما هو موضّح في الشّكل 1. يمكن للتيار الكهربائي الذي يمر عبر حلقة من سلك فائق التّوصيل أن يستمر في التدفق إلى أجل غير مسقّى بدون مصدر للطاقة.



الشّكل 1. تقلّ مقاومة المادّة العادية بشكل رتيب مع انخفاض درجة الحرارة. أمّا المواد فائقة التّوصيل فتتخفّف مقاومتها فجأة إلى الصّفر المطلق عند درجة حرارة حرجة مميّزة للمادّة.

ثانياً: حالات العادة

لاحظ الإنسان منذ القدم أنّ المادّة توجد في ثلاث

تعتبر المواد فائقة التوصيل (المواد الموصلية بشكل فعال للكهرباء) من أهم الاكتشافات التي ساهمت بشكل كبير في تطور التكنولوجيا الحديثة وتحقيق التقدم العلمي. تاريخ هذه المواد وأهميتها لا يمكن إغفالهما، فهي قاعدة أساسية في عالم الإلكترونيات والطاقة والاتصالات والطب، وقد أحدثت ثورة في هذه المجالات وساهمت في تحسين حياة البشر بشكل كبير

أ- تقنيات الكهرباء والإلكترونيات: تُستخدم المواد فائقة التوصيل في تصنيع المكونات الإلكترونية مثل الأقراص الصلبة، وأجهزة الرادار، والأقمار الصناعية. تحسّن هذه المواد من أداء الأجهزة وتوفّر استهلاكًا منخفضًا للطاقة.

ب- توليد الكهرباء: يمكن استخدام المواد فائقة التوصيل في توليد الكهرباء باستخدام الترميز المغناطيسي، ممّا يقلل من الفاقد في نقل الكهرباء ويزيد من كفاءة توليدها.

ج- الاتصالات: تُستخدم هذه المواد في تصنيع أجهزة الاستشعار والهوائيات الفائقة التوصيل، ممّا يزيد من دقة أجهزة الرصد والاتصالات.

د- الطّب: يمكن استخدام المواد فائقة التوصيل في تصنيع أجهزة التصوير الطبي مثل الرنين المغناطيسي وأجهزة تخطيط القلب.

هـ- البيئة والطاقة المتجددة: تساهم هذه المواد في تطوير تقنيات تخزين الطاقة المتجددة وتقليل استهلاك الوقود الأحفوري.

باختصار، تلعب المواد فائقة التوصيل دورًا حاسمًا في تقدم العلوم والتكنولوجيا الحديثة، وتجعلها تطبيقاتها المتعددة جزءًا لا غنى عنه في حياتنا اليومية، فهي تُساهم في تطوير حلول

كهرومغناطيسي قوي. كما أنّها تستخدم في مفاعلات الاندماج النووي لتوليد الطاقة عندما درس العلماء مسألة استقرار النجوم متراصة البنية (الأقزام البيضاء والنجوم النيوترونية)، وجدوا أن حالة الاستقرار هذه تتطلب وجود نوع آخر من المادة، وهو ما يعرف بحالة التردّي الإلكتروني (electron degeneracy) والتردّي النيوتروني. فعند الضّغط الشّديد في قلب النجوم متراصة البنية تقترب الإلكترونات من بعضها مشكّلة نوعًا من الغاز الإلكتروني الذي يحكمه قانون باولي للاستبعاد، ويكون تأثيرها معاكسًا لقوّة الجاذبية ممّا يمنع الجرم من التّقلّص (collapse) على نفسه. تحدث هذه العمليّة في قلب الأقزام البيضاء. كما تحدث عمليّة مماثلة تعرف بالتّردّي النيوتروني (neutron degeneracy) في قلب النجوم النيوترونيّة.

لذلك نحن محاطون بحالات أو أطوار مختلفة للمادة. وبتخصيص الحديث عن علم الجوامد (الأجسام الصلبة)، يمكننا القول إن دراسة الخواص الفيزيائية للجوامد قد غيّرت وجه الحياة على الأرض، فمن المصباح الكهربائي إلى صاروخ الفضاء مروراً بكل الأجهزة الإلكترونية المتاحة بين أيدينا الآن، هذه الأدوات والآلات ما هي إلا تطبيق مباشر أو غير مباشر لظواهر فيزيائية منبثقة من علم الجوامد. من أهم تلك الظواهر والتي تشغل حيّزًا كبيرًا من فكر المجتمع العلمي في الوقت الحالي وعلى مدار القرن الماضي ظاهرة اكتشاف وتصنيع مواد ذات توصيل كهربائي فائق في ظروف مواتية من حيث درجة الحرارة والضغط الجوي، لما سيحدثه هذا الاكتشاف من تغيير جذري في التكنولوجيا وتوابعها

ثالثًا: مجالات تطبيقات المواد فائقة التوصيل

الظاهرة التي أصبحت تعرف باسم تأثير مايسنر. في عام 1935، أظهر فريتز (Fritz) وهالينز لندن (Heinz London) أن تأثير مايسنر كان نتيجة لتقليل الطاقة الكهرومغناطيسية الحرة التي يحملها التيار فائق التوصيل

ومع مرور الوقت، تم اكتشاف المزيد من المواد الفائقة التوصيل، مثل السيراميكات فائقة التوصيل في الثمانينيات. في عام 1986، تم اكتشاف المواد فائقة التوصيل عالية الحرارة، مما ساهم في تحسين أداء التبريد وتطوير تقنيات توليد الكهرباء. أدى هذا الاكتشاف الجديد إلى توسيع نطاق تطبيقات المواد فائقة التوصيل.

يقدم الشكل (2) ملخصًا لتطور مواد الفائقة التوصيل في التبريد منذ اكتشاف الظاهرة عام 1911 ولغاية اليوم

1911-1930

بعد اكتشاف ظاهرة فائقة التوصيل في مادته الزئبق، بدأ الباحثون في دراسة الظواهر الفيزيائية التي ترتبط بهذه الظاهرة. كانت الأبحاث تتركز بشكل رئيسي على دراسة خصائص المواد المختلفة عند درجات حرارة قريبة من الصفر المطلق

1931-1980

تم تطوير تقنيات تبريد جديدة تسمح بتحقيق درجات حرارة أقل، مما أدى إلى اكتشاف الفائقة التوصيل في المزيد من المواد. بدأ الباحثون في فهم أسباب الفائقة وتأثير العوامل المختلفة عليها

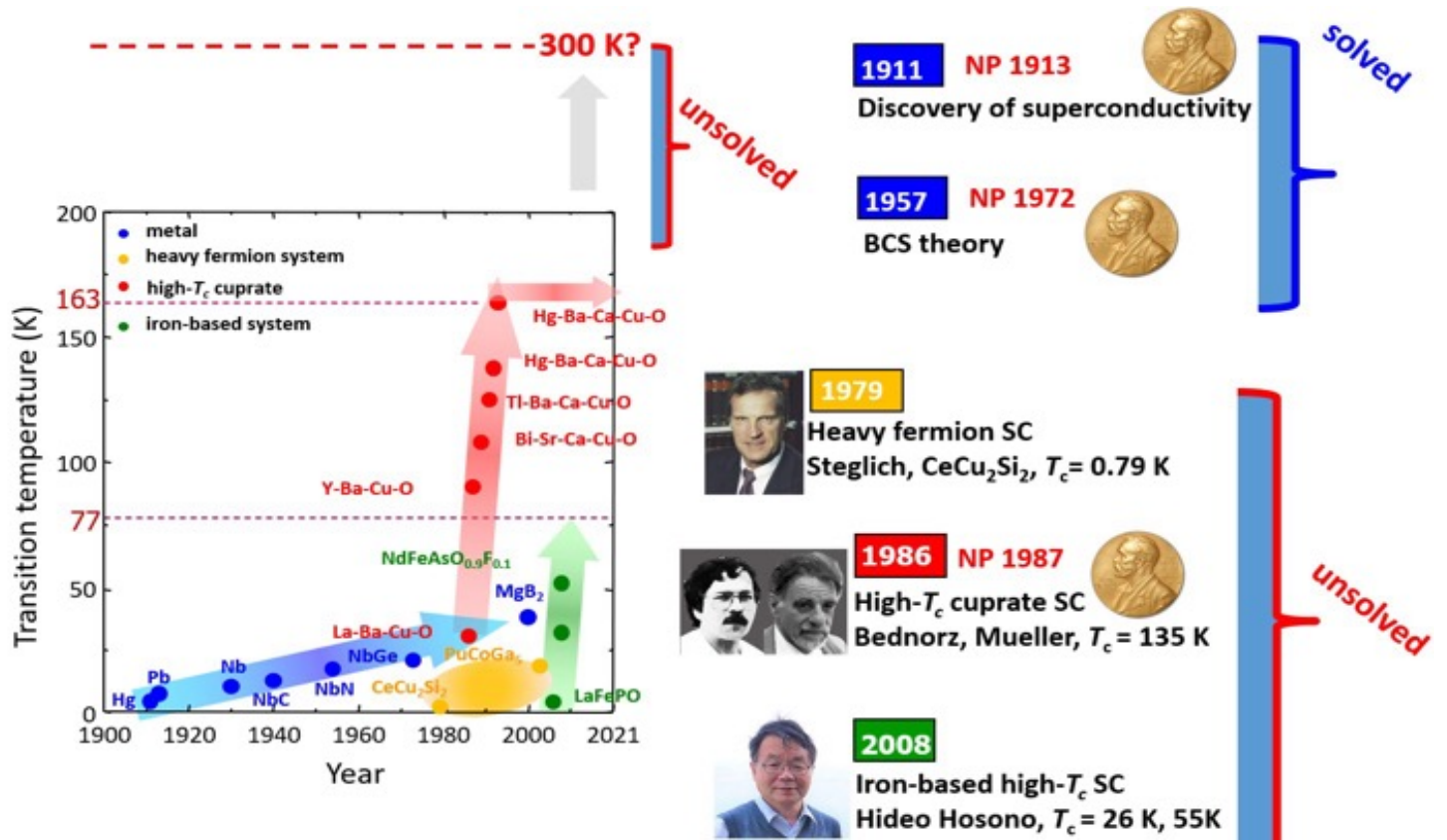
1981-2000

في الفترة من عام 1981 إلى عام 2000، شهدت ظاهرة فائقة التوصيل لبعض المواد تطورات هامة واكتشافات مثيرة. بفضل التقنيات الجديدة للتبريد

رابعًا: تواريخ هامة في اكتشاف الموصلية الفائقة وتطور استعمالاتها

ذكرنا أن الموصلية الفائقة ظاهرة فيزيائية تحدث عندما يمر التيار الكهربائي من خلال مادة دون مقاومة تقريبًا في حالة تُعرف بالحالة الفائقة، وتظهر هذه الظاهرة عندما تبرد المادة إلى درجة حرارة منخفضة يحدث عندها تحول طوري تنعدم عنده المقاومة الكهربائية

اكتشف هايك كامرلينج أونيس (Heike Kamerlingh Onnes) الموصلية الفائقة في 8 نيسان/أبريل 1911. كان أونيس يدرس مقاومة الزئبق عند درجات الحرارة المنخفضة باستخدام الهليوم السائل المنتج حديثًا كمادة تبريد. وقد لاحظ أونيس أن المقاومة اختفت فجأة عند درجة حرارة 4.2 كلفن. وفي التجربة نفسها، لاحظ أيضًا تحول الهليوم إلى سائل فائق عند درجة حرارة 2.2 كلفن، دون التعرّف على أهمية هذا الاكتشاف. لم يتعرّف العلماء على التاريخ الدقيق للاكتشاف وظروفه إلا بعد قرن من الزمان، عندما تم العثور على دفتر ملاحظات أونيس. وفي السنين التالية، لوحظت الموصلية الفائقة في العديد من المواد الأخرى. ففي عام 1913، اكتشف أن الرصاص يصبح موصلًا فائقًا عند درجة حرارة 7 كلفن، وفي عام 1941 اكتشف أن نيتريد النيوبيوم يصبح موصلًا فائقًا عند درجة حرارة 16 كلفن. عكف العلماء بعد ذلك على بذل جهود كبيرة لمعرفة كيف تعمل الموصلية الفائقة. حدثت الخطوة المهمة في عام 1933، عندما اكتشف مايسنر (Meissner) وأوكسينفيلد (Ochsenfeld) أن الموصلات الفائقة تطرد المجالات المغناطيسية المطبقة، وهي



الشكل 2. تواريخ هامة في تاريخ الموصلية الفائقة.

المواد الفائقة واكتشاف تطبيقات جديدة تعتمد على هذه الخواص المميزة

2001-2024

شهدت الفترة الممتدة من عام 2001 إلى عام 2024 تقدماً هائلاً في مجال فائقية التوصيل لبعض المواد، حيث تسارعت الأبحاث والتطبيقات المتعلقة بهذه الظاهرة الفيزيائية الرائعة. خلال هذه الفترة، تم تطوير تقنيات حديثة واكتشاف مواد جديدة تُظهر الفائقية بشكل أكبر وأقوى، فقد عمل العلماء على تحسين فهمنا لميكانيكيتهما ولكيفية تحقيقها في مجموعة متنوعة من المواد. استمرت التطبيقات المتنوعة لفائقية التوصيل في التوسع، حيث تم استخدام هذه الخواص المذهلة في مجالات متعددة من التكنولوجيا والعلوم. على سبيل المثال، تم استخدام مواد فائقة التوصيل في تطوير أنظمة الرادار والأقمار الصناعية، ما سمح بتحسين أداء هذه

التي تمكنت من تحقيق درجات حرارة أقل، تم اكتشاف مواد جديدة تُظهر هذه الظاهرة، خاصة في مركبات النحاس، حيث تبين أن بعض سبائك النحاس، عند تبريدها، يمكن للتيار الكهربائي أن يمر فيها دون أي مقاومة تقريباً

تطور استخدام فائقية التوصيل خلال هذه الفترة بشكل كبير في التطبيقات التقنية والعلمية. على سبيل المثال، بدأت هذه المواد الفائقة التوصيل في الاستخدام في تصنيع الأسلاك الكهربائية عالية الأداء والأجهزة الإلكترونية الحساسة، كما استُخدمت في تطوير أنظمة الرادار والاتصالات الفضائية، حيث تعتبر فائقية التوصيل ميزة حاسمة لتحقيق أداء عالٍ وكفاءة ممتازة

بالإضافة إلى ذلك، فتحت تلك التطورات الجديدة أبواباً واسعة للبحث العلمي في مجال الفائقية، حيث بدأ العلماء في دراسة خصائص هذه

نظرية غينزبورغ-لانداو

تقدّم النظرية التي وضعت في عام 1950 وصفًا
ماكروسكوبيًا (عيانيًا) لفائقيّة التوصيل باستخدام
معادلات حقلية

المبادئ الأساسية:

1. معادلة جينزبورغ-لانداو: تصف حالة فائقيّة التوصيل
باستخدام معادلة تتضمن وسيطًا عقديًا (Ψ) يمثل
دالة موجية للمنظومة
2. الطاقة الحرة: تُكتب الطاقة الحرة للمنظومة
كدالة في الوسيط Ψ ومشتقاته. يحدّد التغيير في Ψ
مع الحقل الكهرومغناطيسي خواصّ المادة الفائقة
3. الطول المميز: تُقدّم النظرية مفهوميّن أساسيين،
طول التماسك (ξ) وعمق الاختراق (λ)، حيث يحدّدان
مدى تأثير الفائقيّة داخل المادة

النتائج:

تساعد النظرية في وصف الظواهر الماكروسكوبية
في فائقيّة التوصيل مثل تشكيل الدوامات في
الحقول المغناطيسية

وكوبر وشرايفر. أوضحت نظرية BCS أنّه يمكن اعتبار
تيار التوصيل سائلًا فائقًا مكوّنًا من أزواج كوبر
(Cooper pair)، وهي أزواج من الإلكترونات تتفاعل
من خلال تبادل الفونونات. تتحرّك أزواج الإلكترونات
في المادّة فائقة التوصيل بشكل مترابط وتحكمها
دالة موجيّة واحدة. لهذا العمل، حصل المؤلفون
على جائزة نوبل في عام 1972. في عام 1959، وجد
ليف جوركوف (Lev Gor'kov) أنّ نظرية BCS يمكن
اختزالها إلى نظرية غينزبورغ-لانداو بالقرب من درجة
الحرارة الحرجة

الأنظمة وزيادة قدرتها على توفير بيانات دقيقة. كما
أصبحت المواد فائقة التوصيل أيضًا جزءًا أساسيًا من
تصميم الأجهزة الإلكترونية الحديثة، ممّا ساهم في
تطوير أجهزة الكمبيوتر والهواتف الذكية والأجهزة
اللوحية بشكل كبير

خامسًا: نظريات الموصلية الفائقة

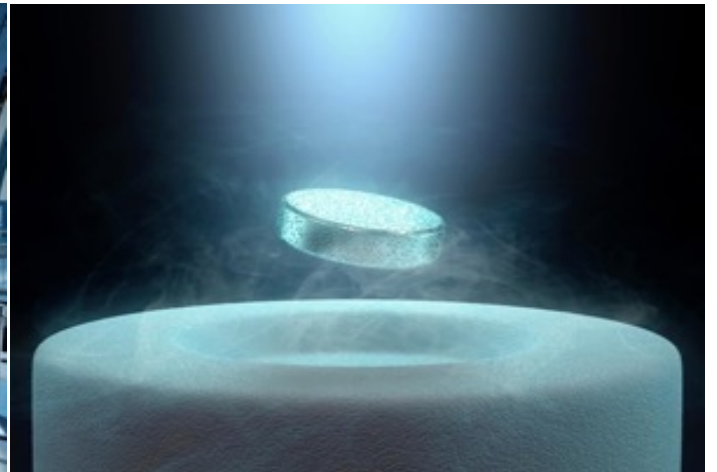
بقي فهم النظريّة التي تحكم ظاهرة الموصلية
الفائقة مستعصية على العلماء خلال عقود من
الزمن. لكن خلال الخمسينيات من القرن العشرين،
توصّل علماء فيزياء المادة المكثفة النظريّة من خلال
نظريّة ميكانيكا الكم إلى فهم الموصلية الفائقة
"التقليدية"، إذ اقترحت نظريتان على قدّ كبير من
الأهميّة والجمال لتفسير الموصلية الفائقة. النظريّة
الأولى هي نظرية غينزبورغ-لانداو (- Ginzburg
Landau) عام 1950، ثمّ نظرية باردين - كوبر -
شرايفر (BCS - Schrieffer, Cooper - Bardeen)
المجهرية عام 1957

ففي عام 1950، وضع غينزبورغ ولانداو نظريّة
للموصلية الفائقة. جمعت هذه النظريّة بين نظرية
لانداو لانتقالات الطّور من الدّرجة الثانية مع معادلة
موجية تشبه معادلة شرودنغر، وقد حققت نجاحًا كبيرًا
في شرح الخصائص العيانية للمواد فائقة التوصيل.
وجد أبريكوسوف (Abrikosov) أنّ هذه النظريّة تنبأ
على وجه الخصوص، بتقسيم الموصلات الفائقة إلى
الفئتين التي يشار إليهما حاليًا بالنوع الأوّل والنوع
الثاني. حصل أبريكوسوف وغينزبرغ على جائزة نوبل
عام 2003 لعملهما (حصل لانداو على جائزة نوبل
عام 1962 عن أعمال أخرى، وتوفي عام 1968)
اقترحت أخيرًا النظريّة المجهرية الكاملة
للموصلية الفائقة في عام 1957 من قبل باردين

على المستوى الذري. لتأثير جوزيفسون العديد من التطبيقات العملية لأنه يظهر علاقة دقيقة بين القياسات الفيزيائية المختلفة، مثل الجهد والتردد، مما يسهل إجراء قياسات دقيقة للغاية. يُنتج تأثير جوزيفسون (Josephson effect) تيارًا، يُعرف باسم التيار الفائق (supercurrent)، يتدفق بشكل مستمر دون أي جهد مطبق، عبر جهاز يعرف باسم وصلة جوزيفسون (Josephson Junction)، وتتكوّن من اثنين أو أكثر من الموصلات الفائقة مقترنة برابطة ضعيفة. يمكن أن تكون الرابطة الضعيفة عبارة عن حاجز عازل رقيق يفصل بين المادتين فائقتي التوصيل تمتلك وصلات جوزيفسون تطبيقات مهمة في

سادسًا) ظواهر مرتبطة بالموصلية الفائقة

6.1 تأثير مايسنر: ترتبط بالموصلية الفائقة عدّة ظواهر وتطبيقات لعلّ أهمها هو ما يعرف بتأثير مايسنر الذي أشرنا إليه سابقًا. فعند تبريد المادة إلى درجة حرارة حرجة تعتمد على طبيعتها تصبح فائقة التوصيل، وفي هذه الحالة لا تخترقها خطوط المجال المغنطيسي، ونتيجة لذلك تطفو المادة في الهواء أو الفراغ عند وضعها على قطعة مغنطيس، كما هو مبين في الشكل 3. من أهم تطبيقات هذه الظاهرة هو القطار فائق السرعة، ولكن ذلك يتطلب تطوير مواد فائقة التوصيل في درجات الحرارة العادية (انظر الشكل 4)



الشكل 4. قطار المستقبل: يطفو القطار على القضبان باستخدام تأثير مسنر، لكن يتطلب ذلك تطوير مواد فائقة التوصيل في درجة الحرارة العادية.

الشكل 3. ظاهرة تأثير مسنر. تطفو مادة فائقة التوصيل عند بلوغها درجة الحرارة الحرجة فوق قطعة من المغنطيس.

6.2 تأثير جوزيفسون (Josephson effect)

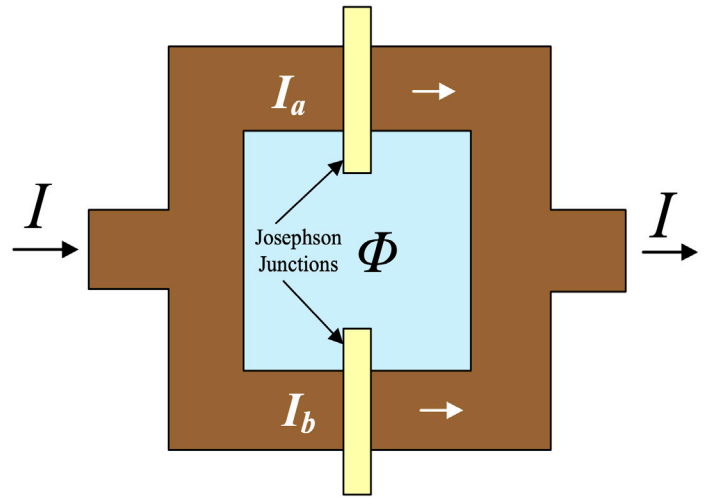
دوائر ميكانيكا الكم، مثل SQUIDS (انظر أدناه)، والكيوبتات فائقة التوصيل (superconducting qubits)، والإلكترونيات الرقمية من خلال وحيد التدفق الكمي السريع (rapid single flux quantum, RSFQ)، وهو نبيلة (جهاز device) إلكترونية رقمية تستخدم النبائط فائقة التوصيل

6.3 جهاز التداخل الكمي فائق التوصيل (SQUID)

تأثير جوزيفسون هو ظاهرة تحدث عندما وضع اثنين من الموصلات الفائقة بالقرب من بعضهما البعض، مع وجود حاجز أو قيود بينهما. تفتت تسمية التأثير على اسم الفيزيائي البريطاني بريان جوزيفسون، الذي تنبأ في عام 1962 بالعلاقات الرياضية للتيار والجهد عبر الرابطة الضعيفة. وهو مثال على ظاهرة الكم العيانية، حيث يمكن ملاحظة تأثيرات ميكانيكا الكم على المستوى العادي، وليس

بيدورز (Bednorz) ومولر (Müller) الفائقة (LBCO)، وهي مادة البيروفسكايت القائمة على اللانثانوم، والتي كانت لها درجة حرارة انتقالية 35 كلفن (درجة الحرارة التي تصبح فيها المادة ذات موصلية فائقة)، وتوّجت بجائزة نوبل في الفيزياء عام 1987. وسرعان ما وُجد أنّ استبدال اللانثانوم بالإيتريوم (أي صنع YBCO) يؤدي إلى رفع درجة الحرارة الحرجة إلى ما فوق 90 كلفن.

هذه القفزة في درجة الحرارة لها أهمية هندسية خاصة، لأنها تسمح بالنيوتروجين السائل كمادة تبريد أن يحلّ محل الهليوم السائل، ويمكن إنتاج النيوتروجين السائل بتكلفة زهيدة نسبيًا. تساعد درجات الحرارة المرتفعة بالإضافة إلى ذلك على تجنب بعض المشاكل التي تنشأ عند درجات حرارة الهليوم السائل، مثل تكوين سدادات من الهواء المتجمد التي يمكن أن تسد الخطوط المبردة وتسبب في تراكم الضغط غير المتوقع والذي ربّما يكون خطيرًا. منذ ذلك الحين اكتشف العلماء العديد من الموصلات الفائقة الأخرى من النحاسيات، وتعتبر نظرية الموصلية الفائقة في هذه المواد واحدة من التحديّات الرئيسيّة البارزة في فيزياء المادة المكثفة النظرية. توجد حاليًا فرضيتان رئيسيتان لتفسير الموصلية الفائقة عند درجات الحرارة العالية نسبيًا. تتناول النظرية الأولى رابطة الرنين والتكافؤ (resonating-valence-bond theory)، وتقلّب الدّومة (المغزل spin) التي تحظى بأكبر قدر من الدّعم في المجتمع العلمي. تقترح الفرضية الثانية أنّ الاقتران الإلكتروني في الموصلات الفائقة ذات درجة الحرارة العالية يتمُّ بواسطة موجات دوميّة

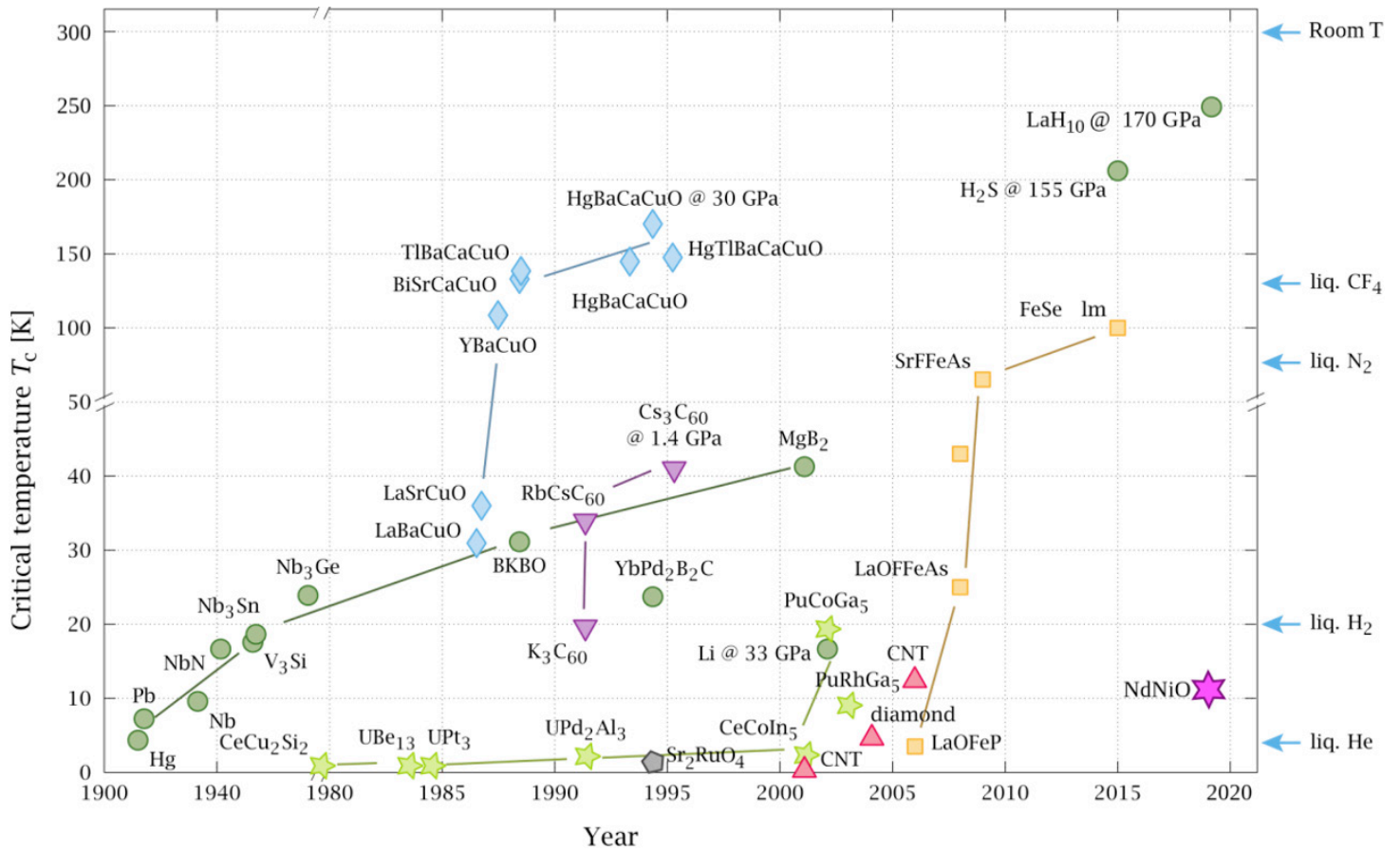


الشكل 4. رسم تخطيطي لـ SQUID. يدخل التيار وينقسم إلى مسارين، لكل منهما تيار يمرُّ عبره. الحواجز الرقيقة على كل مسار هي وصلات جوزيفسون، والتي تفصل معًا المنطقتين فائقتي التوصيل. يمثل Φ التدفق المغناطيسي الذي يخترق حلقة الـ SQUID.

هو مقياس مغناطيسي حساس للغاية يستخدم لقياس المجالات المغناطيسية الضعيفة للغاية، استنادًا إلى حلقات فائقة التوصيل تحتوي على وصلات جوزيفسون. يعدُّ هذا الجهاز حساسًا بما يكفي لقياس الحقول التي تصل شدّتها إلى تسلا، ويتميّز بمستويات ضوضاء منخفضة تصل إلى 3 Hz-1/2 ft. للمقارنة، ينتج مغناطيس الثلجة النموذجي 0.01 تسلا. من المحتمل أن تكون مقاييس المغناطيسية الذرية (spin exchange relaxation-free magnetometer)، التي تم اختراعها في أوائل العقد الأوّل من القرن الحادي والعشرين، أكثر حساسية، ولا تتطلب تبريدًا قريًا (cryogenic) ولكنها أكبر حجمًا (~ 1 سم) ويجب تشغيلها في مجال مغناطيسي عند درجة حرارة قريبة من الصفر المطلق.

سابعًا: الموصلية الفائقة في درجات الحرارة العالية (High Temperature Superconductors)

كان الاعتقاد السائد حتى عام 1986، هو أنّ نظرية BCS تحظر الموصلية الفائقة عند درجات حرارة أعلى من حوالي 30 كلفن. وفي ذلك العام، اكتشف



الشكل 6. الجدول الزمني للمواد فائقة التوصيل. تمثل الألوان فئات مختلفة من المواد: BCS ●، فربونات ثقيلة، ◆ كريبتات، ▼ تعتمد على كيمبستر فوليرين كعنصر أساس، ▲ متآكلة الكربون، ■ تعتمد على الحديد والنيكتوجين كعنصر أساس، ☆ تعتمد على النيكل كعنصر أساس، ◊ روثينيت السترونتيوم

العالية في بعض المواد. وأخيراً، في 31 ديسمبر 2023، تمّ نشر "الموصلية الفائقة الشاملة في درجة حرارة الغرفة في الجرافيت" في مجلة "تقنيات الكم المتقدمة" بدعوى إثبات الموصلية الفائقة في درجة حرارة الغرفة والضغط العادي في الجرافيت الحراري عالي التوجه مع صفائف كثيفة من عيوب الخطوط المتوازية تقريباً. يبيّن الشكل 6 المواد فائقة التوصيل التي تمّ اكتشافها وزمن الاكتشاف ودرجة الحرارة لكلّ منها. يتعيّن ملاحظة عدم ذكر الظروف التي تمّ خلالها الحصول على درجة الحرارة للموصلية الفائقة في هذه المواد.

ثامناً: خلاصة

فائقيّة التوصيل ظاهرة معقدة تم تفسيرها

قصيرة المدى تعرف باسم المُسيّرات المغنطيسية (paramagnons)، وتتكوّن من مغنونات (magnons) تنشأ في المواد المغنطيسية التي تكون في مرحلة درجة حرارتها العالية غير المضطربة. (المغنون هو عبارة عن إثارة جماعية لبنيّة دومات الإلكترون في شبكة بلورية)..

في عام 2008، اقترح جوبسر (Gubser)، وهارتنول (Hartnoll)، وهيرزوغ (Herzog)، وهورويتز (Horowitz) الموصلية الفائقة المجسّمة، التي تستخدم الازدواجية (المثنوية duality) المجسّمة (holographic) أو نظرية التوافق AdS/CFT (وجود تكافؤ بين نظرية ثقالة جاذبية في فضاء خاص مع نظرية مجال كمّي محافظ في فضاء بأبعاد أقل)، كتفسير محتمل للموصلية الفائقة في درجات الحرارة

بواسطة نظريات متعددة، بدءًا من النظرية البسيطة نسبيًا BCS إلى النظريات المعقدة المستخدمة لفهم المواد الفائقة عند درجات الحرارة العالية. كل من هذه النظريات يُقدّم رؤية مختلفة عن كيفية حدوث فائقيّة التوصيل، مما يعزز فهمنا لهذه الظاهرة ويسهم في التطورات التقنية المستقبلية في مجال الموصلات الفائقة

بالإضافة إلى ذلك، بدأ العلماء في استكشاف إمكانية الوصول إلى درجات حرارة فائقة أقل، وهذا يعني أنه ربما يتم الوصول يومًا ما إلى اكتشاف مواد فائقة التوصيل تعمل عند درجة حرارة الغرفة، مما سيكون له أثر كبير على حياتنا اليومية. مع استمرار التطور التقني والعلمي، يظل البحث في مجال الفائقيّة في التوصيل حيويًا ومثيرًا للاهتمام، وربما سنرى في المستقبل المزيد من الاكتشافات والتطبيقات العملية المبتكرة في هذا المجال

المراجع:

1. Foundations of Applied Superconductivity, T.P. Orlando and K.A. Delin, Addison-Wesley, 1991
2. Superconductivity: Fundamentals and Applications W. Buckel and R. Kleiner, 2nd Edition, John-Wiley & Sons (Wiley-VCH); 2004

خبر

اكتشاف شرائط نانوية مضغوطة مصنوعة من التيتانيوم والكبريت في طور الموصليّة الفائقة

وفقًا لدراسة نُشرت في مجلة Nano Letters، يمكن لشرائط النانو المصنوعة من التيتانيوم والكبريت، عند

نظرية المجال الكمي (Quantum Field Theory)

تُستخدم لتطوير نظريات أكثر تعقيدًا عن الموصليّة الفائقة، مثل نظريات فائقيّة التوصيل غير التقليدية والمرتبطة بالمواد ذات الحرارة العالية

المبادئ الأساسية:

1. تفاعلات معقدة: تأخذ هذه النظريات في الاعتبار التفاعلات الأكثر تعقيدًا بين الإلكترونات والفونونات والجسيمات الأخرى

2. نماذج متعددة الجسيمات: تستخدم نماذج مثل نماذج التموجات المغزلية (السبينية أو الدوميّة) والفونونات المرتبطة بالمغناطيسية لتفسير الظواهر في المواد الفائقة عند درجات الحرارة العالية

النتائج:

التوسّع في فهم فائقيّة التوصيل في مواد غير تقليدية مثل أكاسيد النحاس والسيراميك

نظريات حديثة للموصليّة الفائقة عند درجات الحرارة العالية

تُركّز هذه النظريات على المواد التي تظهر فائقيّة التوصيل عند درجات حرارة أعلى بكثير من المواد التقليدية، مثل أكاسيد النحاس وفائقيّة التوصيل الحديدية

المبادئ الأساسية:

1. تفاعل غير تقليدي: تعتمد على آليات غير تقليدية لتكوين أزواج كوبر، مثل التفاعلات المغزلية (الدوميّة spin) بدلاً من الفونونات

2. حالات الكتلة الهامشية: تدرس خصائص المواد التي تكون في حالات قريبة من التحول الطوري المغناطيسي

النتائج:

• تفسر لماذا يمكن لبعض المواد الفائقة التوصيل أن تكون فعّالة في درجات حرارة أعلى بكثير من الموصلات الفائقة التقليدية

• تساعد في تصميم مواد جديدة بفائقيّة توصيل أعلى.

تبلغ حوالي 2.9 كلفن هي سمة أساسية لـ TiS_3 ، مما يلقي ضوءًا جديدًا على الخصائص الإلكترونية المثيرة للاهتمام الناجمة عن الضغط العالي على هذه المادة

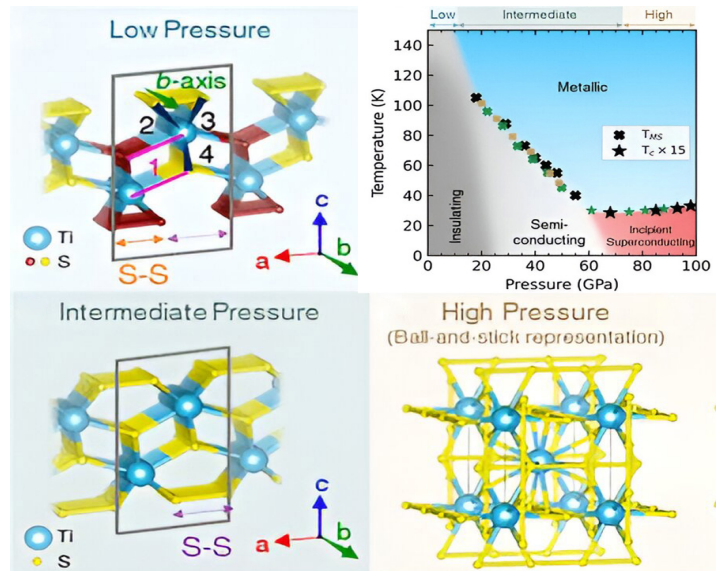
يمكن هذا الأمر الطريق لتطوير مواد لا تُسبب ضياعًا قليلًا عند نقل الكهرباء فحسب، بل -وكما يؤكد المؤلفون- إن هذه المعرفة ضرورية لتطوير مواد جديدة قد تكون موصلات فائقة في درجات حرارة أعلى وأكثر عملية. المصدر: PHYS.ORG

اختراق في فيزياء الكم يلقي الضوء على أغاز الموصلات الفائقة ذات درجات الحرارة العالية

حقق الباحثون تقدمًا كبيرًا في فهم الموصلات الفائقة ذات درجات الحرارة العالية، وخاصة المركبات النحاسية (cuprates). باستخدام نموذج هوبارد ثنائي الأبعاد المُحسَّن، تمكن الفريق من محاكاة الميزات الرئيسية لهذه الموصلات الفائقة عبر إضافة حركة الإلكترونات القطرية لتبيان إمكانية تحقيق الموصلية الفائقة من خلال محاكاة استخدام حواسيب فائقة. نُشرت النتائج في مجلة Science، حيث أبرزت إمكانيات النماذج الأبسط في فهم السلوكيات الكمومية المعقدة

يعد هذا الاكتشاف مهمًا لأنه قد يساهم في تطوير تقنيات الحوسبة الكمومية وعلوم المواد من خلال تبسيط دراسة الظواهر الكمومية المعقدة، ويمثل العمل خطوة هامة نحو استخدام النماذج المحسنة لفهم المواد التي لها خصائص فائقة التوصيل عند درجات حرارة عالية، مما كان يُعتبر لغزًا في السابق.

المصدر: PHYS.ORG



المراحل المُستَحْتة بالضغط لشبكة بلورية أحادية الميل لـ TiS_3 عند ضغط منخفض (أ) ومتوسط (ب) وعال (ج)، ومخطط الطور لـ TiS_3 وفق الضغط ودرجة الحرارة.

ضغطها، أن تُغيّر من خصائصها بشكل كبير، وتتحول إلى مواد قادرة على توصيل الكهرباء دون فقدان الطاقة

وقد توصل الباحثون إلى هذا الاكتشاف خلال بحثهم المضني عن مواد جديدة ذات موصلية فائقة، وهو موضوع مهمّ ظل يطارد المجتمع العلمي لفترة طويلة

يقول محمود عبد الحافظ، الأستاذ في جامعة أوبسالا في السويد والعضو المشارك في قسم الفيزياء التطبيقية وعلم الفلك بجامعة الشارقة: "تُرَكِّز أبحاثنا على مادة واحدة واحدة، ألا وهي شرائط TiS_3 النانوية، وهي هياكل صغيرة تشبه الشريط مصنوعة من التيتانيوم والكبريت. تكون في حالتها الطبيعية عازلة لا توصل الكهرباء بشكل جيد، ومع ذلك، اكتشفنا أنه من خلال الضغط على هذه الأشرطة النانوية، يمكننا تغيير خصائصها الكهربائية بشكل كبير، فنتنقل من عوازل إلى معادن وأنصاف نواقل وأخيرًا موصلات فائقة. لقد قدّمنا دليلاً دامغاً على أن الموصلية الفائقة عند درجات حرارة منخفضة