المحاضرة الاولى : التوصلية الفائقة

ظاهرة التوصيل الفائق : بعض الفلزات والمركبات تكاد تنعدم مقاومتها النوعية عند تبريدها لدرجة حرارة معينة واطئة ، او بتعبير اخر ان التيار الكهربائي يسري فيها دون أي تبديد في قيمته . اطلق على هذه الظاهرة بمصطلح التوصيل الفائق للمادة . وقد اكتشفت هذه الظاهرة عام ١٩١١ من قبل العالم الفيزيائي الهولندي كاميرلنك اونيس من خلال دراسته التوصيل الكهربائي لزئبق نقي عند درجات حرارة واطئة جدا . فقد وجد ان المقاومة النوعية للزئبق تختفي فجأة وتكاد تكون صفرا عند تبريده الى درجة حرارة الهليوم السائل ٤٠٢ كلفن .

درجة الحرارة الحرجة : تعرف درجة الحرارة الحرجة (او درجة الحرارة الانتقالية) بانها درجة الحرارة التي عندها تتحول المادة من حالة التوصيل الاعتيادي الى حالة التوصيل الفائق ، اي ان المقاومة النوعية للمادة تكاد تصبح صفرا عندها .

وقد وجد ان درجة الحرارة الحرجة تعتمد على العوامل الآتية :

١- نقاوة المادة ، ٢-الضغط المسلط على المادة

٣-سمك المادة ، ٤- الشحنة الكهروستاتيكية على المادة

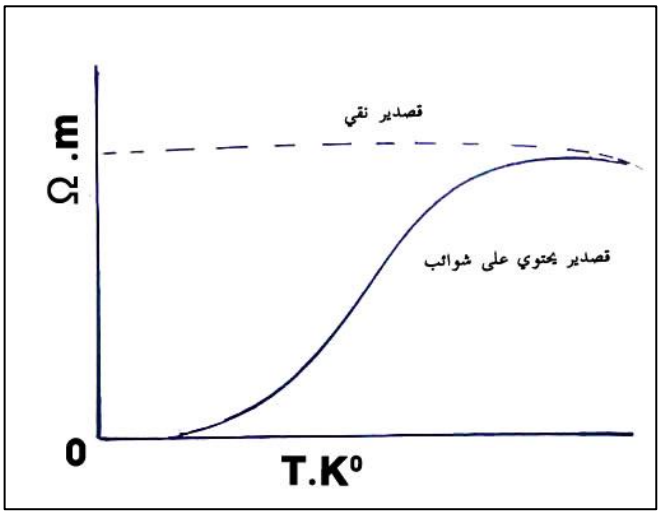
يوضح الشكل ١ العلاقة بين المقاومة النوعية ودرجات الحرارة لعنصر القصدير ، فاذا كان الفلز نقيا فنلاحظ ان مدى درجات التي عندها تقل قيمة المقاومة النوعية الى الصفر يكون صغيرا جدا بينما اذى احتوى معدن القصدير على شوائب فيلاحظ ان مدى درجات الحرارة التي عندها تقل قيمة المقاومة النوعية يكون كبيرا نوعا ما .

ان درجة الحرارة الحرجة للمادة تعتمد على الضغط المسلط عليها ، فقد وجد ان زيادة الضغط يحدث انخفاضا في درجة الحرارة الحرجة .

اما تأثير سمك المادة على درجة الحرارة الحرجة فانه كلما كانت المادة على هيئة غشاء رقيق نجد ان درجة الحرارة الحرجة تقل بشكل كبير عند مقارنتها بعينة من نفس المادة ذات سمك كبير .

ان لعاملي الضغط والسمك تأثير كبيرعلى تحول بعض اشباه الموصلات من الحالة الاعتيادية الى حالة التوصيل الفائق .

اما بالنسبة لوجود الشحنة الكهروستاتيكية على سطح المادة فالدراسات لازالت مستمرة للتعرف بعمق على دورها على انخفاض او ارتفاع درجة الحرارة الحرجة .



شكل ١: تأثير الشوائب على درجة الحرارة الحرجة لعنصر القصدير

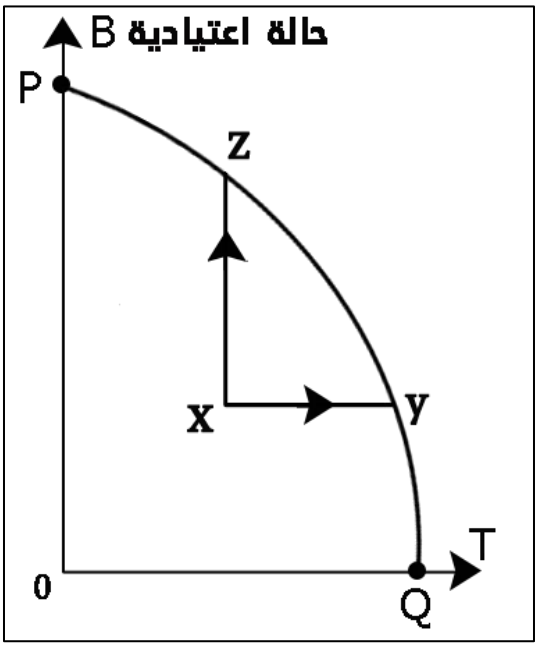
المجال المغناطيسي الحرج : Critical magnetic field

يعرف المجال المغناطيسي الحرج بأنه المجال الذي عنده تتحول المادة من حالة فائقة التوصيل الى حالة التوصيل الاعتيادي وذلك عند درجة حرارة معينة . ان قيمة المجال المغناطيسي الحرج تعتمد على نوعية المادة وعلى درجة الحرارة ، وقد وجد تجريبيا ان قيم B_C عند درجات حرارة مختلفة تشكل منحني على هيئة قطع مكافئ داخل مخطط المجال المغناطيسي الخارجي ودرجة الحرارة للمادة كما موضح في الشكل ٢ . ان هذا المنحني يخضع للعلاقة الرياضية التالية :

$$B_{c(T)} = B_{c_{(٠)}} \left[١ - \left(\frac{T}{T_c} \right)^{٢} \right] \ldots\ldots \qquad ١$$

حيث ان .B: أقصى قيمة للمجال المغناطيسي الحرج عند درجة حرارة الصفر المطلق

T: درجة الحرارة و Tc:درجة الحرارة الحرجة

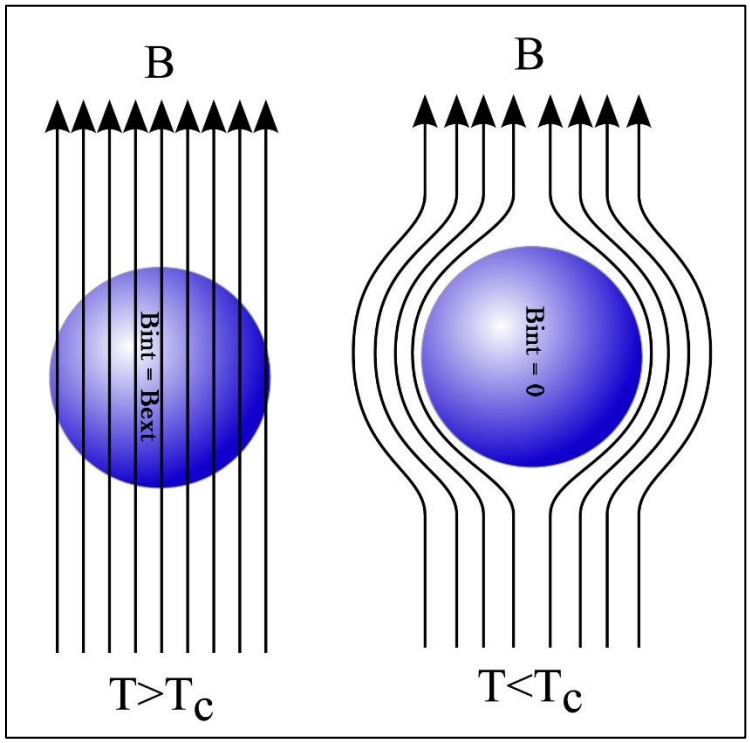


شكل ٢ : خطط المجال المغناطيسي الخارجي ودرجة الحرارة

يلاحظ من الشكل ٢ ان المجال المغناطيسي الحرج يصبح صفرا عند درجة حرارة مساوية لدرجة الحرارة الحرجة لتلك المادة وتزداد B تدريجيا كلما انخفضت درجة حرارة المادة فائقة التوصيل عن درجة الحرارة الحرجة وتصل قيمة المجال المغناطيسي الحرج لأقصى قيمة عند درجة حرارة الصفر المطلق

ظاهرة ميسنير Messiner effect :

وجد العالمان ا لفيزيائيان الالمانيان ميسنير وأوخينفلد انه عند تسليط مجال مغناطيسي على مادة فائقة التوصيل فأن خطوط الفيض المغناطيسي تبتعد كليا عن المادة عند تبريدها الى درجة حرارة اقل من الدرجة الحرجة أي ان الحث المغناطيسي للمادة فائقة التوصيل يساوي صفرا ، يطلق على هذه الظاهرة بظاهرة اقصاء الفيض المغناطيسي أو ظاهرة ميسنير.
التجارب والدراسات التي اجريت بينت ان بالامكان تفسير هذه الظاهرة على اساس أن عملية التحول (بوجود المجال المغناطيسي) من حالة التوصيل الاعتيادي الى حالة التوصيل الفائق تكون مصحوبة بتوليد تيارات سطحية مستمرة كافية لمحو تأثير المجال المغناطيسي داخل المادة ، كما موضح في الشكل ٣ .



شكل ٣ : ظاهرة ميسنر (اقصاء خطوط الفيض المغناطيسي) عن مادة فائقة التوصيل عند $T<T_c$

ويمكن توضيح هذه الظاهرة رياضياً . دعنا نفترض ان المجال المغناطيسي داخل

المادة B_{int} في الحالة الاعتيادية بدلالة المجال المغناطيسي المسلط على المادة B_{ext} والذي

يكتب على الشكل التالي:

$$Bint = \mu . B + \mu_{\cdot} . M \ldots\ldots\ldots (\mathbf{2-1})$$
$$Bint = Bext + \mu_{\cdot} . M \ldots\ldots\ldots (\mathbf{3-1})$$

حيث ان:

μ_0: تمثل النفاذية.

M. : تمثل العزم المغناطيسي لوحدة الحجوم

وبما ان: Bint لمادة فائقة التوصيل تساوي صفراً فعليه يكون:

$$M = \frac{-Bext}{\mu_{\cdot}} \ldots\ldots\ldots (\mathbf{4-1})$$

توضح هذه المعادلة ان التمغنط يكون مساويا ومعاكسا لشدة المجال المغناطيسي الخارجي ، وعليه فان المادة فائقة التوصيل لها تأثير كما لو كان لديها عزم مغناطيسي معاكس للمجال المغناطيسي الخارجي المسلط ولهذا يمكن اعتبار ان المادة ذات دايامغناطيسية مثالية .

هناك نوعان من المواد ذات التوصيلة الفائقة يعتمدان على الطريقة التي تحدث التحول من حالة التوصيلة الفائقة الى الحالة الاعتيادية عندما تكون قيمة المجال المسلط أكبر من قيمة المجال المغناطيسي الحرج.

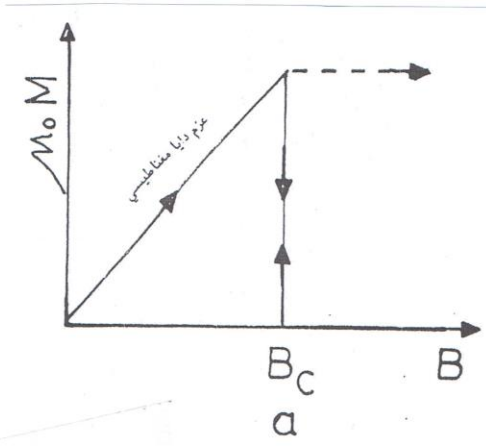
النوع الاول : يدعى بنوع(Type I) فعندما تتجاوز قيمة المجال المغناطيسي المسلط المجال المغناطيسي الحرج فان المادة تتحول كليا الى الحالة الاعتيادية وبذلك يتمكن المجال الخارجي من اختراق المادة وتصبح قيمة العزم المغناطيسي صفرا اي ان :-

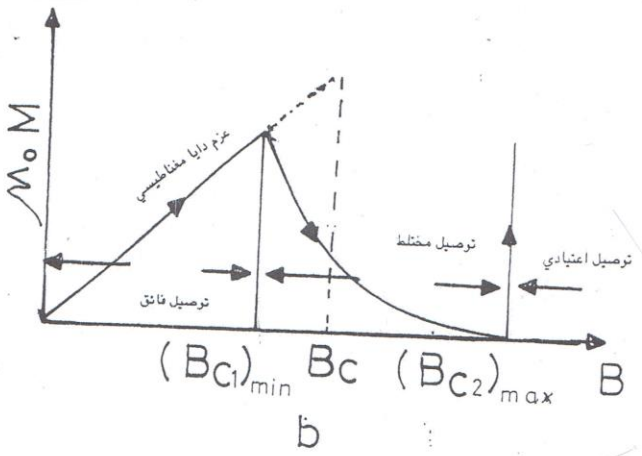
$$Bint = Bext$$ وكما موضح في الشكل ٤ – a .

ان معظم الفلزات فائقة التوصيل هي من النوع الاول .

النوع الثاني : يدعى بنوع (Type II) ويتميز هذا النوع بوجود قيمتين للمجال المغناطيسي الحرج ، الأول اقل قيمة ويرمز لها ب B_{c1} والقيمة الثانية أقصى قيمة ويرمز لها ب B_{c2} ، فعندما تتجاوز قيمة المجال المغناطيسي المسلط اعلى قيمة للمجال الحرج B_{c2} ($B_{c2} > B_{c1}$) فان المادة تتحول كليا الى الحالة الاعتيادية وبذلك يتمكن المجال الخارجي من اختراق المادة . اما اذا كانت قيمة المجال المسلط أعلى من B_{c1}واقل من B_{c2} فهناك اختراق جزئي للمادة وبذلك تكون المادة في حالة جديدة تسمى بالحالة المختلطة وكما موضح في الشكل ٤ – b .

ان معظم المركبات هي من النوع II وكذلك بعض الفلزات مثل النيوبيوم والتكنيتوم والناديوم.





الشكل (1-7) : منحني التمغنط لموصل مفرط :

a -للنوع 1

B -للنوع 2