

University of Anbar
College of Science
Department of Physics



فيزياء الحالة الصلبة Solid State Physics

المرحلة الرابعة
الكورس الثاني
صلبة 2

الدكتور قيس عبدالله عباس

Lecture9

9. Superconductivity التوصيلية الفائقة

Superconductivity is a phenomenon of zero electrical resistance and expulsion of magnetic fields occurring in materials when cooled below a characteristic critical temperature. It was discovered by Onnes in 1911.

الموصلية الفائقة هي ظاهرة انعدام المقاومة الكهربائية وطرد المجالات المغناطيسية التي تحدث في المواد عند تبريدها تحت درجة حرارة حرجية مميزة. اكتشفه Onnes في عام 1911.

9.1 Critical temperature (TC) درجة الحرارة الحرجية

Critical temperature is the temperature at which a material becomes superconductor, and then the properties of a material, such as its magnetism changes.

درجة الحرارة الحرجية هي درجة الحرارة التي تصبح عندها مادة ما موصلية فائقة ، ثم تتغير خصائص المادة ، مثل مغناطيسيتها

In superconducting materials, the characteristics of superconductivity appear when the temperature T is lowered below a critical temperature T_C as shown in Figure below.

في المواد فائقة التوصيل ، تظهر خصائص الموصلية الفائقة عندما تنخفض درجة الحرارة T إلى ما دون درجة الحرارة الحرجية T_C كما هو موضح في الشكل أدناه.

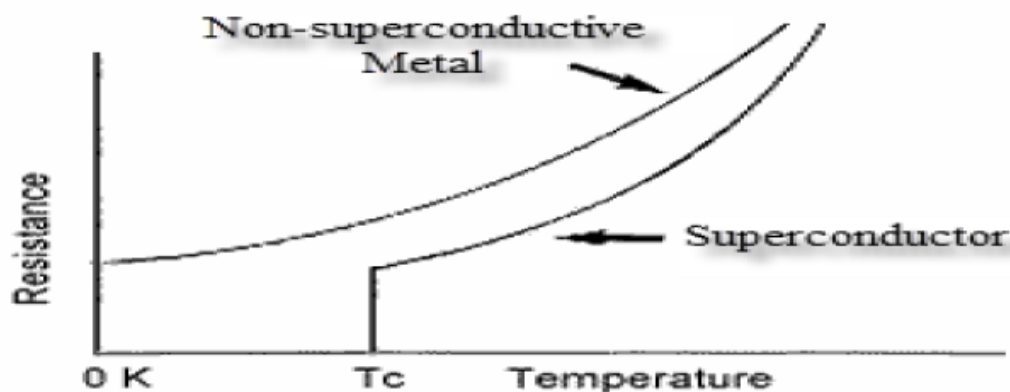


Figure 9.1 Resistivity as a function of temperature

الشكل 6.1 المقاومة كدالة لدرجة الحرارة

The value of this critical temperature T_c differs from one material to another.

تختلف قيمة درجة الحرارة الحرجة هذه من مادة إلى أخرى.

9.2 Critical magnetic field (B_c) المجال المغناطيسي الحرج

Critical magnetic field is the field below which a material is superconducting and above which the material is normal, at a specified temperature and in the absence of current. Experimentally it has been found that the B_c at different temperatures are curved in the form of parabolic according to the following equation

المجال المغناطيسي الحرج هو المجال الذي تحته المادة فائقة التوصيل والتي تكون المادة فوقها طبيعية ، عند درجة حرارة محددة وفي غياب التيار. من الناحية التجريبية ، وجد أن B_c عند درجات حرارة مختلفة منحنية على شكل قطع مكافئ وفقاً للمعادلة التالية

$$B_c = B_o \left[1 - \frac{2T^2}{T_c^2} \right]$$

Where B_c is magnetic field at a critical temperature, B_0 is the value of magnetic field at absolute zero (0K).

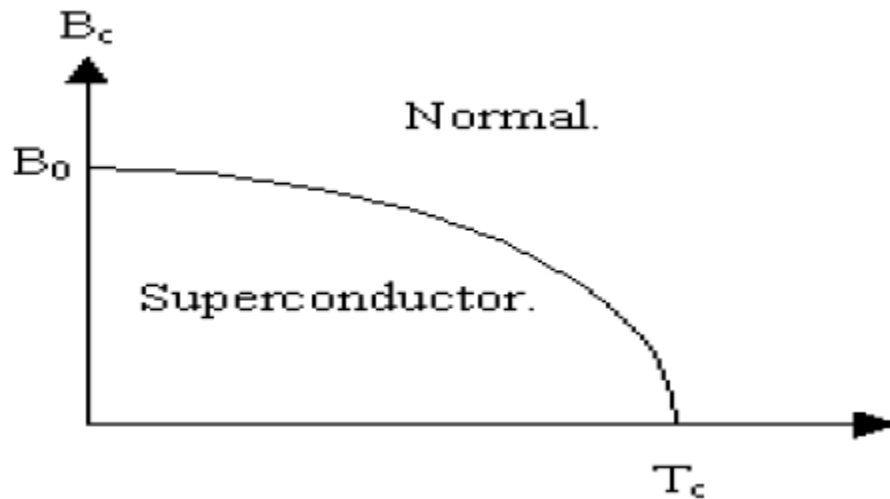


Figure 9.2 the field as a function to temperature

9.3 Meissner's effect تأثير مزنر

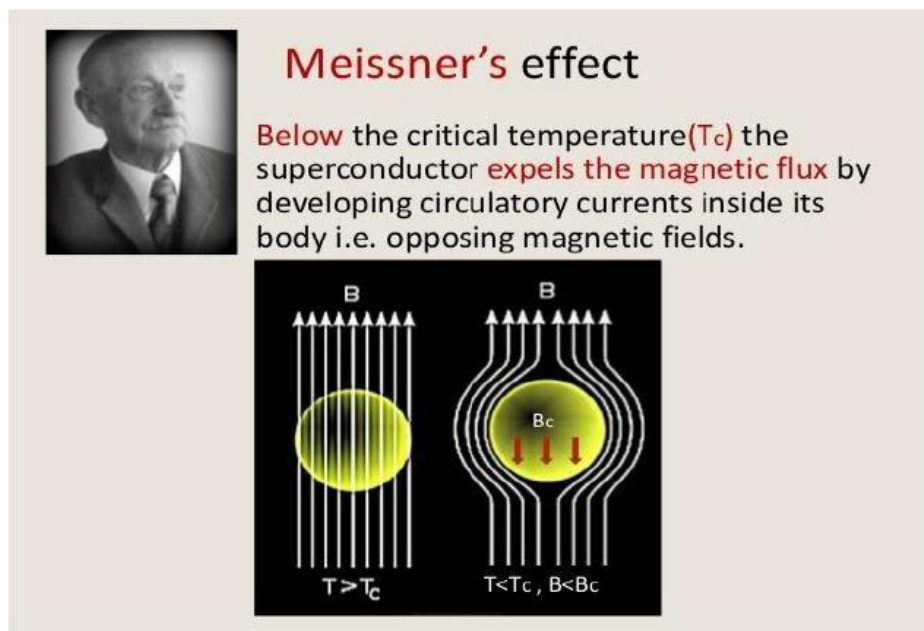


Figure 6.3

The Meissner effect is the total exclusion of any magnetic flux from the inside of a superconductor. Figure below demonstrates the normal and superconducting state in the magnetic field.

تأثير مايسنر هو الاستبعاد التام لأي تدفق مغناطيسي من داخل موصل فائق. يوضح الشكل أدناه الحالة الطبيعية وفائقة التوصيل في المجال المغناطيسي

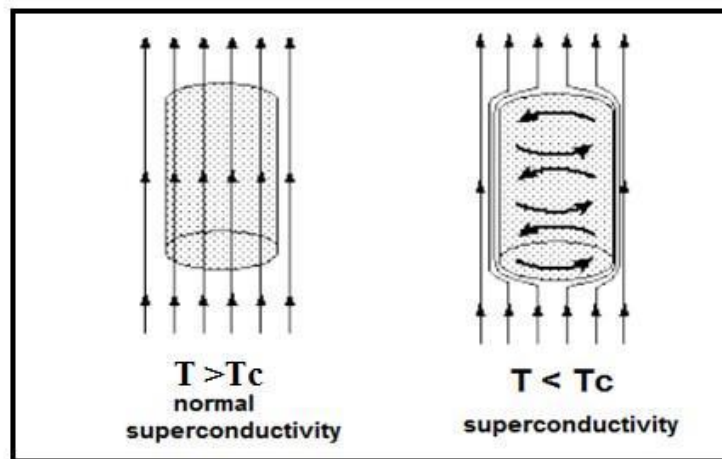


Figure 9.4 Normal and superconducting state in the magnetic field.

When a material goes the transition from the normal to superconducting state, it actively excludes magnetic fields from its interior. We have

عندما تنتقل مادة ما من الحالة الطبيعية إلى الحالة فائقة التوصيل ، فإنها تستبعد بشكل فعال المجالات المغناطيسية من داخلها. نحن لدينا

$$B_{int} = \mu_0 B + \mu_0 M \quad \text{or} \\ B_{int} = B_{ext} + \mu_0 M$$

Where M is the magnetization in medium, and μ_0 is the permeability of free space, since $B_{int} = 0$ in the superconducting state, it follows that:

$$M = - B_{ext} / \mu_0$$

This means that superconductors are a perfect diamagnetic.

هذا يعني أن الموصلات الفائقة هي دايَا مغناطيسية مثالية

9.4 Type of Superconductors

Superconductors are divided into two types namely type I and type II.

9.4.1 Type I

Type I superconductors characterized by a very sharp transition to a superconducting state and by perfect diamagnetism.

تتميز الموصلات الفائقة من النوع الأول بانتقال حاد للغاية إلى حالة فائقة التوصيل وبنفاذ مغناطيسي مثالي .

9.4.2 Type II

Besides normal and superconducting regions, Type II superconductors are having a complete exclusion of flux takes place up to B_{c1} called lower critical field. After that the complete flux penetration takes place up to B_{c2} and superconductivity destroyed after B_{c2} .

إلى جانب المناطق العادية والموصلية الفائقة ، فإن الموصلات الفائقة من النوع الثاني لديها استبعاد كامل للتدفق يحدث حتى B_{c1} يسمى المجال الحرج الأدنى. بعد ذلك يحدث اختراق التدفق الكامل حتى B_{c2} ويتم تدمير الموصلية الفائقة بعد B_{c2} .

9.5 BCS Theory

The first microscopic theory of superconductivity was proposed by Bardeen, Cooper, and Schrieffer in 1957 now known as the BCS Theory.

اقترح باردين وكوبر وشريففر أول نظرية مجهرية للموصلية الفائقة في عام 1957 تُعرف الآن باسم نظرية BCS.

The BCS theory explains superconductivity at temperatures close to absolute zero (0K). Cooper realized that atomic lattice vibrations were directly responsible for unifying the entire current. They forced the electrons to pair up into teams that could pass all of the obstacles which caused resistance in the conductor. These teams of electrons are known as Cooper pairs.

تشرح نظرية BCS الموصلية الفائقة عند درجات حرارة قريبة من الصفر المطلق (0K). أدرك كوبر أن اهتزازات الشبكة الذرية مسؤولة بشكل مباشر عن توحيد التيار بأكمله. لقد أجبروا الإلكترونات على الاقتران في فرق يمكنها اجتياز جميع العقبات التي تسببت في مقاومة الموصل. تُعرف هذه الفرق من الإلكترونات باسم أزواج كوبر.

9.6 London penetration depth عمق الاختراق لندن

The penetration depth λ is defined as the distance in which the field decreases by the factor e^{-1}

يتم تعريف عمق الاختراق على أنه المسافة التي يتناقص فيها المجال بواسطة العامل e^{-1}

$$\ln (\text{CGS}) \quad \lambda = (mc^2/4\pi n_s e^2)^{1/2}$$

where n_s is the concentration of super conducting electrons ; c is speed of light

$$4\pi / c^2 = \mu_0$$

Experimentally, it is found that the penetration depth (λ) changes with temperature as in the equation:

$$\lambda = \lambda_0 / \sqrt{1 - \frac{T^4}{T_c^4}}$$

where λ_0 is the penetration depth at 0K

References

- 1- Charles Kittel - Introduction to Solid State Physics-Wiley (2005)
- 2- J. S. Blakemore - Solid State Physics-Cambridge University Press (1985)
- 3- M. A. OMAR Elementary-solid-state-physics