

SY 9200198



**REPORT ON SCIENTIFIC LABORATORY STUDY**

HIGH TEMPERATURE SUPERCONDUCTIVITY:  
CONCEPT, PREPARATION AND TESTING OF  
HIGH  $T_C$  SUPERCONDUCTOR COMPOUNDS-  
APPLICATIONS

---

PREPARED BY :  
DR. WAFIK HARARA

---

DEPARTMENT OF SCIENTIFIC SERVICES

AECS-S/RSS 41

JUNE 1992

549200198

تقرير عن دراسة علمية مخبرية



الناقلية الفائقة عند درجات الحرارة العالية  
مفهومها - تحضير عينات نواقل فائقة واختبارها - تطبيقاتها

اعداد :

الدكتور وفيق حرارة

قسم الخدمات العامة

حزيران 1992

هـ ط ذ س - ع / ت د ع ٤١

سورية - دمشق - ص.ب 7091

مجلة الطاقة الذرية

الجمهورية العربية السورية  
هيئة الطاقة الذرية  

---

---

**قسم الخدمات العلمية**

الناقلية الفائقة عند درجات الحرارة العالية  
مفهومها - تحضير عينات بوافل فائقة واختبارها - تطبيقاتها

---

---

اعداد :  
الدكتور وفيق حرارة

الفهرس :

المفحة

- ١- مقدمة (١)
- ٢- ظاهرة مايسنر (٤)
- ٣- دراسة الناقلية الفائقة للعينات  
 أ - اختبار انعراج الأشعة السينية  
 ب - اختبار المقاومة الأومية للينة  
 ج - قياس الطواعية المغناطيسية للعينات  
 د - الكثافة الحرجة للتيار في الناقل الفائق .  
 هـ - صناعة عينات فانقة الناقلية (١٠)
- أ - صناعة عينات  $GdBa_2Cu_3O_7$
- ب - صناعة عينات  $GdBa_2Cu_{2.8}Fe_{0.2}O_7$
- ج - الاختبارات المحراة
- د - صناعة عينات  $LaBaCaCu_3O_7$  (١٩)
- هـ - واختبارها  $La_{1.3}Ba_{1.7}Cu_3O_7$
- ٦- تطبيقات الناقلية الفائقة (٢٣)
- ٧- المراجع (٢٥)

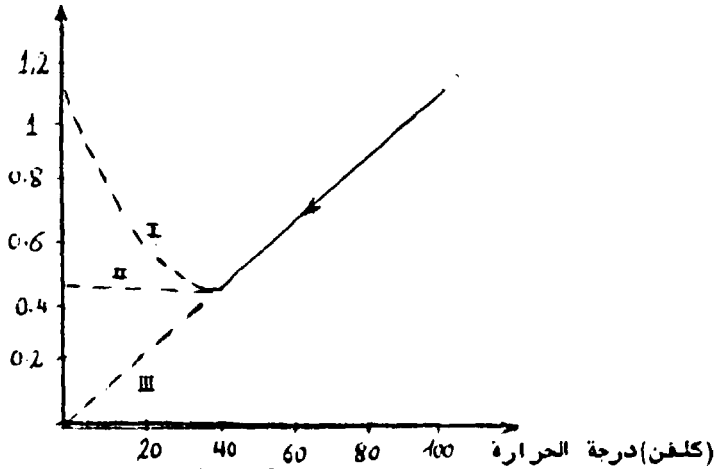
الناقلية الفائقة

مفهومها - تحضير عينات نواقل فائقة واختبارها - تطبيقاتها

مقدمة :

Heik Kamerlingh onnes في عام 1908 نجح العالم الفيزيائي هاك أونس<sup>(1)</sup> في ايجاد تقنية لتسييع غاز الهليوم عند درجة حرارة 4.2K وقد حاول على اثر ذلك الاجابة عن السؤال المحير المتعلق بالمقاومة الأومية للمعادن ، فمن الفيزيائيين من اعتقد بأن المقاومة الأومية للمعادن تزداد عند درجات الحرارة المنخفضة ومنهم من اعتلذ أن لقيمة المقاومة الأومية للمعادن تصبح ذات قيمة ثابتة عند درجات الحرارة المنخفضة واعتلذ الفريق الثالث من الفيزيائيين أن المقاومة الأومية تستمر في الانخفاض مع انخفاض درجة الحرارة الى أن تصل الى قيمة معدومة كما هو مبين في الشكل (1) .

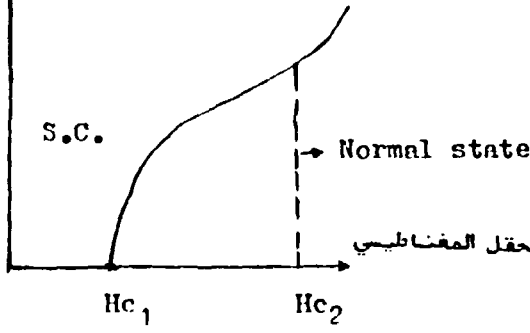
(أوم)المقاومة الأومية



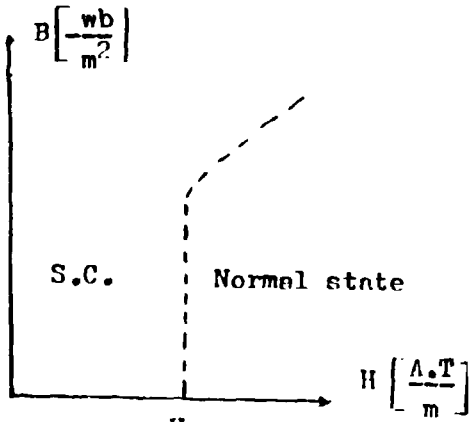
بدأ أونس في عام 1911 ، في اجراء تجاربه على<sup>(1)</sup> عينة نقيه من معدن الزئبق المبردة بسائل الهليوم وقد وجد أن المقاومة الأومية للمينة تمر فجأة من قيمة مقروءة الى قيمة معدومة عند درجات حرارة 4K أو مايعادل  $269^{\circ}C$  - درجة مئوية . وقد عسدتاريخ هذه التجربة هو بداية لتاريخ الناقلية الفائقة .

لقد تبين فيما بعد امتلاك غالبية المعادن خاصة الناقلية الفائقة عند تبريدها الى درجة الحرارة الحرجة المميزة لكل منها . وقد حاول أونس كتطبيق مباشر لتلك الخاصة ، استعمال هذه المعادن في صناعة مغناط ذات حقل مغناطيسي عال غير ان محاولته باءت بالفشل وذلك لان الحقل المغنطيسي الناتج عن التيار المار في الملف يعمل على تدمير الناقلية الفائقة له اذقال على اثر ذلك ان وجود الحقل المغناطيسي الحرج ذي القيمة المنخفضة ( Hc ) والتي لاتزيد على 100 gauss يحول دون امكان تطوير ملفات ذات حقول مغناطيسية قوية مصنعة من معادن فائقة الناقلية وهذه حالة غالبية المعادن النقيه فائقة الناقلية والتسي تعرف بـ Soft Superconductors . كما هو مبين في الشكل(2) وقدتم فيما بعد اكتشاف الخلائط المعدنية فائقة الناقلية التي يمكن لها العمل ضمن حقول مغناطيسية عالية والتي تتميز بوجود قيمتين للحقل المغناطيسي الحرج ( Hc1, Hc2 ) كما هو مبين في الشكل(3) وتدعى هذه الخلائط بـ Hard Superconductors ، وقد سمحت هذه الخلائط بصناعات كهربية ذات قيم تحريض مغناطيسي عالية لايمكن الوصول اليها باستعمال النواقل النحاسية وذلك لعدم امكان زيادة التيار المار في الملف اوعدد الملفات على حد معين دون زيادة في مقطع الناقل أوالتوتر المطبق عليه .

التحريف المغناطيسي



شكل (١)



شكل (٢)

يبين الجدول رقم (١) قيمة درجة الحرارة الحرجة ( $T_c$ )، وهي درجة الحرارة التي تنعدم عندها المقاومة الأومية، وكذلك قيمة الحقل المغناطيسي الحرج ( $H_c$ )، وهي القيمة الأعظمية للحقل المغناطيسي الذي يمكن الوصول اليه قبل ان تفقد الخليطة خاصة الناقلية الفائقة، لبعض العناصر والخلائط المعدنية (٢+٣)

اسم العنصر أو الخليطة	درجة الحرارة الحرجة ( K )	الحقل المغناطيسي الحرج ( Gauss )
Al	1.196	99
Hg	4.2	411
Pb	7.19	803
Nb	9.26	1980
In	3.4	293
Nb-Ti	9	$11.5 \times 10^4$
Nb3Sn	18	$21 \times 10^4$
Nb3Ge	23	$32 \times 10^4$

الجدول رقم (١)

بلغت التطبيقات المترتبة على اكتشاف الناقلية الفائقة في المعادن النقية والخلائط المعدنية محدودة وذلك لانخفاض درجة الحرارة اللازمة لبلوغ الناقلية الفائقة في كل منها و... ضرورة استعمال سائل الهليوم كوسيلة للتبريد والذي يتميز بمايلي :

- ارتفاع سعر وحدة الحجم
- صعوبة منع دخول الحرارة الخارجية الى نظام التبريد.
- تعذيب تصميم دارة التبريد اللازمة لذلك .

وبالتالي فقد اقتصر استعمال النواقل الفائقة على بعض التطبيقات الخاصة كبناء المغناطيس الكهربائية المستعملة في فيزياء الجسيمات وفي العديد من الاجهزة الطبية .

استمر العمل في مخابر فيزياء الحرارة المنخفضة Low-Temperature Physics ومخابر فيزياء الجسم الصلب ( Solid-State Physics ) لاكتشاف نواقل فائقة جديدة ذات درجات حرارة مرتفعة قادرة على أن تحتفظ بخاصتها عند العمل في حقول مغناطيسية عالية، إذ تعطي النواقل الفائقة أفضل خصائصها عند درجة حرارة تعادل  $1/10$  من درجة حرارتها الحرجة . وبكلمة اخرى يعطي معدن الرصاص ذو درجة الحرارة الحرجة  $T_c=7K$  خصائص عملية ممتازة عند درجة حرارة 4K وتصبح خصائص الناقلية الفائقة له غير مفيدة عند درجة 6K . وقد تم تحطيم حاجز 23K، درجة الحرارة الحرجة لمركب  $Nb_3Ge$ ، عندما استطاع  $Bednorz$  و  $Mueller$  اكتشاف الناقلية الفائقة في خلائط الانثانيوم والباريوم مع

اكاسيد النحاس وقد استمرت زيادة درجة الحرارة الحرجة باستبدال عنصر الباريوم بعنصر ذي تكافؤ مماثل كالسترونسيوم والكالسيوم ( Sr,Ca ) واستبدال اللانثانيون بعناصر مماثلة تنتمي الى فئة العناصر الحادة كالايتريوم . اذ تبين لطريق بحث تابع لجامعة الاباما وهيوستن ان المقاومة الاومية للمركب

عند درجة حرارة 93K وبالتالي لاجابة لتبريد العينة باستعمال سائل الهيليوم عند درجة حرارة 4.2K وبالشكل سريع اكتشاف مركبات سيراميكية جديدة فائقة الناقلية عند درجات الحرارة العالية مما دفع الى تقسيمها الى مجموعات عديدة وهذه المجموعات هي (4) :

1- مجموعة مركبات Y-Ba-Cu-O وأهم مركباتها  $YBa_2Cu_3O_{7-x}$  حيث تبلغ درجة الحرارة الحرجة لهذه المركبات  $T_c=90K$

2- مجموعة مركبات Ln Ba Cu<sub>3</sub>O<sub>7-6</sub> وذلك لان Ln = La, Y, Yb, Er, Dy, Tm

وتقترب درجة الحرارة الحرجة لهذه المركبات من  $T_c=95 K$

3- مجموعة مركبات  $Bi_2(Ca,Sr)_{n+1}Cu_nO_{2N+4}$

n	Tc(K)	حيث
1	80	
2	90	
3	110	

4- مجموعة مركبات  $Tl Ca_{n-1}Ba_2Cu_nO_{2n+3}$

n	Tc(K)	حيث
1	60+5	
2	85+2	
3	117+3	

5- مجموعة مركبات  $Tl_2Ca_{n-1}Ba_2Cu_nO_{2n+4}$

n	Tc(K)	حيث
1	81	
2	110	
3	125	

وتعد هذه المجموعة هامة جدا لان كثافة التيار ودرجة الحرارة فيها أعلى من كثافة التيار ودرجة الحرارة الحرجة في مجموعة مركبات  $(YBaCuO)$  بالإضافة الى أن عملية تصنيعها سهلة ولكن تعد اكاسيد الثاليوم  $Tl_2O_3$  على درجة عالية من السمية وبالتالي يتطلب التعامل معها احتياطات مناسبة .

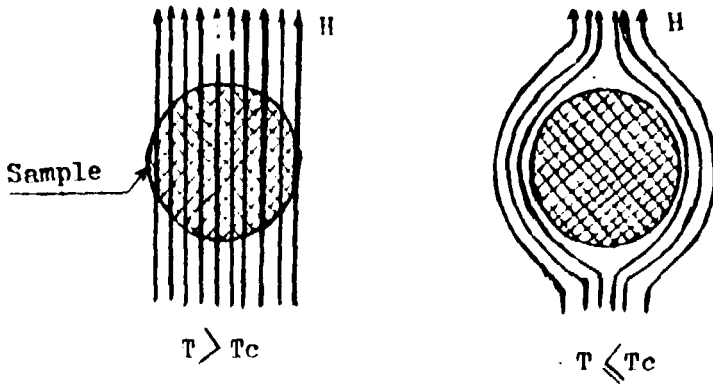
6- المركبات  $Tl_2Ba_2Ca_2Cu_3O_{10}$

حيث  $T_c= 125K$

ويقوم العديد من المخابرة بدراسة الناقلية الفائقة لمركبات ذات تراكيب مختلفة وذلك بوضع عدد أكبر من المعادن في العينات وتعير نسب الاضافة لهذه المعادن ودراسة التغيرات التي تطرأ على خواصها الكهربائية من جراء هذا التغير . فمثلا تدرس التغيرات التي تطرأ على الناقلية الفائقة للمركب  $GdBaCuO$  عند ادخال نسب مختلفة من معدن آخر في تركيبه كالحديد مثلا وكذلك تجري بحوث تجريبية مكثفة على ايجاد مركبات فائقة الناقلية جديدة غير حاوية على اكاسيد النحاس وذلك باستبدال اكاسيد النحاس باكاسيد معدن آخر .

ظاهرة مايسنر ( Meissner effect ) :

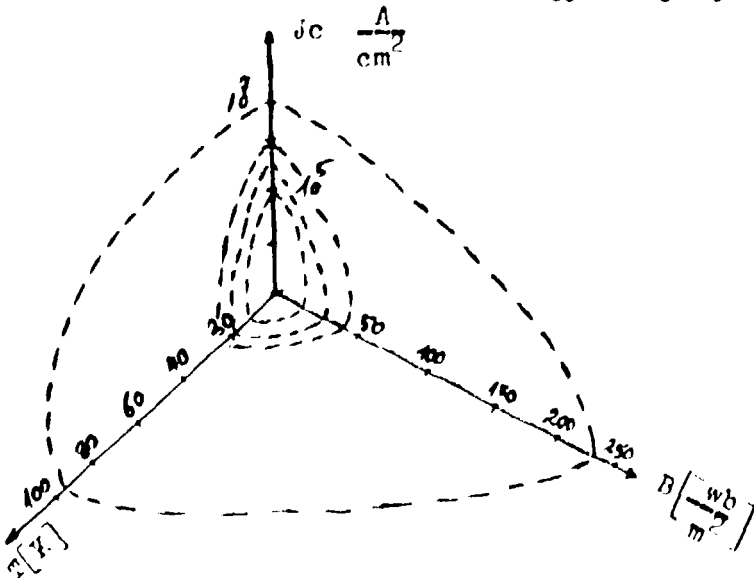
عند تبريد معدن أوخليفة تتمتع بخاصة الناقلية الفائقة فمن خلال مغناطيسي الى درجة حرارة اقل من درجة الحرارة الحرجة أو عند درجة الحرارة الحرجة ( $T_c$ ) فان التحريض المغناطيسي ( $B$ ) يدخل به الى خارج العينة وينعدم الحقل المغناطيسي في داخل العينة كما هو مبين في الشكل (٤) .



(شكل ٤)

(5) تعني ظاهرة مايسنر ان العازلية المغناطيسية المطلقة هي ميزة الناقلية الفائقة وان الحقل المغناطيسي لا يمكن له ان يمر عبر معدن أوخليفة مبردة الى درجة حرارة اصغر من درجة الحرارة الحرجة . هذا وتعد ظاهرة مايسنر مؤشرا لاثبات تواجد حالة الناقلية الفائقة في معدن أوخليفة أو مركب كيميائي مبرداً لا يكفي فقط اعتماد وجود ناقلية فائقة في معدن أوخليفة مبردة عند تلاشي المقاومة وتلغيد هذه الظاهرة أيضا في التمييز بين الناقل الفائق والناقل المشابي السذي لايبدي هذه الظاهرة .

يبين الشكل (٥) مقارنة بين الحقل المغناطيسي وكثافة التيار للعديد من عينات نواقل فائقة ذات درجات الحرارة المنخفضة والمبردة بالهليوم السائل وعينة ذات ناقلية فائقة عند درجات الحرارة العالية والمبردة بالازوت السائل .



(٥) الشكل



يمكن أن نستنتج من الشكل (٥) أن العينة مائقة الناقلية  $YBa_2Cu_3O_7$  ذات درجة الحرارة الحرجة  $92K$  يمكن لها أن تعمل ضمن حقول مغناطيسية عالية جدا. كذلك عند كثافة تيار عالية مع المحافظة على خاصية الناقلية الفائقة، ومن هنا فان لهذا المركب السيراميكي أهمية خاصة في الصناعة نظرا لامكان استعماله في العديد من التطبيقات الصناعية المختلفة (٦) فمثلا يمكن استعمال هذا المركب في صناعة :

- كوابل نقل الطاقة الكهربائية باستطاعة 5GW حيكواوط
- شبكات نقل الطاقة الكهربائية المتناوبة اوالمستمرة دون ضياعات وعند كثافة تيار  $1000A/mm^2$  وحقل مغناطيسي معدوم .
- في بناء مولدات ذات استطاعات عالية واحجام صغيرة نسبياوتعمل عند كثافة تيار  $100A/mm^2$  وتحريض مغناطيسي  $(6-7)Wb/m^2$
- في المعرعات التي تعمل عند كثافة تيار  $2000A/mm^2$  وتحريض مغناطيسي  $10 \frac{Wb}{m^2}$
- في المغناط القوية التي تستعمل في مفاعلات الاندماج النووي لحصر البلازما وفي الرئسح المغناطيسي الهوائي للقطارات وذلك حتى كثافة تيار  $1000A/mm^2$  وتحريض مغناطيسي  $30Wb/m^2$  .

### دراسة الناقلية الفائقة للعينات :

لدراسة الناقلية الفائقة لعينة مامضوعة من عنصر أوعدة عناصر كيميائية أوليايجساد محددات الناقلية الفائقة لها لابد من اجراء العديد من الاختبارات أهمها هي :

- ١- اختبار انعراج الأشعة السينية
  - ٢- اختبار قياس المقاومة الأومية للعينة بدلالة درجة الحرارة
  - ٣- اختبار الطواعية المغناطيسية Magnetic Susceptibility للعينة بدلالة درجة الحرارة .
  - ٤- اختبار تحديد كثافة التيار الحرج والحقل المغناطيسي الحرج .
- ١- اختبار انعراج الأشعة السينية :

بعد اتمام المراحل المختلفة للتفاعل في الطور الصلب لمكونات المركب فائق الناقلية تحسنت تأثير التسخين ،يؤخذ جزء من هذا المركب ويحقق على شكل بودرة تمهيدا لدراسة انعراج الأشعة السينية على أوجه الشبكة البلورية المميزة لها وذلك بهدف تحديد الشوايت الفيزيائية للشبكة البلورية وشكل التبلور لها وكذلك لمعرفة المسافة الفاصلة بين متويين من السذرات ( d ) ( interplanar spacing ) اللازمة في حساب قرائن ميلر (7) ( h k L ) ( Miller indexes ) . كذلك من الممكن أن يلجا الى اجراء هذا الاختبار لمعرفة التغيرات الحاصلة على الشبكة البلورية بين المعالجات الحرارية المختلفة ،اذيتم مقارنة ( d ) المميزة لقم طيف انعراج الأشعة السينية الناتج من الاختبار مع قيم ( d ) المحسوبة للتبلور المفترض والذي من الممكن ان يكون تكعيبيا ( Cubic ) أورباعي الاضلاع ( Tetragonal ) اومستقيم المعين ( Orthorhombic ) اوسداسي الاضلاع ( hexagonal ) .وبعبارة أخرى مقارنة ( d ) عند القمم المميزة لمنحني انعراج الأشعة السينية والتي حسب من علاقة براغ ( Bragg ) .

$$2d\sin\theta = \lambda$$

حيث (  $\lambda$  ) الطول الموجي لحزمة الأشعة السينية المستعملة مكدرة بالانغستروم  $\text{\AA}$  (  $\theta$  ) زاوية الانعراج عند كل قمة مميزة من قم الطيف الناتج والمرتبة ولفنا لشدها . مع ( d ) المعطاة من علاقة أحد اشكال التبلور المتولعة والتي هي في اغلب الاحيان

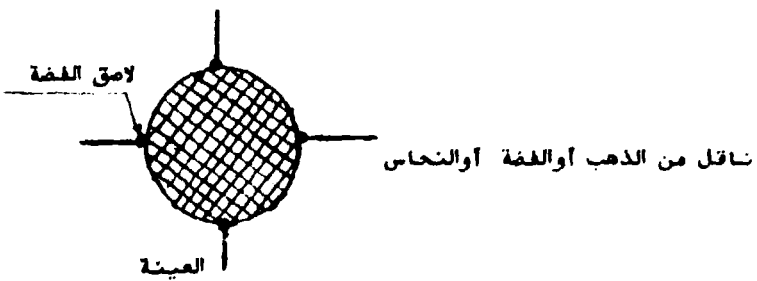
$$\frac{1}{d^2} = \frac{h^2}{a^2} + \frac{k^2}{b^2} + \frac{l^2}{c^2} \quad \text{أما مستقيم المعين}$$

$$\frac{1}{d^2} = \frac{h^2}{a^2} + \frac{k^2}{a^2} + \frac{l^2}{c^2} \quad \text{أورباعي الاضلاع}$$

حيث  $d, b, c$  ثوابت تتعلق بالشبكة البلورية عند تبلور شبكي معين .  
 $h, k, l$  قرائن ميلر  
 وعند تساوي  $(d)$  التي تم حسابها من مخطط انعراج الأشعة السينية و  $(d)$  التي تم حسابها من إحدى معادلات التبلور يتم تحديد لرائن ميلر لكل لمة وبالتالي تحديد شكل تبلور العينة أو المركب السيراميكي لائق الناقلية .  
اختبار المقاومة الأومية للعينة :

لتحديد قيمة درجة الحرارة الحرجة للعينة **Critical Temperature** وكذلك عرض الانتقال **Transition Width** يتم دراسة تغيرات قيمة المقاومة الأومية لها بدلالة درجة الحرارة وذلك بتطبيق جهد مستمر، لتفادي أخطاء القياس الناتجة عن ظهور معانعات التسريب التحريضية والسعوية عند تطبيق جهد متناوب على العينة ، وكذلك بسبب كون الجهد الناتج من التدرج الحراري في نقاط تماس الأقطاب مع العينة ، في حالة عدم وجود العينة والنواقل في وسط حراري متجانس ، هو جهد مستمر ولا يمكن لياسه بواسطة جهــــــــــــــــاز قياس جهد متناوب ، ويتم في معظم الأحيان صناعة العينة المراد اختبارها على شكل قرص أو على شكل متوازي مستطيلات .

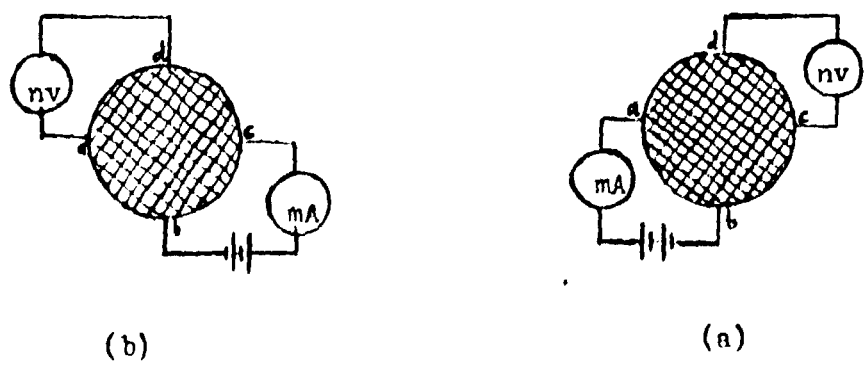
(أ) العينة على شكل قرص دائري ذي شخانة  $t$  و قطر  $d$  :  
 يبين الشكل ٦ رسم للعينة المشكولة بواسطة ضغط مسحوق المادة حتى  $10t$  أظنان بواسطة فواغط هيدروليكية ومعالجة القرص الناتج حرارياً . إذ يتم بعد ذلك تثبيت أربعة أقطاب من نواقل نحاسية أو فضية أو ذهبية بواسطة مادة لاصقة ناعلة كهربائياً ، ك لاصق اللصقة ، بشكل متناظر على محيط القرص ( 8 ) .



$d=13\text{mm}$  قطر العينة  
 $t=1,5\text{mm}$  شخانة العينة

شكل (٦)

تكون العينة في أغلب الأحيان ذات قطر  $13\text{mm}$  وشخانة  $1,5\text{mm}$  ويتم لياس ليــــــــــــــــمة المقاومة الأومية للقرص عند كل درجة حرارة على مرحلتين وذلك بالاستعانة بمجــــــــــــــــاس نانوفولت متر ومنبع تيار ثابت كما هو مبين في الشكل (7) .



الشكل (٧)

من الشكل ( V-a ) تكون قيمة المقاومة الاومية للقرص

$$R_{ab,cd} = \frac{V_d - V_c}{i_{ab}}$$

ومن الشكل ( V-b ) تكون قيمة المقاومة الاومية للقرص

$$R_{bc,da} = \frac{V_a - V_d}{i_{bc}}$$

ووفقا للعلاقة المقترحة من فان دير باو ( Van der Pauw ) يكون

$$\text{EXP} \left( - \frac{\pi d}{\rho} R_{ab,cd} \right) + \text{EXP} \left( - \frac{\pi d}{\rho} R_{bc,da} \right) = 1 \quad (1)$$

من العلاقة (1) يمكن حساب قيمة  $\rho$  عند كل درجة حرارة ( T ) ويمكن الحصول على قيمة المقاومة النوعية للعينة عند كل درجة حرارة بلباس وحيد شرط أن تكون التماسات متناظرة تماما على محيط القرص وفي هذه الحالة تصبح العلاقة 1 على الشكل التالي

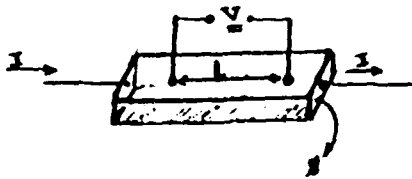
$$2 \text{Exp} \left( \frac{\pi d}{\rho} R \right) = 1$$

$$\text{ومنه } \rho = \frac{\pi d R}{\ln 2}$$

في الغالب يتم اعتماد هذه الطريقة لحساب تغيرات المقاومة النوعية للعينة بدلالة درجة الحرارة .

(ب) العينة على شكل متوازي مستطيلات (9)

في هذه الحالة يتم قطع العينة المشكلة على شكل قرص بواسطة منشار كهربائي خاص للحصول على شكل متوازي مستطيلات ويتم تثبيت أربعة نواقل معدنية عليها كما هو مبين في الشكل رقم (8) .



الشكل رقم (8)

ويمكن باعتماد هذا الشكل للعينة لقياس المقاومة الاومية لها مباشرة بدلالة درجة الحرارة إذ أن

$$R = \frac{V}{I} = \frac{\rho L}{S}$$

$$\rho = \frac{R S}{L} = K \cdot R$$

حيث S سطح مقطع العينة  
L المسافة بين أقطاب مقياس الجهد  
 $\rho$  المقاومة النوعية للعينة

قياس الطواعية المغناطيسية للعينات :

يجري قياس الطواعية المغناطيسية للعيينة بدلالة درجة الحرارة للتأكد من وجسود الناقلية الفاشقة في العينة وتحديد درجة الحرارة الحرجة لها ويعد هذا القياس العامـل الحاسم في تمييز الناقل الفائق عن الناقل العنـالي إذ تكتسب كل مادة موضوعة داخل حلال مغناطيسي تعظماً (10) بحيث يكون عامل التعظـمة لها .

$$\vec{J} = \chi \cdot \vec{H}$$

حيث  $\vec{J}$  عامل التعظـمة

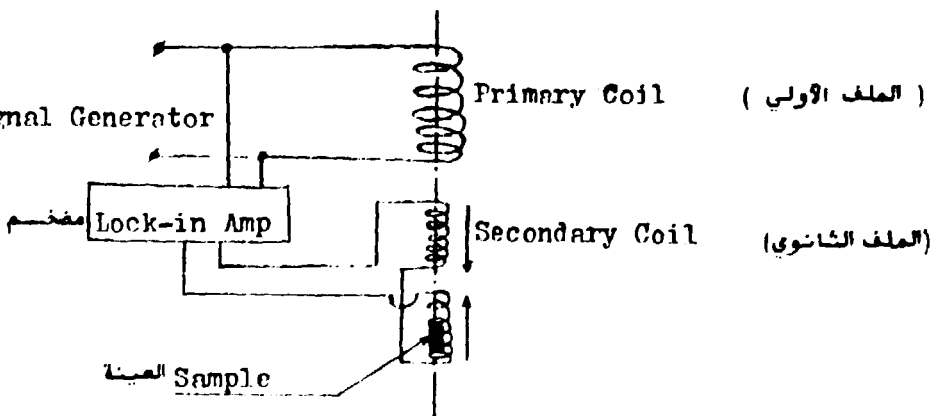
$\chi$  الطواعية المغناطيسية  
 $\vec{H}$  الحقل المغناطيسي الخارجي المطبق على المادة

ويمكن وبشكل عام، تمييز نوعين من المواد

١- المواد معاكسة التعظـمة ( diamagnetic ) وتكون في هذه المواد ليمـسة الطواعية المغناطيسية سالبة أي  $\chi < 0$  وذات قيم صغيرة جداً ويكون  $\vec{J}$  ذات اتجاهين متعاكسين وتتميز هذه المواد بإمكان اكتسابها لخاصة الناقلية الفائقة إذ تتجمع الإلكترونيات بأزواج ويعزوم متعاكسة مما يؤدي إلى حذف العزم المغناطيسي الناتج عن السبين وبالتالي لاتبدي العينة أي عزم مغناطيسي سوى عزم متحرف عنـسـد وجود تحريف خارجي .

٢- المواد موافقة التعظـمة ( Paramagnetic ) : في هذه المواد ليمـة الطواعية المغناطيسية موجبة أي  $\chi > 0$  وتتميز هذه المواد بعدم قدرتها على اكتساب ناقلية فائقة إذ تنتظم ذرات العينة المصنوعة من هذه المواد عند وضعها في حقل مغناطيسي لتشكل مغناط صغيرة باتجاه الحقل الخارجي ويكون للعيينة مغناطيسية متناسبة مع شدة الحقل الخارجي المطبق .

يستند مبدأ قياس الطواعية المغناطيسية (11) إلى تحديد التغير وقياسه في الحيز المغناطيسي الناتج في الطرف الثانوي عند وجود العينة في الحقل المغناطيسي للملف ولقنا لظاهرة ميـنر إذ يتم وضع العينة داخل ملف الكشف الموجود على التسلسل مع ملف مشابه له تماماً ولكن باتجاه لف معاكس على الطرف الثانوي كما هو مبين في الشكل (A)



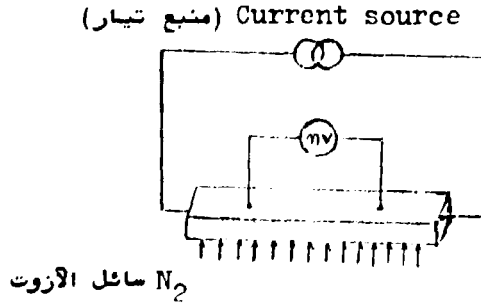
شكل (A)

ففي حالة عدم وجود أي عينة داخل ملف الكشف وعند تطبيق جهد متناوب على الملف الأولي تكون تغيرات الجهد الناتج من كامـل الملف الثانوي معدومة وبالتالي فان تغيرات اللـيـض المغناطيسي معدومة أيضا . وعند وضع العينة داخل ملف الكشف ينشأ فيها تحت تأثير الحقل المغناطيسي الناتج عن الملف حقل مغناطيسي معاكس مما يؤدي الى اضطراب التوازن السابق ويمكن بواسطة جهاز قياس مناسب قياس قيمة هذا الاضطراب في اللـيـض عند كل قيمة لدرجة الحرارة (  $\eta$  ) وبالتالي تحديد قيمة الطواعية المغناطيسية للعينة ورسم المنحني المميز لها مع تغيرات درجة الحرارة (  $\eta$  ) .

#### الكثافة الحرجة للتيار في الناقل الفائق :

بعد أن يتم تحديد درجة الحرارة الحرجة للعينة يلجأ في الكثير من الاحيان الى تحديد الكثافة الحرجة للتيار ضمنها وذلك بهدف معرفة الخواص الكهربائية وبالتالي تحديد مجالات الاستعمال المختلفة لها . اذ تحافظ بعض النواقل الفائقة على خاصتها عند العمل على كثافة تيار عالية سواء بوجود الحقول المغناطيسية أو غيابها وتنهار الناقلية الفائقة لبعضها الآخر عند ازدياد كثافة التيار على حد معين لـذ تكون ذات قيمة ضعيفة نسبيا وبالتالي لابد من التمييز بين النواقل الفائقة وتحديد الناقل الفائق المناسب لكل نوع من أنواع التطبيقات الكهربائية .

يتم اجراء هذا الاختبار عادة باستعمال مقياس نانوفولت ومنبع تيار مربع ، لبعـد ان يتم تبريد العينة حتى درجة حرارة الازوت السائل أي 77K يتم زيادة قيمة التيار المار في العينة وعلى مراحل ، بواسطة منبع التيار ، حتى ظهور فرق جهد مقداره 1/٨V على اطراف مقياس النانوفولت كما هو مبين في الشكل (٩) .



شكل (٩)

فالتيار الحرج هو التيار الذي يؤدي الى ظهور فرق كمون مساو الى 1/٨V في العينة ويتسم بالتالي تحديد قيمة التيار الذي أدى الى ظهور فرق الكمون المذكور ، ويتم تحديد كثافة التيار الحرج بقسمة التيار المار على سطح مقطع الناقل الفائق .

$$J = \frac{I}{A} \quad [A/mm^2]$$



لقد تطلب تصنيع العينات من المركبين المذكورين اجراء خمس معالجات حرارية ، تم اجراء المعالجة الحرارية الاولى والثانية بوجود الهواء أما المعالجات الثلاث المتبقية فلقد تسم اجراؤها في فرن اسطواني بوجود تدفق من غاز الاوكسجين كما هو مبين بالجدول التالي:

مقاومة العينات المشابه	مقاومة العينات	الزمن (h)	الوسط	درجة الحرارة (c) <sup>0</sup>	المعالجة الحرارية
50	19	8	هوا	860	١
39	16	$\frac{4}{12}$	هوا	$\frac{800}{930}$	٢
30	13	14	اوكسجين	940	٣
20	8	16	اوكسجين	950	٤
8	3	$\frac{16}{27}$	اوكسجين	$\frac{950}{Cool. 35 C/h}$	٥

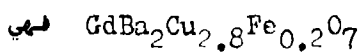
#### الاختبارات المجراة :

بعد استكمال اجراء المعالجات الحرارية أخذ جزء صغير جدا من البودرة الناتجة وتسمى حقها وذلك تمهيدا لوضعها في جهاز تياس انعراج الاشعة السينية بغية تحديد شكل تبلور الشبكة البلورية . لقد تم استعمال جهاز ذي انجوية من نوع  $CuK\alpha$  الذي ينتج امواج اشعة ذات طول  $\lambda = 1,524 \text{ \AA}$  انغستروم وقد تم حساب ثرائن ميلر للخم الطيف الناتج والمبين بالشكلين 11 و 10 وذلك وفقا لما سبق شرحه ولدتهم من ناحية اخرى مقارنة الطيف الناتج مع الطيف الذي يعطيه برنامج PDP المقدم من مخبر المواد في المركز الدولي للفيزياء النظرية لتحليل الطيف المسجل ومعرفة الشكل الفراغي للعيينة وقد تبين لسي كلتا الحالتين ان العينات المصنوعة هي وحيدة الطور وذات تبلور اورشورمييك وبمحددات شبكة

$$a = 3,853 (\text{ \AA})$$

$$b = 3,986 (\text{ \AA})$$

$$c = 11,724 (\text{ \AA})$$



أما العينات المصنوعة ذات التركيب انكيميائي

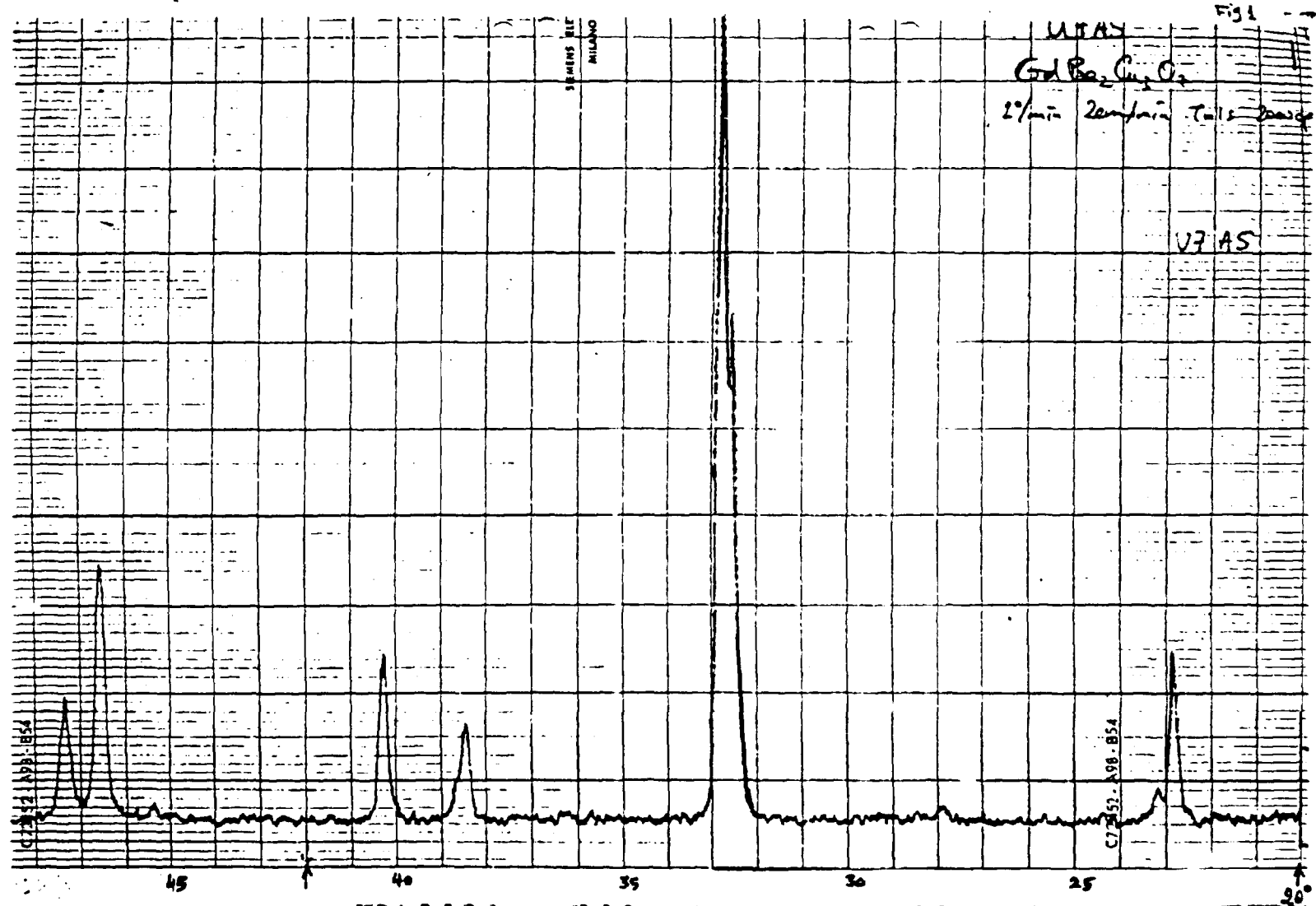
أيضا وحيدة الطور وذات تبلور تتراغونال وبمحددات شبكة

$$a = b = 3,879 (\text{ \AA})$$

$$c = 11,71 (\text{ \AA})$$

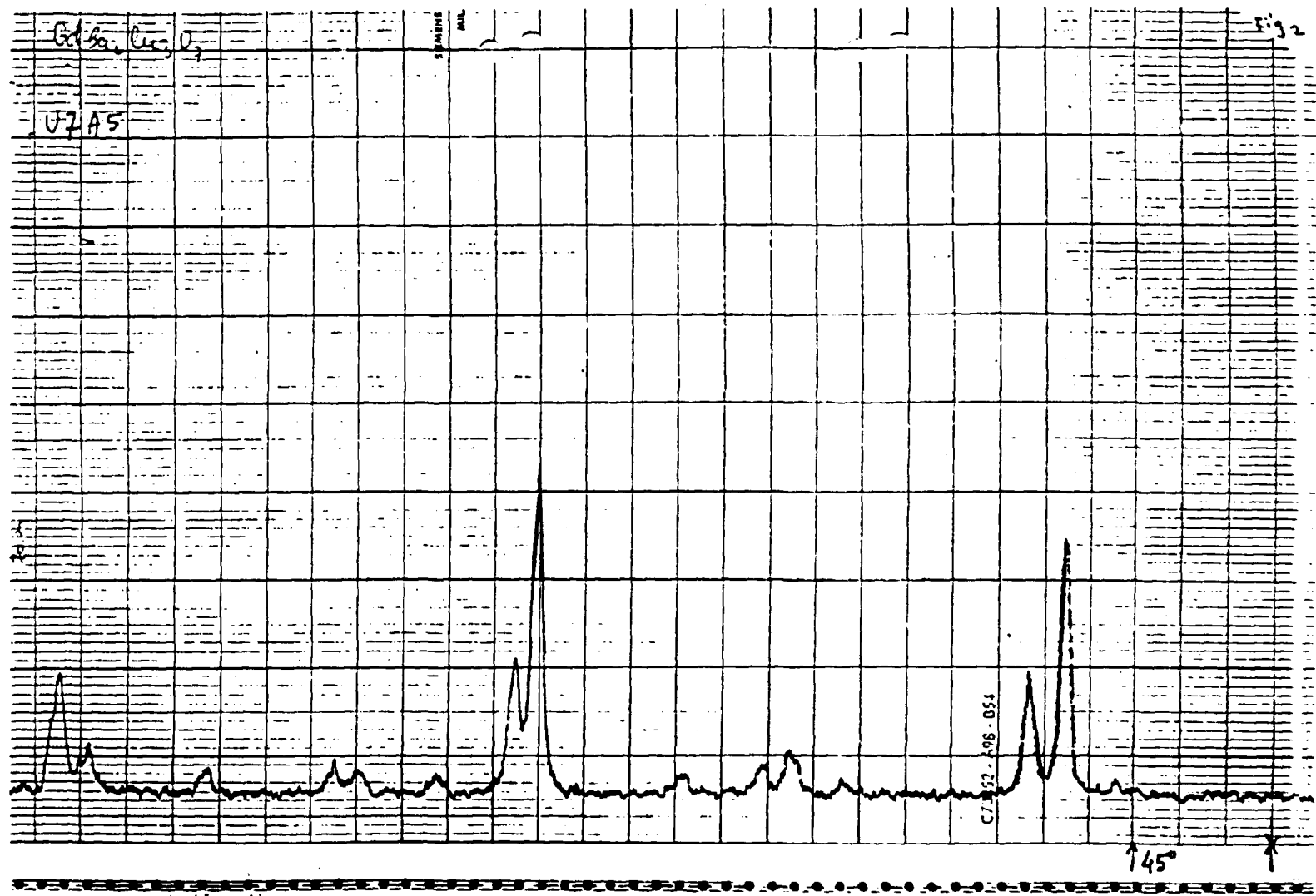
والشكل 12 و 13 يبينان طيف انعراج الاشعة السينية لهذه العينات .

شکل (۱۰)

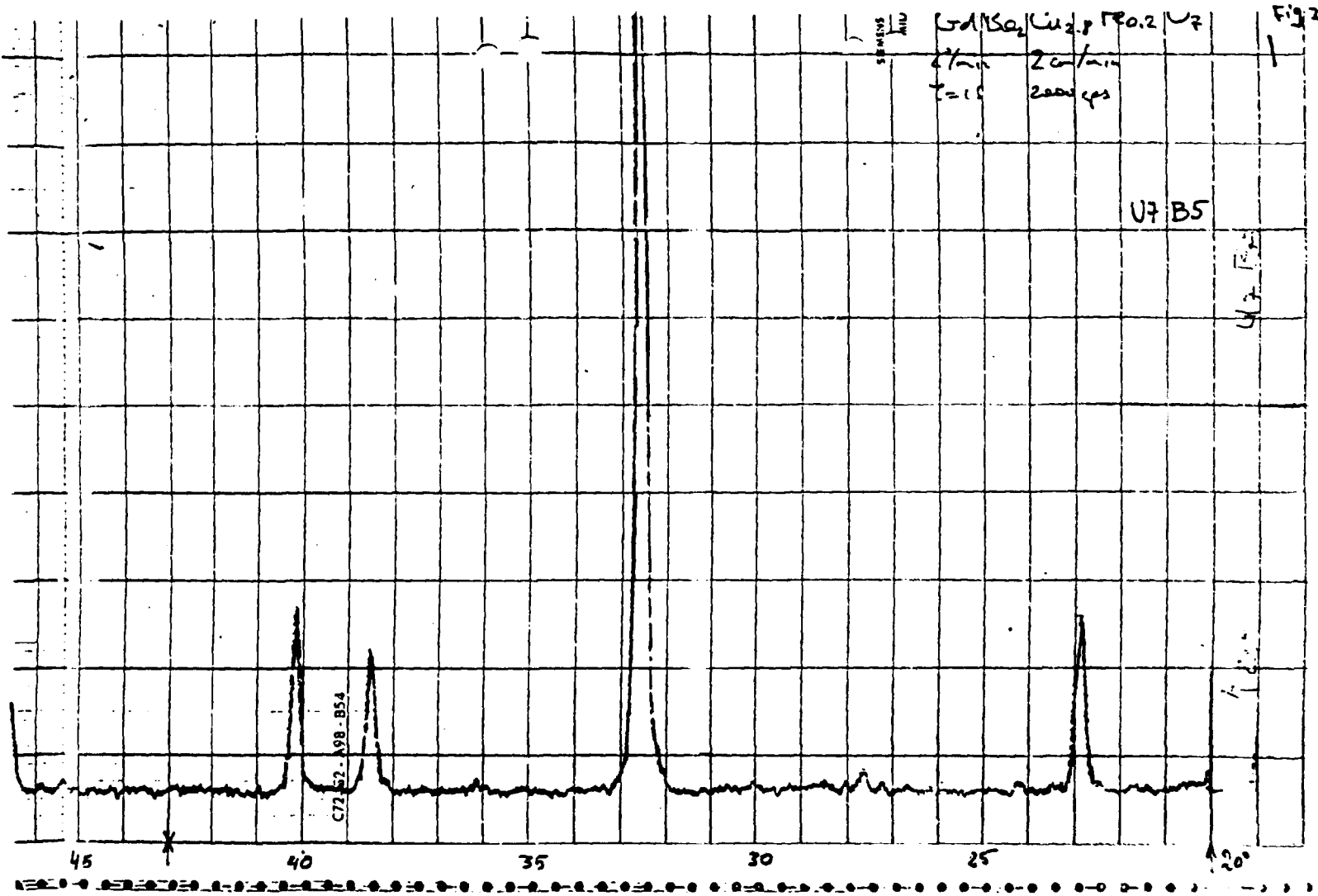




شکل (۱۱)



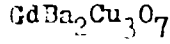
عکس (۱۲)





قياس المقاومة الاومية العينات :

لتد سم قياس المقاومة بدلالة درجة الحرارة وفقاً لطريقة النواقل الاربعة اذ تم استعمال نواقل من النحاس والفضة وقد تم وضع العينات والتي هي على شكل متوازي مستطيلات في جهاز التبريد العامل على الهليوم السائل والمزود بمسخن عينات لتنظيم درجات الحرارة من (K) 3 وحتى (K) 300



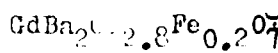
- محددات العينة المختبرة ذات التركيب

L=9.39(mm)	: الطول
W=0.97(mm)	: العرض
T=1.02(mm)	: الشخانة
6.361 gr/cm <sup>3</sup>	: كثافة العينة
0.0591gr	: وزن العينة

قبل قياس المقاومة تم اختبار جودة التماسات بواسطة مقياس اوم وقد كانت قيم المقاومة بين التماسات هي :

R <sub>12</sub> = 2	(Ω)
R <sub>13</sub> = 2	(Ω)
R <sub>14</sub> = 2.3	(Ω)
R <sub>23</sub> = 2.3	(Ω)
R <sub>24</sub> = 2.5	(Ω)
R <sub>34</sub> = 2.3	(Ω)

ويبين الشكل رقم 14 منحنى المقاومة للعينة المدروسة بدلالة درجة الحرارة وذلك بامرار تيار مستمر ثابت ذي شدة (mA) 1 وكما هو مبين في الشكل فان مقاومة العينة تتلاشى تماما عند درجة (K) 93,6



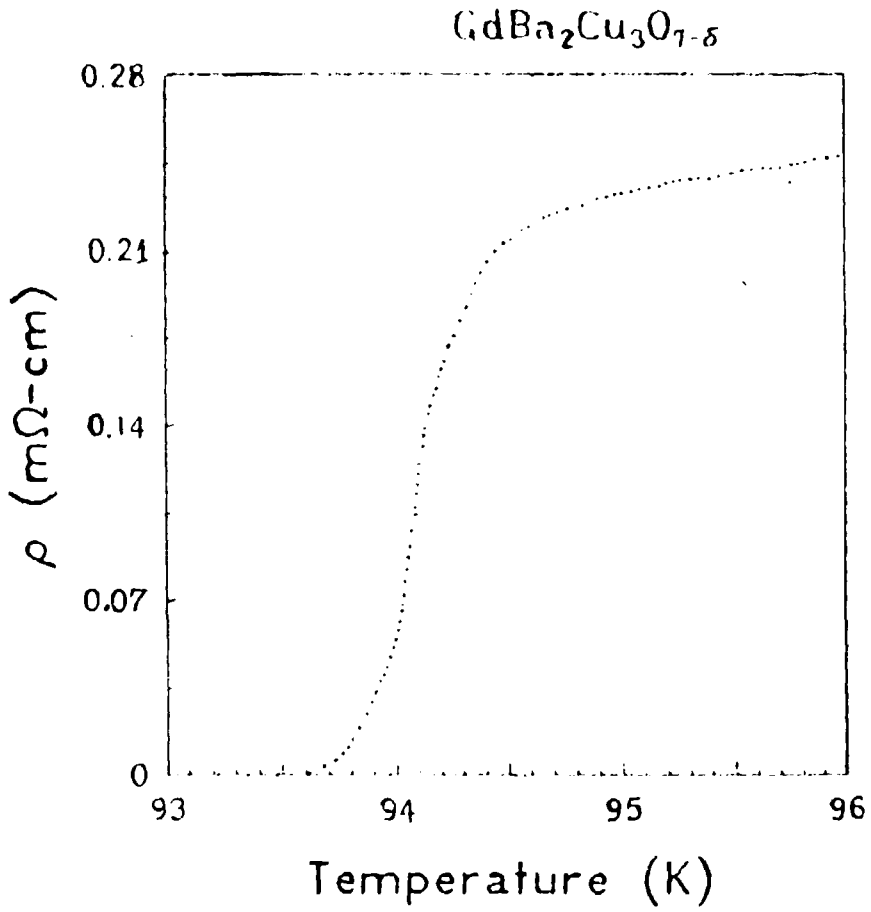
- محددات العينة المختبرة ذات التركيب

L=9.39(mm)	: الطول
W=0.97(mm)	: العرض
T=1.02(mm)	: الشخانة
0.0591 (gr)	: وزن العينة
6.361 (gr/cm <sup>3</sup> )	: كثافة العينة

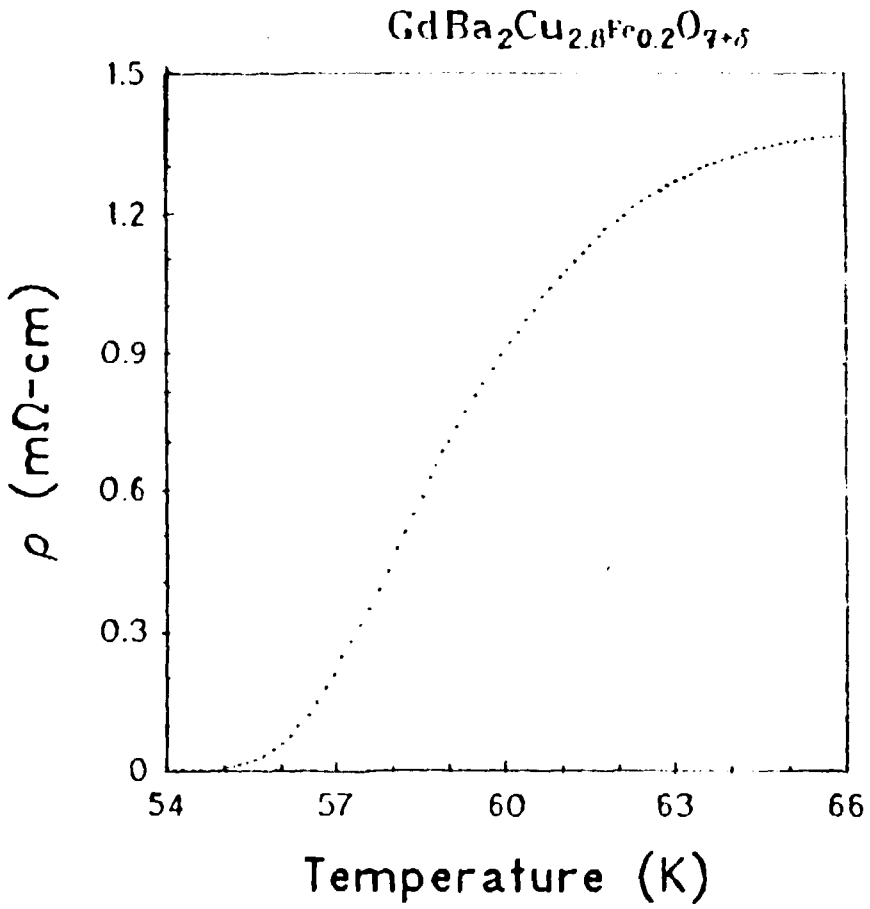
قبل قياس المقاومة تم اختبار جودة التماسات بواسطة مقياس اوم وقد كانت قيم المقاومة بين التماسات هي

R <sub>12</sub> = 4	(Ω)
R <sub>13</sub> = 3.5	(Ω)
R <sub>14</sub> = 3.2	(Ω)
R <sub>23</sub> = 4.2	(Ω)
R <sub>24</sub> = 4.1	(Ω)
R <sub>34</sub> = 3.5	(Ω)

ويبين الشكل رقم 15 منحنى المقاومة الاومية للعينة بدلالة درجة الحرارة وذلك بامرار تيار مستمر ذي شدة ثابتة (mA) 1 . كما هو مبين في الشكل فان مقاومة العينة تتلاشى تماماً عند درجة حرارة (K) 55.



شکل (۱۴)



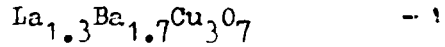
شکل (۱۵)

قياس الطواعية المغناطيسية :

للتأكد من قيمة درجة الحرارة الحرجة العينات تم قياس الطواعية المغناطيسية لها بدلالة درجة الحرارة وذلك بتطبيق ثلاثة حقول مغناطيسية ذات قيم  $(0.5, 0.1, 0.01) \theta_e$  اورستد وقد أكدت هذه القياسات وجود الطور فائق الناقلية في العينة ذات التركيب  $GdBa_2Cu_3O_7$  إذ اخترق الحقل المغناطيسي العينة عند درجة الحرارة  $(K) 93,6$  كما هو مبين في الشكل رقم ١٦ .

لقد استنتج من خلال الدراسة السابقة انه يمكن ان نستبدل ذرات المعدن النادر الايتريسيوم (Y) في مركب  $YBaCuO$  بذرات معدن نادر مشابه مثل الغادالينيوم (Gd) والحصول على درجات حرارة حرجة معادلة لدرجات الحرارة الحرجة في مركبات  $YBaCuO$  ويؤدي اشارة العينات المذكورة بذرات معدن الحديد الى انخفاض قيم درجات الحرارة الحرجة لهسباً ويزداد نقصان درجات الحرارة الحرجة للعينات بمقدار ازدياد نسبة الاشارة بمعدن الحديد وهذا يؤكد ان الناقلية الفائقة ناتجة اساساً من ازواج الكترونات التكافؤ لذرات النحاس الموجودة ضمن نظام تبلور شبكي اورثورومبيك .

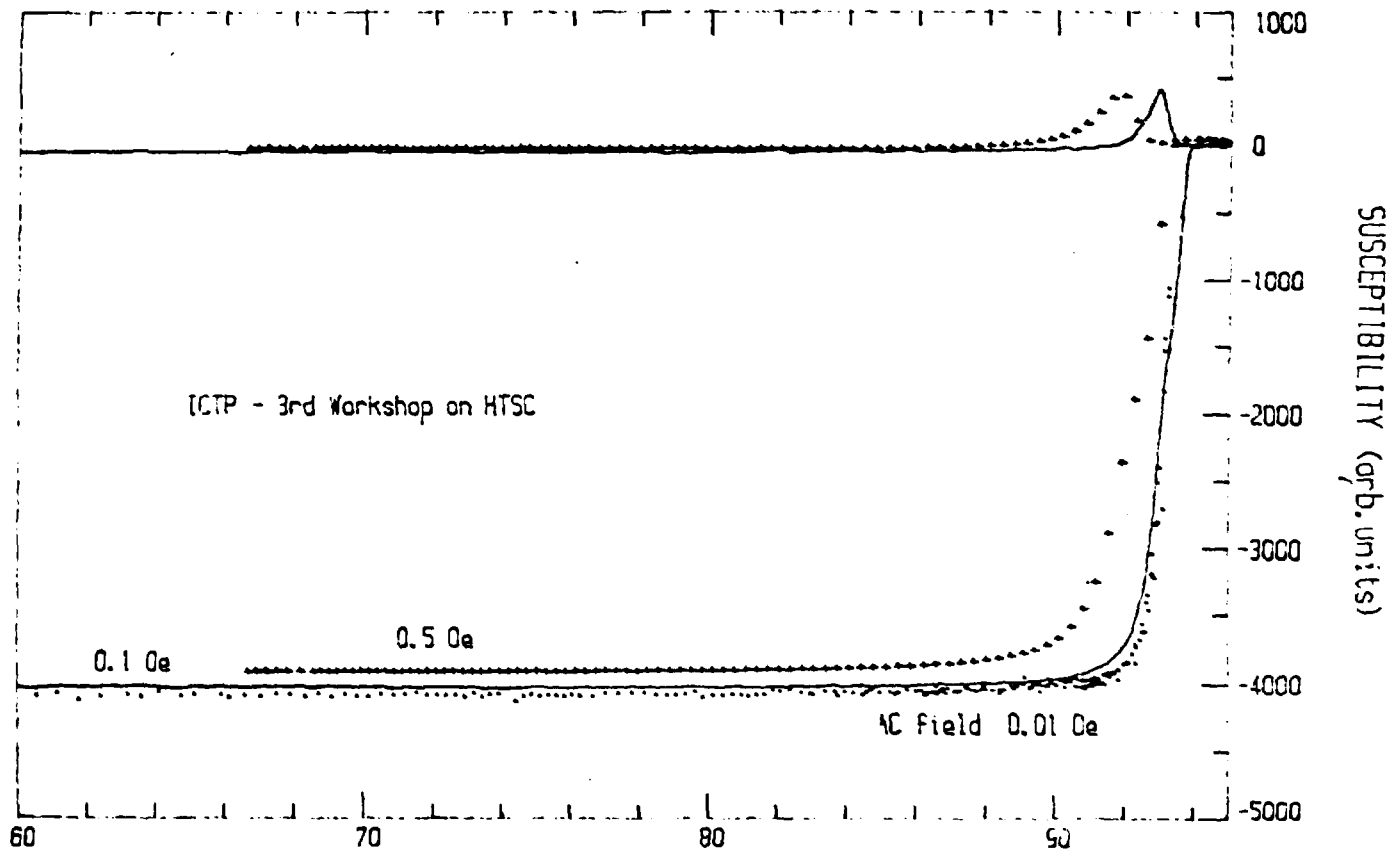
من ناحية اخرى قامت مجموعة بحث مؤلفة من سبعة باحثين في ورشة العمل المذكورة من بينهم الدكتور صلاح تكريتي<sup>3</sup> الباحث في قسم الكيمياء ، بتصنيع واختبار الناقلية الفائقة للمركبين



لقد تمت هذه الدراسة لمعرفة مايطرأ على المركب الفائق الناقلية  $YBa_2Cu_3O_7$  من تغييرات عند استبدال ذرات الايترييوم (Y) وجزء من ذرات الباريوم بذرات اللانثانيوم (La) ومن ثم دراسة تاثير اضافة ذرات من الكالسيوم ، بالنسبة المذكورة في الميغنة الكيميائية ، عن درجة حرارة الانتقال .

لقد تم تصنيع العينات اعتماداً على التفاعل في الحالة الصلبة للاكاسيد  $La_2O_3$  ،  $BaCO_3$  ،  $CaCO_3$  ،  $CuO$  وذلك باحراق خمس معالجات حرارية معادلة تماماً للمعالجات الحرارية التي تم ذكرها في مرحلة تصنيع مركبات فائقة الناقلية من نوع  $GdBa_2Cu_3O_7$  تم اجراء اختبار انعراج الاشعة السينية على جزء صغير من بودرة العينات المذكورة ولقد بينت نتائج الاختبار ان العينات من النوع  $La_{1.3}Ba_{1.7}Cu_3O_7$  و  $LaBaCaCu_3O_7$  هي ذات تبلور شبكي تترارغونال وقد أظهرت تجارب قياس المقاومة بدلالة درجة الحرارة وذلك عند امرار تيار ذي شدة (mA) 1 ان درجة الحرارة التي تنعدم عندها مقاومة العينة ذات التركيب  $La_{1.3}Ba_{1.7}Cu_3O_7$  هي (K) 35 بينما انعدمت المقاومة الاوميغية للعينة ذات التركيب  $LaBaCaCu_3O_7$  عند درجة حرارة (K) 83 كما هو مبين في الشكل رقم (١٧) . وقد تم التأكد من قيم درجات الحرارة المذكورة باحراق اختبار تغير الطواعية المغناطيسية للعينات بدلالة درجة الحرارة ، إذ ينفذ الحقل المغناطيسي من العينة عند درجة الحرارة الحرجة كما هو مبين في الشكل رقم (١٨) . لقد أظهرت نتائج عمل فريق البحث المذكور وفريق بحث اخر عمل على المركبات ذات تراكيب كيميائية مشابهة ولكن بنسب ذرات كالسيوم مختلفة ، تزايداً في درجة الحرارة الحرجة مع مقدار تزايد نسبة الاشارة بذرات الكالسيوم ، ففي الحقيقة تحل ذرات الكالسيوم في اماكن ذرات اللانثانيوم وتحل ذرات اللانثانيوم جزئياً في اماكن ذرات الباريوم مما يؤدي الى انخفاض حجم وحدة الشبكة البلورية وزيادة فسي الكترونات تكافؤ ايونات النحاس ، اي حدوث تغير في نسبة ايونات النحاس الثنائي وايونات النحاس الثلاثي ، مما يؤدي الى ازدياد في معدل مل الشلوب في محتويات النحاس وبالتالي احداث زيادة في درجة حرارة الانتقال .

Sample A - GdBa(2)Cu(3)O

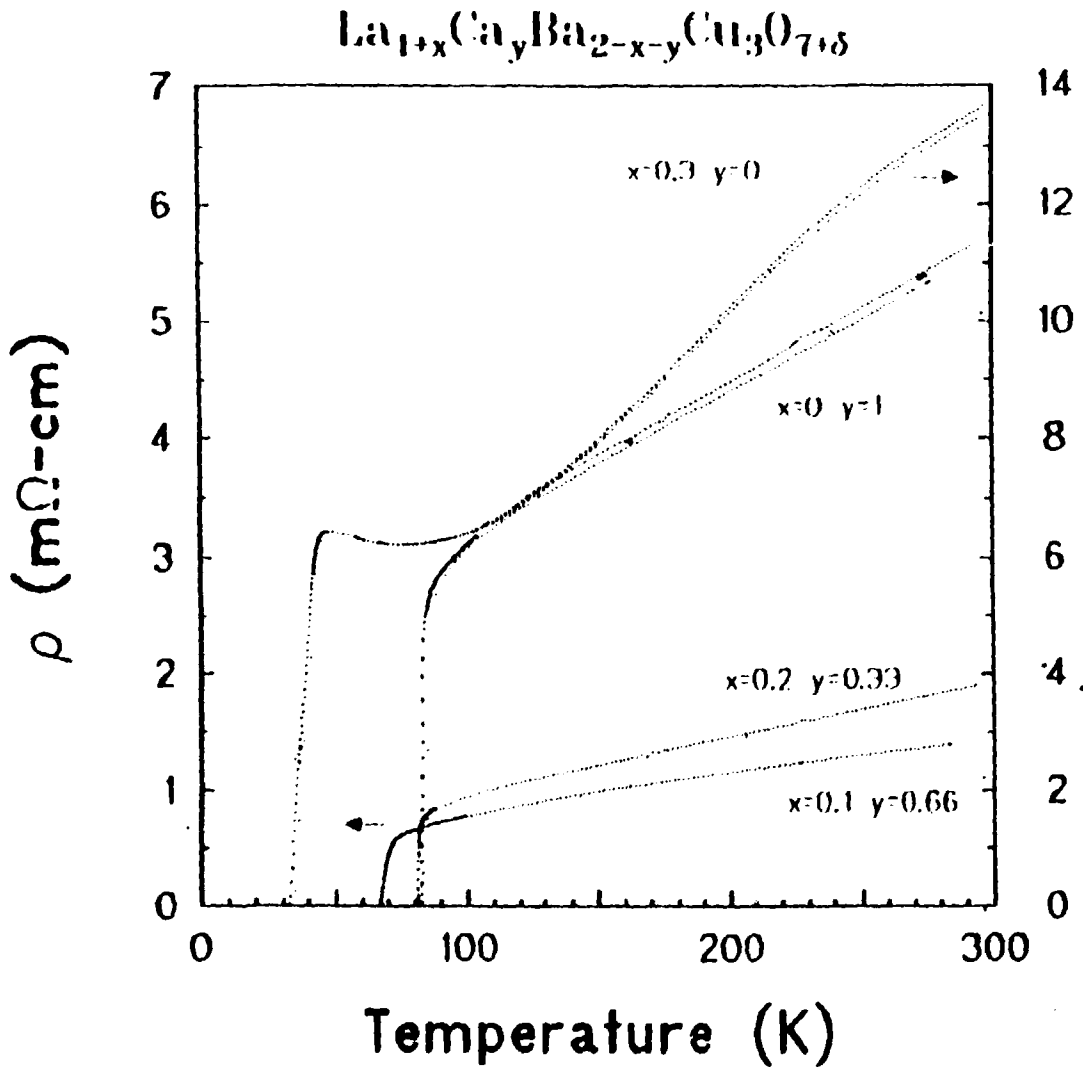


ICTP - 3rd Workshop on HTSC

TEMPERATURE (K)

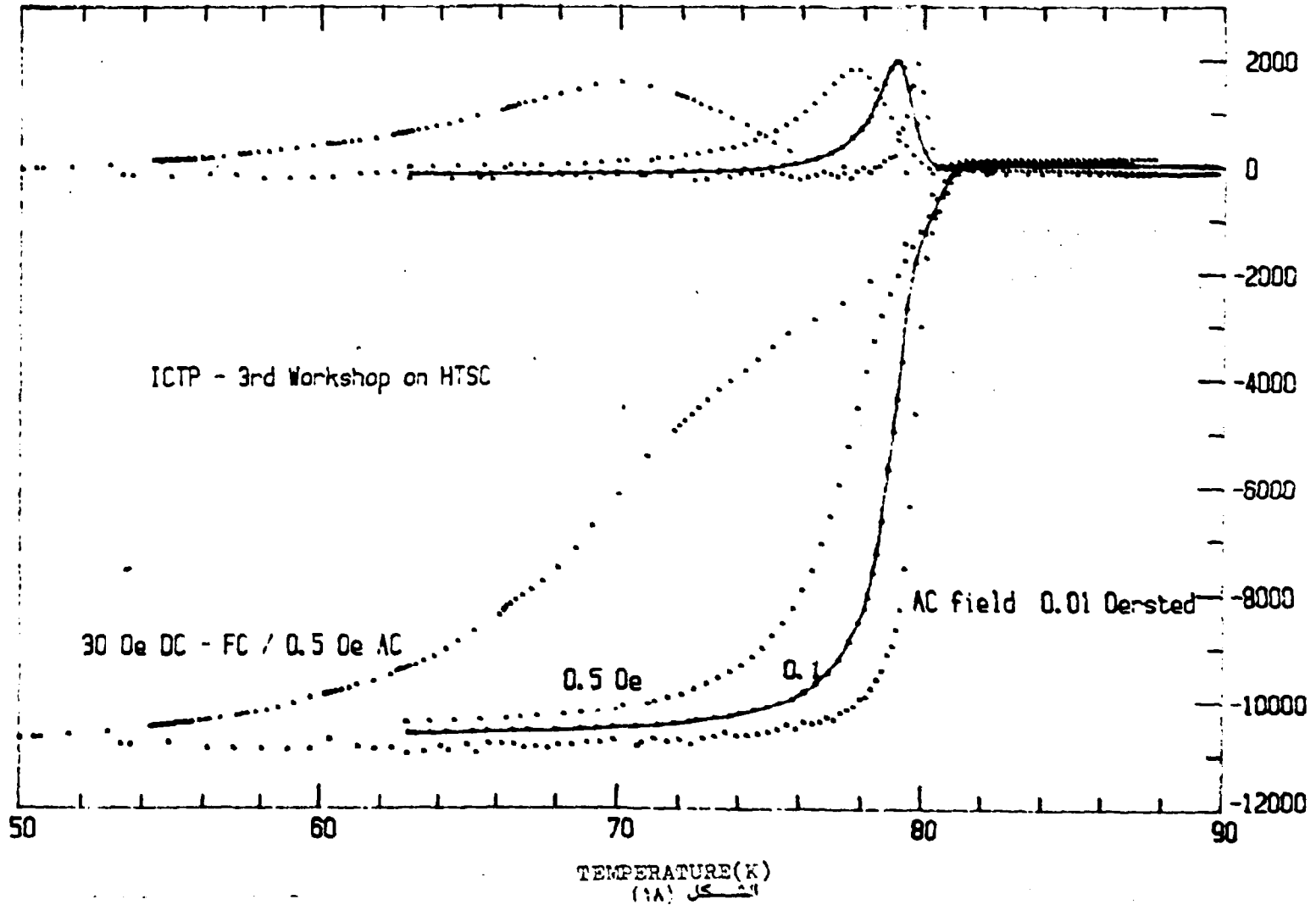
شکل (۱۶)





الشكل (١٧)

- LaCaBaCu(3)O(x)



### تطبيقات الناقلية الفائقة :

ان تطبيقات الناقلية الفائقة كثيرة ومتنوعة ومن الصعب حصرها ولكن من الممكن ذكر بعض هذه التطبيقات والتي هي :

١- في مجال توليد الطاقة الكهربائية ونقلها :

من المعروف أنه لزيادة استطاعة مولدات الطاقة الكهربائية من أجل توتر معين لا بد من زيادة مقطع نواقل ملفات التحريض وزيادة في حجم المواد الحديدية وهذه العوامل معيقة لعملية رفع استطاعة المولدات عن قيمة معينة وذلك بسبب ما يترتب على ذلك من زيادة كبيرة في اوزان الحديد والنحاس اللازمين هنا، ومن أجل استطاعة معينة ، يمكن تقليص الحجم الكبير لمولدات الطاقة الكهربائية باستعمال ملفات تحريض فائقة الناقلية، إذ يمكن بواسطة هذه الملفات توليد حقول مغناطيسية عالية ذات قيمة  $(\frac{Wb}{m^2})$  (7-6) وبيبر/م<sup>2</sup> عند كثافة تيار  $(A/cm^2)$   $10^4$  ( أمبير /م<sup>2</sup>) .

٢- في نقل الطاقة الكهربائية وتوزيعها :

يمكن خفض قيمة الاستطاعات المركبة في محطات الطاقة المختلفة بنسبة 30% عن طريق حذف ضياعات حول وضياعات الكورون والضياعات الناجمة عن التيارات الاعصارية ويمكن أن يتم ذلك بالاستعانة عن شبكات النقل والتوزيع الهوائية بكابلات مصنوعة من نواقل فائقة موجودة على التصاق مع نواقل نحاسية ، إذ يتم تبريد الكابل في ساعات الحمل المرتفع فيمر التيار في النواقل الفائقة مما يؤدي الى رفع الاستطاعة المنقولة الى طرف الحمل وتوقف عملية التبريد عند ساعات الحمل المنخفض فيتم انتقال الطاقة عبر النواقل النحاسية . ويمكن لكل واحد نقل طاقة مقدارها ( GW ) 5 حيكواواط وعند كثافة تيار  $(A/cm^2)$   $10^5$  أمبير /م<sup>2</sup> .

٣- في تخزين الطاقة الكهربائية :

نظرا لعدم امكان ايقاف محطات الطاقة الحرارية عند ساعات الحمل الاصغري او جعلها قادرة على ملاحقة تغييرات الحمل فانه من المفيد جدا عدم هدر الطاقة المولدة الزائدة على الطلعب واللحوق الى تخزينها ، ومن الحلول الممكنة تخزين الطاقة الزائدة ضمن ملفات مخصصة مصنوعة من نواقل فائقة عند ساعات الحمل الاصغري وارجاع هذه الطاقة المخزنة الى الشبكة الكهربائية عند ساعات الحمل الاعظمي وتتم هذه العملية بلاضياء يذكر في الطاقة بالمقارنة مع الطريقة التقليدية التي تعتمد على ضخ المياه ورفعها الى سدود عالية عند ساعات الحمل الاصغري والاستفادة من الطاقة الحركية للمياه المخزنة في ادارة مولدات توربينية عند ساعات الحمل الاعظمي .

### ٤- في بناء المضانط ذات الحقول المغناطيسية القوية :

يمكن استعمال نواقل فائقة الناقلية في صناعة المضانط المغناطيسية اللوية جدا عند تحريض مغناطيسي  $(\frac{Wb}{m^2})$  30 وبيبر/م<sup>2</sup> وكثافة تيار  $(A/cm^2)$   $10^5$  أمبير /م<sup>2</sup> وتسمح هذه المضانط بتطبيقات كثيرة أهمها رفع الهوائي المغناطيسي للطائرات عن الخسط الحديدي بمقدار (cm) 33 سم تمهيدا لزيادة سرعتها حتى ( Km/h ) 500 وذلك باعتماد طريقة الرفع بالتحاذب المغناطيسي Attractive Levitation أو طريقة الرفع بالتنافر المغناطيسي Repulsive Levitation أو باعتماد كلا الطريقتين معا . كما يمكن استعمال المضانط المذكورة في حصر البلازما في مفاعلات الاندماج النووي .

### ٥- في صناعة المحركات والمولدات ذات الاستطاعات العالية :

يمكن استعمال نواقل ذات ناقلية فائقة في صناعة محركات ومولدات كهربائية ذات استطاعات عالية وبأحجام صغيرة نسبياً إذ يمكن لهذه المولدات وهذه المحركات ان تعمل عند تحريض مغناطيسي (توليد) (6-7) وعند كثافة تيار (  $10^4 \text{ A/cm}^2$  )

٦- في التحسس والقياس :

ان مقياس المغناطيسية فائق الناقلية ( SQUID ) أو ( Superconducting Quantum Interference Device ) له تطبيقات كثيرة منها البحث عن توفعات الخامات الارضية بدلالة مخططات المسح المغناطيسي التي تعتمد على استغلال الاستفادة من تباير الخصائص المغناطيسية لتجاوب طبقات المخور المختلفة على الحقل المغناطيسي الارضي . اذ يمكن لمقياس المغناطيسية فائق الناقلية المذكور الكشف عن تجاوب الطبقات المختلفة على الحقل المغناطيسي الارضي مما يسمح بتحديد الطبيعة الكيميائية للمخور وبالتالي تحديد اماكن توضع الخامات والنفط في اعماق الارض بدقة عالية ، كما يمكن الاستعانة بمقياس المغناطيسية فائق الناقلية سكويد في تحديد اماكن تواجد الغواصات في اعماق البحار بدقة كبيرة ، اذ تشوه الكتل الحديدية الضخمة للغواصات اتجاه خطوط الحقل المغناطيسي الارضي ويمكن لمقياس سكويد كشف هذه التشوهات وتحديد اماكن وجود تلك الغواصات .

٧- في الطب :

يوجد تطبيقات عديدة للناقلية الفائقة في مجال تشخيص الامراض من أشهر هذه التطبيقات استعمال مجموعة مكونة من ملف فائق الناقلية وجهاز لقياس المغناطيسية سكويد لسي دراسة امراض الكبد<sup>15</sup> وتحديد نسبة وجود الحديد فيه ، كما يتم استعمال ملف فائق الناقلية وسكويد في رسم المخططات المغناطيسية للدماغ والكشف عن وجود صرع فيه وتحديد مكان وجوده ومركزه بدقة كبيرة مما يسمح للطباء باختيار الطريقة المثلى في العلاج .

٨- في البحث العلمي :

هناك العديد من التطبيقات الهامة للناقلية الفائقة في مجال البحث العلمي ولكن التطبيق الأكثر أهمية هو اعتماد خواص الناقلية الفائقة في بناء المسرعات العملاقة ، فكما هو معروف ، تنحرف الجزيئات المشحونة عن مسارها عندما تتحرك ضمن حقل مغناطيسي ويزداد مسار هذه الجزيئات انحرافاً وتقوساً بمقدار زيادة شدة الحقل المغناطيسي الخارجسي المطبق ، هذا وتنحرف الجزيئات البطيئة بشدة أكبر من انحراف الجزيئات السريعة ومن هنا يلجأ العلماء للكشف عن الطبيعة الداخلية للمادة ودراسة حسيمات ماتحت الذرة الى بناء مسرعات قادرة على رفع سرعة الجزيئات المشحونة ، البروتونات مثلاً ، الى سرعة قريبة من سرعة الضوء واجراء تصادم فيما بينها ودراسة الطاقة والمادة الجديدة الناتجة عن هذا التصادم استناداً الى نظرية اينشتاين  $E=mc^2$  ، ويلزم لتسريع حزم البروتونات السريعة المذكورة عبر المسار المنحني للمسرّع ، الذي يبلغ آلاف الأمتار ، حقول مغناطيسية عالية جداً لا يمكن توليدها الا بواسطة مغناط ذات ملفات فائقة الناقلية وذات تحريض مغناطيسي أكبر من (  $\frac{wb}{m^2}$  ) 4 تسلا .

References :

- 1 ) Randy simon, Andrew smith , Superconductors Conquering Technology's New Frontier , plenum press-New-York.
- 2 ) Staff writer , Discovery of High-Temperature superconducting Substances TECHNO JAPAN . Vol.20-No.7,jul.1987.
- 3 ) K.A.Miller et J.G.Bednorz, la découverte de la Supraconductivité à haut Temperature , la Recherche No.195 janvier 1988.
- 4 ) D.Christen, j.Narayan, L.Schneemeyer , High temperature Superconductors Fundamental properties and novel materials processing, materials research society volume 169-1990.
- 5 ) H.E. HALL, Solid state physics, john wiley & sons ltd, Bristol England March 1979.
- 6 ) C.K.N.PATEL,Material science, Engineering and Academic Affairs Division AT&T Bell laboratories.
- 7 ) A.P.Bertin , introduction to x-ray spectrometric Analysis plenum press. New-York 1980.
- 8 ) L.J.VAN der paw , a method of measuring the resistivity, PHILIPS Technical review, volume 20.
- 9 ) Automating resistance measurements on High temperature Superconductors Keithley instruments, ohio, USA.
- 10) G.Batailler, Electricité fondamentale, 2- electromagnetisme, Firmin-didot, paris 1970
- 11) W.A.STEYERT, R.C. Longworth, International conference on high Temperature Superconductivity, Drexel university, PHILADELPHIA, 29-30 july 1987.
- 12) W.Harara and others, participants' report of Experimental workshop on High Temperature superconductors March 1990.
- 13) S.Takriti and others, participants' report of Experimental Workshop on High Temperature superconductors March 1990.
- 14) Joshua Kai, MAGLEV train Systems, superconductor industry magazine Summer 1990.
- 15) James V.rawson, MRS in medicine, superconductor Industry magazine Fall 1990.