

## قياس المجال المغناطيسي ودرجة حرارة كوري بواسطة عدة طرق باستخدام معدات متوفرة من بينها الهاتف الذكي

ريما محمد الطالب<sup>1</sup>، محمد سالم اللويد<sup>2</sup>

قسم الفيزياء، كلية العلوم، جامعة المرقب<sup>1</sup>، قسم الفيزياء، الأكاديمية الليبية<sup>2</sup>

[rmaltalib@elmergib.edu.ly](mailto:rmaltalib@elmergib.edu.ly)

Publishing date: 9/1/2025

**المخلص:** أجريت هذه الدراسة لغرض توضيح ظاهرة كوري وقياس درجة حرارة كوري لمواد مختلفة باستخدام أدوات محلية الصنع. في هذا البحث تم إجراء مجموعة من التجارب العملية لغرض توضيح ظاهرة كوري وكذلك قياس درجة حرارة كوري، وذلك باستخدام أدوات متوفرة محلياً مع التركيز على استعمال الهاتف الذكي في أخذ بعض القياسات مثل المجال المغناطيسي لمغناطيس دائم كدالة في المسافة حيث تشير إلى اعتماد المجال المغناطيسي على المسافة وتأخذ الصورة  $X^{-3}$  في توافق تام مع النظرية. كذلك تم قياس درجة حرارة كوري لمغناطيس دائم باستخدام الهاتف الذكي، حيث كانت  $1627.7 \text{ K}$  أيضاً قمنا بقياس درجة حرارة كوري لسلك من مادة فيرومغناطيسية عن طريق تمرير تيار كهربائي أما متردد، أو مستمر وذلك لتفسير ظاهرة الأهنزاز التي تحدث في السلك بالإضافة إلى تحوله من فيرومغناطيسي إلى بارامغناطيسي حيث كانت درجة حرارة كوري لهذا السلك هي  $1276 \text{ K} \pm 17$ . تم قياس درجة حرارة كوري لكور من مادة فيرومغناطيسية، حيث لاحظنا ان الكور تبقى ملاسمة للأزدواج الحراري وبعيدة عن المغناطيس الدائم عند درجات حرارة أعلى من درجة كوري، وعندما تبرد الكور إلى درجة كوري فإنها تقفز في اتجاه المغناطيس الدائم، ويرسم العلاقة بين درجة الحرارة والزمن يمكن قياس درجة حرارة كوري حيث كانت للكرة الصغيرة هي  $898 \text{ K}$  أما بالنسبة للكرة الكبيرة فكانت  $973 \text{ K}$ .

**الكلمات المفتاحية:** ظاهرة كوري، درجة حرارة كوري، أدوات محلية الصنع، الهاتف الذكي.

### 1. المقدمة

تعتبر ظاهرة كوري من أهم الظواهر الفيزيائية التي تشرح الانتقال الطوري في المواد المغناطيسية. عند الوصول إلى درجة حرارة كوري، تخسر المادة خصائصها الفيرومغناطيسية وتتحول إلى حالة بارامغناطيسية. هذا الانتقال الطوري له تطبيقات واسعة النطاق في مجالات مثل صناعة المواد المغناطيسية، الإلكترونيات، وتخزين البيانات. يهدف هذا البحث إلى دراسة ظاهرة كوري بشكل أعمق، مع التركيز على استخدام أدوات محلية الصنع، وعلى استخدام الهاتف الذكي [1-2].

حيث تم تصميم بعض التجارب الفيزيائية الشيقة في المرحلة الجامعية والتي توضح انتقال الطور الفيرومغناطيسي- بارامغناطيسي. ولكن معظم هذه التجارب التي تم تصميمها هي في الأساس لتوضيح وجود نقطة كوري. من ضمن الطرق الشائعة لتوضيح درجة حرارة كوري هي بدول كوري [3-4] أو باستخدام مغناطيس دائم متصل بسلك من مادة فيرومغناطيسية موضوع بشكل أفقي.

شهدت السنوات الأخيرة تطوراً ملحوظاً في تكنولوجيا الهواتف الذكية، حيث أصبحت تحتوي على مجموعة متنوعة من المستشعرات عالية الدقة، بما في ذلك مستشعرات المجال المغناطيسي ودرجة الحرارة. هذه التطورات تفتح آفاقاً جديدة لإجراء تجارب فيزيائية متقدمة باستخدام أدوات بسيطة ومتاحة للجميع، حيث أصبح مفهوم استخدام المستشعرات في الهواتف الذكية للتجارب الفيزيائية خياراً معروفاً لمدرسي العلوم [5].

منذ اكتشاف ظاهرة كوري، أدرك الفيزيائيون أهميتها. وبدوا في إجراء العديد من التجارب لتوضيح هذه الظاهرة، يمكن اعتبار التجارب المبكرة عبارة عن تجارب كيفية (qualitative)، يتم فيها توضيح انتقال الطور المغناطيسي الحديدي عن طريق فهم وإدراك الخواص المغناطيسية والمقاومة الكهربائية للمادة بعد وقيل نقطة الانتقال، من بين هذه التجارب والدراسات قياس درجة حرارة كوري للمادة الحديدي المغناطيسي (المغناطيس الدائم) كمياً باستخدام الهاتف الذكي. يتم قياس وتحليل العلاقة المغناطيسية مقابل درجة الحرارة للمادة الحديدي المغناطيسي باستخدام نظرية المجال المتوسط (نموذج إيزينج)، وهناك تجربة طلابية توضح خصائص الفيرومغناطيسيات قرب نقطة كوري، حيث يُستخدم الجادولينيوم لتحديد النفاذية المغناطيسية فوق درجة الانتقال تظهر قياسات المقاومة الكهربائية للنيل عند ترددات مرتفعة، مما يكشف عن الانتقال الطوري وبيح حساب النفاذية المغناطيسية تحت نقطة كوري [6-7].

ولقد تم عرض العديد من التجارب التوضيحية لهذه الظاهرة، في "كتيب وسائل الإيضاح في الفيزياء" [3]. ومن بين الدراسات التي تمت لتوضيح هذه الظاهرة كيفياً [7-8]، طريقة مباشرة لمشاهدة الانتقال بين الطورين الفيرومغناطيسي والبارامغناطيسي، وتحديد نقطة كوري الفيرومغناطيسية. من ناحية أخرى نشرت بعض الدراسات الكمية لهذه الظاهرة مثل [9]، أي دراسة الانتقال الطوري لمادة فيرومغناطيسية، "وإيجاد درجة حرارة كوري لمادة فيرومغناطيسية". "تعيين درجة حرارة كوري لكل من الحديد والنيكل"، و "طريقة بسيطة لتعيين درجة حرارة كوري باستخدام الهاتف الذكي".

يهدف هذا البحث إلى استغلال إمكانيات الهواتف الذكية في دراسة ظاهرة كوري بشكل عملي وبسيط. وذلك باستخدام مستشعرات الهاتف الذكي لقياس شدة المجال المغناطيسي لمختلف المواد المغناطيسية، ومن ثم تحديد درجة حرارة كوري بدقة. كما سيتم تطوير تجارب جديدة لاستكشاف جوانب مختلفة من هذه الظاهرة.

قمنا في هذا البحث بتنفيذ سلسلة من التجارب بهدف دراسة ظاهرة كوري وتحديد درجة الحرارة الحرجة التي تفقد عندها المادة خواصها الفيرومغناطيسية. وقد شملت هذه التجارب قياس المجال المغناطيسي الناتج عن مغناطيس دائم بدلالة المسافة، بالإضافة إلى قياس درجة حرارة كوري لمجموعة متنوعة من المواد المغناطيسية ذات أشكال وأحجام مختلفة. وقمنا بتحليل النتائج التي تم الحصول عليها من هذه التجارب بشكل تفصيلي. وايضا مقارنة النتائج التجريبية بنتائج النظريات الفيزيائية، وتفسير أي انحرافات قد تظهر. كما سنناقش العوامل التي قد تكون قد أثرت على دقة القياسات، مثل خصائص المواد المستخدمة، وشروط التجربة، وأخطاء القياس.

### 2. النظرية الأساسية:

#### 1.2 قياس المجال المغناطيسي لمغناطيس دائم.

المركبة  $x$  للمجال المغناطيسي الناتج عن مغناطيس صغير بطول  $d$  والعزم المغناطيسي  $\mu$  عند نقطة تقع على مسافة  $x$  على طول محور المغناطيس يعطى بالمعادلة [10]. (انظر الشكل 1)

$$B = \frac{\mu \mu_0 x}{2\pi(x^2 - \frac{d^2}{4})^2} \quad (1)$$



الشكل (1). مغناطيس صغير بطول d وعزمه المغناطيسي  $\mu$  موضوع على المحور x المتمركز عند أصل الإحداثيات والمركبة x للحقل المغناطيسي عند P.

حيث  $\mu_0$  النفاذية المغناطيسية للفراغ ( $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} NA^{-2}$ ) إذا قمنا بتقييم هذا المجال المغناطيسي على مسافة x ، أكبر بكثير من طول المغناطيس ، d ، فيمكننا تبسيط النتيجة السابقة ،  $d \ll x$  مع مراعاة المعادلة (1)

$$B = \frac{\mu \mu_0}{2\pi x^3} \quad (2)$$

باستخدام هذه الأدوات الرياضية، يمكننا قياس المركبة x في المجال المغناطيسي لمغناطيس صغير وفقاً للمسافة إلى مركز المغناطيس باستخدام الهاتف الذكي. [11-9].

## 2.2 قياس درجة حرارة كوري لسلك طويل من مادة فيرومغناطيسية.

يتم توصيل الطاقة الكهربائية W الى السلك اللولبي بمعدل ثابت  $P=VI$  ، حيث V و I هما ، على التوالي ، فرق الجهد عبر السلك والتيار المتدفق من خلاله. وبالتالي فان الطاقة الكهربائية تعطى بالعلاقة :

$$W = Vit \quad (3)$$

حيث t هي مقدار الوقت الذي يتدفق فيه التيار. يزيد جزء من هذه الطاقة الداخلية للسلك اللولبي، ويشع جزء آخر في البيئة المحيطة. إذا تم تسخين لولب كتلته m والحرارة النوعية له c من درجة حرارة أولية  $T_0$  إلى درجة حرارة أعلى T ، فإن التغيير في الطاقة الداخلية للولب يتم الحصول عليه من خلال:

$$\Delta E_t = mc(T - T_0) \quad (4)$$

الطاقة المنبعثة من السلك اللولبي تعطى بالعلاقة [12]:

$$E_p = e\sigma s(T^4 - T_0^4)t \quad (5)$$

حيث S و e ، على التوالي ، مساحة السطح وانبعثه السلك الحلزوني [13] ، هي ثابت ستيفان بولتزمان  $\sigma = 5.675 \times 10^{-8} Wm^{-2}K^{-4}$  معادلة توازن الطاقة للسلك الحلزوني هي:

$$W = \Delta E_t + E_p \quad (6)$$

او

$$Vit = \Delta E_t + E_p \quad (7)$$

بعد أن يصل اللولب إلى درجة حرارة ثابتة ، فإن  $\Delta E_t$  في المعادلة (7) تساوي صفراً. بمساواة المعادلة (3) و (5) ، نحصل على:

$$Vit = e\sigma s(T^4 - T_0^4)t \quad (8)$$

عندما  $T=T_c$  فإن:

$$T_c = \sqrt[4]{\frac{VI + e\sigma sT_0^4}{e\sigma s}} \quad (9)$$

حيث الخطأ في قياس درجة حرارة كوري يعطى بالعلاقة [14]

$$\Delta T_c \cong T_c \left( \frac{\Delta I}{4I} + \frac{\Delta V}{4V} \right) \quad (10)$$

## 3.2 درجة حرارة كوري والهاتف الذكي

للعزوم المغناطيسية عند درجة حرارة أقل من درجة حرارة كوري ( $T < T_c$ ) فان نظرية المجال المتوسط (MFT) تتوقع أن المجال المغناطيسي للمادة الفيرومغناطيسية يتناقص مع زيادة الحرارة. وتعطى المغناطيسية التلقائية المغنطة (M) عند النقطة (n) بالمعادلة [10]

$$M \cong (T - T_c)^n \quad (11)$$

حيث n القوة المرفوعة للأقواس، نفرض ان  $n = \frac{1}{2}$  وباستخدام التركيب الخطي تصبح المعادلة كالآتي:

$$M^2 = aT - aT_c = aT + b \text{ with } T_c = -\frac{b}{a} \quad (12)$$

## 3. الجزء العملي

في هذا الجزء سنستخدم على منهجية تجريبية تعتمد بشكل أساسي على استخدام مستشعر الهاتف الذكي. سنقوم بتصميم وتنفيذ سلسلة من التجارب التي تغطي جوانب مختلفة من ظاهرة كوري، بدءاً من التجارب النوعية التي توضح هذه الظاهرة وصولاً إلى التجارب الكمية التي تهدف إلى قياس درجة حرارة كوري بدقة. من خلال هذه التجارب، نسعى إلى بناء قاعدة بيانات تجريبية تساعدنا على فهم أعمق لهذه الظاهرة.

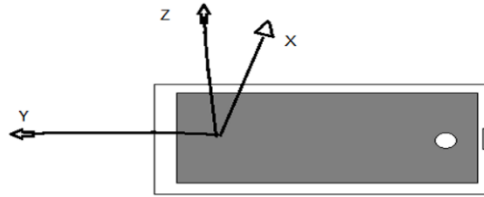
### 1.3 قياس المجال المغناطيسي لمغناطيس دائم

لتنفيذ هذا العمل التجريبي، نحتاج إلى تثبيت تطبيق يقيس المجال المغناطيسي على هاتفنا الذكي. من المهم تثبيت تطبيق قادر على قياس المكونات المكانية الثلاثة للمجال المغناطيسي. تم استخدام تطبيق Magnetometer كما هو موضح (بالشكل 2) الذي يعمل على الهاتف الذكي بنظام تشغيل iOS [15].



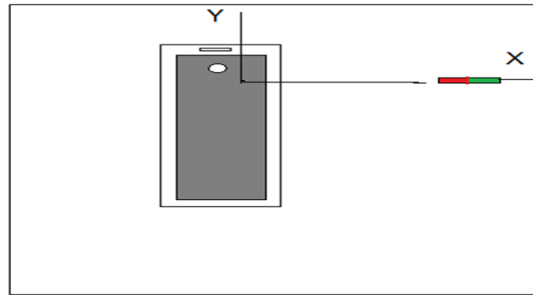
الشكل (2). يوضح تطبيق Magnetometer

نظرًا لأن الهدف من هذه التجربة هو تحديد تبعية اعتماد المجال المغناطيسي على المسافة، فسننظر فقط في أحد مكونات المجال المغناطيسي، على سبيل المثال، المكون  $x$ . الجانب الأول هو تحديد اتجاه المحاور الديكارثية XYZ، انظر الشكل 3، وسيتم ذلك عن طريق جلب مغناطيس صغير إلى الهاتف في اتجاهات مختلفة ومراقبة المكون الذي يختلف. جانب آخر ذو صلة يجب أخذه في الاعتبار هو موضع الكاشف في داخل الهاتف الذكي. مرة أخرى، وعلى أساس تجريبي، نقوم بتحريك المغناطيس ببطء على شاشة الهاتف ونلاحظ الموضع الذي يكون فيه إجمالي المجال المغناطيسي أعلى. في هذه المرحلة بالضبط، داخل الهاتف الذكي، سيتم تحديد موقع المستشعر المغناطيسي. كما نعلم أن الأرض نفسها عبارة عن مغناطيس، ولها مجال مغناطيسي يساوي  $50\mu T$ ، وسوف تؤثر على قياساتنا. لتجنب وجود خلفية لهذا المجال المغناطيسي، فإن الشيء الوحيد الذي يتعين علينا القيام به هو توجيه الهاتف الذكي الخاص بنا في موضع معين عند إجراء القياسات. من الناحية التجريبية، سندير الهاتف الذكي ببطء حتى نكتشف موضعًا حيث تكون قيمة مكون المجال المغناطيسي  $x$  لاغية عمليًا، وسوف نسميها  $B_x$ . في وقت لاحق، سيتعين علينا الجمع أو الطرح من قياساتنا بدالة سالبة أو موجبة على التوالي.



الشكل (3). اتجاه المحاور المكانية على الهاتف الذكي

بمجرد إجراء كل التعديلات الأولية، يتم البدء في إجراء التجربة، وهي بسيطة للغاية. نضع هاتفنا الذكي في اتجاه مناسب على ورق رسم بياني يكون أكثر ملاءمة، ونختار المحور  $x$  المقابل للهاتف الذي يجب أن يمر عبر المستشعر. ثم نضع المغناطيس على مسافات مختلفة ونكتب قيمة المكون  $x$  في المجال المغناطيسي الذي يوفره التطبيق، كما موضح في الشكل (4).

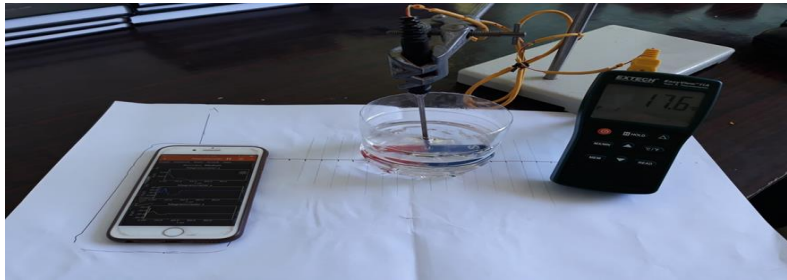


الشكل (4). يوضح الأدوات المستخدمة في تجربة قياس المجال المغناطيسي.

### 2.3 قياس درجة حرارة كوري لمغناطيس دائم.

الأجهزة المستخدمة في هذه التجربة هي:

- مغناطيس دائم صغير على شكل قضيب.
- مزوج حراري من النوع K ( $1260^{\circ}C - 270^{\circ}C$ ) مع مسبار من الفولاذ المقاوم للصدأ قطره 0.3cm.
- الهاتف الذكي (iPhone6) مع تطبيق مقياس المغناطيسية من تطبيق Magnetometer [15]
- بعض مكعبات الثلج وماء مغلي وكوب بلاستيكي كحمام مائي.

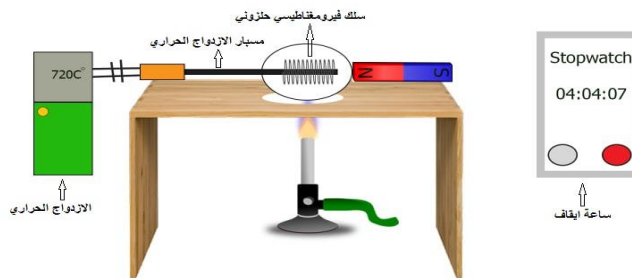


الشكل (5). توضح هذه الصورة مغناطيس دائم متصل بالمزدوج الحراري، الهاتف الذكي، ومكعبات من الثلج، أو السائل الساخن يتم توصيل المزدوج الحراري بالمغناطيس الدائم بحيث يكون المسبار قريباً بدرجة كافية لقياس درجة حرارة المغناطيس. يتم وضع المغناطيس الدائم والمزدوج الحراري في الكوب البلاستيكي ليتم غمرهما في الماء المتلج أو الماء المغلي أو الزيت الساخن انظر الشكل (5). يتم إجراء القياس البارد عن طريق إدخال بعض مكعبات الثلج في الكوب البلاستيكي والانتظار حتى تنخفض درجة حرارة المغناطيس وتستقر عند  $0^\circ\text{C}$ . في الوقت نفسه، يتم إجراء القياسات الساخنة عن طريق وضع ماء مغلي أو زيت ساخن في الكوب البلاستيكي، والانتظار حتى ترتفع درجة حرارة المغناطيس وتستقر. تم قياس العلاقة بين المجالات المغناطيسية ودرجة حرارة المغناطيس الدائم من الحالة الساخنة أو الباردة إلى درجة حرارة الغرفة بشكل طبيعي.

### 3.3 قياس درجة حرارة كوري لسلك حلزوني عن طريق التسخين بواسطة اللهب.

تم استعمال ثلاثة أنواع من الأسلاك:

- I. السلك الأول (a) مأخوذ من مدفنة كهربائية نوع (Evsan) وقطره (0.042 سم).
  - II. السلك الثاني (b) يعرف بسلك الرباط من مصنع الحديد والصلب (ASTM A510) قطره (0.050 سم).
  - III. السلك الثالث (c) نوع (KANTHAL) سبيكة (FeCrAl) وقطره (0.062 سم).
- لكي يتم قياس درجة حرارة كوري للأسلاك السابقة باستخدام اللهب المعمل، تم إعداد سلك حلزوني من كل من السلك (c,b,a) بحيث يسمح بإدخال الأزواج الحراري. ويتم تسخين السلك الحلزوني إلى أعلى درجة حرارة تقريباً  $720^\circ\text{C}$ . انظر الشكل (6)، بعد ذلك يتم تقريب المغناطيس بالقرب من السلك الحلزوني، لمعرفة هل السلك فقد الخاصية المغناطيسية (بمعنى آخر هل السلك يجذب إلى المغناطيس أم لا). يتم إطفاء اللهب والبدء في تسجيل درجة الحرارة مقابل الزمن في وجود المغناطيس الدائم بالقرب من السلك الحلزوني، نراقب درجة الحرارة التي عندها يجذب السلك إلى المغناطيس، وهي نقطة كوري. نرسم العلاقة بين درجة الحرارة والزمن، وتحدد درجة حرارة كوري على المنحنى.



الشكل (6). رسم تخطيطي يوضح الأدوات المستعملة في تجربة قياس درجة حرارة كوري لسلك حلزوني عن طريق التسخين بواسطة اللهب.

### 4.3 قياس درجة حرارة كوري لسلك معدني من مادة فيرو مغناطيسية عن طريق مرور تيار كهربائي.

إن الغرض من إجراء هذه التجربة، هو قياس درجة حرارة كوري عن طريق تمرير تيار كهربائي في السلك، ومقارنة ذلك بينها وبين طريقة التسخين عن طريق اللهب. الأدوات المستخدمة في هذه التجربة موضحة في الشكل (7).

- سلك تسخين حلزوني مغناطيسي، مأخوذ من ماركة سخان Evsan (قطره  $0.042\text{cm}$ ، وطوله  $100\text{cm}$ ) ممتد عمودياً بين المشابك العازلة المثبتة على حامل الدعم.

- مغناطيس دائم وضع بالقرب من منتصف حامل الدعم بطريقة تجذب السلك الحلزوني.

- مصدر للتيار.



الشكل (7). صورة توضح الأدوات المستعملة في قياس درجة حرارة كوري لسلك (a) عند تمرير تيار كهربائي.

يتم قياس التيار عبر السلك باستخدام الأميتر (A)، وفرق الجهد عند طرفي السلك باستخدام الفولتميتر (V). باستخدام معادلة (9) يتم حساب درجة حرارة كوري.

### 5.3 قياس درجة حرارة كوري لكور معدنية من مادة فيرو مغناطيسية.

- العناصر الرئيسية اللازمة لإجراء هذه التجربة موضحة في الشكل (8) هي:
- كرتان صغيرتان من (Stainless steel) قطرها (1.1cm, 2.2cm) ، تحتوي الكرات على ثقب نصف قطرية بقطر 0.3cm وعمق 0.5cm.
- مزدوجة حرارية من النوع K ( 270°C -1260°C ) مع مسبار من الفولاذ المقاوم للصدأ قطره 0.3cm
- حاملان.
- مغناطيس على شكل قضيب.
- ساعة إيقاف.
- شعلة غاز البوتان.



الشكل (8). يوضح صورة للإعداد التجريبي المستخدم لتحديد درجة حرارة كوري من كور فيرو مغناطيسية يتم إدخال طرف المزدوج الحراري من النوع K في ثقب صغير في الكرة، لقياس درجة حرارتها.

يتم تسخين الكرة بلهب شعلة البوتان حيث ترتفع درجة حرارتها إلى أعلى من درجة حرارة كوري للمعدن (~1173 K). يتم إيقاف تشغيل الشعلة، ويتم تحريك المغناطيس بسرعة بالقرب من الكرة (حوالي 1cm). ويتم تسجيل درجة حرارة الأزواج الحراري لكل خمس ثوان. عندما تكون درجة حرارة المادة أعلى من درجة حرارة كوري، تظل الكرة على اتصال بالمزدوج الحراري. وعندما تصل درجة الحرارة إلى  $T_c$ ، تستعيد الكرة الخاصية الفيرومغناطيسية وتتجذب إلى المغناطيس. عندئذٍ تصبح نهاية المزدوجة الحرارية حرة، وتبرد بسرعة كبيرة بسبب الهواء المحيط، مما يؤدي إلى تغيير مفاجئ لدرجة الحرارة المسجلة. هذا التغيير يجعل من السهل التعرف على درجة حرارة كوري.

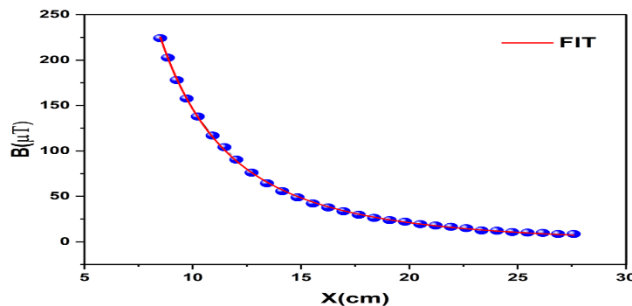
### 4. تحليل ومناقشة النتائج:

#### 1.4 المجال المغناطيسي لمغناطيس دائم على شكل قضيب

لكي نجد العلاقة بين المجال المغناطيسي كدالة في المسافة استخدمنا مغناطيس دائم على هيئة قضيب طوله (7.5cm). في شكل (9) تم التمثيل بيانياً لنتائج التي تم الحصول عليها عن طريق حساس الهاتف الذكي لمركبة المجال المغناطيسي في الاتجاه السيني كدالة في المسافة. بمقارنة نتائج هذه القياسات بالمعادلة التالية. نستنتج أن n تساوي (3-) تقريباً وهو ما يتفق مع العلاقة (2).

$$B = \mu_0 \frac{\mu X^n}{2\pi}$$

الشكل (9) يوضح التوافق بين التجربة والعلاقة الرياضية.



الشكل (9). النتائج التجريبية للمجال المغناطيسي لقضيب مغناطيس كدالة في المسافة.

#### 2.4 قياس درجة حرارة كوري لمغناطيس دائم على هيئة قضيب:

لقياس درجة حرارة كوري لمغناطيس دائم على هيئة قضيب، تم قياس المجال المغناطيسي عند عدة درجات حرارة مختلفة، وإن نتيجة هذه القياسات موضحة في الشكل (10).  
يوضح هذا الشكل أن العلاقة خطية، ويكون الميل ( $a = -0.018$ )، ويتقاطع الخط المستقيم مع محور (Y) عند ( $X=0$ ) حيث ( $b=29.3$ )، أي نستطيع كتابة معادلة الخط المستقيم على النحو التالي :

$$Y = -0.018X + 29.3$$

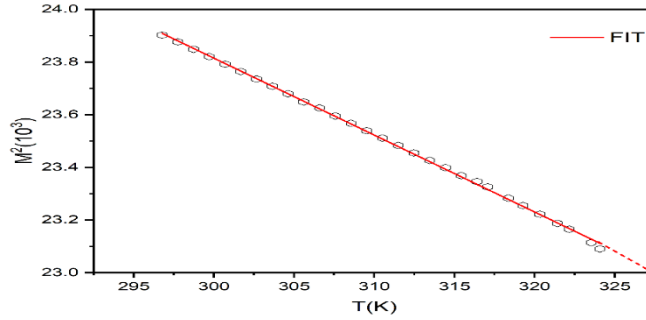
وتم حساب درجة حرارة كوري باستخدام العلاقة (12)

$$T_c = -\frac{b}{a}$$

وبالتعويض في هذه المعادلة نحصل على:

$$T_c = 1627.8 \text{ K}$$

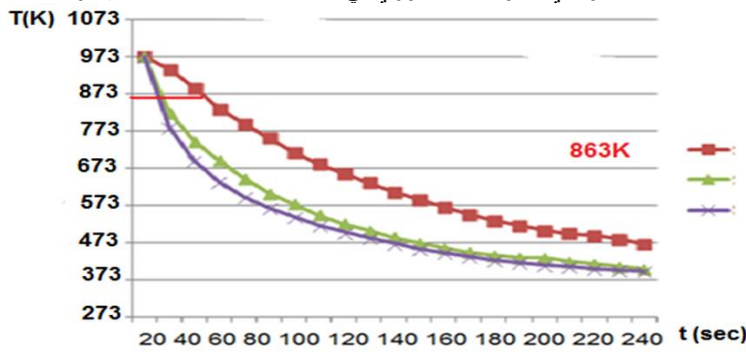




الشكل (10). العلاقة بين مربع المغناطيسية ودرجة الحرارة.

#### 3.4 قياس درجة حرارة كوري لسلك حلزوني عن طريق التسخين بواسطة اللهب

من الشكل (11). نلاحظ أن المنحنى الأحمر (■) للسلك (c) يحدث له تغير عند نقطة كوري بينما المنحنى الأخضر (▲) للسلك (b) والأزرق (x) للسلك (a) لا يحدث مثل هذا التغير، أي لا توجد نقطة كوري في كل منهما عند هذا المعدل من درجات الحرارة



الشكل (11) يوضح العلاقة بين درجة الحرارة والزمن لثلاثة أنواع من الأسلاك الحلزونية، وموقع درجة حرارة كوري بالنسبة للسلك (c). حيث تم تعيين درجة حرارة كوري بالنسبة للسلك (c) وكانت تقريبا (863 K)، أما بالنسبة للسلكين الرفيعين (a,b)، فإن درجة حرارة كوري أعلى من درجة حرارة اللهب (933K). وهذا ما لاحظناه في التجربة التالية.

#### 4.4 قياس درجة حرارة كوري لسلك حلزوني عن طريق مرور تيار كهربائي

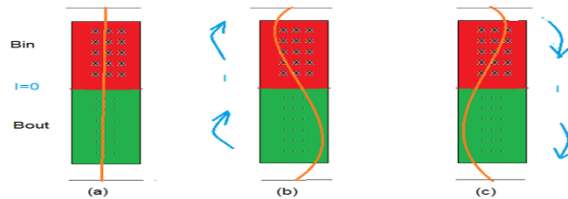
في هذه التجربة تم استخدام سلك حلزوني (a) قطره (0.042cm) وطوله (100cm) ممتد عموديا بين مشابك عازلة مثبتة على حامل الدعم. تم وضع مغناطيس دائم بالقرب من منتصف حامل الدعم بطريقة تجذب السلك الفيرومغناطيسي الحلزوني، حيث أن السلك متصل بمصدر للتيار. وقد تم استخدام المعادلة (9) لحساب درجة حرارة كوري. أما الخطأ التجريبي فقد تم حسابه باستخدام معادلة (10)

$$T_c = 1276K \pm 17K$$

جدول 1: يوضح البيانات النموذجية التي تم الحصول عليها للسلك الفيرومغناطيسي :

خصائص السلك الحلزوني			
القطر (D)	الطول (L)	مساحة السطح (S)	الانبعاثية (e)
0.042 ± 0.001 سم	100 سم ± 0.05 سم	132 ± 7 سم <sup>2</sup>	0.70
الجهد عند درجة حرارة كوري	التيار عند درجة حرارة كوري	درجة حرارة كوري (T <sub>c</sub> )	الجهد عند درجة حرارة كوري
38 ± 1 فولت	3.5 ± 0.1 أمبير	1276 ± 17 كلفن	38 ± 1 فولت

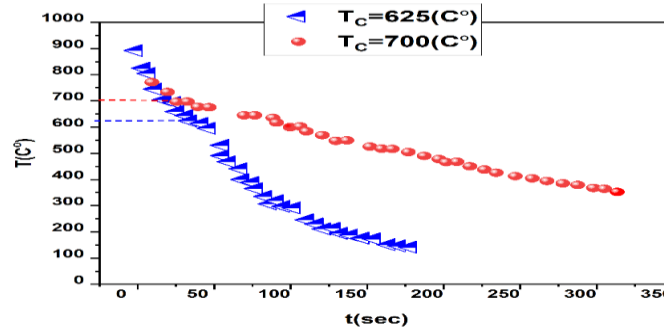
من المثير للاهتمام أثناء القيام بهذه التجربة لوحظ اهتزاز السلك الفيرومغناطيسي بالإضافة إلى إزاحته بعيدا عن المغناطيس. قمنا بمحاولة تفسير اهتزاز السلك أثناء الانتقال من الطور الفيرومغناطيسي إلى البارامغناطيسي، وقياس درجة حرارة كوري، وضعنا ثلاثة سيناريوهات لتفسير هذه الظاهرة المشوقة، السيناريو الأول إن اهتزاز السلك ناتج عن اهتزاز في منظومة التجربة. السيناريو الثاني ناتج عن تغير في الطور من الفيرومغناطيسية إلى البارامغناطيسية. في السيناريو الثالث نتيجة مرور التيار في السلك في وجود مغناطيس دائم. بعد فحص كل سيناريو على حده وضمن عدم اهتزاز منظومة التجربة، استنتجنا أن التغير في الطور من فيرومغناطيسي إلى بارامغناطيسي يؤدي فقط إلى ابتعاد السلك عن المغناطيس الدائم. عند مرور تيار مستمر في السلك سوف يؤدي إلى جذب السلك إلى المغناطيس والالتصاق به، بينما عند مرور تيار متردد في السلك تحدث عملية الاهتزاز والتغير في الطور كما هو موضح في الشكل (12) بذلك يعتبر السيناريو الثالث الأكثر قبولا في تفسير هذه الظاهرة، هذا الاستنتاج يتفق مع ما جاء في مرجع [11].



الشكل (12) يوضح تفسير ظاهرة اهتزاز السلك عند مرور تيار متردد في وجود مجال مغناطيسي دائم، في حالة (a) عدم مرور تيار كهربائي، (b) اتجاه التيار إلى أعلى، (c) اتجاه التيار إلى أسفل [16].

#### 5.4 قياس درجة حرارة كوري لكور معدنية من مادة فيرو مغناطيسية

لضمان الوصول إلى نقطة كوري في هذه التجربة نحتاج إلى لهب درجة حرارته أعلى من تلك المتحصل عليها باستخدام لهب الطهي، ولذلك تم إجراء هذه التجربة في مركز البحوث النووية باستخدام اللهب المستخدم في عملية اللحام (butane torch). أما النتائج المتحصل عليها في هذه التجربة موضحة في الشكل (13)، والذي يوضح منحني التبريد لكل من الكرتين، ودرجة حرارة كوري المقابلة (898K) بالنسبة الكرة الصغيرة (◀) ذات قطر (1.1cm)، و (973K) بالنسبة الكرة الكبيرة (●) الذي قطرها (2.2cm).



الشكل (13). منحني التبريد لكل من الكرتين. حيث التغير في الميل يحدث عندما الكرة تتجذب من الازدواج الحراري إلى المغناطيس، هذا يشير إلى درجة حرارة كوري (اللون الأزرق بالنسبة للكرة الصغيرة (◀)، اللون الأحمر بالنسبة للكرة الكبيرة (●)).

#### المراجع

- [1] C. Kittel, *Introduction to Solid State Physics*, 6<sup>th</sup> ed., John Wiley & Sons, 1994.
- [2] J. R. Hook and H. E. Hall, *Solid State Physics*, 2<sup>nd</sup> ed., Wiley, Chichester, 1994
- [3] D. F. G and F. J. Anderson, *A Demonstration Handbook for Physics*, 1988, pp. 74-75.
- [4] W. A. Hilton, *Physics Demonstration Experiments*, American Association of Physics Teacher, 1982, p. 63.
- [5] P. Vogt, J. Kuhn, and S. Müller, "Experiments Using Cell Phones in Physics Classroom Education: The Computer-Aided g Determination," *Phys. Teach.*, vol. 49, pp. 383–384, Sep. 2011, doi: 10.1119/1.3628272.
- [6] B. W. Nuryadin and R. Rusman, "Simple determination of Curie temperature using a smartphone magnetometer," *Phys. Teach.*, vol. 57, no. 6, pp. 422–423, Sep. 2019, doi: 10.1119/1.5124290.
- [7] Y. Kraftmakher, "Curie point of ferromagnets," *Eur. J. Phys.*, vol. 18, no. 6, pp. 448–452, Nov. 1997, doi: 10.1088/0143-0807/18/6/008.
- [8] J. N. Fox, N. Gaggini, and J. K. Eddy, "A study of the phase transition of a ferromagnetic material," *Am. J. Phys.*, vol. 54, no. 8, pp. 723–726, Aug. 1986, doi: 10.1119/1.14481.
- [9] C. Lue, "A direct method for viewing ferromagnetic phase transition," *Phys. Teach.*, vol. 32, no. 5, pp. 304–305, May 1994, doi: 10.1119/1.2344007.
- [10] E. Arribas, I. Escobar, C. Suarez Rodriguez, A. Nájera López, and A. Beléndez, "Measurement of the magnetic field of small magnets with a smartphone: A very economical laboratory practice for introductory physics courses," *Eur. J. Phys.*, vol. 36, Oct. 2015, doi: 10.1088/0143-0807/36/6/065002
- [11] R. Serway, *Physics for Scientists and Engineers*, 3<sup>rd</sup> ed., Saunders Golden Sunburst Series, 1992, p. 856
- [12] H. S. Carslaw and J. C. Jaeger, *Conduction of heat in solids*, 2<sup>nd</sup> ed., Oxford University Press, 1959, pp. 18-21
- [13] H. D. Young, R. A. Freedman, *University Physics with Modern Physics Technology*: 13<sup>th</sup> ed., (Jua-rez:Pearson Education 2012, Ch22.
- [14] م. س. اللبد، *الفيزياء التجريبي*، مكتبة مصر بالفجال: 3 شارع كامل صدقي، 1995 .
- [15] This app can be downloaded from the following link: <https://itunes.apple.com/esapp/magnetometer/id342782714?mt=8>; this website was last visited 2014-12-31.
- [16] M. S. Ellid, A. S. Aweteal, and A. M. Hawij, "Curie Temperature and Vibrating string," *AJBAS*, vol. 3, June 2021.

[17] ر. م. الطالب، قياس درجة حرارة كوري بواسطة عدة طرق باستخدام معدات متوفرة من بيئها الهاتف النكي، طرابلس: الاكاديمية الليبية، رسالة ماجستير غير منشورة، 2021.