

دراسة الفريت من النوع M-Hexaferrite لعينة $BaFe_{12}O_{19}$ باستخدام بيانات دورة البطاء المغناطيسية

أ.د.حسن سليمان *

أ.د. بدر الأعرج **

كاترين حسن ***

(تاريخ الإيداع 2021 / 10 / 14 - تاريخ النشر 2021 / 12 / 23)

□ ملخص □

تم في هذا العمل تحضير الفريت السداسي نوع $M-Ba_{0.9}Zr_{0.1}Fe_{11.2}Cr_{0.4}Al_{0.4}O_{19}$ بطريقة Sol-Gel. وبعد الحصول على المسحوق المطلوب، لَبِّدَت العينة المحضرة عند الدرجة 1000 C داخل المرمدة. ومن ثم حددت الخواص المغناطيسية للعينة المدروسة من منحنيات $B-H$ و $M-H$. حيث لاحظنا بعد إجراء الحسابات وفقاً للعلاقات الرياضية ومعالجة النتائج وفق برنامج إكسل أن أعظم قيمة للمغطة كانت عند

الحقل المغناطيسي $H=500A/m$ وهي تمثل شدة الحقل المغناطيسي الأعظمي. وأن حقل التحريض مغناطيسي المتبقي بعد زوال المغطة مساوٍ ل $0.5T$ وقيمة الحقل المغناطيسي (الحقل القاهر) الواجب تطبيقه لإزالتها مساوٍ ل $H_c = 10A/m$. كما وجدنا أن الطاقة اللازمة لنزع المغطة تساوي إلى $(B.H)_{max} = 0.02\text{ J/m}^2$.
الكلمات المفتاحية: فريت الباريوم السداسي - النفاذية المغناطيسية - تمغنط الإشباع - التمغنط المتبقي - الحقل القاهر - دورة البطاء المغناطيسي - المحور (سهل، صعب) التمغنط.

* أستاذ في قسم الفيزياء، كلية العلوم، جامعة طرطوس، سوريا .

** أستاذ في قسم الفيزياء، كلية العلوم، جامعة تشرين، اللاذقية، سوريا.

*** طالبة ماجستير في قسم الفيزياء، كلية العلوم، جامعة طرطوس، سوريا

Studying of the M-Hexaferrite $BaFe_{12}O_{19}$ using the data of magnetic Hysteresis cycle

Dr. Hasan Sliman *

Dr. Badar Alaraj **

katren hasan***

(Received 14/10 /2021.Accepted 23/12/2021)

□ABSTRACT □

In this research, the M-hexaferrite $Ba_{0.9}Zr_{0.1}Fe_{11.2}Cr_{0.4}Al_{0.4}O_{19}$ has been prepared using Sol – Gel method .then, then,the prepared sample was sinteredat 1000°C inside electric oven.

After that, the studied prepared magnetic properties have been determined by the curves

M-H and B-H . .we have noticed of the calculations according to mathematical relations and conducting the results using Excel that the maximum value of magnetization was at the magnetic field $H=500$ A/m and it represents the strength of the maximum magnetic field.

we have also found out that the required energy of demagnetization equals $(B.H)_{max}=0.02$ j/m²

and the field of remaining magnetic field after demagnetization equals 0.5T .

and the value of magnetic field (omnipotent field) that must be applied to demagnetize equals

$$H_c = 10 \text{ A/m}$$

Keywords: M-Hexaferrite – magnetic permeability –saturation magnetization–residual magnetization - omnipotent field – magnetic hysteresis cycle - Axis(easx-hard) magnetization

*:prof. at physics department- faculty of sciences –Tartous university - Syria.

** :prof. at physics department- faculty of sciences – Tishreen university – Lattakia – Syria.

***:Master student at physics department - faculty of sciences – Tartous university –Syria.

مقدمة:

البنية البلورية للفرايت:

البنية البلورية للفرايت عبارة عن شبكة ترابط بين الأيونات المعدنية Fe^{3+} ، Me^{2+} وأيونات الأوكسجين O^{2-} ويلعب توزيع هذه الأيونات على البنية البلورية دوراً مهماً في تحديد التفاعلات المغناطيسية وخصائصها [1]. يصنف الفرايت الى أربعة أنواع رئيسية هي :

Spinal ; Garnet ; Hexaferrite ; Orthoferrite

الفرايت السداسي من الطور -M :

يكتب هذا الطور بالصيغة الجزيئية $MeO \cdot 6Fe_2O_3$ أو $MeFe_{12}O_{19}$ وله بنية الفلز الطبيعي Magnetoplumbite حيث Me يمثل الأيونات ثنائية التكافؤ Pb^{2+} ; Sr^{2+} ; Ba^{2+} [2].

الخواص المغناطيسية :

تمتاز المواد حديدية المغنطة بأن لها عزم مغناطيسي تلقائي في درجة حرارة الغرفة، حتى بدون تطبيق حقل مغناطيسي خارجي . تعتبر العناصر الانتقالية (Fe, Co , Ni ...etc) أشهر العناصر التي تنتمي إلى الأوساط حديدية المغنطة. وتعتمد خواصها المغناطيسية على اتجاه تطبيق الحقل المغناطيسي لأنها مواد لا متماثلة الخواص [3]. ونميز اتجاهين أساسيين في الشبكة البلورية لتطبيق الحقل المغناطيسي وهما:

1- المحور سهل التمغنط (easy axis) :

هو اتجاه تكون فيه شدة الحقل المغناطيسي المطبق صغيرة للوصول إلى تمغنط الاشباع M_s ، بالمقابل يمكننا نزع المغنطة بسهولة. وتستخدم هذه المواد كقوالب في المحولات، الألات الكهربائية، والمغانط الكهربائية... الخ.

2- المحور صعب التمغنط (hard axis) :

هو اتجاه تكون فيه شدة الحقل المغناطيسي كبيرة للوصول إلى تمغنط الاشباع M_s ، بالمقابل لا يمكننا نزع المغنطة بسهولة. وتستخدم هذه المواد في أوساط تخزين المعطيات أو المعلومات (أقراص، أشرطة) ، وكمغانط دائمة... الخ.

تبدي الفرايتات الظاهرة اللاخطية التي توضحها دورة بطء مغناطيسية يستخلص منها النقاط المرجعية، تمغنط الاشباع والتمغنط المتبقي والحقل المغناطيسي القاهر ومساحة دورة البطء المغناطيسي، التي تفيد في المقارنة الرقمية بين المواد التي تتمتع بهذه الخاصية، وتتناسب مساحة دورة البطء المغناطيسي مع ظل الفقد المغناطيسي $\tan \delta_m$ الذي يعرف بأنه نسبة النفاذية المغناطيسية التخيلية μ'' إلى النفاذية المغناطيسية الحقيقية μ' [4] .

وتعبر هذه المساحة عن فقد كثافة الطاقة المغناطيسية W_m التي نحصل عليها من العلاقة :

$$w_m = \oint H \cdot dB$$

وبالتالي نحصل على القدرة المفقودة P خلال دورة البطء بضربها بالتردد f وحجم القالب V:

$$P = w_m \cdot f \cdot V$$

ونحصل على النفاذية المغناطيسية النسبية μ_r من العلاقة التالية:

$$\mu_r = \frac{1}{\mu_0} \cdot \left(\frac{dB}{dH} \right)_{\max}$$

$$\mu_r = \frac{\Phi_m I_c}{\mu_0 I_{ac} N^2 A_c} = \frac{V_{ac} I_c}{\mu_0 w A_c N^2 I_{ac}}$$

$$B(t) = \int_0^t \frac{V_{ac}}{-N A_c} dt \quad ; V_{ac} = w \Phi_m$$

$$H = \frac{N I_{ac}}{l_c}$$

أهمية البحث وأهدافه :

تعتبر دراسة المواد الفريائية من المواضيع الهامة لتطبيقاتها الواسعة في التطبيقات الهندسية والصناعات الالكترونية الدقيقة.

تكمن أهمية هذا البحث في التعرف على الخواص المغناطيسية للعينة المدروسة ويهدف إلى:

• إيجاد منحنيات البقاء المغناطيسية للعينة وتحديد كل من (تمغنت الإشباع، التمغنت المتبقي،

الحقل القاهر).

عموما تتميز المواد الفريائة بالخواص الاتية : استقرارية عالية، منخفضة الكلفة، كثافة منخفضة مقاومة كهربائية عالية، امتصاص عالي للأموح المكروية.

دراسة دورة البقاء المغناطيسية (magnetic loop):

يظهر على منحنى دورة البقاء الموضحة في الشكل (1) المناطق التالية:

(I) المنطقة (a←b): تمثل إزاحة جدار الدومينات (جدار بلوخ) بحيث يزداد حجم الدومينات ذات التمغنت الموازي لاتجاه الحقل المغناطيسي المطبق H، بينما يتناقص حجم الدومينات ذات التمغنت المعاكس.

(II) المنطقة (b←c): تمثل التغيرات المفاجئة عند زيادة قيم H التي تؤدي إلى دوران الدومينات من اتجاه سهل إلى اتجاه سهل آخر موازيا لاتجاه H، وتدعى هذه الظاهرة بمفعول Barkhausen Effect.

(III) المنطقة (c←d): يحدث فيها الدوران التدريجي لعزوم الدومينات من الاتجاه السهل التمغنت

إلى اتجاه H.

(IV) المنطقة (d←e): يحصل فيها حالة الاشباع المغناطيسي بحيث أن العزوم المغناطيسية

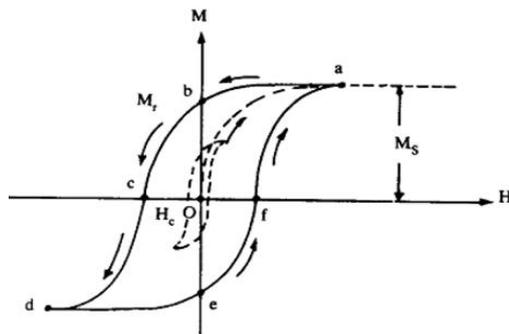
لجميع الدومينات تأخذ اتجاه الحقل المطبق H، وعند تخفيض قيم الحقل المغناطيسي حتى الوصول إلى H=0 نجد قيمة لحقل التحريض المغناطيسي المتبقي $B_r \neq 0$. ولجعل $B_r=0$ نعكس الحقل المغناطيسي

المطبق إلى القيمة $-H_c$ التي تدعى بحقل نزع المغنطة أو الحقل القاهر، وفي منطقة الاشباع يكون دوران الدومينات عكوسا بحيث يكون $B=\mu_0 H$ ، أما في الأجزاء الأخرى من منحنى دورة البقاء المغناطيسي تكون

حركة الدومينات غير عكوسة بسبب وجود العيوب البنوية، والكيميائية، والشوائب في المادة المحضرة [6,5].

وتؤدي حركة جدار الدومينات إلى تصادمات مع هذه العيوب بحيث تستهلك طاقة خلال عملية

التمغنت مما يؤدي إلى عملية غير عكوسة وتشكل دورة البقاء المغناطيسي.



الشكل (1) تصنيف شكل دورة البقاء المغناطيسي حسب قيم النسبة B_r/B_s :

أن أشكال حلقات البقاء توصف عن طريق نسبة $\frac{B_r}{B_s}$

- إذا كانت النسبة أصغر من 0.5 يكون شكل دورة البقاء مسطحة.

- إذا كانت النسبة تقريبا بين (0.6-0.7) يكون شكل دورة البقاء مستديرة.

- إذا كانت النسبة تقريبا 0.9 يكون شكل دورة البقاء مربعة.

طاقة اللاتماثل المغناطيسية في البلورات أحادية المحور:

اللاتماثل المغناطيسي يعني أن طاقة المواد المغناطيسية تعتمد على اتجاه التماثل بالنسبة إلى محاور البلورة والذي يؤثر على شكل دورة البقاء المغناطيسية وبالتالي على قيم الحقل المغناطيسي القسري و التماثل المتبقي. أما بالنسبة إلى أحادية المحور تعني بأنها الطاقة اللازمة لإعادة توجيه العزم المغناطيسي للبلورة من محور التماثل السهل إلى محور التماثل الصعب، وتنشأ محاور التماثل من التفاعل المتبادل بين العزم المغناطيسي السبيني وحقل الشبكة البلورية وبشكل عام فإن الفريت السداسي يمتلك نوعين من اللاتماثل هما: اللاتماثل وفق المحور c ، واللاتماثل وفق المستوي e .

تعطى طاقة E_K لوحدة الحجم بالنسبة إلى اللاتماثل على طول المحور الوحيد بالعلاقة الآتية :

$$E_K = \sum K_n \sin^{2n}(\theta) = K_1 \sin^2(\theta) + K_2 \sin^4(\theta) + \dots \approx K_1 \sin^2\theta$$

حيث أن الزاوية θ بين اتجاه التماثل والمحور c و K_1 , K_2 ثابتي اللاتماثل الأول والثاني . يدعى الاتجاه الذي تكون عنده الطاقة E_K بمحور التماثل السهل ، والميزة الأساسية للحقل المغناطيسي القسري هي اعتماده على حجم الحبيبة. ويرجع الأصل الفيزيائي لطاقة اللاتماثل إلى التفاعل المتبادل بين متوسط الحقل المغناطيسي التبادلي H_{ex} وعزم كمية الحركة المدارية للأيونات في الشبكة الذي يدعى بترابط (سبين - مدار). وعندما يطبق حقل مغناطيسي خارجي على البلورة يظهر حد زيمان المغناطيسي،

$$E_z = HM_s \cos(\phi - \theta) \quad \text{ويعطى بالعلاقة:}$$

حيث ϕ الزاوية بين الحقل المطبق H، والمحور السهل التماثل .

والطاقة الكلية في هذه الحالة:

$$E = E_a + E_z = K_1 \sin^2\theta + HM_s \cos(\phi - \theta)$$

التماثل بالاتجاه الصعب ($\phi = \pi/2$):

عند هذا الشرط نجد:

$$E = K_1 \sin^2\theta + HM_s \cos(\phi - \theta)$$

بإجراء المشتق الأول $\frac{dE}{d\theta} = 0$ ، والمشتق الثاني $\frac{d^2E}{d\theta^2} > 0$ لمعرفة اتجاه التزايد أو التناقص عند قيمة الزاوية θ . يعطي الشرط الأول للمشتق:

$$\theta = \pm \frac{\pi}{2} + \pi n ; n = 0 ; \pm 1 ; \pm 2 \dots$$

نستنتج من هذا الشرط أن متجهة تمغنط الاشباع \vec{M}_s واتجاه الحقل المغناطيسي المطبق \vec{H} ، التي توافق وجود حالات التوازي

$$(\vec{M}_s \uparrow \downarrow \vec{H}) \text{ المضاد } (\vec{M}_s \downarrow \downarrow \vec{H})$$

$$H < -\frac{2K_1}{M_s} \quad , \quad \text{at } \theta = +\frac{\pi}{2}$$

$$H > +\frac{2K_1}{M_s} \quad , \quad \text{at } \theta = -\frac{\pi}{2}$$

ونحصل على ثابت اللاتماثل عند الحقل H_a الموافق لتمغنط الاشباع من دورة البطء المغناطيسية وفق العلاقة: $M = M_s \frac{H}{H_a}$ حيث يتغير التمغنط في الاتجاه الصعب خطياً مع الحقل المطبق.

التمغنط بالاتجاه السهل ($\phi=0$): تصبح الطاقة الكلية تحت هذا الشرط :

$$E = K_1 \sin^2 \theta + H M_s \cos(\phi - \theta)$$

بإجراء المشتق الأول $\frac{dE}{d\theta} = 0$ ، والمشتق الثاني $\frac{d^2E}{d\theta^2} > 0$ لمعرفة اتجاه التزايد أو التناقص عند قيمة الزاوية θ . يعطي الشرط الأول للمشتق:

$$\theta = \pi n ; n = 0 ; \pm 1 ; \pm 2 \dots$$

نستنتج من هذا الشرط أن متجهة تمغنط الاشباع \vec{M}_s واتجاه الحقل المغناطيسي المطبق \vec{H} ، التي

توافق وجود حالات التوازي المضاد $(\vec{M}_s \uparrow \downarrow \vec{H})$

$$H < +\frac{2K_1}{M_s} \quad , \quad \text{at } \theta = 0$$

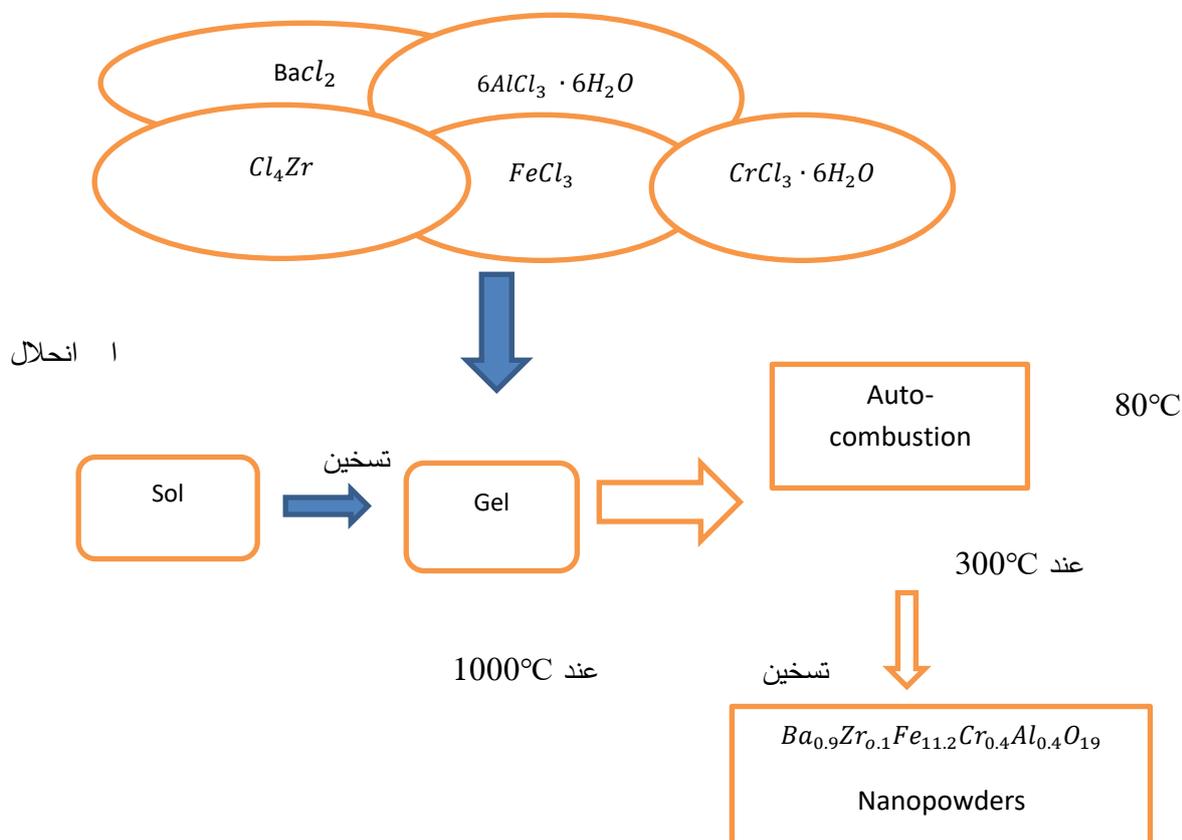
$$H > -\frac{2K_1}{M_s} \quad , \quad \text{at } \theta = -\pi$$

وبالتالي نحصل على الحقل القاهر $H_c = \frac{2K_1}{M_s}$.

طرائق البحث ومواده :

a- تحضير العينات بطريقة sol-gel :

نأخذ كميات محددة من كلوريدات المركبات الداخلة في تركيب الفرايت وفق الحسابات التي أجريت للحصول على 11gr من BZFCAO كما هو موضح في الشكل (2) . نحل هذه الكلوريدات في بيشر يحتوي 100ml من الماء المقطر، ويوضع عند درجة حرارة 85°C مع وجود محرك مغناطيسي ، و عند الغليان نضيف غرام واحد من حمض سيتريك أسيد، ويترك ليحفظ المحلول الى 25ml ثم نوقف التحريك، و نخرج المغناطيس ونزيد درجة الحرارة إلى 150°C عندما يتحول المحلول إلى بودرة و جل نزيد درجة الحرارة إلى 200°C حتى يتم الاحتراق بشكل كامل، ثم نطحن المسحوق الذي تم الحصول عليه في هاوون ، نعالجه في درجة حرارة 1000°C لمدة ساعتين ، ونتركه يبرد بحرارة الفرن ،ثم نطحن المسحوق جيدا حتى نحصل على مسحوق حجم حبيباته صغير جدا من أبعاد الميكرومتر ، ثم نجري قياس انعراج الأشعة السينية (XRD) للعينة لتأكد من أننا حصلنا على البنية المطلوبة [7,8]



الشكل (2): طريقة Sol-gel

النتائج والمناقشة :

أصبحت بيانات دورة البطاء المغناطيسي مع تطور الحاسوب الشخصي سهلة المنال، وأكثر موثوقية باستخدام Software.

وتعتبر قيمة $(B.H)_{max}$ أحد المعايير الهامة لتصنيف المواد حديدية المغنطة إلى مواد سهلة المغنطة ومواد قاسية المغنطة التي تم تحديدها في هذا البحث من بيانات الربع الثاني لدورة البطاء المغناطيسية. وكلما كبرت هذه القيمة كانت المادة المدروسة صعبة التمغنط. وعند ازدياد قيمة الطوعية المغناطيسية تنخفض قيمة الحقل المغناطيسي القاهر [9].

أما السلوك اللاخطي ما بين B و H فقد تم اثباته بظهور دورة الفراشة butterfly، حيث يدعى الجزء من دورة البطاء المغناطيسي الواقع في الربع الثاني بمنحني نزع المغنطة، ويعتبر B_r مؤشرا لشدة المغناطيس. ويتطلب المغناطيس الدائم الجيد قيمة عالية من H_c لتقليل أثار الاهتزاز وتغيرات درجة الحرارة والحقول الخارجية اللازمة لفقد المغنطة، وتعتبر القيمة العظمى للجداء $(B.H)_{max}$ عن منحني نزع المغنطة، والتي تمثل كثافة الطاقة المغناطيسية العظمى التي تختزن في المغناطيس المدروس، ولها تطبيقات كهروميكانيكية [10,11].

البارامترات المغناطيسية : $(B.H)_{max}$ ، H_c ، B_r المأخوذة من دورة البطاء

وبحساب قيم B و H و شدة التمغنط وفق العلاقات التالية:

$$B = \frac{\phi}{N_2 \cdot A}$$

$$H = \frac{N_1}{L} I$$

$$M = \left(\frac{B}{\mu_0} - H \right)$$

نحصل على النتائج المسجلة بالجدول المرفقة باستخدام ملف Excel الذي يحتوي على قيم شدة

التيار I والتدفق ϕ وفق مايلي

حيث ان :

I شدة التيار المار في سلك الملف حول المادة المدروسة التي لها شكل متوازي مستطيلات مساحة

مقطعه $A=16cm^2$ وعدد لفاته $N_1 = N_2 = 500 turns$. ويتولد في الجملة تدفق مغناطيسي ϕ خلال

مسار مغلق قدره $l=62cm$.

الملحق:

النتائج والحسابات المستخدمة في رسم الخطوط البيانية وفق برنامج إكسل:

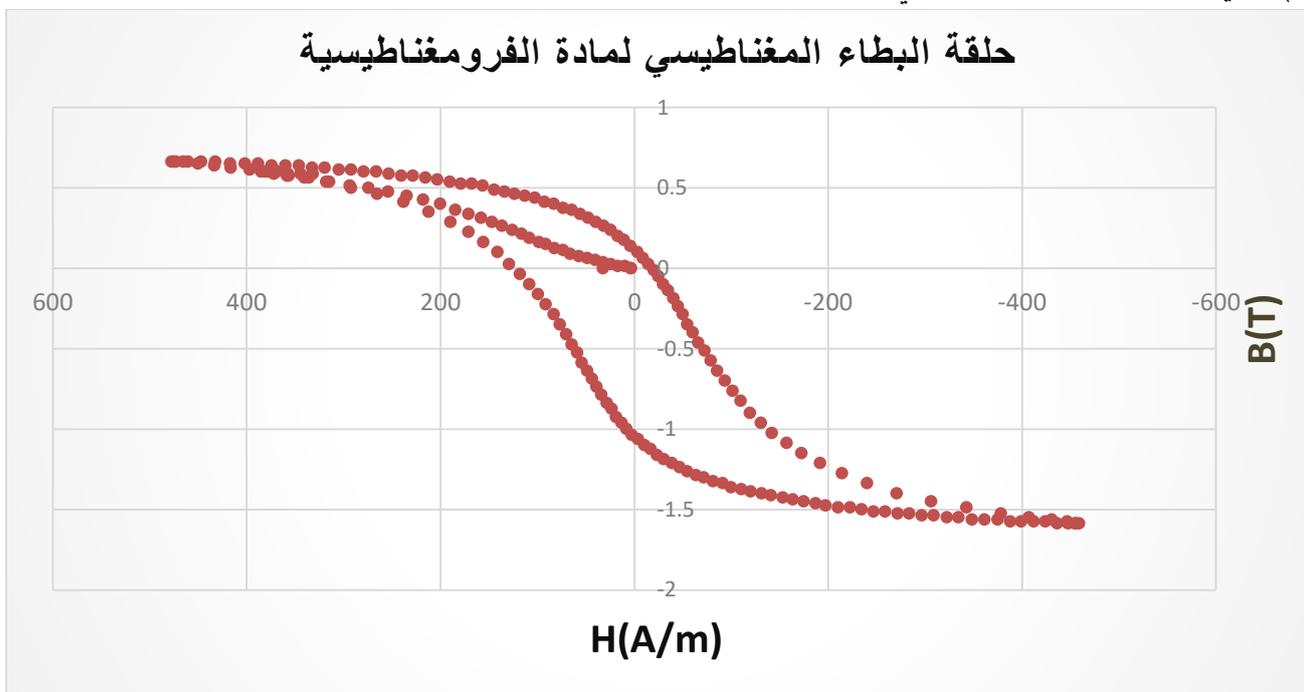
الترتيب	A	B	C	D	E	F
39	0.577	0.53	0.6625	465.323	-465.32	308.276
40	0.589	0.53	0.6625	475	-475	314.688
41	0.592	0.53	0.6625	477.419	-477.42	316.29
42	0.586	0.53	0.6625	472.581	-472.58	313.085
43	0.571	0.53	0.6625	460.484	-460.48	305.071
44	0.554	0.53	0.6625	446.774	-446.77	295.988
45	0.536	0.53	0.6625	432.258	-432.26	286.371
46	0.517	0.52	0.65	416.935	-416.94	271.008
47	0.498	0.52	0.65	401.613	-401.61	261.048
48	0.481	0.52	0.65	387.903	-387.9	252.137
49	0.464	0.51	0.6375	374.194	-374.19	238.548
50	0.446	0.51	0.6375	359.677	-359.68	229.294
51	0.429	0.51	0.6375	345.968	-345.97	220.554
52	0.412	0.5	0.625	332.258	-332.26	207.661
53	0.396	0.5	0.625	319.355	-319.35	199.597
54	0.378	0.49	0.6125	304.839	-304.84	186.714
55	0.362	0.49	0.6125	291.935	-291.94	178.81
56	0.346	0.48	0.6	279.032	-279.03	167.419
57	0.33	0.48	0.6	266.129	-266.13	159.677
58	0.314	0.47	0.5875	253.226	-253.23	148.77
59	0.298	0.46	0.575	240.323	-240.32	138.185
60	0.283	0.46	0.575	228.226	-228.23	131.23
61	0.267	0.45	0.5625	215.323	-215.32	121.119
62	0.252	0.44	0.55	203.226	-203.23	111.774
63	0.236	0.43	0.5375	190.323	-190.32	102.298
64	0.222	0.42	0.525	179.032	-179.03	93.9919
65	0.208	0.42	0.525	167.742	-167.74	88.0645
66	0.194	0.41	0.5125	156.452	-156.45	80.1815
67	0.179	0.39	0.4875	144.355	-144.35	70.373
68	0.166	0.38	0.475	133.871	-133.87	63.5887
69	0.153	0.37	0.4625	123.387	-123.39	57.0665
70	0.14	0.36	0.45	112.903	-112.9	50.8065
71	0.127	0.35	0.4375	102.419	-102.42	44.8085
72	0.115	0.33	0.4125	92.7419	-92.742	38.256
73	0.103	0.32	0.4	83.0645	-83.065	33.2258
74	0.091	0.3	0.375	73.3871	-73.387	27.5202
75	0.08	0.29	0.3625	64.5161	-64.516	23.3871
76	0.069	0.27	0.3375	55.6452	-55.645	18.7802
77	0.059	0.25	0.3125	47.5806	-47.581	14.869

	A	B	C	D	E	F
1	I (A)	φ (vs)	B (T)	H (A/m)	$M(Tm^2)$	$B^*H(T^2)$
2	0.004	0	0	3.22581	-3.2258	0
3	0.04	0	0	32.2581	-32.258	0
4	0.004	0	0	3.22581	-3.2258	0
5	0.012	0.01	0.0125	9.67742	-9.6774	0.12097
6	0.021	0.01	0.0125	16.9355	-16.935	0.21169
7	0.03	0.02	0.025	24.1935	-24.194	0.60484
8	0.04	0.03	0.0375	32.2581	-32.258	1.20968
9	0.05	0.04	0.05	40.3228	-40.323	2.01613
10	0.06	0.05	0.0625	48.3871	-48.387	3.02419
11	0.071	0.06	0.075	57.2581	-57.258	4.29435
12	0.082	0.07	0.0875	66.129	-66.129	5.78629
13	0.091	0.09	0.1125	73.3871	-73.387	8.25605
14	0.102	0.1	0.125	82.2581	-82.258	10.2823
15	0.113	0.12	0.15	91.129	-91.129	13.6694
16	0.122	0.13	0.1625	98.3871	-98.387	15.9879
17	0.134	0.15	0.1875	108.065	-108.06	20.2621
18	0.144	0.17	0.2125	116.129	-116.13	24.6774
19	0.156	0.19	0.2375	125.806	-125.81	29.879
20	0.169	0.21	0.2625	136.29	-136.29	35.7762
21	0.182	0.23	0.2875	146.774	-146.77	42.1976
22	0.196	0.25	0.3125	158.065	-158.06	49.3952
23	0.212	0.27	0.3375	170.968	-170.97	57.7016
24	0.229	0.29	0.3625	184.677	-184.68	66.9456
25	0.248	0.32	0.4	200	-200	80
26	0.27	0.34	0.425	217.742	-217.74	92.5403
27	0.291	0.36	0.45	234.677	-234.68	105.605
28	0.315	0.38	0.475	254.032	-254.03	120.665
29	0.34	0.4	0.5	274.194	-274.19	137.097
30	0.364	0.41	0.5125	293.548	-293.55	150.444
31	0.39	0.43	0.5375	314.516	-314.52	169.052
32	0.416	0.45	0.5625	335.484	-335.48	188.71
33	0.442	0.46	0.575	356.452	-356.45	204.96
34	0.468	0.48	0.6	377.419	-377.42	226.452
35	0.492	0.49	0.6125	396.774	-396.77	243.024
36	0.516	0.5	0.625	416.129	-416.13	260.081
37	0.537	0.51	0.6375	433.065	-433.06	276.079
38	0.558	0.52	0.65	450	-450	292.5
39	0.577	0.53	0.6625	465.323	-465.32	308.276

	A	B	C	D	E	F
115	-0.505	-1.24	-1.55	-407.26	407.258	631.25
116	-0.534	-1.25	-1.5625	-430.65	430.645	672.883
117	-0.554	-1.26	-1.575	-446.77	446.774	703.669
118	-0.564	-1.27	-1.5875	-454.84	454.839	722.056
119	-0.569	-1.27	-1.5875	-458.87	458.871	728.458
120	-0.565	-1.27	-1.5875	-455.65	455.645	723.337
121	-0.555	-1.27	-1.5875	-447.58	447.581	710.534
122	-0.541	-1.27	-1.5875	-436.29	436.29	692.611
123	-0.526	-1.26	-1.575	-424.19	424.194	668.105
124	-0.511	-1.26	-1.575	-412.1	412.097	649.052
125	-0.495	-1.26	-1.575	-399.19	399.194	628.73
126	-0.481	-1.26	-1.575	-387.9	387.903	610.948
127	-0.465	-1.25	-1.5625	-375	375	585.938
128	-0.448	-1.25	-1.5625	-361.29	361.29	564.516
129	-0.432	-1.25	-1.5625	-348.39	348.387	544.355
130	-0.415	-1.24	-1.55	-334.68	334.677	518.75
131	-0.4	-1.24	-1.55	-322.58	322.581	500
132	-0.383	-1.23	-1.5375	-308.87	308.871	474.889
133	-0.368	-1.23	-1.5375	-296.77	296.774	456.29
134	-0.352	-1.22	-1.525	-283.87	283.871	432.903
135	-0.337	-1.22	-1.525	-271.77	271.774	414.456
136	-0.321	-1.21	-1.5125	-258.87	258.871	391.542
137	-0.306	-1.21	-1.5125	-246.77	246.774	373.246
138	-0.291	-1.2	-1.5	-234.68	234.677	352.016
139	-0.276	-1.19	-1.4875	-222.58	222.581	331.089
140	-0.261	-1.19	-1.4875	-210.48	210.484	313.095
141	-0.245	-1.18	-1.475	-197.58	197.581	291.431
142	-0.232	-1.17	-1.4625	-187.1	187.097	273.629
143	-0.217	-1.16	-1.45	-175	175	253.75
144	-0.203	-1.15	-1.4375	-163.71	163.71	235.333
145	-0.19	-1.14	-1.425	-153.23	153.226	218.347
146	-0.175	-1.13	-1.4125	-141.13	141.129	199.345
147	-0.163	-1.12	-1.4	-131.45	131.452	184.032
148	-0.149	-1.11	-1.3875	-120.16	120.161	166.724
149	-0.137	-1.1	-1.375	-110.48	110.484	151.915
150	-0.124	-1.09	-1.3625	-100	100	136.25
151	-0.113	-1.07	-1.3375	-91.129	91.129	121.885
152	-0.101	-1.06	-1.325	-81.452	81.4516	107.923
153	-0.089	-1.04	-1.3	-71.774	71.7742	93.3065

	A	B	C	D	E	F
77	0.059	0.25	0.3125	47.5808	-47.581	14.869
78	0.049	0.23	0.2875	39.5161	-39.516	11.3609
79	0.039	0.21	0.2625	31.4516	-31.452	8.25605
80	0.03	0.19	0.2375	24.1935	-24.194	5.74597
81	0.021	0.16	0.2	16.9355	-16.935	3.3871
82	0.013	0.14	0.175	10.4839	-10.484	1.83468
83	0.005	0.11	0.1375	4.03228	-4.0323	0.55444
84	-0.004	0.08	0.1	-3.2258	3.22581	-0.3226
85	-0.011	0.05	0.0625	-8.871	8.87097	-0.5544
86	-0.018	0.02	0.025	-14.516	14.5161	-0.3629
87	-0.025	-0.01	-0.0125	-20.161	20.1613	0.25202
88	-0.031	-0.04	-0.05	-25	25	1.25
89	-0.037	-0.08	-0.1	-29.839	29.8387	2.98387
90	-0.043	-0.11	-0.1375	-34.677	34.6774	4.76815
91	-0.05	-0.15	-0.1875	-40.323	40.3226	7.56048
92	-0.056	-0.19	-0.2375	-45.161	45.1613	10.7258
93	-0.062	-0.23	-0.2875	-50	50	14.375
94	-0.068	-0.28	-0.35	-54.839	54.8387	19.1935
95	-0.075	-0.32	-0.4	-60.484	60.4839	24.1935
96	-0.082	-0.37	-0.4625	-66.129	66.129	30.5847
97	-0.09	-0.41	-0.5125	-72.581	72.5808	37.1976
98	-0.098	-0.46	-0.575	-79.032	79.0323	45.4435
99	-0.106	-0.51	-0.6375	-85.484	85.4839	54.496
100	-0.116	-0.56	-0.7	-93.548	93.5484	65.4839
101	-0.126	-0.61	-0.7625	-101.61	101.613	77.4798
102	-0.136	-0.66	-0.825	-109.68	109.677	90.4839
103	-0.148	-0.72	-0.9	-119.35	119.355	107.419
104	-0.162	-0.77	-0.9625	-130.65	130.645	125.746
105	-0.176	-0.82	-1.025	-141.94	141.935	145.484
106	-0.195	-0.87	-1.0875	-157.26	157.258	171.018
107	-0.214	-0.92	-1.15	-172.58	172.581	198.468
108	-0.238	-0.97	-1.2125	-191.94	191.935	232.722
109	-0.266	-1.02	-1.275	-214.52	214.516	273.508
110	-0.298	-1.07	-1.3375	-240.32	240.323	321.431
111	-0.336	-1.12	-1.4	-270.97	270.968	379.355
112	-0.38	-1.16	-1.45	-306.45	306.452	444.355
113	-0.425	-1.19	-1.4875	-342.74	342.742	509.829
114	-0.469	-1.22	-1.525	-378.23	378.228	576.794
115	-0.505	-1.24	-1.55	-407.26	407.258	631.25

و برسم B بتابعة H وفق البيانات المرفقة بالجدول السابق نحصل على المنحني البياني الموضح في الشكل (3) والذي يعرض دورة البطء المغناطيسي:

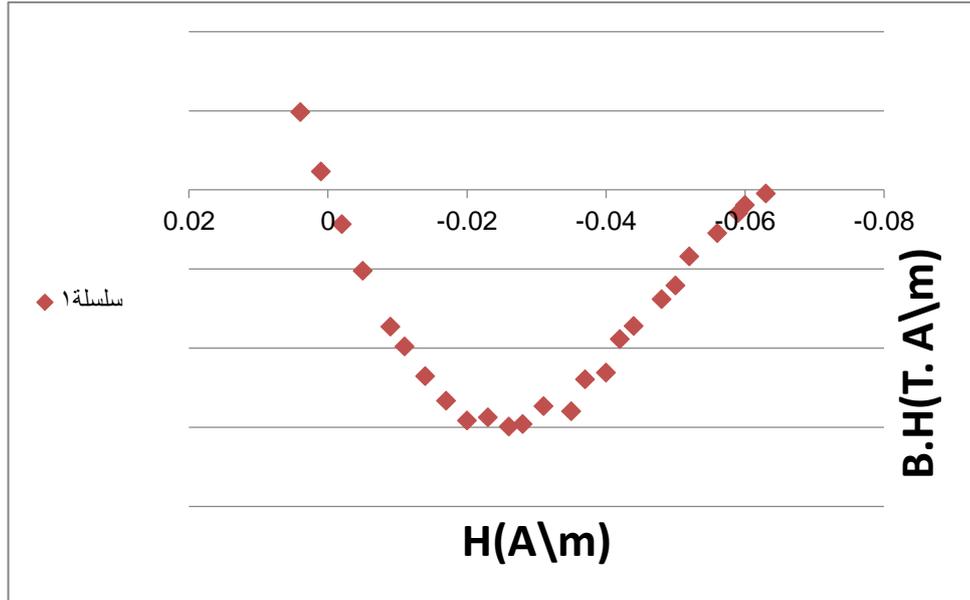


الشكل (3) : منحني دورة البطء المغناطيسي وفق القيم التجريبية المسجلة

نلاحظ من الشكل أنه في حالة الاشباع المغناطيسي تأخذ العزوم المغناطيسية لجميع الدومينات اتجاه الحقل المطبق H، للوصول إلى قيمة أعظمية للمغطة عند شدة حقل مغناطيسي $H=500A/m$ وهي تمثل شدة الحقل المغناطيسي الأعظمي

عندما $H=0$ يلاحظ وجود مغطة متبقية بالرغم من زوال المجال المغناطيسي الخارجي وهذا يعني ان بعض العزوم ما زالت باقية على اتجاهها، وتسمى شدة المغطة في هذه الحالة بالمغطة المتبقية وتساوي قيمتها إلى $0.5T$ ولإزالتها يجب تسليط حقل مغناطيسي مُعاكس يُسمى بالحقل القاهر ويساوي إلى $H_c = 10A/m$.

ويرسم (B.H) بتابعة H لقيم الربع الثاني من دورة البطء نحصل على المنحني البياني الموضح في الشكل (4) والذي يعرض منحني نزع المغطة:



الشكل (4) : الجزء الثاني من دورة البطء المغناطيسي

نلاحظ من الشكل أن الطاقة اللازمة لنزع المغنطة تساوي إلى $(B.H)_{\max} = 0.02 \text{ J/m}^3$

الاستنتاجات والتوصيات:

نستنتج من هذا العمل النقاط التالية :

- عند الوصول إلى حالة الإشباع المغناطيسي تكون جميع متجهات التمغنط لطور الفريتي قد اصطفت باتجاه الحقل المطبق وتكون شدة الحقل المغناطيسي الأعظمي تساوي إلى $H=500\text{A/m}$ وعند بدء تناقص شدة الحقل المغناطيسي المطبق فإن متجهات التمغنط تدور باتجاه أقرب لمتجه الحقل المطبق وهذا ما يفسر تزايد قيم المغنطة المتبقية .
- وعندما $H=0$ يلاحظ وجود مغنطة متبقية بالرغم من زوال المجال المغناطيسي الخارجي وهذا يعني ان بعض العزوم ما زالت باقية على اتجاهها، وتسمى شدة المغنطة في هذه الحالة بالمغنطة المتبقية وتكون قيمة الحقل المتبقي $0.5T$ ولإزالتها يجب تسليط حقل مغناطيسي مُعاكس يُسمى بالحقل القاهر ومساوٍ إلى $H_c = 10\text{A/m}$. كما نجد أن الطاقة اللازمة لنزع المغنطة تساوي إلى $(B.H)_{\max} = 0.02 \text{ J/m}^3$.
- نوصي بمتابعة هذا العمل باختبار امتصاصية العينة ضمن المجال X -band ، Ku ، وقياس المغنطة المشبعة والحقل المغناطيسي القسري باستخدام جهاز VSM .

المراجع

- [1]. YAZAN OSAMA MASWEDEH ,*structural analysis of hexaferrite materials*, Master degree of Physics University of Jordan,2014.
- [2]. SAIMA FAROOQ, *study of electrical and magnetic properties of Sr – Ba hexaferrite nano-material for potential technological applications*, Doctor Dissertation, Quaid-i-Azan University, Pakstan,2010.
- [3]. WEISSMANTEL CH.,HAMAMN C., *Grundlagen der Festkoeperphysik*,VEB Deutscher Verlag der Wissenschaften,Berlin,1981
- [4].MICGAEL B., MAIK F., *ET.M,Algemeine und Anorganische Chemie* ,Springer Spektrum , 3. Auflage, 2016
- [5]. CHITRAKANT SHARMA, GAJENDRA SINGH RATHORE, *determination of optical constants of SnO₂ thin film using Matlab Curve fitting Method*, Advance Physics , 2014.
- [6] SHAIKH A.M.,master thesis in spinel ferrite,J. *Matterial Chem. Phys.*,2000,45-50.
- [7] YATTINAHALLI S.B., KAPATAR S.B., MATHAD S.N., *structural and mechanical properties of a nano-ferrite*, *Advance science Focus*,Vol.42,p.42-46,2014.
- [8] WALDRON R.D.,*Phys. Rev.* 99, 1727,1955
- [9] . بدر الأعرج، دراسة توزيع الايونات الموجبة في الفرايت Co_{0,6}Zn_{0,4}Fe₂O₄ باستخدام ESR مجلة جامعة تشرين للبحوث والدراسات العلمية،المجلد الثالث،العدد الأول،2014
- [10].نجلاء إبراهيم الجريد، دراسة طيف الرنين النووي لأشعة جاما(طيف موسباور) لبعض العينات النانومترية المحتوية على حديد. جامعة الملك عبد العزيز، ص 5-1،2011
- [11]. رواء علي سليم، *الدراسة الطيفية للمركب : فرايت CoZn – تيتانات الباريوم*. جامعة تشرين،ص-13 2014،20