الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

جامعة الوادي

كلية العلوم والتكنولوجيا

رقم الترتيب :

رقم التسلسل :

مذكرة تخرج لنيل شهادة

ليســــــــانس أكـــــــــــاديمي

مجال : علوم المادة

فرع : فيزيـــاء

تخصص: فيزيـاء – إشعاع

من إعداد:عازب عثمان هناء * غيلاني سمية

الموضوع:

دراسة الخواص المغناطيسية للمواد

نوقشت يوم2014/06/03

أمام لجنة المناقشة المكونة من:

غوقالي مبروك	الرئيس
رحيّة غاني	المناقش
بن حميدة سفيان	المؤطر

الموسم الجامعي 2014/2013

الفهرس

الفهرس

فهرس الاشكال

المقدمة العامة

الفصل الأول : عموميات حول المغناطيسية

I.1	لمحة تاريخية حول المغناطيس والمغناطيسية	**2**
I.2	القوة المغناطيسية	**2**
3.I	المجال المغناطيسي	**3**
4.I	الحث المغناطيسي	**4**
1.4.I	الحث الذاتي	**4**
2.4.I	الحث المتبادل	**5**
5.I	العزم المغناطيسي	**5**
1.5.I	عزم ثنائي قطب مغناطيسي	**5**
2.5.I	العزم الحركي الكلي للذرة	**6**
I. 1.2.5	العزم الحركي المداري	**6**
I. 2.2.5	العزم الحركي للف الذاتي	**6**
3.5.I	العزم المغناطيسي للذرة	**6**
1.3.5.I	العزم المغناطيسي المداري للإلكترون	**6**
2.3.5.I	العزم المغناطيسي للف الذاتي	**7**
I. 3.3.5	العزم المغناطيسي الكلي للإلكترون	**7**

الفصل الثاني: الخواص المغناطيسية للمواد

1.I	التمغنط	**8**
2.I	الوصف النوعي للتمغنط	**9**
3.I	الوصف الكمي للتمغنط	**10**
4.I	تمغنط الإشباع	**11**
I.5	القابلية والنفاذية المغناطيسية	**12**
II	تصنيف حالة المواد المغناطيسية	**13**
1.II	المواد الديامغناطيسية	**13**

2.II	المواد البارا مغناطيسية	**14**
3.II	المواد الفيرومغناطيسية	**15**
4.II	المواد الفيريمغناطيسية	**15**
5. II	دورة البطاء	**16**
III	تطبيقات على بعض الظواهر المغناطيسية	**17**
1.III	السيكلترون	**17**
2.III	قياس قابلية المغناطيسية للسوائل باستخدام طريقة كوينك	**18**
1.2.III	وصف تجربة كوينك	**19**
	الخاتمة	
	قائمة المراجع	

فهرس الأشكال

الشكل (I. 1): اتجاه القوة المغناطيسية 3

الشكل (I. 2): خطوط المجال المغناطيسي لمغناطيس 4

الشكل (I. 3): خطوط المجال المغناطيس بسلك يمر فيه تيار كهربائي I 4

الشكل (I. 4): التأثير الحثي المتبادل . 5

الشكل (II. 1): ملخص للصفات المغناطيسية لبعض المواد. 9

الشكل (II. 2): تأثير الحقل المغناطيسي على العزم المغناطيسي للذرة 10

الشكل (II. 3): منحنيات التمغنط B(H) لمواد مختلفة 12

الشكل (II. 4): الظاهرة الدايامغناطيسية في الذرات 13

الشكل (II. 5): التوضع العشوائي للعزوم في مادة بارامغناطيسية 14

الشكل (II. 6): تراصف ثنائيات الأقطاب للمواد الفيريمغناطيسية 15

الشكل (II. 7): مخطط الدورة التخلفية 16

الشكل (II. 8): رسم تخطيطي للسيكلترون 18

الشكل (II. 9): التركيب التجريبي لطريقة كوينك 19

مقدمة عامة

إن معظم العناصر و الأجهزة المستخدمة في مجالات الهندسة الكهربائية و الإلكترونية كالمحرضات و الآلات الدورات و الهوائيات و مكبرات الصوت و أجهزة القياس الكهرومغناطيسية و المسلسات و غيرها، كلها تعتمد في مبدأ عملها على الاستفادة من الخواص المغناطيسية للمواد و معرفة القوانين الناظمة لها للتعرف على هذه المواد تحت تأثير الحقول المغناطيسية.

كل المواد سواء كانت صلبة سائلة أو غازية تمتلك خصائص مغناطيسية عند تعرضها لتأثير مجال مغناطيسي و لكن هذا التأثر يكون بدرجات متفاوتة فهناك مواد ذات خصائص مغناطيسية ضعيفة و أخرى متوسطة أو قوية أو ضد المجال المغناطيسي و هذه الخصائص قد ترتبط في بعض منها بدرجة الحرارة.

تتحدد الخواص المغناطيسية للمواد بشكل رئيسي من مفاهيم أساسية حول المادة و المغنطيسية و بهذا سنتطرق في دراستنا :

- الفصل الأول مفهوم العزم المغناطيسي لثنائيات القطب و كذلك للإلكترون إضافة إلى شدة المغنطة و غيرها من المفاهيم المهمة.
- الفصل الثاني سيتناول تصنيف المواد حسب خواصها المغناطيسية حيث تفسر جميع الظواهر المغناطيسية في المواد بحركة الالكترونات في مداراتها حول النواة و أيضا حول نفسها كما تطرقنا في الأخير إلى بعض التطبيقات الخاصة ببعض الظواهر المغناطيسية.

المقدمـــة

سنتطرق في هذا الفصل إلى مقدمة عامة حول المغناطيسية والتي سنتناول فيها اهم المفاهيم الرئيسية البداية كالقوة المغناطيسية والمجال والحث المغناطيسي ... ، بحيث ستكون فيما بعد كمقدمة لدراسة و التعرف على الخواص المغناطيسية للمواد و التي هي محور هذه المذكرة .

1.I. لمحة تاريخية حول المغناطيس والمغناطيسية

نشأ علم المغناطيسية قبل الميلاد بعدة قرون وكانت بداية ملاحظة الظواهر المغناطيسية عندما اكتشفت القضبان المغناطيسية الطبيعية , فقد اكتشف علماء الإغريق عام (2500 ق.م) أن المجنتايت (Fe_3O_4) وهو أحد الخامات الموجودة بالقرب من مدينة مغنيسيا (أو مغناطيسيا) الإغريقية بآسيا الصغرى له خواص تميزه عن خامات الحديد الأخرى وهي جذب قطع صغيرة من الحديد كما أنه إذا علق في الهواء بحيث يسهل حركته في مستوى أفقي فإنه يتحرك إلى أن يستقر في اتجاه الشمال والجنوب الجغرافيين وقد أطلق على هذا الخام (Fe_3O_4) اسم الحجر المغناطيسي نسبة إلى مغنيسيا.

ولقد صنع الصينيون القدامى منذ (121 ق.م) المغناطيس الصناعي وذلك بتقريب قضيب منالحديد الغير ممغنط من خام الحديد المغناطيسي، ولوحظ أن قدرة الجذب المغناطيسي هذه أكبر ما يمكن في مناطق معينة من المغناطيس الخام أطلق عليها الأقطاب المغناطيسية.

استمر علم المغناطيسية فترة طويلة يبحث في تأثير المواد الممغنطة بعضها على بعض إلى أن اكتشف العالم الهولندي "هانز أرستد" في عام 1819م أن الإبرة المغناطيسية تنحرف إذا ما اقتربت من سلك يمر به تيار كهربائي وقد دل هذا الاكتشاف على أن الظواهر المغناطيسية تنشأ عن حركة الشحنات الكهربائية، وقد أصبح من الثابت الآن أن الشحنات المتحركة تتفاعل فيما بينها بقوى مغناطيسية إلى جانب القوى الإلكتروستاتيكية التي تخضع لقانون كولوم. [1]

2.I. القوة المغناطيسية

الشحنة المتحركة q بسرعة v في مجال مغناطيسي $\vec{B}$ تتعرض لقوة مغناطيسية تكون عمودية على كل من سرعة الشحنة و اتجاه المجال ومقدارها:

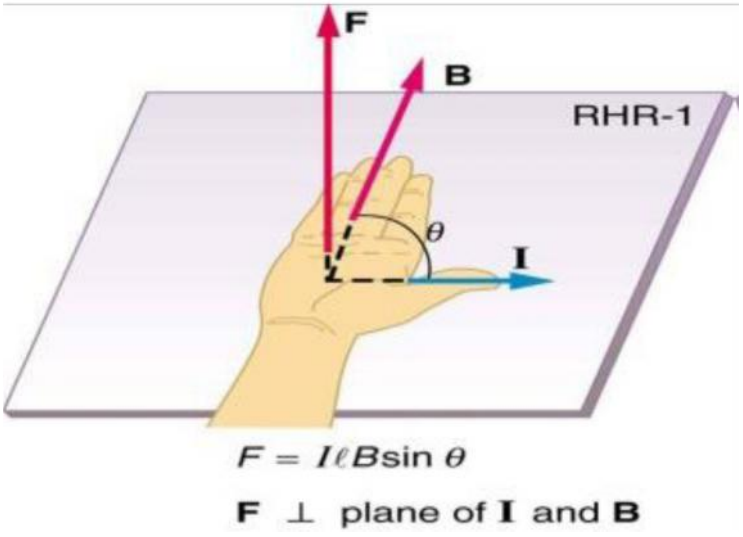
$$\vec{F} = \vec{B} \wedge \vec{v} q \qquad (1.I)$$

واتجاه القوة المغناطيسية كقوة عمودية على سرعة الجسم(الشحنة)تحرفه على مساره وتجعله يتحرك في مسار دائري . [2]

تحديد اتجاه القوة باستخدام قاعدة اليد اليمنى و يكون متعامد على المستوي الذي يحدده التيار والمجال المغناطيسي حيث تكون أصابع اليد اليمنى تشير إلى اتجاه خطوط المجال بينما يكون الإبهام في اتجاه التيار و القوة في الاتجاه الذي تدفعه راحة اليد . [3]

- إذا كان هناك زاوية بين التيار و B فان القانون يصبح على الشكل:

$$F = B\, I_l \sin\theta \qquad (2.I)$$



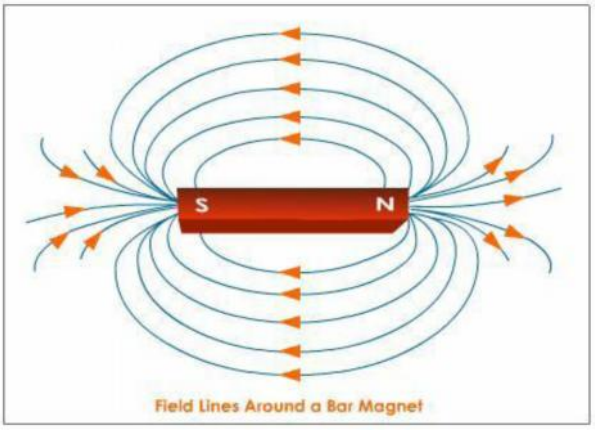
الشكل (1.I) اتجاه القوة المغناطيسية[3]

3.I. المجال المغناطيسي

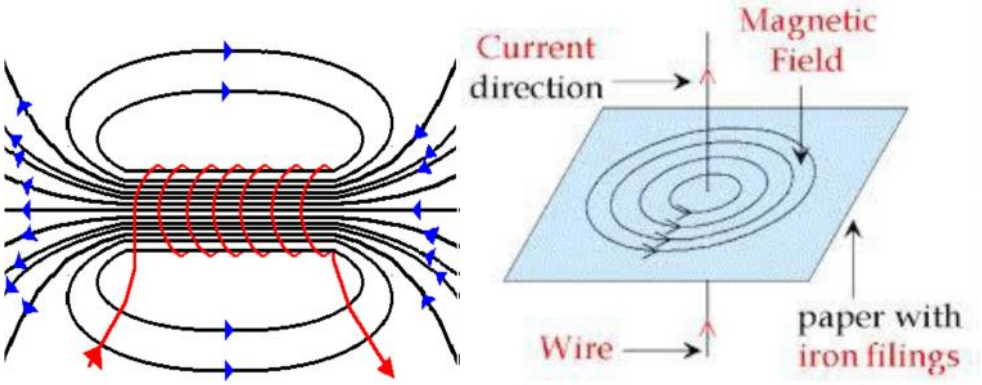
ويمثل منطقة من الفضاء المحيطة بالمغناطيس ويظهر فيها أثره (على مواد معينة)فإذا وضعت إبرة بوصلة في مجال ذو قوة مغناطيسية فإنها توجه نفسها في اتجاه معين في كل جزء من المجال . وتكون الحقول ثلاثية الأبعاد والخطوط المرسومة في اتجاه الإبرة عند النقط المختلفة تحدد الوضع العام للخطوط التي عليها القوة المغناطيسية.

يمكن تمثيل المجال المغناطيسي بخطوط القوة المغناطيسية الشكل **(2.I)** بحيث تكون كثافة الخطوط لكل وحدة مساحة عمودية على اتجاه خطوط القوة وهي مقدار المجال المغناطيسي. و يكون اتجاه المماس لخط القوى عند أية نقطة عليه معطيا اتجاه المجال المغناطيسي $\vec{B}$ عند تلك النقطة .[1]

- التيار الكهربائي المار في سلك قادر على توليد مجال مغناطيسي نتيجة حركة الشحنات.



الشكل (2.I) خطوط المجال المغناطيسي لمغناطيس[4].



الشكل (3.I) خطوط المجال المغناطيس بسلك يمر فيه تيار كهربائي I[4]

4.I. الحث المغناطيسي

يستخدم مصطلح الحث المغناطيسي في التطبيقات الهندسية لشرح المغنطة في المواد المغناطيسية , وحدته هي ويبر /**المتر المربع** . ويرتبط الحث بشدة الحقل المغناطيسي بالعلاقة[4] :

$$B = \mu H \qquad (3.I)$$

μ:النفاذية المغناطيسية .

1.4.I. الحث الذاتي

الحث الذاتي L في المغناطيسية يناظر السعة الكهربائيةِ C ويمكن التعبير عنه بالأبعاد الهندسية فإذا افترضنا ملفا عدد لفاته N **فان** L تعطى بالعلاقة التالية :

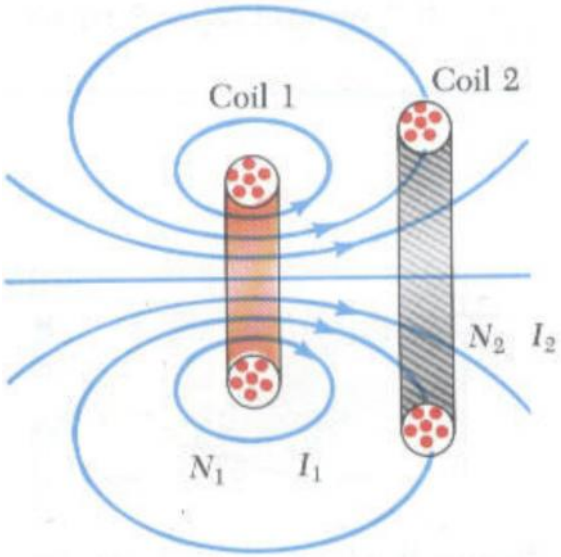
$$L = \frac{N\emptyset_m}{I} \qquad (4.I)$$

$\emptyset_n$:التدفق المغناطيسي .وينشا عليه مجال مغناطيسي يعطى $B = \mu_0 \frac{N}{l} I$.

2.4.I. الحث المتبادل

نتيجة للتغير في التيار الكهربائي في وشيعة يؤدي ذلك إلى تغيير في التدفق المغناطيسي في وشيعة كهربائية مجاورة . مما يولد قوة دافعة كهربائية في تلك الدائرة ويسمى هذا بالتأثير الحثي المتبادل M_{21}.[1]

$$M_{21} \equiv \frac{N_2 \emptyset_{21}}{I_1} \qquad (5.I)$$



الشكل (4.I) التأثير الحثي المتبادل[1]

5.I. العزم المغناطيسي

1.5.I.عزم ثنائي قطب مغناطيسي

في حلقة دائرية نصف قطرها r تحدد سطحا دائريا مساحته (A) يمر فيها تيار شدته (I) بعكس اتجاه دوران عقارب الساعة يتولد من مركز الحلقة وباتجاه الناظم $\vec{n}$ على سطح الحلقة عزم ثنائي القطب مغناطيسي يعطى بالعلاقة :

$$\vec{\mu} = IA \,.\, \vec{n} \qquad (6.I)$$

A : مساحة الحلقة .

فإذا وضعنا تلك الحلقة ضمن حقل مغناطيسي $\vec{B}$ فانها ستخضع لعزم دوران يحاول تدويرها حتى يتطابق محورها مع اتجاه الحقل المغناطيسي (يصبح $\vec{n}$ موازيا لـ $\vec{B}$) [5].

I.2.5. العزم الحركي الكلي للذرة[ ]

I.1.2.5. العزم الحركي المداري

يعرف كالتالي : في ميكانيكا الكم هو المؤثر وترفق له القيم الذاتية

, مسقطه على احد المحاور : $\vec{L}_z \to \frac{h}{2\pi} m_l$

حيث $-l \leq m_l \leq +l$

l : العدد الكمي المداري ويأخذ القيم $l = 0,1,2,3, \ldots \ldots n-1$

n : العدد الكمي الرئيسي

I.2.2.5. العزم الحركي الذاتي

وهو ناتج عن كمية حركة الإلكترون حول نفسه وفي ميكانيكا الكم هو المؤثر $\vec{S}$ الذي قيمه الذاتية تعطى بالشكل: $\vec{S} \to \frac{h}{2\pi}\sqrt{s(s+1)}$ مسقطه: $S_z \to \frac{h}{2\pi} m_s$ بالنسبة للإلكترون $\vec{S}$ يأخذ القيمة $S = \frac{1}{2} \Rightarrow m_s = \pm\frac{1}{2}$

- العزم الحركي الكلي للذرة : وهو عبارة عن مجموع العزمين الحركي المداري والعزم الذاتي المرفقة بالالكترونات:

$$\vec{J} = \vec{L} + \vec{S} \qquad (7.I)$$

مسقطه على احد المحاور : $J_z \to \frac{h}{2\pi} m_j$

m_J : العدد الكمي المغناطيسي ويأخذ القيم $-J \leq m_J \leq +J$

I.3.5. العزم المغناطيسي للذرة

I.1.3.5. العزم المغناطيسي المداري للإلكترون

إن دوران الالكترونات بشكل دائم حول النواة في الذرة يجعلها تتصرف كحلقات للتيار لها عزم ثنائي قطب مغناطيسي .

$$\vec{\mu} = I.A.\vec{i} \qquad (8.I)$$

- قيمة التيار الذي يمثله الإلكترون أثناء حركته المدارية يعطى : $I = -\frac{e}{t}$

لدينا في دورة واحدة للإلكترون يمسح مسافة قدرها :

$$2\pi r = vt \Rightarrow t = \frac{2\pi r}{v}$$

$$I = -\frac{ev}{2\pi r} \qquad (9.I)$$

$$A = \pi r^2 \qquad (10.I)$$

بتعويض (9.I) و(10.I) في (8.I) نجد :

$$\mu = A.I = (\pi r^2)(-\frac{ev}{2\pi r})$$

$$L = mvr \Rightarrow \mu = -\frac{emvr}{2m}$$

$$\Rightarrow \vec{\mu_l} = -\frac{e\vec{L}}{2m} \qquad (11.I)$$

2.3.5.I. العزم المغناطيسي اللف الذاتي $\vec{\mu_s}$

وهو يتناسب مع العزم اللف الذاتي ويعطى بـ :

$$\vec{\mu_s} = -g_s \frac{e}{2m}\vec{S} \qquad (12.I)$$

g_s:ثابت لاندي

3.3.5.I. العزم المغناطيسي الكلي للإلكترون $\vec{\mu_J}$

وهو عبارة عن مجموع العزمين المغناطيسي المركي والذاتي [ ]

$$\vec{\mu_J} = \vec{\mu_s} + \vec{\mu_l} = -\frac{e}{2m}\vec{L} + g_s\frac{e}{2m}\vec{S}$$

$$\mu_J = -g\mu_B m_J \qquad (13.I)$$

g: ثابت لاندي أو الفرق في النسب الجيرومغناطيسية بين العزوم المدارية والعزوم المكونة للعزم المغناطيسي الذري الكلي وتتعين قيمة ثابت لاندي بالعلاقة :

$$g = 1 + \frac{j(j+1)+s(s+1)-l(l+1)}{2j(j+1)} \qquad (14.I)$$

μ_B :مانيطون بور ($\mu_B = \frac{eh}{(2\pi)2m}$)

المقدمـــة

ترجع أهمية المواد المغناطيسية لاستخدامها في جميع الأجهزة الكهربائية القديمة والحديثة، مثل ذاكرة الكمبيوتر والدوائر المنطقية التي تعتمد على مفاتيح الفتح والفصل المغناطيسية .ولهذا أصبح من الأهمية دراسة خواص المواد المغناطيسية من الناحية التجريبية والنظرية ، سنتناول في هذا الفصل أهم الخواص المغناطيسية التي تميز المواد و سنركز على الأجسام الصلبة و سنتطرق بالتفصيل إلى كيفية نشأتها، أهم أنواعها و خصائصها و سيكون في نهاية هذا الفصل بعض التطبيقات التي تشمل الخواص المغناطيسية**[7]**. وهذا الموضوع المهم لن يتسع هذا الباب لاستعراضه بالتفصيل ولذا سنتعرض له بصورة مبسطة**[2]**.

يمكن تصنيف حالة المواد المغناطيسية إلى الحالات الرئيسية التالية:

1- بارامغناطيسية
2- دايامغناطيسية
3- فيرومغناطيسية
4- فيريمغناطيسية
5- مواد مضادة للفيرومغناطيسية

وفي تصنيف حالة المواد من ناحية خواصها المغناطيسية نود أن نوضح أن النظرية التقليدية تنسب المجالات المغناطيسية للمواد إلى حركة شحناتها الكهربائية. بالمقياس الذري، فإن الذرات المنفصلة ينشأ عنها مجالات مغناطيسية حينما تمتلك إلكتروناتها عزماً مغناطيسياً μ ، يسمى عزما ثنائي القطب، ناتج من كمية حركتها الدورانية μ_l أو المغزلية μ_s أو الاثنين معاً $(\mu = \mu_l + \mu_s)$. والعزوم المغناطيسية الناتجة عن الحركتين المدارية والمغزلية للإلكترونات يلغي بعضها بعضاً في أغلب الذرات. وإذا لم يكن التلاشي في العزوم تاماً فإن المادة عندئذ تُسمى بارامغناطيسية.

وسوف نتعامل هنا ونفسر الظواهر المرتبطة بالمواد البارامغناطيسية فقط، مثل الألمونيوم والتيتانيوم، وهي المواد التي تنجذب للمناطق القوية في المجال المغناطيسي. ونبدأ هنا ببعض التعريفات التي دائماً ما نجدها عندما نتعامل مع المواد المغناطيسية**[7]**.

1.I. التمغنط

ويعرف بأنه العزم المغناطيسي لوحدة الحجوم من المادة **الممغنطة عند نقطة ما. فإذا وجد عدد** $n = \frac{N}{V}$ من الذرات لوحدة الحجوم تمتلك كل منهاعزماً ثنائياً مغناطيسياً μ باتجاه ما، فإن:

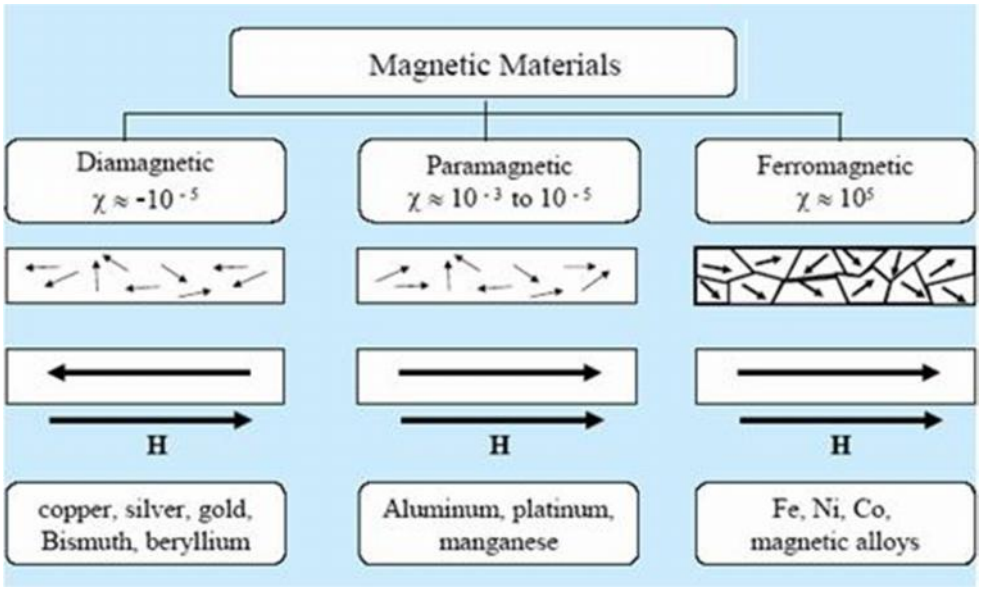
$$M = n \cdot \mu \qquad (1.\text{II})$$

وعادةً تُ الخواص المغناطيسية للمادة بمدى تأثرها بالمجال المغناطيسي الخارجي وتُسمى هذه الخاصية بالقابلية المغناطيسية لوحدة الحجوم وتعريفها هو:

$$x = \frac{M}{H} \qquad (2.\,II)$$

حيث H هو الشدة المغناطيسية الخارجية. وقد وجد عند درجات الحرارة المرتفعة أن $\chi \propto \frac{1}{T}$ **حيث** T **هي** درجات الحرارة المطلقة وتعرف هذه العلاقة بقانون كيري.

الشكل(1.II) يظهر ثلاثة أنواع من المواد المغناطيسية المهمة وخواصها ومدى تأثرها بالمجال المغناطيسي الخارجي**[4]**.



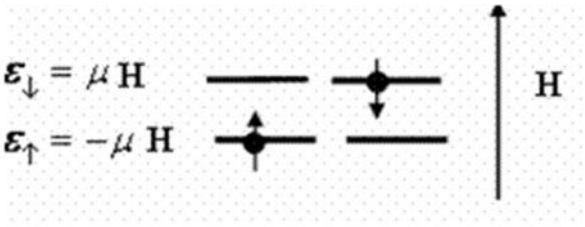
الشكل (II.1):ملخص للصفات المغناطيسية لبعض المواد[4].

2.I. الوصف النوعي للتمغنط

عند التأثير بمجال مغناطيسي خارجي H ، كما بالشكل (2.II)، على الذرات ذات العزم المغناطيسي ثنائي القطب μ (μ موجب) فإن العزوم المغناطيسية μ تترتب إما موازية لاتجاه المجال $\mu_\uparrow$،ولها الطاقة المغناطيسية $\varepsilon_\uparrow = \mu_\uparrow \cdot H = -\mu \cdot H$ أو عكس اتجاه المجال $\mu_\downarrow$، ولها الطاقة المغناطيسية **[2]**

$$\varepsilon_\downarrow = \mu_\downarrow \cdot H = \mu \cdot H$$

.



الشكل (2.II):تأثير الحقل المغناطيسي على العزم المغناطيسي للذرة[2].

ويمكن تلخيص ذلك بالجدول التالي:

المستوى	الشرط	الطاقة المغناطيسية	احتمالية التوزيع
$(\uparrow)$	$\mu\uparrow H\uparrow$	$\varepsilon_{\uparrow} = -\mu H$	$P_{\uparrow} = Ce^{\beta\mu H}$
$(\downarrow)$	$\mu\downarrow H\uparrow$	$\varepsilon_{\downarrow} = \mu H$	$P_{\downarrow} = Ce^{-\beta\mu H}$

حيث يوضح الجدول وضع مستوى ثنائي القطب بالنسبة للمجال الخارجي، وطاقة المستوى واحتمالية وجود ثنائي القطب بالمستويات باستخدام توزيع ماكسويل- بولتزمان التقليدي. ونستطيع أن نلخص الجدول السابق كالتالي:

1- $\varepsilon_{\uparrow}$ هي طاقة المستوى الأدنى التي يكون فيها احتمال وجود الذرات هو المفضل.

2- $\varepsilon_{\downarrow}$ هي طاقة المستوى الأعلى التي يكون فيها احتمال وجود الذرات هو الأقل تفضيلاً.

3.I. الوصف الكمي للتمغنط

ولحساب الصفات المغناطيسية للمواد دعونا نعرف النسبة η بالصيغة التالية:

$$\eta = \beta\mu H = \frac{\mu H}{k_B T} = \frac{\text{magnetic energy}}{\text{thermal energy}} = \frac{\text{طاقـــة مغناطيســـية}}{\text{طاقـــة حراريـــة}}$$

η هي نسبة عديمة الوحدات حيث إنها تقيس النسبة بين طاقتين: الأولى هي الطاقة المغناطيسية (μH) المسئولة عن محاذاة العزم المغناطيسي مع المجال الخارجي، والثانية هي الطاقة الحرارية $(k_B T)$ المسئولة عن توجيه العزم المفرد بشكل عشوائي[5].

وكدالة في النسبة η نستطيع أن نحسب القيمة المتوسطة للعزم المغناطيسي $(\bar{\mu}_H)$ الناتج من المجال الخارجي بواسطة المعادلة:

$$\bar{\mu}_H = \frac{\mu_\uparrow P_\uparrow + \mu_\downarrow P_\downarrow}{P_\downarrow + P_\uparrow} = \frac{\mu P_\uparrow + (-\mu) P_\downarrow}{P_\downarrow + P_\uparrow}$$

$$= \mu \frac{e^{\eta} - e^{-\eta}}{e^{\eta} + e^{-\eta}}$$

$$= \mu \tanh \eta = \mu \times \begin{cases} \eta & \text{for } \eta << 1 \\ 1 & \text{for } \eta >> 1 \end{cases}$$

بالتالي فإن القيمة المتوسطة للتمغنط $\overline{M}$ باتجاه H هي:

$$\overline{M} = n\bar{\mu}_H = \begin{cases} n\mu\eta = \chi H & \text{for } \eta << 1 \\ n\mu & \text{for } \eta >> 1 \end{cases}$$

حيث الرمز $n = \frac{N}{V}$ يدل على عدد العزوم المغناطيسية لوحدة الحجم

4.I. تمغنط الإشباع[5]

إذا عرضت مادة حديدية مغناطيسية غير ممغنطة لمجال مغناطيسي H فإن الحث المغناطيسي Bالناتج عنها يزداد على شكل حرف S تقريبا، إلى أن تصل قيمة الحث المغناطيسي إلى مرحلة التشبع، التي تسمى بالحث المشبع (أي الزيادة في شدة المجال المغناطيسي Hبعد هذه النقطة لا يغير في قيمة الحث المغناطيسي إلا بقدر ضئيل)، بحيث تتوقف في هذه الحالة شدة التمغنط Mعن الزيادة.

ولستنادا إلى العلاقة (3.II): $B = \mu_0(H + M)$

لقد استطاع العالم الروسي "ستوليتوف" عام 1872م من دراسة تبعية تمغنط الحديد للمجالات المغناطيسية الخارجية، وتوصل إلى أن هذه التبعية تعطى وفق المنحنى الممثل في الشكل (3.II)، فمن أجل الحقول المغناطيسية الضعيفة تزداد قيمة Mبسرعة نتيجة لتزايد Hومن ثم تتباطئ إلى أن تتناهى إلى قيمة حدية MSتسمى حد الإشباع، حيث تكون جميع المغانط العنصرية (العزوم المغناطيسية) متجهة في جهة الحقل الخارجي H.

يوضح الشكل(3.II) منحنيات التمغنط B(H) لمواد مختلفة حيث تمثل كل من:

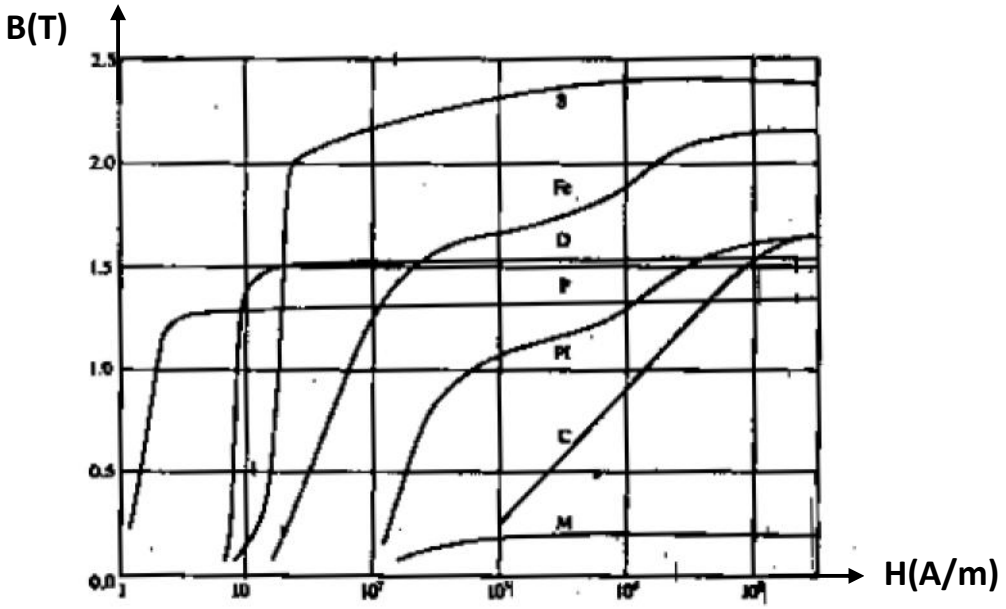
S: Supermendur.

Fe: حديد نقي ملدن.

D: معدن دلتا (Deltamax).

P: سبيكة عالية الإنفاذية(Permalloy).

PI: حديد مسحوق.



الشكل (II.3): منحنيات التمغنط B(H) لمواد مختلفة

C: حديد الزهر الرمادي،

M: سبيكة نيكل.

I.5. القابلية والنفاذية المغناطيسية

I.5.1. القابلية المغناطيسية

تعرف القابلية المغناطيسيةبأنها نسبة العزم المغناطيسي في وحدة الحجوم على شدة الحقل المغناطيسي .و هو مقدار لا أبعاد له ، تعبر قيمتها بشكل أساسي عن مقدار المغناطيسية التي تحملها المادة ، وعلى أساسها تصنف إلى مواد فيرومغناطيسية او بارا مغناطيسية او ديامغناطيسية و غيرها [4].

$$x = \frac{M}{H} \qquad (4.\text{II})$$

M:المغنطة .

H:شدة الحقل المغناطيسي .

I.2.5. النفاذية المغناطيسية

يعرف معامل النفاذ المغناطيسي لمادة ما بأنه النسبة بين عدد خطوط القوى التي تمر عمودية على وحدة المساحات المحيطة بهذه المادة ويرمز لها بالرمز μ. وحدتها الهنري لكل متر (Henry/m).وتعبر النفاذية على مدى السماحية المادة لمرور خطوط القوى المغناطيسية . وتعطى :

$$« = \frac{B}{H} \qquad (5.II)$$

B:حث المجال المغناطيسي.

H:شدة المجال المغناطيسي

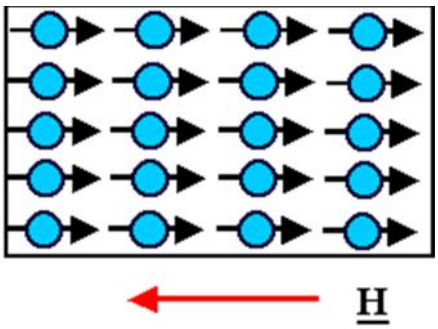
ونستعمل النفاذية في الفراغ كمرجع وقيمتها $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \frac{Hz}{m}$ ونسمي النسبة بين نفاذية مادة ما ونفاذيةالفراغ بالنفاذية النسبية لهذه المادة ويرمز لها بالرمز μ_r [4]:

$$«_r = \frac{«}{«_0} \qquad (6.II)$$

II.تصنيف حالة المواد المغناطيسية

1.IIالمواد الديامغناطيسية

تسمى هذه المغناطيسية بالمعاكسة و ذلك لأن المواد التي تتمتع بهذه الخاصة تتمغنط بصورة معاكسة لاتجاه الحقل المغناطيسي المطبق ، تكون الطواعية في هذه الأوساط سالبة و صغيرة جداً أي أنها من رتبة (10^{-5})، و لا تتعلق لا بدرجة حرارة الجسم و لا بحالته الفيزيائية إلا قليلاً جداً ، ويزول هذا التمغنط بزوال الحقل المغناطيسي الخارجي المطبق .لا تمتلك الذرات التي تتمتع بهذه المغناطيسية أية عزوم مغناطيسية ، ويكون الحقل المغناطيسي الخارجي و الطواعية المغناطيسية متناسبين خطياً مع بعضهما البعض و لكن بالاتجاه السالب لأن الطواعية تمتلك قيمة سالبة



الشكل (4.II): الظاهرة الدايامغناطيسية في الذرات[1]

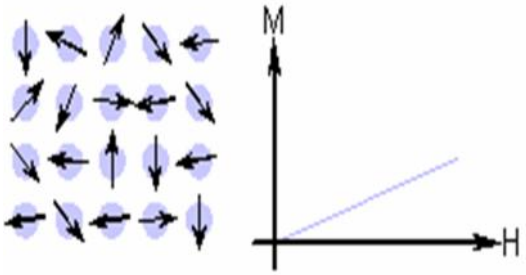
إن منشأ هذه المغناطيسية هو الحركة الدورانية للإلكترونات حول نواها . تظهر الطواعية المغناطيسية العكسية بوضوح في الأجسام الصلبة التي تكون فيها الطبقات الإلكترونية ممتلئة مثل بلورات الغازات النادرة و البلورات الأيونية .

2.II. المواد البارا مغناطيسية

المواد التي تتصف بالمغناطيسية الطردية (المسايرة) ، تتمتع بطواعية مغناطيسية صغيرة و موجبة . تتجه العزوم المغناطيسية للذرات في هذه المواد باتجاهات عشوائية ، حيث الهياج الحراري يعرقل توجيه العزوم المغناطيسية للذرات باتجاه الحقل المغناطيسي الخارجي المطبق، الذي يسبب اكتساب مثل هذه المواد تمغنطاً يجعل الطواعية في الأوساط التي تتمتع بمثل هذه المغناطيسية تتناقص مع ارتفاع درجة الحرارة ،و تدل التجربة أن بينها و بين درجة الحرارة المطلقة (T) علاقة يعبر عنها بما يسمى قانون كيري:

$$\chi \sim {}^{1}/_{T} \qquad (7.II)$$

ولكن لوحظ أنه في درجات الحرارة العادية أي حوالي (KT=300) كلفن يكون تمغنط المواد التي تتمتع بهذه المغناطيسية ضعيفاً .تتمتع هذه المواد أيضاً بخاصية الإشباع ، أي أن التمغنط يبلغ من أجل حقل مغناطيسي خارجي شديد قيمة حدية بحيث أي زيادة في الحقل المغناطيسي الخارجي عندها لن يؤدي إلا إلى نمو المغناطيسية الطردية في الذرات ،ويبلغ التمغنط حد الإشباع ضمن حقول مغناطيسية شديدة و درجات حرارة مطلقة منخفضة .



الشكل (5.II): التوضع العشوائي للعزوم في مادة بارامغناطيسية[1]

الشكل (5.II) يبين التوضع العشوائي للعزوم في مادة بارامغناطيسية,والعلاقة الخطية بين المغنطة وشدة الحقل . عند تصل مادة فيرومغناطيسية الى درجة حرارة $T>Tc$ فان المادة تفقد تمغنطها المتبقي وتصبح بارامغناطيسية فعندها الاضطراب الحراري كبير بما يكفي للتسبب في عشوائية العزوم .

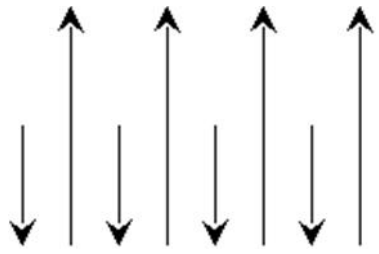
3.II. المواد الفيرومغناطيسية(المغناطيسية الحديدية)[7]

تعرف أيضا باسم المواد ذات النفاذية المغناطيسية العالية، أو المواد عالية المغناطيسية حيث تحتفظ بمغناطيسيتها حتى بعد إزالة المجال الخارجي المؤثر، على عكس كل من المواد الدايامغناطيسية والمواد

البارامغناطيسية اللتان تفقدان مغناطيسيتهما بمجرد إزالة المجال المغناطيسي المؤثر، وهذه المواد ذات هندسية كبيرة حيث تتميز بانجذابها للمغناطيسيات الدائمة، وتعد هذه الخاصية من أهم الطرق المعروفة للكشف عن المواد ذات المغناطيسية الحديدية ونجد من أمثلة هذه المواد: الحديد (Fe)، النيكل (Ni) **الكوبالت** (Co)، والديسبروزيوم(dy)، البولونيوم والجدلينيوم (Gd) وهذا الأخير هو أحد العناصر الأرضية النادرة، ويتمتع بالمغناطيسية الحديدية عند درجة حرارة أقل من17°م إلا أن استخداماته الصناعية قليلة وتطبيقاته العلمية محدودة، ونجد كذلك سبائك هذه المواد منها NiFe **و** FeCo **و**NiCo وتحتوي هذه **المواد على عزوم** مغناطيسية ذرية التي تميل إلى الاصطفاف بشكل مواز لبعضها البعض في وجود مجال مغناطيسي ضعيف، فإن هذه المادة تبقى ممغنطة بعد إزالة المجال الخارجي وهذا بسبب **الازدواج** القوي بين العزوم المتجاورة الذي يمكن فهمه فقط بعناصر الميكانيك الكمي، كما أنها تتميز بقابلية مغناطيسية عالية جدا $\chi_{\mathrm{m}} \gg 1$ **وقد تصل إلى نحو** 10^6، كونها تعتمد على مقدار المجال الممغنط وليست مقدارا ثابتا كما هو الحال في المواد الديامغناطيسية والمواد البارامغناطيسية، هناك نقطة مهمة يجب أن نذكرها وهي أن المواد ذات المغناطيسية الحديدية يكون مقدار شدة المغنطة الناتجة عنها تساوي M» و هي في غالب الأحوال أكبر بكثير من شدة المجال المؤثر H_0» وهكذا يمكن التعبير عن العلاقة بصورة تقريبية بالمعادلة: $B \approx M_0$. لهذا يستخدم مع المواد ذات المغناطيسية الحديدية الحث المغناطيسي B بينما المواد الأخرى نستخدم قيمة المغنطة M.

4.II المواد الفيريمغناطيسية[2]

هي خاصية تميز المواد السيراميكية وتكون عزوم ثنائيات الأقطاب المغناطيسية لعدد من الأيونات فيها مختلفة القيمة بسبب الفرق في عدد وطبيعة الذرات المكونة للشبكة مما يؤدي إلى ظهور فرق محدد في العزوم المغناطيسية لهذه المواد كما هو موضح في الشكل (6.II).



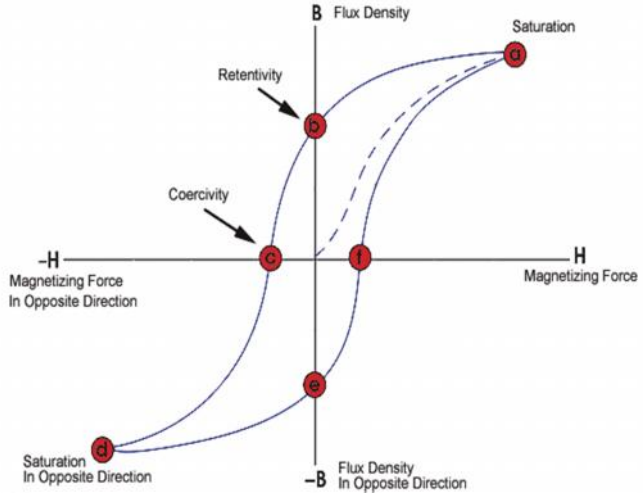
الشكل (6.II): تراصف ثنائيات الأقطاب للمواد الفيريمغناطيسية[2]

هذا الاختلاف الذي يؤدي بدوره إلى شدة تمغنط تلقائية مناسبة للبلورة، ومثل هذه المواد نجد الماغنتيت الذي ينتمي إلى مجموعة الفريتات(ferrites) حيث عرفه القدماء باسم الحجر المغناطيسي وتتميز هذه المواد بمعامل توصيل كهربائي منخفض، مما يساعد ذلك في إستخدامها في التطبيقات الإلكترونية.

السلوك الخارجي للمواد الفيريمغناطيسية يشبه سلوك المواد الفيرومغناطيسية، لكن بسبب الاختلاف الداخلي يمكن أن تختلف علاقة درجة الحرارة بشدات التمغنط التلقائية لها، على سبيل المثال ليس من الضروري أن تتناقص شدة التمغنط للمادة الفيريمغناطيسية تناقصا رتيبا مع الإرتفاع في درجة الحرارة إذ من الممكن أن تمر من الصفر حتى قبل الوصول إلى نقطة نيل للمادة الفيريمغناطيسيةفأيونات الأكسجين السالبة تكون شبكة مكعبة متمركزة الأوجه يوجد بها أيون واحد ثنائي التكافؤ Fe_2O_3وترجع شدة التمغنط إلى العزوم المغناطيسية لأيونات الفلز الثنائية التكافؤ، ومن خواص هذه المواد إتحاد معاملاتها المغناطيسية المتميزة (النفاذية مغناطيسية عالية، قوة قهرية صغيرة، مغناطيسية تشبع عالية...) كما أنها تتميز بمقاومة نوعية كهربائية عالية من رتبة $10^3 \Omega.m$، وهذه الخاصية أدت إلى تطوير الترددات العالية في مجال الإلكترونيات وهذا السبب يجعل من مركبات الفريت تمتلك موقعا متميزا في هذا المجال وفي الفترة الأخيرة أمكن تحضير مركبات الفريت ذات قوة قهرية كبيرة وهي تستخدم في بناء المغناطيسيات الدائمة.

II .5. دورة البطاء (التخلفية المغناطيسية)[7]

إن ظاهرة التخلفية المغناطيسي لا تحدث إلا في الأوساط الحديدية الممغنطة فقط ، ومن نتائجها أن التمغنط لا ينعدم بانعدام الحقل الخارجي المطبق ، ولكنه يحتفظ بتمغنط متبق .



الشكل (7.II):مخطط الدورة التخلفية[7]

تشرح دورة التخلفية العلاقة بين شدة الحقل المغناطيسي (H) و بين حقل التحريض المغناطيسي (B) و تسمى هذه الدورة أحياناً : دورة B-H . استطعنا استنتاج شكل منحني دورة التخلفية عن طريق قياس حقل التحريض المغناطيسي لمادة مغناطيسية بدلالة شدة الحقل المغناطيسي المطبق .

يبدأ منحني هذه الدورة بزيادة شدة الحقل المغناطيسي المطبق الذي يؤدي بدوره إلى زيادة في حقل التحريض المغناطيسي إلى أن يصل المنحني إلى النقطة (a) ، إن أي زيادة في شدة الحقل المغناطيسي المطبق عند هذه النقطة لن يؤدي إلا إلى تغيرات طفيفة في حقل التحريض المغناطيسي ، نقول عندها أن المادة وصلت إلى نقطة

الإشباع المغناطيسية. عندما ننقص من شدة الحقل المغناطيسي المطبق إلى أن يصل إلى الصفر فإن المنحني سينتقل من النقطة (a) إلى النقطة (b) ، نلاحظ عند هذه النقطة أن هناك قيمة لحقل التحريض المغناطيسي بالرغم من انعدام الحقل المغناطيسي الخارجي المطبق ، نقول عندها أن المادة تمتلك تمغنط متبقي عندما تنعكس جهة الحقل المغناطيسي المطبق فإن المنحني ينتقل من النقطة (b)إلى النقطة (c) عندها يكون حقل التحريض المغناطيسي معدوماً و يسمى الحقل المغناطيسي المطبق في هذه الحالة بالحقل القاهر.

أما عند زيادة شدة الحقل المغناطيسي المطبق في الاتجاه المعاكس(السالب) تعود المادة مرة أخرى إلى نقطة الإشباع المغناطيسية المناظرة للأولى إي عند النقطة (d) . بإنقاص شدة الحقل المغناطيسي المطبق إلى أن يصل إلى الصفر يتجه المنحني إلى النقطة (e) حيث تمتلك المادة عندها تمغنط متبقٍ مساوٍ إلى التمغنط الذي حصلت عليه في الاتجاه المعاكس ،و بزيادة شدة الحقل المغناطيسي المطبق في الاتجاه الموجب هذه المرة يصل حقل التحريض المغناطيسي إلى قيمته المعدومة عند النقطة (f) ليعود إلى نقطة الإشباع المغناطيسية فينغلق عندها منحني التمغنط و يشكل ما يسمى : دورة التخلف المغناطيسي .

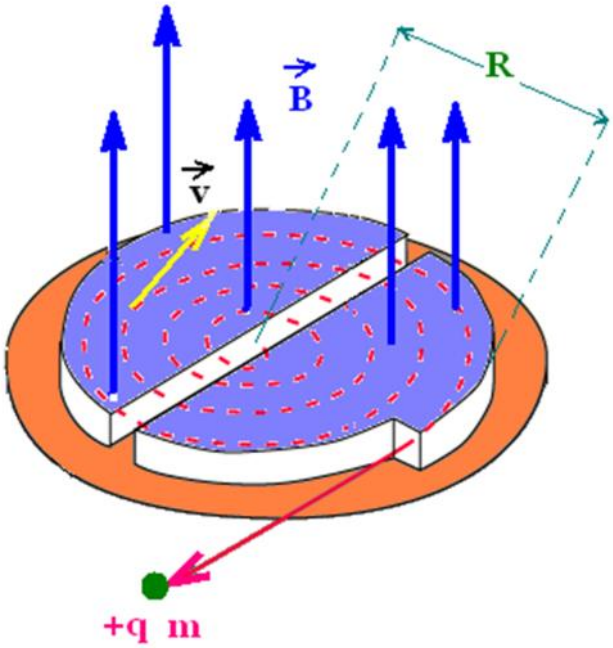
III. تطبيقات على بعض الظواهر المغناطيسية[5]

1.III. السيكلترون

من التطبيقات المثيرة للاهتمام هو استعمال الجسيمات المشحونة كالأيونات أو البروتونات او الإلكترونات ذات الطاقات العالية للتعرف على بعض التفاصيل الداخلية لتركيب النواة عن طريق قذفها بهذه الجسيمات . وقد أثار هذا الموضوع اهتمام علماء ثلاثينيات القرن العشرين ,حيث كان من الأعمدة البحثية الفعالة في مجال الدخول الى عالم الذرة.

في عام 1930 تمكن الفيزيائي الأمريكي لورنس من تصميم جهاز سمي بالسيكلوترون تم صنعه في جامعة كاليفورنيا , تستعمل فيه القوة المغناطيسية للتحكم بمسار حركة الجسيمات المشحونة المتأثرة بالمجال المغناطيسي المسلط والحصول على طاقات عالية لهذه الجسيمات , يبين الشكل (8.II) رسما تخطيطيا لهذا الجهاز تظهر فيه الاجزاء الاساسية للسيكلوترون , حيث يتكون قلب الجهاز من زوج من الحجر المعدنية تفصلهما فسحة مفرغة من الهواء. ويسلط على الحجرتين وبشكل عمودي مجال مغناطيسي منتظم ينتج عن قطبين مغناطيسيين . تربط الحجرتان الى مصدر فرق جهد متناوب عالي التردد يصل الى عدة ملايين ذبذبة في الثانية وبهذا تحصل الحجرتان على شحنات سالبة وموجبة بشكل متناوب . تنبعث الجسيمات المشحونة (البروتونات) من مركز الفسحة بين الحجرتين.وتعطى السرع بالعلاقة:

$$v = \frac{qB}{m}R \qquad (7.\text{II})$$



الشكل (8.II): يوضح رسم تخطيطي للسيكلترون[1]

2.III. قياس قابلية المغناطيسية للسوائل باستخدام طريقة كوينك[8]

إذا وضعت مادة داخل مجال مغناطيسي خارجي ينشأ بداخلها عزم مغناطيسي تتعلق قيمته شدة التمغنط بنوع المادة وشدة المجال المغناطيسي المؤثر ودرجة الحرارة وبالتعريف القابلية المغناطيسية هي نسبة التمغنط I (العزم المغناطيسي في وحدة الحجم) إلى شدة الحقل المغناطيسي :

$$i = \frac{I}{H} \qquad (8.II)$$

لدراسة القابلية المغناطيسية للسوائل أو محاليل نستخدم طريقة كوينك , وتعطي القابلية الحجمية بالعلاقة التالية:

$$i = i_a + 2g(p - pa).\frac{h}{(H^2 - H_0^2)} \qquad (II.9)$$

حيث :

χ_a : قابلية تمغنط الهواء., P: **كثافة السائل** .p_a: كثافة الهواء.

H: **الحقل المغناطيسي** عند سطح السائل الذي بين قطبي المغناطيس.

H_0: **الحقل المغناطيسي** عند سطح البعيد عن المغناطيس.

h: الفرق بين مستوي السائل في الجهتين.

عمليا H_0، p_a و χ_a صغيرة جدا، يمكن إهمالها وتصبح العلاقة (9.II) **كالتالي:**

$$i = \frac{2pgh}{H^2} \qquad (10.II)$$

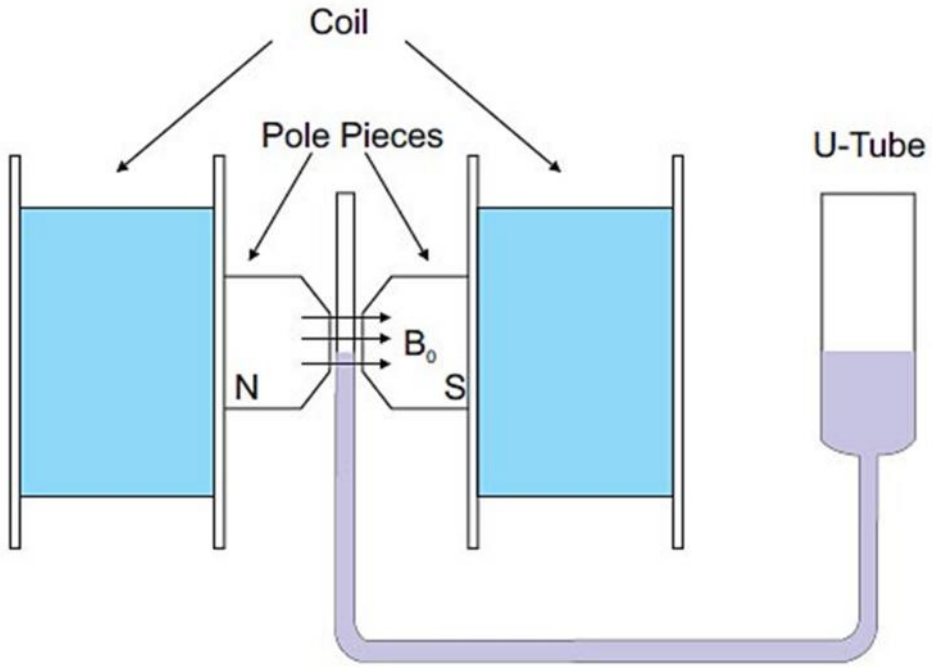
من خلال هذه العلاقة يمكن وبرسم منحني تغير h بدلالة H^2 تعيين القابلية الحجمية χ .

1.2.III. وصف تجربة كونيك

تستعمل طريقة كونيك لقياس المغناطيسية لمحلول أو سائل.يوضع المحلول في أنبوب على شكل حرفU **إحدى** جهتيه عرضية والأخرى ضيقة (شكل(9.II)) توضع الجهة الضيقة من الأنبوب داخل مغناطيس كهربائي أما الجهة العريضة تكون بعيدة عن المجال المغناطيسي .

في غياب الحقل المغناطيسي يتساوي مستوي السائل في جهتي الأنبوب, وعند تطبيق الحقل تنشأ قوة مغناطيسية تؤثر على سائل فيتحرك في الأنبوب الضيق إما صعودا (إذا كانت المادة بارا مغناطيسية) أو نزولا (إذا كانت ديامغناطيسية).

بما أن قطر الأنبوب العريض كبير يمكننا اعتبار أن مستوي السائل فيه يبقي ثابتا وبتالي يكفي حساب الفرق بين مستوي السائل في جهة الضيقة (قبل وبعد تطبيق الحقل) لإيجاد القابلية المغناطيسية للمحلول.



الشكل (9.II): يبين التركيب التجريبي لطريقة كونيك[8]

Coil : وشيعة

Pole Pieces : قطبي المغناطيس الكهربائي

U-Tube :انبوب على**شكل** حرف U

الخاتمة

إن دراسة الخواص المغناطيسية للمواد تعد محاولة ذات أهمية بالغة في معرفة تركيب المواد الصلبة المعدنية و غير المعدنية و لكن في حالات كثيرة لا توجد نظرية متكاملة تساعد في تفسير سلوك بعض الخواص المغناطيسية و ذلك لصعوبة المتطلبات الرياضية لتلك النظرية و كذلك صعوبة إجراء تجارب علمية دقيقة ذات نتائج مقبولة ، حاولنا في هذه المذكرة تسليط الضوء حول المغناطيسية و مفهومها و معرفة كل الخواص الأساسية و حول هذا الأخير في الفصل الأول ، أما في الفصل الثاني كنا قد تطرقنا غلى دراسة أهم التصنيفات الخاصة للمواد المغناطيسية و الاطلاع على مميزاتها و في الأخير تناولنا بعض التطبيقات حول بعض الظواهر المغناطيسية .

قائمة المراجع

كـــتـب

[2] غازي ياسين القيسي، الكهربائية والمغناطيسية، دار الميسرة للنشر والتوزيع.

[3] ادهم السمان، الكهرومغناطيسية.

[4]الدوائر الكهربائية، للمؤسسة العامة للتعليم الفني والتدريب المهني (المملكة العربية السعودية)

[5] عبد الوهاب القعقع، المواد الكهربائية، (الفصل الرابع)،جامعة حلب كلية الهندسة الكهربائية

مذكرة

[7] مصبح عميرة، المغناطيسية والكهربائية، مذكرة موجه فني، 2005-2006

تقارير علمية

[8] د.زروال صورية عمل تطبيقي في مقياس فيزياء 11، كلية العلوم والتكنولوجيا بجامعة الوادى، 2013-2014.

محاضرات

[6] قـدة الحبيب، محاضرات، سنة ثالثة فيزياء إشعاع والطاقة، كلية العلوم والتكنولوجيا لجامعة الوادي، 2014

مواقع الانترنت

[1] www.aacg.bham.ac.uk/magnetic_materials

الملخص :

جميع المواد تبدي تأثيرا مغناطيسيا، ولكن في الكثير منها يكون هذا التأثير ضعيفا للغاية بحيث يمكن اعتبارها مواد لا مغناطيسية، **إلا أن** الفراغ هو الوسط اللامغناطيسي الوحيد.

عامة يمكن تصنيف المواد حسب خواصها المغناطيسية الى ثلاثة انواع :مواد فيرو مغناطيسية - **مواد** بارا مغناطيسية ـ مواد ديامغناطيسية.

عند اضافة العزوم المدارية والمغناطيسية يمكن **أن** تتكافئ تماما وعندئذ ينعدم العزم الذري الكلي و. واذا لم يتم التكافؤ سيكون للذرة عزم مغناطيسي دائم . وتبعا لذلك تختلف الخصائص المغناطيسية **للأجسام** . **فالمواد** التي لا يكون لذراتها عزوم مغناطيسية دائمة هي المواد الديامغناطيسية والمواد التي يكون لذراتها عزوم مغناطيسية دائمة **إما أن** تكون مواد بارامغناطيسية او فيرومغناطيسية . **فإذا كان** التأثير المتبادل بين العزوم المغناطيسية الذرية منعدما **أو** ضعيفا ستكون المادة بارامغناطيسية واذا كانت العزوم المغناطيسية المتجاورة تميل **إلى أن** تصف بعضها لتصبح متوازنة ذات اتجاه واحد تكون المادة فيرومغناطيسية.

الكلمات المفتاحية :

عزم مغناطيسي، فيرومغناطيسية، ديامغناطيسية، بارمغناطيسية،قابلية مغناطيسية، المغنطة

Résume

Tous les matériaux montrant l'effet magnétique, mais dans un grand nombre d'entre eux ont cet effet est très faible de sorte qu'il peut être considéré comme des matériaux non magnétiques, mais le vide est le seul centre non magnétique.

Les matériaux peuvent être classées en fonction de leurs propriétés magnétiques en trois types: matériaux Ferro - magnétiques , Para - magnétiques et diamagnétique.

En y ajoutant les moments magnétiques orbitaux peut complètement équivalants dans ce cas le moments atomique totales est nulles . S'il n'y a pas de équivalant l'atome sera un moment magnétique permanent.par conséquence, les propriétés magnétiques des différents objets.

Les matériaux qui n'ont pas les moments magnétiques permanents d'atomes sont des matériaux diamagnétique, et les matériaux qui ont un moments magnétiques permanents d'atomes sont paramagnétique ou ferromagnétique. Si l'influence mutuelle entre les moments magnétiques est inexistante ou faible les matériaux sont paramagnétique, Si les moments magnétiques voisins on parallèles le matériau sera ferromagnétique.

Mots clés :

Moment magnétique, ferromagnétisme, diamagnétisme, paramagnétisme, successibilité magnétique, magnétisation.