الباب الرابع عشر
الخواص المغناطيسية للجوامد

ترتبط الخواص المغناطيسية للمواد بالحركة المدارية والمغزلية للإلكترونات فى ذراتها . وتقاس عادة هذه الخاصة المغناطيسية بالقابلية المغناطيسية magnetic susceptibility لوحدة الحجوم من المادة X وتعريفها هو :

$$\chi = M / H$$

حيث M هو العزم المغناطيسى لوحدة الحجوم << magnetization >> و H هو الشدة المغناطيسية .

المواد أنواع :

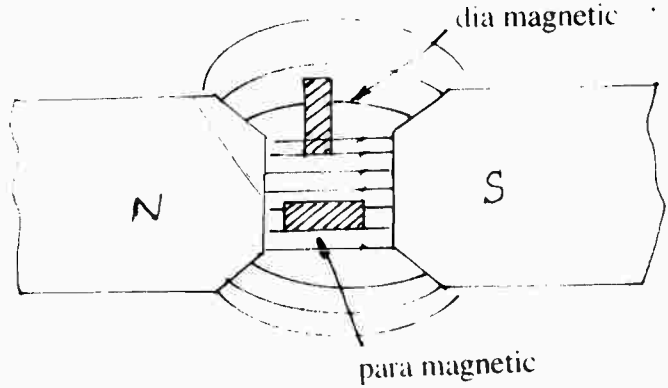
(أ) مواد ديا مغناطيسية : Dia magnetic

ويكون لها قابلية مغناطيسية سالبة ، أى أنها تتنافر مع الأجزاء القوية من المجال المغناطيسى إذا وضعت فيه ، شكل (١٤ - ١) .

(ب) مواد بارا مغناطيسية : Para magnetic

وهى التى تنجذب للمناطق القوية فى المجال المغناطيسى وقابليتها موجبة .

وإذا كانت القابلية المغناطيسية لهذه المواد كبيرة جدا سميت بالمواد الفيرو مغناطيسية Ferro - magnetic .



شكل (١٤ - ١)

إذا وضعنا مادة ما فى مجال مغناطيسى فإنها تنجذب أو تتنافر معه بقوة تتناسب مع شدة المجال ، وكذلك مع معدل تغير المجال مع المسافة $\frac{dH}{dx}$. أى أن .

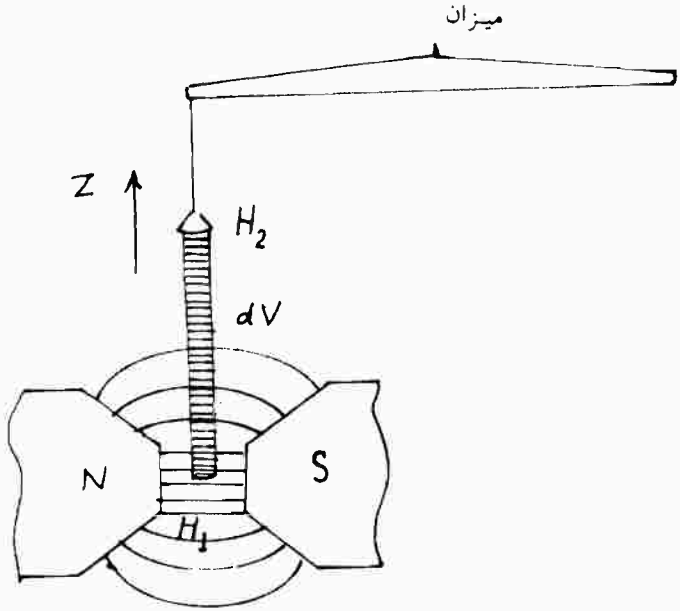
$$F = \chi \cdot V \cdot H \cdot \frac{dH}{dx}$$

حيث V هو حجم المادة وتعطى القابلية المغناطيسية χ مقياسا للتغير فى العزم المغناطيسى للذرات بعد التأثير بالمجال H

قياس القابلية المغناطيسية :

طريقة جوى Gouy method

توضع المادة على شكل أسطوانة رفيعة بين طرفى مغنطيس قوى يكون المجال فيه غير منتظم . وتقاسي القوة المؤثرة على المادة (سواء كانت جاذبة



شكل (١٤ - ٢)

كما فى حالات المواد البارا مغنطيسية أو نافرة كما فى حالات المواد الديا مغنطيسية) بواسطة ميزان حساس ، شكل (١٤ -٢)

القوة فى الاتجاه الرأسى والمؤثرة على حجم صغير dV هى

$$dF_z = \chi H \frac{dH}{dz} . dV$$

$$= 1/2\ \chi \frac{dH^2}{dz}\ dx\ dy\ dz$$

$$\therefore dF_z = 1/2\ \chi \frac{dH^2}{dz}\ dx\ dy\ dz$$

وتكون القوة الكلية المؤثرة على الجسم هى :

$$F_z = 1/2\ \chi \int_1^2 \frac{d}{dz} H^2\ dx\ dy\ dz$$

$$= 1/2\ \chi A (H_1^2 - H_2^2)$$

حيث A هو مساحة مقطع المادة (dx dy) و H_1 ، H_2 هما شدتى المجال عند طرفى المادة . ولما كانت H_1 أكبر جدا من H_2 ، وذلك فى حالة مادة أسطوانية طويلة طرفها العلوى بعيد عن قطبى المغناطيسى ، ولما كانت قيمة المجال مربعة فى القانون لذلك يمكن إهمال H_2^2 بالنسبة إلى H_1^2 ، وتصبح القوة على المادة .

$$F_z = 1/2\ \chi A\ H^2$$

حيث H هى شدة المجال بين قطبى المغناطيس ، ويمكن قياسها عمليا بواسطة فلكسمتر وملف باحث .

وقد وجد أن القابلية المغناطيسية لمعظم المواد ، سواء البارا أو الديا مغناطيسية صغيره ، وتتراوح قيمتها بين 10^6 & 10^7

نظرية لانجفين للديا مغناطيسية : Langevin Diamagnetism equation .

يؤثر أى مجال مغناطيسى على حركة إلكترونات الذرة فيعطيها حركة رحوية pressional إضافية لها تردد زاوى angular frequency

$$\omega_L = \frac{eH}{2mc}$$

وتعادل الحركة الرحوية للتوزيع الألكترونى

The precession of the electron distribution

تيارا ديامغنطيسيا I يعطى بالمعادلة :

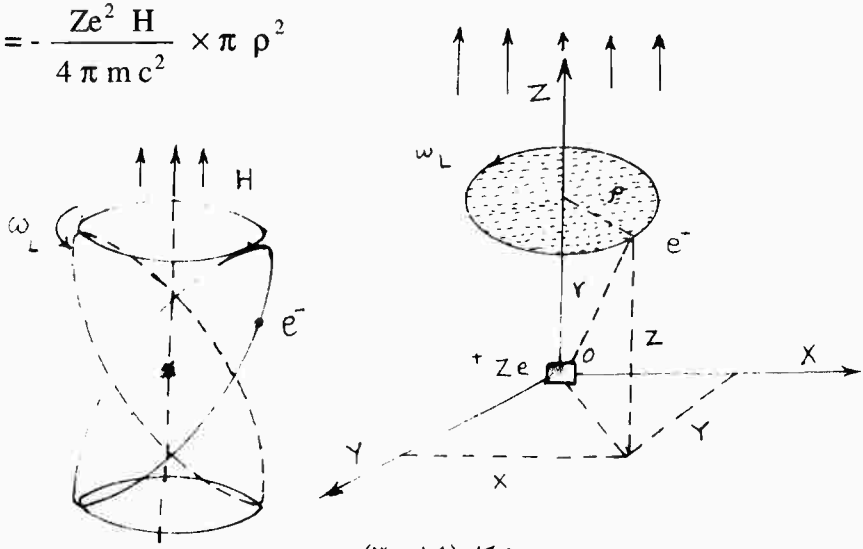
$$I = -\frac{Ze}{c.T.} = -\frac{Ze\,\omega_L}{2\pi C} \qquad e.m.u$$

$$\therefore\ I = -\frac{Ze}{2\pi c}\cdot\frac{eH}{2mc} \qquad e.m.u.$$

العزم المغناطيسى M هو حاصل ضرب التيار فى مساحة المسار ، شكل (١٤ – ٣)

فإذا كان ρ هو متوسط نصف قطر الحركة الرحوية للإلكترون حول المجال المغناطيسى يكون

$$M = -\frac{Ze^2\,H}{4\pi mc^2} \times \pi\ \rho^2$$



شكل (١٤ – ٣)

إذا كانت $\bar{r}$ هى متوسط نصف قطر مسار الإلكترونات ، وباعتبار توزيع كروى للشحنة حول النواة ، يكون

$$x^2 = y^2 = z^2$$

ويكون

$$x^2 + y^2 + z^2 = r^2 = 3/2\ \rho^2$$

ويصبح العزم المغناطيسى للذرة الواحدة هو :

$$M = -\frac{Ze^2}{6mc^2}\ H\ \overline{r^2}$$

فإذا كان هناك عدد N ذرات فى وحدة الحجوم من المادة تكون القابلية المغناطيسية لوحدة

الحجوم هى :

$$\chi = \frac{M}{H} = -\frac{Ze^2}{6mc^2} N \overline{r^2}$$

ويمكن تعيين قيمة $\overline{r^2}$ إذا عرف توزيع الشحنات حول النواة ، ويتم حساب ذلك باستخدام ميكانيكا الكم . والحل الوحيد الكامل لهذه المشكلة هو لذرة الأيدروجين . ولكن توجد حلول تقريبية للأنواع الأخرى من الذرات ، تعطى قيما للقابلية المغنطيسية χ بحيث تتفق النظرية مع التجربة .

النظرية الكمية للبارا مغنطيسية Quantum theory of paramagnetism :

تكون الذرة بارا مغنطيسية إذا كان لها محصلة عزم مغنطيسى ناشئ عن تحصيل العزم المغناطيسى المدارى والمغزلى .

جميع الذرات التى تحتوى عددا فرديا من الإلكترونات تكون بارا مغنطيسية ، حيث إن العزم المغنطيسى المغزلى لا يمكن أن يكون صفرا .

عند التأثير بمجال مغناطيسى خارجى فإن العزوم المغنطيسية المغزلية تترتب ؛ إما موازية أو عكس موازية لاتجاه المجال المغنطيسى تبعا (parallel or anti - parallel) لاتجاه الحركة المغزلية للإلكترون .

تتوقف الخواص البارا مغنطيسية للبلورات على ترتيب الحركة التعاونية للعزوم المغنطيسية الإلكترونية فى اتجاه أو فى عكس اتجاه المجال .

عند تطبيق أحصاء فيرمى وديراك على الغاز الإلكترونى فى الفلز ؛ نجد أن توزيع الإلكترونات عند درجة الصفر المطلق يكون على شكل دالة قطع مكافئ ، وتمثل العلاقة بين كثافة مستويات الطاقة $N(E)$ بدلالة الطاقة E

عند الصفر المطلق ، وفى غياب أى مجال مغناطيسى تكون جميع المستويات الأقل من طاقة فيرمى E_F مشغولة بإلكترونين لكل مستوى يكون مغزلاهما متعاكسين $S = \pm 1/2$.

أى أن الإلكترونات تشكل مجموعتين تبعا للحركة المغزلية . وعند التأثير بمجال مغناطيسى نجد أن الإلكترونات ذات المغزل الموجب مثلا تترتب فى اتجاه المجال بينما تترتب عكس ذلك الألكترونات الأخرى .

إذا كان بوهر ماجنتون هو B وشدة المجال H نجد أن طاقة كل الكترون مغزلة موجب تزداد بمقدار BH + بينما تنقص طاقة الألكترون نو المغزل السالب بمقدار BH - وهذا الوضع غير مستقر . وتتساوى فى الحال مستويات الطاقة العليا تحت تأثير التهييج الحرارى .

فمثلا : إذا كان $H = 10^5$ Oe يكون المقدار $BH = 10^{-3}$ eV ولهذا السبب فإن kT تكون أكبر كثيراً فى المعتاد من BH ولهذا السبب نجد أن القابلية المغناطيسية لبعض الفلزات لا تتأثر بدرجة الحرارة وهو خلاف ما ينص عليه قانون كورى الذى يعطى تغيرا عكسيا لـ χ مع T

وقد أوجد باولى قيمة القابلية البارا مغنطيسيه التى لا تتأثر بدرجة الحرارة

أولا : تغير القابلية المغناطيسية مع درجة الحرارة (قانون كورى) :

اعتبر البارا مغناطيسية الناشئة عن الحركة المغزلية للألكترونات

$m_s = \pm 1/2$

عند التأثير بمجال مغناطيسى H تنفلق مستويات الطاقة بمقدار .

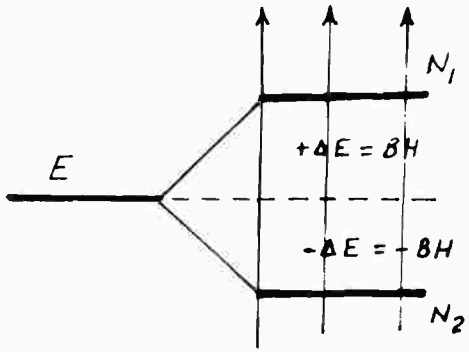
$\Delta E = g B H m_s$

كما مبين بشكل (١٣ - ٤) حيث g هو ثابت الانشطار للاندى Land splitting factor ، m_s هو العدد الكمى المغناطيسى المغزلى .

نفرض أن هناك مستوى واحد فقط انفلق الى مستويين فى وجود المجال المغناطيسى شكل (١٤ - ٤) وأن تعداد الألكترونات ذات المغزل الموجب على المستوى الأول هو N_1 بينما تعداد الألكترونات ذات المغزل السالب على المستوى الآخر هو N_2 . إذا كان N هو

العدد الكلى للذرات لوحدة الحجوم يكون

$$N = N_1 + N_2$$



شكل (١٤ - ٤)

باستخدام إحصاء ماكسويل وبولتزمان يكون تعداد الألكترونات على المستوى الأول عند الاتزان الديناميكى الحرارى عند الدرجة T^0K هو

$$N_1 = e^{\Delta E/kT}$$

وتعداد الألكترونات على المستوى الثنائى

$$N_2 = e^{-\Delta E/kT}$$

بقسمة المعادلتين :

$$\therefore \quad \frac{N_1}{N} = \frac{e^{\Delta E/kT}}{e^{\Delta E/kT} + e^{-\Delta E/kT}}$$

أيضا

$$\frac{N_2}{N} = \frac{e^{-\Delta E/kT}}{e^{\Delta E/kT} + e^{-\Delta E/kT}}$$

ويكون بذلك مقدار المغناطيسية الناشئة عن N ذرات فى وحدة الحجوم هو :

$$M = g\,B\,m_s\,(N_1 - N_2)$$

$$= g\,B\,N\,m_s\,\frac{e^x - e^{-x}}{e^x + e^{-x}} = m_s\ BN\,g\tanh x$$

$$\frac{\Delta E}{kT} = \times = g\, Bm_s\, H/kT$$ حيث

عندما تكون $x << 1$ $\tanh x = x$

$$\therefore\ M = m_s\, B\, N\, g\, .\, \frac{g\, Bm_s H}{kT} = \frac{N\, g^2 m_s^2 B^2 H}{kT}$$

وبوضع معامل الانشطار للاندى للالكترونات $g = 2$ و $m_s = 1/2$ نحصل على القابلية المغنطيسية χ

$$X\ \frac{M}{H} - = \frac{NB^2}{KT}$$

أى أن χ تتناسب عكسيا مع درجة الحرارة المطلقة T

ثانيا : القابلية المغنطيسية لباولى :

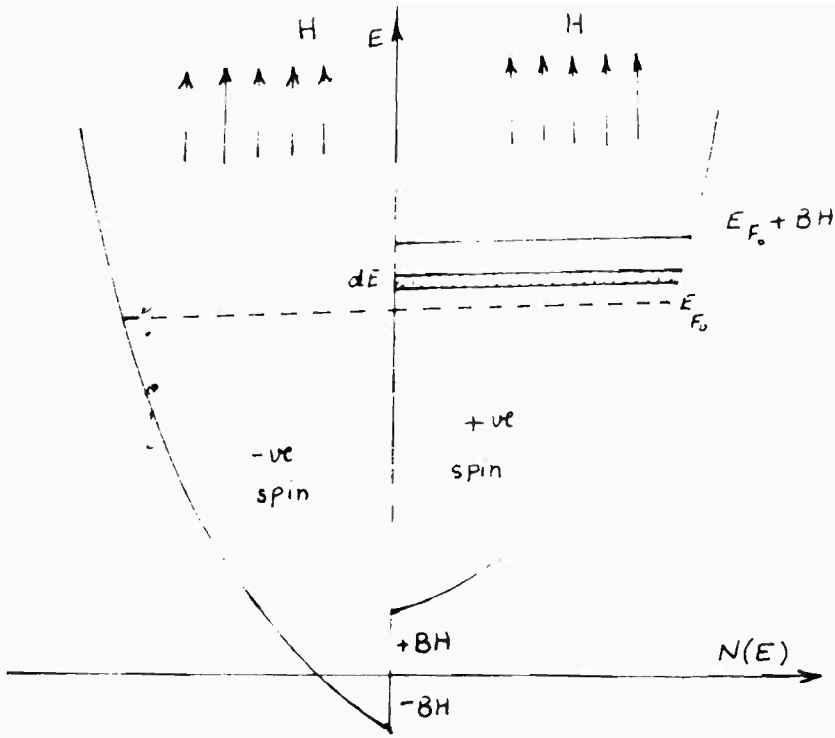
ينص قانون كورى على أن القابلية المغنطيسية χ تتناسب عكسياً مع درجة الحرارة المطلقة T ، وبالرغم من أن القانون قد أثبت صحته بالنسبه لمواد كثيرة إلا أنه فشل بالنسة لبعض الفلزات التى أثبتت التجربة أن قابليتها المغنطيسية لا تتأثر بدرجة الحراره وفقا لما يمليه قانون كورى وقد فسر باولى ذلك الشذوذ بأن الغاز الإلكترونى فى الغازات يخضع لأحصاء فيرمى وديراك وليس لإحصاء ماكسويل وبولتزمان .

اعتبر التوزيع الإلكترونى فى الفلز عند درجة الصفر المطلق ويمثله قطع مكافئ كما مبين بشكل (١٤ – ٥) .

إذا أثرنا على الفلز بمجال مغنطيسى H تزداد أو تقل طاقة كل الكترون وفقا لاتجاه لفة بالنسبه لاتجاه المجال المغنطيسى . أى أن نصف عدد الإلكترونات الموجبة اللف (مثلا) تزداد طاقة الموضع لها بينما تنقص الطاقة المغنطيسية للنصف الآخر ذو اللف السالب بنفس المقدار .

التغير فى طاقة الألكترون ΔE فى مجال مغنطيسى H هو :

$$\Delta E = g\, m_s\, BH$$



شكل (١٤ - ٥)

حيث g هو ثابت الانشطار للاندى للألكترون الحر ، ويساوى 2

، m_s هو عدد اللف الكمى ويساوى $\pm \frac{1}{2}$

، B هو ماجنتون بوهر .

أى أن التغير فى الطاقة الإلكترونية هو $\Delta E = \pm B H$

إذا كان E_{Fo} هو مستوى فيرمى للطاقة عند درجة الصفر المطلق نجد عند التأثير بمجال مغنطيسى H حدوث اختلاف بين مستويى الطاقة الإلكترونية بالنسبه لإكترونات اللف السالب واللف الموجب ، ويتبع ذلك اختلاف عدد الإلكترونات على كل مستو . فهى أكثر عدداً فى مستوى الطاقة المرتفع عنها في المستوى المنخفض . وهذه الزيادة تعطى للمادة مزيداً من العزم المغنطيسى فى اتجاه المجال المؤثر .

نفرض أن Δn هو عدد الألكترونات التى غيرت اتجاه لفها

$$\therefore \quad \Delta n = \int_{E_{F_o}}^{E_{F_o}+BH} \frac{1}{2} N(E)\, dE$$

$$= \frac{1}{2} N\left(E_{F_o}\right) \; B.H$$

التغير فى العزم المغناطيسى نتيجة لإعادة ترتيب لف الإلكترونات هو :

$$\Delta M = \Delta n \, . \, 2B$$

والمعامل ٢ هنا بسبب أن اللف يدور بزاوية ١٨٠° أى أنه يتحول من (- B) إلى (+ B)

أى أن التغير 2B

$$\therefore \Delta M = \frac{1}{2} N(E)\, B.H \times 2B$$

$$\therefore \quad \Delta M = B^2 \quad H \quad N(E)$$

وتكون الزيادة فى العزم المغنطيسى لوحدة الحجوم من البلورة فى اتجاه المجال المغناطيسى هى :

$$\frac{\Delta M}{V} = \frac{B^2 H}{V} N(E)$$

وتضيف الزيادة فى العزم الى القابلية البارا مغنطيسية للمادة

$$\chi \text{ (Pauli)} = \frac{M}{H} = \frac{B^2}{V} N(E)$$

وبوضع قيمة دالة التوزيع N(E) حيث :

$$N(E) = 4\pi \left(\frac{2m}{h^2}\right)^{3/2} E^{1/2} = \frac{3}{2} \left(N/E_F\right)$$

وبمعرفة N بدلالة طاقة فيرمى E_F حيث :

$$N = \frac{2}{3} \; 4\pi \left(\frac{2m}{h^2}\right)^{3/2} E_{F_o}^{3/2}$$

تكون قيمة القابلية المغنطيسية لباولى لوحدة الحجوم هى :

$$\chi\,(\text{Pauli}) = \frac{3}{2} \cdot \frac{N}{E_{F_o}} \cdot B^2$$

من ذلك يتضح أنه لا تأثير لدرجة الحرارة على القابلية المغناطيسية إلا من خلال تغير طاقة فيرمى E_{Fo} مع درجة الحرارة .

الرنين الألكترونى البارا مغناطيسى :

Electron paramagnetic resonance E S R

عند وضع بلورة بارا مغناطيسية فى مجال مغناطيسى H فى اتجاه Z تنفلق مستويات الطاقة الالكترونية تبعا لتأثير زيمان .

التغير فى طاقة الألكترون ΔE هو :

$$\Delta E = g\,BH\,m_{\backprime}$$

الفرق بين مستوى الطاقة الذين استحدث بواسطة التأثير بالمجال المغناطيسى هو :

$$\Delta E = 2\,g\,BHm_{\backprime}$$

حيث B هو ماجنتون بوهر ، معامل الانشطار للاندى بالنسبة للألكترونات يساوى ٢ ،

$$m_{\backprime} = \pm \frac{1}{2} .$$

أى أن $\Delta E = 2\,B\,H$

عندما تؤثر على المادة بمجال كهربى متردد تردده υ يمكن حدوث انتقال للألكترونات من المستوى الأولى للثانى وبالعكس .

الطاقة التى يمتصها الألكترون للانتقال للمستوى الأعلى هى :

$$E = h\upsilon = 2\,B\,H$$

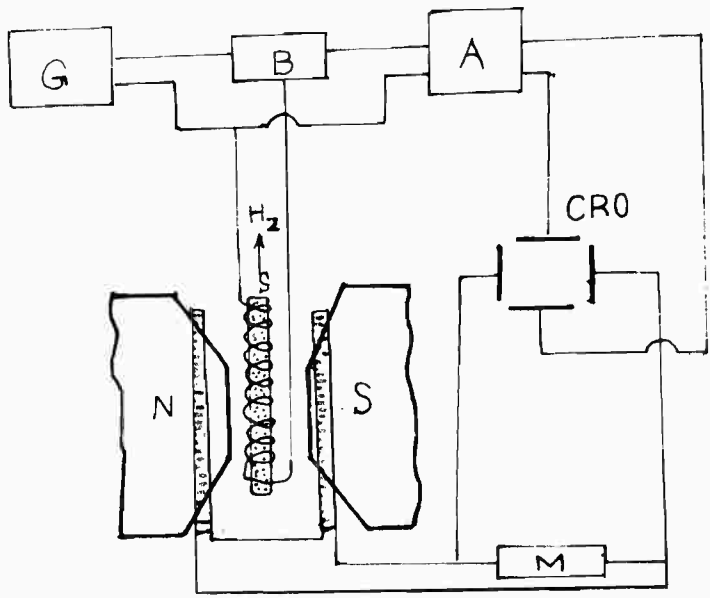
عندما يتساوى $h\,\upsilon$ بالمقدار $2\,BH$ يحدث رنين ألكترونى مغزلى لأن انتقال الألكترون من المستوى الأقل طاقة للأعلى يتحتم معه أن يغير الألكترون من اتجاه حركته المغزلية وبالمثل عندما يعود للمستوى الأصلى .

ولذلك تسمى هذه العملية : E S R electron spin resonance الرنين الألكترونى

المغزلى .

ويوجد عادة طريقتين لإحداث الرنين الأولى : هى بتغيير شدة المجال المغناطيسى H مع تثبيت التردد للمجال الكهربائى ، والأخرى : بالعكس نثبت المجال H ونغير التردد للمجال الكهربائى .

عند حدوث الرنين تمتص طاقة الرنين من دائرة المجال الكهربائى . ويؤخذ لذلك التردد يحدث عنده أكبر امتصاص للطاقة على أنه تردد الرنين ، شكل (١٤- ٦)



طريقة الرنين الإلكترونى المغزلى

(E S R) .

شكل (١٤ - ٦)

G = r.f. signal generator
S = sample mounted in a coil
Hz r.f. magnetic field , B bridge
A r.f. amplifiier, CRO oscilloscope .
Hx is constant static magnetic field slowly modulated by modulator M

الرنين المغناطيسى النووى NMR. Nuclear magnetic resonance :

يوجد لنواة الذرة أيضا كمية حركة زاوية مصاحب لها عزم مغناطيسى يتأثر هو الآخر بالمجال المغناطيسى الخارجى ؛ ويحدث انفلاق فى مستويات الطاقة داخل النواة . يحدث رنين نووى مغناطيسى عندما تتذبذب النواة بين مستويات الطاقة .

رنين السيكلوترون Cyclotron resoance :

عند وضع بلورة شبه موصلة فى مجال مغناطيسى مستمر ، تتحرك الإلكترونات داخلها فى مسارات حلزونية حول اتجاه المجال . أذا كان نصف قطر المسار هو r وسرعة الإلكترون v تكون القوة الطاردة هى :

$$F = \frac{m^* v^2}{r}$$

وهذه القوة تتزن مع قوة لورنز على الألكترون والناشئة عن المجال H

$$F = \frac{H e v}{c}$$

$$\therefore \frac{m^* v^2}{r} = \frac{H e v}{c}$$

عند التأثير بمجال متردد أتجاهه عمودى على اتجاه المجال المستمر يحدث رنين بين تردد المجال المتغير $v = \frac{\omega}{2\pi}$ وتردد الحركة الإلكترونية فى المجال المستمر عندما يتساوى الترددان .

بقياس الامتصاص لطاقة المجال المتردد نحصل على أكبر امتصاص maximum absorption عند حدوث الرنين وبذلك يمكن تعيين تردد الألكترون فى المجال المستمر .

من المعادلة السابقة

$$\omega = \frac{v}{r} = \frac{e H}{m^* c}$$

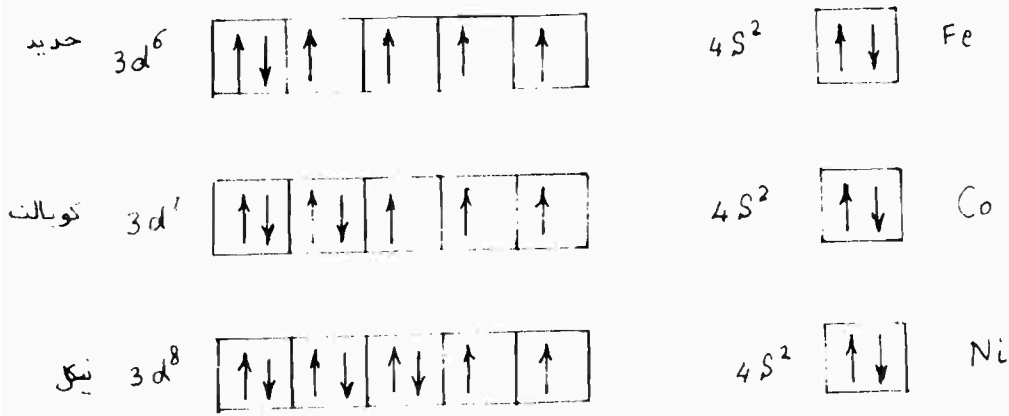
حيث m^* هى الكتلة الفعالة للالكترون فى البلورة . ونظراً لأن هذه التجربة تشبه عادة

ما يحدث داخل السيكاوترون لذلك فتسمى الظاهرة برنين السيكلوترون . وأهميتها فى أنها تسمح بتعيين قيمة الكتلة الفعالة للالكترون m*

الخاصة الفيرو مغناطيسية Ferro - magnetism :

ينطبق التحليل السابق لمغناطيسية المواد على تلك البلورات التى يكون فيها الأغلفة الداخلية inner shells ممتلئة تماما بالألكترونات وتكون الكترونات التكافؤ valence electrons حرة الحركة فى البلورة . وينشأ العزم المغناطيسى للذرة فى هذه الحالة من الحركة المغزلية لهذه الألكترونات .

أما فى بعض الفلزات فيوجد داخلها أغلفة غير ممتلئة تماما بالالكترونات وفى هذه الحالة تساهم الحركة المدارية بالإضافة الى الحركة المغزلية للألكترونات فى تكوين العزم المغناطيسى لذرات هذه المواد . ويؤدى ذلك إلى قيم مرتفعة جداً للقابلية المغناطيسية . ويطلق على مثل هذه المواد بالفيرو مغناطيسية مثل الحديد والكوبالت والنيكل .



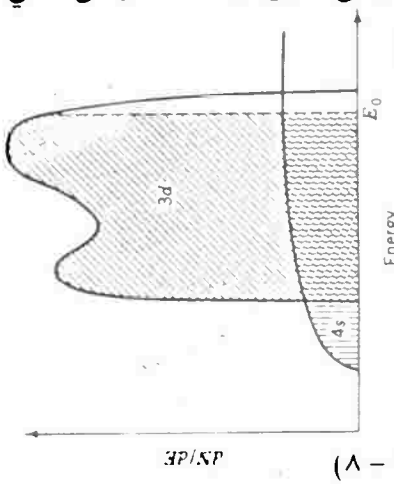
شكل (١٤ – ٧)

تتوزع الكترونات الفلزات السابقة دخل الغلاف (d - shell) على مستويات الطاقة كما مبين بشكل (١٤ – ٧)

أى أن العزم المغناطيسى الذرى لهذه الفلزات (حديد – كوبالت – نيكل) على الترتيب

تساوى أربعة و ثلاثة و أثنين بوهر ماجنتون .

وقد وجد بالتجربة أن القيم الحقيقية للعزم المغناطيسى الذرى لهذه العناصر هى : علي الترتيب : ٢٢ر٢ & ٧٠ر١ & ٦١ر٠ بوهر ماجنتون



شكل (١٤ – ٨)

ولتفسير ظهور كسور من وحدة العزم المغناطيسى (بوهر ماجنتون) نعتبر نظرية المناطق ، ويبين شكل (١٤ – ٨) النطاقين الأخيرين 4S & 3d فى البنية الإلكترونية للنيكل ويحدها طاقة فيرمى E_F . يشغل فى المتوسط ٦ر٠ الكترون لكل ذره فى نطاق 4S بينما يشغل ٩ر٤ الكترون لكل ذرة فى نطاق 3d .

وطبقا لقاعدة باولى يكون لعدد خمسة الكترونات حركة مغزليه فى اتجاه بينما يكون ٤ر٤ فى الاتجاه الآخر تاركين ٦ر٠ الكترون لكل ذره فى مستويات مفرده لايشغلها ألكترونين كما تفتضيه قاعده باولى .

ويمكن التحقق من ذلك النموذج بتجربة بسيطه .

من المعروف أن للنيكل ، والنحاس نفس البنيه التركيبيه وهى تكعيبيه متمركزة الوجه f.c.c. كما أن لها تقريبا نفس الحجم الذرى . ولذلك يسهل عمل سبيكة من النيكل والنحاس : إذ يمكن لذرات النحاس تبادل مواقعها مع ذرات النيكل . للنحاس ألكترون زيادة عن النيكل ، ولذلك فسوف يفضل هذا الإلكترون شغل مستويات الطاقة الأقل فى ذرة النيكل فى النطاق 3d الغير مكتمل العدد . وكلما أضيفت المزيد من ذرات النحاس للنيكل يستمر شغل ألكترونات النحاس الخارجية للنطاق 3d فى النيكل حتى يمتلئ تماما

وبقياس القابلية المغنطيسية للسبيكة مع زيادة تركيز النحاس فيها نجد نقصاً مستمراً فى القابلية حتى نصل إلى تركيز ٦٠ ٪ نحاس ، ٤٠ ٪ نيكل وعندها تتلاشى تماما الفيرومغنطيسية من المادة ، وتؤول القابلية المغنطيسية إلى الصفر .

وهذا يثبت أن منشأ الفيرومغنطيسية هو : وجود مستويات طاقة فى النطاق 3d غير ممتلئة بالألكترونات بينما النطاق 4S ممتلئ كما هو الحال فى ذرات الحديد والكوبالت والنيكل .

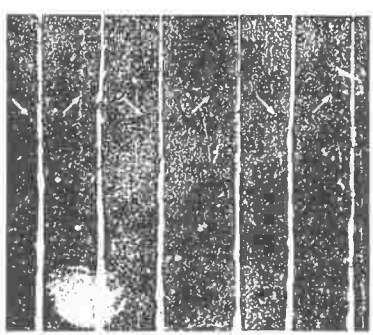
المناطق الفيرو مغناطيسية Ferro - magnetic domains :

فى المواد الفيرو مغناطيسية يكون تأثير المجال المغناطيسى على الحركة المغزلية للإلكترونات قويا مما يسبب أن تتراص هذه الحركات بجوار بعضها محاولة أن تأخذ اتجاة المجال المغناطيسى .

حتى فى حالة عدم وجود مجال خارجى فإن المجالات الجزيئية لهذه المغناطيسيات الجزيئية قد تسبب تراص هذه الحركات المغزلية فى مناطق متجاورة قد تختلف بينها اتجاهات التراص . وتسمى بالمناطق المغناطيسية ، شكل (١٤ – ٩) .

ولا يوجد صلة بين هذه المناطق domains وحبيبات المادة متعددة الحبيبات poly crystalline اذ أن الحبيبة grain الواحدة قد تحتوى على العديد من المناطق المغناطيسية . وعند إيجاد محصلة العزم المغناطيسى لكل هذه المناطق نجد أن العزم يساوى صفرا إذا كانت المادة غير ممغنطة .

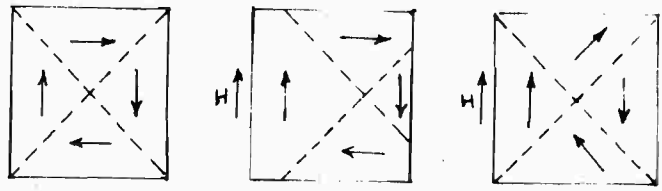
يبين شكل(١٤ – ٩) مادة فيرو مغناطيسية غير ممغنطة العزم الكلى المغناطيسى فيها يساوى صفرا . تبين الأسهم اتجاه المغنطة داخل المناطق المختلفة .



شكل (١٤ – ٩)

كيفية تمغنط المواد الفيرو مغنطيسية Magnetization processes :

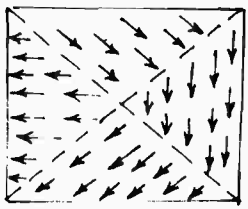
عندما نؤثر بمجال مغناطيسى على المادة الغير ممغنطة يزداد العزم المغنطيسى لها بأحد طريقين أو كليهما : -



شكل (١٤ - ١٠)

أولا : عن طريق تحرك حدود المناطق المغنطيسية حيث تنمو تلك المناطق migration of domain boundaries التى تكون اتجاهات حركتها المغزلية قريبة من اتجاه المجال المغنطيسى الخارجى على حساب تلك المناطق التى يكون اتجاهات حركاتها المغزلية بعيدة عن اتجاه المجال ، شكل (١٤ - ١٠).

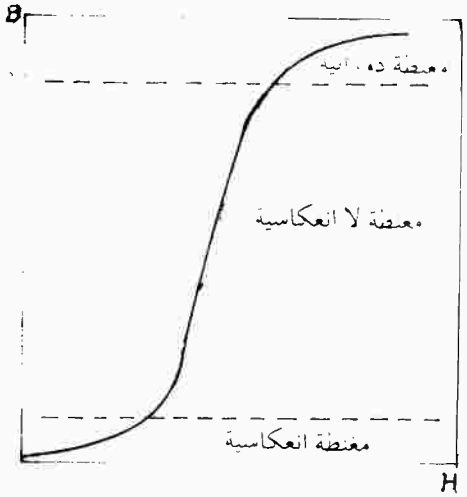
ثانيا : قد يتم التمغنط عن طريق دوران اتجاه الحركات المغزلية وبالتالى دوران اتجاهات العزوم المغنطيسية داخل المنطقة الواحدة . وذلك لكى تتراص الحركات المغزلية فى اتجاه المجال المغنطيسى ، شكل (١٤ - ١١) .



شكل (١٤ - ١١)

وعادة ما تتم الممغنطة فى المجالات الضعيفة بواسطة تحرك حدود المناطق المغنطيسية، ولكن عند ما يكون المجال قويا تتم المغنطة بطريقة دوران اتجاهات العزوم المغنطيسية الجزيئية .

يبين شكل (١٤ - ١٢) منحنى المغنطة حيث تظهر الطرق المختلفة للمغنطة فى المجالات المختلفة .



شكل (١٤ - ١٢)

تأثير درجة الحرارة :

تتأثر المغنطة بدرجة بسيطة عند رفع درجة الحرارة ولكن عند الوصول إلى درجة حرجة Tc تسمى درجة حرارة كورى نجد أن جميع مغنطة المادة تتلاشى وتتحول المادة الفيرو مغنطيسية إلى مادة بارا مغنطيسية فوق تلك الدرجة .

ولكى نفسر السبب فى هذا الانتقال الفجائى من حالة الفيرو إلى حالة البارا مغنطيسية عند الدرجة الحرجة دون حدوث انتقال تدريجى ، نعتر المغنطة على أنها تحركات تعاونية بين مجاميع المغنطيسات الجزيئية ، وتحتاج الى طاقة عند تغيير اتجاه عزوم هذه المغنطيسيات الأولية .

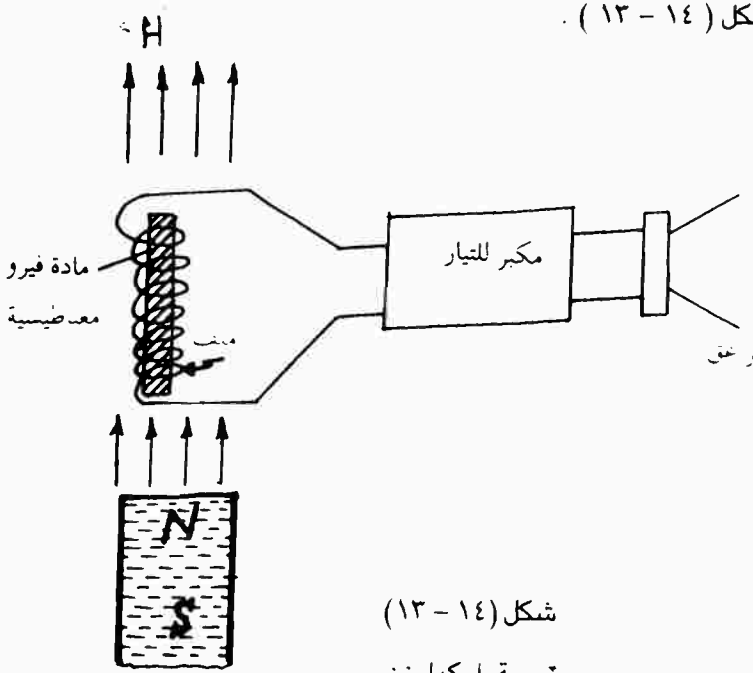
فمثلا فى منطقة مغنطسية معينة داخل مادة فيرومغنطيسية جميع المغنطيسيات الأولية فيها ذات ترتيب خاص واتجاه معين . ولذلك لا يمكن تغيير اتجاه أى مغنطيس أولى واحد فقط من المجموعة عن الاتجاه العام للباقين إذ أن المجموعة كلها تمانع ذلك . ولذلك فإن الطاقة اللازمة لهذا العمل تكون كبيرة جدا لا يستطيع فعلها التهييج الحرارى .

ولكن برفع درجة الحرارة حتى Tc يتلاشى ترتيب اتجاهات هذه المغنطيسات فجأة كما يحدث عادة فى جميع الظواهر التعاونية . Cooperative phenomenon

ظاهرة باركهاوزن : The Barkhausen effect

فى عام ١٩١٩ أثبت باركهاوزن بطريقة غير مباشرة وجود المناطق المغنطيسية magnetic domain structure

تتركب التجربة من ملف يوضع بداخله المادة الفيرومغناطيسية ويتصل الملف بمكبر للتيار ثم زاعق . شكل (١٤ - ١٣) .



شكل (١٤ - ١٣)

تجربة باركهاوزن

عند تقريب مغنطيس دائم من المادة الفيرومغنطيسية تتغير المغنطة فى المادة .هذا التغير يتم بطريقة فجائية عندما يزداد حجم المناطق المغنطيسية التى تكون المغنطيسيات الأولية فيها مرتبة فى اتجاه المجال الخارجى . فى لحظة ازدياد المغنطة تقطع خطوط القوى المغنطيسية الملف فينشأ عن ذلك تيار تأثيرى ، وتكبير التيار بواسطة المكبر يسمح

بأن نسمع أصوات مميزة لتلك الحركات أثناء التمغنط . وقد قدر التغير فى حجم المناطق كل مرة يسمع فيها صوت بما يعادل $١٠^{-٨}$ سم٣ .

أما الاثبات المباشر لوجود مناطق مغناطيسية فقد تم بواسطة اشكال بيتر Bitter patterns وذلك عام ١٩٣١ م .

وتتلخص الطريقة فى تحضير سطح البلورة الفيرومغناطيسية بعناية بحيث يكون أملسا . ثم توضع عليه قطره من محلول غروى colloidal solution يحتوى معلقا دقيقا من مادة فيرومغناطيسية مثل الماجنتيت magnetite (سوداء اللون)

عند النظر تحت الميكروسكوب الضوئى لسطح البلورة نجد أن هذه الذرات المعلقة بالمحلول (ذرات الماجنتيت) قد شكلت خطوطا سوداء يطلق عليها أشكال بيتر . وترسم هذه الخطوط حدود المناطق المغناطيسية على السطح .

والسبب فى انجذاب جزيئات الماجنتيت لحدود المناطق هو أن بالقرب من هذه الحدود توجد مجالات مغناطيسية قوية محلية تجذب هذه الجزيئات .
strong local magnetic fields .

مسائل علي الباب الرابع عشر

١ – القابلية المغناطيسية للنحاس (-0.5×10^{-5}) أوجد العزم المغناطيسى لوحدة الحجوم فى النحاس إذا وضع فى مجال مغناطيسى تكون شدته 10^{4} amp /m داخل النحاس ،

٢ – إستخدم معادلة لانجفين للديا مغناطيسية لتعين القابلية المغناطيسية للنحاس مع اعتبار أن نصف قطر الذرة ($1\ A^{o}$) وأن الكترونا واحدا فى كل ذرة هو المسئول عن هذه القابلية ؟

٣ – وضع نظام بارا مغناطيسى من ثنائيات القطب المغناطيسى الناشئة عن اللف الإلكترونى فى مجال شدته 10^{5} amp m^{-1} أوجد متوسط العزم المغناطيسى لكل ثنائى قطب عند درجة 300 K وعند 1 K ؟

٤ – أوجد الترددات التى يمكن توقعها فى تجربة رنين اللف الإلكترونى لمادة الصوديوم عند وضعها فى مجال شدته 10^{6} amp m^{-1} ؟

٥ – درجة حرارة كورى للحديد 1043 K ، فإذا اعتبرنا أن لذرة الحديد عزم مغناطيسى يساوى عدد اثنين بوهر ماجنتون أوجد :

أ – العزم المغناطيسى عند التشبع saturation magnetisation ؟

ب – ثابت كورى ؟

جـ – مقدار المجال الداخلى internal field ؟

٦ – احسب تردد لارمور للف الإلكترونى فى مجال مغناطيسى 5×10^{-2} T

٧ – أوجد القابلية البارا مغناطيسية لوحدة الحجوم من السيزيوم عند درجة 300 K.
طاقة فيرمى للسيزيوم $E_F = 1.55$ eV .

٨ – اعتبر كمية الحركة الزاوية الكلية للإلكترون هى $\sqrt{S(S+1)}$
وليست $S = \frac{1}{2}$ وأوجد متوسط العزم المغناطيسى للذرات البارامغناطيسية ؟

٩ – ظهر رنين سيكلوترون فى الرصاص عند تردد 8900 MHz ومجال مغناطيسى 0.24 Wb / m^2 أوجد الكتلة الفعالة للإلكترون فى الرصاص ؟