

## الفصل الرابع

### طريقة المغناطيسية

### Magnetic Method

#### 1.4 مقدمة Introduction:

تعتبر طريقة المغناطيسية أكثر عمومية من طريقة الجاذبية فى البحث والتقيب عن الخامات والبتروول والإستخدامات الجيولوجية، برغم أن شادات كلاهما تنتج من التغير فى الخواص الطبيعية للصخور التحت سطحية كما أن تفسيراتهما تحتاج لنفس الأسس.

وربما تكون طريقة المغناطيسية أكثر تعقيدا من طريقة الجاذبية سواء فى الأساسيات والتطبيقات العملية. والسبب الأساسى فى ذلك أن تأثير خواص المغناطيسية للصخور وشدتها لها قيمة وإتجاه بينما الخواص المقابلة لها والمتحركة لمجال الجاذبية هى الكتلة ذات القيمة فقط. وربما أيضا يكون لأثار قليلة لمعادن معينة فى الصخور تأثيرات مغناطيسية كبيرة بينما تأثيرات الجاذبية تنتج أساسا من تكوينات الصخور الأولية. وبرغم من هذا فإن أهمية طريقة المغناطيسية يرجع لنجاح تطبيقاتها فى مناطق حيث يكون الزيت والتكوينات الحاملة له عادة غير مغناطيسية وبحكم تركيباتها الناتجة من صخور نارية أو صخور بللورية وحواف صخور نارية مدفونة تحتها والتي تشكل طيات محدبة أو كتل نارية وفوالق لها إزاحات وهذه التكوينات لها مغناطيسية ممكن الكشف عنها. وتعكس هذه التركيبات صورة للتركيبات الرسوبية التى فوقها والحاملة للزيت.

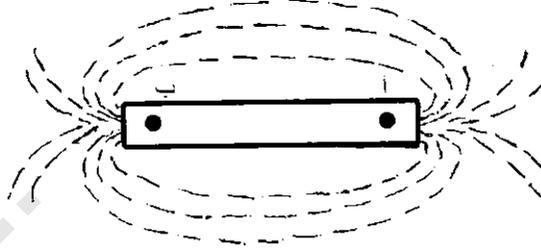
فى طريقة المغناطيسية يجب عزل التقلبات الدقيقة فى المجال المغناطيسى الأرضى الناتجة من الظواهر التركيبية الصغيرة والكبيرة ذات الأهمية الإقتصادية عن التقلبات الكبيرة والتي عادة ليس لها أهمية إقتصادية ويجب إزالتها من الشدة المغناطيسية المقاسة. ولكى يتم هذا يجب أولا معرفة المصطلحات والتعريفات التى تستخدم غالبا لوصف المغناطيسية والخواص المغناطيسية للمواد وأيضا للحصول على معرفة بالمغناطيسية الأرضية خاصة على مستوى الكرة الأرضية.

#### 2.4 الأساسيات والتعريفات Basic Concepts and Definitions:

##### 1.2.4 الأقطاب المغناطيسية (P) Magnetic Poles:

إذا نثرت برادة حديد بطريقة عشوائية على لوح من الورق والموضوع فوق قضيب مغناطيسى فإن هذه البرادة تتشكل على شكل خطوط شكل (4-1)، وهذه الخطوط التى ترتب البرادة نفسها عليها عادة تسمى (خطوط

القوى المغناطيسية)، والنقط التي من عندها تمتد هذه الخطوط من واحدة للأخرى تعرف بالأقطاب. ولذلك إذا علق قضيب مغناطيسي من منتصفه وترك يدور بحرية في جميع الإتجاهات فإنه يأخذ خط على طول المجال المغناطيسي الأرضي (خطوط القوى المغناطيسية الأرضية والتي هي نفسها مغناطيس كبير) وأحد أقطابه يتجه إلى القطب الشمالي الأرضي (يسمى القطب الشمالي للقضيب) والآخر للجنوب الأرضي (يسمى القطب الجنوبي للقضيب).



شكل (4-1): خطوط القوى حول القضيب المغناطيسي (أ، ب هي الأقطاب)

#### 2.2.4 العزم المغناطيسي (M) Magnetic Moment :

حيث أنه لا توجد أقطاب مغناطيسية معزولة، فإن العزم المغناطيسي لقضيب مغناطيسي بسيط (PL) ينتج من حاصل ضرب قوة القطب المغناطيسي (P) والمسافة بين القطبين L أي أن  $M = PL$  وهي كمية متجهة لذي القطبين وتكون في إتجاه القطب الشمالي (تمتد من القطب الشمالي للقطب الجنوبي) حيث أن المغناطيسية الفعلية عامة تعتبر ثنائيات القطب المغناطيسي. وإذا كان الجسم المغناطيسي اختياريا وحجمه (V) والمغناطيسية الكلية له (J) فإن العزم المغناطيسي له هو العزم المغناطيسي لوحدة الحجم أي  $M = \frac{J}{V}$ .

#### 3.2.4 القوة المغناطيسية (F) Magnetic Force :

كما في حالة الكتلة في الجاذبية فإن القوة بين قطبين تعتمد على حاصل ضرب قوتهم وعكسيا مع مربع المسافة بينهم

$$\therefore F = C \frac{P_1 P_2}{r^2} \quad (4-1)$$

حيث C ثابت نسبي يعتمد على إختيار نظام الوحدات وخواص مغناطيسية الوسط. وعندما تكون وحداته من نظام (سنتيمتر-جرام-ثانية) فإن قيمته تساوى الوحدة عندما تكون F بوحدة الداين، P بوحدة أورستد، r بوحدة السنتمتر.

#### 4.2.4 المجال المغناطيسي (H) Magnetic Field :

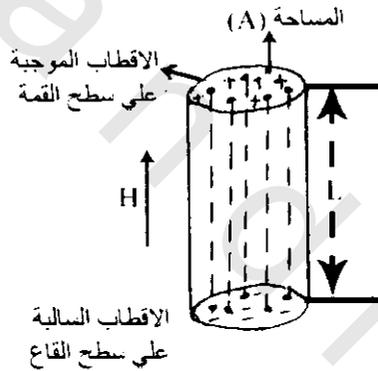
عادة ما يكون نظام شدة المجال المغناطيسي بوحدة (سنتيمتر-جرام-ثانية) عندما تكون قوة الأقطاب بالأورستد، والقوة بالداين فإن شدة المجال المغناطيسي تكون بالأورستد.

$$\therefore H = \frac{F}{P} \quad (4-2)$$

ويكون إتجاه المجال المغناطيسى فى إتجاه القطب المتحرك لإتجاه القطب الشمالى الأرضى. ومتوسط شدة المجال المغناطيسى عند سطح الأرض حوالى 0.5 أورستد وهذه القيمة كبيرة جدا عند إجراء المسح المغناطيسى التنقيبي لذلك فعادة ما تستخدم وحدة صغيرة جدا لهذا المسح تسمى الجاما (gamma) حيث أن وحدة الجاما  $10^{-5}$  = أورستد.

#### 5.2.4 شدة التمثغظ أو الإستقطاب (I) Intensity of Magnetism or Polarization

إذا وضعت مادة مغناطيسية فى مجال مغناطيسى خارجى (H) فسوف يكون لها أقطاب مستحثة على سطوحها المستحثة (الإستقطاب) يكون فى إتجاه المجال الممغنط (المسلط) وشدته تتناسب مع شدة هذا المجال ويمكن اعتبار شدة التمثغظ (I) هى شدة القطب المستحث لكل وحدة مساحة على السطح العمودى للمجال الحاث وهى أيضا تكافئ العزم المغناطيسى لكل وحدة حجوم ويدل هذا النوع من التمثغظ على اصطفاف لمغناطيسيات عنصرية أو ثنائيات قضيب ذات ترتيب عشوائى أصلا فى إتجاه المجال الممغنط وتعتمد عدد المغناطيسيات المصنوفة على شدة هذا المجال.



شكل (2-4): الإستقطاب المستحث فى إسطوانة لمادة متجانسة بواسطة مجال عمودى على الأطراف ، L المسافة بين الأقطاب وتستخدم فى حساب العزوم المغناطيسية الفعالة لمجال منتظم

#### 6.2.4 القابلية المغناطيسية (K) Magnetic Susceptibility

عندما يوضع جسم قابل للتمثغظ فى مجال مغناطيسى فىأخذ درجة معينة من المغناطيسية تتناسب مع المجال وأيضا تعتمد على حالة التمثغظ، والقابلية المغناطيسية للجسم هى مقياس حالة التمثغظ مع المجال الموضوع فيه أى

$$I \propto H$$

$$\therefore I = KH$$

$$\& K = \frac{I}{H}$$

(4-3)

حيث  $K$  تسمى القابلية المغناطيسية. فى حالة الفراغ  $K$  تساوى صفر وتعتبر القابلية المغناطيسية خاصية مهمة جدا للصخور فى طرق التنقيب المغناطيسى مثل الكثافة فى طرق التنقيب التثاقلى (الجاذبى). وقد صنفت القابلية المغناطيسية للصخور المختلفة إلى المجموعات التالية:

- (1) ديامجنيك Daimagnetic
- (2) بارامجنيك Paramagnetic
- (3) فيرومجنيتك Ferromagnetic
- (4) العكسرومجنيتك Antiferromagnetic
- (5) الفيريمجنيتك Ferrimagnetic
- (6) الفوق بارامجنيك Super-paramagnetic

المواد المسماة ديامجنيك لها قابلية مغناطيسية ( $K$ ) سالبة أما المجموعتين الأخرتين (بارامجنيك، فيرومجنيتك) فلها قابلية مغناطيسية ( $K$ ) موجبة وهذا يرجع للتركيب الذرى للمواد.

وتبعاً لقوانين الكهرومغناطيسية فجميع الذرات لها عزم مغناطيسى، يرجع لحركة المدار ودوران الإلكترونات بها. فى أغلب المواد فإن العزم المغناطيسى للذرات الملتصقة تتحرك عشوائياً فى غياب المجال الخارجى ولذلك فإن العينة ليس لها نتيجة مغناطيسية. وينتج التمغنط نتيجة لتطبيق مجال مغناطيسى خارجى.

وفى المواد الديامغناطيسية فإن الحث المغناطيسى  $H$  يكون عكس المجال المطبق  $H$  وتتكون بذلك قابلية مغناطيسية سالبة وجميع المواد ديامغناطيسية ولكن كثير من المواد لها تأثيرات افتراضية كبيرة أخرى والتي تبهم هذه المغناطيسية الضعيفة. كثير من المعادن العامة مثل الكوارتز، فليسيار، جيبسم والحجر الملحى سائدة الديامغناطيسية وذات قيم سالبة صغيرة  $K \approx -10^{-6}$  cgs.

وتسود البارامغناطيسية فى المواد التى تحتوى على الكترولونات غير مزدوجة وتعود أساساً إلى عدم إتزان دوران العزوم المغناطيسية وتنتشر العزوم العشوائية ولكن فى وجود مجال مغناطيسى، وتتجه الخطوط فى إتجاه المجال ولكن تقاوم الإتجاهين بواسطة الأثار الحرارية. والقابلية المغناطيسية للمواد البارامغناطيسية موجبة وتقل عكسياً مع درجة الحرارة المطلقة (قانون كورى-فيس Curie-Weis Law)، وتوجد المعادن البارامغناطيسية مكررة فى الصخور الطبيعية مثل البايروكسينات، الأولوفينات، الجارينات، البيوتيتات والأمفيبولات.

فى بعض مواد معينة والمصنفة باتساع كفيرومغناطيسية وحديدومغناطيسية، تكون القابلية المغناطيسية أكبر فى القيمة بعدة درجات وأحياناً أكبر من 10 c.g.s. وهى ذات قيمة موجبة وتعتمد على درجة الحرارة وشدة المجال المطبق. وفى هذه المواد يكون عزم دوران الإلكترونات غير المزدوجة مزدوج المغناطيسية بين الذرات المتجاورة. ونتيجة لهذه التفاعلات القوية تنتج المغناطيسية اللحظية حتى فى غياب المجال الخارجى. والخاصية الملاحظة الأخرى هى قدرتها للعودة للتفاوت الصفى بواسطة المجال المطبق بعد إزالته.

#### 1.6.2.4 مجموعة الديامجنيك Diamagnetic Group:

لها قابلية مغناطيسية سالبة مثل جرافيت، كوارتز، صخور الملح، كالسيت

$$K \approx -10 \cdot 10^{-6} \text{ c.g.s}$$

#### 2.6.2.4 مجموعة البارامجنيتك Paramagnetic Group:

لها قابلية مغناطيسية موجبة ضعيفة مثل:

(1) حجر جيرى، فحم، بيريت، حجر رملى، طين

$$K \approx 10 \cdot 10^{-6} \text{ c.g.s}$$

(2) هاماليت، ليمونيت، دايوريت، جابروشيست، حجر جيرى أوليتى، كروميت

$$K \approx 10^{-4} \text{ c.g.s.}$$

(3) سربنتين، جرانت، نيس، إردواز، دولوريت، كوارتز حديدي

$$K \approx 10^{-3}$$

(4) كالكوبيريت، بازلت

$$K \approx 10^{-2} \text{ c.g.s}$$

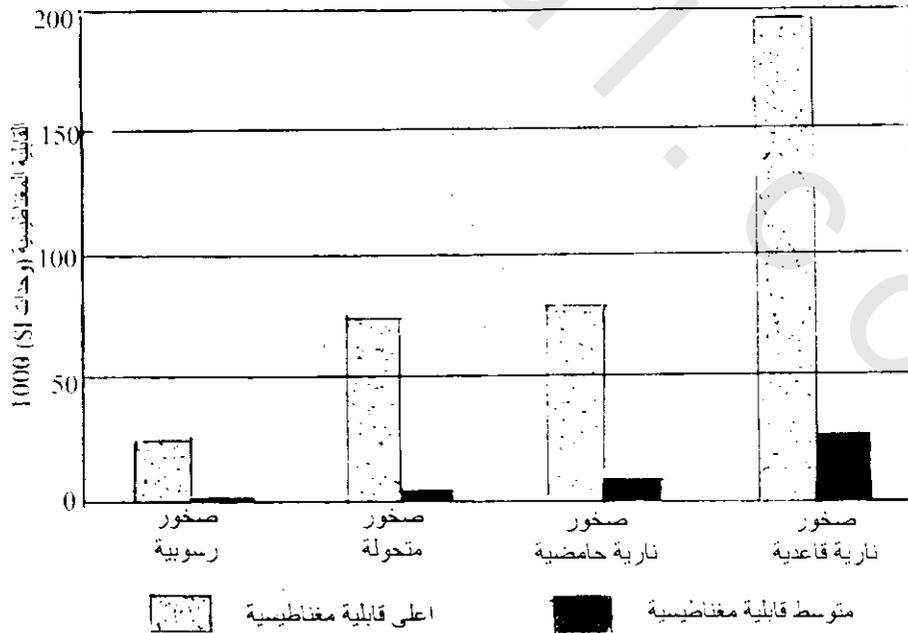
#### 3.6.2.4 مجموعة الفيرومجنيتك Ferromagnetic Group:

لها قابلية مغناطيسية ذات قيمة كبيرة وهذه تحتوى أساسا على أكسيدات الحديد، ماجنتيت، بيرولينيت،

الومونيت

$$K \approx 10^{-1} \text{ c.g.s}$$

وتبعاً لذلك فإن الصخور النارية القاعدية وفوق القاعدية لها قابلية مغناطيسية عالية والصخور النارية الحامضية فلها قابلية مغناطيسية أقل تليها الصخور المحولة أما الصخور الرسوبية فلها عامة قابلية مغناطيسية صغيرة كما فى شكل (3-4).



شكل (3-4): القابلية المغناطيسية لمجموعة أنواع الصخور

#### 4.6.2.4 العكسفر ومجنيك Antiferromagnetic:

تنشأ هذه الظاهرة عندما تكون العزوم المغناطيسية لمواد فيها الوحدات البلورية المكونة للبلورة ذات اتجاهات متعاكسة بحيث يكون المجموع الكلى لهذه العزوم مساويا للصفر. وهذا يتأتى عندما تكون عزوم مجموعة من الذرات في هذه الوحدات مساو ومعاكس لمجموعة أخرى من الذرات. وهذه الحالة تتم في عدم وجود مجال مغناطيسي خارجي. وتكون لهذه المواد صفة البارامجنيك paramagnetic في حالتين:

1- في مجال مغناطيسي خارجي وينشأ تمغنط ضعيف موجب.

2- إذا تغيرت درجة الحرارة إلى درجة حرارة نيل (Neel Temperature  $T_N$ ).

في بعض الأحيان لاتكون العزوم المغناطيسية متعاكسة نتيجة لدوران إتجاه التمغنط حول أحرف الوحدة البلورية وينتج بذلك تمغنط ضعيف كلى يسمى نازع العكسفر ومجنيك (conted antiferromagnetics) وأهم مثال لظاهرة العكسفر ومجنيك هو الهمايتيت.

#### 5.6.2.4 الفيريماجنيك Ferrimagnetic:

تقع موادها في سلوكها المغناطيسي بين الفيروماجنيك والعكسفيريماجنيك فالعزوم المغناطيسية المتواجدة بجوار حوائط البلورات (الحيوز المغناطيسية (magnetic domains) متعاكسة في إتجاهها ولكن يكون مقدار أو طول متجه التمغنط غير متساوى بحيث ينتج تمغنطاً نهائياً كبيراً. وعدم التساوى هذا إما لعدم تساوى عزوم التمغنط أو لعدم تساوى المجموع الكلى لعزوم التمغنط داخل الوحدة البلورية أى لعدم تساوى عدد المغناطيسيات الثنائية (dipole magnets) نفسها. ولمواد هذه المجموعة تمغنط باقى (remanent) ينعلم عند رفع درجة الحرارة فوق درجة حرارة كورى ( $T_c$  Curie Temperature) حيث تتحول المادة إلى الخاصية البارامغناطيسية. ومن أمثلة هذه المواد الماجنتيت  $Fe_3O_4$  والماجنتيت  $Fe_2O_3$  وكثيراً من المواد الأخرى.

#### 6.6.2.4 الفوق باراماجنيك أو السوبر باراماجنيك Superparamagnetic:

عندما تكون الحبيبات المغناطيسية متناهية فى الصغر أى حجمها أقل من 0.1 ميكرومتر أى أن حجمها فى حدود حجم الوحدة المغناطيسية البلورية الصغيرة المكونة للمادة Magnetic domains تكون العزوم المغناطيسية لهذه الوحدات البلورية سريعة الترتيب، عند فقدانها لطاقة الحركة سريعة وشديدة التثبع فى المجال الخارجى، أى أنها تتعاون فيما بينها فترتب المغناطيسيات ثنائية القطب الذرية (atomic dipole moments) فى إتجاه متساوى فيحدث تمغنط عالى جداً. ولكن عند إكتساب المادة لأى طاقة (حرارية مثلاً) فإن هذه الطاقة تتحول لطاقة حركة تعمل على تدمير تراص وترتيب الحبيبات المغناطيسية وتصير العزوم المغناطيسية موزعة عشوائياً وتفقد بذلك المادة تمغنطها تماماً. فإذا وجد بعد ذلك مجال مغناطيسي خارجي فإن هذه الحبيبات تترتب مرة أخرى فى إتجاه هذا المجال وعادة ما يكون زمن الترتيب والإضطرابات صغير وهذا النوع من التمغنط متفاعل مع المجال المغناطيسي الخارجى.

#### 7.2.4 الحث المغناطيسي Magnetic Induction:

هو قياس شدة المجال خلال الجسم الممغنط وفى حالة خطوط القوى المغناطيسية ربما يعتبر عدد الخطوط لكل سنتيمتر مربع هو الحث المغناطيسي ووحدة الحث المغناطيسي هو الجاوس والحث الكلى P خلال الجسم الممغنط ربما يعتبر خطوط مجال التمغنط الأصيلي H بالإضافة لهذه الناتجة من شدة التمغنط I (تعنى العزم

المغناطيسى لكل وحدة حجم) الناتجة بواسطة المجال المغناطيسى. لهذا فان وحدة العزم وكذلك وحدة الشدة المغناطيسية (التي لها خطوط  $4\pi I$  من الحث المغناطيسى) هى الحث المغناطيسى

$$\therefore B = H + 4\pi I \quad (4-4)$$

ولكن

$$I = KH$$

$$\begin{aligned} \therefore B &= H + 4\pi KH \\ &= H(1 + 4\pi K) \end{aligned}$$

#### 8.2.4 النفاذية المغناطيسية Magnetic Permeability:

إذا توازى المجال المغناطيسى  $H$  والحث الناتج  $\beta$  (وعادة هذا مايكون) فإن النفاذية تحدد بواسطة المعادلة

$$\begin{aligned} M &= \beta/H \\ &= \frac{H(1 + 4\pi K)}{H} = 1 + 4\pi K \end{aligned} \quad (4-5)$$

#### 9.2.4 مغناطيسية ثنائى القطب Magnetic Dipole:

أساس مغناطيسية ثنائى القطب يكون قاعدة لفهم سلوك مغناطيسية جزيئات المواد ذات الأبعاد الصغيرة جدا الى مغناطيسية الأرض ككل. رياضيا نعتبر ثنائى جزئ يتكون من قطبين مغناطيسين ذات قوة  $m$  و  $m$  وحجمه الطبيعى والمسافة بينهما متناهية الصغر ولكن له عزم مغناطيسى محدود  $M = mL$  لهذا فان ثنائى القطب يمثل مغناطيس مثالى أولى. سوف نشق التعبير للمجال المغناطيسى الناتج من ثنائى القطب (مغناطيسى أولى) عند نقطة أ بعيدة بمسافة  $r$  من مركز المغناطيس شكل (4-4) ويساعدنا هذا الحساب البسيط لفهم كمية المغناطيسية المؤثرة الناتجة بواسطة الأجسام المغناطيسية وحيث أن الجهد المغناطيسى  $W$  للنقطة أ لمغناطيس شدته  $m$  على مسافة  $r$

$$\therefore W = \frac{\mu_o}{4\pi} \left( \frac{m}{r} \right) \quad (4-6)$$

$\mu_o$  ثابت عالمى للنفاذية المغناطيسية للفراغ وقيمه  $4\pi \cdot 10^{-7}$  (SI) لذلك فإن الجهد المغناطيسى  $W$  عند  $P$

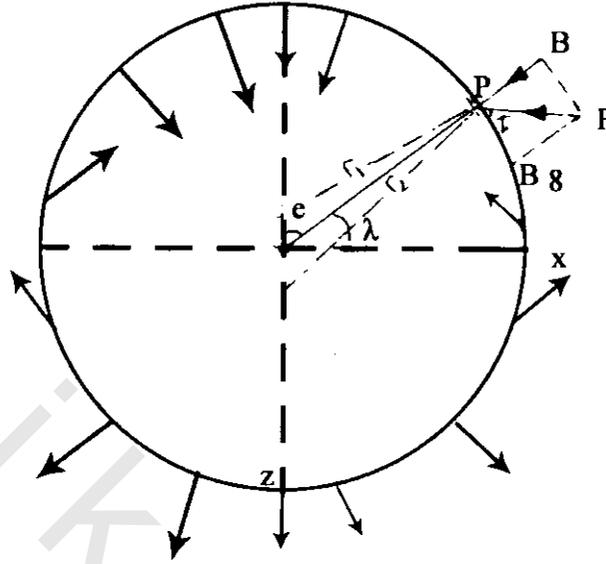
تكون مجموع القطبين الموجب والسالب

$$\therefore W = \frac{\mu_o}{4\pi} \left( \frac{m}{r_1} - \frac{m}{r_2} \right) = cm \frac{\alpha(1/r)}{\ell}$$

حيث  $c$  ثابت  $= \frac{\mu_o}{4\pi}$ ,  $\partial(1/r)$  يمثل الفرق الصغير بين  $\left( \frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right)$  وإذا كانت  $\ell$  صغيرة جدا ،  $\ell$

$\partial(1/r)$  معدل التدرج لـ  $1/r$  فى إتجاه  $\ell$  وأخذنا نظام الإحداثيات طالما  $\ell$  فى إتجاه  $Z$ ،  $r = \sqrt{X^2 + Y^2 + Z^2}$  عندئذ يمكن كتابة التعبير لـ  $W$  كالآتى:

$$W = cm \frac{\partial}{\partial Z} \left( \frac{1}{r} \right) = \frac{cm}{r^2} \cos \theta \quad (4-7)$$



شكل (4-4): توزيع المجال المغناطيسي الناتج من ثنائي قطب رأسي. للتقريب الأولي يعتبر أن المجال الأرضي نموذج بواسطة وضع ثنائي قطب له عزم كبير كافي عند مركز الأرض.

وتبعاً لما يؤديه التفاضل السالب لجهد شدة المجال المغناطيسي في مناظرة الإتجاه يكون المجال المغناطيسي (B) في إتجاه r عند P كالآتي:

$$B_r = \frac{\partial W}{\partial r} = \frac{2cm}{r^3} \cos \theta \quad (4-8)$$

والمركبة العمودية للمجال تكون

$$B_\theta = \frac{1}{r} \frac{\partial W}{\partial \theta} = \frac{cm}{r^3} \sin \theta \quad (4-9)$$

ويعطى المجال الكلي F وميله I (بالنسبة B<sub>0</sub>)

$$\begin{aligned} P &= \frac{cm}{r^3} (1 + 3 \cos^2 \theta) \\ &= \frac{cm}{r^2} (1 + 3 \sin^2 \lambda)^{1/2} \end{aligned} \quad (4-10)$$

$$\text{and } \tan I = \frac{B_r}{B_\theta} = 2 \cot \theta = 2 \tan \lambda \quad (4-11)$$

ويكون المجال أكبر ما يمكن (= 2 cm/r<sup>3</sup>) عند P على طول محور ثنائي القطب (θ = 0°, 180°) وأصغر ما يمكن عندما تقع P في منتصف المستوى العمودي على محور ثنائي القطب.

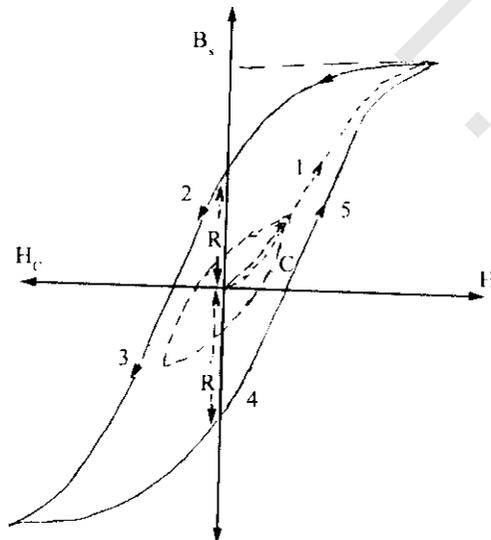
وإذا اعتبرت P على سطح الأرض وثنائي القطب الرأسي عند مركزها عندئذ تمثل β<sub>1</sub> & β<sub>0</sub> المركبة الرأسية والأفقية لمجال ثنائي القطب الأرضي ويكون m عزم ثنائي القطب لكل الأرض. وقد وجد أن ثنائي

القطب المغناطيسي يكون أحسن ملاءمة عندما يكون محور الميل للمجال الحاضر للأرض عند حوالي 11.5° من الرأسى.

### 10.2.4 المغناطيسية المتبقية Residual Magnetism:

العلاقة النسبية بين المجال والحث المغناطيسى الممتلئة بالمعادلة  $\mu = \frac{\beta}{H}$  حيث  $\mu$  النفاذية المغناطيسية وهى

قيمة تقريبية وتتلاشى كلية فى المواد المغناطيسية العالية\*. وسلوك مثل هذه المواد المغناطيسية والمسماه بالمواد الحديدية تذهب لدورة مغناطيسية ومغناطيسية عكسية كما هو موضح فى شكل (5-4) عند وضع عينة غير مغنطة ل مواد مغناطيسية بين قطبي الكتر ومغناطيسى واللذان ينتجان مجال خارجى (H) والذي يمكن التحكم فيه بواسطة الزيادة أو النقصان أو إتجاه تيار عكسى. يلاحظ من شكل (5-4) فى الخطوة (1) أنه بزيادة المجال المغناطيسى (H) من الصفر يزداد الحث المغناطيسى ( $\beta$ ) والمقاس بواسطة جلفانومتر والموصل بملف حول العينة وهذه الزيادة تكون غالبا خطية تبعا للعلاقة  $\beta = \mu H$  إلى أن تصل مغناطيسية العينة للتشبع حيث يقترب المنحنى للخط الأفقى وفى الخطوة (2) عندما يقل المجال الخارجى H ويصل للصفر فإن  $\beta$  لا تتردد للصفر تاركة قيمة مقدارها R فى العينة والتي تسمى المغناطيسية المتبقية. وفى الخطوة (3) إذا عكس المجال H ويصبح  $H_0$  (تسمى القوة الجبرية) فإن  $\beta$  تنقص حتى تكون أيضا معكوسة وتقترب للتشبع فى الإتجاه السالب. وفى الخطوة (4) ينقص المجال المعكوس إلى أن يصل للصفر وأيضا لا تتردد  $\beta$  للصفر تاركة قيمة مقدارها R' فى العينة والتي تسمى المغناطيسية المتبقية المعكوسة. وفى الخطوة (5) وبإعادة المجال المغناطيسى الموجب فإن إتجاه  $\beta$  سينعكس مرة ثانية وتكون النتيجة فى الطور الثانى تشبع موجب. ويسمى هذا النموذج الشامل للتمغنط بحلقة التخلف المغناطيسى ويوضح المنحنى كيف أن الجسم المغناطيسى يبقى مستقطب مغناطيسيا بعد اختفاء القوة الأصلية للتمغنط.



شكل (5-4): حلقة التخلف المغناطيسى لمادة فيرومغناطيسية، R، R' الحث المغناطيسى المتبقى

\* هذه المواد تملك قابلية مغناطيسية عالية نسبيا وقادرة على الاحتفاظ بالمغناطيسية باستمرار.

وتوضح الحلقة الصغيرة c فى شكل (4-5) دورة التمغنط بدون تشبع. وتعتمد ظاهرة التخلف المغناطيسى على القابلية المغناطيسية الكلية لعينة الصخر وحالة التمغنط والحث المغناطيسى للمعادن المكونة لها. وتمتد أيضا لإحداثيات غير جوهرية (مثل حجم الحبيبات، الإجهاد الداخلى... إلخ) ويكون تأثيرها ممثل للقوة الجبرية  $H_c$ . وكقاعدة عامة تنتج القابلية المغناطيسية العالية من الحبيبات الكبيرة وكبر مجال التأثير الذى يحتوى عليه وسهولة التمغنط. وحيث أن الحبيبات الصغيرة صعبة مغناطيسيا لذلك تؤدي لقابلية مغناطيسية منخفضة ونسبيا لقوة جبرية عالية.

ومع أن الصخور عامة ضعيفة التمغنط فهذا لايعنى استبعادها لتوضيح المغناطيسية المتبقية، حيث أن كثير من مواد الصخور تتمغنط فى مكانها كحث استقطابى بواسطة المجال الأرضى الموجود. وغالبا ما يكون اتجاه التمغنط للصخور مختلف كلية (نهائيا) عن هذا المجال وهذا يقود لاستنتاج أن تمثيل محصلة تيار التمغنط والمغناطيسية المتبقية من المجال الحاضر مختلف كثيرا عن المجال أثناء تكون الصخر فى مرحلة الأولى.

ومنحنى التخلف المغناطيسى له تطبيقات كثيرة فى الصناعة أهمها الحصول على مادة (سبيكة معدنية) يكون لها منحنى التخلف قريب إلى العكس reversible أى  $H_c$  صغيرة جدا وكذلك R.

#### 11.2.4 التمغنط الطبيعى الباقى Natural Remnant Magnetization NMR:

هو التمغنط الطبيعى الموجود بالطبيعة ويشمل تمغنط التكوين الجيولوجى وصخوره بما فيها من خليط.

يكون لبعض الصخور مجالا مغناطيسيا طبيعيا فيما حولها وهذا ناتج من أن لهذه الصخور تمغنطا طبيعيا باقيا فيها لوجود مواد مختلطة داخلية فى تركيب هذه الصخور وذات تمغنط وتسمى حوامل مغناطيسية (magnetic carriers) وغالبا ما تكون هذه المواد فريمغناطيسية وينقسم هذا التمغنط الباقى إلى:

#### 1.11.2.4 التمغنط الحرارى الباقى Thermoremanent Magnetization TRM:

ينشأ هذا التمغنط فى عينات الصخور أو فى الصخور الطبيعية عند تبردها من درجة حرارة عالية أعلى من درجة الكورى  $T_c$  إلى درجة الحرارة العادية وفى وجود مجال مغناطيسى خارجى (مجال صناعى أو مجال مغناطيسية الأرض فى الصخور الطبيعية) وهذا النوع من التمغنط هو أهم أنواع التمغنط الباقى لأنه معروف الأصل وثابت ومنتشر بكثرة فى الصخور النارية بصورة عامة والبركانية بصورة خاصة. وهذا التمغنط هو أصل تمغنط الصخور الرسوبية ذات الأصل النارى، لذلك هو أصلح أنواع التمغنط للدراسات الباليومغناطيسية والأركيومغناطيسية.

#### 2.11.2.4 التمغنط الحرارى الباقى الجزئى Partial Thermoremanent Magnetization (PTRM):

هو جزئية من التمغنط الحرارى الباقى (TRM) أى عندما تنخفض درجة الحرارة من درجة أعلى إلى درجة أقل (كلاهما تحت درجة الكورى) فى وجود مجال خارجى تعطى تمغنطا حراريا جزئيا نتيجة لذلك. أى أن التمغنط الحرارى الباقى (TRM) هو مجموع التمغنطات الجزئية (PTRM).

#### 3.11.2.4 التمغنط الحرارى الباقي العكسى (ITRM) Inverse Thermo remanent Magnetization:

ينتج هذا التمغنط من تسخين العينة من درجة حرارة منخفضة (تحت الصفر المئوى مثلا إلى درجة الحرارة العادية في وجود مجال مغناطيسى خارجي).

#### 4.11.2.4 التمغنط الكيمائى البلورى

##### Chemical, Crystlaization, Remanent Magnetization (CCRM):

ينتج هذا التمغنط عندما يتغير التركيب الكيمائى أو البلورى في وجود مجال مغناطيسى خارجي (مجال مغناطيسى ارضى أو مجال صناعي) كحدوث أكسدة لمكونات الصخور أو إختزال أو تميؤ أو نقص التميؤ أو ترسيب مواد لاحمة بين الحبيبات أو ذوبان وإنصراف المواد اللاحمة أو إعادة تبلور أو نمو الحبيبات وهذا النوع من التمغنط موجود بكثرة في بعض الرسوبيات الحمراء الغنية بالهيماتيت وأكاسيد الحديد الأخرى وكذلك في الصخور المتحولة.

#### 5.11.2.4 التمغنط الرسوبى (DRM) Depositional, or Detrital, Remanent Magnetization:

ينشأ هذا التمغنط في الصخور الرسوبية وينتج من أن الفتات الناتج من عمليات التعرية والنحت والنقل يحتوى على حبيبات مغناطيسية صغيرة (لها طبيعة ثنائية القطب). وعند ترسبها في ماء البحار أو البرك (أو في كمية من الماء في المعمل) تميل هذه الحبيبات إلى ترتيب نفسها في إتجاه المجال المغناطيسى الخارجى السائد (المجال ارضى في حالة الصخور الطبيعية أو في مجال صناعي في التجارب المعملية) فتتراص جزئيا وينشأ هذا التمغنط الرسوبى (DRM). وهو عادة ما يكون مساويا في الإتجاه للمجال الخارجى ومتناسبا معه في الشدة. وهذا النوع من التمغنط مهم جدا في الدراسات الباليو-الأركيو مغناطيسية.

#### 6.11.2.4 التمغنط بالضغط (PRM) Pressure, or Piezo Remanent Magnetization:

ينتج هذا التمغنط من التشوه الميكانيكى للصخور في وجود مجال مغناطيسى خارجي ويمكن تسميته تمغنط الإنفعال strain remnant magnetization ويمكن أن يكون الجهد المؤثر في حيود مرونة الصخر أو خارجها. وتنشأ هذه الجهود من الحركات التكتونية أو الموجات الصدمية (shock impact) والتي بدورها تحدث تغير دائما irreversible في تركيب الجزيئات المغناطيسية المكونة للمواد. وهذا النوع من التمغنط هام جدا في دراسة التكتونية المغناطيسية (Tectono magnetism).

#### 7.11.2.4 التمغنط الحرارى مع ثبات درجة الحرارة (IRM) Isothermal Remanent Magnetization:

ينشأ هذا التمغنط في الجسم والعينة من وجود مجال خارجي في درجة حرارة معينة ثابتة وهو الجزئية البدائية من منحني التخلف المغناطيسى ومن أمثلته في الطبيعة المجال الهائل الناتج من الصواعق والذي يحدث تمغنط كبير (lightning remanence).

#### 8.11.2.4 التمغنط اللزج (VRM) Viscous Remanent Magnetization:

يحدث هذا التمغنط في الطبيعة تدريجيا في العينات أو الصخور مع مرور الزمن وفي وجود مجال خارجي ويكون معدل الزيادة في هذا التمغنط لو غارتميا مع الزمن T أى أن

$$VRM = A \log T + \beta$$

(4-12)

حيث  $\beta$ ,  $A$  ثوابت،  $\beta$  غالبا ما تكون مساوية لصفر وينتج هذا التمثيل من ترتيب بعض الجزيئات المغناطيسية في اتجاه المجال الخارجى نتيجة للتهيج الحرارى (thermal agitation) أى نتيجة لإعطاء طاقة لهذه الجزيئات فتهيج ثم تترتب في اتجاه المجال السائد عندما تبرد. تتغير درجة الحرارة فقط في حدود تغير درجة حرارة الجو أو الغرفة أو درجة الحرارة التي تكون قد تعرضت لها الصخور أثناء عمرها الجيولوجي. هذا النوع من التمثيل (VRM) مهم جدا إذ أنه يحتوى على تاريخ المجال المغناطيسى الأرضى منذ تكون الصخر وتمغنطه إما حرارى أو رسوبى. ويكون له طبقات مغناطيسية (overprints). وهذا التمثيل أيضا غير ثابت ويسهل إزالته عند إجراء القياسات بالباليومغناطيسية.

#### 9.11.2.4 التمثيل نتيجة لإثارة التيار المتردد (ARM) Anhyateretic Remanent Magnetization

هذا النوع من التمثيل يتم في المعمل فقط. ويحدث إذا وضعنا عينة من الصخور في مجالين مغناطيسين خارجين أحدهما متردد (Alternating Field (AF)) وهذا الجهد عالى يصل لحوالى 0.2 تسلا ينتج من تيار متردد في ملف والآخر مجال مستمر (Direct Field (DF)) ينتج من تيار مستمر في ملف أو من مغناطيس قوى. والمجال المتردد يتناقص إلى الصفر بينما المجال المستمر ثابت. وعليه يعمل المجال المتردد على إثارة الجزيئات المغناطيسية مدمر التراص الأصلي للعزوم المغناطيسية ويتناقص تدريجيا إلى الصفر. بينما يعمل المجال المستمر على تراص هذه الجزيئات المغناطيسية في اتجاهه فتكتسب العينات بذلك تمغنطا قويا باقيا. وهذا التمثيل يستخدم أحيانا في تجارب تعيين شدة التمثيل القديم في عينات الصخور الأثرية.

#### 10.11.2.4 التمثيل البكتيرى أو الحيوى (BM) Biological, or Bacterial Magnetization

توجد أنواع من البكتريا تعيش عند الحد الفاصل بين الماء والطين في قاع البرك والمسطحات المائية. وهى بكتريا لاهوائية تقوم بجمع وبناء حبيبات الماجنيتيت في داخلها فيما يشبه العقد. هذه الحبيبات المغناطيسية هى بلورات مكعبية صغيرة جدا في حجم الحيز البلورى المغناطيسى المنفرد (single magnetic domain crystals) (sd) أى أن هذه الحبيبات المغناطيسية تسلك سلوك السوبر بارامغناطيسية (super paramagnetics). وهذه البكتريا والتي تتفاعل مع المجال المغناطيسى الخارجى تسمى (magneto-tatic bacteria) وعند مشاهدتها تحت الميكروسكوب الضوئى أو الإلكتروني يلاحظ إندفاعها في أسراب في اتجاه المجال المغناطيسى الخارجى. وعند وضع مجالين مغناطيسيين متعامدين فإنها تدور حول خطوط القوى وتتحرك في حركة حلزونية وفى هذه الحركة يكون سعة قطر الدوران يتناسب مع شدة المجال العمودى. ومن خصائصها أنها تتحرك دائما في اتجاه المجال المغناطيسى الخارجى في أسراب تشبه أسراب الطيور المهاجرة. ولذلك يعتقد أن مثل هذه البكتريا لا بد أن تكون موجودة في مخ أو دماغ الطيور المهاجرة وأسراب الأسماك التى تسافر مسافات طويلة تزيد على آلاف الكيلومترات وتعمل هذه البكتريا كجهاز توجيه معتمدة على المجال المغناطيسى الأرضى.

#### 11.11.2.4 تمغظ المواد الأثرية Archeomagnetism:

هو تمغظ باقى إما حرارى TRM أو رسوبى DRM ولكنه يستخدم فى دراسة عمر الأثار والتغير الحقيقى للمجال المغناطيسى الأرضى والتمغظ الحرارى ينتج من أن تكون هناك أثار محروقة مثل الطوب الأحمر والفخار أو يكون فى بركانيات حديثة تاريخية. أما النوع الرسوبى فيكون فى رسوبيات البرك ومسابيها.

#### 12.11.2.4 التمغظ الكلى Total Magnetism:

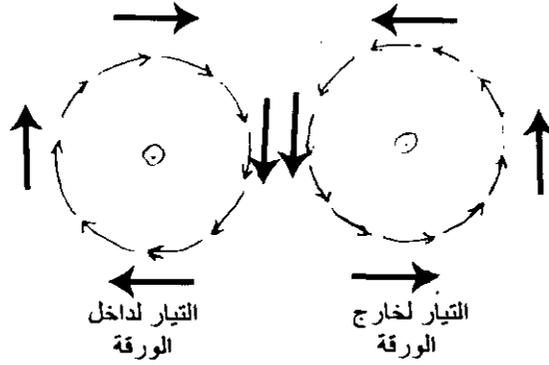
عند إجراء مسح مغناطيسى بقصد التنقيب فإن أى مادة منقبة عنها يكون لها تمغظ كلى ناتج من جزئين رئيسيين هما التمغظ الباقي remanence magnetism كما فى (11.11.2.4) والتمغظ الحثى induced magnetization وهو التمغظ الموجود فى الصخور نتيجة لوجودها حالياً فى المجال الخارجى أى فى المجال المغناطيسى الأرضى أى أن تمغظ أى نوع من الصخور هو

$$\vec{J} = \vec{J}_i + \vec{J}_r \quad (4-13)$$

حيث  $J = HK$  هى القابلية المغناطيسية،  $H$  المجال الخارجى والنسبة بين التمغظ الباقي  $J_r$  والتمغظ الحثى  $J_i$  تسمى معامل كينجسبرجر ((Keenigsberger Factor (Q)) وهذه القيمة مهمة فى معرفة شكل التمغظ النهائى للصخور فى عملية التنقيب المغناطيسى وخصوصاً إذا كان التمغظ الباقي سالباً أى عكس التمغظ الحثى. وهذا يعنى أن محصلة الجمع المتجهى للتمغظ الباقي والتمغظ الحثى تعطى فى النهاية قيمة وإتجاه التمغظ الكلى وبالتالي شكل وقيمة الشاذة الناتجة عن الجسم المنقبة عنه. هذا التمغظ الحثى الناتج من المجال الخارجى يتغير مع تغير المجال الخارجى والذى يتحكم فيه منحنى التخلف Hysteresis curve.

#### 13.11.2.4 الكهرمغناطيسية Electromagnetic:

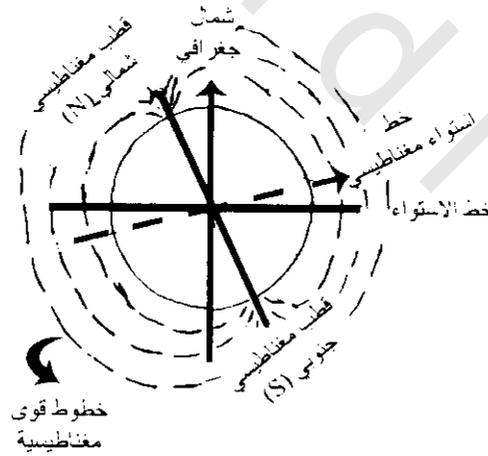
أى تيار كهربى يولد مجال مغناطيسى فى مستوى عمودى على التيار كما هو موضح بإتجاه إبرة البوصلة حول السلك شكل (4-6) فى هذا الشكل تشير الأسهم لإتجاه البوصلة حول سلك مستقيم (عمودى على الورقة) يحمل تيار ويدل هذا الشكل على أن التيار الكهربى ينتج مجال مغناطيسى له خطوط قوة دائرية ذات مركز فى السلك وتتناسب شدة المجال مع شدة التيار. أما فى حالة سلك طويل مستقيم فتتناسب شدة المجال المغناطيسى عكسياً مع المسافة من السلك ويكون هذا المبدأ مهم ليس فقط فى البحث والتنقيب المغناطيسى ولكن أيضاً فى أساسيات تصنيع لبعض أجهزة المسح المعينة. ويمكن أيضاً تفسير المجال المغناطيسى الأرضى على أساس التيارات الكهربائية بداخلها.



شكل (6-4):

### 3.4 المغناطيسية الأرضية Earth's Magnetism:

المجال المغناطيسي الأرضي ضعيف جدا حتى إذا ما قورن بمغناطيس صغير جدا ولذا من الصعب تمثيله بالتجارب. وقد فرض ويليام جيلبرت William Gilbert أن داخل الأرض يتكون من مواد مغناطيسية وأن خطوط القوى تقريبا تشبه النموذج المشار إليه ببرادة الحديد حول كرة حديدية منتظمة التماثل شكل (7-4)، ومنذ هذا التفسير والمجال المغناطيسي الأرضي ممثل كما هو في شكل (7-4) حيث يوضح الشكل أن المجال المغناطيسي على الأرض له خواص الكرة المغناطيسية المتجانسة. وأصبحت الخاصية المغناطيسية أو المغناطيسية الأرضية مهم كجزء من الجيوفيزياء.



شكل (7-4):

### 1.3.4 سبب المغناطيسية الأرضية Cause of Earth's Magnetism:

#### 1.1.3.4 أولا: مصدر خارجي External Source:

برغم الحقيقة بأن المجال المغناطيسي الأرضي واحد من أقدم الظواهر الجيوفيزيائية. فقد فرض لفترة طويلة أن أصل المجال المغناطيسي الأرضي طبيعيا من الخارج ومن هذه الإفتراضات:

#### 1.1.1.3.4: الغلاف الهوائى المتأين Ionic Atmosphere

فرض لفترة طويلة أن أصل المجال المغناطيسى الأرضى نتج أساسا من الغلاف الهوائى المتأين ثم أصبح طبيعيا خارجا عنها وأصبح هذا الغلاف هو مصدر للمجال المغناطيسى الأرضى وذلك للتأين المستمر لهذا الغلاف وكذلك لسرعة دورانه حول الأرض، وإذا كان ذلك صحيحا فيتوقع أن شدة المجال المغناطيسى سوف تقل مع العمق وتزيد مع الإرتفاع عن سطح الأرض ولكن وجد أن هذا غير حقيقى\*.

#### 2.1.1.3.4: الشمس Sun

أيضا فرض أن الشمس هى مصدر للمجال المغناطيسى الأرضى، وقد استدل على ذلك بالعواصف المغناطيسية والتي تنشأ من الانفجارات داخل الشمس وتسبب العواصف المغناطيسية. وإذا كان هذا الفرض صحيحا فمن المتوقع أن تزيد المغناطيسية بالإرتفاع عن سطح الأرض وهذا غير حقيقى.

#### 2.1.3.4: مصدر داخلى Internal Source

يمكن توضيح أصل المجال المغناطيسى الأرضى فى ضوء الإفتراضين الآتيين:

#### 1.2.1.3.4: فرض الفيرومغناطيسية (الحديدية المغناطيسية) Ferro Hypothesis

##### 1.1.2.1.3.4: القشرة Crust

لأن أغلب الصخور السطحية للقشرة الأرضية لا تحتوى على معادن مغناطيسية ( $Fe_2O_3$  &  $Fe_3O_4$ ) فإن معدل كثافتها المغناطيسية صغيرة وأقل من أن تنتج المجال المغناطيسى وأكثر من هذا فإذا كان المجال الأرضى يرجع لوجود المعادن المغناطيسية الحديدية خلال القشرة الأرضية فإنه يتوقع أن المجال فى المساحات المحيطية يكون أكبر من الموجود على القارات وهذا غير حقيقى.

##### 2.1.2.1.3.4: الستار Mantle

من المعروف أن المعادن الحديدية المغناطيسية لها درجة حرارة حرجة (نقطة كورى  $750^\circ$ ) بعدها تفقد خواصها المغناطيسية ولا يمكن تمغنطها وهذه الدرجة الحرارية موجودة عند عمق 25 كم بداخل الأرض. ولهذا عند الأعماق الكبيرة لا يتوقع وجود للمواد المغناطيسية الحديدية.

#### 3.1.2.1.3.4: لب الأرض Core

أيضا لا يكون لب الأرض مصدرا للمغناطيسية لوجوده فى صورة شبه صلدة وسائلة وذات درجة حرارة عالية جدا.

\* المجال المغناطيسى أكبر مرتين عند الأقطاب (0.6 أوستد) من قيمتها عند خط الإستواء (0.3 أوستد) وهى تنقص بسرعة من البعد عن الأرض وعلى بعد حوالى مرتين ونصف قطر الأرض فإن شدة المجال 1/8 ما على سطح الأرض.

### 3.1.3.4 فرض نظرية التيارات Current Hypothesis:

#### 1.3.1.3.4 فرض شحنات الغلاف الغازى Hypothesis of Charges of atmosphere:

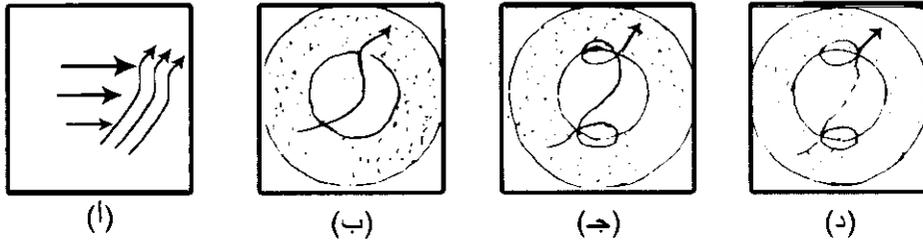
إذا احتوى الغلاف الغازى للأرض توزيعات من الشحنات السالبة فى الأجزاء الخارجية له ومساو لها شحنات موجبة على العمق فى داخله فسينتج مجال مغناطيسى بواسطة حركة الشحنات كنتيجة لدوران الأرض حول محورها. ولكن فى هذه الحالة فإن الشحنات الكهربائية يجب أن تكون كبيرة لكى تنتج معدل جهد رأسى الذى يكون كبير جدا عن الموجود والملاحظ بالغلاف الغازى.

#### 2.3.1.3.4 فرض نظرية دينامو الموانع Hydrodynamo Hypothesis:

فى عام 1958 اقترح Elsasser أن المجال الأرضى ينتج بواسطة دينامو فى داخل اللب ولقى هذا كثيرا من التأثيرات. وأدى نموذج توزيع المجال بأربع شدات عظمى (اثنتين عند الأقطاب وإثنين عند أطراف خط الإستواء) لاقتراح بديهى بإمكانية نظام الإزدواج لديناموين للمغناطيسية الأرضية. ومازالت الضوابط الطبيعية وتفصيل القوى التى تقود الدينامو غير معروفة. وعلى العموم فإن أى نتيجة تبد تأكيدا بأن ميكانيكية تحرك اللب بسبب حركة السائل داخله وبسبب دوران الأرض. ولذا اقتراح أربع مصادر للطاقة التى تحفظ اللب السائل فى حركة دوارة وتجعل المساند التحليلية كافية لدوام الحركة ذاتيا والحركة العكسية الذاتية الدينامويه وهذه المصادر هى:

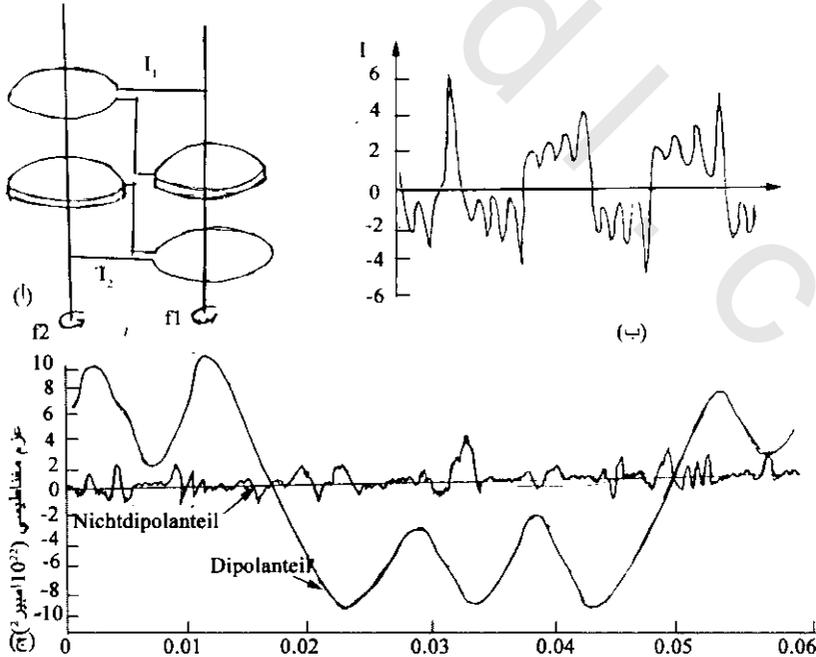
- (i) ربما مازال اللب الداخلى الصلب للأرض يكبر وتتطلق الحرارة الكافية فى عملية تحول السائل للصلب ومن الممكن أن يبرهن هذا على أن الطاقة الناتجة هى التى تحافظ على حركة السائل.
- (ii) التجمد المستمر لسائل الحديد على الحافة الداخلية والخارجية لللب السائل تسبب حركة المكونات الثقيلة باتجاه الداخل والسوائل المتبقية الخفيفة تتحرك للخارج.
- (iii) ربما لاتكون المواد السائلة للنواة قادرة لتتبع الحركة السابقة للأرض فى مدارها وينتج من ذلك تأخر حركتها مسببة تأثير حركى بواسطة الإحتكاك بين الستار والجز الخارجى للنواة.
- (iv) تنتج التيارات والخضخضة للجزء السائل من النواة من حرارة إشعاعية ، هذه الحرارة إما ناتجة عن إتجاه قطع من الستار الصلب للنواة أو أكثر احتمالا بواسطة المواد المشعة فى الجزء الداخلى للنواة.

مما سبق يتضح أنه بسبب فرق درجة الحرارة بين الجزء الداخلى من النواة والخارجى منها كبير جدا وكلاهما مختلف فى التركيب المعدنى لذلك ينتج تيار كهربى قوى مثل الذى ينتج من المزوج الحرارى thermocouple ويسرى هذا التيار حول الجزء الداخلى الصلب من النواة وينتج عنه مجال مغناطيسى عمودى على مستواه وهذا المجال هو أصل المجال المغناطيسى الأرضى. وبزيادة معدل إنتاج الكهربى (الأسهم الأفقية) شكل (4-18) عن معدل سريان المجال المغناطيسى (diffusivity والأسهم الرأسية) فتتكاثر بذلك خطوط قوى المجال المغناطيسى الأرضى ثم نتيجة إختلاف سرعة دوران الباطن الصلب عن سرعة اللب السائل تلتوى خطوط المجال المغناطيسى ويصير لها مركبات عمودية وعكسية تجعل المجال الكلى يتناقص ويمكن أن تحدث المركبات العكسية انقلاب مغناطيسى.



شكل (8-4):

ونتيجة لالتواء خطوط المجال المغناطيسي تتكاثف في مكان ما عنها في آخر ويتشوه الجزء العلوي من الفيض كما في شكل (8-4ب) وتتكون حلقات علوية كما في شكل (8-4ج) وباستمرار دوران لب الأرض تعزل هذه الحلقات العلوية جزئياً شكل (8-4د) وبمجرد بناء وتهدم الحلقات العلوية يتولد مجال كهربي والذي بدوره ينتج مجال مغناطيسي مما يسبب أن المجال يصبح ثنائي القطب. وقد تلتوى الخطوط وتعود فتصبح حلزونية القطب وينشأ أحياناً مجالاً غير ثنائي (non-dipole) ويحدث تغير حقيقياً غير منتظم الدورة هذا بالإضافة إلى أن بعض العلماء أوضحوا أن المجال المغناطيسي المنتج بالتالي مجال آخر يسمى ثنائي الدينامو (Two interconnected dynamics) حيث وضح هذا تجربة لويس وولكنسون 1968 Lowes and Wilkinson وذلك بدوران اسطوانتين في زنيق أحدهما علوية والأخرى سفلية (يمثلان ديناموين) وأن المجال المغناطيسي الناتج عنها يمثل ما يمكن أن يحدث في لب الأرض وسوف يستمر بذلك الدينامو الأرضي بالعمل وينتج المجال المغناطيسي الأرضي بذاته. وقد وضح كوكس 1968 Cox أن التيارين الناشئين عن كلا الدينامو الأول والثاني يمكن أن يكونا متضادين في الإتجاه شكل (8-4) بحيث أن مجموعهما يتكون من جزئين أحدهما يتبع مجال ثنائي القطب dipole field والآخر له سلوك آخر non-dipole field وعندما يزيد الجزء الثاني كثيراً عن الجزء الأول يحدث انقلاب في إتجاه المجال المغناطيسي الأرضي reversal of geomagnetic field polarity.



شكل (9-4): (أ) ثنائي الدينامو وكيف يغذى الآخر، (ب) مجموع التيارين الكهربيين الناتجين منهما وكيف يكونا متضادين في بعض الأحيان، (ج) يتسبب زيادة الجزء الغير ثنائي القطب عن الجزء الثنائي في حدوث الانقلاب في إتجاه المجال المغناطيسي الأرضي (سوفيل 1991 Soffil)

### 2.3.4 عناصر المجال المغناطيسي الأرضي Elements of Earth's Magnetism:

يختلف شدة وإتجاه المجال المغناطيسي الأرضي على سطح الكرة الأرضية من نقطة إلى أخرى. لذلك إذا وضعت إبرة مغناطيسية حرة فإنها توجه نفسها حول نقطة عند مركزها إلى وضع في الفراغ محدد بواسطة إتجاه المغناطيس الأرضي الكلي (total magnetic field F) عند هذه النقطة.

#### 1.2.3.4 العلاقة بين عناصر المجال المغناطيسي

##### Relation Between Elements of Earth's Magnetism:

$$H = F \cos I \quad (4-14a) \quad \& \quad V = F \sin I \quad (4-14b)$$

$$\therefore V = H \tan I \quad (4-15a) \quad \& \quad I = \tan^{-1} V/H \quad (4-15b)$$

$$\& \quad X = H \cos D = F \cos I \cos D \quad (4-16)$$

$$\& \quad Y = H \sin D = F \cos I \sin D \quad (4-17)$$

$$\& \quad X^2 + Y^2 = H^2 \quad (4-18)$$

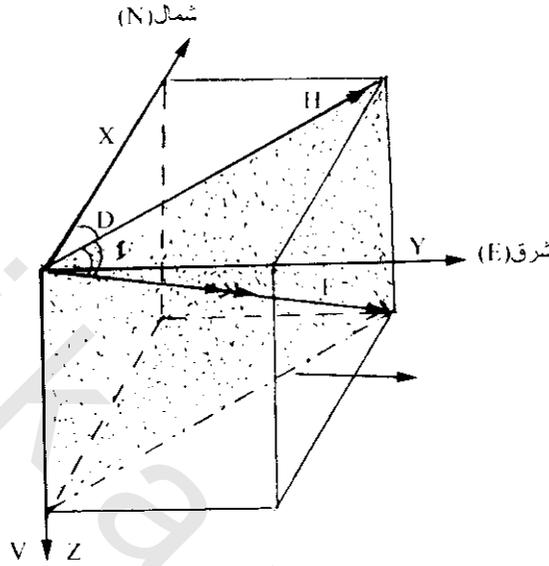
$$\therefore X^2 + Y^2 + Z^2 = H^2 + V^2 = F^2 \quad (4-19)$$

مركبات المجال المغناطيسي شكل (10-4) D, I, H, Z, Y, X يمكن حسابها بمعرفة ثلاثة مركبات فقط باستخدام المعادلات السابقة، فمثلا في مرصد المسلات بمصر تقاس المركبة الأفقية H، والرأسية Z وزاوية الانحراف D. وتوجد مراكز دولية لتجميع بيانات القياسات من المراصد المختلفة للعالم وبها يدرس المجال المغناطيسي الأرضي وتغيراته واختلافاته وتوزيعه بحيث يعطى صورة متكاملة عن سلوك هذا الجزء من فيزياء الأرض، ويتم كل مدة زمنية رسم خرائط توزيع شدة المجال المغناطيسي (F) وكذلك توزيع شدة المركبة الأفقية H وتوزيع شدة المركبة الرأسية (V) وتوزيع زاوية الانحراف D وتوزيع زاوية الميل I.

جمعت نتائج المغناطيسية من المراصد وعبر عشرات السنين في جميع أنحاء العالم، ومن تحليل هذه النتائج المجمع على خرائط عالمية وجد أن عزم ثنائي القطب والذي يعد أحسن ملائمة للمجال الحقيقي الأرضي يكون تقريبا  $(8.10^{25} \text{ e.m.u})$   $8 \times 10^{22} \text{ Am}^2$  بميل محوري حوالى  $11.5^\circ$  مع المحور الجغرافي شكل (4-11) بشدة مغناطيسية أفقية H تقريبا  $30 \mu\text{T} = 30,000 \gamma$  عند خط الإستواء المغناطيسي وشدة مغناطيسية رأسية Z تقريبا  $60,000 \gamma = 60 \mu\text{T}$  عند كل قطب مغناطيسي للأرض.

ويطلب تحديد الأقطاب المغناطيسية بعض الحذر. فمحور ثنائي القطب المركزي يقطع سطح الأرض عند نقطتين تشيران للأقطاب المغناطيسية الأرضية شكل (4-11) هذان القطبان يقعان تقريبا عند  $71^\circ\text{E}$ ,  $78.8^\circ\text{N}$  (شمال غرب جرينلاند)  $9^\circ\text{E}$ ,  $78.8^\circ\text{S}$  (في أنتركتيكا). ومن جهة أخرى فهناك نقطتين أساسيتين على سطح الأرض حيث المجال المغناطيسي عندها يتجه رأسيا لأسفل ( $I = 90^\circ$ ,  $H = 0^\circ$ ) تسميان (أقطاب الميل Dip poles أو أقطاب الإنغماس). يقع هاتين القطبين تقريبا عند  $101^\circ\text{W}$ ,  $76^\circ\text{N}$ ,  $141^\circ\text{E}$ ,  $66^\circ\text{S}$ . ولا يوجد مقابل لقطب ولكن تقريبا يظل تابع له، وقطب ثنائي اختلاف المركز يقع على بعد 300 كم من مركز الأرض.

وقد غطت بكثرة فائقة قياسات الأقمار الصناعية للمجال المغناطيسي الكلي أو لمركباته  $H$ ,  $Z$ ,  $H$  للكرة الأرضية وحسنت بذلك نوعية النتائج المستخدمة لتحليل المجال الأرضي. ويسمى القبول الواسع المثالي للإمداد الملانم الخاص بالمجال المغناطيسي الأرضي بمرجع المجال المغناطيسي العالمي International Geomagnetic Reference Field (IGRF) وهذا يصحح كل خمس سنوات.



شكل (4-10): عناصر المغناطيسية الأرضية.  $F$  = المجال الكلي ،  $H$  = المركبة الأفقية (تحلل إلى  $X, Y$ ) ،  $V$  = المركبة الرأسية (إتجاه  $Z$ ) ،  $D$  = زاوية الانحراف (بين الزوال المغناطيسي والإتجاه الشمالي الجغرافي) ،  $I$  = زاوية الميل المغناطيسي (بين  $H$  و  $F$ ) ، مستوى الزوال المغناطيسي  $Mag$ .

ملحوظة: المستوى الرأسى بين  $H$  و  $F$  يسمى الزوال المغناطيسى المحلى ، بينما المستوى  $XZ$  يكون الزوال الجغرافى

#### 2.2.3.4 ميل المجال المغناطيسى الأرضى Inclination of the Geomagnetic Field

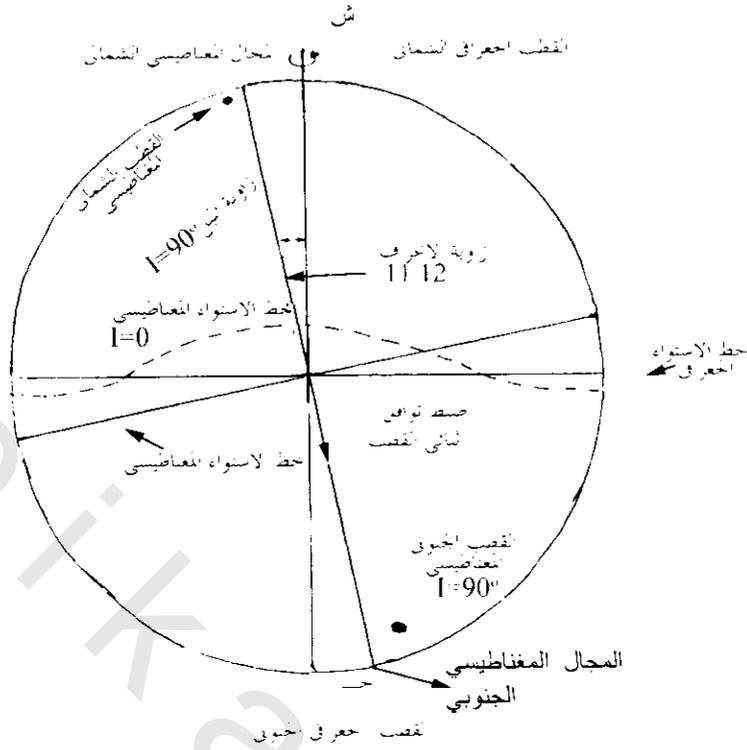
كتقريب أولى فان المجال المغناطيسى الأرضى يمثل بواسطة قطب ثنائى عند مركز الأرض متجه للقطب الجنوبى الجغرافى ويسمى قطب ثنائى المركز الأرضى geocentric dipole.

ويعطى المجال الموجود على سطح الأرض بواسطة الجزء الأول من تمثيل التوافق الكروى للمجال الأرضى المستمر فى أجزاء عن خطوط الطول والعرض الجغرافية. شكل (4-12) يوضح إمكانية الحصول على المجال المغناطيسى الكلى  $F$  عند نقطة من خط العرض  $\lambda$  على سطح الأرض وذلك من مجموع المتجهات لمركبات الشمال  $X$  والرأسية  $Z$  والممكن الحصول عليها من التفاضل السالب للمعادلة

$$U(P) = \vec{M} \frac{\cos \theta}{r^2} \quad (4-20)$$

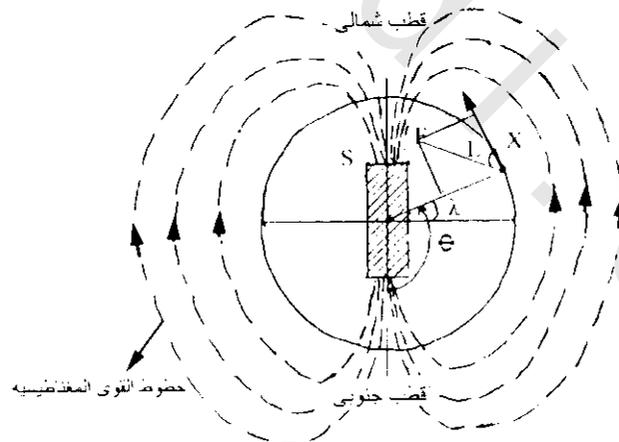
حيث  $P$  = المجال ،  $M$  = العزم المغناطيسى ،  $\theta$  = الزاوية بين العزم المغناطيسى ونصف القطر  $r$ .

\* تأخذ المركبة الأفقية على سطح الأرض الإتجاه من الجنوب للشمال.  
\*\* تكون المركبة الرأسية موجبة (+) لأسفل وسالبة (-) لأعلى.  
\*\*\* إشارة زاوية الميل تتبع إشارة المركبة الرأسية (موجبه لأسفل وسالبة لأعلى).



شكل (4-11): الإنحراف بين المغناطيسية والمجال المغناطيسي والأقطاب الجغرافية (McElhinny 1973).

ملحوظة: القطب المغناطيسي الجنوبي يقع حول الشمال الجغرافي لذلك يجذب المؤشر الشمالي لإبرة البوصلة. وعرفيا فإن المجال المغناطيسي عند ( $I=±90°$ ) حول الشمال الجغرافي يشار إليه كقطب شمالي مغناطيسي، والتي حول الجنوب الجغرافي يشار إليه كقطب جنوبي مغناطيسي.



شكل (4-12): ميل المجال المغناطيسي لقطب ثنائي المركز الأرضي

$$\tan i = 2 \tan \lambda = 90 + \lambda$$

مع إعتبار أن المسافة الشمالية  $r, rd\theta$  تتجه لأسفل وعلاقة خط العرض مع  $\theta$  بواسطة  $(90+\lambda)$  لذلك فإن  $\cos \theta = -\sin \lambda$ . أيضا فإن إتجاه الشمال عكس ثنائي القطب المغناطيسي وللمحافظة على هذه الإتجاهات في خطوط مستقيمة فإن إتجاه الشمال يكون

$$X = -\frac{1}{r} \frac{\partial u}{\partial \theta} = \frac{\vec{M}}{r^3} \cos \lambda \quad (4-21)$$

والمركبة الرأسية

$$Z = -\frac{\partial u}{\partial r} = \frac{2\vec{M}}{r^3} \sin \lambda \quad (4-22)$$

من هاتين المعادلتين يلاحظ أن قوة المجال المغناطيسى الأرضى يكون عند الأقطاب ضعف ما عند خط الإستواء. ومن قيمة المجال المغناطيسى الأرضى الملاحظ عند خط الإستواء والذى قيمته 0.3 جاوس فيمكن حساب القيمة الصورية لمركز ثنائى القطب الأرضى وهى حوالى  $8 \times 10^{25}$  سم جم.ث.

**ملحوظة:** جميع النقط على سطح الأرض والتي عندها المجال الكلى الأرضى يتجه رأسيا لأسفل ( $I = 90^\circ$ ) أو لأعلى ( $I = -90^\circ$ ) تسمى أقطاب الميل المغناطيسى. وللأرض قطبى ميل أساسين، الشمالى موجود فى جزر بافن Baffin فى نصف الكرة الأرضية الشمالى والجنوبى فى أنتاركتيكا Antarctica فى نصف الكرة الجنوبى.

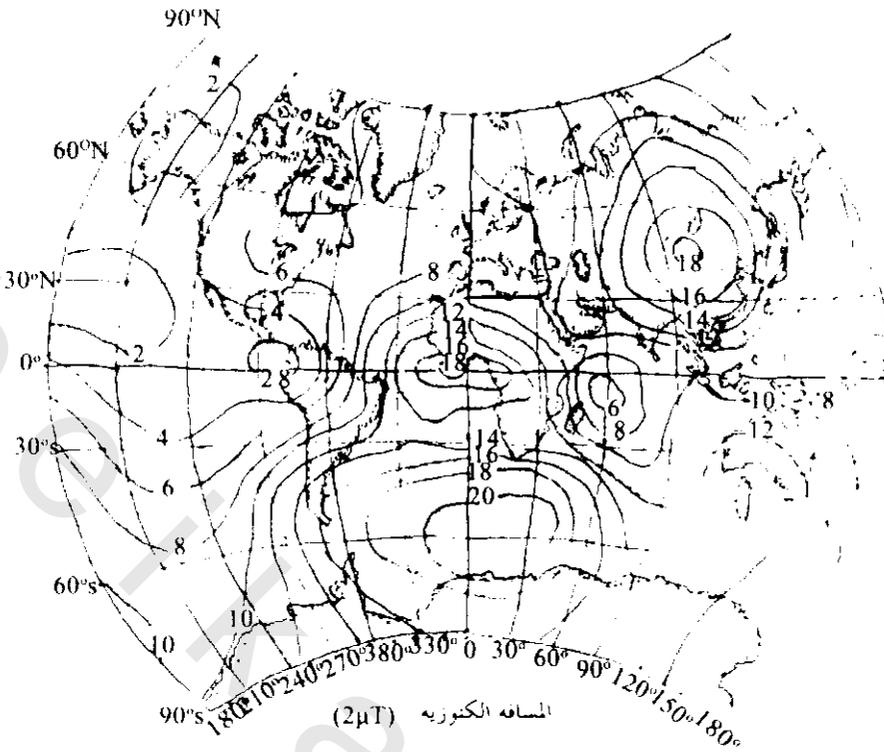
#### 3.2.3.4 مجال عدم ثنائى القطب Nondipole Field:

برغم أن مجال ثنائى المركز (بميل  $11.5^\circ$  عن المحور الجغرافى) مقارب للمجال الحقيقى الأرضى فإنه يوجد انحراف بينهم يجب مراعاته لذا فعند طرح مجال ثنائى القطب من المجال الملاحظ (المجال الحقيقى الأرضى) ينتج ما يسمى مجال عدم ثنائى القطب.

يوضح شكل (4-13) الشدة الكلية لمجال عدم ثنائى القطب عبر سطح الأرض. ومن أهم ظواهر هذه الخريطة هو أن لها شذوذ مقياسى واسع ممتد عدة آلاف من الكيلومترات بسعة تصل  $20 \mu T$  (حوالى 30% من المجال الكلى الأرضى). وهذا المقياس الواسع لا يرى أى علاقة واضحة بين الجغرافيا أو الجيولوجيا. وغالبا ما يرجع هذا المجال لمصادر عميقة داخل الأرض. والذى يظهر بواسطة مجالات من 8-12 ثنائى أقطاب متشعبة السائل. هذا المجال مهم للإشارة بأن ثنائى القطب المغناطيسى يستخدم كتقريب للتيار الكهربى فى قلب الأرض والذى يكون الرأى لإنتاج المجال الأرضى الأساسى ونظرية الدينامو.

يوجد أيضا عدة مجالات محلية لعدم ثنائى القطب والتي لم تظهر على الخريطة شكل (4-13) سعتها حوالى  $95 \mu T$  (أهمها عند كورسك Kursk جنوب موسكو) وأصل هذه الشواذ يرجع لتباين المغنطة المحلية فى صخور القشرة الأرضية (ربما للحث المغناطيسى أو المغناطيسية المتبقية أو كلاهما) وهى مغناطيسية سفلى لعمق حوالى 25-30 كم حيث تصل إلى درجة تساوى درجة حرارة نقطة كورى\*.

\* درجة حرارة نقطة كورى هى  $750^\circ$  وعندما تزال المغناطيسية.



شكل (4-13): الشدة الكلية لمجال غير مزدوج 1980 (بيدي 1982)

#### 4.4 تغيرات المجال المغناطيسي الأرضي Geomagnetic Field Variation:

يوجد نوعين من هذه التغيرات:

##### 1.4.4 أولاً: بالنسبة للمكان: Variation with Position (Latitude and Longitude Variation)

يرتبط هذا التغير بالتغير في عناصر المجال المغناطيسي، فتكون الشدة الرأسية قيمتها صفر عند خط الإستواء المغناطيسي\* بينما تصل إلى أقصى قيمة لها حوالي 0.6 جاوس (أورستد) عند الأقطاب المغناطيسية للأرض. وعلى العكس فإن الشدة الأفقية تقل من أقصى قيمة لها 0.3 جاوس (أورستد) عند خط الإستواء المغناطيسي إلى الصفر عند الأقطاب المغناطيسية.

أما زاوية الميل المغناطيسي فتساوي تقريباً صفر عند خط الإستواء وتزداد حياً في اتجاه الشمال أو الجنوب لتصل لقيمة مقدارها 90° عند الأقطاب المغناطيسية. جميع الخطوط المارة بجميع النقط على سطح الأرض والتي لها نفس زاوية الميل تسمى خطوط كتور تساوي الميل isoclinic contour lines.

تتغير زاوية الانحراف المغناطيسي من اتجاه الشرق للغرب وتسمى الخطوط المارة خلال النقط التي لها نفس قيمة زاوية الانحراف بخطوط الأزوجونال isogonaliens.

\* خط تصوري يسير بالقرب من خط الإستواء ولكن غير موازي له.  
\*\* خط الإستواء المغناطيسي هو خط تساوي الميل لقيمة مقدارها 90°.

#### 2.4.4 ثانيا: تغير مع الزمن Variation with Time:

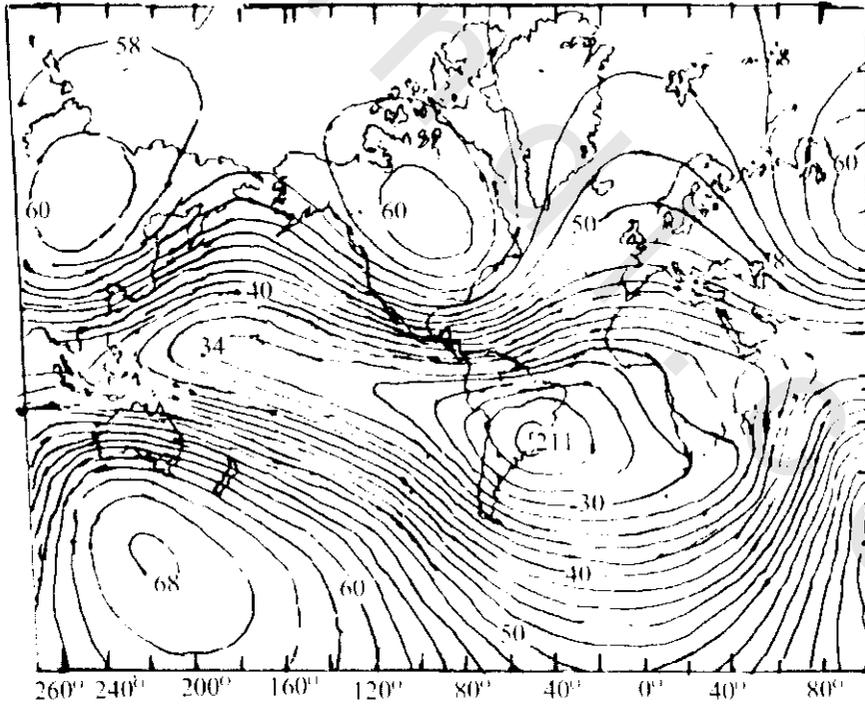
##### 1.2.4.4 تغيرات على فترات طويلة Long-Period Changes:

تحدث هذه التغيرات في الجزء الكبير الرئيسي من المجال المغناطيسي للأرض وهو الجزء الداخلي.

##### 1.1.2.4.4 تغير حقبى Secular Changes:

يأخذ هذا التغير شكل إنحراف للمجال المغناطيسي الأرضي بسبب التغير التدريجي لكل من الإنحراف والميل عند محطات قياس المغناطيسية الأرضية. مثل هذا التغير يتم لكل عشرات من السنين وكذلك القرون. وتسجل غالبا هذه النتائج على خرائط أيزوبورك Isoporic maps. وينتج هذا التغير أساسا من المجال المغناطيسي الإضافي بواسطة الحركة التفاوتية\*\* داخل سائل قلب الأرض نفسه وبين قلب الأرض والستار الذي يعلوه، ويقاس هذا التغير بعدة طرق:

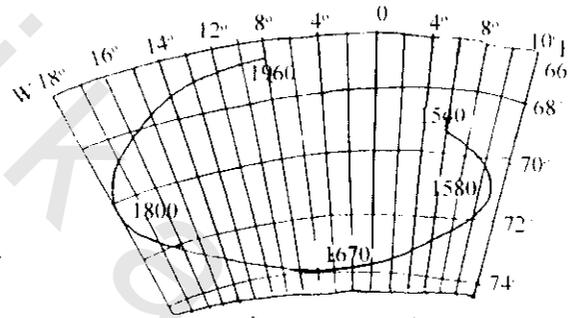
1.1.1.2.4.4 تكرار قياس المركبات المختلفة للمجال المغناطيسي الأرضي في نقطة ما يمر أزمنا طويلة والتغير المنتظم في القيم المطلقة لهذه المركبات هو التغير الحقبى وقياس هذا التغير عبر أزمنا وأماكن مختلفة تنتج خرائط أيزوبورك، ويوضح شكل (4-14) معدل المجال الكلي حول العالم 1965 ويلاحظ مساحة التغير الأعظم في المحيط الجنوبي. ويوضح شكل (4-15) أن الإنحراف والميل قد تغير دوريا في لندن خلال القرون الأربعة الماضية.



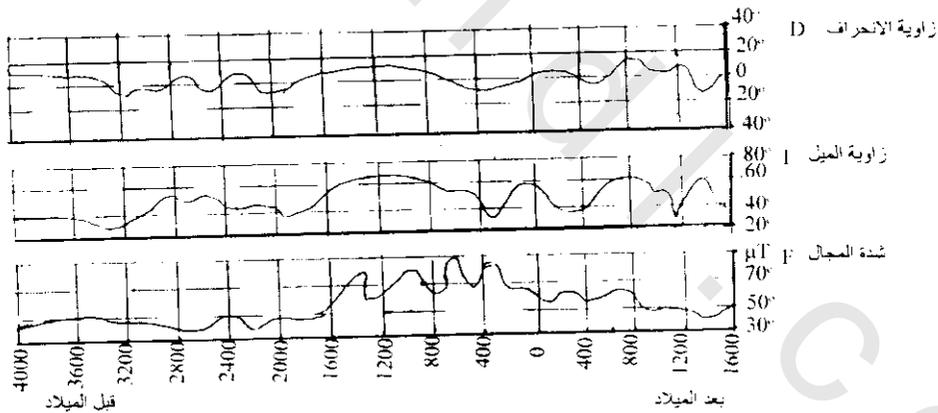
شكل (4-14) الشدة المغناطيسية الكلية عبر الأرض في عام 1965. الكنتور بالآلف جاما.

\* خط أيزوبورك هو خط تساوي التغير السنوي للمغناطيسية (المجال الكلي، زاوية الإنحراف، زاوية الميل).  
\*\* تنتج الحركة في قلب الأرض من تيارات الحمل الناتجة من التدرج الحراري في داخل قلب الأرض. وحيث أن الجزينات أكثر تأثرا على تيارات الحمل فإن الجزينات ذات العزم الزاوي الكبير تتحرك في اتجاه الداخل بينما جزينات العزم الزاوي الصغير تتحرك للخارج. ونتيجة لذلك فإن الخارجي للوضع يوضح انخفاض سرعة، بينما الجزء الداخلي يشير لارتفاع سرعة.

2.1.1.2.4.4 يقاس هذا التغير أيضا باستخدام تمغنت المواد الأثرية (Archaeo-magnetic data) وهذه البيانات تغطي أزمنة طويلة أقدم كثيرا من الأرصاد المغناطيسية في المراصد الجيوفيزيائية حيث أن المواد الأثرية والرسوبيات والبركانيات صنعت وحرقت وتكونت في وجود المجال المغناطيسي الأرضي، والذي كان موجودا أثناء تكوينها وبالتالي اكتسبت تمغنتا تساوى في الإتجاه ويتناسب في الشدة مع المجال المغناطيسي الأرضي الموجود وقت تكون هذه المواد وهذا التمغنت يسمى الحفرية المغناطيسية Magnetic fossil وبه يمكن قياس شدة المجال الأرضي القديم. شكل (4-16) يوضح التغير الحقبى للمجال المغناطيسي الأرضي بمصر عند خط عرض (28°N) مأخوذ من قياسات شدة المجال (F)، زاوية الميل (I) وزاوية الإنحراف (D) استخدام عينات أثرية حيث تظهر المنحنيات أن التغير الحقبى له دورة كل 400 سنة ومضاعفاتها.



شكل (4-15): التغيرات في الإنحراف والميل في لندن منذ عام 1580

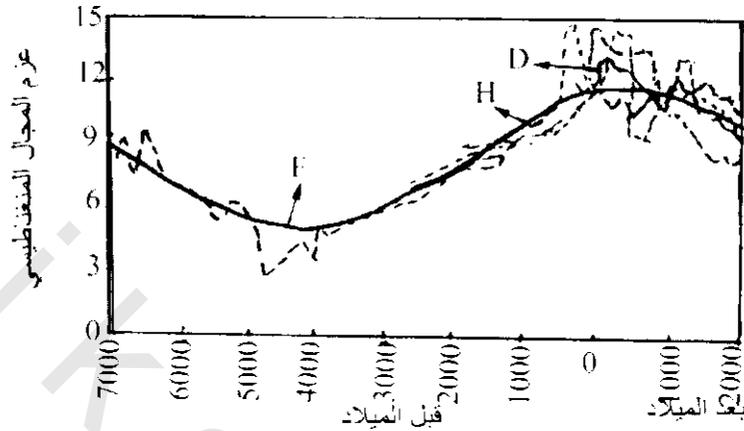


شكل (4-16): التغير الحقبى في إتجاه المجال المغناطيسي الأرضي زاوية الإنحراف (D)، وزاوية الميل (I) وشدته (F) في مصر عند خط عرض متوسط (38° شمالا) خلال الستة آلاف سنة الماضية مأخوذة من دراسة التمغنت الأثرية (Hussuin, 1987) (Archaeomagnetism)

3.1.1.2.4.4 طريقة حساب عزم المجال المغناطيسي للكرة الأرضية (شدة المجال المغناطيسي \* حجم الكرة الأرضية). يبين شكل (4-17) التغير الحقبى للأرض خلال 9 آلاف سنة ماضية. ومن هذا الشكل نجد أن المجال المغناطيسي الأرضي كان نهاية صغرى عند 4500 سنة قبل الميلاد. ونهاية عظمى عند سنة 200 ميلادية وأن التغير الحقبى له دورة طويلة طولها 9400 سنة ميلادية.

\* شدة المجال المغناطيسي يحصل عليها من بيانات التغير الحقبى للأجهزة instrumental data وبيانات المغناطيسية الأثرية Archaeo-magnetic data.

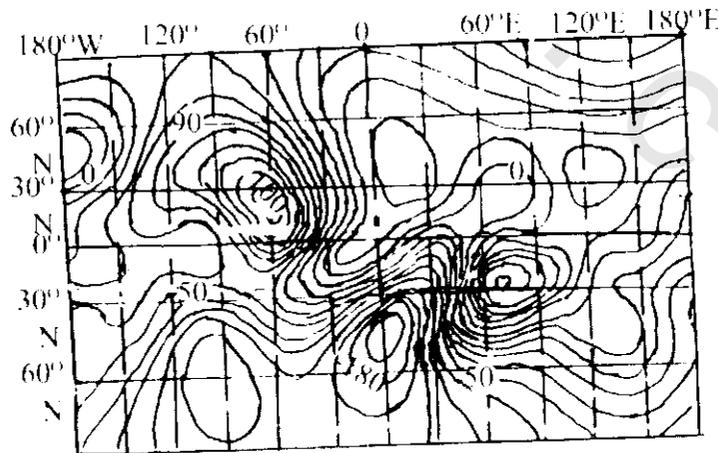
4.1.1.2.4.4 استخدام التحليل الهارمونى الكرى مع الإستفادة من البيانات المقاسة. يتم هذا لتغطية المناطق الشاسعة من الكرة الأرضية مثل المحيطات والصحراء والتي لاتجرى فيها قياسات مغناطيسية متكررة. والشكل (4-18) يبين خريطة كونتورية للتغير الحقبى فى المركبة الرأسية للمجال المغناطيسى الأرضى للحقبة ما بين 1942، 1995.



شكل (4-17): التغير الحقبى فى عزم المجال المغناطيسى الأرضى (محور الصادات القيم المعطاه  $10 \times 22$  بير.متر<sup>2</sup>) خلال التسعة آلاف سنة الماضية، إستخدمت البيانات المتوفرة لقيم شدة المجال المغناطيسى الأرضى (F) مأخوذة من دراسة مغناطيسية الآثار ومضروبة  $\times$  حجم الأرض (V) (العزم المغناطيسى = F.V) (بيوشا 1970 Bucha)

#### 2.1.2.4.4 الإنتقلاب فى إتجاه الشمال :Magnetic Polarity Reversals

يغير المجال المغناطيسى الأرضى إتجاهه عبر الأعمار الجيولوجية المتتابة أى قد مرت فترات طويلة على إمتداد العمود الجيولوجى كان إتجاه المجال عكس إتجاهه الحال. ويتم دراسة ذلك بالطرق الآتية:



شكل (4-18): توزيع التغير الحقبى (نانوتسلا/سنة) ما بين 1942، 1995. المسافة الكنتورية 1000 نانوتسلا (بلاكلى Blakely) 1995

#### 1.2.1.2.4.4 قياس إتجاه التمغظ في عينات صخرية:

تكتسب الصخور الرسوبية تمغظا له إتجاه المجال المغناطيسي الأرضي أثناء ترسبها ويسمى ذلك بالتمغظ الرسوبي الباقي (Deposition Remanent Magnetization (DRM)، وأيضاً عندما تبرد الصخور البركانية من درجة حرارة الصهير إلى درجة حرارة الجو تكتسب تمغظا له إتجاه المجال المغناطيسي الأرضي الموجود في وقت التبريد ويسمى هنا التمغظ Thermo-Remanent Magnetization (TRM). وقياس إتجاه التمغظ في عينات من طبقات الصخور الرسوبية والصخور النارية ممكن معرفة إتجاه المجال المغناطيسي وقت تكون هذه الصخور. وبمعرفة عمر الطبقات الرسوبية (باستخدام الحفريات والتتابع الرسوبي) يمكن معرفة إتجاه المجال المغناطيسي في هذه الأعمار شكل (4-19) يوضح وضع تدرج (scale) للإتقلبات في إتجاه المجال المغناطيسي الأرضي خلال الأعمار الجيولوجية المختلفة فيما يعرف بتدرج الأستقطاب المغناطيسي (polarity scale) (geomagnetic time) ويستخدم هذا التدرج في دراسات التتابع الرسوبي والمقارنة بين القطاعات الرسوبية ويسمى هذا الفرع من العلوم المجنتوستراتجرافي (magnetostratigraphy).

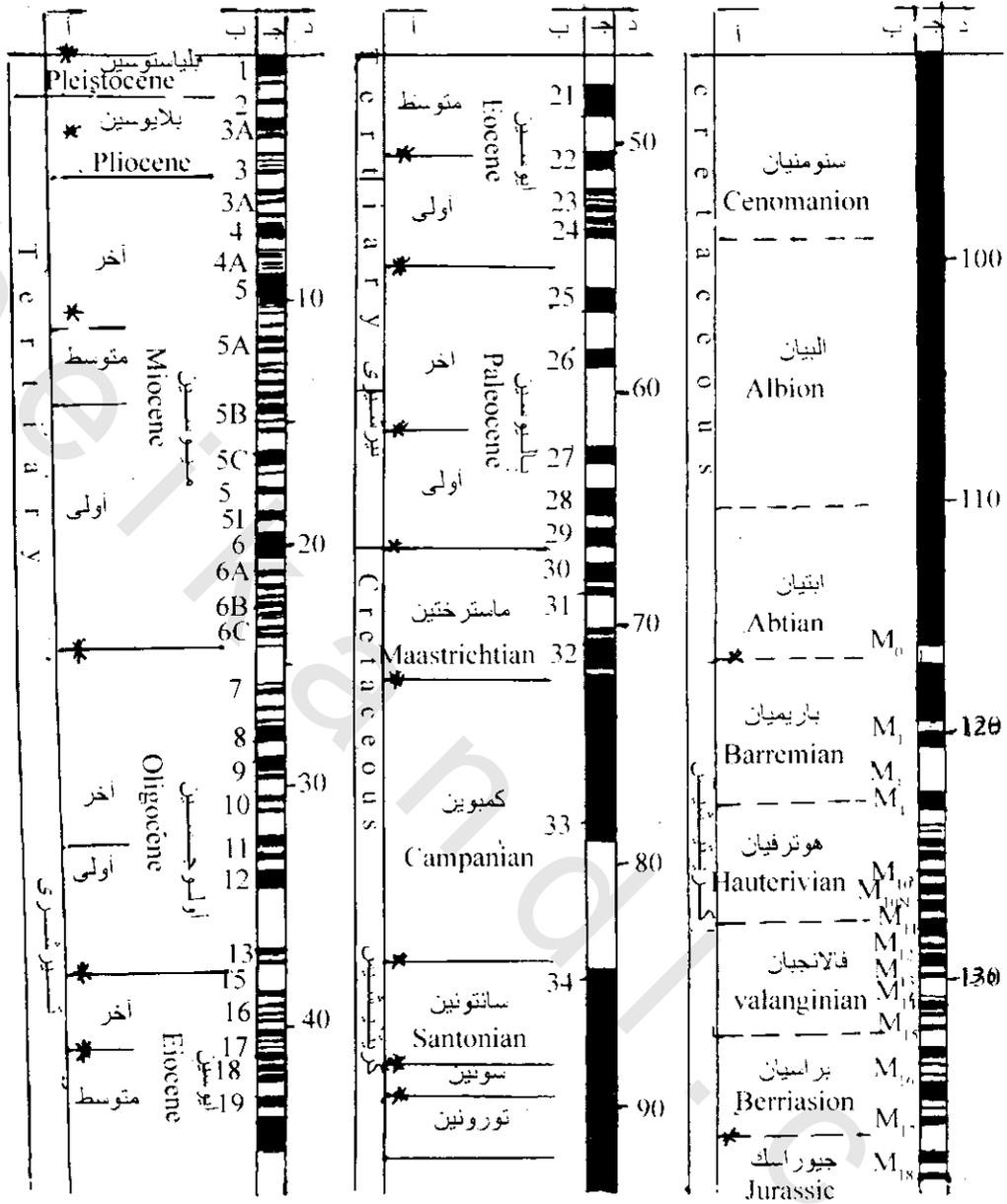
#### 2.2.1.2.4.4 نظرية إنتشار قاع المحيط Sea Floor Spreading:

تنتج من حركة المسطحات مثل تباعد المسطح الإفريقي وسطح أمريكا الجنوبية وكذلك المسطح العربي والمسطح النوبي في أفريقيا وتتكون بذلك القشرة المحيطية حيث أن إنتشار المحيط يعني خروج بركانيات في وسط البحر أو المحيط ثم يتسع البحر وتخرج بركانيات أخرى وسط البركانيات الأولى وهكذا وبالتالي ينتج تتابع من البركانيات ذات الأعمار المتتابعة أحدثها في الوسط وأقدمها على الجانبين.

وبقياس المجال المغناطيسي في البحر عموديا على إتجاه حركة الإتساع يمكن معرفة ما إذا كانت هذه البركانيات الموجودة في قاع المحيط موجبة (في إتجاه المجال الحالي) أم سالبة التمغظ (عكس الإتجاه الحالي للمجال المغناطيسي الأرضي) وبمعرفة عمرها يمكن إستنتاج تدرج الإتقلبات المغناطيسية وكذلك يمكن المقارنة مع التدرج المنتج بالطريقة السابقة (1) في معدل إنفتاح البحر أو المحيط. يوضح شكل (4-20) نموذج لتعيين تدرج الإتقلاب المغناطيسية من القياسات على خط منتصف البحر.

#### 3.2.1.2.4.4 رحلة قصيرة Excursion Time:

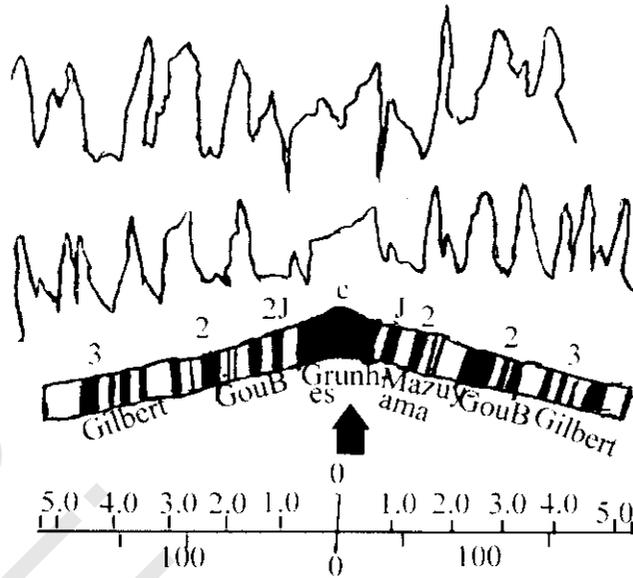
وهي طريقة عن آخر انقلاب مغناطيسي خلال البلاستوسين العلوي والهولوسين وفيها يقاس التتابع المغناطيسي في الرسوبيات الحديثة المأخوذة من قاع المحيط ومن رسوبيات البرك والبحيرات التي تصب فيها الأنهار وفي الرسوبيات الطينية الحديثة في اليابسة مثل رسوبيات دلتا الأنهار ومناشبه ذلك بقصد الحصول على هذه الإتقلبات المغناطيسية، شكل (4-21) يوضح هذه الإتقلبات.



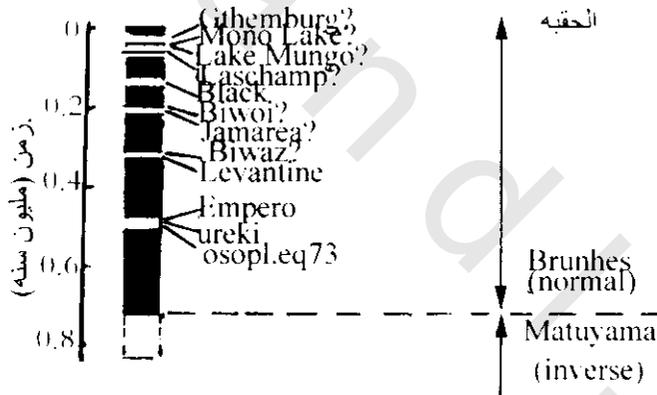
مستوى مقارنة الطبقة المغناطيسية  
(Magnetostratigraphic)

عادي ■  
عكسي □  
قطبية المغناطيس

شكل (4-19): مراجعة زمن القطبية المغناطيسية. مقياس زمن الجزء الحديث إلى الكابيان موضوع على أساس لويري والمفتيز Lowrie and Alvarez 1981 والجزء القديم معدل عن لارسون وهيلد Larson & Hilde 1975 (التوضيحات أ) الأحقاب الجيولوجية، ب) عدد شذوذ المحيط، ج) استقطاب المغناطيسية الأرضية، د) الزمن بمليون سنة (لويري Lowrie 1982)



شكل (20-4): تتابعات الانقلابات المغناطيسية من استنباط بيانات القياسات المغناطيسية عبر بروفييل عمودي على منتصف المحيط axial truff. اللون الأسود في إتجاه المجال الحالى normal. اللون الأبيض عكس المجال المغناطيسي الأرضي الحالى reversed (جوردن واكتون Gordon and Acton)



شكل (21-4): الانقلابات المغناطيسية خلال 0.7 مليون سنة الماضية (Excursion time). اللون الأسود: إتجاه المجال الحالى (normal polarity). اللون الأبيض: عكس الإتجاه الحالى (inverse polarity) (Petersen 1986)

#### 3.1.2.4.4 Short-Period Changes تغيرات قصيرة الفترة

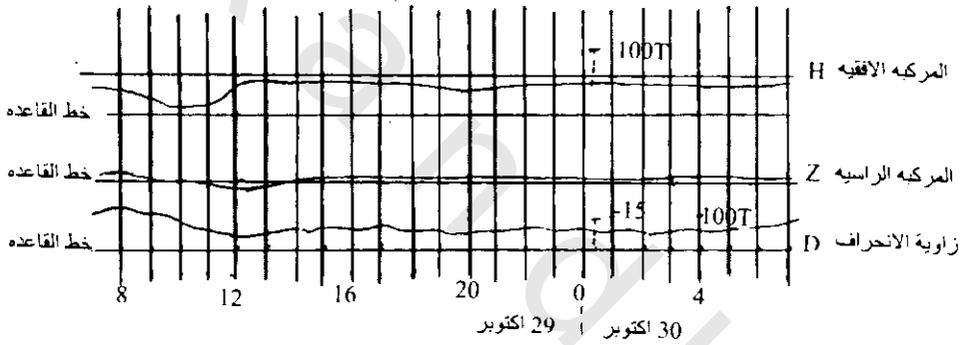
تحدث هذه التغيرات فى الجزء الصغير من المجال المغناطيسى للأرض وهو الجزء الخارجى وهناك نوعين لهذا التغير.

#### 1.3.1.2.4.4 Quite Change تغير هادئ

وينشأ من تغير الأيونوسفير ionosphere أو من تأثير المد Tidal effect ويعمل هذا التغير بفترات (يومية - أسبوعى - شهرى - 6 أشهر).

## التغير اليومي الهادئ : Quiet Daily Variation

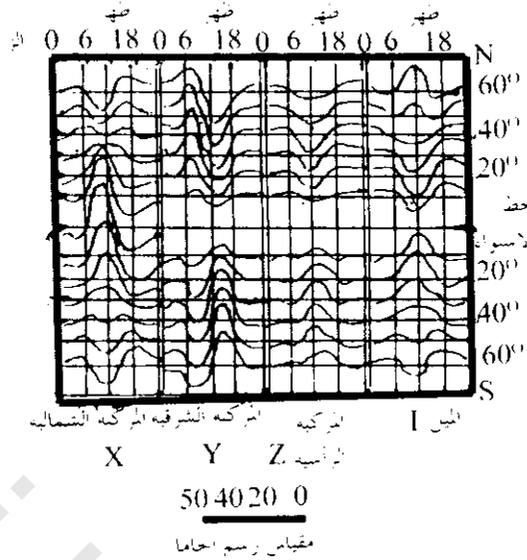
ينشأ هذا التغير من الحركة اليومية المنتظمة للغلاف الهوائى المتأين (أيونوسفير ionosphere) تبعاً لشرق الشمس وغروبها حيث يتمدد هذا الغلاف ويرتفع عن سطح الأرض بشرق الشمس وتسخينها له حسب ساعات النهار ثم يقترب لسطح الأرض لغروب الشمس وحلول الليل فيبرد وينكمش وهكذا. هذه الدورة التى تستغرق 24 ساعة يحدث خلالها تحرك أيونات الغازات فى الغلاف الهوائى محدثة تيارات كهربية منتظمة تنتج مجالاً مغناطيسياً له دورة منتظمة مقدارها 24 ساعة هذا المجال هو ما تقيسه المراصد على أنه التغير اليومي الهادئ (Solar quite (sq)) وحيث أن هذا التغير الهادئ يعتمد على موقع الشمس بالنسبة لمكان القياس (مكان المراصد المغناطيسية) لذلك فإن هذا التغير ودورته تعتمد على خطوط العرض وكذلك فصول السنة. ونتيجة لذلك فإن كل مرصد على سطح الأرض له منحنيات قياسية خاصة به ويتم حساب هذا المنحنى بأخذ متوسط المجال خلال ساعة لأكثر من خمسة أيام هادئة فى كل شهر من فصول السنة. وتكون هذه المنحنيات هى التى تمثل التغير الشمسى الهادئ (Sq). وقد وجد أن هذا التغير حوالى 30 جاما. ويوضح شكل (4-22) التسجيل البياني فيوم هادئ المغناطيسى.



شكل (4-22): التسجيل البياني المغناطيسى لتغير يوم هادئ نمونجى فى الشدة الأفقية H، والرأسية Z، والانحراف D فى نيكسون-أريزونا (29، 30 أكتوبر 1947)

وهناك اختلاف فى الطور قدرة ونصف دورة ( $\pi$ ) بين التغير فى المركبة الرأسية فى نصف الكرة الأرضية الشمالى عنه فى نصف الكرة الجنوبى شكل (4-23). وبالتحليل الهارمونى (Harmonic Analysis) للدورات فى اليوم الهادئ وجد أنه ينقسم لقسمين:

- دورة كبيرة فى السعة وتتم كل 24 ساعة وهذا يسمى بالتغير اليومي الشمسى الهادئ (sq).
- دورة أقل فى السعة ولها طول مقداره 25 ساعة وتسمى بالتغير القمري Lunar variation وتعتمد هذه الدورة على وجود القمر من هلال ونصف قمر وبدر... الخ وسعة الدورة القمرية تكون أكبر ما يمكن عند اكتمال القمر وأقلها عندما يكون هلالاً.

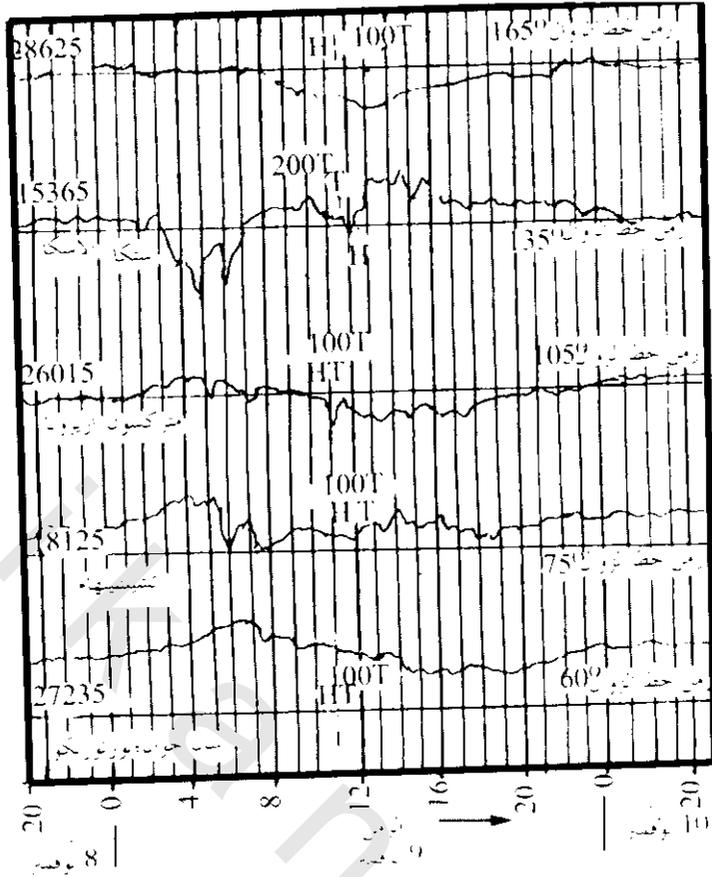


شكل (4-23): التغير اليومي الشمسي لأربعة عناصر مغناطيسية ذات 10° خط عرض بينها من 60° ش إلى 60° جنوبا في الإعتدال الربيعي (Oxford 1940)

#### 2.3.1.2.4.4: Sudden Change تغير مفاجئ

وينشأ من نشاط الشمس المفاجئ (البقع الشمسية sun spots) والتي تسبب العواصف المغناطيسية\* magnetic storms. وهذه العواصف تسبب انقطاعا في عمليات الاستكشاف المغناطيسي ولا يمكن توقعها لذلك من الصعب تصحيحها كما يتم بالنسبة للتغيرات اليومية، ويجب توقف المسح المغناطيسي خلالها من خط الإستواء حتى خط عرض 60° حيث تصل سعة الذبذبات خلالها 1000 جاما. أما في الأماكن القطبية وخاصة أثناء ظهور الشفق فإن هذه العواصف تكون مصحوبة بتغير مغناطيسي ذي سعة كبيرة. ولا يمكن التنبؤ بهذه العواصف ولكن يتوقع أن تحدث على فترات لحوالي 27 يوما. وترددها مرتبط بمدى نشاط البقع الشمسية. أكثر العواصف شدة تبدأ فجأة وتحدث في نفس الوقت على كل أجزاء العالم وتستمر عادة عدة أيام. ويوضح شكل (4-24) تسجيل بياني مغناطيسي للشدة الأفقية في خمس مرصد بعيدة عن بعضها تماما خلال اليوم الأول لعاصفة مغناطيسية في 9 نوفمبر 1947.

\* خلال العواصف المغناطيسية فإن ابر جميع الأجهزة المغناطيسية تضطرب بشدة كبيرة مشيرة بذلك لقيم غير عادية لجميع عناصر المغناطيسية.



شكل (4-24): تسجيلات بيانية مغناطيسية لتغيرات المجال المغناطيسي في خمس محطات خلال العاصفة المغناطيسية البادئة في 9 نوفمبر 1947. الأزمنة كلها لمناطق الزمن المحلية المناظرة (دوبرن 1976) (Dobrin 1976)

#### 5.4 التنقيب المغناطيسي Magnetic Prospecting:

لكي يتم هذا فإننا نواجه مشكلة قياسات مطلقة ونسبية للمجال المغناطيسي وتتم بعض القياسات المطلقة في بعض المراصد، ولكن في البحث الجيوفيزيقي فيقياس تغيرات صغيرة (قياسات نسبية) في مركبات المجال بقيمة ضبط لا تزيد عن واحد جاما تحت الظروف العادية.

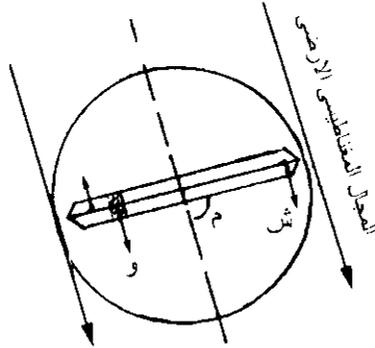
#### 1.5.4 الأجهزة Instruments:

##### 1.1.5.4 إبر الميل Dip Needles:

##### 1.1.1.5.4 إبر الميل العادية Ordinary Dip Needle:

يوضح شكل (4-25) بوصلة ذات إبرة حرة الحركة في المجال الرأسى بضابط وزنى (و) متصلة بجهة من محور المركز ويحرك الوزن حتى تكون الإبرة تقريبا أفقية وفي إتزان بين الإزدواج التناقلي والمغناطيسى. بعد ذلك فإن أى تغير للمركبة الرأسية لمجال الأرض فإنه يغير عزم القوة المغناطيسية وبالتالي زاوية الميل للإبرة

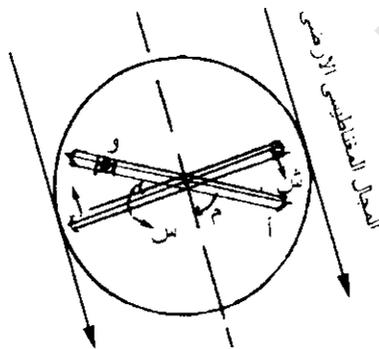
المغناطيسية. هذا الجهاز له حساسية كافية لقياس الشواذ الكبيرة لأنواع الناتجة من الرسوبيات المغناطيسية الضحلة.



شكل (4-25): إبرة الميل العادية في مجال خارجي بميل مقداره (م)، وضابط وزني (و)، شدة قطب (ش)

#### 2.1.1.5.4 هاتشكس فانق الميل Hatckiss Superdip:

يوضح شكل (4-26) تركيب هذا الجهاز حيث يتكون من إبرة مغناطيسية حرة تدور حول محور أفقي. وقضيب غير مغناطيسي أبعاد وزني (و) في نهايته والذي يرتبط بالإبرة المغناطيسية عند المركز. ويوجد بين محوري الإبرة والقضيب زاوية متغيرة مقدارها (ر) ويضبط الجهاز حتى تكون الإبرة المغناطيسية متعامدة على المجال الكلي للأرض ويكون القضيب أفقياً عندئذ فإن أي تغير في المجال المغناطيسي الكلي F سوف يسبب دوران للجهاز والذي يكون في حالة عدم اتزان وأقصى حساسية (في هذه الحالة إذا كانت الزاوية تكمل الميل م لمجال المغناطيسي الأرضي أي  $r = (9^\circ - 10^\circ)$ ، فإن الحساسية ستكون لانهائية). في الحقل يفترض عدة درجات لكل جنب للزاوية التي تعطى أقصى حساسية. والزاوية التي تدور خلالها الأذرع بين قراءة وأخرى ممكن تحويلها للمجال الكلي باستخدام منحنيات تجريبية تحدد بواسطة المعايرة.



شكل (4-26): إبرة هاتشكس ش (شدة القضيب)، وضابط وزني (و) (قضيب غير مغنط)، س (الزاوية المتغيرة بين الإبرة والقضيب غير المغنط)

#### 2.1.1.5.4 أجهزة قياس شدة المجال المغناطيسي (المجناطومتترات Magnetometers):

يقاس شدة المجال المغناطيسي الأرضي بطريقتين:

1- موازنة المجال المغناطيسى الأرضى والمجال الصناعى = صفر. أى أن أجهزة قياس هذا النظام تعتمد على التوازن الميكانيكى Mechanical-system instruments ويمكن لهذه الأجهزة قياس القيمة المطلقة للمجال المغناطيسى وأيضاً قياس القيم النسبية.

2- تحويل شدة المجال المغناطيسى المقاس إلى إشارة كهربية (electrical signal) يتم تكبيرها وقراءتها عن طريق مجموعة من الدوائر الإلكترونية.

وتسمى الأجهزة المستخدمة فى هذه الطريقة بالأجهزة الإلكترونية Electronic System Magnetometers.

#### 1.2.1.5.4 المغناطومتريات ذات النظام الميكانيكى Mechanical-System Magnetometers:

##### 1.1.2.1.5.4 مغناطومتريات القيمة المطلقة Absolute Value Magnetometers:

##### 1.1.1.2.1.5.4 جهاز الإيزان المغناطيسى (BMZ) Magnetic Zero Balance:

يستخدم لمقياس القيمة المطلقة للمركبة الرأسية Z للمجال المغناطيسى الأرضى. يتكون الجهاز من إبرتين مغناطيسيتين مثبتتان مع بعضهما البعض بمكعب من مادة غير مغناطيسية، هذا المكعب يرتكز على سن مدبب من الكوارتز (د) بحيث يكون حر الحركة فقط فى إتجاه رأسى.

#### تشغيل الجهاز:

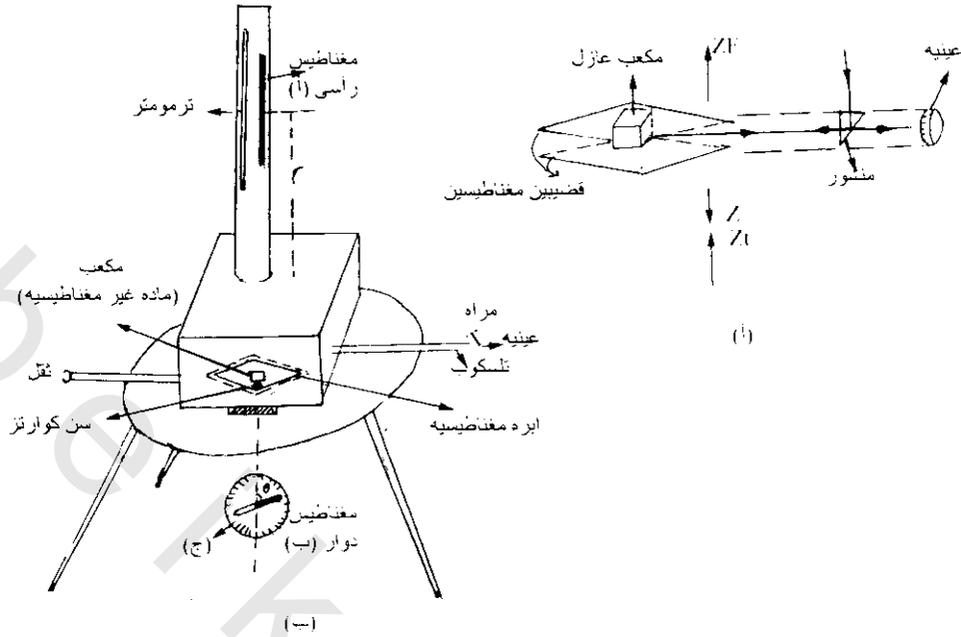
(1) يوضع الجهاز بحيث يكون امتداد المغناطيس المزدوج عمودى على مستوى الزوال المغناطيسى magnetic meridian فتكون المركبة الرأسية Z هى الوحيدة التى تؤثر فى القضييب المغناطيسى ويميل تحت تأثيرها لأسفل.

(2) تتم موازنة المركبة الرأسية بمجالات مغناطيسية معروفة بحيث تجعل الإبرة المغناطيسية أفقية ويتم ذلك بوضع مغناطيس ثابت أ فوق الإبرة المغناطيسية (Z<sub>F</sub>) شكل (4-27).

(3) يبعد هذا المغناطيس بمسافة r تعتمد على شدة المركبة الرأسية فى منطقة القياس\*.

(4) يوضع مغناطيس آخر (ب) تحت الإبرة المغناطيسية وثبت فوق قرص دوار حتى يسهل التحكم فى شدة مجاله عند موقع الإبرة المغناطيسية شكل (4-25) ويسهل بذلك وزن المركبة الرأسية. فإذا كان هذا المغناطيس رأسياً كان مجاله عند موقع الإبرة المغناطيسية أكبر ما يكون maximum وإذا كان أفقياً يكون مجاله = صفر.

\* تزيد المركبة الرأسية كلما اقتربنا من قطبي الأرض وتكون r أصغر ما يكون. والعكس قرب مدار الإستواء. ويمكن إستخدام مغناطيس أقوى أو أضعف حسب المنطقة وقربها من القطب أو من مدار الإستواء.



شكل (4-27): توازن المركبة الرأسية Z مع: (أ) مجال مغناطيسية أحدهما ثابت يعطو الإبرة المغناطيسية والآخر دوار أسفل الإبرة المغناطيسية. (ب) شكل تخطيطى لجهاز BMZ يبين طريقة قياس القيمة المطلقة للمركبة الرأسية Z.

### حساب المجال المغناطيسى:

#### 1) حساب المجال المغناطيسى العنوى Z<sub>F</sub> Field Magnet

$$Z_F = 2 m \cdot r / (r^2 - l^2)^2 \quad (4-23)$$

حيث M عزم المغناطيس = 2 ml ، m شدة قطبه ، 2 l طوله ، r المسافة بين منتصفه ونقطة ارتكاز المغناطيس المزدوج (د).

#### 2) حساب المجال المغناطيسى الدانرى Turn Magnet

شدة هذا المجال (Turn magnet) هو Z<sub>T</sub>

$$Z_T = (2 M^2 / r^3) \cos \theta \quad (4-24)$$

حيث M عزم المغناطيس القصير ، r المسافة بين منتصفه ج والنقطة د ، θ الزاوية التى يصنعها هذا المغناطيس مع الخط الرأسى ج د.

#### 3) حساب محصلة المجالات:

إذا وضع القضيب المغناطيسى المزدوج حر الحركة عند النقطة د فإن محوره يميل على الأفقى تحت تأثير المركبة الرأسية للمجال المغناطيسى (Z component) فإذا عادلنا هذه المركبة بمجالين هى المجال

\* مع اعتبار هذا المغناطيس الموجود أسفل المغناطيس.

المغناطيسى العلوى (أ)  $Z_F$  والمجال السفلى (ب)  $Z_T$  بحيث يرجع المغناطيس إلى الوضع الأفقى أى تصبح المحصلة عند  $d = 0$  أى

$$Z = Z_F + Z_T \quad (4-25)$$

حيث  $Z$  القيمة المطلقة للمجال المغناطيسى الأرضى.

### ملحوظة:

قيمة المجال المغناطيسى الأرضى متغيرة من مكان لآخر ومن وقت لآخر لذا يجب التحكم فى مجال  $Z_T$ ,  $T_F$  وتغيرهما حسب الحالة للحصول على التوازن المطلوب. ويمكن تغيير المجال المغناطيسى الرأسى برفع هذا المغناطيس لأعلى أو خفضه لأسفل أى تغيير البعد  $r$ . أما المجال المغناطيسى الدائرى فيمكن تغييره بإدارة المغناطيس السفلى (الصغير) حول منتصفه فإذا كان هذا المغناطيس أفقياً أى قيمة المجال عند  $d$  فى الإتجاه الراسى = صفر أى  $\theta = 90^\circ$  أى جتا  $\theta = 0$  = صفر.

ويمكن ملاحظة حركة المغناطيس المزوج عن طريق تلسكوب تحمل العدسة العينيه تدريجياً صغيراً ثابتاً. يسقط شعاع ضوئى على منشور قائم فينعكس كلياً ليسقط على المرآة التى يحملها المكعب الموجود بين المغناطيسين المزوجين وعن طريق الشعاع المنعكس يمكن مراقبة حركة الجهاز. وهناك تغير نتيجة لدرجة الحرارة فإذا كانت  $\alpha$  هى معدل التغير فى المجال بالنسبة للحرارة تصبح معادلة الجهاز

$$Z = Z_F + Z_T \alpha t \times 2 \alpha \Delta t \quad (4-26)$$

#### 2.1.1.2.1.5.4 جهاز مجناطومتر الكوارتز الأفقى : Quartz Horizontal Magnetometer Q.H.M.

يستخدم هذا الجهاز لقياس القيمة المطلقة للمركبة الأفقية للمجال المغناطيسى الأرضى:

تركيب الجهاز: شكل (4-28) يوضح تركيب الجزء الأساسى للنظام المغناطيسى حيث يتكون من:

(1) خيط من الكوارتز معروف معامل اللى له ( $\eta$  elastic torsion constant).

(2) إبرة مغناطيسية قصيرة معلقة بهذا الخيط أفقياً تماماً حرة الحركة فى المستوى الأفقى.

(3) مرآة صغيرة ملتصقة عمودياً بأسفل الإبرة المغناطيسية.

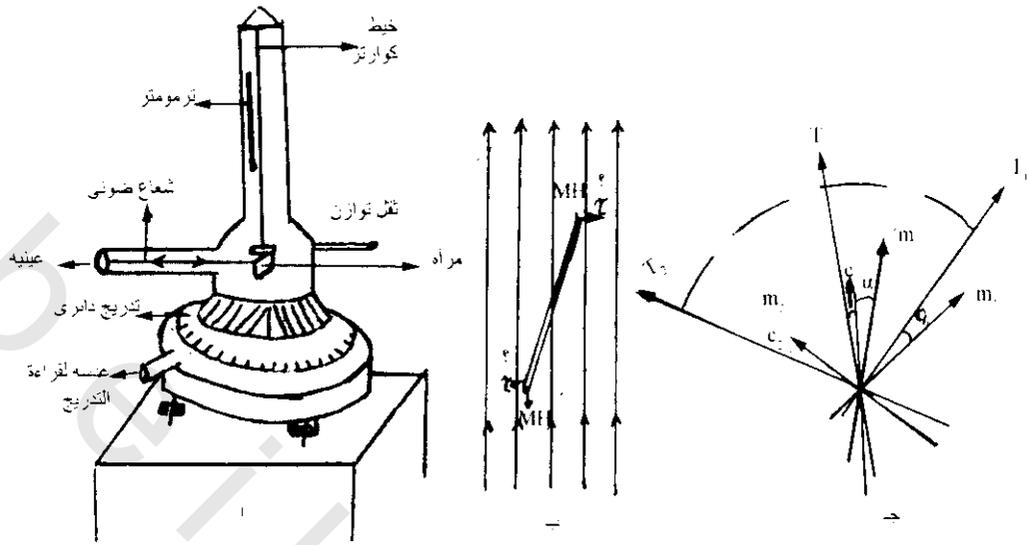
(4) دائرة مدرجة بدقة موضوع عليها الجهاز ملتصق بها عدسة عينيه دقيقة.

### تشغيل الجهاز:

فكرة تشغيل الجهاز هو إحداث توازن balancing بين تأثير المركبة الأفقية لمجال الأرض المغناطيسى

على الإبرة المغناطيسية وبين اللى فى خيط الكوارتز المعلق فيه هذه الإبرة.

(1) قراءة قيمة التدرج عندما تكون الإبرة متجهة جهة الشمال المغناطيسى.



شكل (4-28): نظام قياس القيمة المطلقة للمركبة الأفقية H للمجال المغناطيسي الأرضي: (أ) تركيب جهاز مجناتومتر الكوارتز الأفقي (Quartz horizontal magnetometer (QHM)، (ب) يبين التوازن بين عزم اللي في خيط الكوارتز وعزم المركبة الأفقية، (ج) طريقة قياس الزاوية  $\alpha$  بين الوضع بدون لى وبعد اللي في خيط كوارتز

(2) إحداث لى في خيط الكوارتز فتنحرف الإبرة عن إتجاهها نتيجة لعزم اللي وتتنز في وضع جديد يصنع زاوية  $\alpha$  مع الشمال المغناطيسي شكل (4-26 ب) أى أن الإبرة تكون تحت تأثير عزمين.

(أ) العزم المغناطيسي ويساوى

$$MH \sin \alpha$$

(ب) عزم لى خيط الكوارتز ويعتمد على معامل مرونته  $\eta$  ومنتصف قطر مقطعة  $r$

$$\tau = 2 \pi^2 r^3 \eta^* \quad (4-27)$$

(3) يحرك التلسكوب لى يسقط الشعاع الضوئي عمودى على المرآة ويرتد على نفسه لى تراه العين خلال التلسكوب شكل (4-26 ج) الوضع T وفي هذه الحالة تكون الإبرة متزنة تحت تأثير المركبة الأفقية واللى الموجود في خيط الكوارتز الذى قد يكون موجودا فيه قبل نتيجة الإستخدام. ويقرأ التدريج على القرص الدائرى.

(4) يلف الجهاز بزاوية  $2\pi$  فتتنز الإبرة في الوضع  $m_1$  ويقرأ التدريج  $T_1$  ويكون مختلفا عنه في الحالة الأولى بمقدار زاوية  $\alpha$ .

(5) يلف الجهاز بزاوية  $2\pi$  فى الإتجاه المضاد فتتنز الإبرة فى الوضع  $m_2$  ويقرأ التدريج  $T_2$  وتقاس  $\alpha$ .

\* قيمة ثابتة من ثوابت الجهاز فمثلا إذا أخذنا ليا مقداره  $2\pi$  فإن قيمة  $\tau$  تكون  $2 \pi r^3 \eta$

(6) يؤخذ متوسط  $\alpha$  في الخطوة (4)، (5) ويكون

$$MH \sin \alpha = 2 \pi \tau \quad (4-28)$$

$$\& \quad H = (2 \pi \tau / M)(1 / \sin \alpha) \quad (4-29)$$

$$\begin{aligned} \therefore \log H &= \log (2 \pi \tau / M) \bar{n} \log \sin \theta \\ &= C - \log \sin \theta \end{aligned} \quad (4-30)$$

توجد بعض التصحيحات نتيجة لدرجة الحرارة  $t$  تجعل المعادلة النهائية للجهاز هي

$$\log H = C \bar{n} \log \sin \theta + C_1 t \bar{n} C_2 H \cos \theta \quad (4-31)$$

حيث  $C_2, C_1$  ثوابت تعتمد على درجة الحرارة  $t$ .

قياس القيمة المطلقة لزاوية الإنحراف  $D$ : الطريقة:

- (1) تحديد مكان القياس ولتكن النقطة أ لقياس زاوية الإنحراف شكل (4-29).
- (2) قياس إتجاه هدف ما ثابت (علامة سمت Azimuth mark) من نقطة القياس وليكن هذا الهدف مثلا عمود تليفون (ب) وذلك باستخدام قرص تدريج زوايا.
- (3) قياس إتجاه موقع الشمس (أو أى نجم ليلا) باستخدام تيديوليت فلكي مركب على نفس قرص التدريج السابق.
- (4) من خط العرض  $\phi$  لموقع نقطة القياس (أ) ومن تاريخ الرصد نحسب زاوية موقع الشمس  $\delta^*$ .
- (5) من زمن رصد الشمس\*\* نحسب زاوية الوقت  $t$ .
- (6) بعد ذلك نحسب إتجاه الشمال الجغرافي (ج) بالنسبة للعلامة الثابتة ولتكن هذه الزاوية  $\theta$  من المعادلة

$$\cot \theta = (\sin \phi \cos t \bar{n} \cos \phi \tan \delta) / \sin t \quad (4-32)$$

(7) بواسطة إبرة مغناطيسية حرة الحركة أفقيا يقاس إتجاه الشمال المغناطيسي (د).

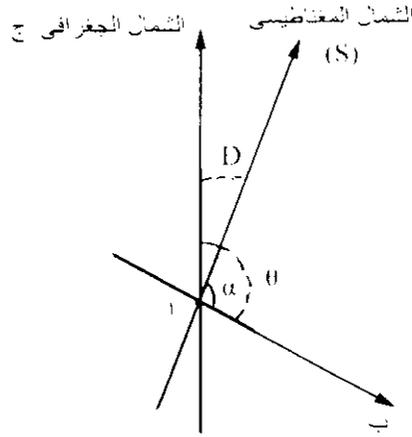
(8) يقاس الزاوية بينه وبين إتجاه النقطة الثابتة ب.

(9) زاوية الإنحراف هي الفرق بين زاوية الشمال الجغرافي وزاوية الشمال المغناطيسي بالنسبة للنقطة الثابتة ب

أى

$$D = \theta - \alpha \quad (4-33)$$

\* هي زاوية تعامد الشمس حسب الفصول (تقع بين  $23.5^\circ$  شمالا صيفا ،  $23.5^\circ$  جنوبا شتاء).  
\*\* بدقة تصل لجزء من الثانية.



شكل (4-29): طريقة قياس القيمة المطلقة لزاوية الإنحراف D

#### 2.1.2.1.5.4 أجهزة القياس للقيم النسبية Relative Instruments:

المقصود بالقياس النسبي هو الفرق بين قيمة المجال المغناطيسي عند نقطة ما ثابتة (نقطة الأصل base point) وبين نقطة أخرى. معنى هذا أنه لا تقاس القيم المطلقة ولكن يقاس الفرق في تدريج القياس عند نقطة وأخرى، وهذه هي قيمة الشاذة المغناطيسية. الأجهزة التي تقيس هذه الشذوذ تعتمد على التوازن الميكانيكي منها:

#### 1.2.1.2.1.5.4 أجهزة قياس التغير في المركبة الرأسية ΔZ:

من أهم الأجهزة المستخدمة لقياس هذه المركبة هو جهاز مغناطومتر شميدت Schmidt Type Magnetic Field Balance من أهم وأكثر الأجهزة المستخدمة للبحث والتنقيب عن الأرض باستخدام قياس المركبة الرأسية المغناطيسية (V) أو قياس المركبة الأفقية المغناطيسية H. شكل (4-30) يوضح هذا الجهاز ويتكون من:

1- نظام متحرك ويتكون من زوج مسطح شبه معين الشكل ولكل منهما عزم مغناطيسي ومصنوع من سبيكة (كوبلت - ستيل) مرتبطين من الوسط بمكعب عازل محمول بمحور إرتكاز أفقى من الكوارتز ليجعل هذا النظام المتحرك حر الدوران على المحور الأفقى متصل بمركز هذا النظام عند المكعب العازل بضابطى وزن يتحركان على ذراعين محوريين وبواسطتهما يمكن تغيير الوضع الأفقى والرأسي لمركز الجاذبية بالنسبة لحافة محور الإرتكاز\*\* ويوجد أعلى مكعب التثبيت للمغناطيس مرآة صغيرة. والنظام مكافئ حرارياً.

2- تلسكوب وتدرج لقياس دوران الزاوية لحركة الجهاز الناتجة من التغيرات الصغيرة فى الشدة المغناطيسية. ويصنع مدى النظام البصرى للحفاظ على صورة المقياس فى المستوى البورى للعدسة العينية.

تضرب هذه القيم ثابت معايرة الجهاز.

عملية ضبط مركز ثقل النظام مهم جداً فإذا استخدم هذا الجهاز فى منطقة شمالية (مثل السويد وإنجلترا) فسوف يميل النظام ميلاً كبيراً لأن المركبة الرأسية كبيرة وإذا استخدم فى منطقة جنوبية مثل جنوب أفريقيا أو جنوب آسيا فتكون المركبة الرأسية أصغر بكثير. لذلك يتطلب الأمر استمرار إعادة ضبط الثقل لتغيير موضع ثقل المجموعة المغناطيسية. magnetic syst. وجعل حدود قراءة الجهاز ضمن الحدود المتوقعة للمنطقة التى سيستخدم فيها الجهاز فيما يسمى مدى الضبط (range adjustment) وهذا الضبط يجزى بواسطة مصنع الجهاز للمنطقة التى سيورد الجهاز إليها (مثل أجهزة شميدت Schmidt، فانز لاد Fanslau، واسكانيا Askania torsion balance وغيرها مما يعتمد على نفس فكرة التوازن) وقد يستخدم بدلا من الثقلين أو بالإضافة إليهما شريط من الكوارتز متصل بجانب المغناطيس ويضبط المغناطيس عن طريق اللى فى هذا الشريط (Torsion).

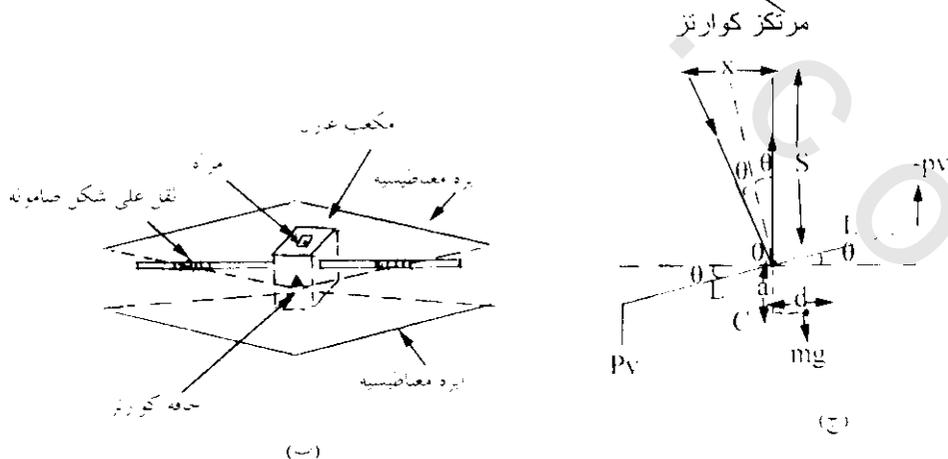
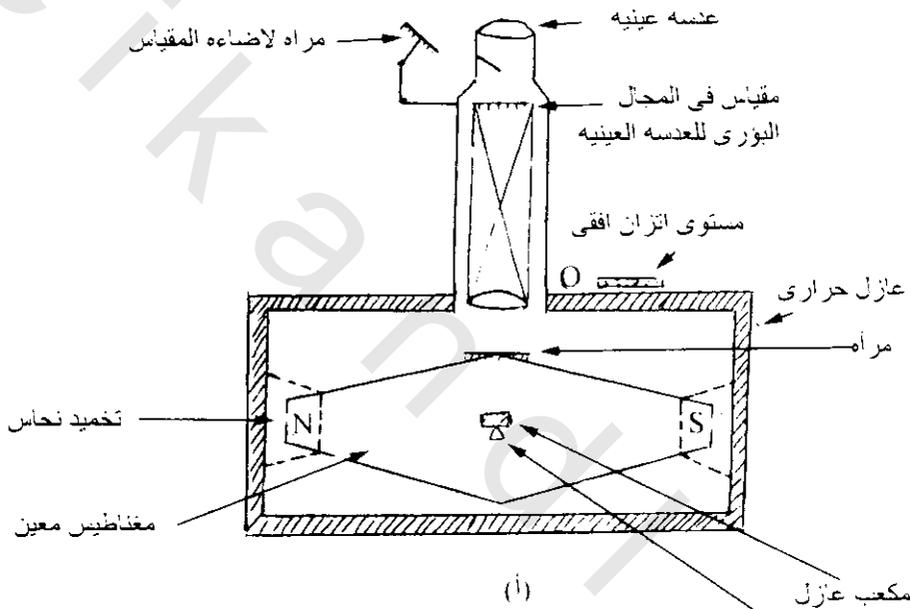
3- نظام التخميد (الكبت) وهو عبارة عن مقرنان (مضمدان) من نحاس ثقيل بينهما يوجد نهاية المغناطيس، هذا الوضع بدوره ينتج تيارات دوامية في النحاس مسببا سرعة دوران النظام الحركي للجهاز.

4- ميكانيكية الضبط والربط والتي بواسطتها يثبت جهاز الحركة خلال قراءة الجهاز.

5- عازل حراري وترموتر لقياس درجة الحرارة.

6- مسامير محورية لرفع وإدارة اللوح الموضوع عليه الجهاز بغرض التوجيه. أيضا يوجد مغناطيس دائم موضوع في مكان ضبط أسفل الجهاز في أنبوبة رأسية محمولة بواسطة جهاز تدعيم. وظيفة هذا المغناطيس هو معايرة الجهاز في موضع الصفر.

7- بوصلة إضافية لتحديد الزوال المغناطيسي وتوجيه الجهاز تبعاله.



شكل (4-30): مغناطومتر شميدت (أ) قطاع عرضي، (ب) المجموعة المغناطيسية، (ج) التوازن بين عزوم القوى

قياس المركبة الرأسية (V):\*

الطريقة:

- 1- يوجه\*\* الجهاز لكى يصبح مستوى الذبذبة (تأرجح الجهاز الحركى) عمودى على مستوى الزوال المغناطيسى\*\*\* (محور دوران الإبرة يكون الآن موازى للمركبة الأفقية H).
- 2- توضع الإبرة المغناطيسية للجهاز بحيث لا يكون مركز كتلتها على محور الدوران.
- 3- فى شكل (4-28 ج) يوجد زوجين من القوة المؤثرة على الإبرة
  - أ) عزم مغناطيسى مشير لدوران الإبرة فى عكس إتجاه الساعة نتيجة تأثير المركبة الرأسية المغناطيسية (V) على الأقطاب المغناطيسية وهذا العزم يساوى  $2PVL \cos \theta$ .
  - ب) عزم تناقلى يشير لدوران الإبرة فى إتجاه عقرب الساعة وهذا العزم يساوى (الوزن المؤثر على مركز الجاذبية)  $mg d \cos \theta + mga \sin \theta$ .

وقبل التعرض لمعادلة الحركة لابد من تعريف بالجهاز حيث:

$$L = \frac{1}{2} \text{ طول المغناطيس}$$

$$P = \text{شدة القطب المغناطيسى}$$

$$V = \text{المركبة الرأسية للمجال المغناطيسى}$$

$$o = \text{مركز حافة المرتكز}$$

$$C = \text{مكان مركز جاذبية جهاز الحركة}$$

$$a, d = \text{مركبتى الإزاحة من مركز الجاذبية من حافة المرتكز وتوازى المحور المغناطيسى بالتتابع.}$$

$$m = \text{مركز جهاز الحركة}$$

$$\theta = \text{الزاوية بين المحور المغناطيسى والأفقى}$$

$$g = \text{عجلة الجاذبية}$$

$$S = \text{الطول البصرى للجهاز البصرى}$$

$$X = \text{المسافة على المقياس للأرقام المنعكسة}$$

عند موضع الإتزان يوجد عزمين متساويين هما:

$$\text{عزم المغناطيس} = \text{العزم التناقلى للقضيب المغناطيسى}$$

$$mg d \cos \theta + mg a \sin a = 2 PVL \cos \theta \quad (4-34)$$

\* تستخدم هذه المركبة أساسا فى التنقيب المغناطيسى.

\*\* يمكن إتمام هذا بواسطة بوصلة عادية.

\*\*\* مستوى الزوال المغناطيسى هو مستوى رأسى بين المركبة الأفقية H والمجال الكلى T وإذا تأرجحت الإبرة فى هذا المستوى فإنها تتعرض لتأثير كلا من المركبة الرأسية V والأفقية H.

ولكن  $\frac{M}{2L} = p$  حيث  $M$  العزم المغناطيسي

$$mg d \cos \theta + mg a \sin \theta = 2 \frac{M}{2L} VL \cos \theta$$

$$= MV \cos \theta$$

$$\therefore mgd \cos \theta - MV \cos \theta = -mga \sin \theta$$

$$(mgd - MV) \cos \theta = -mga \sin \theta$$

$$\therefore \frac{(mgd - MV)}{-mga} = \frac{\sin \theta}{\cos \theta}$$

$$\therefore \frac{\sin \theta}{\cos \theta} = \frac{mgd - MV}{-mga}$$

$$= \frac{MV - mgd}{mga}$$

$$\therefore \tan \theta = \frac{MV - mgd}{mga} \quad (4-35)$$

$$\therefore \tan 2\theta = 2 \tan \theta \quad (\theta \text{ صغيرة جدا (دائما أقل من)})$$

وحيث

$$X = S \tan 2\theta \quad \therefore X = 2S \tan \theta$$

$$\therefore \tan \theta = \frac{1}{2} \frac{X}{S} \quad (4-36)$$

من (4-33)، (4-35)

$$\therefore \tan \theta = \frac{MV - mgd}{mga} = \frac{1}{2} \frac{X}{S} \quad (4-37)$$

وواضح أن أي تغير في  $V$  يقابله تغير في  $\theta$ ,  $X$

$$\therefore \tan \theta = \frac{MV - mgd}{mga} = \frac{1}{2} \frac{X}{S} \quad (4-38)$$

الفرق بين (4-37)، (4-38) يكون

$$\frac{MV - mgd}{mga} - \frac{MV - mgd}{mga} = \frac{1}{2} \frac{\bar{X}}{S} - \frac{1}{2} \frac{X}{S}$$

$$\therefore \frac{MV - mgd - MV + mgd}{mga} = \frac{\bar{X} - X}{2S}$$

$$\therefore \frac{MV - MV}{mga} = \frac{X - \bar{X}}{2S}$$

$$\therefore 2S(MV - MV) = mga(\bar{X} - X)$$

$$\therefore 2MS(\bar{V} - V) = mga(\bar{X} - X)$$

$$\therefore V - V = \frac{mga}{2MS} (\bar{X} - X) \quad (4-39)$$

حيث  $K = \frac{mga}{2MS}$  ثابت مقياس الجهاز.

#### قياس المركبة الأفقية المغناطيسية H:

يدار الجهاز 90° من المكان السابق لقياس المركبة الرأسية المغناطيسية (V) وعند هذه الحالة سيكون هناك تأثير لكلا المركبتين H، V ويكون لدينا إزواجية مغناطيسية بدلا من واحد. وتكون معادلة الإلتزان

$$2 VPL \cos \theta + 2 HPL \sin \theta = mg(d \cos \theta + a \sin \theta) \quad (4-40)$$

$$\therefore 2 HPL \sin \theta = mg(d \cos \theta + a \sin \theta) - 2 VPL \cos \theta$$

وبالتعويض عن قيمة  $p = \frac{M}{2L}$  كما تم سابقا

$$\therefore 2H \frac{M}{2L} L \sin \theta = mg(d \cos \theta + a \sin \theta) - 2V \frac{M}{2L} L \cos \theta$$

$$HM \sin \theta = mg(d \cos \theta + a \sin \theta) - VL \cos \theta$$

$$H = \frac{mg}{M \sin \theta} (d \cos \theta + a \sin \theta) - VL \cos \theta$$

$$= \frac{mg}{M} (d \cot \theta + a) - VL \cot \theta \quad (4-41)$$

ويمكن الحصول على H بمعرفة V

وهذا يصعب إجراؤه في الحقل حيث يوجد تصميم لفصل H، V

#### العمليات الحقلية:

- 1- يستوى الجهاز على قاعدة ثلاثية الأرجل باستعمال ميزان مائي صغير.
- 2- يحدد الزوال المغناطيسي بواسطة البوصلة الإضافية ثم يوضع الجهاز بحيث يكون محور النظام المتحرك في الجهاز عمودي على الزوال المغناطيسي.
- 3- تؤخذ قراءة الجهاز بعد إطلاق النظام المتحرك. ثم يدار الجهاز 180° ويكرر أخذ القراءة.
- 4- تؤخذ القراءة الحرارية لعمل التصحيح الحراري.
- 5- بعد ذلك يقبض (يربط) النظام المتحرك بالجهاز. ويعد الجهاز بعد ذلك لأخذ قراءة أخرى. ويؤخذ في الاعتبار احتياطات ضرورية أثناء عملية الحقل وهي:

\* تستخدم قياسات H في حالات كعمل الخزانات المعيارية وذلك بقياس القيم المطلقة لـ H لمنطقة كبيرة وبعد القياس تربط هذه القياسات بين محطات القياس والقيم المطلقة في كل المحطات المقاسة لمركبات المجال المغناطيسي الكلي للأرض وبذلك يتم رسم الخزانات العيارية لهذه القيم المطلقة.

- (i) مواقع المحطات يجب أن تكون بعيدة عن أى مواد مغناطيسية مثل (خطوط السكك الحديدية، المصانع، المباني المسلحة، محطات الكهرباء... إلخ).
- (ii) يجب أن يكون الراصد نفسه محرر من المواد المغناطيسية الشخصية مثل الساعة وشمبر النظارة المعدنية... إلخ.
- (iii) لاتقل المسافة بين محطتين عن 200
- (iv) نسخة من القراءات الأصلية.

#### معايرة الجهاز:

يتم هذا بوضع الجهاز فى مجال مغناطيسى منتظم. ومن أحسن هذه المجالات هو المجال المغناطيسى المنتظم بواسطة ملف هلمهولتز (Helmholtz coil)\*.

#### 3.1.5.4 الأجهزة الإلكترونية Electronic Magnetometer

تقيس هذه الأجهزة مباشرة وبطريقة سريعة جدا وتحت كل الظروف القيمة المطلقة للمجال المغناطيسى الكلى T أو التغير فى  $\Delta T$  وبعضها يقيس مركبات X, Y, Z.

#### مميزاتها:

- 1- يمكن حملها فى طائرة أو سفينة والقياس بها على الأرض.
- 2- أكثر حساسية تبلغ حساسيتها 0.1 نانوتسلا (0.1 nT) وتصل فى بعض الأنواع الخاصة منها إلى 0.001 نانوتسلا.
- 3- يمكن بواسطتها اكتشاف المواد ذات التمغنت المنخفض جدا أو الأجسام الصغيرة للغاية.
- 4- تستخدم فى مجال البحث عن البرول وتوصيف شكل صخور القاع.
- 5- تستخدم فى التنقيب عن الآثار والمشاركة فى دراسة الجيولوجيا الهندسية.
- 6- جعلت التنقيب المغناطيسى سهلا ورخيص التكاليف ونتاجها مؤكدة.

#### 1.3.1.5.4 مغناطومتر بوابة الفيض (ذو فتحة التدفق) Flux-Gate Magnetometer

كان بداية استخدام هذا الجهاز فى الحرب العالمية الثانية وخاصة فى الغواصات. ثم كان من أول الأجهزة التى استخدمت فى القياسات المغناطيسية من الطائرة الثابتة الجناح. ثم استخدم بعد ذلك ولكن بدرجة أقل للمسح المغناطيسى على الأرض.

شكل (4-31) يوضح فكرة الجهاز وتركيبه ويتركب من:

\* ملف هيلمهولتز: عبارة عن ملفين متساويين تماما فى القطر وعدد اللغات وكل منهما موازى للآخر والمسافة بينهما تساوى قطر الملف.



4- بإدخال مجال محيط (مجال الأرض المغناطيسى عندما يكون محاور القلبيين فى إتجاهه) فذلك يساعد على التمتع من التيار الموجود. هذا يساعد نقطة التشعب على الإسراع فى وجود هذا المجال المحيط (شكل 4-31 (v, iv).

5- شكل (4-31جv) يمثل مخرج الملفين على التضاد مكونا أزواج من الأنايبب وإرتفاع وإنخفاض هذه الأنايبب يتناسب مع المجال المغناطيسى المحيط المؤثر فى الجهاز.

يوجد نوعان من اجهزة ذو فتحة التدفق أحدهما يحمل جوا وكان يستخدم سابقا للكشف عن الغواصات ثم طور للإستخدام فى المسح المغناطيسى الأرضى وصمم هذا الجهاز بحيث يكون سهل النقل وسرعة التشغيل ويقاس المجال الرأسى.

#### 2.3.1.5.4 المقاطومتر النوى Proton Magnetometer:

يوجد ثلاث نماذج لهذا النوع:

الأول للمسح الجوى والثانى للمسح البحرى والثالث للأستعمال على الأرض وجميعها تقيس المجال المغناطيسى الكلى للأرض بدلا من مركباته. ودقة النموذجين الأول والثانى أكبر بكثير من النموذج الثالث والذى يستخدم لقياس الشدة المغناطيسية على الأرض تلك الخاصة بمقياس الشدة المغناطيسية للأرض.

هذه الأجهزة مصممة على أن معظم العناصر الكيميائية لها عزم مغناطيسى، حيث أن نواة هذه العناصر يمكن إعتبارها مغناطيسيات صغيرة على هيئة كور تدور حول محورها المغناطيسى وطبقا لقوانين ميكانيكا الكم فإن مثل هذه الكور سوف تتجه لتنظم نفسها موازية أو عمودية على أى مجال مغناطيسى خارجى لذلك فإن هذه الأنوية تنفصل لمجموعتين دوارتين أحدهما موازية للمجال الخارجى وفى إتجاهه والأخرى موازية ومتضادة فى الإتجاه وهى تسلك بالتالى كثنائية القطب المغناطيسى. وتكون ثنائيات القطب (dipoles) هذه ذات إتجاهين متضادين وتكون المحصلة مساوية للصفر. أبسط نواة لها هذه الخاصية هى نواة الهيدروجين، وحيث أن الأوكسجين ليس له عزم مغناطيسى، فإن عينة الماء يمكن إعتبارها أنها مجموعة من البروتونات (نواة الهيدروجين). إذا وضعنا هذه العينة من الماء فى زجاجة وأحيطت بملف محوره عمودى على المجال المغناطيسى الأرضى ومرر فى هذا الملف تيارا كهربيا قويا بحيث ينتج عنه مجال مغناطيسى عالى يساوى 100 مرة قدر المجال الأرضى فإن عزوم البروتونات تتجه لإتجاه هذا المجال الخارجى فإذا قطع هذا المجال فإن البروتونات تصنع دورانا مغزليا (gyration) حول خطوط قوى المجال المغناطيسى الأرضى  $H_a$  بسرعة زاوية (W) أى أن

$$W = \gamma P H_a \quad (4-42)$$

حيث  $\gamma P$  ثابت الغزل البروتونى (gyration constant)

ويكون التردد

$$F = \gamma P H_a / 2\pi \quad (4-43)$$

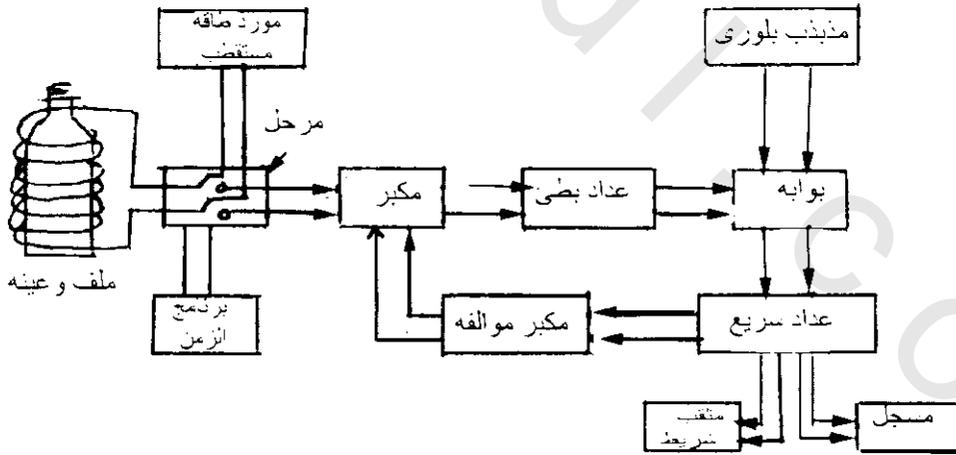
وحيث أن

$$\begin{aligned} \gamma P &= 6.7513 \times 10^4 \text{ (oe.sec)}^{-1} \\ &= 0.67513 \text{ /}\gamma\text{sec.} \quad (1\gamma = 1 \text{ nT}) \end{aligned}$$

$$\therefore H_a = F \cdot 2\pi / 0.26513. \quad (4-44)$$

حيث  $F$  هي مقدار التردد، أى أن قيمة المجال المغناطيسى الأرضى  $H_a$  المقاس يعتمد على قيمة التردد. وقيمة التردد هذه تساوى تقريبا 2000 هرتز فإذا كان المجال الخارجى حوالى 50000 جاما (نانوتسلا) فإن الحساسية المطلوبة هي  $0.04 = \frac{2000}{50.000}$  هيرتز/جاما. لذلك يجب أن يكون الجهاز حساسا ويجب أن يقاس بسرعة لاتزيد عن ثانية واحدة حتى لاتموت الإشارة (signal) القادمة من البروتونات.

ويمثل شكل (32-4) رسما تخطيطيا مبسطا يبين نظام تشغيل قياس التردد فى هذا الجهاز (يستخدم بالطائرات). يطبق مجال مستقطب شدته حوالى 100 أوستد مع الرأس الحساسة (sensor) المقطورة (المسحوبة) خلف الطائرة. تقاس حركة دوران النواة مرة كل ثانية خلال فترة حوالى  $\Omega$  ثانية. بعد قطع المجال المستقطب فإن إشارة الحركة الدورانية (البدارية) المستحثة فى الملف تتسبب فى فتح الفتحة الإلكترونية وتغلق هذه الفتحة بعد مرور عدد معين من الموجات الجيبية (حوالى 500 فى فترة نصف ثانية) خلال الدائرة. وعندما تكون الفتحة مفتوحة فإنها تسمح بمرور إشارة من مذبذب التردد المعيارى (100 كيلوهرتز) والتي تسجل عدد موجاته الجيبية بالتالى بواسطة عداد سريع وهناك مسجل رقميا ثانيا لتسجيل عدد دورات الإشارة العالية التردد التي مرت خلال الفتحة أثناء المناظر لعدد محدد من دورات تذبذب الحركة البدارية فى هذا العدد يحول لجهد كهربى ممثلا بخط مرسوم على شريط ورق متحرك أو يخزن رقميا على شريط. وقد طورت هذه الأجهزة أكثر بحيث تستخدم بخار السيزيوم أو الروبيديوم فى رأس الجهاز (سينسور sensor) لذلك يمكن الحصول على دقة عالية تصل إلى 0.005 جاما (نانوتسلا nT) وله مدى قياس عالى (range) يتراوح من 2000 إلى 80000 نانوتسلا.



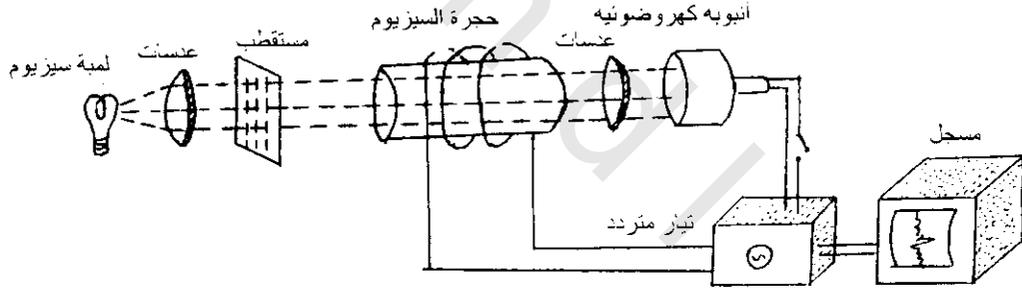
شكل (32-4): رسم تخطيطى لمقياس شدة المغناطيسية ذو الرنين النووى، فاربان (Varion Associates)

## 3.3.1.5.4 مغناطومتر الضخ الضوئي Optical Pumping Magnetometer :

يعتبر من أهم المغناطومتريات الحساسة المخترع حتى الآن لقياس تقدم (دوران) الإلكترون لإيجاد شدة المجال المغناطيسي الأرضي.

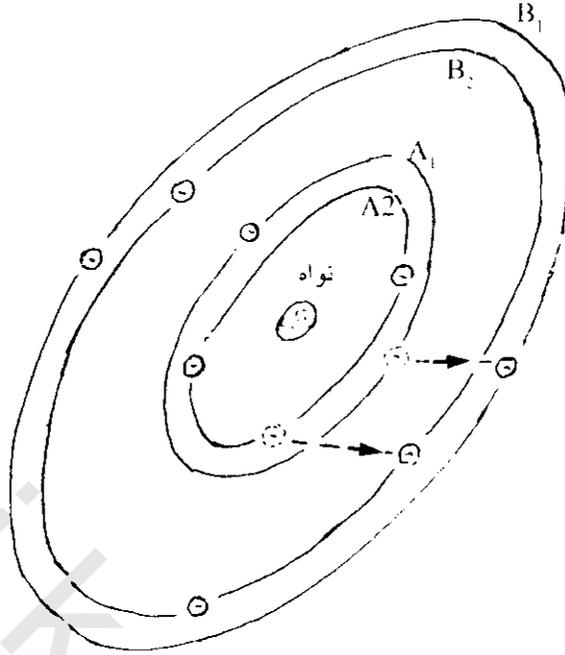
ينتج عن الحركة المغزلية للإلكترون (المشابه للبروتون) عزم زاوي وعزم مغناطيسي، إذا لم يكون المحور المغزلي منتظم (غير موازي) مع المجال الأرضي فإنه يتقدم بتردد يتناسب مع شدة المجال الأرضي. وصممت هذه المغناطومتريات لقياس تردد تقدم الإلكترون بطريقة تختلف تماما عن المستخدمة في مغناطومتر تقدم البروتون. وتوزيع الإلكترونات في بخار السيزيوم من أكثر البراهين ملاءمة لهذه القياسات. ويسمى الجهاز المستخدم فيه السيزيوم مغناطومتر بخار السيزيوم. وأيضا يستخدم بخار الربيديوم في نفس الأجهزة ويسمى الجهاز في هذه الحالة مغناطومتر بخار الربيديوم. وبالرغم أن المادتين تستخدم حاليا إلا أن السيزيوم أثبت إقناعا أكثر.

يوضح شكل (4-33) أساس تصميم هذا المغناطومتر ويتكون من ملف متصل بمصدر تيار متردد حول حجرة حاوية على بخار السيزيوم يمر ضوء مستقطب خلال الحجرة لخلية كهروضوئية والتي تكون حساسة للتغير في شدة الضوء. ويمكن ضبط توزيع الإلكترونات في البخار والمتأثر بشدة الضوء يتوافق التيار المتردد في الملف مع تقدم تردد الإلكترون.



شكل (4-33): المكونات الأساسية لمغناطومتر بخار السيزيوم (يتأثر شدة شعاع الضوء الواصل للأنبوبة الكهروضوئية نتيجة لتقدم الكترول السيزيوم بسبب تأثير المجال المغناطيسي الأرضي)

تتوزع الإلكترونات المكافئة في ذرة السيزيوم في مدارات مختلفة معتمدة على الطاقة التي نملكها. وتوزيع هذه الإلكترونات موضحة في شكل (4-34). فباعتبار أربع مدارات فإن الإلكترونات الأقل طاقة تتبع المدار المنخفض  $A_2$  بينما الذي لها طاقة أكبر تتبع المدارات الأعلى  $A_1$ ,  $B_2$ ,  $B_1$  وتغير طاقة الإلكترون يمكن إنتقاله لمدار آخر. وتبعاً لقوانين ميكانيكا الكم، ينتقل الإلكترون بإزاحة معنية. ويمكن أيضاً إنتقاله من مدار  $A_1$  إلى مدار  $B_1$  أو من مدار  $A_2$  لمدار  $B_2$  وذلك بامتصاص طاقة فوتونات الضوء. أما الإنتقالات الصغيرة من المدار  $A_2$  للمدار  $A_1$  أو من  $B_2$  إلى  $B_1$  فمن الممكن أن يكون هذا مصاحب للطاقة الإضافية المطلوبة لتوجيه المحور المغزلي للإلكترون.



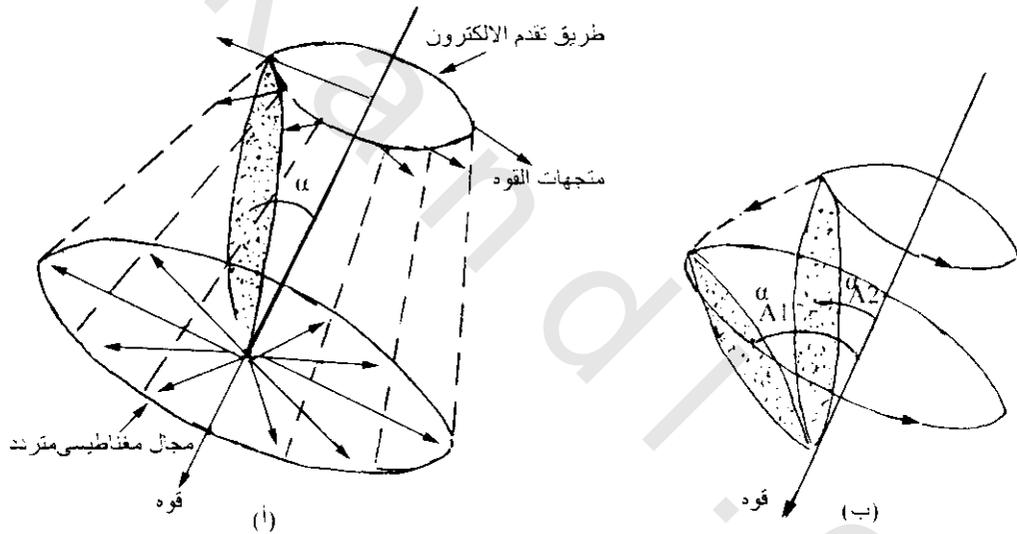
شكل (4-34): بعض ظواهر حركة الإلكترون في أربع مدارات لذرة سيزيوم. عندما تكتسب الإلكترونات طاقة في المدار  $A_1$  فيمكن انتقالها إلى المدار  $B_1$ . بالمثل الإلكترونات المكتسبة طاقة في المدار  $A_2$  تنتقل للمدار  $B_2$

ويمكن إمتصاص الطول الموجي للضوء الخارج من لمبة السيزيوم بواسطة الكترونات ذرات السيزيوم، وباستقطاب هذا الضوء يمكن امتصاصه فقط بواسطة الكترونات مدارات  $A_1^*$ . وهناك أيضا بعض الفوتونات التي تمتص بواسطة الإلكترونات وعندئذ تزداد بين المدار  $A_1$  للمدار  $B_1$ ، وتسمى هذه العملية بالضخ الضوئي (optical pumping) حيث تضخ طاقة الضوء للحجرة (حجرة السيزيوم بالجهاز) وتبقى بواسطة طاقة الكترونات جديدة لذلك فإن مغناطومتر بخار السيزيوم وكذلك بخار الربيديوم تصنف كمغناطومتريات ضخ ضوئي.

ولأن الفوتونات الممتصة بواسطة الإلكترونات لا تمر خلال حجرة بخار السيزيوم فإن شدة أشعة الضوء الواصلة للخلية الكهروضوئية تكون تقريبا منخفضة. وعندما تكتسب جميع الإلكترونات في المدارات  $A_1$  طاقة وإزاحة لمدارات  $B_1$  فإنها لا تمتص فوتونات أكثر وبعد ذلك يصل شعاع الضوء للخلية للضوئين ليصبح أكثر لمعانا لأن جميع الفوتونات تمر في هذه اللحظة خلال الحجرة. وعندما تكتشف الخلية الكهروضوئية أشعة ضوئية ذات شدة عالية فهي تنشط مصدر التيار المتردد لكي ينتج مجال مغناطيسي في الملف حول الحجرة. ويتغير تردد المجال أوتوماتيكيا عندما يتوافق مع تقدم تردد الإلكترونات. عند هذا التردد تمد الطاقة لإزاحة بعض الإلكترونات من المدارات  $A_2$  عندئذ لمدارات مكافئة  $A_1$ . لعمل هذه الإزاحة يجب توجيه محور المغزل بالنسبة للمجال المغناطيسي الأرضي من زاوية نموذجية صغيرة للإلكترونات منخفضة الطاقة في مدارات  $A_2$  لزاوية كبيرة للإلكترونات في المدارات  $A_1$ .

\* تعمل مغناطومتريات بخار السيزيوم بواسطة مرور ضوء سيزيوم مستقطب خلال حجرة البخار.

ويوضح شكل (4-35) تقدم (دوران) محور الإلكترون والتي تعمل زاوية  $\alpha$  مع إتجاه مجال الأرض، ايضا يوضح دوران المتجه الذى يوضح كيفية إتجاه تردد المجال المغناطيسى المتغير أثناء كل دورة تذبذبية. ويلاحظ أن هذا المتجه دائما يشير فى إتجاه مختلف عن إتجاه مجال الأرض. وعندما يضبط تردد التعاقب (التناوب) للمجال المغناطيسى لينتفق مع تقدم تردد الإلكترون فإن المتجه يدور عند نفس المعدل كحركة محور المغزل حول مخروط تقدمه. وتكون النتيجة قوة ثابتة فى إتجاه الخارج والتي تمثل دوران محور المغزل لزاوية كبيرة مميزة لمدار  $A_1$ . لاي تردد آخر فإن القوة تبدو بواسطة تردد المجال المغناطيسى والتي تكون دوراتها من الإتجاه الداخلى للإتجاه الخارجى مسببة ارتجاج أكثر من إزاحة إستمرارية زاوية مغزل المحور. ولذلك عندما يتوافق التيار فى الملف بالضبط مع تقدم التردد فستزاح الإلكترونات من المدارات  $A_2$  إلى  $A_1$ . ويكتسب الإلكترون المزاح حديثا قدرة لإمتصاص طاقة ضوئية عند لحظة وصوله مدار  $A_1$ . وتكون النتيجة المباشرة نقص فى شدة الشعاع المكتشف بواسطة الخلية الكهروضوئية. هذا التغير فى الشدة يشير لنظام تسجيل تردد التيار الذى يتفق الآن مع تقدم تردد الإلكترون. وتكبر هذه القيمة بواسطة بوصلة مغناطيسية (جبر مغناطيسية) الكترونية نسبية للحصول على شدة المجال المغناطيسى الأرضى.



شكل (4-35): (أ) تغير زمن القوة بواسطة مجال مغناطيسى متردد على تقدم الإلكترون فى حجرة بخار السيزيوم، (ب) تأثير القوة على دوران محور مغزل الإلكترون من زاوية طاقة منخفضة  $A_2$  إلى  $A_1$  بمد تذبذب لمجال مغناطيسى متردد وبأنفس تقدم تذبذب الإلكترون لى تؤثر قوة ثابتة متجه للخارج لتدوير محور مغزل الإلكترون

وقد صممت مغناطومترا ضخ ضوئى للمسح الجوى وكذلك لعمليات الرصد الدائم، وتقيس هذه الأجهزة المجال الكلى للأرض فقط. وتوجيه الوحدة الحساسة (سنسور sensor) غير مهم، ولكن المجال المغناطيسى المتردد يجب أن لا يكون موازى (فى صف) للمجال الأرضى. وبإمكانية هذه الأجهزة القياس فى أقل من ثانية، وذلك لأن الكتلة الصغيرة جدا للإلكترون تجعل ترددها أعلى جدا من البروتون. وحيث أن المجال الأرضى يتراوح تقريبا ما بين 90 إلى 245 كيلوهرتز فإن هذا النظام يقيس بتوافق كاف شدة المجال بدقة تصل إلى 0.01 جاما.

## 4.3.1.5.4 مغناطومترا معدل التغير Magnetic Gradiometers:

تستخدم هذه المغناطومترا لقياس معدل التغير في المجال المغناطيسي وليس المجال نفسه أى يراد معرفة تغير المجال المغناطيسي مع الارتفاع عن سطح الأرض أو التغير الأفقى على سطح الأرض لأن معدل التغير فى الشاذة المغناطيسية يفصل بين الشاذة الإقليمية (regional) والمحلية (local)، فإذا كان الجسم المسبب للشاذة صغيرا وقريبا من السطح أحدث شاذة عالية القيمة (high amplitude) سريعة التذبذب (high frequency) بينما الشاذة الإقليمية تكون ناتجة من أجسام كبيرة ممتدة وعميقة (صخور القاع والألواح البازلتية) فإن الشاذة تكون منخفضة القيمة بطيئة التردد، ومعدل التغير الرأسى أو الأفقى هو الذى يفصل بين هذين النوعين من الشاذات كما فى شكل (4-36).



شكل (4-36):



شكل (4-37):

وتتكون الأجهزة (مغناطومتر بروتونى أو جهاز الضخ الضونى أو شابه ذلك من الأجهزة) التى تقيس هذا المعدل من رأسين حساسين للقياس بوضع أحدهما أعلى من الآخر بمسافة ثابتة أو يبعد عن الآخر بمسافة أفقية ثابتة (شكل 4-37). وفرق القرائتين بين الرأسين ثم القسمة على المسافة بينهما تعطى معدل التغير ويكون التغير الرأسى  $\Delta T/\Delta Z$  والتغير الأفقى  $\Delta T/\Delta X$  وتكون الشاذة فى هذه الحالة خالية من التغير اليومى والتغير عند نقطة الأصل وأى تغيرات أخرى، ويفضل القياس بالمعدلات gradiometer فى حالة القياسات المكثفة التى تحتاج لعدد كبير جدا من القراءات المغناطيسية كالتنقيب عن الآثار أو القياسات الجيوتقنية.

\* فى الأجهزة البسيطة يمكن القراءة براس واحدة حساسة مرتين على ارتفاعين مختلفين أو مسافتين أفقيتين مختلفتين وحساب الفرق بينهما.

#### 2.5.4 طرق المسح المغناطيسى Methods of Magnetic Survey:

هناك ثلاثة طرق للمسح المغناطيسى:

- 1- المسح الأرضى Ground Magnetic Survey.
- 2- المسح الجوى Ground Magnetic Survey.
- 3- المسح البحرى Aeromagnetic Survey.
- 4- مسح مغناطيسى بالأقمار الصناعية Satellite Magnetic Survey\*.

#### 1.2.5.4 المسح الأرضى Ground Magnetic Survey:

من أهم الأجهزة والذى استعمل لزمان طويل هو الميزان المغناطيسى من نوع شميت Schmidt type (شكل 130)، وأيضا من أكثر الأنواع استعمالا للآن كوسيلة للمساحات الأرضية والمصمم لقياس المركبة الرأسية للمجال الأرضى، أو المركبة الأفقية عند خطوط عرض ذات مغناطيسية منخفضة. فى السنوات الحديثة زاد استخدام جهاز بورتون للقياسات الأرضية.

العمليات الحقلية فى الإستكشافات المغناطيسية عن البترول عادة تكون مختلفة بعض الشيء عن تلك المستخدمة فى إستكشافات المعادن والآثار ودراسات الجيولوجيا الهندسية. ففى البحث عن البترول تكون المسافات بين المحطات أكبر منها كثيرا عن طرق البحث الأخرى كالبحث عن المعادن والآثار ودراسات الجيولوجيا الهندسية\*\*. ويجب أن تقام محطات القياس على مسافات آمنة من جميع الأدوات الحديدية التى تتعارض مع المجال العادى فيجب أن تبعد محطات القياس عن هذه الأدوات بحوالى 125 متر والسيارات فى حدود 30 متر والأسوار السلوكية (خاصة فى الإتجاه الشمالى-الجنوبى) فى حدود 35 متر. كذلك يجب الإبتعاد عن خطوط الكهرباء ومحطات الكهرباء والكبارى والبرابخ والمنازل. بالإضافة لذلك على القائم بالعمل المسحى أن يحمل أقل ما يمكن من المواد الحديدية والمغناطيسية الخاصة به.

#### 1.1.2.5.4 العمليات الحقلية Field Operation:

- 1- يستوى الجهاز أفقيا على القاعدة ذات الأرجل الثلاثة بواسطة تحريك هذه الأرجل. ويضبط الوضع الأفقى بواسطة العين الفقاعية الموجودة على الجهاز (جهاز شميت). أما فى الأجهزة الإلكترونية فعلمية الضبط هذه غير هامة.
- 2- يحدد الزوال المغناطيسى (إتجاه الشمال المغناطيسى) بواسطة بوصلة خارجية ويوضع الجهاز موازى للزوال المغناطيسى.
- 3- بعد ذلك تؤخذ قراءة الجهاز ثم يدار الجهاز 180° وتؤخذ قراءة أخرى.
- 4- تؤخذ بعد ذلك متوسط هاتين القراءتين.

\* ويغنى هذا المسح الكرة الأرضية كلية.

\*\* فى حالة البحث عن البترول، عادة تكون المسافة بين المحطات فى حدود 1 كيلومتر - 1.5 كيلومتر، فى حالة البحث المعدنى تكون المسافة بين المحطات حوالى 25 متر، أما فى حالة دراسة الجيولوجيا الهندسية والبحث عن الآثار فتقل القيمة بين المحطات كثيرا وقد تصل إلى 5 متر.

- 5- تؤخذ قراءة درجة الحرارة لعمل تصحيح درجة الحرارة.  
6- يربط النظام المتحرك بالجهاز ويعد للانتقال لمحطة أخرى. ومن الضروري أن تتم العمليات السابقة بدقة وعناية وأيضاً تؤخذ صورة من القراءات الأصلية.

#### 2.1.2.5.4 معايرة الجهاز Calibration of the Instrument:

يتم هذا بوضع الجهاز في مجال منتظم معروف. ومن أحسن الطرق للحصول على مجال مغناطيسي منتظم يتم بواسطة ملف هو لهمولتز Helmeholiz coil\*.

#### 3.1.2.5.4 إختزال (تصحيح) النتائج المغناطيسية Reduction of Magnetic Data:

##### 1.3.1.2.5.4 تصحيح درجات الحرارة Temperature Corrections:

ينتج التغير في قراءات الجهاز في المكان الواحد بوضعه خارج الحجرات (المعامل) وذلك لتغير درجات الحرارة من ارتفاع أو انخفاض. في الأنواع الأخرى الغير مكافئة للإتزان الحقلية (جهاز شميدت)، يوجد معامل حراري حوال 8 جاما  $(\gamma)$  درجة حرارة  $(8\gamma/10^\circ)$  والتي تنشأ من التمدد أو النقصان وكذلك بواسطة التغير الحراري في العزم المغناطيسي نفسه. في الأجهزة الحديثة المكافئة، فإن تأثير التغير الحراري يكون أقل من  $1/10$  القيمة الكبيرة السابقة. في حالة أخرى تصحح قراءة شدة المجال إلى درجة حرارة عيارية  $(20^\circ)$  بواسطة استخدام معامل نظام حراري.

##### 2.3.1.2.5.4 التغير اليومي Diurnal Correction:

هذا التغير تصل قيمته إلى أكثر من  $\gamma 100$  ولذلك لابد من إختزاله (تصحيحه) من النتائج المأخوذة بالمغناطومترا الحقلية\* وهذا يتم عمله بعدة طرق:

##### 1.2.3.1.2.5.4 إذا استخدم جهاز واحد للقياس A Single Instrument is Available:

(أ) إذا كانت الدقة العالية غير مطلوبة\*\*، وفي هذه الحالة تحدد العودة التقريبية للمجال الأرضي\*\*\* عند أي وقت من منحنيات مقياس التغير (مغناطومتر) المحسوبة عند بعض الأماكن بالولايات المتحدة الأمريكية مع الأخذ في الاعتبار أن هذا التصحيح يعني أنه غير ملائم للعمل الدقيق في أي مكان ولكن في أماكن متجاورة لمحطتين (مكاني مراقبة). وهذا يأتي من حقيقة أن المنحنى مختلف غالباً عشرات الجاما عند أماكن فقط لقليل من أبعاد مئات الأميال.

(ب) باستخدام هذا الجهاز المفرد، يتم التصحيح بالرجوع إلى محطة القاعدة (المحطة الأولى) كل ساعتين وينشأ منحنى التغير لهذه المحطة ويتم هذا كل يوم عمل بواسطة رسم القراءات عند هذه المحطة مع الزمن. وربما يهمل عدم التغير لأكثر من  $\gamma 10$  خلال الفترات بين إعادة العمل في محطة القاعدة ولهذا فإن هذه الطريقة لايعتمد عليها إذا كان الضبط ضروري لقليل من الجاما.

\* يتكون ملف هو لهمولتز من ملفين متساويين ومتوازيين والمسافة بينهما تساوي قطر الملف.

\*\*  $(\gamma)$  جاما هي وحدة القياس المغناطيسي حيث أن واحد أورستيد =  $10^5$  جاما.

\*\*\* هذه العملية تقابل ضبط الانحراف في طريقة الجاذبية.

كما في المسح المنجمي.

محطة القاعدة (الأولى) Base Station.

#### 2.2.3.1.2.5.4 إذا استخدم جهازين Two Instruments are Used :

يوضع أحد الأجهزة عند محطة القاعدة ويؤخذ القراءات على فترات منتظمة، وينشأ المنحنى اليومي لهذه القراءات بحيث تكون مرجعا للقراءات فى المحطات الأخرى.

#### 3.2.3.1.2.5.4 إذا استخدم ثلاثة أجهزة Three Instruments are Used :

يوضع جهازين عند محطتين قاعدتين وتؤخذ القراءات على فترات منتظمة، وينشأ المنحنى اليومي \*\*\*\* لهذه القراءات لكل محطة قاعدة بحيث يكونين مرجعا للقراءات فى المحطات الأخرى.

#### 4.1.2.5.4 التصحيح العادى Normal Correction :

يعمل هذا التصحيح للتغيير الناتج من التغيير الدائم فى القيمة والإتجاه للمجال المغناطيسى الاصلى والذى يحدث من مكان لآخر. هذا التغيير تابع فى نفس الوقت للتغيير فى الجاذبية مع خطوط العرض ولكن يختلف فى طريقتين:

أ- لا يوجد معاملات منتظمة لخطوط العرض والطول كما فى الجاذبية.

ب- تغير مغناطيسى عبر مسافات مأخوذة أكبر بكثير من وضع المجال الكلى.

وربما يهمل هذا التصحيح إذا كان المسح تفسيرياً حيث يتأثر هذا التصحيح بالمقياس الإقليمى. ويمكن عمل هذا التصحيح على المقياس الإقليمى بواسطة طرق تشبه تماما التى تستخدم لإزالة الإتجاه الإقليمى فى التفسير الجاذبى وذلك بمساعدة خرائط وجداول منشأة ومقامة لهذه الأغراض.

ويمكن إجراء هذا التصحيح بطريقة أخرى وفيها تختار محطة مغناطيسية مثلا لكل عشرة محطات منتظمة فى عملية التنقيب ثم يتم عمل خطوط كنتورية لقراءة هذه المحطات فقط، وفى النهاية تسوى (smoothing) خطوط الكونتور على أساس جميع القراءات. يطرح الفرق بين قراءة الكنتور الأساسى والكنتور المسوى، وتفسر الخريطة الناتجة بالشواذ الهامة.

#### 5.1.2.5.4 تصحيح التضاريس Terrian Correction :

فى حالات نادرة يؤخذ هذا التصحيح فى الإعتبار عندما تكون الصخور السطحية مغناطيسية، ومسببة عدم إنتظام للتضاريس، نتيجة لذلك يوجد تغير فى قراءة المغناطيسية مشابهة للتغيير فى الجاذبية الناتجة من تغير حدود التضاريس. فسر هايلاند 1968 Heiland كيفية تصحيح التضاريس المغناطيسية بنفس الطريقة العامة كالمستخدمة فى العمل الجاذبى مع افتراض أن الهضاب والوديان لها نفس الشكل الهندسى البسيط.

#### 2.2.5.4 المسح الجوى Aeromagnetic Survey :

لعمل هذا المسح تستعمل الأجهزة الإلكترونية التى غالبا لاتحتاج لتوجيه معين. وأيضا تقيس هذه الأجهزة المجال الكلى Total Magnetic Field وأهم هذه الأجهزة:

\*\*\*\* إذا كان كلا من المنحنين موازى أو قريبا للتوازى من الآخر فهذا يدل على أن كلا المرجعين مضبوط ويتم التصحيح بإحدهما. على مسافات قصيرة.

- 1- مغناطومتر ذو بوابة الفيض (ذو فتحة التدفق) Flux Gate Manetometer  
 2- المغناطومتر النووي Proton Magnetometer  
 3- مغناطومتر الضخ الضوئي Optical Pumping Magnetometer

ويتم القياس بتعليق رأس المقياس (sensor) للأجهزة السابقة في كابل يبعد عن الطائر بحوالي 30 متر لكي لا تؤثر الطائرة والأجهزة بداخلها على المجال المغناطيسي عند رأس القياس، ويوضع الرأس في صندوق انسيابي يقلل من دفع الهواء أثناء الطيران ومزود أيضا بزعانف لكي لا يدور حول نفسه أثناء الطيران، ويسمى هذا الصندوق والرأس داخله (الطائر Bird). وأحيانا يوضع رأس الجهاز في مكان مثبت بعمود طويل غير مغناطيس ممتد من مؤخرة الطائرة. وغالبا ما يقاس مع المساحة المغناطيسية قياسات كهرومغناطيسية أو إشعاعية إستغلالا للطيران. وفي هذا المسح يجب أن تطير الطائرة بسرعة منتظمة أو أن تحسب سرعتها مع سرعة الجهاز في تسجيل القياسات بحيث تعرف قيمة المجال بالضبط عند النقط المختلفة على امتداد خطوط القياس أو أن يكون هناك أجهزة تحديد الموقع navigation بحيث نعرف موقع كل رصده على امتداد منطقة الرصد. وتسجل القياسات باستمرار على شريط مغناطيسي أو شريط متقرب أو راسم (قلم) يرسم على شريط ورقي متحرك بسرعة منتظمة شكل (38-4).

شكل (38-4): أنواع بسيطة لتغير مغناطومتر رنين نووي يوضح الجزء الأسفل شريط لتمثيل مستمر نسبي، والشريط الأعلى تسجيل عددي مكافئ في شكل علاقة نقطية

#### 1.2.2.5.4 تحديد أماكن محطات الرصد :Determination of Position Location

لتخريط نتائج المغناطيسية الجوية من الضروري مقارنة جميع قراءات المجال الكلي مع مكان مستوى لحظة أخذ القراءة وهناك طريقتين لذلك:

#### 1.1.2.2.5.4 طريقة شوران :Shoran Method

نظام إلكتروني لتحديد موقع أخذ القراءة المغناطيسية بالطائرة. في هذا النظام توضع محطتين أرضيتين لاستقبال الموجات النبضية أو المستمرة من محطة إرسال بالطائرة ثم بثها مرة أخرى من المحطتين الأرضيتين للمحطة بالطائرة والتي تستقبلها، ومن فرق زمن إرسال الأشعة (موجات دقيقة micro-waves) من محطة الطائرة ثم استقبالها وسرعة الطائرة يمكن حساب مكان الرصد. ومن ترددات الأشعة العائدة من المحطتين الأرضيتين للطائرة يمكن حساب سرعة الأرض. ويحدد اتجاه الموضع المأخوذ عنده القراءة المغناطيسية بواسطة نوع خاص من البوصلة المغناطيسية ويتم الحفاظ على هذا الإتجاه بواسطة جيسكوب توجيهي. دقة هذا النظام تكون في أعلى مراتبها عندما يكون الخطأ جزء في الألف. ربما لا يكون هذا النظام بدرجة دقيقة عند الطيران بارتفاع أقل من 350 قدم.

#### 2.1.2.2.5.4 طريقة التصوير الجوى Aerial Photography Method:

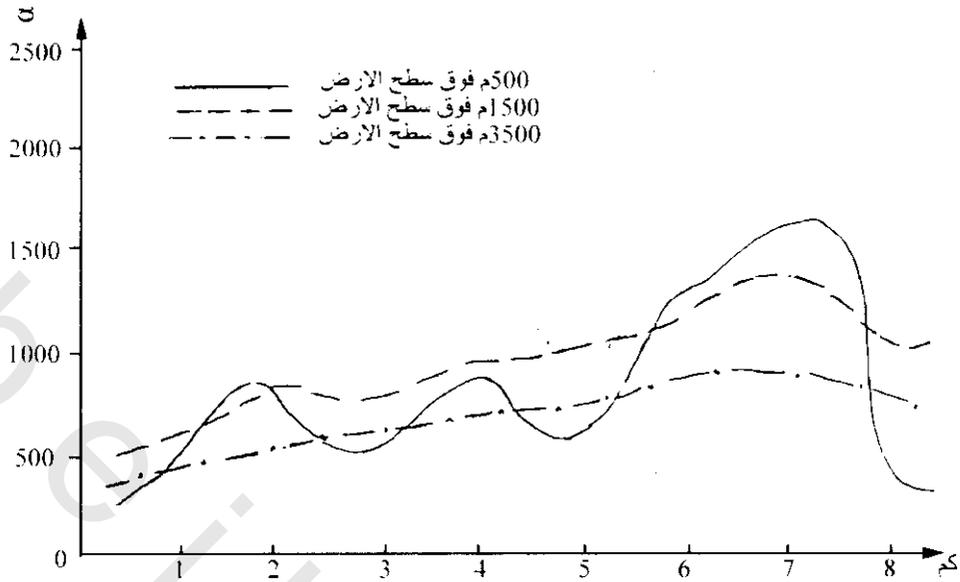
فى هذه الطريقة تستعمل عموما آلات تصوير ذات ترابط مستمر. فى أحد أنواع آلات التصوير يستعمل ميقاته الكترونية لتحديد فترات الزمن على جميع التسجيلات. وهذا ينتج علامات إسناد عند أى فترة مطلوبة ابتداء 1-120 ثانية. وتطبع أيضا هذه العلامات على شرائط الورق المتحركة التى تحتوى على تسجيل الشدة المغناطيسية وتسجيل الإرتفاع. وعندما تكون الظواهر المرسومة على الخرائط معروفة جيدا من الطائرة فإنه من الممكن توقيع المواقع على الخريطة بالقياس المباشر من الطائرة وتتم هذه العملية من تسجيل القيمة المغناطيسية مع تحديد الموقع الأرضى بواسطة طائرة ذات سرعة منخفضة على إرتفاعات قليلة من الأرض. هذه الطريقة غير مناسبة على المياه أو فى مجال القطب الشمالى والجنوبى أو مناطق الغابات الممطرة.

#### 2.2.2.5.4 إرتفاع خط الطيران Heigh of Flight Path:

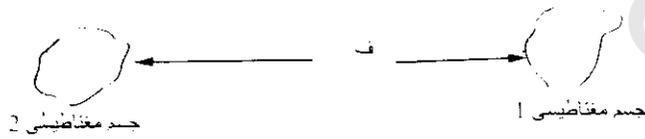
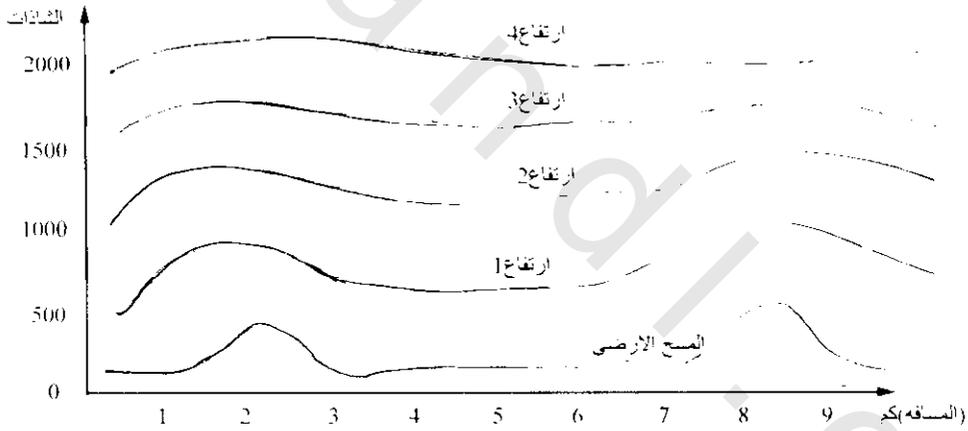
فى البحث والتنقيب عن البترول أو معرفة شكل صخور القاع والتركيبات العميقة، فعادة ما يكون إرتفاع الطيران تقريبا ثابتا من سطح البحر. وفى حالة البحث المنجمى (المعدنى) يجب أن يكون الإرتفاع دقيقا ويكون عادة مرجع الإرتفاع سطح الأرض. ومن المستحسن استخدام طائرة هيلوكبتر لكى يسهل ضبط إرتفاعها بحيث يكون متساويا تماما وموازيا لتضاريس المنطقة المسموح بها. ولو أنه من الصعوبة بمكان ضبط إرتفاع الطائرة، لهذا يجب أن تكون هناك أجهزة لتحديد إرتفاعها. لأنه عادة تتغير الإرتفاعات تبعا لنوعية البحث، وفى حالة البحث عن البترول والتركيب العميقة فإن تذبذب الإرتفاع بالقطع يكون صغيرا. أما فى حالة البحث المعدنى فإن تغير الإرتفاعات يحدث كثيرا تبعا للتضاريس ويجب أن يكون التذبذب فى إرتفاع الطائرة أقل بكثير من الإرتفاع عن سطح الأرض. يرى شكل (4-39) ثلاثة خطوط طيران عبر رسوبيات مغناطيسية عند إرتفاعات ما بين 500 متر إلى 3500 متر فوق سطح الأرض. تقاس القمة المغناطيسية الحادة جدا بالقرب من مركز البروفيل ذا إرتفاع 500 متر وتصبح الحادة غالبا غير ملاحظة عند إرتفاع 10,000 متر. وكلما زاد إرتفاع الطيران، تندمج الشادات ويقل تأثيرها المغناطيسى من المصادر التحت سطحية القريبة. ويوضح شكل (4-40) التأثير المحدد لمجموعات الشادات، ومن الشكل يمكن إستنتاج الإرتفاع الذى يجب عنده الطيران لتجنب خطأ أعمال الظواهر الجيولوجية المفردة. النموذج الأكثر إستعمالا فى الطيران يتكون من شبكة مستطيلة، وتكون الخطوط متقاربة فى إتجاه أكثر من الإتجاه الآخر، وعادة ما تكون الخطوط المتقاربة عمودية على المضرب المغناطيسى للمنطقة أو مع الظواهر\* التى يجرى رسمها. ويجب أن تكون الإنحرافات حتى 30° من العمودى لكى تكون القراءات صحيحة.

بالقرب من خط الإستواء المغناطيسى فإن المجال المغناطيسى للأرض يكون تقريبا أفقيا، والأقطاب التأثيرية تكون موزعة بطول الأسطح المطولة فى إتجاه شرق-غرب. فإذا كانت الإتجاهات الجيولوجية شمال-جنوب فإن الشادات المغناطيسية لن تعكس التركيب جيدا لأن السطوح المطولة فى المستويات الراسية الموجهة فى هذا الإتجاه لن تودى لتراكم الحفظ فى كثافة الأقطاب المغناطيسية.

\* هذا المضرب والظواهر تتبع عامة الإتجاه التركيبى للصخور النارية أو المتبلورة فى المنطقة.



شكل (4-39): تأثير الارتفاعات على نتائج المسح الجوي المغناطيسي



شكل (4-40): تحليل الشادات المغناطيسية من جسمين مغناطيسيين على بعد مسافة (ف)، بروفييل مغناطيسي عند سطح الأرض وأربع بروفييلات لارتفاعات طيران مختلفة

## 3.2.2.5.4 المسافات بين خطوط الطيران :Distance Between Flight Lines

هذه المسافات تكون محكومة الأشكال، والأبعاد، وأعماق الأهداف التي يجرى من أجلها المسح المغناطيسي الجوى فمثلاً:

(أ) إذا كان مصدر الشاذة المغناطيسية محدود وضيق الموضع مثل عمود رأس (اسطوانة رأسية) أو جسم صغير من الخام على شكل كرة، سوف تظهر لشاذة على هيئة كنتورات دائرية، نصف عرضها سيكون تقريباً نصف عمق مركز الكرة. في هذه الحالة يجب أن تكون المسافة بين خطوط الطيران تساوى أو تقل عن نصف قيمة الذروة للشاذة، لكي يكون تقدير الأعماق والمعاملات الأخرى للأجسام المدفونة صحيحة.

(ب) يمكن قياس الشاذات المطولة على أكثر من خط في حالة إذا كنت الخطوط العرضية متعامدة مع المضرب وقد بين أجوكس Ajox 1955 نتيجة لدراسة إحصائية المسافات اللازمة لكشف شاذة لها حجم معين ومثال لذلك خام ماتاجامى Mattagami في منطقة كوبيك Quebec بكندا حيث لم تظهر الشاذة بوضوح عندما كانت المسافة بين خطوط الطيران  $\Omega$  ميل ولكن بخطوط طيران متباعدة بـ  $5^\circ$  ميل أعطت النتائج مؤشراً حسناً للشاذة. شكل (4-41) يحدد نموذج الطيران بطبيعة الشاذات التي يراد البحث عنها وكذلك بمواقع المحطات الأرضية للأسناد في عملية تحديد المواقع وعلى الأخص بقيمة التغيرات اليومية التي تسبب إقلاقاً خاطئاً حول الحلقات أو الدورات.

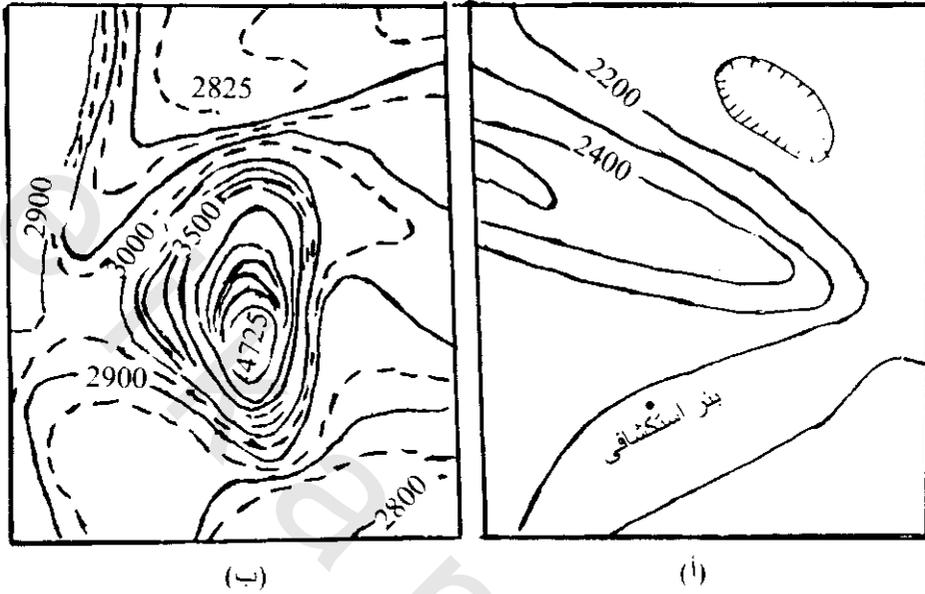
شكل (4-42) يوضح النموذج الأكثر شيوعاً حيث يتكون من مجموعات متعامدة من اتجاهات الشمال-للجنوب والتي تبعد عن بعضها البعض بمسافة تتراوح عادة بين 5-10 ميل يتم الطيران فيها تباعاً وبعدها يتم اجتيازها عمودياً في اتجاه شرق-غرب أو العكس بالعكس. يتم ضبط التغير اليومي عند التقاطعات بواسطة المربعات الصغرى للإقلال إلى الحد الأدنى للإقلال الخاطئ حول الحلقات الفردية.

وهذا موضح في الشكل الخاص بالحلقات الأربع في الشمال الغربي من الشكل. الفروق في المجال المغناطيسي المقاس يتم تعيينها من شرائط التسجيل لكل جانب من المستطيلات. إذا لم توجد إزاحة أو تغير يومي فإن الفروق سوف تكون صفراً حول الحلقة، الأفعال الخاطئ الفعلى المكتوب داخل المستطيل تخزن في الحاسب الآلى والضبط الخاص بها الذى يحدد بالمربعات الصغرى، يوزع بانتظام على مسار الطيران كله. وهناك عدة أساليب حسابية لعمل هذه التصحيحات منها طريقة جيسون Gebson 1941. هذه الطريقة لاتصحح الأخطاء التي تسببها التغيرات اليومية التي تحدث عند اجتياز الطيران نقط الربط\* ويمكن التنبؤ بهذا الخطأ عن طريق الربط بين خط الربط وسرعة الطائرة.

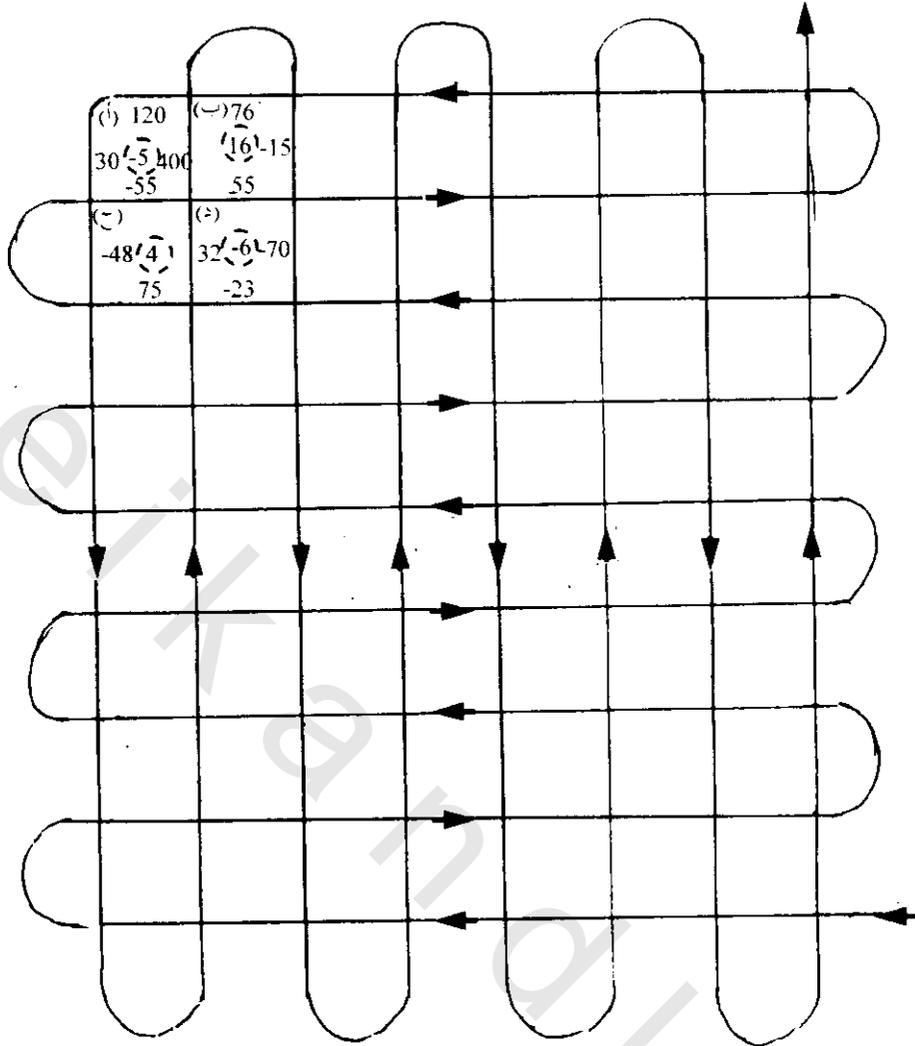
لمعظم العميات يوجد جهاز قياس مغناطيسية أرضى للتسجيل المستمر في محطة قاعدة بالقرب من منطقة المساحة لمراقبة التغيرات المغناطيسية الأرضية المحيطة. وهذه المحطة يمكن استعمالها للتصحيحات اليومية، والوظيفة الأخرى لهذا الجهاز هي مراقبة العواصف المغناطيسية، عندما تبدأ هذه العاصفة فإن التسجيل من الجو

\* يتم القياس مرتين عند نقط الربط (التقاطع) ويجب أن تكون القياسات متساوية فإذا لم تكن متساوية كان ذلك نتيجة للتغير اليومي في المغناطيسية الأرضية.

يتوقف حتى تعود الأحوال إلى حالتها الطبيعية. وعندما يتطلب الأمر دقة عالية، فإن المراقبة الأرضية تستعمل للتأكد من أن معدل التغير اليومي هو معدل خطى أثناء الطيران، حتى يمكن توزيع الفروق حول الإطارات بدون خطأ كبير. إذا زاد الحيود من الخطية عن المواصفات فإن المساحة ربما يكون من الواجب إعادتها.



شكل (4-41): مقارنة الصور المغناطيسية التي تم الحصول عليها فوق منطقة الكريثور ماتاجامي في كويك بكندا بمسافات: (أ)  $\Omega$  ميل أعطت شكلاً أفقياً عالياً لـ 200 جماً في اتجاه عكسي من الغرب، (ب)  $\circ$  ميل أظهرت شاذة مرتفعة وكانت هذه الشاذة مسنولة عن أكبر اكتشاف الكريثورات في كندا



شكل (4-42): نموذج طيران قياس لإلغاء التغير اليومي والأخطاء الأخرى، الأرقام حول المستطيلات في اليسار الأعلى (أ، ب، ج، د) تبين طريقة ضبط الأخطاء، الأرقام الموجودة في الجوانب هي الفروق بالاجاماً للمجال الكلي بين الأركان المتجاورة. الأرقام في الوسط تبين الأفعال الخطأ حول كل حلقة فمثلاً في المستطيل (أ) بالجمع الجبرى  $-30+120=100-55$ .

وفي المستطيل، (ب) بالجمع الجبرى  $16=100+76-15+55$

وفي المستطيل، (ج) بالجمع الجبرى  $4=48-55+32+75$

وفي المستطيل، (د) بالجمع الجبرى  $-6=32+55-70-23$  ويتم ضبط القيم عند الأركان بالمربعات الصغرى للإقلال من الأفعال الخاطى

### 3.5.4 المسح المغناطيسى البحرى :Oceanic Magnetic Survey

تتم هذه المساحة في المياه الإقليمية أو أعالي البحار\* وذلك بوضع رأس الجهاز\*\* في صندوق صغير بواسطة كابل خلف السفينة وطول هذا الكابل يعتمد على حجم السفينة فهى تتراوح ما بين 30 متر، 300 متر، أى تحسب المسافة التى ينعدم عندها تأثير جسم السفينة مغناطيسياً. ويحمل الكابل على عوامات حتى لا يتبدل في

\* يتم هذا المسح تقريباً بنفس الطريقة التى يتم بها المسح المغناطيسى الجوى.  
\*\* يستخدم مقياس الشدة المغناطيسية البيروتونى فاربان (Varian) المصمم للسحب بالسفن.

الماء ويقطع بأى عوائق تحت سطح الماء. وتسجل القياسات بأجهزة الكترونية على السفينة نفسها. وقد يقاس أيضا معدل التغير الأفقى Horizontal gradient بواسطة رأسين يجران خلف بعضهما ويمكن قياس معدل التغير الرأسى vertical grad عن طريق تركيب عمود طويل فوق جسم السفينة يحمل رأسين أحدهما يعلو الآخر وعادة ما تكون السفينة مصنوعة من مواد قليلة أو منعدمة التمعنط.

وعادة ما يصاحب القياس فى السفينة إجراء قياسات سيزمية فى البحر أو قياسات جاذبية وغالبا ما تتحكم القياسات السيزمية فى مسار السفينة وشكل البروفيل المقاس. أما إذا كان الغرض الرئيسى من الرحلة هو إجراء القياسات المغناطيسية فى هذه الحالة لاختلاف المساحة المغناطيسية فى البحر عنها فى الجو.