الوسائل العلمية الحديثة

في البحث عن المعادن

من محاضرة الدكتور حسن صادق

وكيل مصلحة المناجم المصرية في مؤتمر العلم المصري لنشر الثقافة العلمية

اشار الدكتور حسن صادق في مستهل محاضرته الى ان المعادن اساس اغلب الصناعات وان الصناعة حجر الزاوية في اكثر مدنيات الانسان وان الانسان لم يخط خطواته السريعة في سلم الرقي الا بعد ان فقه قيمة المعادن وخصوصاً الفلزية منها ولماعة التفاته عن سر استنباطها من مواطنها الاصلية فخرج من عصور الحجرية الى عصور البرونز والنحاس والحديد والفولاذ

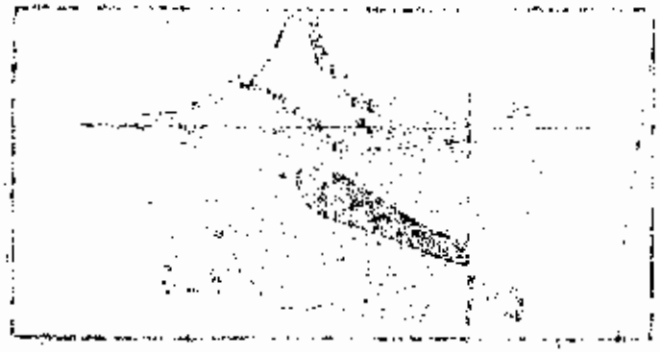
ثم وصف بعض الطرق القديمة المستعملة في البحث عن المعادن كعصا الغراف *Divining Rod* وطرق جيولوجية مبنية على ان لكل معدن موطناً او مواطن خاصة يوجد فيها كالفحم الحجري فانه يوجد غالباً بين طبقات تكونت في عصر جيولوجي معين تمتاز طبقاته بحفريات حيوانية ونباتية معلومة . والذهب يوجد متخللا عروق الكوارتز . وهكذا ثم انتقل الى الوسائل الحديثة فقال:

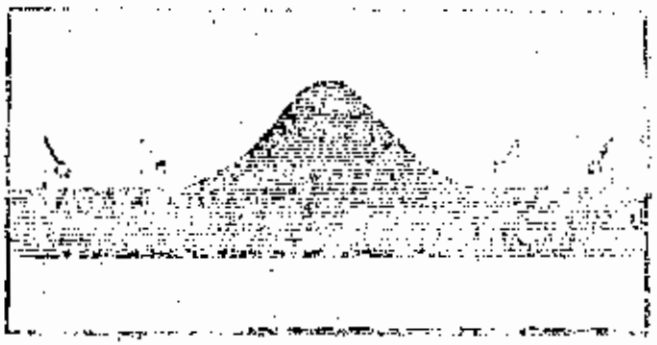
﴿ الطرق الجيوفيزيكية ﴾ على ان هناك مواطن معدنية تحيط بها ظواهر جيولوجية مختلفة فتخفيها ويصبح البحث عنها محوطاً بعوامل من الشك والغموض . ولو اكتفى الانسان بالوسائل الجيولوجية فاما ان يتركها او ان ينفق نفقات طائلة في بحث قد يكون غير مجد

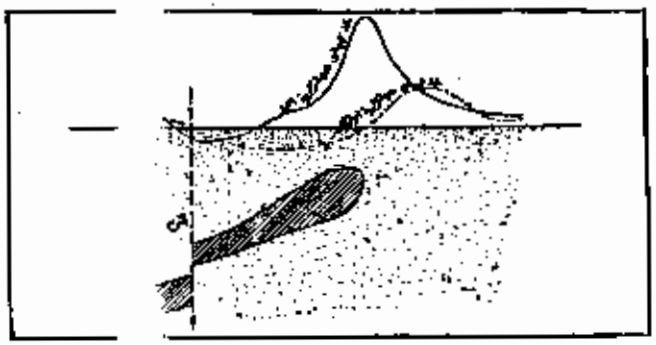
لمثل هذه المواطن قد لجأ الانسان بفطريته الى ان يستمد العون من خواص المواد واختلافها بعضها عن البعض. فالمواد كما تعلمون يختلف بعضها عن بعض في كثافتها ومغناطيسيتها وسهولة مرور التيارات الكهربائية فيها الى غير ذلك. وهذا الاختلاف قد لجأ اليه الانسان ليهتدي به في ابحاثه . هذا النوع من البحث هو الذي نريد ان نقدمه لحضراتكم في هذه المحاضرة وهو النوع الذي أطلق عليه اسم الابحاث الجيوفيزيكية وهي كلمة مشتقة من كلمتين *Geo* الأرض و*physic* الطبيعة فهي الطرق التي تجمع الخواص الجيولوجية والطبيعية للمعادن وهي الطرق التي يتعاون في تطبيقها الجيولوجي وعالم الطبيعة معاً

ومع ان الخواص الطبيعية للمعادن كانت معروفة للانسان منذ القدم وقد لجأ اليها في بعض الاحيان في البحث عن المعادن الا ان التوسع في هذا التطبيق وابتكار الوسائل التي تعتمد على هذه الخواص هو حسنة من الحسنات القليلة التي خلفتها لنا الحرب العالمية الأخيرة لتكفر بها عن بعض سيئاتها

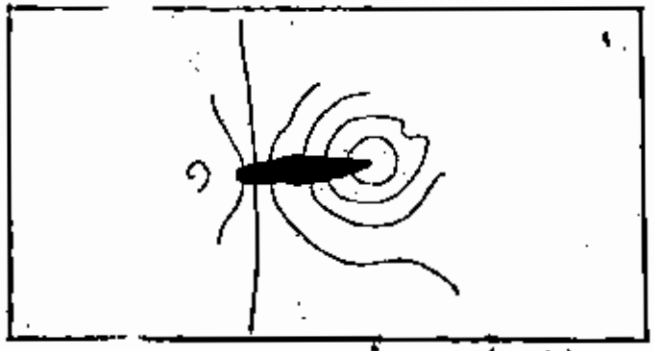
وتفصيل ذلك ان الغواصات كانت من اشد الأسلحة التي استعملت خطراً في البحار وكانت خطراً مستمراً يصعب اتقاؤه فعمد الفريقان المتحاربان الى استنباط الوسائل



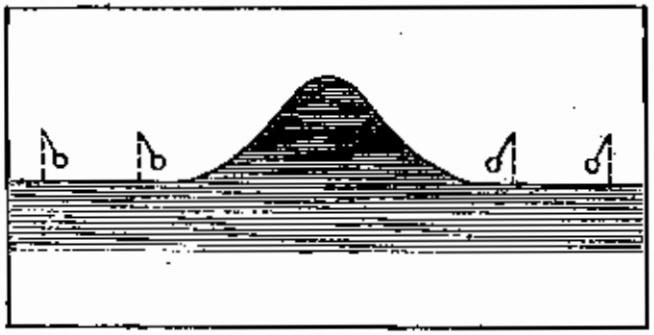




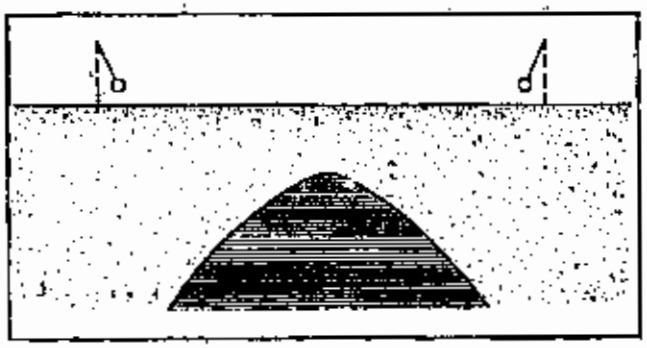
(ش ١)



(ش ٢) — يبين تأثير جسم حديدي دفين على خطوط تساوي زاوية الميل في المجال المغناطيسي



(ش ٣) — قطاع تخيلي يبين انحراف الرقاص على مقربة الجبال



(ش ٤) — يبين انحراف الرقاص لوجود كتلة معدنية كثيفة في باطن الارض

أمام صفحة ٥١٣

لتعرُّف وجودها قبل قيامها بوظيفتها المدمرة. واذا كان وجود الغواصة وهي متحركة مما يسهل معرفتهُ بما ينبعث من محركاتها من اصوات يمكن التقاطها بالميكروفون او الهدروفون فانها وهي رابضة على قاع البحر في انتظار فريستها قد يصعب تحديد مركزها بغير الالتجاء الى وسائل خاصة

والغواصات كما تعلمون مبنية من الفولاذ فلها اذن خواص مغناطيسية واضحة . وقد يدخل في تركيبها بعض المعادن الاخرى كالنحاس والقصدير فهي اذن وهي مغمورة في مياه البحر أشبه شيء بالعامود الكهربائي تنبعث منها تيارات كهربائية وان كانت ضئيلة الا أنها محسوسة يمكن رصدها بالآلات الدقيقة . كذلك كان شأن الغواصة وهي رابضة تحت الماء كشأن اي جسم صلب آخر تعكس موجات الصوت اذا وجهت اليها

على هذه الخواص المختلفة اعتمد الذين مكنتهم عبقريتهم الجبارة من اختراع آلات للرصد مكنت الذين يبحثون عن الغواصات من تحديد مواقعها لاتقاء شرها

ولا يحتاج الامر الى خيال كبير لتبيان الشبه بين غواصة فولاذية رابضة تحت ثلث الامتار من مياه البحر وكتلة معدنية دفينة تحت طبقات سميكة من الصخر ، فكل منهما يمكن الاستدلال عليه اعتماداً على اختلاف خواصه الطبيعية عن خواص المادة او المواد المحيطة بها

وقد يكون الاختلاف بين المعدن الدفين وبين ما يحيط به ويعلوه من صخور مغناطيسيًّا كما في حالة خامات الحديد ، او كهربائيًّا كما في حالة العروق المعدنية التي تحمل كبريتات الفلزات خصوصاً اذا كانت تحت تأثير المياه تحت الارضية . وقد يكون الاختلاف في الكثافة او المرونة او قدرتها على توصيل التموجات الكهربائية او غيرها

وقد انتج مجهود علماء الطبيعة المتواصل في السنين الاخيرة ابتكار عدد من الآلات الدقيقة التي تسمح برصد هذه الاختلافات حتى الضئيلة منها وتسجيلها . ثم تناولها الجيولوجي فاعتمد عليها في تفسير انتراكيب الجيولوجية الغامضة وكان ذلك فتحاً مبينا في البحث عن المعادن

فلنصف الآن بكل ايجاز اهم هذه الطرق والمبادىء الاساسية التي ترتكز عليها كل منها

﴿ الطرق المغناطيسية ﴾ . للكرة الارضية كل الخواص التي لمغناطيس كبير غير منتظم فلها مجال مغناطيسي يختلف قوة من مكان الى آخر . فاذا فصلنا ابرة ممغنطة على محورها الرأسي في اي نقطة على سطح الارض فان هذه الابرة تتجه نحو ابرة اصطلح على تسميتها القطب الشمالي المغناطيسي وهذه تختلف قليلاً عن القطب الشمالي الجغرافي . والزاوية بين الاتجاهين تسمى زاوية الانحراف . وقد قيست زوايا الانحراف في مختلف بقاع الارض وخطط المجال المغناطيسي للارض بخطوط تصل بين النقط التي تتساوى فيها زوايا الانحراف هذه. كذلك اذا فصلنا ابرة مغناطيسية على محورها الافقي وجدنا انها تميل عن الافقي بحيث يميل القطب

الباحث عن الشمال نحو الارض في النصف الشمالي من الكرة ويميل القطب الباحث عن الجنوب في النصف الجنوبي من الكرة . والزوايا التي تميل فيها الابرة في هذه الحالة عن الافق تسمى زوايا الميل وقد خُطط ايضاً المجال المغناطيسي للارض بخطوط تصل بين النقط التي تتساوى فيها هذه الزوايا

فلو كانت المواد المركبة منها القشرة الارضية متماسكة لكان المجال المغناطيسي للارض منتظماً . على ان الارصاد الدقيقة دلت على ان هذا المجال غير منتظم وان هناك بقاعاً تنحرف فيها خطوط تساوي الميل وخطوط تساوي الانحراف بدرجة واضحة . كما ان قوة المغناطيسية الارضية في هذه المناطق لا تتمشى مع وضعها الجغرافي على سطح الكرة . فلم يكن من الصعب تفسير هذا الاختلاف او عدم الانتظام بوجود مواد مغناطيسية خبيئة في باطن الارض . والشكل (رقم ١) يوضح التأثير الذي يحدثهُ راسب حديدي في باطن الارض على المجال المغناطيسي اذ تزيد زاوية الميل فوق القطب الجنوبي للراسب وتقل الزاوية فوق القطب الشمالي ورصد مثل هذه المناطق رصداً دقيقاً وتخطيطها تبعاً للقوة المغناطيسية يمكن استنباط خريطة كما في الشكل (رقم ٢) ومنهُ يمكن الاستدلال اولاً على وجود المعدن الدفين وثانياً على كيفية وضعه في باطن الارض

وقد ابتكرت آلات دقيقة لرصد هذه الاختلافات بحيث يمكن اجراء مساحات مغناطيسية دقيقة يستدل منها على وجود الرواسب الحديدية ووضعها في باطن الارض . ولا يقتصر الامر على ذلك بل يمكن استعمال هذه الطريقة لتتبع توزيع بعض الطبقات التي قد تحتوي كميات قليلة من اكاسيد الحديد موزعة فيها مما يجعل مغناطيسيتها اقوى من الطبقات الاخرى . وبذلك يسهل تعرف توزيع الطبقات الصخرية في باطن الارض وهذا كما قدمنا يساعد في البحث عن المعادن المختلفة

ثم الطرق التي تعتمد على الجاذبية الأرضية فالكرة الأرضية قوة جاذبة على كل الاجسام التي [illegible] الوقت اللازم لحركة الرقّاص (البندول) . والرقّاص ينحرف عن الرأس على مقربة من الجبال كما في (الشكل ٣) وان كانت زاوية الانحراف مكبرة في الرسم عن الحقيقة . كذلك ينحرف عن الرأسي في حالة وجود كتل معدنية كثيفة في باطن الارض كما في (الشكل ٤)

كما انه ينحرف عن الكتل الأقل كثافة مما يحيط بها . ففوق الكتل الكثيفة تزيد قيمة الجاذبية الارضية كما انها تقل فوق المواطن التي تقل فيها الكثافة عن المعتاد

ويمكن قياس قيمة الجاذبية برصد الزمن الذي يأخذه الرقّاص في حركته من جانب لآخر على فرض معرفة مقاساته ووزنه الطولي ووزن الثقل المعلق في آخر الرقّاص

هذه القيمة تختلف باختلاف المكان وتزيد كما قدمنا في الجهات التي تختفي تحتها رواسب معدنية كثيفة . وتقل عن المعتاد فوق المناطق التي تتكوّن من طبقات أقل كثافة من المتوسط

على ان هذا الاختلاف ضئيل جداً! ولا بدَّ لرصدهِ من آلات غاية في الحساسية وبها يمكن عمل مساحات تتناول المناطق المراد فحصها . ثم اذا وصلنا النقط المتساوية الجاذبية بخطوط دلتنا هذه الخطوط على المواطن المرتفعة الكثافة والمواطن القليلة الكثافة كما في (ش ٥)

والقياس كما قدمنا يمكننا من تقدير القيمة الحقيقية للجاذبية على انهُ في البحث عن المعادن لا يقتضي دائماً تعرُّف القيمة الحقيقية للجاذبية بل يمكن تتبع الاختلاف في الجاذبية من مكان لآخر. فكل آلة يمكنها رصد الاختلاف التسبي كان لها قيمة عظيمة في تعرُّف التركيب الداخلي للقشرة الأرضية في أي مكان معيَّن. وقد أُتيح للكونت *Eotvos* المجري أن يبتكر آلته المعروفة (بالميزان الالتوائي) *Torsion Balance* وهو عبارة عن قضيب خفيف معلَّق من وسطهِ بسلك رفيع وفي إحدى نهايتيهِ ثقل صغير من الذهب أو البلاتين وفي نهايتهِ الأخرى ثقل آخر مماثل للأول معلق على بعد نحو ٦٠ سنتيمتراً منهُ (شكل ٦)

فاذا تصوَّرنا وجود جسم كثيف تحت السطح فان هذا الجسم يجذب اليهِ الثقلين بقوة تزيد على (ب) عما هي على (ا) فينتج عن هذا أن يلف القضيب فيلتوي السلك المعلق بهِ وتعتمد الزاوية التي يلف فيها القضيب على قوَّة الجذب وعلى مقاومة السلك للإلتواء (شكل ٧)

فاذا رُصدت هذه الزاوية في أوضاع مختلفة للقضيب في النقطة عينها أمكن بعد رصد هذه الزاوية وبعمليات حسابية غاية في الدقة والتعقيد تحديد القيمة النسبية للجاذبية في هذه النقطة. وبتكرار هذه العملية في نقط كافية بالمنطقة المراد فحصها يمكن تتبع اختلافات الجاذبية وبالأحرى توزيع الصخور المختلفة الكثافة المكوِّنة للقشرة الارضية في هذه المنطقة ولا يخفى أن هذه العملية الدقيقة تحتاج الى ان يحتاط القائمون بها ضد عوامل كثيرة أهمها عدم انتظام

ان الاختلاف يقاس بأجزاء من مليون المليون فلا بدَّ وان يكون قياسها بموازين غاية في الحساسيَّة. وقد تعدَّل ميزان ايوتفُس الأصلي وزيدت عليهِ تحسينات بمقتضاها يتوفر الوقت اللازم للرصد

وقد أصطلح على تبيان نتائج هذه الارصاد على الخرائط بأسهم تطول وتقصر حسب مقدار الاختلاف وتشير رؤوسها الى اتجاه الازدياد في الجاذبية . وفي الشكل (نمرة ٧) نرى ازدياد الجاذبية نتيجة تجمد الارض وتدخل كتلة من الملح بين طبقاتها

وقد أدى هذا النوع من البحث خدمة جليلة في البحث عن زيت البترول في مناطق عدة

﴿ الطرق الكهربائية ﴾ تتسرَّب مياه الأمطار احياناً الى داخل القشرة الأرضية فتأكسد الرواسب المعدنية في العروق التي تحتوي على كبريتات الفلزات . ويكون أثرها أكثر في الأجزاء العليا من العروق منهُ في الأجزاء السفلى . ينتج عن ذلك ان تميل

تيارات كهربائية في داخل القشرة الأرضية من أسفل الراسب الى أعلاه كما هو الحال في البطاريات الكهربائية العادية وتكمل دائرة التيار في داخل الجزء الموصل للتيار في العرق نفسه (ش ٨)

هذه التيارات يمكن رصدها اذا غرسنا قضيبين من النحاس على بعد كاف بينهما ووصلناهما بسلك الى جلفانومتر . فاذا عملنا مساحة للمنطقة وقسنا قوة التيار واتجاهه أمكن رسم خطوط تصل بين نقط تساوي قوة التيار الكهربائي ومن هذه يمكن تحديد نقطة وجود العرق المعدني. على ان هذه الطريقة البسيطة لا تؤدي الى استكشاف العروق المعدنية الا بعد توافر عوامل كثيرة ولا بد ان يكون العرق المعدني نفسه قريباً من السطح

ومن الطرق الكهربائية طريقة تقتضي توصيل تيار كهربائي من بطاريات جافة قوته حوالي ١٢٠ فولطاً الى نقطتين ارضيتين ا وب فاذا لم يكن هناك اي جسم معدني داخلي فان مرور التيار في باطن الارض يكون منتظماً لان المقاومة تكون متساوية وتكون الخطوط التي تصل النقط المتساوية المقاومة منتظمة كما في (الشكل ٩) فاذا كان هناك جسم معدني دفين تحت السطح فان هذه التيارات تنحرف فتزدحم اليها التيارات وتبتعد عنها خطوط المقاومة كما في (الشكل ١٠) وقياس هذه التيارات يكون بالجالفانومتر كما قدمنا

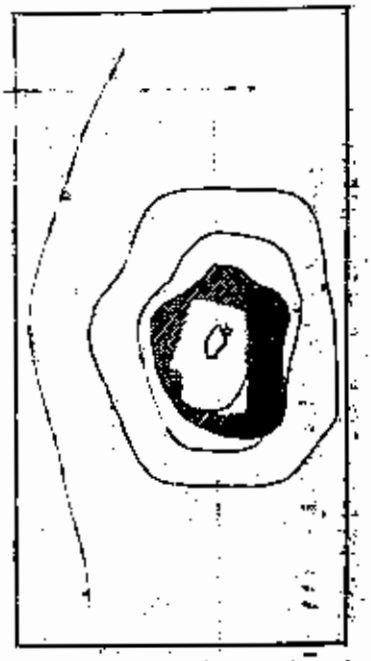
ولهذه الطريقة بعض الصعوبات اذ ان الصخور والتربة اذا كانت مبتلة كانت اقل مقاومة لمرور التيار منها اذا كانت جافة . فالظواهر الطبيعية كالعيون المائية والانهار يجب ملاحظتها كما وان الاسلاك المدفونة وانابيب المياه يجب ان يعمل حسابها في هذه الطريقة

﴿ الطرق الزلزالية او السزمية ﴾ وهذه هي التي تعتمد على اختلاف سرعة مرور التموجات في مختلف الصخور. والتسمية تشير الى الشبه بين هذه الطرق وبين رصد الزلازل الطبيعية . وفي الواقع فان هذه الطريقة هي عبارة عن احداث زلزال محلي ثم رصد سرعة تنقل التموجات الناتجة عنه

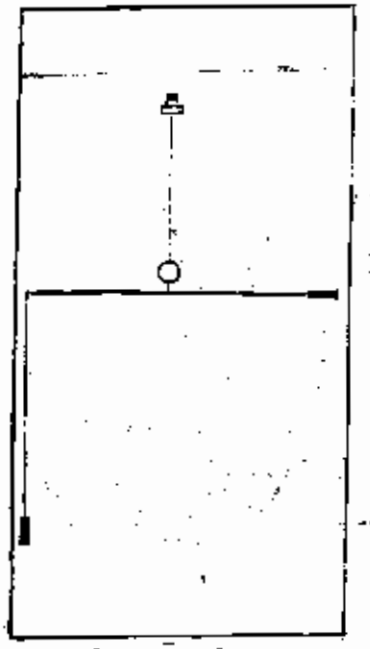
فاذا فرقعنا مقداراً من الديناميت مثلاً مدفوناً على عمق متر في باطن الارض فان التموجات التي تحدثها هذه الفرقعة في الصخور المكونة للقشرة الارضية تنتشر فيها كما تنتشر التموجات في الماء اذا القينا حجراً فيه . على ان سرعة انتقال هذه الموجات لا تكون منتظمة كما في الماء بل تختلف تبعاً لاختلاف مرونة الصخور التي تمر فيها وكثافتها

وقد دلت التجارب العديدة على ان هذه السرعة تكون حوالي ٢٠٠٠ متر في الثانية في الرمال السائبة والصخور السطحية بينما هي حوالي ٥٠٠٠ متر في الثانية في الصخور الجيرية وتبلغ نحو ١٠٠٠٠ متر في الثانية في الصخور النارية المتبلجة كالجرانيت مثلاً

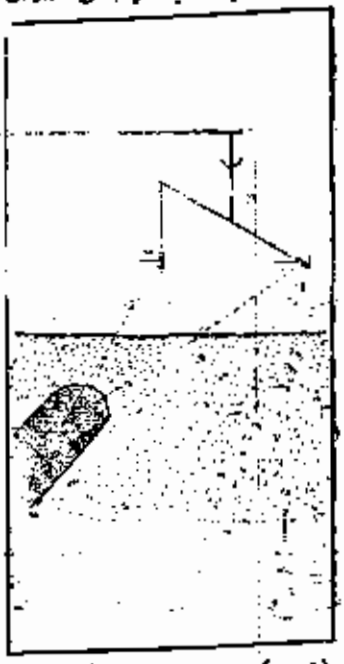
فمن السهل اذن اننا اذا احدثنا عدداً كافياً من المفرقعات في نقط مختلفة من المنطقة المراد فحصها ورصدنا سرعة انتقال التموجات الناتجة عنها في خطوط معينة أمكننا الحصول على



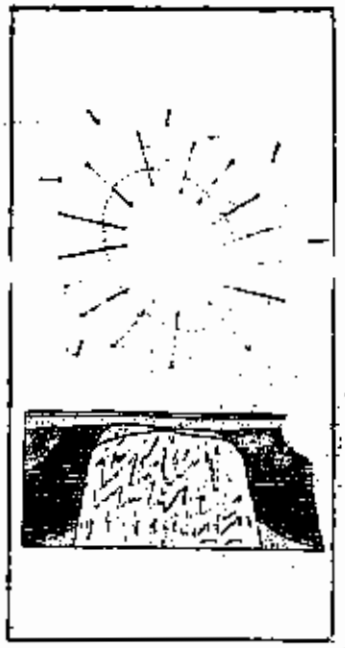
(ش ٥) يبين ازدياد قيمة الجاذبية لوجود كتلة معدنية كثيفة في باطن الارض



(ش ٦) — يفسر تركيب الميزان الالتوائي

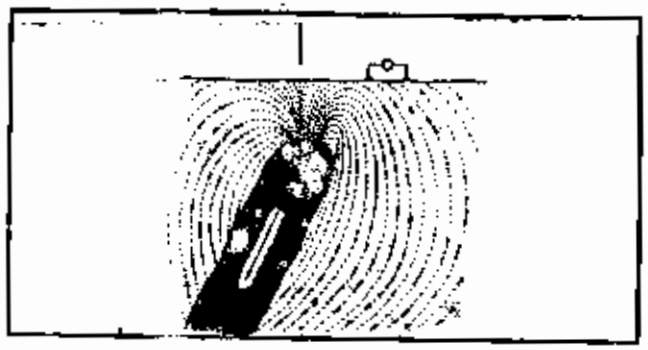


(ش ٧) — يفسر سبب الالتواء في الميزان الناتج عن وجود جسم كثيف في باطن الارض

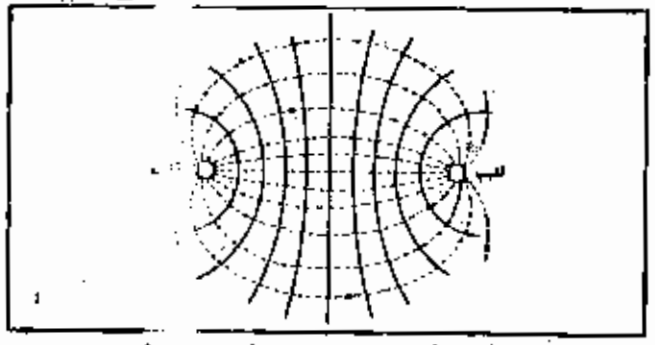


(ش نمرة ٧) يبين طريقة تبيان الارصاد الخاصة باختلاف الجاذبية . والقطاع يبين تركيب القشرة الارضية الذي يؤدي الى هذه الارصاد

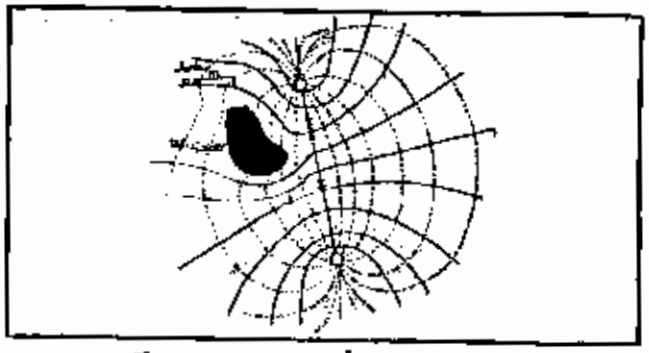
امام الصفحة ٥١٦



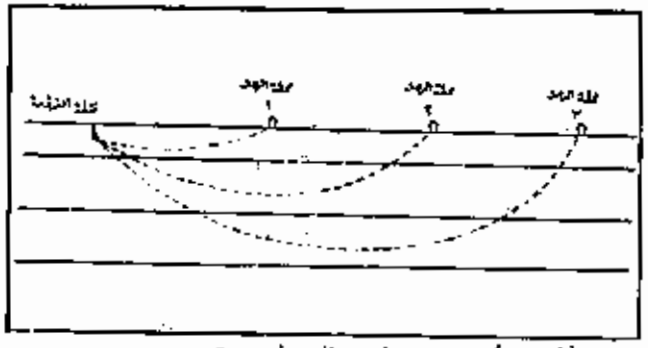
(ش ٨) — يبين التيارات التي تحدث في باطن الارض
لوجود عرق يحمل كهربيات الفلزات الى السطح



(ش ٩) — يبين انتظام المجال المغنطيسي
في الارض في المناطق المناسبة



(ش ١٠) — يبين التأثير الذي يحدثه وجود كتلة
فلزية في باطن الارض في المجال الكهربائي



(ش ١١) — يفسر ان محطات الرصد ترصد سرعة مرور
الذبذبة في الطبقات المتتالية حسب بعدها عن نقطة الفرقعة

امام الصفحة ٥١٧

فكرة صحيحة عن توزيع الصخور المختلفة التي تتكوَّن منها القشرة الارضية في تلك المنطقة

وكلما كانت نقطة الرصد بعيدة عن مكان الفرقعة كان في امكانها رصد السرعة في طبقات اعمق لان الموجة التي تصل الى أقرب محطة رصد تكون قد مرَّت في الطبقات العليا بينما التي تصل الى المحطة التي تليها تكون قد مرَّت في الطبقات التي تليها وهلمَّ جرًّا

ويكون الرصد بنوع من السزموجراف اي مسجل الزلازل أبتكر خصيصاً لهذا الغرض ولكنهُ على نفس الاساس الذي صنعت عليه آلات رصد الزلازل المعروفة . وهذا الاساس هو القصور الذاتي (*Inertia*) التي للكتل الثقيلة المعلقة بشكل يجعلها بطيئة الحركة. فعند وصول الذبذبة الناتجة عن الموجة تتحرك الارض وكذلك القوائم المعلقة منها الكتلة وتبقى الكتلة تقريباً ساكنة لقصورها الذاتي . فاذا ثبتنا في الكتلة قلماً يمر على ورقة تدور على اسطوانة مثبتة في الارض وجعلنا للاسطوانة دورة آلية كدورة الساعة فان الاسطوانة وما عليها تهتز مع اهتزاز الارض ويرسم عليها القلم المثبت للكتلة خطًّا متكسراً يمثل الذبذبة مع رصد وقت حدوثها. ولما كانت الاهتزازات نفسها بسيطة فقد استعين على تكبيرها وتعظيمها بجهازات خاصة واستبدل القلم المثبت في الكتلة بجهاز ضوئي يؤثر في ورقة فوتوغرافية حساسة مثبتة على الاسطوانة

والطريقة العملية تنحصر في فرقعة مقدار كبير من الديناميت ثم رصد وصول الهزات الناتجة عنها في ثلاث محطات او اربع كل منها مجهزة بسيزموجراف ومرتبة على خط مستقيم مع مكان الفرقعة وتبعد كل واحدة عما تليها نصف كيلو متر

واذا كانت نقطة الفرقعة متصلة بجهاز لاسلكي فان وقت الفرقعة يذاع لاسلكيًّا بمجرد حدوثها وهذه الاشارة تلتقطها المحطات الراصدة وتسجلها بطريقة ميكانيكية على نفس الورقة التي تسجل عليها الذبذبة . ثم تصل الموجات الى كل من المحطات الراصدة بالتوالي فتحدث ذبذبة في الخط على ورقة السيزموجرام ومن هذه ، وبعد معرفة المسافة بين كل من محطات الرصد ونقطة الفرقعة يمكن قياس سرعة انتقال الموجات في كل طبقة من الطبقات

ولقد اصبحت هذه الطريقة وكذلك طريقة ميزان الالتواء كثيرتي الشيوع في البحث عن زيت البترول وذلك لان البحث عن هذا السائل لا يعتمد على خواص هذا السائل نفسه بقدر ما يعتمد على تعرُّف التراكيب الجيولوجية للمنطقة تعرفاً تامًّا

وقد لجأت الحكومة المصرية أخيراً أمام الرغبة المتزايدة في ان تقوم ببحث ثروتها المعدنية الى هذه الطرق الجيوفيزيكية لفحص المناطق المحتمل وجود البترول بها على شواطيء خليج السويس والبحر الاحمر ونرجو اذا وفقت هذه الابحاث أن تمتد حتى تتناول بحث ما غمض حتى الآن عن الثروة المعدنية لهذه البلاد