



## Alguns experiments sobre el magnetisme de roques i construcció d'un aparell per a detectar-lo.

### Introducció.

Una càrrega elèctrica en moviment origina un camp magnètic. Els àtoms contenen electrons en moviment "orbital" i de "rotació" (spin) de manera que poden tenir un moment magnètic. En la majoria de substàncies (neó: gas format per àtoms, coure: metall format per ions  $\text{Cu}^+$ ...) els efectes magnètics dels electrons dels àtoms o ions es compensen exactament i s'anomenen "diamagnètiques". Quan s'aplica un camp magnètic extern a una substància diamagnètica es modifica el moviment dels electrons de manera que originen un camp magnètic oposat al camp aplicat amb el resultat de que apareix una dèbil força de repulsió que empeny la substància cap a les regions on el camp extern és més feble (suposant que el camp no sigui uniforme).

En d'altres substàncies els efectes magnètics dels electrons no s'anul·len i s'anomenen "paramagnètiques" (oxigen: gas format per molècules  $\text{O}_2$ , manganés: metall format per ions  $\text{Mn}^{2+}$ ...). Quan s'els hi aplica un camp magnètic extern, el moment magnètic resultant dels electrons s'orienta en el mateix sentit que el camp magnètic aplicat, amb el resultat de que la substància és atreta cap a les regions on el camp magnètic extern és més intens (suposant que el camp no sigui uniforme). El paramagnetisme és molt més fort que el diamagnetisme. Totes les substàncies haurien de presentar diamagnetisme però si la substància és paramagnètica el diamagnetisme queda emmascarat.

Hi ha un altre grup de substàncies que tenen el moment magnètic d'un o més electrons sense compensar de manera que presenten un paramagnetisme molt intens i poden presentar una magnetització permanent, s'anomenen "ferromagnètiques" (el presenten el ferro, cobalt, níquel i gadolini a temperatura ambient, d'altres elements a temperatura més baixa així com aliatges i diferents compostos). En aquestes substàncies els moments magnètics de cada ió s'orienten espontàniament en el mateix sentit en petites regions anomenades "dominis". En general els diferents dominis tenen un moment magnètic orientat diferent de manera que no hi ha una magnetització global. En presència d'un camp magnètic extern, els dominis orientats en la direcció del camp poden créixer a costa dels altres i si el camp és prou intens inclús pot fer canviar l'orientació dels moments magnètics dels dominis fins a coincidir amb la del camp magnètic aplicat. Si tots els moments magnètics estan alineats la substància presenta la màxima magnetització possible i es diu que s'ha arribat a la "saturació". Tant si s'ha arribat a la saturació com no, quan es treu el camp aplicat resta una magnetització permanent en la substància.



Un aspecte molt important és que una substància només pot ser ferromagnètica en estat sòlid (i presentar magnetització permanent) per sota d'una temperatura (característica de cada substància), anomenada "punt de Curie", pel damunt d'aquesta temperatura la substància ferromagnètica es transforma en paramagnètica. La raó d'aquest comportament és que quan l'energia tèrmica (que depèn de la temperatura) és comparable amb l'energia d'interacció magnètica, (responsable de l'orientació espontània dels moments magnètics dels ions de la xarxa cristal·lina), les vibracions dels ions de la xarxa són prou fortes per impedir aquesta orientació. El moviment atòmic o molecular és molt més gran en líquids i gasos de manera que no poden ser ferromagnètics (els "flúids magnètics" en realitat són suspensions de sòlids ferromagnètics en líquids). També explica per què alguns elements i compostos que no són ferromagnètics a temperatura ambient, poden ser-ho a baixes temperatures.

El volum dels dominis està comprès entre  $10^{-6}$  cm<sup>3</sup> i  $10^{-2}$  cm<sup>3</sup>, es poden veure al microscopi preparant la mostra adequadament i posant-hi un ferrofluid i també es poden detectar per l'efecte Barkhausen.

#### **Paleomagnetisme.**

Algunes roques com ara el basalt, contenen petites quantitats de minerals ferromagnètics especialment magnetita i alguns d'altres, generalment en una proporció inferior a l'1%. La magnetita té un punt de Curie de 578 °C. Pel damunt d'aquesta temperatura és paramagnètica: quan se li aplica un camp magnètic respon amb un dèbil camp en el mateix sentit que desapareix quan s'elimina el camp extern. Per sota d'aquesta temperatura, es comporta de manera ferromagnètica i quan se li aplica un camp magnètic queda magnetitzada permanentment encara que s'elimini el camp extern.

La formació de la roca comença amb el basalt fos que es va refredant. A la temperatura de Curie de la magnetita el basalt ja és sòlid. D'aquesta temperatura cap avall es començaran a formar dominis orientats preferentment en la direcció de l'únic camp magnètic present: el de la Terra. La roca en conjunt presentarà una magnetització orientada en la direcció del camp magnètic terrestre i la conservarà indefinidament mentre no es torni a escalfar pel damunt del punt de Curie. (Sense camp magnètic extern, els dominis es formarien orientats a l'atzar donant una magnetització global nul·la).

L'estudi del magnetisme de les roques (Paleomagnetisme) té diverses aplicacions, entre elles: conèixer l'orientació del camp magnètic de la terra en diferents èpoques (l'orientació del camp magnètic de la roca coincideix amb l'orientació del camp magnètic de la terra quan es va refredar la roca. També permet conèixer les rotacions de plaques locals: comparant les direccions del camp magnètic de mostres de diferents punts d'una mateixa formació si les direccions no coincideixen voldrà dir que una de



les plaques ha girat. Així se sap que la península Ibèrica, Còrsega i Sardenya han girat un cert angle.

#### Com es pot detectar el camp magnètic d'una roca.

Quan es mou un imant a prop d'una bobina (o quan es mou una bobina a prop d'un imant) connectada a un microamperímetre amb zero central, s'observa que el microamperímetre indica el pas d'un corrent elèctric. El sentit del corrent depèn del costat de la bobina, el pol de l'imant (nord o sud) i de si s'acosten o s'allunyen (en general sempre que hi hagi una variació de flux magnètic en un circuit es produirà una força electromotriu induïda). Això ens dóna un mètode per a detectar el magnetisme de les roques, el problema és que el camp magnètic d'una roca és unes 1000 vegades més dèbil que el de la Terra ( $5,6 \cdot 10^{-5}$  T) i aquest és unes 1000 vegades més dèbil que el d'un imant això obliga a amplificar el senyal de la bobina. El circuit de la figura 3 permet detectar el magnetisme de roques. És un amplificador amb un guany superior al milió i un filtre de banda de pas que retalla els senyals de freqüència superior a 1 Hz (i també el corrent continu).

El circuit només és sensible a les variacions de flux magnètic que capta mitjançant una bobina de 890 m de fil de 0,2 mm  $\varnothing$ , amb una resistència total de 490  $\Omega$  (un carret de 250 g). Pel demés l'esquema és prou explícit.

#### Experiments previs.

- 1) **Còm determinar quins són els pols nord i sud d'un imant.**  
Si es coneix el pol nord geogràfic es penja l'imant d'un fil i es deixa orientar, el costat que ha girat cap al nord geogràfic és el pol nord de l'imant. Si es disposa d'una brúixola només cal acostar-li l'imant: el costat que atreu el nord de la brúixola (normalment de color roig o verd) és el pol sud de l'imant (els pols iguals es repel·leixen, els pols diferents s'atreuen).
- 2) **Paramagnetisme.**  
Es plega varies vegades un fil de nicrom fins obtenir una "vareta" d'uns 2,5 cm de llarg. Es penja amb un fil, s'espera fins que es pari i se li acosten dos imants (un per cada costat amb els pols oposats) perpendicularment a la vareta i deixant el mínim espai entre els imants per que la vareta pugui girar (figura 1). La vareta és atreta cap a la regió on el camp és més intens de manera que gira posant-se paral·lela al camp magnètic.

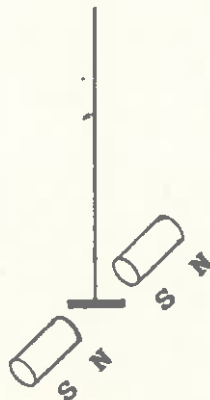


Figura 1

### 3) Diamagnetisme.

Es procedeix de la mateixa manera que en la figura 1 però penjant una vareta de bismut i acostant els imants paral·lelament a la longitud de la vareta. S'observa que la vareta 'es repel·lida pel camp magnètic de manera que gira fins a posar-se en la regió on el camp és més dèbil o sigui perpendicularment al camp magnètic.

### 4) Ferromagnetisme.

El ferromagnetisme és ben conegut doncs s'observa quan un imant es va acostant a una peça de ferro fins que aquesta s'hi enganxa. Si es vol fer un paral·lelisme amb el paramagnetisme es pot fer el mateix muntatge de la figura 1 però posant-hi una vareta de filferro (o un clau de ferro). La vareta girarà quan els imants estiguin separats 20 cm o més. El ferromagnetisme és un paramagnetisme molt intens (una diferència és que una substància paramagnètica no pot presentar una magnetització permanent, una substància ferromagnètica sí).

### 6) Model de desmagnetització per desordre.

Si posem llimadures de ferro en un tub d'assaig, toquem un imant amb el fons del tub i l'acostem a una brúixola, aquesta es desvia demostrant que les llimadures de ferro han quedat magnetitzades. Si s'agita el tub d'assaig, ja no desviarà la brúixola. Les llimadures no s'han pogut desmagnetitzar només per agitar-les, el que ha passat és que estan orientades a l'atzar



de manera que la suma dels seus moments magnètics dona un moment magnètic nul.

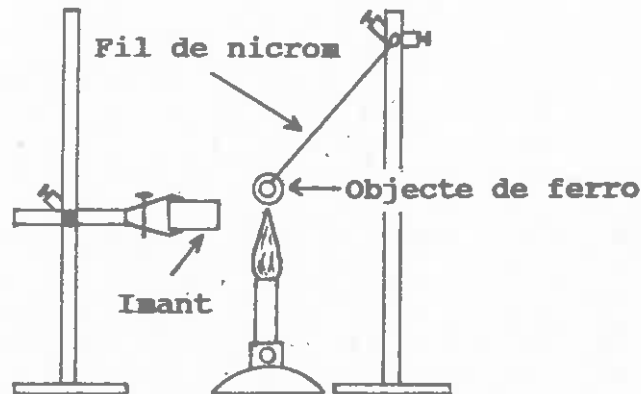


Figura 2

#### 7) Punt de Curie.

Es fa el muntatge de la figura 2. L'objecte de ferro pot ser un clau, un cargol o una femella penjat amb un fil de nicrom de manera que quedi atret per l'imant però sense que el toqui. S'escalfa la peça de ferro amb un bunsen i quan començarà a estar al roig caurà degut a que a aquesta temperatura ja no és ferromagnètica si no paramagnètica. (També es podria escalfar l'imant i veuríem com queda desmagnetitzat).

#### 8) Força electromotriu induïda.

Es connecta una bobina (Enosa de 2000 voltes) a un microamperímetre amb zero central. S'introdueix un imant dintre de la bobina, s'observarà que l'agulla del microamprímetre es mou. Si l'imant es deixa quiet dintre de la bobina, l'agulla no es desvia, si es treu l'imant l'agulla es mou en sentit contrari que al posar-lo, si es canvia de pol o de costat de la bobina, totes les desviacions de l'agulla són a l'inrevés.

#### 9) Efecte Barkhausen.

Es connecta una bobina (Enosa de 2000 voltes) a un amplificador i aquest a un altaveu. Dintre de la bobina s'hi posen trossos de filferro de manera que sobresurtin (han de ser doble llargs que la bobina), es mou un imant a prop dels filferros i se sentirà un soroll per l'altaveu degut al moviment



irregular dels límits dels dominis. Aquest soroll no se sent si s'hi posen fils de coure doncs al no ser ferromagnètic no s'hi formen dominis.

#### Utilització de l'aparell.

Graduant la sensibilitat quasi al màxim (al 9) (és millor posar la bobina perpendicular al camp magnètic terrestre), si s'acosta un tros de basalt, sense tocar, a la bobina, es veurà com l'agulla marca més o menys segons l'orientació. El valor màxim s'obté acostant la roca en la direcció del camp magnètic (si acostem un pol nord i sud simultàniament el senyal serà mínim per que cada pol fa una variació de flux de signe oposat). Segons que l'agulla vagi cap a la dreta o cap a l'esquerra es pot saber si es tracta d'un pol nord o sud, només cal provar-ho amb un imant on els pols siguin coneguts. El camp magnètic de la terra no afecta mentre la bobina no es mogui (no hi ha variació de flux), però si es mou lleugerament l'agulla es desvia a fons d'escala, el que demostra la sensibilitat del circuit. Una altra manera de veure-ho és movent un imant a 1 m o 1,5 m de la bobina.

**El camp magnètic de la Terra és suficient per a magnetitzar algun objecte?.**

Fixem un paper damunt la taula i li dibuixem una línia en la direcció Nord-Sud que haurem buscat amb una brúixola, apuntant-hi el nom de cada pol. Amb la mateixa brúixola comprovarem que no hi hagin camps magnètics produïts per ferros imantats: només cal moure la brúixola, si marca la mateixa direcció en tots els punts només hi ha el camp terrestre. Els objectes inantats només fan un camp intens en les seves proximitats i serien descoberts per que la brúixola canviaria de direcció.

Agafem una agulla de cap o de cosir i l'acostem a la bobina, veurem que estarà imantada. La posem a la flama d'un bunsen fins que estigui al roig, subjectant-la amb pinces d'acer inoxidable o un fil de coure o ní Crom perpendicularment a la seva longitud. Si l'acostem calenta cap a la bobina veurem que ja no està magnetitzada (s'ha d'anar ràpid per que es refreda molt de pressa). La tornem a escalfar i la deixem refredar posant-la en la direcció Nord-Sud. Acostem a la bobina l'extrem que apuntava cap al Nord, comprovarem que efectivament és un pol nord, acostant l'altre extrem comprovarem que és un pol sud. Per a estar més segurs torrem a escalfar l'agulla i la deixem refredar en la direcció del camp magnètic terrestre pero posant-la al revès. Altra vegada comprovarem que cada extrem correspon amb el pol en que estava orientat (si s'utilitza un fil de níquel en comptes de l'agulla, no caldrà escalfar tant i es veurà millor



Generalitat de Catalunya  
Departament d'Ensenyament  
**Direcció General d'Ordenació  
i Innovació Educativa**

Centre de Documentació  
i Experimentació de Ciències

que en calent no està imantat per que no es refredarà tant de pressa: punt de Curie del níquel 358 °C, punt de Curie del ferro 770 °C).

Si l'agulla es deixa refredar perpendicularment al camp magnètic de la terra, veurem que l'agulla (de l'aparell) es mou en el mateix sentit independentment de l'extrem. L'agulla no fa una variació de flux per ella mateixa (ara està magnetitzada lateralment, estem acostant els dos pols simultàniament de manera que el flux total és nul) si no pel fet de que és ferromagnètica ("concentra" les línies de camp) i es mou a prop de la bobina en el camp magnètic de la Terra. Això es pot comprovar orientant la bobina perpendicularment al camp magnètic terrestre (aquesta és la raó per la qual convé orientar la bobina d'aquesta manera): ara al moure l'agulla, pràcticament no hi ha variació de flux i l'agulla de l'aparell no es mou.

Lluís Nadal i Balandras.

Figura 3

