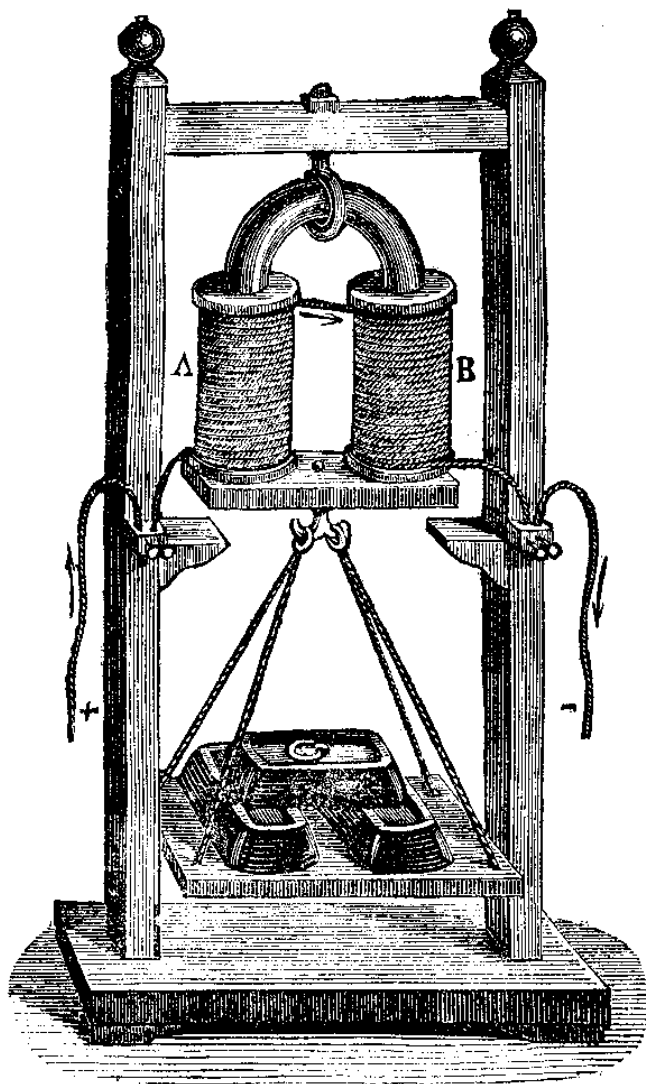


ELECTROMAGNETISME

Guia didàctica



Programa de Formació per a l'Ensenyament de les Ciències a l'ESO
Subdirecció General de Formació Permanent i Recursos Pedagògics
Departament d'Educació
Generalitat de Catalunya

ELECTROMAGNETISME

Guia didàctica

Programa de Formació per a l'Ensenyament de les Ciències a l'ESO
Subdirecció General de Formació Permanent i Recursos Pedagògics
Departament d'Educació
Generalitat de Catalunya

J. Lorenzo Ramírez¹ (coordinador), M^a Lourdes Codina², M^a Carmen Sánchez³

Centres de treball: ¹ IES Maria Rúbies (Lleida); ² IES Guindàvols (Lleida);
³ IES Ronda (Lleida)

Grup de Física i Química - ICE UdL

Tant l'electroimant de la portada, com la resta d'il·lustracions d'instruments clàssics són del llibre de Física de Ganot (1873).

Presentació de la seqüència

Els objectius generals de la seqüència Electromagnetisme en ser elaborada han estat:

- Permetre la innovació didàctica a través de la seva utilització com a fil conductor en cursos de formació.
- Propiciar l'estudi de l'electromagnetisme en l'últim curs de ciències a l'ESO, contribuint a l'aprenentatge de les competències bàsiques, però també a les específiques de l'àrea de ciències.
- Contemplar la diversitat de l'alumnat

El fil conductor està basat en el context històric en el que es va desenvolupar l'electromagnetisme, intentant, però, encabir situacions quotidianes, aplicacions pràctiques, problemàtiques socials, etc., a partir dels següents dos problemes:

Com és el magnetisme natural, i com explicar-ho?

Quina relació hi ha entre el magnetisme i l'electricitat?

La unitat, pensada per l'alumnat de 4t d'ESO, està dividida en dos subunitats que intenten respondre a cadascuna d'aquestes preguntes a través una seqüència d'activitats que aborda els següents aspectes:

- Propietats de la interacció entre imants
- Un model d'interpretació del magnetisme natural: Model dels dominis
- Un model per a la interacció magnètica: El camp magnètic
- La interacció electromagnètica
- La Terra, el gran imant
- Aplicacions pràctiques: brúixoles, electroimants, motors, etc.

Les activitats d'ensenyament-aprenentatge proposades en la seqüència per l'alumnat intenten ser molt variades: d'iniciació, de presentació dels problemes a abordar i dels objectius de la seqüència, d'exploració d'idees, d'introducció de continguts, de reestructuració dels coneixements dels estudiants, de lectura i escriptura, de dibuix, d'interpretació de fenòmens i experiències, de debat, de comunicació, d'emissió d'hipòtesis, d'experimentació, de modelització, d'utilització de les TIC, etc.

El material per al professorat inclou activitats opcionals de més alt nivell, com són les d'investigació, i altres que requereixen més temps per desenvolupar-les, com poden ser les de construcció d'aparells.

La seqüència didàctica Electromagnetisme és una proposta de treball pel professorat per a ser criticada i adaptada a cada context. Per ajudar al seu anàlisi i millora inclou una guia didàctica amb comentaris a les activitats i recursos extra, com són textos històrics o treballs pràctics addicionals.

Està elaborada per a ser desenvolupada en sis setmanes de classe (18 hores) com a mínim i té com a referència l'alumnat real dels instituts dels autors i la seva diversitat. En aquest sentit, remarcar que la unitat està farcida d'activitats experimentals, el que permet proposar en cada sessió de classe una activitat manipulativa.

Índex

Presentació de la seqüència.....	3
Marc didàctic de la seqüència.....	7
Per què l'electromagnetisme?.....	8
Resum de la seqüència d'activitats.....	10
Electromagnetisme: Orientacions didàctiques.....	16
Introducció general:.....	16
Forces magnètiques:	16
Magnetisme natural: Propietats dels imants	17
A1- Imant s'escriu sense h	17
A2- A quins materials atrauen els imants?	17
A3- Com són les forces entre dos imants?	18
A4- Els imants no atrauen igual per tot arreu	18
A5- Qui atrau a qui, l'imat al ferro o el ferro a l'imat?	18
A6- (opcional) Potència d'un imant.....	19
A6'- (opcional) Estudi quantitatiu de la força entre imants: Llei de Coulomb	19
A7- La muntanya de l'imat.....	21
El model dels dominis	22
A8- Magnetisme induït i residual	22
A9- Magnetisme induït: experiència de Gilbert.....	22
A10- El model dels dominis o com explicar que els imants es comportin com a imants	23
A11- Tots els materials imantables actuen com a imants?	23
A12- Com fer un imant permanent?	24
A12'- (opcional) Construcció d'un magnetòmetre	24
Camp magnètic	26
A13- Línies de força del camp magnètic creat per un imant.	26
A13'- (opcional) Construcció d'un detector de línies de camp	27
A13''- (opcional) Més línies de força.....	27
A13'''- (opcional) Sobre l'interès del camp per a explicar les forces a distància.....	28
A14- Què representen les línies de camp?	29
Les brúixoles i el camp magnètic terrestre	30
A15- Les brúixoles	30
A16- Les brúixoles i els imants	30
A16'- (opcional) Construcció d'una brúixola	30
A17- La brúixola i la Terra	31
A18- Declinació magnètica.	31
A18'- (opcional) Inclinió magnètica.	32
A19- Orientació en el mapa.....	33
Recapitulació.....	34
A20- Els imants són útils	34
A21- Els imants són bons o dolents per a la salut?	34
A22- Electrostàtica i magnetisme	34
Activitats complementàries: Els imants i el magnetisme.	36
Activitats de resum: Els imants i el magnetisme.....	37
Buscant una possible relació entre fenòmens elèctrics i magnètics	38
A23- Però, hi ha relació o no entre l'electricitat i el magnetisme?.....	38
Camp magnètic generat per un fil conductor	40
A24- Interacció entre els imants i el corrent elèctric: experiència d'Oersted.....	40
A24'- (opcional) Per què va funcionar l'experiència d'Oersted	41
A24''- (opcional) Construint una proposta de treball	41
A25- Línies de força.....	42

A26- Creant línies de força	43
A26'- (opcional) La intensitat del camp magnètic	43
A26''- (opcional) La llei de Biot i Savart	43
A27- Una regla mnemotècnica per a les línies de força	44
A28- Aplicant les regles	44
Aplicacions de l'electromagnetisme	45
A29- Augmentant el camp magnètic generat per un fil conductor	45
A30- De la teoria a la pràctica: Construcció d'un electroimant	45
A30'- (opcional) Construcció d'un galvanòmetre	45
A30''- (opcional) Mesura del camp magnètic terrestre	46
A31- Avantatges dels electroimants	48
A32- Construcció de motors	48
A33- Aplicacions dels electroimants	48
Producció de corrent elèctric mitjançant camps magnètics	49
A34- Juguem a ser Faraday	49
A35- Inducció electromagnètica entre un imant i una bobina	49
A35- (Opcional) Inducció electromagnètica entre bobines	50
A35''- (Opcional) Inducció electromagnètica entre bobines: transformadors	50
A36- La dinamo	50
A37- El món després dels generadors electromagnètics	51
La natura del magnetisme natural (opcional)	52
A38- Es pot anar més enllà del model dels dominis?	52
Activitats complementàries: L'electromagnetisme	53
Activitats de resum: L'electromagnetisme	53
Formulari d'experiències científiques	54
Formulari KPSI: Magnetisme i electromagnetisme	54
Annex. Dificultats conceptuals i d'aprenentatge de l'electromagnetisme	55
Annex. Materials i aparells per al treball experimental	58
Annex. El camp magnètic terrestre	60
Dades geomagnètiques de Lleida, com a exemple	60
Annex: Tipus d'ímants	62
FERRITA	62
Neodimi	62
SMCO	63
ALNICO	64
Ímants flexibles	64
Annex: Més experiències i treballs pràctics	66
Ímants que leviten	66
Fabricar ímants amb l'ajut de la Terra	67
Generar corrents elèctriques amb el camp magnètic terrestre	68
Construcció d'una "Terreta"	69
Accelerador magnètic (rifle de Gauss)	70
Substàncies diamagnètiques	71
Comprovació amb leds del sentit altern del corrent induït entre un imant i una bobina	72
Transferència d'energia a través de bobines	72
Els metalls no ferromagnètics i els ímants	73
Fer girar un vas d'alumini	73
Caiguda d'un imant per un tub d'alumini	74
Moviment d'un imant per sobre d'alumini o coure	74
Annex: Els científics i els seus textos	75
William Gilbert	75
La pedra imant	76
Hans Christian Oersted	78
Acció dels corrents sobre els ímants	79

Charles de Coulomb	83
François Arago	84
Jean Baptiste Biot	85
Felix Savart	85
André Marie Ampère	86
Accions entre corrents	87
Michael Faraday.....	89
Corrents induïts	90
James Clerk Maxwell	95
Consideracions sobre el camp electromagnètic	97
Referències bibliogràfiques	100

Marc didàctic de la seqüència

Aquesta unitat didàctica intenta facilitar la introducció de l'estudi de l'electromagnetisme en l'últim curs de ciències a l'ESO, trencant amb una tendència que o bé trasllada aquesta part de la física al batxillerat o només la circumscriu als seus aspectes tecnològics en l'assignatura de Tecnologia.

En estudiar les seqüències que apareixen en els llibres de text vam veure que totes elles coincideixen amb les que proposen la recerca i innovació (Grup Recerca Faraday, 1988; Seminari de Física i Química, 1988; Pro i Saura, 1996) i que tenen a veure amb la història de la Física (Papp, 1945; Gamow, 1980; Berkson, 1985; Asimov, 1993; Diaz, 2001; Pérez i Varela, 2003) i la lògica de la disciplina (Holton i Brush, 1976; Hewitt, 1999).

Vam analitzar la possibilitat de plantejar un altre fil conductor alternatiu que estigués més relacionat amb lo quotidià, lo social, lo tecnològic, etc. i vam trobar una altra possibilitat en una seqüència que donés resposta a la següent pregunta:

Com arriba l'energia elèctrica a casa nostra?

És el que es podria anomenar el fil tecnològic-social, on el problema general s'aniria desglossant, per exemple, en els següents:

Quina mena de corrent elèctric arriba?

Si és així, com es produeix?

I, com es transporta?

Una vegada a casa, què es fa amb l'electricitat?

de manera que es tingués oportunitat de anar estudiant els conceptes des de una perspectiva més lligada a la utilització i consum responsable de l'energia elèctrica.

Però aquesta virtut és a la vegada el gran defecte, ja que, en desenvolupar les activitats i continguts de la seqüència, la unitat es convertia d'aquesta manera en l'estudi de la energia elèctrica (és a dir, electricitat, fonts d'energia elèctrica, centrals elèctriques, etc.) que correspondria a una altra unitat, i/o bé de les seves aplicacions (motors, transformadors, estufes, etc.), però plantejant els sistemes electromagnètics que apareixen com a caixes negres en les que els estudiants no arriben a saber el que passa dins i, allunyant-se, doncs, de l'estudi del magnetisme i electromagnetisme.

Per això, en concretar els problemes als que la unitat havia de donar resposta i la seqüència d'activitats òptimes ens hem alineat amb la proposta en la que existeix un consens més ampli per part de la recerca i innovació (Pro i Saura, 1996), que coincideix tant amb la història de la Física (Berkson, 1985; Diaz, 2001; Pérez i Varela, 2003) com amb la lògica de la disciplina (Hewitt, 1999), intentant, però, encabir situacions quotidianes, aplicacions pràctiques, problemàtiques socials, etc., a partir dels següents dos problemes, tal i com es van plantejar històricament:

- Com és el magnetisme natural, i com explicar-ho?
- Quina relació hi ha entre el magnetisme i l'electricitat?

D'aquesta manera la nostra unitat està dividida en dos subunitats que intenten respondre a aquestes dues preguntes a través una seqüència d'activitats que aborda els següents aspectes claus:

- Propietats de la interacció entre imants
- Un model d'interpretació del magnetisme natural: Model dels dominis
- Un model per a l'interacció magnètica: El camp magnètic
- La interacció electromagnètica
- La Terra, el gran imant
- Aplicacions pràctiques: brúixoles, electroimants, motors, etc.

I sempre tenint en compte els objectius generals que d'entrada ens aviem plantejat:

- Permetre la innovació didàctica a través de la seva utilització com a fil conductor en cursos de formació.
- Propiciar l'estudi de l'electromagnetisme en l'últim curs de ciències a l'ESO, contribuint a l'aprenentatge de les competències bàsiques, però també a les específiques de l'àrea de ciències.
- Contemplar la diversitat de l'alumnat

Aquesta unitat didàctica, que es planteja, doncs, com una hipòtesi de treball pel professorat, està estructurada en forma de seqüència d'activitats desenvolupades a partir dels problemes generals que les guien, de manera que els estudiants han de anar realitzant cadascuna de les activitats que se'ls hi proposen amb l'ajut del professorat, apuntant els avanços, les conclusions, els resultats, etc. en la llibreta personal.

Les activitats estan pensades per a que siguin realitzades per l'alumnat en petits grups, de manera que tinguin opció de contrastar les seves opinions i d'ajudar-se uns als altres. El professorat haurà d'estar atent al progrés dels estudiants i realitzar les oportunes postes en comú de tot el grup classe per a que arribin a acords generals i no hi hagi grups que es quedin enrederits.

Això últim no treu que cada alumne sigui responsable del seu propi treball i estudi. Igualment, és convenient proposar als estudiants activitats diferenciades de repàs i reforç de les que es proposen al final de cada seqüència, a més a més de les activitats comunes.

Per què l'electromagnetisme?

Sobre el paper, l'estudi de l'electrostàtica i el corrent continu és més important que el del magnetisme i l'electromagnetisme ja que la seva importància es remarca més, tant en el currículum actual (Departament d'ensenyament, 2002^a; Pastor, 1999), com en els possibles nous currículums (Departament d'ensenyament, 2003^a). Així, només en 4t d'ESO apareix un objectiu terminal que els hi fa referència conjuntament, expressat d'aquesta manera:

68. Interpretar fenòmens senzills i fàcilment observables que s'expliquen per la interacció elèctrica i la interacció magnètica.

Mentre que l'estudi de l'electricitat es veu reflexat en dos objectius més

69. Aplicar el model atòmic de la matèria a la interpretació de fenòmens elèctrics senzills.

70. Comprendre els conceptes elèctrics de voltatge, intensitat i potència i aplicar-los a l'anàlisi de circuits elèctrics senzills.

a més a més de ja estar contemplat en el primer cicle de l'ESO.

En conseqüència, els llibres de text tendeixen a dedicar menys pàgines a la interacció magnètica que a la interacció elèctrica i, a més a més, al final de la part del llibre dedicada a la Física.

Paral·lelament, la tradició de l'ensenyament de l'electromagnetisme està concentrada al batxillerat (Departament d'Ensenyament, 2002b i 2003b), quan no a la Universitat (pot ser, per que és l'última part de la Física Clàssica desenvolupada), amb el que l'estudi del magnetisme i l'electromagnetisme tendeix en la pràctica a ser residual en l'Educació Secundària Obligatòria.

I, en consonància amb l'anterior, hi ha molt poca recerca educativa i poques propostes d'implementació a l'aula en el camp de l'electromagnetisme en comparació amb l'electricitat. A aquest respecte es pot consultar el monogràfic d'Alambique n 19 (Favieres, 1999; Guisasola, 1999; Pro i Saura, 1999) que gairebé no parla més que d'electricitat, o qualsevol dels llibres sobre idees de l'alumnat (Hierrezuelo i Montero, 1988; Driver, 1989) o de les revistes de recerca i/o innovació en ensenyança de les ciències. Per exemple, en els últims deu anys només ha aparegut un article en la revista Enseñanza de las Ciencias dedicat a l'electromagnetisme en secundària (Meneses i Caballero, 1995).

És per aquest motiu, per a intentar ajudar a omplir un forat, per el que el nostre grup de treball va decidir-se per fer una proposta sobre Electromagnetisme en el moment d'acotar el camp de l'Electricitat i magnetisme.

Resum de la seqüència d'activitats

RESUM DE LA PRIMERA PART DE LA SEQÜÈNCIA D'ACTIVITATS: FORCES MAGNÈTIQUES		
Activitat	Objectiu – intenció educativa	Observacions
Introducció general	Presentació de la unitat	Presentació pel professorat al gran grup
Formulari KPSI	Autoreflexionar sobre el que es sap en començar a estudiar la unitat	Treball individual
Forces magnètiques	Presentació del problema que guia la primera part de la seqüència	Presentació pel professorat al gran grup
Magnetisme natural: Propietats dels imants	Explicitar i ordenar el comportament del magnetisme natural.	Activitats molt directives. En la guia del professorat hi ha alternatives
A1- Imant s'escriu sense h	Activitat inicial per mostrar el que l'alumnat ja sap dels imants	Treball en grup i gran grup
A2- A quins materials atrauen els imants?	Comprovar que els imants atrauen només a determinats tipus de materials	
A3- Com són les forces entre dos imants?	Comprovar que les forces entre imants són atractives i repulsives (dos pols) i que disminueixen amb la distància	
A4- Els imants no atrauen igual per tot arreu	Comprovar que la major força té lloc als pols	
A5- Qui atrau a qui, l'imant al ferro o el ferro a l'imant?	Mostrar que les forces són interaccions, que l'imant no atrauria al ferro sense el seu concurs.	
A6- (opcional) Potència d'un imant	Mostrar dos dissenys per comparar la potència dels imants. Comprovar que el magnetisme es manifesta a través de diferents materials	
A6'.- (opcional) Estudi quantitatiu de la força entre imants: Llei de Coulomb	Aprofundir en la naturalesa de les forces omnidireccionals Utilitzar procediments propis del treball científic	Realització d'una petita recerca
A7- La muntanya de l'imant	Aplicació i contrastació del coneixements adquirits	Lectura i anàlisi d'un conte de les <i>Mil i una nits</i>

El model dels dominis	Adquirir un model que expliqui les propietats del magnetisme natural	
A8- Magnetisme induït i residual	Comprovar que el ferro en contacte amb un imant es comporta com un altre imant	Treball experimental en grup i posta en comú en gran grup
A9- Magnetisme induït: experiència de Gilbert	Comprovar que el ferro atret a distància per un imant es comporta com un altre imant	Les activitats 8 i 9 reforcen la 5
A10- El model dels dominis o com explicar que els imants es comportin com a imants	Reconstrucció del model dels dominis	Discussió inicial en grup i proposta posterior del professorat al gran grup
A11- Tots els materials imantables actuen com a imants?	Aplicació del model dels dominis	Treball en grup i posta en comú en gran grup
A12- Com fer un imant permanent?	Aplicació del model dels dominis	
A12'- (opcional) Construcció d'un magnetòmetre	Construcció d'un aparell sensible a la presència d'imants	Treball individual
Camp magnètic	Adquirir un model que expliqui les interaccions a distància	
A13- Línies de força del camp magnètic creat per un imant	Visualitzar les línies de camp magnètic	Treball en grup
A13'- (opcional) Construcció d'un detector de línies de camp	Construcció i/o utilització d'un visualitzador tridimensional de les línies de camp magnètic	
A13''- (opcional) Més línies de força	Visualitzar les línies de camp amb magnetòmetre	
A13'''- (opcional) Sobre l'interès del camp per a explicar les forces a distància	Comparar diferents models explicatius	Presentació pel professorat del concepte de camp i les seves avantatges sobre el de força a distància.
A14- Què representen les línies de camp?	Sintetitzar els continguts apresos	Treball en grup i posta en comú en gran grup

Les brúixoles i el camp magnètic terrestre	Aplicar els coneixements apresos a l'estudi d'un domini específic	
A15- Les brúixoles	Explicar quina és la utilitat de les brúixoles	Treball en grup i posta en comú en gran grup
A16- Les brúixoles i els imants	Comprovar que l'agulla de la brúixola és un imant	Treball en grup
A16'- (opcional) Construcció d'una brúixola	Construir un aparell	
A17- La brúixola i la Terra	Reconstruir la idea de la Terra com un gran imant	Treball en grup i posta en comú en gran grup
A18- Declinació magnètica	Conèixer els conceptes de latitud, longitud i declinació magnètica Trobar a internet la declinació magnètica de la localitat	Explicació pel professorat i treball en grup
A18'- (opcional) Inclínació magnètica	Conèixer el concepte d'inclínació magnètica Trobar experimentalment la inclínació magnètica de la localitat	
A19- Orientació en el mapa	Localitzar edificis significatius de la localitat amb l'ajut de la brúixola	Treball individual
Recapitulació	Sintetitzar els coneixements sobre els imants i valorar la utilitat	
A20- Els imants són útils	Mostrar les diferents aplicacions dels imants a través d'un treball bibliogràfic	Treball individual i exposició en gran grup (pot fer-se un pannel integrat)
A21- Els imants són bons o dolents per a la salut?	Analitzar les creences de la població en general i de l'entorn de l'alumnat en particular al voltant dels camps magnètics	Treball individual, posteriorment en grup i després en gran grup
A22- Electrostàtica i magnetisme	Sintetitzar els coneixements adquirits d'electrostàtica i magnetisme natural	Treball en grup i posta en comú en gran grup

Activitats complementaries	Reforçar els coneixements apresos	Més activitats que es poden manar com a deures a l'alumnat. Treball individual
Activitats de resum	Repasar els coneixements apresos	
Formulari d'experiències científiques	Reforçar els coneixements apresos	
Formulari KPSI	Autoreflexionar sobre el que s'ha après a la meitat de la unitat	

RESUM DE LA SEGONA PART DE LA SEQÜÈNCIA D'ACTIVITATS: RELACIÓ ENTRE FENÒMES ELÈCTRICS I MAGNÈTICS		
Activitat	Objectiu – intenció educativa	Observacions
Buscant una possible relació entre fenòmens elèctrics i magnètics	Presentació del problema que guia la segona part de la seqüència	Presentació pel professorat al gran grup
A23- Però, hi ha relació o no entre l'electricitat i el magnetisme?	Remarcar que no hi ha relació entre l'electricitat estàtica i el magnetisme en la forma en que hi ha interacció entre càrregues, per una banda, o entre imants, per l'altra	Treball en grup i posta en comú en gran grup. Treball experimental en grup
Camp magnètic generat per un fil conductor	Adquirir un model que expliqui com és el camp magnètic generat per un corrent elèctric	
A24- Interacció entre els imants i el corrent elèctric: experiència d'Oersted	Introduir la necessitat de canvis en la perspectiva en la que es miren el problemes per avançar. Comprovar que el moviment de les càrregues és la clau	Proposta del professorat Treball experimental en grup
A24'- (opcional) Per què va funcionar l'experiència d'Oersted?	Adonar-se que també s'ha de canviar el punt de vista respecte a la naturalesa circular (no radial) de les forces electromagnètiques propiciades per un corrent elèctric	Treball en grup i posta en comú en gran grup.
A24''- (opcional) Construint una proposta de treball	Construint una proposta de treball que pugui servir de guia de treball per el que queda d'unitat. Mostrar la importància de les línies de recerca	
A25- Línies de força	Remarcar que un camp magnètic creat per un corrent elèctric s'ha de comportar com un camp magnètic	Treball en grup i posta en comú en gran grup
A26- Creant línies de força	Fer dissenys experimentals per mostrar les línies de camp creades per un fil conductor	
A26'- (opcional) La intensitat del camp magnètic	Dissenyar vies per a estudiar quantitativament el camp magnètic que crea un corrent elèctric	Realització d'una petita recerca
A26''- (opcional) La llei de Biot i Savart	Portar a terme els dissenys i treure conclusions	
A27- Una regla mnemotècnica per a les línies de força	Obtenir una regla mnemotècnica per a les línies de força que crea un corrent elèctric	Treball en grup i posta en comú en gran grup
A28- Aplicant les regles	Aplicar les regles proposades	Treball individual

Aplicacions de l'electromagnetisme	Comprendre el funcionament i les implicacions de dues aplicacions fonamentals de l'electromagnetisme: els electroimants i els motors	
A29- Augmentant el camp magnètic generat per un fil conductor	Aplicar els coneixements de la producció de camps magnètics per corrents elèctriques al disseny d'aparells que augmentin el camp creat	Treball en grup i posta en comú en gran grup
A30- De la teoria a la pràctica: Construcció d'un electroimant	Construcció d'un electroimant i comprovació de les seves propietats	Treball en grup
A30'- (opcional) Construcció d'un galvanòmetre	Construcció d'un galvanòmetre i utilització per comprovar la generació de corrents elèctriques	
A30''- (opcional) Mesura del camp magnètic terrestre	Aplicació dels coneixements sobre bobines al càlcul del camp magnètic terrestre	
A31- Avantatges dels electroimants	Comparació del funcionament d'imants i electroimants	Treball en grup i posta en comú en gran grup
A32- Construcció de motors	Construcció d'un motor senzill per a estudiar el seu funcionament	Treball en grup
A33- Aplicacions dels electroimants	Mostrar les diferents aplicacions dels electroimants a través d'un treball bibliogràfic	Treball individual i exposició en gran grup (pot fer-se un pannel integrat)

Producció de corrent elèctric mitjançant camps magnètics	Estudiar la producció de corrents elèctrics a partir de camps magnètics	
A34- Juguem a ser Faraday	Proposar dissenys que permetin produir corrents elèctrics amb un imant	Treball en grup i posta en comú en gran grup
A35- Inducció electromagnètica entre un imant i una bobina	Portar a terme els dissenys i estudiar les variables que intervenen	
A35'- (opcional) Inducció electromagnètica entre bobines	Portar a terme els dissenys i estudiar les variables que intervenen	
A35''- (opcional) Inducció electromagnètica entre bobines: transformadors	Construir un transformador i estudiar el seu funcionament	
A36- La dinamo	Construir una dinamo i estudiar el seu funcionament	
A37- El món després dels generadors electromagnètics	Analitzar les diferències en la generació d'electricitat pels diferents tipus de generadors Reflexionar sobre la relació entre la forma de vida actual i la producció d'electricitat	Treball en grup i posta en comú en gran grup
La natura del magnetisme natural	Activitat de síntesis final	
A38- Es pot anar més enllà del model dels dominis?	Introducció de millores en el model dels dominis per al magnetisme natural que té en compte els aprenentatges adquirits en l'estudi de la segona part d'aquesta unitat	Lectura i anàlisi d'un text. Treball en grup i gran grup
Activitats complementaries	Reforçar els coneixements apresos	Més activitats que es poden manar com a deures a l'alumnat. Treball individual
Activitats de resum	Repasar els coneixements apresos	
Formulari d'experiències científiques	Reforçar els coneixements apresos	
Formulari KPSI	Autoreflexionar sobre el que s'ha après al final de la unitat	

Electromagnetisme: Orientacions didàctiques

Introducció general:

L introducció general serveix per presentar la unitat i emmarcar la importància que té l'estudi de l'Electromagnetisme. Es pot fer mitjançant una lectura en veu alta o que sigui el professorat el que faci la introducció al grup classe (gran grup).

Formulari KPSI

És el moment d'autoreflexionar sobre el que se sap en començar a estudiar la unitat. Per tant, podria ser d'interès que l'alumnat contestés de forma individual el formulari KPSI que té al final del seu material.

En nom de formulari KPSI ve de Knowledge and Prior Study Inventory i és un qüestionari d'autoavaluació de l'alumnat que permet de forma ràpida i fàcil efectuar unavaluació inicial. Després, a través d'aquest instrument s'obté informació sobre la percepció que l'alumnat té del seu grau de coneixement assolit en relació als continguts que es proposen per treballar.

Es tracta que per a cada una de les preguntes proposades l'alumne triï una de les possibles opcions (de l'1 al 4). Les respostes permeten que s'adonin, ell i els seus companys, del que realment saben sobre aquella qüestió.

Aquest qüestionari es pot fer omplir dues o tres vegades. Una al principi de la seqüència d'activitats, al mig i una altra al final. En acabar el tema l'alumnat hauria de saber explicar bé cada una de les qüestions que se li han proposat.

Forces magnètiques:

Igual que en el cas de la introducció general, la presentació del problema que guia la primera part de la seqüència es pot fer mitjançant una lectura en veu alta o que sigui el professorat el que faci la introducció al grup classe.

El problema a tractar en aquesta primera part de la seqüència és el de caracteritzar el magnetisme natural i elaborar models que expliquin el comportament magnètic de la matèria.

Per aixó es comença per un primer apartat (Magnetisme natural: Propietats dels imants) on s'intenta que l'alumnat expliciti i sistematitzi les propietats i lleis que regeixen el magnetisme natural per passar després a elaborar dos models complementaris que expliquin aquestes propietats: el model dels dominis i el de camp magnètic.

Aquesta primera part de la seqüència incorpora a continuació una aplicació pràctica que dona sentit a l'estudi que està fent l'alumnat (les brúixoles i el camp magnètic terrestre) i acaba amb unes activitats finals, la última de les quals pretén sintetitzar el magnetisme natural i l'electrostàtica.

Magnetisme natural: Propietats dels imants

Es tracta d'explicitar i ordenar el comportament del magnetisme natural a través d'activitats molt directives, encara que en els comentaris a les activitats es proposen alternatives més obertes.

L'alumnat ja coneix els imants, però segur que descobriran alguna cosa nova i, sobre tot, podran exposar de forma ordenada les seves propietats per a, posteriorment, proposar un model que les expliqui.



A1- Imant s'escriu sense h

Activitat inicial per mostrar el que l'alumnat ja sap dels imants. Es proposa el treball als grups per passar després al gran grup. Se'ls ha de remarcar que frases han de ser senceres, amb sentit.

Els hi servirà per adonar-se de que saben moltes coses sobre els imants, per animar-se a estudiar-los, ja que els veuran molt propers, i per a contrastar al final de la unitat amb el que hagin après (com si fos un formulari KPSI).



A2- A quins materials atrauen els imants?

Han de comprovar que els imants atrauen només a determinats tipus de materials. Treball experimental en grup i posta en comú en gran grup

L'alumnat ha de disposar d'imants per a poder comprovar les interaccions amb el diferents materials. S'ha de fer una primera classificació entre materials ferromagnètics (ferro, cobalt, níquel i el seus aliatges) i no ferromagnètics.

Les monedes de curs legal són uns materials molt interessants. Les d'un, dos i cinc cèntims són de ferro cobert de coure, per tant l'imant les atrau. Les monedes de deu, vint i cinquanta cèntims són d'un aliatge de coure no ferromagnètic i les d'un i dos euros tenen un nucli de níquel, que és lleugerament atret per l'imant.

Segons les característiques dels estudiants se'ls hi pot proposar fer castells i figures amb els imants i les monedes. Fins i tot hi ha una plana web en la que proposen diferents construccions amb imants i monedes (<http://www.magicpenny.org/espgallerya01.htm>).

Activitats alternatives

Si el curs o les possibilitats de l'alumnat ho permeten, en lloc de plantejar unes activitats tan dirigides es poden proposar activitats com les



següents:

A'1.- Exposeu ordenadament el que sabeu sobre el comportament i les propietats dels imants.

A'2.- Feu un llistat de les preguntes a les que ja heu donat resposta i, a continuació, afegiu altres preguntes que cregueu permetrien ampliar l'estudi.

A'3.- Proposeu dissenys experimentals per comprovar si les vostres idees són prou bones. Feu-lo ordenadament, intentant donar resposta a cada pregunta de les que heu fet.

A'4.- Feu les experiències que heu dissenyat i anoteu els resultats.

Comentaris a les activitats alternatives

En l'activitat 1', ordenadament suposa escriure una idea darrera l'altra

En l'activitat 2' haurien de sorgir preguntes com les següents:

Sobre quins materials actuen els imants, i de quina manera?

Quines substàncies actuen com a imants?

Com s'interactuen dos imants?

etc.



A3- Com són les forces entre dos imants?

Han de comprovar que les forces entre imants són atractives i repulsives (dos pols) i que disminueixen amb la distància



A4- Els imants no atrauen igual per tot arreu

Han de comprovar que la major força té lloc als pols



A5- Qui atrau a qui, l'imant al ferro o el ferro a l'imant?

Es tracta de mostrar que les forces són interaccions, que l'imant no atrauria al ferro sense el seu concurs.

Tots dos s'atrauen igual en tots tres casos, malgrat que el més petit sigui més fàcil de moure.

El professorat hauria de fer comentaris sobre el principi d'acció i reacció



A6- (opcional) Potència d'un imant

Es mostren dos dissenys per comparar la potència dels imants i per comprovar que el magnetisme es manifesta a través de diferents materials. Alternativament es pot demanar l'alumnat que siguin els que facin propostes.

S'ha de proporcionar a l'alumnat imants de diferent potència per a que es vegin diferències.



A6'.- (opcional) Estudi quantitatiu de la força entre imants: Llei de Coulomb

Ja us heu adonat que els imants s'atrauen (o es repel·leixen) més quan més a prop, però, quant?. Us proposem d'aconseguir una llei quantitativa que lligui la força entre imants amb la distància a la que es troben.

a) Disseny experimental. Indiqueu la manera que us sembla més idònia de fer l'experiment i poder agafar les dades adients:

b) Realització de l'experiment i presa de dades. Porteu a terme l'experiment i recolliu les dades en un quadre com aquest:

Distància entre imants (cm)							
Força entre imants (N)							

c) Tractament i anàlisi de les dades. Representeu gràficament les dades mitjançant un programa informàtic que us ajudi a trobar la gràfica i l'equació que millor correlacioni les dades que heu obtingut.

d) Conclusions. Fiqueu en comú els vostres resultats amb els dels altres grups de la classe. Modifiqueu el que calgui i elaboreu una petita memòria pel professorat i el companys en la que incloureu també les vostres conclusions i perspectives.

Comentaris:

Es tracta d'aprofundir en la naturalesa de les forces omnidireccionals a través de la realització d'una petita recerca, utilitzant procediments propis del treball científic. Aquesta activitat no està inclosa en el programa-guia de l'alumnat.

Hi ha diverses possibilitats de dissenys experimentals.

Exemple 1. Mesura de la força d'atracció entre imants ceràmics amb dinamòmetre.

Un imant es fixa sobre una taula amb cinta adhesiva i l'altre es penja d'un dinamòmetre a diferents altures sobre el primer, mentre es van mesurant distàncies amb una regla mil·limetrada.

L'equilibri de l'imant que penja entre les dues forces a les que està sotmès (la del dinamòmetre i la de l'altre imant) és precari, per la qual cosa s'ha de subjectar el dinamòmetre amb una mà i ajudar a mantenir l'equilibri de l'imant amb l'altra mà que queda lliure. Una altra possibilitat és intercalar entre els imants un objecte de plàstic o fusta del gruix desitjat i mesurar la força del dinamòmetre en el moment en el que és capaç de separar-los.

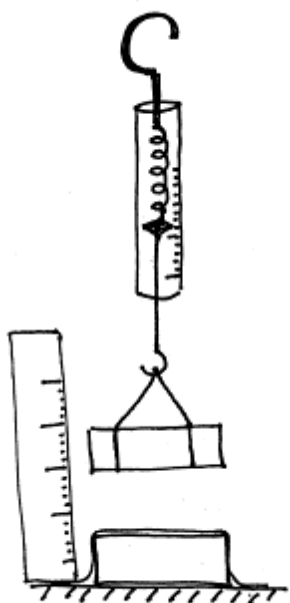
Exemple 2. Utilització de la levitació d'imants de neodimi i mesura de la força per apropar-los amb una balança. Es mesuren les distàncies amb una regla mil·limetrada.

Per fabricar el dispositiu de subjecció dels imants, retalleu un rectangle de làmina de plàstic transparent i enrotlleu-lo al voltant d'un imant cilíndric de manera que no quedi massa ajustat (l'imant ha de poder lliscar amb facilitat per dins del plàstic).

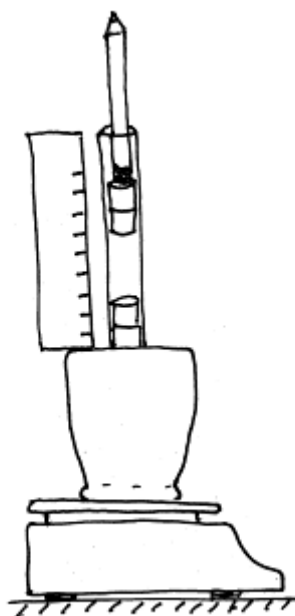
Lligueu el plàstic, que ara té forma de tub, amb cinta adhesiva.

Fiqueu el tub de plàstic amb un imant dins sobre el cul d'un pot de vidre i col·loqueu-lo sobre una balança electrònica i tareu el conjunt. El pot de vidre serveix per allunyar els imants dels components ferromagnètics de la balança.

A continuació, introduïu un altre imant cilíndric amb els pols oposats al primer (observareu com levita) i comenceu a fer mesures a diferents distàncies pressionant amb un llapis.

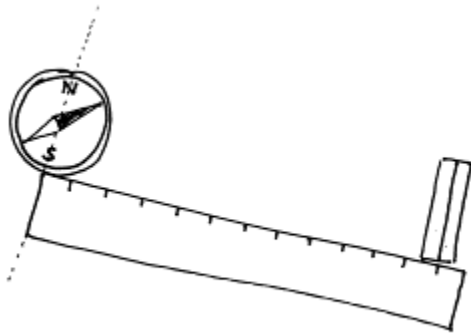


1)



2)

Exemple 3. Utilització del camp magnètic terrestre (brúixola i imant). La brúixola s'ha de ficar de manera que inicialment l'agulla estigui perpendicular a la regla (en la direcció del camp magnètic terrestre). D'aquesta manera la força que fa l'imant és directament proporcional a la tangent de l'angle que formi l'agulla amb el camp magnètic terrestre.



3)

Exemple 4. Utilització d'una sonda de camp magnètic dels equips EXAO o Multilog. Es fica el sensor de camp magnètic perpendicularment al camp magnètic terrestre (si està ben ajustat, quan marqui zero). Després s'apropa o allunya l'imant al sensor mantenint l'alineació sensor-imant i es prenen mesures de distància i camp.

Quant els resultats que s'obtenen amb els imants curts amb els que hem treballat, hem de dir que tots donen com a millor dependència la de una disminució de la força amb el quadrat de la distància (o en tot cas, amb una equació de segon grau de la distància), tal i com va mostrar Coulomb (Bertan i Riba, 2004).



A7- La muntanya de l'imant

Es tracta de la lectura i anàlisi d'un conte de les *Mil i una nits*. És una activitat per a l'aplicació i contrastació del coneixements adquirits. Serveix per a recapitular sobre les propietats generals dels imants. Alternativament es pot utilitzar la lectura del text original de Gilbert que es troba en l'annex dels científics i els seus textos.

És un relat exagerat, que avui es denominaria de ciència-ficció, però que té en compte el coneixements de l'època, diferenciant entre metalls ferromagnètics i no ferromagnètics, coure, bronze i plom (veure tot el conte a l'annex).

El model dels dominis

Es tracta d'adquirir un model que expliqui les propietats del magnetisme natural. Ara que ja saben com es comporten els imants, és el moment de donar una explicació a les seves propietats mitjançant un model prou senzill i, alhora, potent: el model dels dominis.

Un model no és la realitat, però la representa. Els ajudarà a fer-se una imatge mental simplificada de com són les coses, a explicar-se els fets i a predir el que pot passar.

Abans d'endinsar-los en el model, però, es proposen dues activitats que fan referència a la relació entre els materials ferromagnètics i els imants que són claus per a mostrar la coherència del model dels dominis amb la realitat.



A8- Magnetisme induït i residual

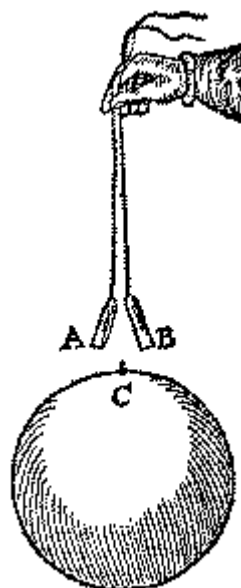
Les activitats 8 i 9 reforcen la 5. Es pretén comprovar que el ferro en contacte amb un imant es comporta com un altre imant. Treball experimental en grup i posta en comú en gran grup

Els claus de ferro dolç han de perdre la imantació en separar-se de l'imat (magnetisme induït) i els clips d'acer haurien de mantenir-la (magnetisme residual). S'ha de parar comte, però, ja que la majoria dels claus son d'acer i molts clips els fan de ferro recoberts de níquel i, per tant, funcionen a l'inrevés.



A9- Magnetisme induït: experiència de Gilbert

Comprovar que el ferro atret a distància per un imant es comporta com un altre imant (magnetisme induït). En el dibuix de la dreta es mostra l'experiència de Gilbert amb un imant de forma esfèrica



A10- El model dels dominis o com explicar que els imants es comportin com a imants

Es tracta de (re)construir entre l'alumnat i el professorat el model dels dominis. Es podria fer amb una discussió inicial en grup i la proposta posterior del professorat al gran grup.

Pot ser l'alumnat no faci bones propostes (que expliquin el que ha d'explicar de forma no massa màgica), però estaran prou interessats en discutir la proposta que els hi faci el professorat. Proposta que els estudiants hauran de comprovar que serveix per a explicar totes i cada una de les preguntes de l'activitat.

El model a explicar és el dels dominis magnètics, que ja tenen descrit en la informació teòrica que disposen en la seva unitat.

Les propostes d'Ampère per a explicar el magnetisme natural es plantegen al final de la unitat com una activitat opcional, i les que fa la ciència actualment per entendre la naturalesa dels materials paramagnètics, diamagnètics i ferromagnètics s'haurien de posposar al batxillerat.



A11- Tots els materials imantables actuen com a imants?

Aplicació del model dels dominis. Es tracta d'utilitzar el model dels dominis en un altre context per a fiançar-lo. Treball en grup i posta en comú en gran grup

S'ha de remarcar que no tota la magnetita és calamita, i que no tot l'acer està imantat. De totes maneres, no tot l'acer està imantat, però casi tot. El fet que per a la seva manipulació s'usin grans electroimants fa que la major part de l'acer estigui una miqueta imantat. Mireu l'activitat complementaria que es proposa a l'alumnat per a fer a casa.



A12- Com fer un imant permanent?

Es tracta d'una altra aplicació del model dels dominis. No cal parlar més que de l'imantació per inducció d'un altre imant. L'imantació per corrents elèctriques es deixa pel moment en el que s'estudiï la relació entre l'electricitat i el magnetisme.

Per imantar un clip (o un clau, o una agulla, etc, sempre que siguin d'acer), el mètode clàssic és passar repetides vegades un imant per sobre el clip, fregant-lo sempre de la mateixa manera. S'hauria de provar d'imantar amb un pol de l'imant i després un altre clip amb l'altre pol i comparar els resultats.

Una altra manera d'ordenar els dipols d'un material ferromagnètic i aconseguir un imant consisteix en col·locar l'agulla verticalment damunt el pol d'un imant i donar-li un cop de martell (no massa fort, no digui que es trenqui l'imant) i ja està!. (Mireu a l'annex de més experiències la titulada *Fabricar imants amb l'ajut de la Terra*)



A12'- (opcional) Construcció d'un magnetòmetre

Els camps magnètics són invisibles; tan sols podem veure els efectes de la força magnètica. Els magnetòmetres són instruments que s'usen per a detectar i mesurar la força dels camps magnètics. Les brúixoles són bàsicament magnetòmetres amb les direccions marcades en ells. Un magnetòmetre s'orientarà segons el camp magnètic.

Construireu un instrument capaç de detectar el camp magnètic i la polaritat magnètica, de manera que podreu mostrar la polaritat dels imants (pols Nord i Sud) i com és el camp que creen al voltant seu.

Procediment

Necessitareu una canyeta llarga de plàstic, un clip d'acer, cinta adhesiva, un tros de fil de cosir i un imant.

Col·loqueu un bocí petit (uns 4 cm de llarg) de cinta adhesiva sobre la taula, amb la part engomada cap a dalt. Fiqueu l'extrem d'un fil al llarg de la cinta adhesiva i un clip a sobre perpendicularment. Doblegueu el cello sobre el clip i el fil de manera que quedi ben pegat.

Ara, introduïu el fil a través de la canyeta i, agafant-la verticalment, el clip deu penjar tot just a sota de la part inferior de la canyeta, sense tocar-la, de manera que sigui capaç de girar lliurement. Lligueu el fil a la part superior de la canyeta amb un bocí de cello per a que no caigui.



Per acabar, fregueu varies vegades el clip (a tot el llarg) de banda a banda, com ja sabeu fer, amb un pol d'un imant permanent per a magnetitzar el clip.

Ja el teniu fet!. Si manteniu la canyeta vertical, amb el clip penjant a sota i l'aprobeu al pol nord de l'imant, un extrem del clip senyalarà cap el pol nord de l'imant (com una brúixola). Aquest és el pol sud del clip. Marqueu ara en la cinta adhesiva que aguanta el clip els pols nord i sud amb un retolador.

Comentaris:

Construcció d'un aparell sensible a la presència d'imants.

La canyeta no és impescindible, però llavors haurem de subjectar el fil més a prop del clip quan estiguem mesurant el camp a prop d'un imant potent, ja que si no l'atraurà i el desviarà.

El cello es fica per a esmorteir les oscil·lacions del clip. Si no trobeu clips d'acer, feu-lo amb dos claus d'acer alhora, un a la vora de l'altre, ajuntant-los de manera que el cap d'un protegeixi la punxa de l'altre

Camp magnètic

En aquest apartat l'alumnat ha d'adquirir un model que expliqui les interaccions a distància

Fins ara han descrit les interaccions entre imants en base a forces a distància; però, com s'assabenta un imant de que té un altre a la vora que li atrau?. Hi ha alguna corda invisible entre els dos?.

En el que segueix, intentaran completar el model explicatiu de la interacció magnètica amb una altra idea clau per a la comprensió de les forces a la natura: el concepte de Camp.

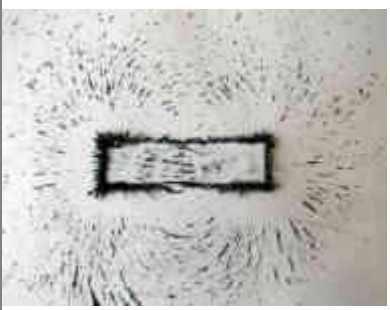
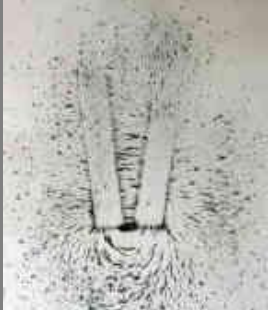


A13- Línies de força del camp magnètic creat per un imant.

Es tracta de visualitzar les línies de camp magnètic. La ciència proposa un model sobre el comportament dels imants basat en la presència d'un camp magnètic que representem mitjançant unes línies que denominem línies de força o línies de camp. En aquesta activitat l'alumnat "veurà" el camp magnètic.

S'observa que en escampar les partícules de ferro s'orienten seguint les línies de camp (que són tancades) ja que l'imant modifica el seu entorn creant un camp magnètic on s'experimenten forces.

Alguns exemples del que es pot veure

			
Línies de camp en un imant rectangular	Línies de camp en un imant de ferradura	Línies de camp en un imant anular	Línies de camp en un imant de nevera

S'han d'intentar diverses combinacions d'imants. Es poden visualitzar altres espectre magnètics posant dos imants rectangulars en diferents posicions. Si teniu un imant en forma d'U es pot observar que el camp magnètic que crea en el seu interior és uniforme ja que les llimadures s'orienten seguint línies paral·leles.

Si l'alumnat intenta fer el mateix amb pols de sofre s'adonaran que no es forma cap figura reconeixible ja que el sofre no és un material ferromagnètic.

Per a recuperar les llimadures s'ha de separar amb cura el paper de l'imant i tornar a ficar-les al recipient fent una paperina. S'ha de parlar compte de que l'imant no entri en contacte amb les ferradures, per que després és molt difícil separar-les.

El paper es doblega sobre l'imant i les ferradures poden caure a la taula. Per evitar-ho va bé col·locar el paper blanc sobre una làmina de plàstic dur i a sobre les llimadures de ferro, d'aquesta manera no cauen a terra i després es poden recollir amb el paper.

Les llimadures de ferro poden comprar-se en empreses comercials, com MICROLOG. També poden obtenir-se minúsculs filferros (fan el mateix paper que les llimadures) tallant amb tisores un fregall de llana d'acer (o de ferro) dels que s'utilitzen a la cuina per a fregar les paelles).



PRECAUCIÓ: al tallar el fregall i amb les ferradures, que poden tallar la pell i/o clavar-se. Utilitzeu guants.



A13'- (opcional) Construcció d'un detector de línies de camp

En aquesta experiència fabricareu un dispositiu que us ajudi a detectar les línies de camp sense haver d'afegir i treure contínuament les llimadures de ferro.



Per fabricar el detector necessitareu un pot de vidre de conserva (transparent) amb tapa, llimadures de ferro i oli (serveix qualsevol oli de la cuina). Ompliu el pot amb oli, afegiu unes poques llimadures de ferro i remeneu una mica per a que s'escampin uniformement per tot l'oli. Després tapeu bé el pot!, que no caigui l'oli.

Agiteu bé el pot cada vegada que vulgueu fer l'experiència.

Si apropau un imant, observareu com s'orienten lentament les llimadures, dibuixant les línies de camp. Podeu provar amb totes les combinacions possibles

d'imants, com en el cas del paper i, igualment, dibuixar-les.

Comentaris

Construcció i/o utilització d'un visualitzador tridimensional de les línies de camp magnètic. Aquesta activitat, que no figura en la seqüència de l'alumnat, es pot incloure en l'anterior si és el professorat el que prepara prèviament els pots.

S'ha de provar amb diferents quantitats de llimadures de ferro fins a aconseguir un bon detector. També té molta influència la viscositat de l'oli.



A13''- (opcional) Més línies de força

Preneu de nou l'imant i fiqueu-lo, ara, sobre un paper en blanc. Apropau-li un magnetòmetre (o, si no heu construït un magnetòmetre, utilitzeu una brúixola, que és un tipus de magnetòmetre) i col·loqueu-lo en diferents llocs i distàncies al seu voltant. Dibuixeu sobre

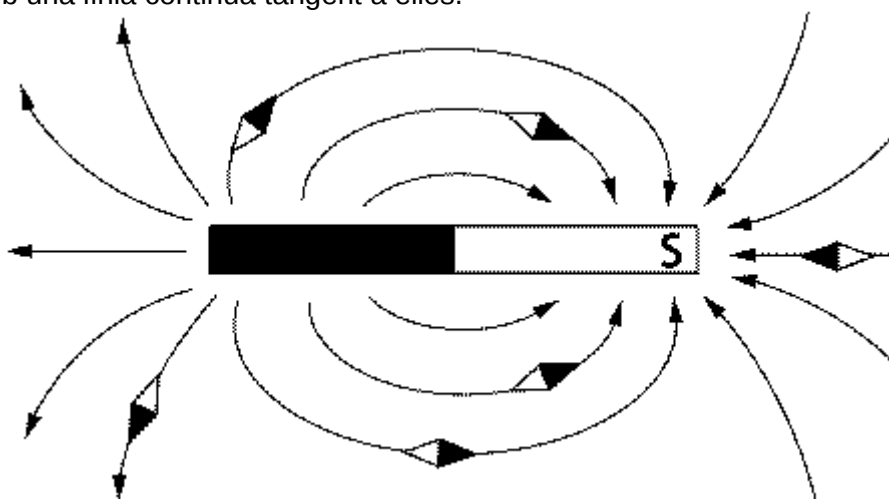
el paper amb línies curtes les direccions en les que es col·loca el clip (o l'agulla de la brúixola).

Sabeu per què passa això?

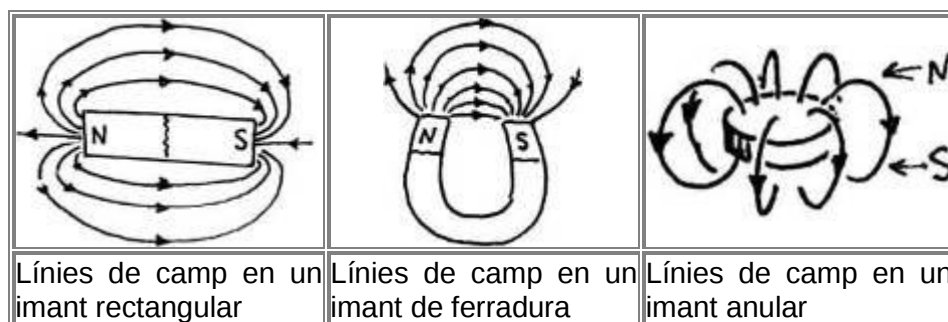
Comentaris:

És una altra manera de visualitzar les línies de camp (amb un magnetòmetre o una brúixola).

S'ha d'arribar a dibuixar alguna de les línies de força al voltant de l'imant marcant sobre el paper línies curtes en la direcció en la que es fiqui el clip (o l'agulla de la brúixola) i unint-les després amb una línia continua tangent a elles.



Haurien de sortir línies semblants a les aconseguides amb les ferradures.



A13'''- (opcional) Sobre l'interès del camp per a explicar les forces a distància

Per a què parlar de camp?. No n'hi ha prou amb les forces a distància?.

Comentaris:

Es tracta de comparar diferents models explicatius. Presentació pel professorat del concepte de camp i les seves avantatges sobre el de força a distància.

El professorat pot fer una dissertació sobre les diferents explicacions que s'han donat al llarg de la història de la ciència sobre la naturalesa de les interaccions a distància. En concret, hauria de remarcar el caràcter màgic de les forces a distància de Newton en contraposició a la realitat del camp de forces de Descartes i Faraday.



A14- Què representen les línies de camp?

S'han de sintetitzar els continguts apresos a través de la lectura de la informació teòrica del seu dossier. Han de fer una lectura individual, ficar en comú en el grup el que entenen i posteriorment comunicar lo a tota la classe.

Les brúixoles i el camp magnètic terrestre

En aquest apartat es tracta d'aplicar els coneixements apresos a l'estudi d'un domini específic.

La brúixola és l'aplicació pràctica per excel·lència dels imants. Va ser el primer estri que es va basar en els imants i va revolucionar els viatges per mar i pel desert, on no hi ha referències visuals per orientar-se. En aquest apartat aprofundiran en l'ús i la comprensió de la brúixola i del camp magnètic terrestre.



A15- Les brúixoles

Han d'explicar quina és la utilitat de les brúixoles. Fora suficient que s'indiqués la forma en la que les brúixoles s'usen per a orientar-se en les excursions.



A16- Les brúixoles i els imants

Es pretén veure que l'agulla de la brúixola es comporta com un imant: és un imant.

Si s'apropa un imant a una brúixola es comprovarà com gira l'agulla (com un imant) en funció del pol que s'enfronti.

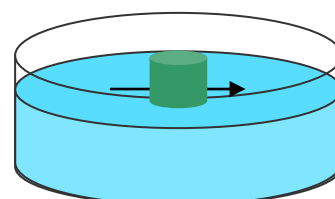
Compte amb els imants rectangulars que hi ha en els equips didàctics, no sempre pinten els pols del mateix color. El pol nord pot estar pintat de vermell o de blau. Per conèixer quin és cada pol es fa servir una brúixola ja que el nord de l'imant atreu al pol sud de la brúixola i viceversa. Compte, no totes les brúixoles tenen pintat el mateix pol. S'ha de comprovar que el nord apunta cap al nord geogràfic (fixeu-vos que el nord geogràfic és en realitat un pol sud!!).



A16'- (opcional) Construcció d'una brúixola

Una brúixola és un imant que pot girar lliurement respecte a un punt. Per a construir una brúixola, fregueu una agulla de cosir d'acer varies vegades amb un imant, sempre en el mateix sentit per a orientar tots els diminuts dipols magnètics.

Després punxeu l'agulla imantada en un bocí de suro (retalleu-lo d'un tap de botella) i deixeu-lo flotar en aigua en un vas, vigilant que no toqui les parets del recipient. L'agulla marcarà el pol nord magnètic de la Terra.



Comentaris:

Es tracta de construir un aparell, de fer un treball manual. També serveix per que l'alumnat s'adoni que la brúixola no és un instrument màgic, que el poden fer ells.

Així precisament, com es demana fer als estudiants, descriu la tradició que eren les brúixoles que utilitzaven els comerciants xinesos en els seus viatges pel desert del Gobi a l'Orient. En la caravana hi havia un camell blanc que portava entre les seves dues gupes, protegit per una gàbia de fusta tallada, un recipient de fang ple d'aigua en la que flotava sobre un suro un bocinet de ferro imantat.



A17- La brúixola i la Terra

S'intenta mostrar la Terra com un gran imant que té el pol sud magnètic a prop del pol nord geogràfic i viceversa. Treball en grup i posta en comú en gran grup

Quan a l'explicació per part de l'alumnat, se'ls hi pot suggerir que, pot ser, un dels dos pols (el de la Terra i el de l'imant) no sigui realment un pol nord. En tot cas es pot demanar que facin propostes per a verificar-ho.



A18- Declinació magnètica.

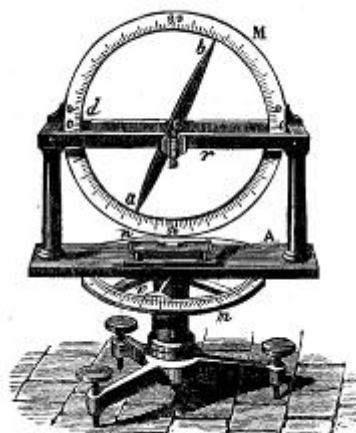
Colom i el viatge a Amèrica.

Es tracta d'introduir els conceptes de latitud, longitud i declinació magnètica, per buscar posteriorment a internet la declinació magnètica de la localitat. S'inicia amb una explicació pel professorat i després treball en grup

En l'annex es disposa de les coordenades geogràfiques d'algunes ciutats de Catalunya i rodalies, de les dades per a Lleida que subministra l'esmentada web i tres mapes mundials amb corbes de declinació i inclinació magnètica i de valor de la component horitzontal del camp magnètic terrestre.



Brúixola de declinació magnètica



Brúixola d'inclinació magnètica



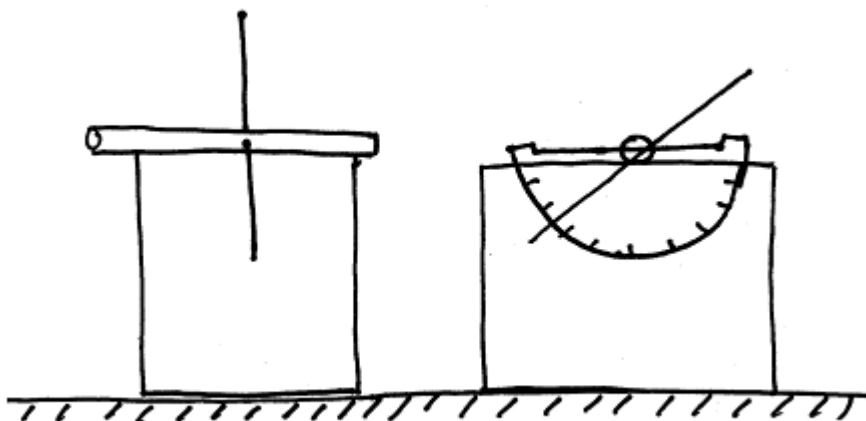
A18'- (opcional) Inclinió magnètica.

Si poden girar lliurement, les agulles imantades inclinen el seu pol nord cap a baix un determinat angle: l'angle d'inclinió magnètica. A què penseu que es deguda aquesta inclinió?. És igual a tot arreu?.

Mesureu la inclinió magnètica en la classe amb la brúixola d'inclinió que us facilitarà el professorat. Podeu contrastar el valor que heu obtingut acudint a la mateixa plana web de l'activitat anterior.

Comentaris:

Es pretén aprofundir en el concepte d'inclinió magnètica i trobar experimentalment la inclinió magnètica de la localitat



Per construir la brúixola d'inclinió magnètica es necessita un transportador d'angles de plàstic, un separador de fulles de plàstic transparent, una canyeta de refresc i una agulla de cosir.

Es retalla un rectangle de plàstic de 5x15 cm i es doblega en forma de U (veure la figura de dalt) i es pega en un costat el transportador.

S'imanta l'agulla i s'insereix en el centre d'un bocí de canyeta d'una 6 cm de llarg.

El conjunt es fica sobre la U i s'orienta en el camp magnètic terrestre amb l'ajut d'una brúixola. Es mesura la inclinió magnètica directament en el transportador.

En l'annex de més treballs pràctics s'explica com construir un model de Terra en miniatura (una "terreta") i la seva utilitat per a entendre els conceptes de declinació i inclinió.

**A19- Orientació en el mapa**

Localitzar edificis significatius de la localitat amb l'ajut de la brúixola. Treball individual
El professorat pot proporcionar plànols de la localitat o ensenyar l'alumnat a trobar-los a internet i imprimir-los.

Recapitulació

On s'han de sintetitzar els coneixements adquirits sobre els imants i valorar la seva utilitat



A20- Els imants són útils

Mostrar les diferents aplicacions dels imants a través d'un treball bibliogràfic. Treball individual i exposició en gran grup (pot fer-se un pannel integrat).

La utilitat dels imants està relacionada amb les seves propietats. Aquesta activitat pot servir tant per a ficar de manifest la varietat de camps en els que intervenen, com per a mostrar la varietat d'imants que es fabriquen.

S'usen en: Altaveus, enganxines de nevera, topes de porta, control de nivell de líquids, separació de substàncies, sensors dels equips d'experimentació assistida per ordinador, cintes de cassette i vídeo, disquets d'ordinador, discos durs, puntes de tornavís, puntes de fletxes de diana, etc.



A21- Els imants són bons o dolents per a la salut?

Analitzar les creences de la població en general i de l'entorn de l'alumnat en particular al voltant dels camps magnètics. Treball individual, posteriorment en grup i després en gran grup. Es pot fer mitjançant una enquesta a classe o, fins i tot, al centre o a l'entorn de l'alumnat.

Aquesta activitat respon a la pregunta: Hem de combatre les creences irracionals dels nostres alumnes?. Segons Gàmez (2000) els resultats de les enquestes sobre les creences del jovent són preocupants:

Percentatge de joves que creu que pot haver quelcom de vertader en els horòscops i l'astrologia.	41
Percentatge de joves que creu que pot haver quelcom de vertader en la predicció del futur.	33
Percentatge de joves que creu que pot haver quelcom de vertader en la curació per el magnetisme personal.	29
Percentatge de joves que creu que hi ha quelcom de vertader en les persones que diuen contactar amb el més enllà.	19



A22- Electrostàtica i magnetisme

Serveix per sintetitzar els coneixements adquirits d'electrostàtica i magnetisme natural. Treball en grup i posta en comú en gran grup

S'intenta mostrar que, malgrat algunes similituds, són dos fenòmens diferents i, sobre tot, que no es relacionen en absolut.

	fenòmens electrostàtics	magnetisme natural
S'assemblen	Hi ha dos tipus de càrregues elèctriques	Hi ha dos pols
	Càrregues del mateix signe es repel·leixen i de diferent signe s'atrauen	Pols iguals es repel·leixen i diferents s'atrauen
	La força entre càrregues varia amb l'invers del quadrat de la distància	La força entre imants varia amb l'invers del quadrat de la distància
	Es poden carregar cossos per inducció	Es poden imantar materials ferromagnètics per inducció
	Fregant una barra de plàstic o vidre amb un drap, queda carregada	Passant un imant per sobre un bocí d'acer, el converteix en un altre imant
	Les càrregues creen un camp elèctric al seu voltant	Els imants creen un camp magnètic al seu voltant
Es diferencien	Es diuen càrrega positiva i negativa	Es diuen pol nord i pol sud
	Existeixen cossos carregats positivament i cossos carregats negativament per separat	No es poden separar els pols magnètics. Si es trenca un imant, apareixen dos imants
	Un dipol elèctric no s'alinea amb el camp magnètic terrestre	Un imant s'alinea amb el camp magnètic terrestre
	Les línies de força elèctrica surten de les càrregues positives i poden ser obertes (no necessiten de càrregues negatives per a tancar-se) Les línies de força elèctrica entren en les càrregues negatives i poden ser obertes (no necessiten de càrregues positives per a tancar-se)	Les línies de força magnètica surten del pol nord de l'imat i entren pel pol sud, i per dintre del imant van del pol sud al nord (són sempre tancades)
Relació	Els cossos carregats sense moviment no interaccionen amb els imants. Si interaccionen, també ho fan descarregats (per exemple materials ferromagnètics)	Els imants no interaccionen amb les càrregues estàtiques

Els alumnes comenten també que es diferencien en que els imants són naturals i les càrregues sempre produïdes, i que la imantació dura molt i la càrrega elèctrica poc

Activitat alternativa

Si no es considera convenient fer una pregunta tan oberta, es pot refer la taula de dalt, alternant les semblances i diferències, i presentar-la als estudiants per a que indiquin al costat de cada propietat si és quelcom que diferencia, o no, els dos fenòmens, i en quin sentit.

Activitats complementàries: Els imants i el magnetisme.

Pretenen reforçar els coneixements apresos. Són activitats que es poden manar com a deures a l'alumnat com a treball individual.

Resposta a les activitats complementaries:

1. Atret
2. Per que cadascuna de les orientacions dels imants indueixen en el ferro un imant oposat.
3. Només els materials ferromagnètics.
4. La barra no imantada sempre serà atreta per qualsevol dels extrems dels altres dos.
5. Veure dibuixos activitat 13
6. b) posar-lo al foc.
7. Pateix un parell de forces en la direcció nord-sud de l'electroimant que la fan alinear-se amb les línies del camp, moment en el que s'anul·len les forces.
8. Per que és imantada per inducció.
9. c) verticalment.
10. Les agulles han d'estar alineades. La posició d'equilibri més estable és quan s'atrauen.
11. Per que és molt més petit que el que creen les pròpies agulles de les brúixoles a tan curta distància.
12. No. El camp magnètic terrestre està inclinat (inclinació magnètica).

Activitats per casa:

Tant les llaunes de conserva com els radiadors normalment són de xapa d'acer i, sinó, d'alumini.

Gairebé totes les llaunes i radiadors d'acer estan imantats com a conseqüència de la manipulació amb electroimants de les planxes amb les que han estat fabricades.

Activitats de resum: Els imants i el magnetisme

Activitats per repassar els coneixements apresos en acabar la primera part de la seqüència.

Les contestacions a les preguntes es troben al material de l'alumnat.

La solució de l'activitat 2 ve donada per:

A	r	x	d	e	e	i	n	a	c	i	ó	f	h	
B	m	g	d	m	i	n	t	e	r	a	c	c	i	ó
C	a	z	n	o	h	d	e	t	s	x	p	k	z	j
D	g	b	r	ú	i	x	e	t	a	t	c	a	m	p
E	p	w	u	x	s	t	u	m	g	e	y	o	x	q
F	e	j	m	x	a	b	r	x	i	n	z	f	z	a
G	f	e	r	r	o	m	a	g	n	e	t	i	c	
H	g	o	i	e	p	o	l	q	x	i	e	p	h	
I	s	k	l	r	m	i	n	d	u	c	c	i	ó	w
J	m	l	f	e	w	a	z	s	h	u	s	v	j	r
K	e	i	i	k	u	z	n	p	g	y	j	o	l	n
L	l	x	u	n	u	g	v	t	b	c	l	j	h	b
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14

magnetisme	imant	interacció	pol
domini	inducció	brúixola	
ferromagnètic	declinació	camp	

Buscant una possible relació entre fenòmens elèctrics i magnètics

La presentació del problema que guia la segona part de la seqüència es pot fer mitjançant una lectura en veu alta o que sigui el professorat el que faci la introducció al grup classe.

El problema a tractar en aquesta segona part de la seqüència consisteix en trobar el vincle entre l'electricitat i el magnetisme seguint els passos de Oersted, Faraday i Ampère.

Es comença per discutir les condicions per a que interaccionin l'electricitat i el magnetisme i generalitzant el concepte de camp magnètic. Posteriorment s'estudia la inducció electromagnètica i l'obtenció de corrents elèctriques.

Es remarca la importància dels desenvolupaments tecnològics de l'electromagnetisme, en particular els electroimants, els motors i les dinamos.

La seqüència finalitza utilitzant les idees desenvolupades en aquesta segona part per a avançar en el model de magnetisme natural proposat en la primera part de la unitat didàctica.



A23- Però, hi ha relació o no entre l'electricitat i el magnetisme?

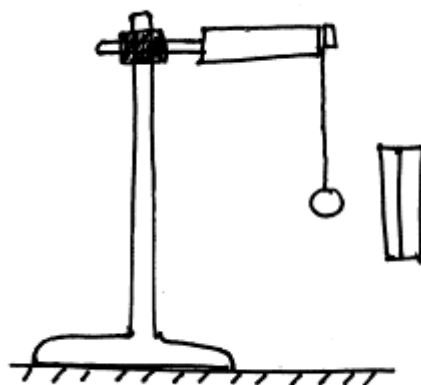
Es tracta de remarcar que no hi ha relació entre l'electricitat estàtica i el magnetisme en la forma en que hi ha interacció entre càrregues, per una banda, o entre imants, per l'altra. Es a dir, de consolidar el fet que no hi ha interacció electromagnètica entre camp magnètic i càrregues elèctriques estacionaris.

Es proposa iniciar l'activitat amb treball en grup per posteriorment ficar les conclusions en comú tot el grup classe.

Les propostes inicials de l'alumnat poden recordar els primers intents que es van fer per evidenciar la relació entre càrregues i imants. Per exemple, proposen apropar-los i veure si s'atrauen, o no. Normalment apareixen dos dissenys simètrics:

En el primer, es carrega un pèndol elèctric i se l'apropa un imant. En el segon, es penja un imant (o s'utilitza una brúixola) al que s'apropa una barra de vidre o de plàstic electritzada.

Es pot animar a l'alumnat a que portin a terme els seus dissenys, però també es pot informar a l'alumnat que tots aquests experiments d'aquesta mena van resultar infructuosos, malgrat que s'augmentés molt la càrrega o la potència de l'imat.



A més, en el cas dels dissenys en els que s'apropa un imant a una càrrega (com els de dalt) sí que es pot manifestar una força que faci moure el pèndol o girar l'imant, però serà la mateixa que aparegui quan s'usi una barra no imantada, o d'un altre metall, ja que es tracta simplement de la interacció electrostàtica deguda a l'acumulació de càrrega per inducció en l'extrem de la barra metàl·lica.

Camp magnètic generat per un fil conductor

Malgrat que els intents que s'han fet fins ara en aquesta seqüència per trobar la relació entre electricitat i magnetisme han estat infructuosos, en aquest apartat ja es presenta una alternativa que mostra que la relació hi és, com és i les magnituds que intervenen.

A més s'amplia el model de camp que explica com és el camp magnètic generat per un corrent elèctric



A24- Interacció entre els imants i el corrent elèctric: experiència d'Oersted

Es tracta d'introduir la necessitat de canvis en la perspectiva en la que es miren el problemes per avançar. Per una banda, s'ha de tenir en consideració que el moviment de les càrregues és clau, però no només això.

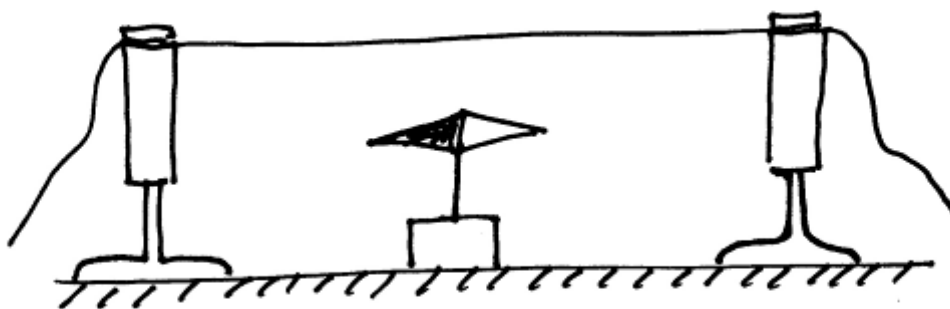
Es diu que Hans Christian Oersted (1777-1851) va “descobrir” el 1820 que un corrent elèctric desviava l'agulla de la brúixola i es contenen diverses versions del descobriment: en una conferència, per un estudiant seu, etc. El fet és que Oersted estava convençut de l'existència d'una relació entre l'electricitat i el magnetisme, però, a diferència de molts d'altres científics de l'època que buscaven el mateix, el no era newtonià i, per tant, podia imaginar forces que no foren radials: les forces electromagnètiques, i dissenyar un experiment en el que l'imant i el corrent elèctric no estiguessin en el mateix pla.

Què havien fet fins aquest moment els científics amb mentalitat newtoniana?, doncs ficar la brúixola al costat del fil conductor, i no a sota, ja que les forces newtonianes són radials.

Experiència d'Oersted. Segons el curs amb el que s'estigui, s'ha de descriure l'experiència a l'alumnat. En tal cas proposeu primer un disseny amb la brúixola a la vora, i després de veure que l'experiència “no surt”, expliqueu l'experiència d'Oersted:

Es subjecta amb dos suports un conductor rectilini d' 1 m de llargada aproximadament, de manera que quedi horitzontal, i es col·loca orientat en la direcció S-N seguint l'agulla de la brúixola, que s'haurà col·locat amb el seu suport a sota.

A continuació, es connecta el cable a una font d'alimentació de corrent continua (com a font d'alimentació serveix una pila de 4,5V) i s'aprecia com l'agulla de la brúixola es desvia, intentant ficar-se perpendicular a fil conductor.



Es poden fer diferents proves: tancar i obrir el circuit, canviar el sentit del corrent, posar ara la brúixola damunt el conductor i repetint les observacions anteriors i comprovar que el sentit en què es desvia l'agulla en col·locar-la sota del conductor és contrari al que té si es col·loca damunt, etc.



A24'- (opcional) Per què va funcionar l'experiència d'Oersted

Senyaleu la diferència fonamental entre l'experiència d'Oersted i les que van donar un resultat negatiu.

Comentaris

Es tracta de remarcar que també s'ha de canviar el punt de vista respecte a la naturalesa circular (no radial) de les forces electromagnètiques propiciades per un corrent elèctric.

Si l'experiència d'Oersted funciona, mentre que totes les que s'havien fet fins llavors no ho van fer, és per que les càrregues estaven en moviment, i aquesta relació entre magnetisme i càrregues en moviment és la clau per a seguir investigant.

A més, fins aquell moment totes les forces s'havien mostrat radials (newtonianes), fins i tot les forces magnètiques entre pols magnètics, tal i com va mostrar Coulomb amb les seves lleis que relacionen les forces magnètiques (igual que les elèctriques) amb l'invers del quadrat de la distància. D'aquesta manera, tots els físics buscaven una força directa i col·locaven els imants a la vora del fil conductor, i no a dalt o a baix.



A24''- (opcional) Construint una proposta de treball

A la vista dels resultats de l'experiència d'Oersted, quins aspectes creieu que mereixeria la pena intentar estudiar a partir d'aquí?.

Comentaris

Es pretén construir una proposta de treball que pugui servir de guia de treball per el que queda d'unitat i a la vegada mostrar la importància de les línies de recerca per a tenir èxit.

Una bona recerca és la que proporciona nous problemes que suposin noves línies d'investigació. El resultat experimental d'Oersted, no només és espectacular en sí mateix, sinó que va obrir el camí al desenvolupament de tota una branca de la Ciència i la Tecnologia, com és l'electromagnetisme. En aquest sentit es pot dir que el treball d'Oersted és extraordinari.

Aquesta activitat és difícil, però a la vegada molt interessant, ja que pot servir per que l'alumnat se'n adoni de la creativitat i, alhora, dificultat de algunes de les tasques del treball científic. D'aquesta manera també s'eviten punts de vista simplistes del quefer científic, com el que parla dels avanços científics com a "descobriments", com si es trobessin a sota una pedra a la que per casualitat se li dona un cop de peu.

Les propostes parcials de l'alumnat hauran de ser completades pel professorat. Històricament, les línies de recerca sorgides de l'experiència d'Oersted van ser:

La determinació quantitativa del camp magnètic produït pel corrent elèctric.

El problema de l'obtenció de camps magnètics grans i d'intensitat variable que puguin substituir amb avantatge els imants naturals (electroimants).

L'estudi de les forces entre imants i corrents elèctriques.

La utilització de les forces entre imants i corrents per a construir motors elèctrics i aparells de mesura del corrent elèctric.

La possibilitat de que els camps magnètics puguin produir corrents elèctriques (al revés de l'experiència d'Oersted), el que obria la porta a l'obtenció continua d'electricitat per una altra via que no fora la pila voltaica.

L'explicació del magnetisme natural.

Per a remarcar la importància d'aquest tipus d'activitat aquí hi són les notes que va escriure Faraday en 1822 (dos anys després de l'experiència d'Oersted):

"Transformar el magnetisme en electricitat.

La divergència de les esferes de medul·la de saüc és o no deguda al canvi d'electricitats com conseqüència de la inducció?.

Estat de l'electricitat en l'interior i en la superfície dels conductors, i en la superfície dels forats fets en ells.

Efecte de la llum en passar a través de les fulles d'or a fulles de cinc, o metalls més oxidables, essent aquests pols d'imants, o estant sobre barres imantades.

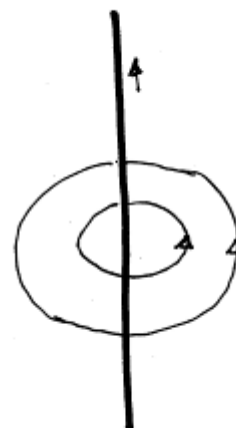
Transparència dels metalls. Passatge de llum solar a través de la fulla d'or. Dos fulles formant pols; llum que les travessa d'una a l'altra."

i sobre elles, anys més tard, va afegir la següent nota: *"tinc un gran deute amb aquestes notes, i crec que seria útil a tots el homes de ciència una recopilació semblant"*.



A25- Línies de força

Remarcar que un camp magnètic creat per un corrent elèctric s'ha de comportar com un camp magnètic, es a dir, amb línies de força tancades. El que les línies de força hagin de ser circulars ve determinat per raons de simetria i homogeneïtat de l'espai i, per tant, del camp.



**A26- Creant línies de força**

Fer dissenys experimentals per mostrar les línies de camp creades per un fil conductor.

Per a verificar la hipòtesi de les línies de força circulars es poden tirar ferradures o bé ficar agulles imantades en diferents posicions d'una cartolina per la que passi, pel seu centre i perpendicularment, el cable conductor.

El problema amb les ferradures és que es necessita una gran intensitat de corrent per a visualitzar la seva ordenació circular. Millor utilitzar fotografies de les llimadures i fer l'experiència amb brúixoles.

**A26'- (opcional) La intensitat del camp magnètic**

De quins aspectes penseu que dependrà la intensitat de camp magnètic (la força sobre un imant) que genera un fil conductor pel que passa un corrent elèctric?.

A aquesta pregunta li van donar resposta els científics francesos J.B. Biot i F. Sarvat en el mateix any 1820. Podríem dir que van quantificar l'experiència d'Oersted, donant lloc a el que es coneix com llei de Biot i Savart.

Comentaris

Es tracta d'iniciar el camí per a estudiar quantitativament el camp magnètic que crea un corrent elèctric (fase d'emissió d'hipòtesi d'una petita recerca).

Aquí, sense moltes dificultats els estudiants indiquen que de la distància entre l'imant i el cable i de la intensitat del corrent elèctric. Quanta menys distància, més força. Quanta més intensitat, més força. Es a dir, proposen que el camp magnètic, B , sigui funció del quocient entre la intensitat i la distància: $B=f(I/r)$.

El que és més difícil és que facin referència a la influència del medi en la interacció.

**A26''- (opcional) La llei de Biot i Savart**

Dissenyeu experiències en les que es fiqui de manifest una dependència cada vegada, i porteu-les a la pràctica.

Comentaris

És la continuació de la petita recerca iniciada en l'activitat anterior. Els estudiants han de fer dissenys experimentals, portar-los a terme i treure conclusions.

A més a més de l'estudi qualitatiu de la relació entre variables, es pot fer una petita recerca quantitativa respecte dels factors que poden influenciar l'angle que es desvia l'agulla de la brúixola, i quant:

- 1- En funció de la distància entre l'imant i el cable
- 2- En relació a la variació de la intensitat del corrent. Si es disposa d'una font d'alimentació regulable, perfecte, si no, es poden aconseguir diferents voltatges amb una pila de petaca, destapant-la, i connectant el cable a 1,5 , 3 o 4,5 volts i, en tot cas, posant una segona pila en sèrie amb l'anterior.

Recordeu del treball pràctic de la força entre imants, que la força que actua sobre una brúixola és directament proporcional a la tangent de l'angle que es desvia respecte a la seva posició d'equilibri en el sí del camp magnètic terrestre.



A27- Una regla mnemotècnica per a les línies de força

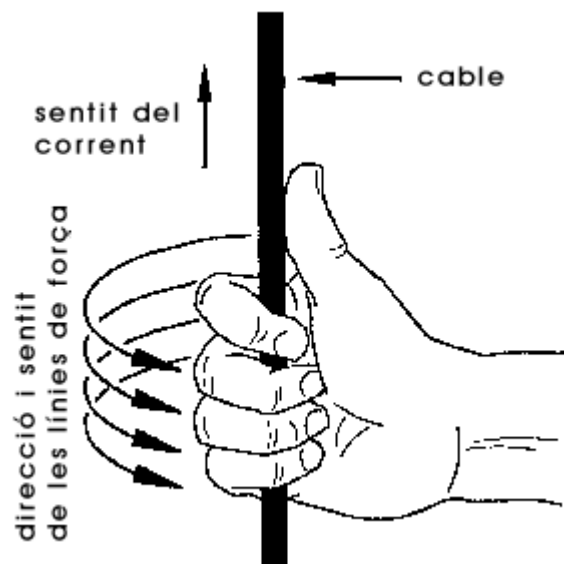
Obtenir una regla mnemotècnica per a les línies de força que crea un corrent elèctric a partir del treball en grup i posta en comú en gran grup.

S'ha d'arribar, per exemple, a la regla de la mà dreta (veure figura i informació en el material de l'alumnat)



A28- Aplicant les regles

Cada alumne individualment aplica les regles inventades als casos proposats.



Aplicacions de l'electromagnetisme

Es realitza l'estudi de les aplicacions de l'electromagnetisme de dos enginys directament relacionats amb l'obtenció de camps magnètics mitjançant un corrent elèctric: els electroimants i els motors, de manera que l'alumnat arribi a comprendre el funcionament i les implicacions tecnològiques i socials de les dues aplicacions.



A29- Augmentant el camp magnètic generat per un fil conductor

Han d'aplicar els coneixements de la producció de camps magnètics per corrents elèctriques al disseny d'aparells que augmentin el camp creat.

Una espira concentra el camp en el seu centre, com es pot enraonar a partir de la regla de la mà dreta. Una bobina o solenoide és un conductor llarg enrotllat en forma d'hèlix (diverses espiras, una al costat de l'altra) pel qual pot passar un corrent elèctric.

Si es coneix el sentit del corrent en la bobina, i té el sentit de les agulles del rellotge aquesta cara és un sud. La bobina es comporta, doncs, com un imant, que canviarà la seva polaritat si canviem el sentit del corrent.

Amb una bobina s'aconsegueix que la intensitat del camp magnètic que genera sigui molt més gran que la creada per un fil rectilini. Si, amés, s'augmenta la permeabilitat del medi introduint-hi un nucli de material ferromagnètic dins la bobina l'augment del camp magnètic és espectacular.



A30- De la teoria a la pràctica: Construcció d'un electroimant

Construcció d'un electroimant per cada grup de treball i comprovació de les seves propietats.

Un electroimant és una bobina dintre de la qual s'ha col·locat una barra d'un material marcadament ferromagnètic que anomenen nucli, gràcies al qual augmenta molt la intensitat del camp magnètic que crea. El nucli generalment és de ferro dolç (un tipus d'aliatge de ferro i carboni). Les seves aplicacions són múltiples. Entre elles hi ha el timbre, les grues, la separació de materials, etc.



A30'- (opcional) Construcció d'un galvanòmetre

Utilitzareu una brúixola, un petit rectangle de cartró de longitud lleugerament superior al diàmetre de la brúixola i fil conductor. Es dobleguen els dos extrems del cartró per a encaixar la brúixola.

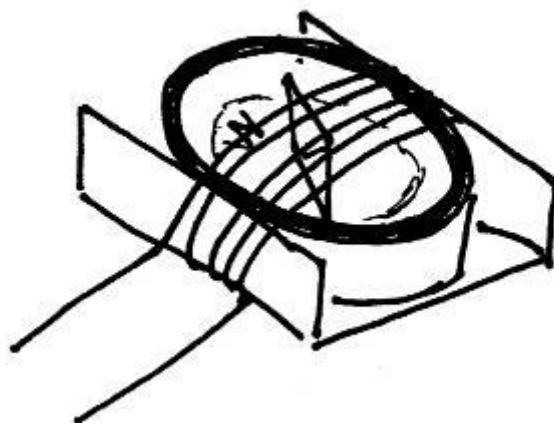
La brúixola es col·loca sobre el cartró de manera que els extrems doblats estén orientats en la direcció Nord-Sud pintada en la brúixola. En aquesta mateixa direcció es donen varies voltes de fil conductor (entre 10 i 20), envoltant la base de cartró amb la brúixola a dins.

Si, ficada inicialment l'agulla de la brúixola en la direcció nord-sud, es connecten els extrems del fil conductor a una pila, s'observa com l'agulla magnètica es desvia, tendint a orientant-se perpendicularment a la intensitat de la corrent que recorre el cable. Heu construït un aparell que serveix per mostrar el pas del corrent elèctric!.

Comentaris

Els estudiants han de construir un galvanòmetre i utilitzar-lo després per comprovar l'existència de corrents elèctriques.

El corrent elèctric que circula per el conductor en forma de bobina curta crea un camp magnètic en el seu interior perpendicular a les espiras, que canvia l'orientació l'agulla de la brúixola



Si es canvia la polaritat, es a dir, si es canvia la connexió en els borns de la pila; es comprovarà que també tendirà a orientar-se perpendicularment, però aquesta vegada en sentit contrari.

Una altra possibilitat és la d'aprofitar la brúixola construïda amb l'agulla de cosir de la primera part de la seqüència (si s'ha fet). Es donen de vint a trenta voltes amb un cable elèctric al voltant del recipient (ara més voltes que abans ja que l'agulla de cosir està menys imantada que la de la brúixola i les voltes de cable són més grans). Després, es plena el recipient amb aigua, s'introdueix el suro amb l'agulla en el plat i se espera fins que quedi immòbil, amb les voltes de cable i l'agulla apuntant al Nord). Ara ja es pot connectar a una pila i es veurà com l'agulla es mou.



A30''- (opcional) Mesura del camp magnètic terrestre

Munteu un circuit en sèrie amb una font d'alimentació, un amperímetre i una bobina de 8 espiras.

Si no disposeu de una font d'alimentació variable haureu d'afegir-hi al circuit una resistència variable (un potenciòmetre) per a poder modificar la intensitat que circuli.

La bobina circular s'ha de fer de 8-10 espiras i uns 10-12 cm de diàmetre, bobinant fil de coure aïllat al voltant d'una llauna de conserva cilíndrica grossa. Mesureu després exactament el radi de la bobina i col·loqueu-la lluny de qualsevol objecte ferromagnètic.

Orienteu la bobina de manera que el camp magnètic que crea sigui perpendicular al camp magnètic terrestre, per això situeu la brúixola a l'eix de la bobina i comproveu que la direcció que indica és paral·lela a la bobina i perpendicular al seu eix.

Connecteu la font per tal que passi corrent. La brúixola estarà ara sota l'acció de dos camps magnètics: el de la Terra i el produït per la bobina. Es desviarà en la direcció del camp magnètic resultant.

Ajusteu el voltatge de la font d'alimentació de manera que l'angle que formi l'agulla de la brúixola amb la bobina sigui 45° i, en aquest moment, anoteu el valor de la intensitat del corrent. Repetiu el procés un parell de vegades, però apagant la font d'alimentació entre les mesures, ja que la intensitat serà gran i la bobina es podria escalfar en excés.

Feu la mitjana dels valors de la intensitat i calculeu el camp magnètic creat per la bobina

amb la fórmula: $B = \frac{\mu_0 \cdot I \cdot N}{2R}$ on I és la intensitat del corrent, N el nombre d'espires, R el

radi de les espiras i μ_0 la permeabilitat magnètica del buit (aire), de valor $\mu_0 = 4\pi 10^{-7} \frac{T \cdot m}{A}$.

Ja heu trobat el valor de la component horitzontal del camp magnètic terrestre!.

Podeu respondre ara a les següents qüestions:

Per què és igual el camp magnètic terrestre i el creat per la bobina quan l'angle de l'agulla és 45° ?

Per què es diu que heu trobat només el valor de la component horitzontal?

Comentaris

Es tracta de determinar la component horitzontal del camp magnètic terrestre, aprofitant que es coneix el camp magnètic creat per una espira (o poques espiras de gran diàmetre comparat amb la seva longitud).

En circular corrent per una espira aquesta crea un camp magnètic perpendicular a ella. Segons es mira l'espira si el corrent va en sentit horari, aquesta cara és un sud, en cas contrari és un nord. Si tenim una bobina formada per N espiras el camp magnètic creat per cadascuna es suma.

Es tracta de col·locar la bobina paral·lela al camp magnètic terrestre amb una brúixola al seu centre, l'agulla de la qual també tindrà la mateixa direcció sud-nord. A continuació fer passar corrent per la bobina fins que l'agulla giri 45° , moment en el que la component horitzontal del camp magnètic terrestre s'iguali al creat per les espiras:

$$B_{\text{espires}} = B_{\text{horitzontal de la Terra}}$$

Com sabem que en el cas de diverses espiras (una bobina), el camp en el seu centre ve donat per:

$B = \frac{\mu_0 \cdot I \cdot N}{2R}$ on I és la intensitat del corrent, N el nombre d'espires, R el radi de l'espira i μ_0

la permeabilitat magnètica del buit (aire), de valor $\mu_0 = 4\pi 10^{-7} \frac{T \cdot m}{A}$,

el que s'ha de fer és mesurar la intensitat de corrent que circula en el moment en el que s'equilibren les dues forces magnètiques i substituir-la en l'equació de dalt, i ja es té la resposta.

Ara el que s'ha de fer és comprar-lo amb el que indica la comunitat científica, acudin-hi a la pàgina del NOAA's National Geophysical Data Center (2004): <http://www.ngdc.noaa.gov/cgi-bin/seg/gmag/fldsnt1.pl> (el valor del camp magnètic a Lleida és a l'annex)



A31- Avantatges dels electroimants

Comparació del funcionament d'imants i electroimants. Treball en grup i posta en comú en gran grup. L'alumnat té informació en el seu material.



A32- Construcció de motors

Es tracta de construir un motor elèctric per grup de treball i observar que en passar corrent per la bobina immersa en un camp magnètic, aquesta gira. Després passen a estudiar el seu funcionament. L'alumnat té informació en el seu material.

El motor a construir es coneix popularment amb el nom de "motor de Beakman" perquè es va fer famós amb al programa de televisió "El món d'en Beakman". Probablement és el motor més senzill del món i funciona de meravella, girant a gran velocitat. Qui no fa un motor és perquè no vol!

Per què es treu tot el vernís d'un extrem i només la meitat de l'altre?. Això es fa per que, si es pelessin totalment els dos extrems, cada mitja volta la cara nord de l'electroimant que es crea en l'espira s'enfrontaria a l'imant enganxat a la pila i en l'altra mitja volta s'enfrontaria la cara sud, amb el que s'anul·larien els efectes d'una mitja volta en l'altra i el motor no giraria bé.



A33- Aplicacions dels electroimants

Han de mostrar les diferents aplicacions dels electroimants a través d'un treball bibliogràfic. Pot encomanar-se com treball individual que després s'exposarà a tot el grup classe (pot fer-se un pannell integrat). L'alumnat té informació en el seu material.

Producció de corrent elèctrica mitjançant camps magnètics

En aquest apartat s'estudia la producció de corrents elèctriques a partir de camps magnètics. Hem vist que quan circula un corrent per un circuit s'origina un camp magnètic. Ara podem fer la pregunta contrària: Pot un camp magnètic produir un corrent elèctric?



A34- Juguem a ser Faraday

Els alumnes en grup proposen dissenys que permetin produir corrents elèctriques amb un imant. Se'ls ha de remarcar que les forces actuen sobre allò que les provoca.



A35- Inducció electromagnètica entre un imant i una bobina

Han de portar a terme els dissenys i estudiar les variables que intervenen

Pot un camp magnètic produir un corrent elèctric?. Aquesta pregunta es respon afirmativament només quan el camp magnètic sigui variable o d'una manera més general sempre que hi hagi variació del flux magnètic en el circuit, essent el flux el nombre de línies de força que travessen una superfície. La situació que s'estudia aquí correspon a un camp magnètic constant que varia de posició (acostant i allunyant l'imat de la bobina, o la bobina del imant)

El nombre de línies de força que travessen un circuit es pot variar si es modifica la distància o, en general, la posició relativa entre el camp i el circuit. Per tant, hi ha tres possibilitats per produir un corrent induït:

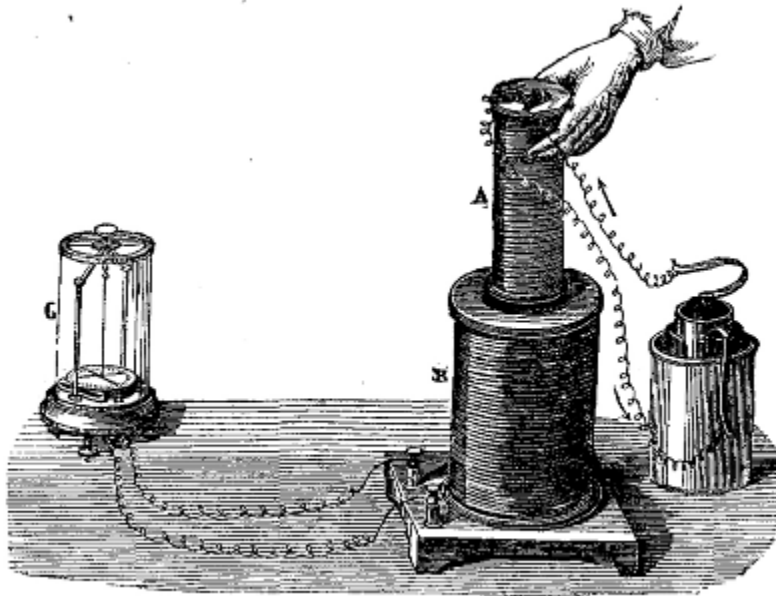
que el camp sigui variable en el temps,
que el camp sigui constant però que hi hagi un moviment relatiu entre ell i el circuit,
que variï la superfície del circuit (aquesta tercera no s'utilitza a la pràctica ja que és molt complicat aconseguir-ho).

En general la força electromotriu induïda ve donada per la llei de Faraday (lleï que no la va proposar Faraday sinó Maxwell).



A35- (Opcional) Inducció electromagnètica entre bobines

Opcionalment es pot proposar l'estudi de la inducció d'un corrent elèctric en una bobina per el camp magnètic generat per una altra.



A35''- (Opcional) Inducció electromagnètica entre bobines: transformadors

Opcionalment es pot proposar la construcció d'un transformador i estudiar el seu funcionament



A36- La dinamo

Utilitzar una dinamo i estudiar el seu funcionament.

Alternador o dinamo. Un alternador és un aparell que té la missió de transformar energia mecànica en energia elèctrica. Quasi tot el corrent que s'utilitza en el nostre entorn és produeix en els alternadors de les centrals elèctriques. Amb el model didàctic d'alternador tindrem una idea del seu funcionament.

El model didàctic es basa a fer girar unes bobines dins d'un camp magnètic uniforme creat per un imants rectangulars. En aquesta aplicació varia l'angle que formen les espines amb el camp magnètic produint una variació de flux magnètic que comporta la producció d'un corrent induït.

A la sortida hi ha unes escombretes metàl·liques que freguen damunt un cilindre metàl·lic, i que es poden desplaçar sobre ell. Si estan connectades una a cada extrem s'obté corrent altern. Però si es col·loquen al centre funciona com a dinamo i s'obté corrent continu.

L'alternador pot funcionar de manera reversible, és a dir pot generar energia mecànica a partir d'energia elèctrica, en aquest cas funciona com a motor.

Els equips didàctics d'electricitat de les diferents cases comercials disposen de motors/alternadors/dinamos que cal comprar. Si no hi ha un duró es pot utilitzar la "dinamo de Beakman" com alternativa.

L'alumnat hauria de:

Observar i dibuixar com està constituït l'alternador.

Amb les escombretes situades com a alternador, observar l'amperímetre i veure si detecta el pas de corrent i com es mou l'agulla i quin tipus de corrent es genera.

Amb les escombretes situades com a dinamo, observar l'amperímetre i veure si detecta el pas de corrent i com es mou l'agulla i quin tipus de corrent es genera.

Observar què passa en connectar-hi la bombeta de baixa intensitat. Prova-ho posant les escombretes de les dues maneres.

Connecta una pila a l'alternador i observa què passa. L'alternador ara funcionarà com un motor.



A37- El món després dels generadors electromagnètics

Els estudiants han d'analitzar les diferències en la generació d'electricitat pels diferents tipus de generadors d'electricitat: dinamos, alternadors, piles, plaques fotovoltaïques, parells termoelèctrics, etc.

També han de reflexionar sobre la relació entre la forma de vida actual i la producció d'electricitat.

Haurien de realitzar un primer anàlisi en grup i posteriorment fer una posta en comú en gran grup

La natura del magnetisme natural (opcional)

En aquesta activitat de síntesis final s'acaba de tancant el cercle de la relació entre l'electricitat i el magnetisme, ja que ara es poden utilitzar els coneixements de com els corrent elèctric crea camps magnètics per a donar una explicació més profunda del magnetisme natural, encara que incompleta, millorant el model dels dominis.



A38- Es pot anar més enllà del model dels dominis?

A través de la lectura i anàlisi en grup d'un text que explica la hipòtesi d'Ampère s'introdueixen millores en el model dels dominis per al magnetisme natural que tenen compte els aprenentatges adquirits en l'estudi de la segona part d'aquesta unitat..

D'acord amb els actuals coneixements sobre la composició de la matèria, els electrons en els àtoms es comporten efectivament com a petits anells de corrent. Juntament al seu moviment orbital al voltant del nucli, cada electró efectua una espècie de rotació al voltant de sí mateix denominada espín; tots dos poden contribuir al magnetisme de cada àtom i tots els àtoms al magnetisme del material. En l'època d'Ampère se ignorava l'existència de l'electró, i així, la seva hipòtesi de les corrents circulars es va avançar en 75 anys a la moderna teoria atòmica, per el que pot ser considerada com una genial anticipació científica.

Activitats complementàries: L'electromagnetisme

Pretenen reforçar els coneixements apresos. Són activitats que es poden manar com a deures a l'alumnat com a treball individual.

Resposta a les activitats complementaries:

1. Com a conseqüència de la caiguda de llampecs sobre la magnetita en les turmentes.
2. Amb una bobina de fil de coure (un electroimant).
3. Circulars, al voltant del conductor, que és el centre.
4. Circulars en el sentit contrari al moviment de les agulles d'un rellotge.

Activitat per casa:

Es deformen les imatges, ja que aquestes es formen per l'impacte d'electrons sobre la pantalla de la televisió.

Activitats de resum: L'electromagnetisme

Per repassar els coneixements apresos

Les respostes es troben al material de l'alumnat.

Formulari d'experiències científiques

per reforçar els coneixements apresos

Formulari KPSI: Magnetisme i electromagnetisme

Permet autoreflexionar al final de la unitat sobre el que s'ha après

En aquests moments el qüestionari ja s'haurà emplenat una o dues vegades. Una al principi de la seqüència d'activitats i una altra a la meitat. Ara, una vegada finalitzat el tema, l'alumnat hauria de saber explicar bé cada una de les qüestions que se li proposen.

Es recorda que es tracta que per a cada una de les preguntes proposades l'alumne triï una de les possibles opcions (de l'1 al 4). Les respostes permeten que s'adonin, ell i els seus companys, del que realment saben sobre aquella qüestió.

Hi ha vegades que en aquest qüestionari es proposen només tres tipus de resposta:

1- No en sé res del que demana la pregunta

2- En sé alguna cosa

3- La podria explicar a un amic o amiga

però nosaltres preferim que hi hagi quatre per tal d'evitar la tendència a donar una resposta neutra

Annex. Dificultats conceptuals i d'aprenentatge de l'electromagnetisme

A més a més de les dificultats de l'alumnat inherents a la seva situació evolutiva, ja que molts d'ells en quart d'ESO no han arribat a l'estadi de les operacions formals (Shayer i Adey, 1984; Pozo, 1989) l'electromagnetisme presenta una sèrie de dificultats conceptuals que s'han posat de manifest en els poques recerques existents sobre idees prèvies i dificultats d'aprenentatge en electromagnetisme (Meneses i Caballero, 1995; Guisasola, 2003; Flores, 2004).

A continuació farem un repàs de les idees prèvies i dificultats més remarcables sobre magnetisme i electromagnetisme seguint l'esquema proposat per Guisasola i altres (2003):

Sobre el concepte de camp magnètic i les seves fonts

a. Concepcions dels estudiants sobre la font del camp magnètic

Els estudiants no identifiquen correctament les fonts del camp magnètic i, a més, molts d'ells tenen dificultats per a distingir la interacció elèctrica de la magnètica. En concret, consideren com a font del camp magnètic les càrregues elèctriques en repòs. Per exemple, indiquen que una brúixola és desviada si es col·loca una càrrega elèctrica en les seves proximitats.

Un alt percentatge de l'alumnat considera la interacció magnètica com una força central de igual direcció i sentit que la elèctrica.

b. Concepcions dels estudiants sobre el imant com a font de camp magnètic

Els estudiantes presenten una representació mental que es pot denominar de *pas de alguna cosa*, segon la qual la imantació es produeix per que quelcom passa de «un agent» a «un pacient». Aquest quelcom varia d'uns alumnes a uns altres

Uns consideren al mediador com quelcom abstracte i utilitzen nocions com *força* i *energia*. Altres estudiants consideren el mediador de manera semblant però utilitzant altres denominacions com: *propietat del imant*, *imantació*, etc. Per contra, els menys identifiquen al mediador com una forma de matèria: «electrons», «ions», «constituents», «matèria magnètica».

En tot cas, consideren que l'imat està constituït de una matèria que té propietats que li permeten atraure certs materials en funció de la seva pròpia naturalesa d'imat.

En quant els estudiants que atribueixen un aspecte material al mediador identificant-lo amb portadors de càrregues elèctriques diuen que els cossos interactuen degut a la diferent càrrega electrostàtica que tenen; així, si un imant es posa en contacte amb un clip, passen càrregues de l'un a l'altre de manera que de l'imat passen càrregues positives al clip i d'aquest, negatives al imant, per el que s'atrauran al estar carregats de forma diferent.

En aquest sentit, hi ha autors (Borges i Gilbert, 1998, en Guisasola i altres, 2003)) que identifiquen cinc models de concepció del magnetisme:

Model A: «Magnetisme com atracció». Segon aquest model, el magnetisme és vist com una atracció en una regió al voltant de l'imat i es deu a una propietat intrínseca dels imants; és

a dir, els imants atrauen alguns materials a causa de la seva pròpia naturalesa i no sembla necessària cap més explicació.

Model B: «Magnetisme com un núvol ». En aquest model, l'imant estaria voltat per una regió limitada dins de la qual s'actuaria sobre altres cossos; els fenòmens magnètics són explicats en termes de l'acció d'aquesta regió i no de l'acció de l'imant sobre els objectes. Aquest tipus de concepció sembla que prové de fer una analogia entre l'acció magnètica i la gravitatòria.

Model C: «Magnetisme com electricitat ». Aquest model inclou un mecanisme per a explicar la interacció magnètica que està basat en la idea d'interacció elèctrica. En aquest sentit, l'atracció magnètica, per exemple, és vista com l'atracció entre càrregues de diferent signe, no existint una connexió entre atracció i la noció de camp magnètic. Els pols d'un imant són vistos com regions que tenen excés o dèficit de càrregues elèctriques (concretament càrregues positives, el pol Nord, i negatives, el pol Sud).

Model D: «Magnetisme com a polarització elèctrica ». Aquest model és una sofisticació de l'anterior (trobat entre els estudiants d'alt nivell i també entre alguns professors i enginyers). L'imant polaritzaria els objectes propers en el sentit elèctric del terme i després interaccionaria amb ells de forma electrostàtica.

Model E: «Model de camp ». En aquest cas, que apareix fonamentalment entre professors i enginyers, es reconeixeria que els «electrons giratoris » del imant crearien camps magnètics molt petits que al sumar-se donarien lloc a un camp magnètic important a nivell macroscòpic, que actuaria a través de la força magnètica sobre les càrregues en moviment.

Els models A i B són típics dels estudiants més joves. La majoria dels estudiants de tots els nivells, tècnics i un percentatge no despreciable de professors de secundària i enginyers, estarien enquadrats en els models A-D.

Idees relacionades amb l'electromagnetisme

a. Dificultat de comprensió de l'equivalència entre una espira de corrent i un imant d'acord amb el marc teòric de la física

Els estudiants no relacionen de forma significativa una espira de corrent amb un imant com a elements que formen part de un mateix esquema conceptual. Accepten que si s'apropa una espira per la que circula corrent a un imant, tots dos s'interactuen, però no entenen per què. Aquest resultat és convergent amb els resultats exposats en els apartats anteriors on s'ha vist que la majoria dels estudiants no identifiquen correctament les fonts del camp magnètic i que a més no saben justificar per què un imant és font de dit camp.

b. Dificultats de comprensió de la definició operativa del camp magnètic creat per un corrent elèctric

Molts estudiants tenen dificultats per aplicar correctament la definició operativa del camp magnètic. És possible que en el pensament dels estudiants es confongui un fil recorregut per una intensitat de corrent amb un fil carregat electrostàticament, és a dir, hauria una certa confusió entre el camp elèctric i el magnètic, fonamentalment en el que es refereix als seus efectes.

Idees relacionades amb els efectes del camp magnètic

a. Dificultats en detectar sobre què actua el camp magnètic.

Els estudiants consideren que el camp magnètic actua sobre càrregues que estan en repòs. No entenen un fet fonamental de la naturalesa, com és que els camps actuen exclusivament sobre les fonts que els han generat. En aquest cas, doncs, si el camp magnètic és engendrat per càrregues elèctriques en moviment, aquell només actuarà sobre càrregues en aquest estat de moviment. D'això pot deduir-se que si els estudiants no identifiquen, de una manera significativa, les fonts del camp magnètic estacionari, es trobaran amb serioses dificultats per assumir sobre què actua dit camp. Per exemple, un imant repel·liria amb la seva cara nord la bola de fusta carregada positivament d'un pèndol electrostàtic.

b. Dificultats per entendre com actuen les forces a distància

Les idees prèvies dels estudiants relatives a les accions a distància estableixen que les forces actuen a través del contacte; de manera que les accions a distància necessiten de un medi conductor, com podria ser el aire para que es produeixi la gravitació, el magnetisme, etc.

Així, si es pregunta: Un astronauta es troba sobre la superfície de la Lluna i tracta d'atraure uns claus amb un imant, l'aconseguirà?, les respostes que s'obtenen dels estudiants són majoritàriament en més d'un 70% (Bar, Zinn i Rubin 1997, en Guisasola i altres, 2003) que no l'aconseguiria, argumentant, per a explicar el fracàs de l'astronauta, el següent:

Un imant no pot funcionar si no hi ha aire ni gravetat.

La Lluna no té gravetat i l'imant no pot funcionar sense gravetat.

En la Lluna no hi ha aire i l'imant no pot funcionar sense aire.

Un imant només funciona a la Terra, ja que la Terra té pols magnètics.

A més, confonen els conceptes de força i camp magnètic.

c. Dificultats en relació amb l'aplicació de la 3a. llei de Newton en el context electromagnètic.

Es detecten dificultats similars en relació a la 3^a llei de Newton que en la mecànica, amb la mateixa visió antropocèntrica. Utilitzant el mateix exemple de dalt, si s'apropa un imant amb el seu pol nord enfrontant-se a una bola de fusta carregada positivament, és l'imant (amb la seva suposada, per l'alumnat, carrega positiva) el que repel·liria a la bola carregada amb una càrrega també positiva. És necessari ressaltar que els estudiants expliquen que la bola és repel·lida i no que els dos cossos es repel·leixen.

Dificultats per a distingir entre el camp electrostàtic i el camp magnètic estacionari

Quan s'apropa un imant a una bola de ferro sense carrega elèctrica que penja d'un fil i l'atrau, l'explicació majoritària de l'alumnat pot consistir en dir que la atracció es produeix com a conseqüència de la interacció entre càrregues de signe contrari (positiva del imant i negativa de la bola, per exemple), atribuint-hi, per tant, al camp magnètic de l'imant una connotació de caràcter elèctric, com ja s'ha comentat abans.

Això podria suggerir que els estudiants, davant un camp, el magnètic, la naturalesa del qual bàsicament desconeixen, recorren a altre que creuen conèixer millor, com seria el camp elèctric.

Annex. Materials i aparells per al treball experimental

Per portar a terme les activitats pràctiques proposades en aquesta unitat didàctica es necessita una sèrie de estris, aparells i materials de fàcil adquisició i baix cost que tot seguit es detallen:

Per a tota la classe:

- 1 joc d'ímants de diferents tipus
- 1 paquet de canyetes de refresc
- 1 rodet de cinta adhesiva
- Paper d'embalar
- Separadors de plàstic transparents

Opcional:

- 1 sensor de camp magnètic i un equip de recollida de dades (Exao, Multilog, etc.)
- 1 clau gros
- 1 barra d'acer llarga (1 metre)
- 1 tub d'alumini (1 metre)
- 1 tub de coure (1 metre)
- 1 tub de plàstic (1 metre)
- 1 perfil d'alumini
- 1 perfil de plàstic
- 9 boles de rodament
- Olis diversos
- cable elèctric (10 metres)
- plastilina
- boles antipol·lils
- paper d'alumini

Per a cada grup de treball (tres, quatre o cinc alumnes/as):

- 1 caixa de claus de ferro
- 1 caixa de claus d'acer
- 1 caixa de clips de ferro niquelat
- 1 caixa de clips d'acer
- 1 saler amb llimadures de ferro
- 1 joc de monedes (euros i cèntims d'euro)
- 1 joc de bocins de materials diversos (ferro, coure, alumini, plàstic, fusta, etc.)
- 1 joc de planxes petites de materials diversos (ferro, coure, alumini, plàstic, fusta, etc.)
- 1 carret de cordill fi
- 1 carret de fil de coure aïllat

Opcional:

- 1 balança electrònica de sensibilitat 0,1g
- 1 ordinador amb connexió a internet
- 1 font d'alimentació de voltatge variable i cortocircuitable
- 1 martell

- 1 pot de conserva de vidre
- 2 leds de colors diferents

Per a cada dos alumnes/as:

- 2 imants rectangulars de ferrita
- 2 imants de neodimi
- 2 brúixoles
- 1 cargol gros
- 2 agulles de cosir
- 1 transportador d'angles
- 1 pila de petaca
- 1 bobina de 400 o 500 espires
- 1 motor de joguina

Opcional:

- 1 dinamòmetre
- 1 motor didàctic
- 1 polímetre
- 1 regla
- 1 tap de suro

Annex. El camp magnètic terrestre

Dades geomagnètiques de Lleida, com a exemple

(NOAA's NGDC, 2004)

Latitud: 41.37 graus

Longitud: 0.38 graus

Elevació: 0.00 km

Data dels valors: 23 de març de 2004

<u>D</u> (+ Est) (graus)	<u>I</u> (+ abaix) (graus)	<u>H</u> (nT)	<u>X</u> (+ Nord) (nT)	<u>Y</u> (+ Est) (nT)	<u>Z</u> (+ abaix) (nT)	<u>F</u> (nT)
-1g 20m	56g 40m	24745	24739	-575	37631	45038
<u>dD</u> (min/any)	<u>dI</u> (min/any)	<u>dH</u> (nT/any)	<u>dX</u> (nT/any)	<u>dY</u> (nT/any)	<u>dZ</u> (nT/any)	<u>dF</u> (nT/any)
7	-1	16	17	52	12	19

D declinació magnètica, en graus (1 grau = 60 minuts)

I inclinació magnètica

H component horitzontal del camp magnètic terrestre, en **nanoTeslas** ($1\text{nT} * 100,000 = 1$ Oersted = 1 gauss).

X component nord del camp magnètic terrestre

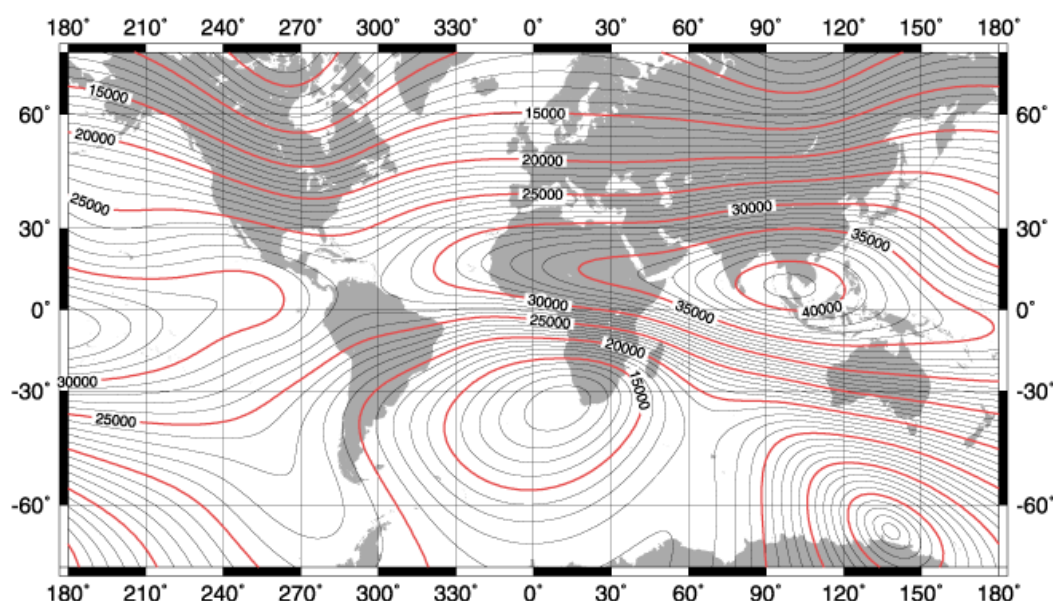
Y component est del camp magnètic terrestre

Z component vertical del camp magnètic terrestre

F mòdul del vector camp magnètic

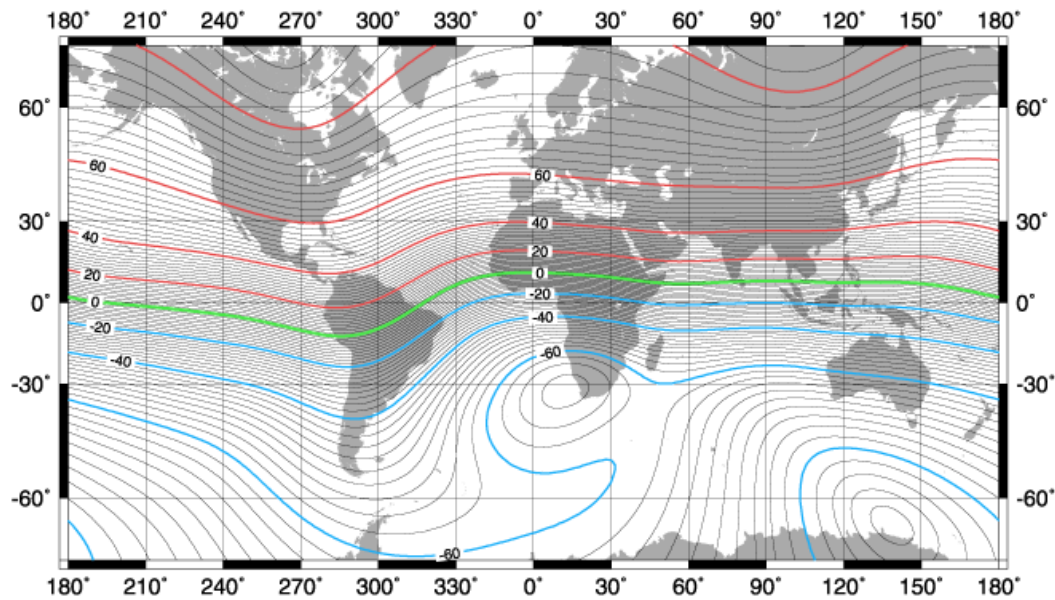
US/UK World Magnetic Chart -- Epoch 2000

Horizontal Intensity - Main Field (H)



Units : nanoTeslas
Contour Interval : 1000 nanoTeslas
Map Projection : Mercator

US/UK World Magnetic Chart -- Epoch 2000 Inclination - Main Field (I)



Units (Declination) : degrees
Contour Interval : 2 degrees
Map Projection : Mercator

Annex: Tipus d'imants

FERRITA

La ferrita està composta per una mescla d'òxid de ferro i òxid d'estranci. Té una excel·lent resistència a la corrosió i pot treballar a temperatures des de -40°C a $+250^{\circ}\text{C}$. Els imants de ferrita són components econòmics i de qualitat que es poden trobar a aplicacions tan diverses com automatització, control, medicació, etc.

És un imant permanent ceràmic i pot ser isotròpic (es pot imantar en qualsevol direcció), o anisotròpic (només es pot imantar en la direcció d'orientació). Per aconseguir qualitats anisotrópiques s'aplica, durant el procés de premsat, un camp magnètic. Aquest procés produeix un alineament dels partícules en una sola direcció, amb la qual cosa s'aconsegueixen uns valors magnètics més alts.

Mitjançant la sinterització (tractament tèrmic a elevades temperatures), s'obtenen les peces amb la seva forma i solidesa definitives.

Es poden obtenir dels altaveus dels aparells de música (*walkman*, ràdios, etc.) o dels ordinadors, una vegada que s'han espatllat. També es poden comprar barats (uns 2 euros), de diferents grandàries i formes, a les ferreteries. Tenen el inconvenient (relatiu) de que normalment estan imantats en la direcció de la dimensió més curta de l'imat, per el qual, si es vol un imant allargat, s'han d'ajuntar varis.

Avantatges d'usar ferrita

Baix cost de producció.

Pot treballar en temperatures extremes (-40°C a $+250^{\circ}\text{C}$).

Fàcil magnetització en distintes orientacions.

Desavantatges:

Baixa inducció.

Dificultat de mecanitzar.

Aplicacions

Jogueteria.

Altaveus.

Tancaments magnètics.

Seguretat.



Neodimi

L'imant de neodimi (NdFeB) està compost de Neodimi (Nd), ferro (Fe) i bor (B) i és l'imant de Terres Rares més potent de avui en dia.

És la tercera generació d'imants permanents de Terres Rares, els productes de NdFeB són més econòmics, fàcils de mecanitzar i menys fràgils que els de SmCo . També la densitat és un 13% menor que en els imants de SmCo .

Són imprescindibles per fer determinats treballs pràctics, com el de la caiguda d'un imant per un tub metàl·lic o el del diamagnetisme de l'aigua. S'han de comprar en una ferreteria especialitzada (con és el Servei Estació de Barcelona) o per internet

(<http://www.teachersource.com/>, <http://www.scitoys.com/>) i el cost dels petits és a partir d'un (1) euro cadascú. També es poden aconseguir desmuntant un disc dur espatllat d'ordinador.

Avantatges d'usar NdFeB:

Els seus alts valors magnètics permeten que es puguin realitzar mesures molt reduïdes amb una extraordinària potència.

Economia.

Adequats per a utilitzar-los a temperatura ambient.

Desavantatges

No pot treballar a altes temperatures (200°C)

És molt propens a l'oxidació.

Aplicacions

En els últims 10 anys, els imants de NdFeB s'han fet molt populars en les indústries d'alta tecnologia:

Àudio: Per als petits altaveus dels sistemes de hi-fi, aconseguint que aquests siguin més compactes i de major potència.

Components magnètics: Els imants de NdFeB són molt usats en interruptors, enganxalls i altres components magnètics.

Motors: A Causa de la seva alta energia i petita grandària els imants de NdFeB juguen un important paper en tota classe de motors, estàrters i servomotors.



SMCO

El samari (Sm) i cobalt (Co) són matèries primeres escasses i per tant molt costoses, els imants permanents d'aquests elements tenen un major preu i uns valors magnètics inferiors al de neodimi (NdFeB). No mereix la pena tenir-los al laboratori.



Avantatges

Pot treballar a temperatures elevades (+200°C)

És més resistent a l'oxidació que el NdFeB

Desavantatges:

És un material costós i més trencadís que el NdFeB

Aplicacions

S'utilitza en aplicacions que treballen a altes temperatures o que estiguin en un ambient oxidant.

ALNICO

ALNICO descriu una família de materials que deriven de la compressió d'alumini, níquel, cobalt i acer amb variació en la seva composició segons les necessitats de duresa.

L'alnico pot treballar a temperatures superiors a 500°C, perquè és molt resistent a l'oxidació. Aquest tipus d'imants posseeix una inducció romanent molt elevada, però una coercitivitat molt baixa.

Són els imants clàssics dels equips didàctics d'electricitat. Van bé al laboratori perquè els polaritzen en la direcció de la dimensió més llarga, de manera que els pols queden allunyats. Per altra part, es desimanten amb facilitat i són més cars que els de ferrita (el clàssic més de 12 euros). Es poden comprar a les cases de material didàctic espanyoles.

Els avantatges d'usar ALNICO:

Treballa a elevades temperatures (+550°C)

Elevada inducció a preu mig

Fàcil de magnetitzar

Compatible amb pintura o xapat dels sistemes.

Desavantatges:

Baixa força coercitiva

És un material dur i trencadís difícil de mecanitzar

Les matèries primeres que ho componen són considerades estratègiques pel que el seu preu fluctua considerablement encarint el producte



Aplicacions

Aquest tipus d'imants s'utilitzen principalment en aparells de mesurament i sistemes de detecció de camps magnètics (pesatge analític, frens...).

Per a sistemes que treballen a elevades temperatures i no requereixen massa força magnètica.

Imants flexibles

L'imant flexible és una mescla de ferrita amb diversos tipus d'aglomerants com el cautxú, pvc, etc. Com a principal característica està la seva flexibilitat atès que es presenta en forma de rotlles o planxes, amb possibilitat d'una cara adhesiva o amb PVC.

Són barats, es troben a tot arreu i es poden comprar a làmines a les ferreteries. Estan formats per una sèrie de bandes estretes que alternen els pols nord i sud, per el que actuen com si no tinguessin polaritat. Just a la superfície el camp magnètic és intens, però s'anul·la a una distància molt petita per que es compensen les línies de força



entrants i sortints. D'aquesta manera s'eviten problemes, com és el que esborrin les dades d'una tarja de crèdit.

Avantatges d'usar imant flexible:

És molt senzill de manipular, es pot tallar amb un cutter o tisores.

La seva economia.

S'adapta a tots els usos que no requereixen massa potència magnètica.

Desavantatges:

L'imat flexible té poca resistència a l'oxidació.

Té molt poca potència magnètica.

Aplicacions

Publicitat.

Serigrafia.

Tancaments nevera.

Claus codificades.

Annex: Més experiències i treballs pràctics

Imants que leviten



En aquesta experiència podeu veure com els imants poden levitar uns sobre altres a causa de la repulsió que exerceixen entre si dos pols magnètics del mateix tipus.

Procediment per els imants en forma d'anell

Subjecteu la palleta amb la bola de plastilina de forma que quedi vertical (també es pot fer més sofisticat, com el de la foto del costat, amb un peu i un pal de fusta). Enfileu un imant en forma d'anell través de la palleta. Afegiu més imants procurant que s'enfronten sempre pols oposats.

Observeu com els imants leviten uns sobre els altres.

Si teniu suficients imants, podeu provar a ajuntar diversos en grups que es repel·leixin entre si.

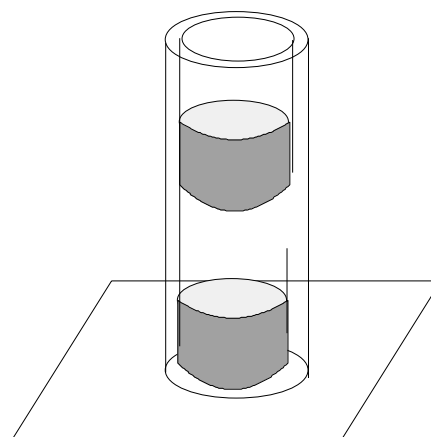
Procediment per els imants cilíndrics

Retalleu un rectangle de làmina de plàstic transparent i enrotlleu-lo al voltant d'un imant cilíndric de manera que no quedi massa ajustat (l'imant ha de poder lliscar amb facilitat per dins del plàstic).

Lligueu el plàstic, que ara té forma de tub, amb cinta adhesiva.

Fiqueu el tub de plàstic sobre una taula amb un imant dins i, a continuació introduïu un altre imant cilíndric amb els pols oposats al primer. Observeu com levita.

Material necessari
 Imants de ferrita cilíndrics o en forma d'anell.
 Una palleta per a refrescos
 Un pedaç de plastilina
 Làmina de plàstic transparent



Fabricar imants amb l'ajut de la Terra

En aquesta experiència veureu com podeu construir un imant aprofitant-vos del camp magnètic terrestre segons el va descriure Herman Melville en la seva cèlebre novel·la Moby Dick.

El ferro és un material ferromagnètic i, segons el model dels dominis, està constituït per un conjunt de dominis magnètics (petits cristalls de ferro) que es troben ordenats a l'atzar. Si aconseguim que aquests dominis s'orienten tots en la mateixa direcció, l'objecte de ferro s'haurà magnetitzat. És el que passa quan fregueu un clau d'acer amb un imant. El clau queda magnetitzat i es comporta també com un imant.

Procediment

Heu d'agafar una barra amb una mà i donar-li un cop sec amb el martell. D'aquesta forma s'imanterà la barra, encara que de forma dèbil.

Material necessari
Una barra de ferro
Un martell
Una brúixola
Ferradures

Per aconseguir que els dominis magnètics queden alineats, resulta fonamental que la barra estigui orientada el més paral·lelament possible amb les línies del camp magnètic terrestre. Per això necessiteu la brúixola.

La barra ha d'estar orientada en la direcció Sud-Nord i inclinada cap al terra. La inclinació de la barra depèn de la inclinació magnètica de la Terra, és a dir de la latitud en què us trobeu. A Catalunya, aproximadament, la inclinació ha de ser d'uns 30°.

Una altra possibilitat molt millor en el cas de barres llargues és tirar-les a terra paral·lelament a la direcció nord-sud.

Podeu comprovar que efectivament la barra ha quedat imantada i atrau a les llimadures de ferro o mou l'agulla d'una brúixola.

Per desimantar la barra només cal col·locar-la perpendicularment a la direcció Nord-Sud i donar-li un cop de martell o tornar-la a tirar al terra també perpendicular a la direcció nord-sud.

Suggeriments

El primer que heu de fer és comprovar que la barra que utilitzeu no està imantada abans de l'experiment (no atrau a les llimadures de ferro, no desvia l'agulla d'una brúixola), ja que el difícil és aconseguir una barra de ferro o un clau gran que no estigui imantat, donat que la majoria dels objectes de ferro amb què us trobareu estan ja imantats, fonamentalment perquè s'han utilitzat imants molt potents per a traslladar-los a la fàbrica o als magatzems.

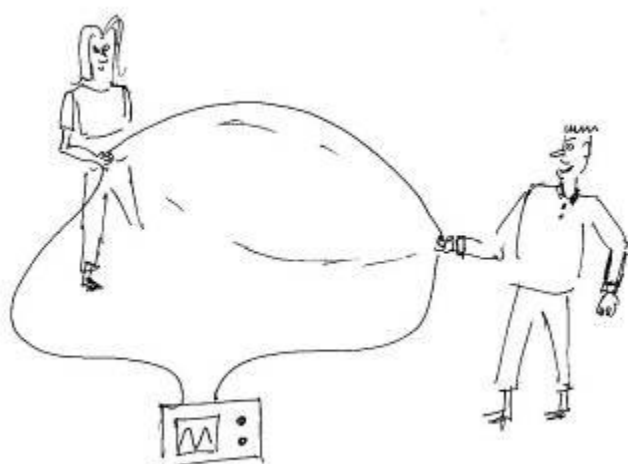
Com a llimadures de ferro podeu utilitzar també retalls d'un fregall d'acer.

Generar corrents elèctriques amb el camp magnètic terrestre

En una espira que gira en el sí d'un camp magnètic (en les proximitats d'un imant) s'indueix un voltatge i, per tant, es produeix un corrent elèctric que es pot utilitzar per encendre una bombeta, per exemple. És el que passa amb la dinamo d'una bicicleta.

També sabeu que la Terra és un gran imant amb el pol sud magnètic en el pol nord geogràfic, i que aquesta propietat l'utilitzem per a orientar-nos amb les brúixoles.

Però, què passaria si s'utilitza la Terra com a imant i us fiquem a saltar a la corda amb un fil elèctric?. També produïm un corrent elèctric?. Es pot moure la corda de qualsevol manera, o té el seu misteri?.



Material necessari

Uns 6 m de cable de llum bifàsica
Una brúixola
Un polímetre, o un oscil·loscopi, o un equip tipus Multilog amb sensor de voltatge

Procediment

Us heu de procurar un cable de llum de dos fils prou llarg per a que faci de corda per a saltar. Separeu els dos fils i empalmeu-los entre si; us quedarà un cable el doble de llarg.

A continuació, connecteu els extrems lliures a un polímetre, a un oscil·loscopi o a un sensor connectat a un ordinador (tipus Exao o Multilog) i comenceu a donar tomb al cable com si fora una corda, i a saltar!.

Prèviament, amb una brúixola heu de comprovar la direcció del camp magnètic terrestre i us heu de ficar perpendiculars amb ell, de manera que el cable, en girar, talli les seves línies de camp.

El voltatge que s'obté és molt petit, de l'ordre dels 5 mV, i el tipus de corrent altern, de manera que si s'utilitza un polímetre s'ha de ficar per mesurar voltatges o intensitats en l'escala més baixa, en corrent altern (si no us adoneu i teniu l'aparell per fer mesures en corrent continu, no marcarà res).

Si s'utilitza un oscil·loscopi o a un sensor connectat a un ordinador, es pot veure com el voltatge va fent una senyal sinusoïdal.

Terra sempre ens sorprèn.

Construcció d'una "Terreta"

Construireu una maqueta de un planeta amb un camp magnètic, com la Terra. Usareu un magnetòmetre (una brúixola) per poder determinar l'orientació del camp magnètic del "planeta", és a dir, per determinar quina part del planeta és el Nord i quina és el Sud de l'imant que està per dins.

De forma similar Gilbert fa 400 anys va construir una terrella (Terra en miniatura) per a estudiar el camp magnètic terrestre. Ell ho va fer amb un imant en forma d'esfera en la que va gravar a escala els continents i oceans.

Procediment

Si no disposeu de dos imants allargats prou grans (5x2 cm), el primer pas per a l'elaboració d'un "planeta" amb el seu camp magnètic és el de crear l'imant que anirà dins del món. Agafeu dos imants rodons de ceràmica (de ferrita), o de neodimi, d'uns 2 cm de diàmetre i col·loqueu-los un sobre l'altre, de manera que s'atreugin.

Després agafeu una barreta d'acer d'uns 4 cm d'alt i enrotlleu-la en paper fins a aconseguir un cilindre d'uns 2 cm de diàmetre i subjecteu-lo amb cello.

Tenint cura de no canviar la polaritat dels dos imants, col·loqueu l'imant superior sobre la barra d'acer enrotllada de paper i l'imant inferior en la part inferior del rotllo de paper. D'aquesta forma heu aconseguit un imant molt més gran que el que suposaven els dos imants només.

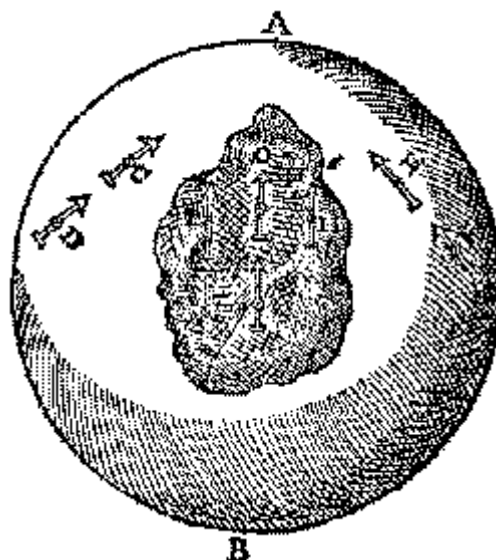
Emboliqueu l'imant que heu construït primer amb una bossa de plàstic per a que no es bellugui i després amb paper d'embalar de manera que quedi una pilota.

Ara, heu de col·locar tres cintes de goma al voltant del vostre món. La primera cinta elàstica es pot col·locar on més es necessiti per a mantenir al món unit.

Col·loqueu després altres dues bandes elàstiques de manera que quedin perpendiculars entre si delimitant vuit parts. Designeu com a nord geogràfic un dels encreuaments de les bandes elàstiques i l'oposat serà el sud. Ja teniu el vostre planeta.

Per últim, amb un magnetòmetre o una brúixola intenteu trobar els pols magnètics del planeta (la terreta) (que no coincidiran amb els geogràfics, llevat que us hagueu preocupat que sigui així durant la construcció)

Una alternativa al paper és la plastilina. Es pot embolicar l'imant en una bola de plastilina, en lloc de fer-lo en paper. Té la avantatge de que es poden gravar els oceans i continents en la plastilina i s'assembla més a la Terreta de Gilbert



Material necessari
Una barra d'acer de uns 4 cm de llarg
Dos imants de ferrita o de neodimi d'uns 2 cm de diàmetre
Tres bandes elàstiques (gomes de pollastre)
Paper i bosses de plàstic i/o Plastilina
Cinta adhesiva
Una brúixola o un magnetòmetre

Accelerador magnètic (rifle de Gauss)

L'accelerador magnètic lineal, conegut també amb el nom de rifle de Gauss, és un senzill dispositiu que permet llançar una bola d'acer a gran velocitat.

Procediment

Sobre una regla de fusta, plàstic o simplement un llistó de fusta es col·loqueu quatre imants potents (de neodimi) alternant els seus pols. És preferible que la regla tingui un solc al seu centre, encara que no cal. La distància òptima entre els imants és l'equivalent a 4 vegades el diàmetre de les boles d'acer que s'utilitzin.

Material necessari

4 imants de neodimi.

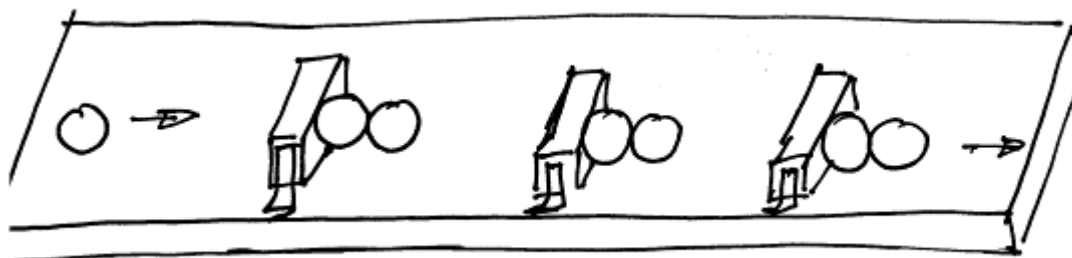
9 boles d'acer.

Una regla de fusta o plàstic de 50 cm de longitud.

Cinta adhesiva.

Subjecteu els imants fortament a la regla amb cinta adhesiva, procurant que l'eix de l'imant estigui a la mateixa altura que el centre de les boles, per a això podeu posar davall d'aquests un tros de cartó, un tros de fusta o un paper doblegat. Tot el conjunt ha de quedar perfectament alineat.

Com dispara el rifle?. Es col·loquen vuit boles distribuïdes per parelles darrere de cadascú dels imants, tal com mostra al dibuix. La bola restant és la que fa que comenci la reacció en cadena: quan aquesta s'acosta al primer imant transfereix la seva energia i la tercera bola surt disparada fins a arribar al segon imant, després sortirà la cinquena, la setena i finalment la novena bola que és llançada amb una energia cinètica prou més alta que la que tenia la primera bola



Per a tornar a disparar es col·loquen una altra vegada les boles en la posició inicial.

En què es basa aquest dispositiu?. El punt de partida consisteix a llançar una bola sobre un primer imant. En la col·lisió, es transfereix l'energia a una altra bola, de manera semblant al joc del billar, la segona bola transfereix energia a la tercera i així successivament. Es van produint petits increments d'energia, pel fet que la bola que salta està sempre més prop del segon imant que del primer i es van acumulant, segons se'n va passant d'un imant a un altre. Podem dir que augmenta l'energia cinètica en cada xoc, a costa de l'energia potencial.

Es pot construir també amb d'imants potents i boletes d'acer que són la base d'alguns jocs de construcció, com per exemple el anomenat "geomax". Aquest últim joc conté diversos imants de bor-neodimi, en forma de petites barres, i boles d'acer que s'utilitzen per a realitzar diferents estructures fàcils de muntar. El resultat, però, és molt pobre.

Substàncies diamagnètiques

En aquesta experiència aneu a observar el fenomen del diamagnetisme. Les substàncies diamagnètiques tenen unes característiques molt interessants ja que són rebutjades per un camp magnètic. És el cas de substàncies com l'aigua, l'or, la naftalina, etc.

El problema que se us planteja és que els efectes diamagnètics són molt dèbils i, per tant, heu de construir un dispositiu prou sensible que us ajudi a detectar-los.

Procediment

Com el fenomen és molt dèbil i, per tant, necessiteu un dispositiu molt sensible, heu de fabricar una espècie de balança de torsió amb una palleta penjant d'un fil per la seva meitat.

Material necessari

Un imant potent (els millors són els de neodimi)

Atenció: Si costa observar el fenomen, segurament serà degut al fet que l'imat no és prou potent. Intenteu aconseguir un altre.

Palletes de les utilitzades per a beure refrescos

Fil i plastilina

Substàncies diamagnètiques: raïm, pastilles ambientadores (p-diclor benzè)

Alguns exemples de substàncies diamagnètiques:

Aigua
Benzè
Bismut
Coure
Diamant
Diòxid de carboni
Hidrogen
Mercuri
Naftalè
Or
Plata
Plom
Sodi

Després, clavareu dos raïm en els extrems de la palleta. El raïm és una fruita amb gran contingut d'aigua (substància diamagnètica) per el que l'efecte serà fàcil d'observar. La plastilina la utilitzareu per ajudar a equilibrar el sistema i evitar que es desplaci el fil.

Comproveu que en acostar lentament un imant a un del raïms, el sistema gira al voltant del fil, rebutjat per l'imat.

Repetiu després l'experiment amb dues pastilles de naftalina o de paradiclor benzè, que també són diamagnètiques. Aquesta última substància s'utilitza com a substitut de la naftalina, per a conservar la roba, o en pastilles ambientadores de la llar (es poden aconseguir fàcilment en supermercats i drogueries).

Podeu provar amb altres substàncies diamagnètiques, per exemple, amb un anell d'or. També podeu investigar amb altres substàncies que trobeu i tractar de trobar quines són també diamagnètiques.

Comprovació amb leds del sentit altern del corrent induït entre un imant i una bobina

Amb un conjunt de dos leds de diferent color associats en paral·lel i col·locant-los amb polaritats contràries és pot visualitzar el sentit altern del corrent induït.

Un led és un díode emissor de llum. Aquest component actua com a vàlvula i així ho mostra el seu símbol en un circuit. El corrent passa quan entra en el sentit que indica la fletxa, és a dir quan està ben polaritzat, i el corrent és bloqueja a entrar-hi en contra de la fletxa.

Procediment

Es munta un circuit amb una bobina de 2000 voltes i dos leds de colors diferents, un vermell i un verd, col·locats amb polaritats contràries. S'indueix el corrent introduint un conjunt de tres o quatre imants de neodimi enganxats a un eix de ferro (un cargol gros, per exemple) que fa de mànec.

Si s'introdueixen els imants dins la bobina i es mouen de fora a dins i de dins a fora reiterativament es veu com s'encenen els leds alternativament.

Perquè s'encenen els leds tal com s'observa?

Transferència energia a través de bobines

Dos bobines connectades directament entre sí serveixen per a transferir energia d'una a l'altra, en aquest cas per fer oscil·lar una molla a distància.

Procediment

Es munten dos suports i en cadascun d'ells es subjecta una molla. A l'extrem lliure de cada molla es subjecten, amb un eix de ferro, dos imants llargs cilíndrics o dos conjunts de tres o quatre imants de neodimi.

Es col·loca cadascuna dels molles amb els imants de manera que puguin oscil·lar entrant i sortint cadascú d'una bobina (per exemple, de 500 voltes) connectades entre sí amb dos cables llargs, per a que els dos conjunts puguin estar prou separats.

A continuació es fa oscil·lar una dels molles. que li passa a l'altra?

Quin és el mecanisme pel qual es transfereix l'energia?

Els metalls no ferromagnètics i els imants

L'alumini i el coure són uns materials (uns metalls) que tots coneixem i sabem que no són atrets pels imants. Per a comprovar-lo n'hi ha prou amb acostar un imant a qualsevol objecte d'alumini o de coure què hi ha a les cases: finestres metàl·liques, recipients de cuina, canonades d'aigua, paper d'alumini (del que s'utilitza per a embolicar els aliments, adorns, etc). No obstant, podem aconseguir que un imant exerceixi una acció sobre l'alumini o el coure i anem a comprovar-lo amb uns senzills experiments.

Fer girar un vas d'alumini

Es necessita un recipient petit d'alumini com els que s'utilitzen per a enfornar postres o per a fer flams. Si no es disposa, es pot fabricar un amb paper d'alumini prenent com a motlle la part de baix d'un got. També cal un imant un fil fi.

Es col·loca el recipient surant en un plat amb aigua amb l'objectiu de disminuir el fregament i que el recipient es pugui moure més o menys lliurement.

Després es penjar l'imant d'un fil i se'l fa girar sobre si mateix, el més de pressa possible (n'hi ha prou amb retòrcer el fil).

En col·locar l'imant girant a l'interior del recipient (sense que el toqui!), el vas comença també a girar. Quan l'imant canvia el sentit de gir, també canvia el sentit de gir del recipient.

Suggeriments

Com més potent sigui l'imant millor surtirà l'experiment. A més, si és gran i es troba pròxim a les parets s'observarà millor l'efecte.

Els pols de l'imant han d'estar en el pla horitzontal, perpendiculars a l'eix de gir

Com la velocitat de gir també influeix, es pot enganxar l'imant a l'eix d'un motor. Pot ser un d'aqueixos ventiladors de mà que es venen en un tot a 100, o també una trepant barata ja que tenen la possibilitat de regular la velocitat

Què passa?

Un imant i un conductor (no ferromagnètic) en repòs no interaccionen, mentre que si estan en moviment relatiu sí. L'efecte és a causa del moviment del camp magnètic respecte a les parets del recipient. Quan un conductor (en aquest cas el recipient metàl·lic) es mou al si d'un camp magnètic (el generat per l'imant) o el camp magnètic es mou amb respecte al conductor, el conductor respon tractant d'anul·lar l'efecte de l'imant: es generen corrents induïts que creen un camp magnètic contrari a qui actua que, en aquest cas, provoca que es mou el sistema. Com s'ha dit, aquestes forces augmenten amb la velocitat relativa i s'oposen al moviment relatiu. Es tracta d'un exemple de la coneguda com a Llei de Lenz: "El fenomen de la inducció electromagnètica és tal que els seus efectes s'oposen sempre a la causa que els origina"..

Caiguda d'un imant per un tub d'alumini

S'agafa un tub de plàstic i un altre de d'alumini (o de coure) d'1 m aproximat de llarg i uns 2 cm de diàmetre (els pals de les escombres d'alumnini van bé i són barat) i un conjunt de quatre o cinc imants de neodimi, de secció una mica menor que els tubs.

Es deixa caure els imants pel tub de plàstic, posant la mà sota per tal que no colpegin el terra ja que és poden trencar.

Es deixa caure els imants pel tub d'alumini o coure, posant la mà sota per tal que no colpegin el terra ja que és poden trencar.

Sense necessitat de cronometrar s'aprecia clarament la diferència de temps que tarden a caure els imants en els diferent tubs.

El mateix fenomen passa si es deixen caure els imants per perfils de plàstic i alumini una mica inclinats, amb l'avantatge de que es veu com cau el tren d'imants i es pot estudiar quantitativament el seu moviment.

Moviment d'un imant per sobre d'alumini o coure

Una altra manera de comprovar la generació de corrents induïdes i la llei de Lenz

1. Amb una mà s'agafa un bocí d'alumini o de coure (d'un tub metàl·lic, d'una planxa, etc.) i es comprova que no atrau un imant de neodimi. Si ara es frega el bocí metàl·lic amb l'imant es notarà una certa dificultat per moure'l.

2. Es penja un imant (preferiblement de neodimi, però també serveixen els de ferrita) d'un extrem d'un fil com si fos un pèndol i es deixa oscil·lar. Oscil·larà com un pèndol durant molta estona.

Si es repeteix l'experiència col·locant a sota del pèndol d'imant un bocí d'alumini o coure, de manera que en oscil·lar l'imant quasi toqui el metall, s'observarà que les oscil·lacions s'amorteixen ràpidament. Si l'imant és de neodimi, quasi en sec.

3. Es pot fer a l'inrevés, que sigui el pèndol de coure o alumini i fer-los passar per la vora d'un imant o d'un electroimant potents.

4. Si el moviment és el d'una molla amb un imant penjat que en oscil·lar amunt i a baix ho fa per dins d'un tub metàl·lic (d'alumini, de coure), s'amorteix encara més ràpidament.

Annex: Els científics i els seus textos

William Gilbert

Físic i metge anglès Va nèixer el 24 de maig de 1544 en Colchester, Essex (Anglaterra), on son pare tenia el prestigiós càrrec d'Arxiver. Va cursar estudis en el Saint John's College de la Universitat de Cambridge. En 1573 va començar a exercir com metge a Londres i en 1601 va ser nomenat metge d'Isabel I a causa de la seva prestigiosa carrera que li havia portat a ser el president del Reial Col·legi de Metges en 1599.

La seva obra més important, publicada en 1600, està relacionada amb l'estudi del magnetisme sota el títol *De Magnete, Magneticisque Corporibus, et de Magne Magnete Tellure* (Sobre el magnetisme, cossos magnètics i el gran imant tel·lúric o Terra), i és el primer llibre que es pot considerar de ciència moderna. S'anticipa a *Astronomia nova* (1609), de Kepler, en el que va enunciar les primeres dos lleis de les seves tres lleis de moviments planetaris, i a *Sidereus Nuncius* (1610), de Galileu, que s'informava de les primeres observacions amb telescopis.

En *De Magnete* descriu els fenòmens magnètics, basant-se sempre en les seves investigacions experimentals portades a terme entre 1581 i 1600. Especial interès tenen les seves conclusions sobre les brúixoles i el magnetisme terrestre, com les idees de declinació i inclinació magnètiques en funció del lloc de la Terra on es troba l'agulla magnètica.

Així mateix, va descobrir que moltes substàncies tenien la capacitat d'atraure objectes lleugers quan es fregaven (i no sols en ambre) i va aplicar el terme elèctrica per a la força que exerceixen aquestes substàncies després de ser fregades. Va ser el primer a utilitzar termes com 'energia elèctrica', 'atracció elèctrica' i 'pol magnètic'. Va morir el 10 de desembre de 1603 a Londres a conseqüència de la pesta bubònica, vuit mesos després que a la Reina Isabel li haguera passat el mateix.

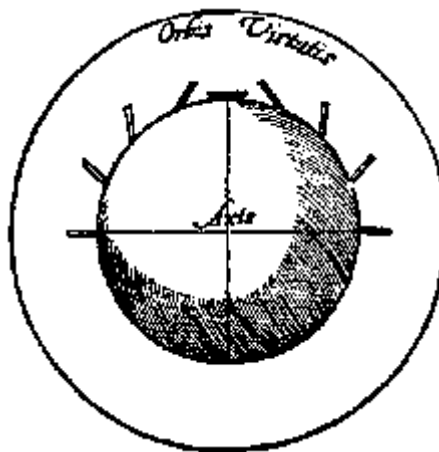


La pedra imant¹

GUILLERM GILBERT

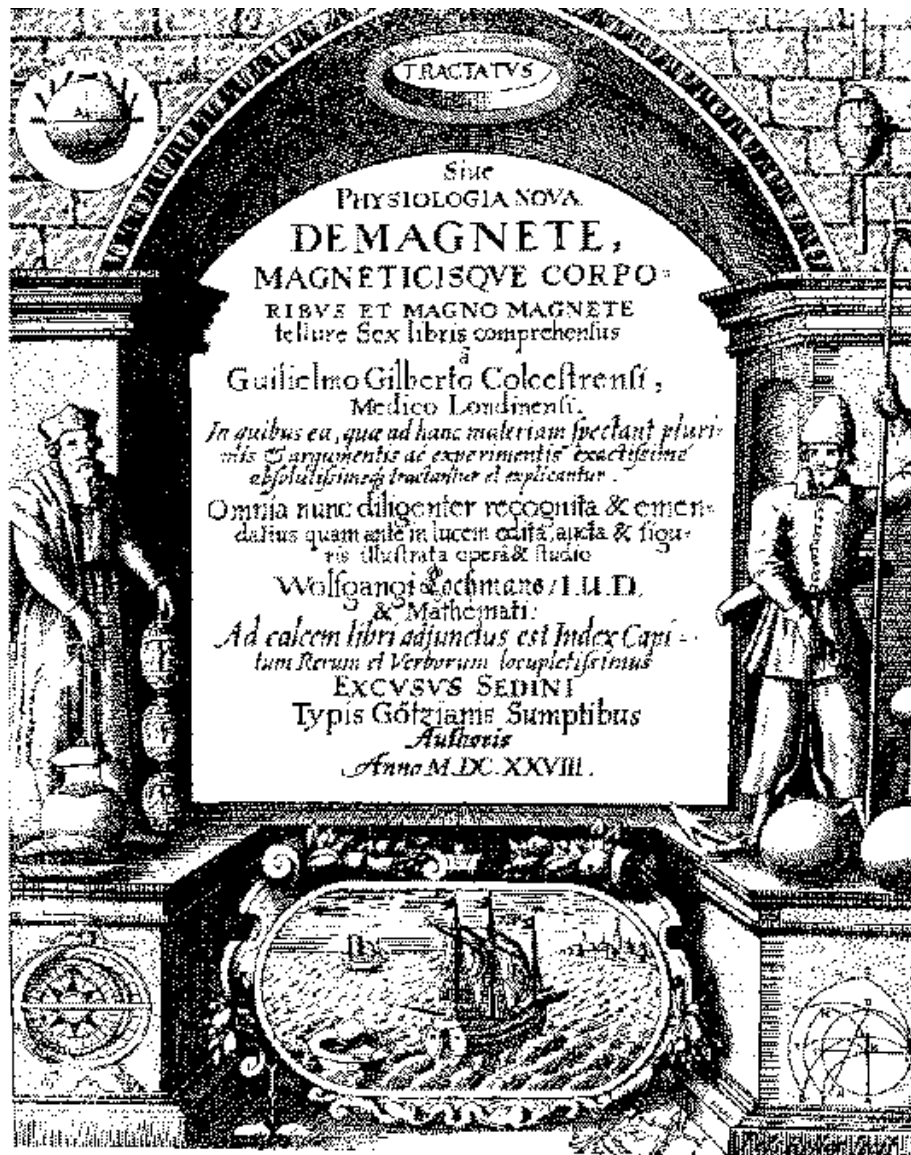
Una pedra imant atrau a una altra en la posició natural, però en la posició oposada la repel·leix i la situa correctament.

Primer descriurem en llenguatge corrent les conegudes propietats d'atracció de la pedra; després es desxifraràn moltes propietats subtils que fins ara han romàs ignorades i recòndites, sumides en la foscor; i (estant revelats els secrets de la naturalesa) es demostraran oportunament les causes de totes elles, amb paraules adequades i per mitjà d'aparells. És un fet trivial i familiar que la pedra imant atrau al ferro; així mateix, una pedra imant també atrau a una altra. Prenguem una pedra sobre la qual hem marcat els pols N i S, i posem-la en el seu atuell, de manera que pugi surar; fem que els pols estiguin en el pla de l'horitzó, o almenys en un pla poc inclinat respecte al mateix; prenguem en la mà una altra pedra els pols de la qual també es coneixen, i tinguem-la de tal manera que el seu pol sud estigui dirigit cap al pol nord de la pedra flotant, i prop d'ella, al llarg; la pedra imant flotant seguirà immediatament a l'altra (sempre que se trobi dins de la seva esfera d'acció) i no cessarà de moure's, ni abandonarà a l'altra fins que s'adhereixi a ella, a menys que, maniobrant ràpidament, retirem la mà per a evitar la conjunció. De manera anàloga, si oposem el pol nord de la pedra que tenim en la mà al pol sud de què flota, s'ajunten i una segueix a l'altra. Perquè pols oposats atrauen a pols oposats. Però ara, si en la mateixa forma enfrontem N a N, o S a S, una pedra repel·leix a l'altra, i com si un pilot donés un cop de timó, la que flota s'allunya igual que un vaixell a tota vela i no es deté ni s'aquieta mentre l'altra la persegueix. Igualment, una pedra alinearà a l'altra, la farà girar, la situarà en posició correcta i la posarà en concordança amb ella. Però quan ambdós es posen en contacte i s'ajunten en l'orde natural, s'adhereixen fermament. Per exemple, si presentem el pol nord de la pedra que tenim en la mà al tròpic de Capricorn (perquè així distingirem, amb cercles matemàtics, a la pedra rodona o terrella, exactament com ho fem per al globus terraqüi) o a qualsevol punt entre l'equador i el pol sud immediatament la pedra flotant gira i es col·loca de mode tal que el seu pol sud toca al pol nord de l'altra i està el més pròxim a ell. De la mateixa manera obtindrem un efecte anàleg de l'altre costat de l'equador presentant un pol a l'altre; i així, amb destresa i habilitat, podem mostrar l'atracció i repulsió, i el moviment en cercle cap a la posició concordant, i els mateixos moviments per a evitar encontres hostils. A més, podem demostrar tot açò en una mateixa pedra, de la següent manera: però ens és possible mostrar igualment com una i la mateixa part d'una pedra pot, per divisió, fer-se nord o sud. Prenguem la pedra oblonga *ad* en la qual *a* és el pol nord i *d* el sud. Tallem la pedra en dos parts iguals, i posem la part *a* en un atuell i fem-la surar en l'aigua.



Terrella de Gilbert

¹ *De Magnete Magneticisque Corporibus*, 1600, reproduït en anglès en "Magie's Sourced Book in Physics" (1935), traduït al castellà per Desiderio Papp (1945).



Veurem que el punt nord a girarà cap al sud com abans; i de la mateixa manera el punt d es mourà cap al nord, en la pedra dividida, com abans de la divisió. Però c i d , abans units, ara separats un de l'altre, no són el que eren abans: b és ara sud mentre que c és nord. b atrau a c , tractant d'unir-se i de restablir la continuïtat primitiva. Són dos pedres fetes d'una, i a causa d'això s'atrauen mútuament, girant el c d'una cap al b de l'altra, i si estan sostretes a tots els obstacles i al seu propi pes, sostingudes com estan per l'aigua, s'acosten i s'uneixen. Però si enfrontem la part o punt a al c de l'altra, es repel·leixen mútuament i s'allunyen girant; perquè la naturalesa s'irrita per una tal situació de les parts, i la forma de la pedra està pervertida: però la naturalesa observa estrictament les lleis que ha imposat als cossos: d'aquí la fugida d'una part de l'altra en la posició indeguda, i d'aquí la discòrdia fins que tot està ordenat exactament com correspon a la naturalesa. I la naturalesa no tolera una pau o un acord injust i indegut, sinó que fa guerra; i apel·la a la força per a fer que els cossos es consenten com cal i justament. De manera que, quan estan correctament ordenats, les parts s'atrauen mútuament, és a dir ambdós pedres, la dèbil i el fort, s'ajunten i tendeixen a unir-se amb tota la seva força: fet que es manifesta en totes les pedres imant, i no sols, com suposava Plini, en les d'Etiòpia.

Hans Christian Oersted

Físic i químic danès. Va nèixer el 14 d'agost de 1777 en Rudkøbing. Va cursar estudis en la Universitat de Copenhaguen, on va ser professor de física en eixa universitat en 1806. Sota la influència de la filosofia romàntica de la naturalesa, un dels principis fonamentals del qual era la unitat de totes les forces físiques, va buscar les connexions entre el magnetisme i l'electricitat.



Oersted va aconseguir demostrar tal relació, d'una manera molt intuïtiu, en 1820, quan l'agulla d'una brúixola col·locada accidentalment prop d'un cable es va moure. El seu experiment va posar de manifest la producció de camps magnètics per part dels conductors al ser travessats per un corrent. Les conseqüències de tal descobriment, que evidenciava a més l'existència d'una força completament distinta del tipus de què estaven en la base de la gravitació newtoniana, serien desenrotllades més endavant per Michael Faraday i André-Marie Ampère.

Va ser també conseller d'Estat (1828), director del Politècnic de Copenhaguen (1829) i membre de l'Acadèmia de Ciències de París. En 1844 va aparèixer el seu *Manual de física mecànica*. Oersted va ser també el primer a aïllar l'element químic alumini (1825). Va morir a Copenhaguen en 1851. En el seu honor es va anomenar Oersted a la unitat d'Intensitat de camp magnètic, ja en desús.

Acció dels corrents sobre els imants²

CRISTIÀ OERSTED

Los primers experiments mampresos sobre la matèria que passo a descriure, van ser realitzats en les classes d'electricitat, galvanisme i magnetisme, que vaig donar l'hivern passat. Aquests experiments pareixien haver demostrat que l'agulla magnètica pot ser moguda de la seva posició amb l'ajuda d'un aparell galvànic, i això quan el circuit galvànic està tancat, i no obert, com alguns celebradíssims físics ho van intentar en va fa alguns anys. No obstant, com aquests experiments van ser portats a terme amb aparells un poc deficientes, i per aquesta raó els fenòmens que es van produir no eren prou clars per a la importància de la matèria, vaig aconseguir que el meu amic Esmarch, Ministre de Justícia del Rei, s'unís a mi per a repetir els experiments amb un gran aparell galvànic, que vam armar junts.

Mr. Wkeugel, cavaller de l'Orde del Danneborg i principal dels Consellers, va estar present i va col·laborar en l'experiment. També estava present Mr. Hauch, expert en Ciències Naturals, Mr. Reinhardt, professor d'Història Natural, Mr. Jacobsen, professor de Medicina i Mr. Zeis, doctor en Filosofia i expert químic. Jo havia fet molts experiments per mi mateix, però cada fet que jo havia observat va ser repetit en la presència d'aquests cavallers.

L'aparell galvànic que vam utilitzar consistí en 20 receptacles rectangulars de coure, la longitud i altura del qual és de prop de 12 polzades, però l'ample de la qual excedeix escassament les 2 polzades i mitja. Tots els receptacles estan proveïts de 2 plaques de coure inclinades de mode tal que poden sostenir una barra de coure, la qual suporta una placa de zinc submergida en l'aigua del pròxim receptacle. L'aigua dels receptacles conté 1/60 del seu pes d'àcid sulfúric i 1/60 del seu pes d'àcid nítric. La part de cada placa submergida en la solució és quadrada, tenint prop de 10 polzades de costat. Es poden utilitzar aparells inclòs més petits, però sempre que siguin capaços de posar al roig a un fil d'aram metàl·lic.

Ajuntem els pols oposats de l'aparell galvànic amb un fil d'aram metàl·lic al qual, per brevetat, anomenarem d'aquí en avant fil conductor. A l'efecte que es produeix en el fil i en l'espai circumdant l'anomenarem conflicte elèctric.

Col·loquem la part rectilínia d'aquest fil d'aram, en posició horitzontal sobre l'agulla magnètica i paral·lel a ella. Si es necessita, el fil pot ser inclinat, de manera que la part convenient d'ell pugui obtenir la posició necessària per a l'experiment. Així arreglades les coses, l'agulla magnètica es mourà, de mode tal que sota aquella part del fil conductor que rep l'electricitat més directament del pol negatiu de l'aparell galvànic, declinarà cap a l'oest.

Si la distància entre el fil i l'agulla magnètica no excedeix els tres quarts de polzada, la declinació de l'agulla serà d'uns 45°. Si s'augmenta la distància, els angles decreixen a mesura que les distàncies creixen. No obstant, la declinació varia d'acord amb l'eficàcia de l'aparell.

El fil conductor pot canviar la seva posició, ja a l'est, ja a l'oest, sempre que guardi una posició paral·lela a l'agulla magnètica, sense cap altre canvi d'efecte que el referent a la seva magnitud; i així, de cap mode l'efecte pot ser atribuït a atracció, ja que el pol de l'agulla magnètica que s'acosta al fil mentre està col·locat cap a l'est, hauria d'allunyar-se del mateix quan el fil passa al costat oest, si aquestes declinacions depengueren d'atraccions o repulsions.

² *Experimenta circa effectm conflictus electrici in acum magneticam*, 1820, traduït al castellà per Desiderio Papp (1945) i per M^a Carmen Pérez (Pérez i Varela, 2003).



El fil conductor pot consistir en molts fils d'aram metàl·lics o cintes connectades entre si. La classe de metall no altera l'efecte, excepte, potser, pel que fa a la seva magnitud. Hem emprat amb igual èxit fils de platí, or, plata, coure, ferro, fulles de plom i estany, i una massa de mercuri. Un conductor no està enterament privat d'efecte quan l'aigua ho interromp, a menys que la interrupció abraci un espai de diverses polzades de longitud.

Els efectes del fil conductor sobre l'agulla magnètica passen a través del vidre, metall, fusta, aigua, raima, pisa, pedres; perquè si s'interposa una làmina de vidre, metall o fusta, l'efecte no s'anul·la ni tampoc desapareix si s'interposen simultàniament plaques de vidre, metall i fusta. De veritat, pareixen a penes disminuïts.

El resultat és el mateix si s'interposa un disc d'ambre, una placa de pórfid o un recipient de pisa, encara que estigui ple d'aigua. Els nostres experiments han demostrat també que els efectes ja mencionats no canvien si es tanca l'agulla magnètica en una caixa de coure plena d'aigua. No cal dir que el passatge dels efectes a través de tots aquests materials, mai no va ser observat abans ni en electricitat ni en galvanisme. Per tant, els efectes que tenen lloc en el conflicte elèctric són completament diferents dels efectes d'una força elèctrica o de l'altra. Si el fil conductor es col·loca en un pla horitzontal davall de l'agulla magnètica, els efectes són els mateixos que quan el pla està damunt de l'agulla, només que en direcció inversa; val dir que el pol de l'agulla magnètica sota el qual es troba la part del fil conductor que rep electricitat més directament del pol negatiu de l'aparell galvànic, declinarà cap a l'est.

Per a recordar aquestes coses més fàcilment, anem a usar aquesta regla: el pol *sobre* el qual entra l'electricitat negativa és desviat cap a l'oest; i el pol *sota* el qual entra, ho és cap a l'est.

Si el fil conductor es gira en un pla horitzontal fent-li formar amb el meridià magnètic un angle creixent, la declinació de l'agulla magnètica augmenta si el moviment del fil tendeix a portar-ho a la posició de l'agulla pertorbada, però disminueix si el fil s'allunya de la dita posició.

El fil conductor, col·locat en un pla horitzontal en el qual l'agulla magnètica es mou balancejada per mitjà d'un contrapès, i paral·lel a l'agulla, no pertorba a la mateixa ni cap a l'est ni cap a l'oest; només la fa oscil·lar en el pla d'inclinació, de manera que el pol prop del qual la força elèctrica negativa entra al fil, descendeix si està situat al costat oest i s'eleva quan està situat al costat est.

Si el fil conductor està col·locat perpendicularment al pla del meridià magnètic, ja sigui damunt o davall de l'agulla, aquesta roman quieta, a menys que el fil estigui molt a prop del pol, perquè llavors el pol s'eleva quan l'entrada es fa per l'extrem oest del fil, i baixa quan l'entrada es fa per la part est.

Quan el fil conductor es col·loca perpendicularment al pol de l'agulla magnètica i l'extrem superior del fil rep electricitat de l'extrem negatiu de l'aparell galvànic, el pol es mou cap a l'est, però quan el fil es col·loca enfront d'un punt situat entre el pol i el centre de l'agulla, el pol es desvia cap a l'oest. Si l'extrem superior del fil d'aram rep electricitat de l'extrem positiu de l'aparell, ocurrerà el fenomen invers.

Si el fil d'aram es doblega per a formar dos fil paral·lels entre si, la repulsió o atracció dels pols magnètics es produeix conforme les diferents condicions del cas. Suposem que el fil d'aram està situat oposat a un dels pols de l'agulla de manera que el pla constituït pels dos fils paral·lels és perpendicular al meridià magnètic i el fil situat a l'Est està unit a l'extrem negatiu de la bateria, mentre el fil a l'Oest ho està al pol positiu de la mateixa: en aquest cas el pol més pròxim serà repel·lit a l'Est o a l'Oest segons la posició del pla dels fils. Si el fil més a l'Est està unit a l'extrem negatiu de la bateria, el pol més pròxim serà atret. Quan el pla dels fils està situat perpendicularment a un lloc entre el pol i el centre de l'agulla, es produeixen els mateixos efectes però invertits.

Una agulla de coure, suspesa com una agulla magnètica, no és moguda per l'efecte d'un fil conductor. També romanen en repòs les agulles de vidre, o les de l'anomenada goma laca, sotmeses a experiments anàlegs.

De tot açò podem extraure algunes conclusions per a explicar aquests fenòmens.

Els conflictes elèctrics només poden actuar sobre partícules magnètiques de matèria. Tots els cossos no magnètics pareixen ser penetrables per conflictes elèctrics, però els cossos magnètics, millor dit les seves partícules magnètiques, pareixen oposar-se al passatge d'aquest conflicte; per això és que poden ser mogudes per l'impuls de forces contràries.

El dit conflicte elèctric no està limitat al conductor, però com ja hem dit, al mateix temps es dispersa en l'espai circumdant, la qual cosa sorgeix prou clarament de les observacions ja exposades.

De la mateixa manera, és admissible deduir, a partir del que s'ha observat, que aquest conflicte porta a terme girs, perquè aquesta pareix una condició sense la qual és impossible que la mateixa part del fil conductor que, quan està col·locada davall del pol magnètic, el porta cap a l'est, sigui capaç de desviar-ho cap a l'oest quan està col·locada dalt. Perquè

aquesta és la naturalesa del gir: que moviments en parts oposades, tinguin direccions oposades. A més, moviments en circuits combinats amb moviments progressius, d'acord amb la longitud del conductor, pareixen formar una línia espiral, la qual cosa, no obstant, si no estic en un error, en res contribueix a l'explicació del fenomen fins aquí observat.

Tots els efectes sobre el pol *nord* aquí exposats, s'entenen fàcilment admetent que forces o substàncies elèctricament negatives, corren a través d'una línia espiral corbant-se cap a la dreta, i impulsen al pol nord, però no exerceixen cap acció sobre el sud. Els efectes sobre el pol sud s'expliquen anàlogament si vam atribuir a forces o substàncies positivament electritzades, un moviment contrari i el poder d'actuar sobre el pol sud però no sobre el nord. L'acord d'aquesta llei amb la naturalesa, es veurà millor per la repetició d'experiments que per una llarga explicació. El jutjar dels experiments, no obstant, serà més fàcil si s'indica el curs de la força elèctrica sobre el fil conductor amb marques, ja siguin pintades o gravades.

Només agregaré, a el que s'ha dit, que vaig demostrar en un llibre publicat fa set anys que calor i llum estan en conflicte elèctric. De les últimes observacions podem traure en conclusió que el moviment giratori també ocorre en aquests efectes i penso que açò il·lustra molt al fenomen que han anomenat polaritat de la llum.

Charles de Coulomb

Va nèixer el 14 de juny 1736 a Angulem, França, i va morir el 23 d'agost de 1806 a París.

Coulomb va treballar sobre la mecànica aplicada però ell és més conegut pel seu treball sobre l'electricitat i el magnetisme. Va establir experimentalment la llei del invers del quadrat de la distància per a la força entre dos càrregues (i entre dos pols magnètics) que va arribar a ser la base de la teoria matemàtica de magnetisme de Poisson. Coulomb també va escriure sobre l'anàlisi estructural, la fractura de bigues i de columnes i l'empenta d'arcs i del sòl.



Coulomb va dirigir l'Acadèmia de Ciència (París, 1773) i va contribuir al disseny geotècnic presentant un modest "assaig sobre l'aplicació de les regles de màxims i mínims a problemes segurs d'estàtica rellevant a l'arquitectura". Aquest "assaig" es va imprimir tres anys després per l'Acadèmia, la teoria mecànica del sòl publicada anteriorment, va començar amb els conceptes de precisió passiva i activa. Coulomb va agregar l'anomenada cohesió al concepte de fregament que era conegut en aquell temps. Encara que ell no va escriure l'equació de força com nosaltres la coneixem avui, ell va usar quasi el mateix mètode.

També va treballar com el "Enginyer del Rei" a París i va ajudar al disseny i a la construcció de moltes estructures, i així va ser com ell es va involucrar amb els sòls. Va necessitar una teoria per a calcular la pressió lateral de la terra per aguantar parets. I novament va utilitzar el càlcul en aquest treball i després va involucrar una operació complexa de diferenciació. Aquesta aplicació va ser admesa per l'Acadèmia de Ciència.

En 1777 va inventar la balança de torsió per a mesurar la força d'atracció magnètica i elèctrica. Amb aquest invent, va poder establir el principi conegut ara com a llei de Coulomb

Coulomb va passar nou anys com a enginyer militar en l'Oest de l'Índia però va tenir problemes de salut, així que quan va començar la Revolució Francesa, es va retirar a Bolis per a seguir amb les seves investigacions científiques sobre el magnetisme, fregament i electricitat.

Després de la Revolució Coulomb va sortir del seu retir i va ajudar el nou govern en la planificació d'un sistema mètric decimal de pesos i mesures.

François Arago

Físic francès, va nèixer en 1786 en Estagell i va morir a París en 1853. Va cursar els seus estudis en l'Escola Politècnica de París, de la que posteriorment seria professor d'anàlisi matemàtica i de geodèsia. En 1830 va ser nomenat secretari permanent de l'Acadèmia de Ciències i director de l'Observatori de París.

Va descobrir el fenomen de la polarització rotatòria en els cristalls de quars, i la polarització cromàtica; va explicar el centelleig de les estrelles com resultat d'interferències lluminoses. Fervent defensor de les teories de Fresnel sobre la naturalesa ondulatòria de la llum, en oposició a la teoria corpuscular, va imaginar en 1838 un experiment que al comparar la velocitat de la llum en medis de distinta densitat permetria elucidar la qüestió. Poc abans de la mort d'Arago, Léon Foucault va portar a terme l'experiment, gràcies al qual va aconseguir un fort suport per a la teoria ondulatòria. El propi Foucault va donar també complides explicacions al fenomen de la inducció magnètica, descoberta anteriorment per Arago.

Va tenir l'ocasió en 1820 d'assistir en Ginebra a una de les sessions en què es va realitzar una demostració experimental l'experiència d'Oersted. A la seva tornada a França va exposar aquest descobriment en l'Acadèmia de Ciències, on Ampère es va assabentar de la troballa.



Aragó i Ampère

Jean Baptiste Biot

Matemàtic, físic i astrònom francès. Va néixer el 21 d'abril de 1774 a París. Biot va ser professor de física en el Collège de França en 1800, i elegit membre de l'Acadèmia de Ciències quan comptava 29 anys. Va descobrir en 1803 l'existència dels meteorits.

En 1804 va portar a terme, en col·laboració amb Gay-Lussac, l'exploració de l'atmosfera terrestre a bord d'un globus portant a terme importants investigacions a diverses altituds. A més Biot, en col·laboració amb Arago, va realitzar els treballs per a la determinació de la longitud del meridià terrestre.



Conegut pels seus estudis sobre la rotació del pla de la llum polaritzada a mesura que aquesta es transmet per una solució líquida. Va ser el primer a utilitzar el polarímetre per a determinar la naturalesa i la quantitat de sucres en una solució.

Va formular també amb el físic Félix Savart, la llei de Biot-Savart que dona la intensitat del camp magnètic creat per un corrent elèctric. Va morir el 3 de febrer de 1862.

Felix Savart

Físic francès. Va néixer el 30 de juny de 1791 en Mézières, França i va morir el 16 de març de 1841 a París. Cirurgià militar, es va interessar posteriorment per la física i va arribar a ser professor del Col·legi de França en 1836 i membre de l'Acadèmia de Ciències.

Els camps magnètics produïts per corrents elèctrics poden ser calculats usant la llei de l'electromagnetisme proposada en 1820 per Savart al costat de Biot.

Va realitzar investigacions sobre acústica i mecànica de fluids i va idear un instrument (*roda dentada de Savart*) per a mesurar la freqüència d'una vibració acústica.

André Marie Ampère

Físic i matemàtic francès. Va nèixer prop de Lió en 1775. Fundador de l'actual disciplina de la física coneguda com a electromagnetisme, ja en la seva més prompta joventut va destacar com a prodigi; als dotze anys estava familiaritzat, de forma autodidacta, amb totes les matemàtiques conegudes en el seu temps. En 1801 va exercir com a professor de física i química en Bourg-en-Bresse, i posteriorment a París, en l'École Centra-li. Impressionat pel seu talent, Napoleó el va promocionar el càrrec d'inspector general del nou sistema universitari francès, ja que va exercir fins al final dels seus dies.

El talent d'Ampère no va residir tant en la seva capacitat com a experimentador metòdic com en els seus brillants moments d'inspiració: en 1820, el físic danès Hans Christian Oersted va experimentar les desviacions en l'orientació que sofreix una agulla imantada pròxima a un conductor de corrent elèctric, fet que de mode immediat va suggerir la interacció entre electricitat i magnetisme; en només una setmana, Ampère va ser capaç d'elaborar una àmplia base teòrica per a explicar aquest nou fenomen.

Va descobrir les accions mútues entre corrents elèctrics, al demostrar que dos conductors paral·lels pels que circula un corrent en el mateix sentit, s'atrauen, mentre que si els sentits del corrent són oposat, es repel·leixen. Aquesta línia de treball li va portar a formular una llei empírica de l'electromagnetisme, coneguda com a llei d'Amper (1825), que descriu matemàticament la força magnètica existent entre dos corrents elèctrics.



Algunes de les seves investigacions més importants van quedar arreplegades en la seva Col·lecció d'observacions sobre electrodinàmica (1822) i la seva Teoria dels fenòmens electromagnètics (1826). El seu desenrotllament matemàtic de la teoria electromagnètica no sols va servir per a explicar fets coneguts amb anterioritat, sinó també per a predir nous fenòmens encara no descrits en aquella època. No sols va teoritzar sobre els efectes macroscòpics de l'electromagnetisme, sinó que a més va intentar construir un model microscòpic que expliqués tota la fenomenologia electromagnètica, basant-se en la teoria que el magnetisme és a causa del moviment de càrregues en la matèria (avançant-se molt a la posterior teoria electrònica de la matèria).

Així mateix, va ser el primer científic que va suggerir com mesurar el corrent, per mitjà de la determinació de la desviació patida per un imant al pas d'un corrent elèctric (anticipant-se d'aquesta manera al galvanòmetre). La seva vida, influenciada per l'execució de son pare en la guillotina l'any 1793 i per la mort de la seva primera esposa en 1803, va estar tenyida de constants alts i baixos, amb moments d'entusiasme i períodes de desassossec. En el seu honor, la unitat d'intensitat de corrent en el Sistema Internacional d'Unitats porta el seu nom, Amper. Va morir a Marsella en 1836.

Accions entre corrents³

ANDRÉ MARIE AMPÉRE

Acció mútua de dos corrents elèctrics.

1. L'acció electromotriu es manifesta per dos classes d'efectes que primer que res crec convenient distingir per mitjà de definicions precises.

Anomenaré a la primera tensió elèctrica, i al segon corrent elèctric.

La primera s'observa quan dos cossos, entre els quals ella es manifesta, estan separats per cossos no conductors en tots els punts de la seva superfície, excepte aquells en què s'estableix la dita acció; la segona té lloc quan els cossos formen part d'un circuit de cossos conductors que es troben en contacte en punts de la seva superfície diferents d'aquells en què es produeix l'acció electromotriu. En el primer cas, l'efecte de l'acció electromotriu és el de posar a aquests dos cossos o sistemes de cossos, entre els quals es manifesta, en dos estats de tensió, la diferència dels quals és constant quan l'acció és constant: quan, per exemple, està produïda pel contacte de dos substàncies de diferent naturalesa; al contrari, aquesta diferència pot variar amb la causa que la produeix, si ella resulta de la fricció o de la pressió.

El primer cas és l'únic que pot produir-se quan l'acció electromotriu s'estableix entre parts diferents del mateix cos aïllador; la turmalina és un exemple d'açò quan la seva temperatura varia.

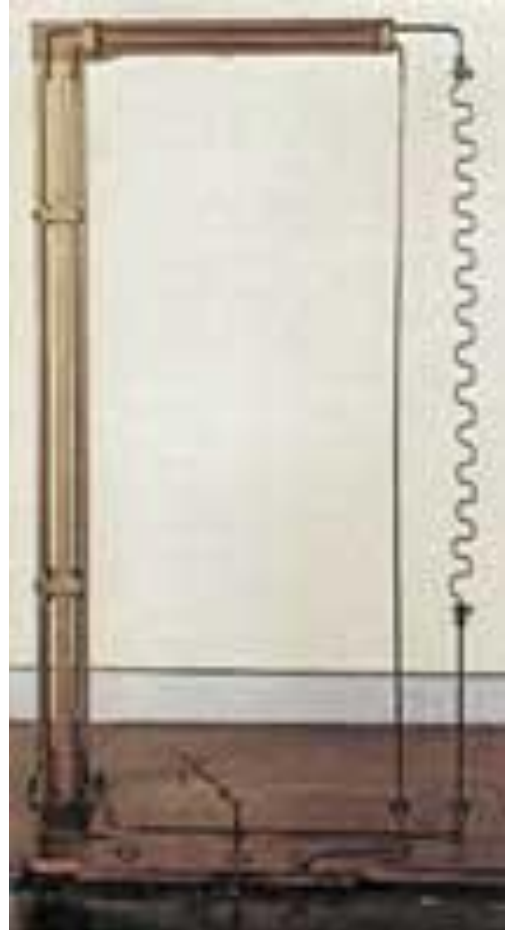
En el segon cas ja no hi ha cap tensió elèctrica; els cossos lleugers no són atrets ostensiblement, i l'electròmetre ordinari ja no ens serveix per a indicar què succeeix en el cos; no obstant, l'acció electromotriu continua; perquè si per exemple l'aigua, o una solució àcida, o alcalina, o salina, formen part del circuit, aquests cossos són descompostos.

2. Vegem en què consisteix la diferència entre aquests ordens enterament diferents de fenòmens, un dels quals consisteix en la tensió i les atraccions i repulsions que es coneixen fa molt, i l'altre en la descomposició de l'aigua i de moltes altres substàncies, en els canvis de direcció de l'agulla magnètica, i en una classe d'atraccions i repulsions completament diferents de les atraccions i repulsions elèctriques ordinàries, que crec ser el primer a haver descobert, i que he denominat *atraccions i repulsions voltaïques* per a distingir-les de les altres. Quan no hi ha continuïtat de conducció d'un a un altre dels cossos o sistemes de cossos en què l'acció electromotriu es desenrotlla, i quan aquests cossos mateixos són conductors, com en la pila de Volta, només podem concebre aquesta acció com transportant constantment electricitat positiva cap a un dels cossos i electricitat negativa cap a l'altre: en el primer moment, quan res s'oposa a l'efecte que això tendeix a produir, ambdós electricitats s'acumulen, cada una en la part del sistema total cap a la qual és portada, però aquest efecte s'anul·la tan prompte com la diferència de tensions elèctriques dona a la seva atracció mútua, que tendeix a reunir-les, una força suficient per a equilibrar a l'acció electromotriu. Llavors tot roman en el dit estat, excepte per a la pèrdua d'electricitat, que pot tenir lloc a poc a poc a través del cos aïllador, l'aire per exemple, que interromp el circuit; perquè pareix que no hi ha cossos que siguin aïlladors perfectes. Quan aquesta pèrdua té lloc, la tensió disminueix, però des que, quan disminueix, l'atracció mútua d'ambdós electricitats deixa d'equilibrar a l'acció electromotriu, aquesta última força, en cas de ser constant, transporta nova electricitat positiva cap a un costat, i negativa a l'altre, i les

³ *Annales de Chimie et de Physique*, série II, vol. 15, 1820, traduït al castellà per Desiderio Papp (1945).

tensions es restableixen. Aquest estat d'un sistema de cossos electromotors i conductors és el que anomeno *tensió elèctrica*. Sabem que ella existeix en ambdós meitats d'aquest sistema quan les separem, o inclòs en el cas que romanguin en contacte després de cessar l'acció electromotriu, a condició, llavors, que el dit estat s'hagi produït per pressió o fregament entre cossos que no són aquests dos conductors. En aquests dos casos la tensió disminueix gradualment a causa de la pèrdua d'electricitat que hem parlat.

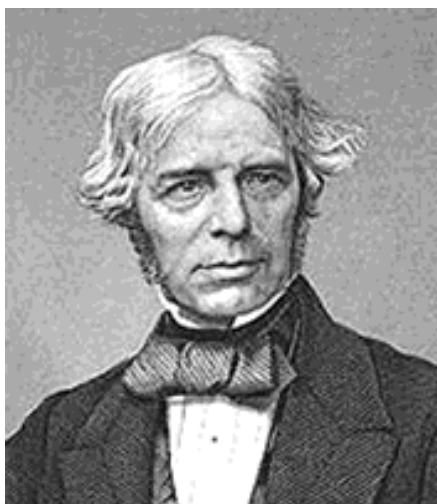
Però si els dos cossos o els dos sistemes de cossos entre els quals es produeix l'acció electromotriu es troben també connectats per cossos conductors en els quals no hi ha una altra acció electromotriu igual i oposada a la primera, que mantindria l'estat d'equilibri elèctric, i per consegüent les tensions que d'ella resulten, aquestes tensions desapareixerien o almenys es farien molt petites, i es produeixen llavors els fenòmens que s'han indicat com a característics d'aquest segon cas. Però com d'altra banda res ha canviat en la disposició dels cossos entre els quals es desenrotlla l'acció electromotriu, no es pot dubtar que ella continua, i com l'atracció mútua d'ambdós electricitats, mesura per la diferència de les tensions elèctriques, que ha desaparegut o disminuït considerablement, ja no pot equilibrar a aquesta acció, s'admet generalment que ella segueix transportant ambdós electricitats en els dos sentits en què ho feia abans; de manera que resulta una doble corrent, una d'electricitat positiva, l'altra d'electricitat negativa, que parteixen en sentits oposats des dels punts en què es produeix l'acció electromotriu, i es van a reunir en les parts del circuit allunyades d'aquests punts. Els corrents que estic parlant són accelerades fins que la inèrcia dels fluïu-vos elèctrics i la resistència que troben a causa de la imperfecció dels conductors, inclòs dels millors, equilibren a la força electromotriu, després de tot això els corrents segueixen indefinidament amb velocitat constant mentre que aquesta força tingui la mateixa intensitat, però elles cessen sempre en l'instant en què el circuit s'interromp.



Aquest estat de l'electricitat en una sèrie de cossos electromotors i conductors és el que anomeno, per brevetat, *corrent elèctric*; i com hauré de parlar amb freqüència dels dos sentits oposats en els quals es mouen ambdós electricitats, cada vegada que se present la qüestió, per a evitar repeticions inútils, després de les paraules *sentit del corrent elèctric* sobreentendré les paraules *electricitat positiva*; de manera que, si estem considerant, per exemple, una pila de Volta, l'expressió: *direcció del corrent elèctric en la pila*, designarà la direcció des de l'extrem on es desprèn hidrogen, en la descomposició de l'aigua, cap a l'extrem on s'obté oxigen; i aquesta expressió: *direcció del corrent elèctric en el conductor que uneix aquests dos extrems de la pila*, designarà la direcció que va, al contrari, de l'extrem en què apareix l'oxigen cap aquell en què es forma hidrogen. Per a incloure aquests dos casos en una definició simple, direm que la que anem a anomenar direcció del corrent és la que segueix l'hidrogen i les bases de les sals quan l'aigua o alguna substància salina és una part del circuit, i és descomposta pel corrent elèctric, ja sigui que, com en la pila de Volta, dites substàncies siguin una part del conductor, o ben estiguin intercalades entre els parells que constitueixen la pila.

Michael Faraday

Físic i químic britànic. Va nèixer el 22 de setembre de 1791 en Newington (Surrey), Gran Bretanya. Un dels físics més destacats del segle XIX, va nèixer al si d'una família humil (fill d'un ferrer) pel que només va rebre una educació bàsica. A primerenca edat va haver de començar a treballar, primer com repartidor de periòdics, i als catorze anys en una llibreria, com a enquadernador, on va tenir l'oportunitat de llegir alguns articles científics que el van impulsar a realitzar els seus primers experiments.



Després d'assistir a algunes conferències sobre química impartides per *sir* Humphry Davy en la Royal Institution, Faraday li va demanar que l'acceptés com a assistent en el seu laboratori. Quan un dels seus ajudants va deixar el lloc, Davy li va oferir a Faraday. Aviat es va destacar en el camp de la química, amb descobriments com el benzè a partir d'una sèrie d'experiments de líquefacció de gasos comuns, i les primeres reaccions de substitució orgànica conegudes, en les que va obtenir compostos clorats de cadena carbonada a partir d'etilè.

Va entrar en la Societat Reial en 1824 i a l'any següent va ser nomenat director del laboratori de la Institució Reial. En 1833 va ser professor de química en la institució.

En eixa època (1820), el científic danès Hans Christian Oersted va descobrir els camps magnètics generats per corrents elèctrics. Basant-se en aquests experiments, Faraday, l'any 1821, va traçar el camp magnètic al voltant d'un conductor pel que circula un corrent elèctric i va aconseguir desenrotllar el primer motor elèctric conegut.

Després d'un temps investigant noves varietats de vidre òptic, en 1831 va tornar als seus treballs sobre fenòmens d'inducció electromagnètica. Va observar que un imant en moviment a través d'una bobina induïx en ella un corrent elèctric, la qual cosa li va permetre descriure matemàticament la llei que regeix la producció d'electricitat per un imant. Va descobrir l'existència del diamagnetisme i va comprovar que un camp magnètic té força per a girar el pla de llum polaritzada que passa a través de certs tipus de cristall.

Així mateix, va realitzar diversos experiments electroquímics que li van permetre relacionar de forma directa matèria amb electricitat. Després d'observar com es depositen les sals presents en una bóta electrolítica al passar un corrent elèctric al seu través, va determinar que la quantitat de substància dipositada és directament proporcional a la quantitat de corrent circulant, i que, per a una quantitat de corrent donat, els distints pesos de substàncies dipositades estan relacionats amb els seus respectius equivalents químics (les anomenades lleis de Faraday de l'electroquímica).

Posteriors aportacions que van resultar definitives per al desenrotllament de la física, com és el cas de la teoria del camp electromagnètic introduïda per James Clerk Maxwell, es van fonamentar en la labor pionera que havia portat a terme Michael Faraday.

Va escriure *Manipulació química* (1827), *Investigacions experimentals en electricitat* (1844-1855) i *Investigacions experimentals en física i química* (1859). Va morir el 25 d'agost de 1867.

Corrents induïts⁴

MIGUEL FARADAY

1) El poder que té l'electricitat de tensió, de produir en el seu veïnat un estat elèctric oposat, s'expressa amb el terme general de "inducció". Atès que aquest terme va ser ben rebut en el llenguatge científic, mereix generalitzar-se en igual sentit, per a expressar el poder, que els corrents elèctrics segurament posseeixen, de produir un estat particular en els cossos de el seu immediat veïnat, que, d'una altra manera, quedarien indiferents. Amb aquest significat em proposo emprar-la en el present opuscle.

2) Certs efectes de la inducció dels corrents elèctrics ja han sigut examinats i descrits, com per exemple: els efectes d'imantació, els experiments d'Ampère consistents a aproximar un disc de coure a una espiral plana; la seva repetició amb electroimants dels extraordinaris experiments d'Arago, i potser alguns altres. No obstant, pareixia improbable que aquests pogueren ser tots els efectes que la inducció per corrents són capaços de produir; especialment si es té en compte que, excepte en el ferro, la majoria d'ells desapareix, mentre que infinitat de cossos, que presenten evidents fenòmens d'inducció per l'electricitat de tensió, no han sigut investigats encara respecte a la inducció per corrents elèctrics.

3) A més, encara que adoptem la bella teoria d'Ampère, o una altra, i a pesar de qualsevol reserva mental que fem, resultaria molt estrany —estant cada corrent acompanyat per la corresponent intensitat de la seva acció magnètica perpendicular a la corrent— que col·locant dins de l'esfera d'aquesta acció bons conductors elèctrics no es produïren en ells corrents induïts, o no revelaren algun efecte sensible, equivalent en força a tal corrent.

4) Aquestes consideracions amb les seves conseqüències, i l'esperança d'obtenir electricitat en base al magnetisme ordinari, m'han estimulat, diverses vegades, a investigar experimentalment l'efecte inductiu dels corrents elèctrics. Últimament, he arribat a resultats positius, i no sols van ser omplides les meves esperances sinó que vaig obtenir també una clau que em va permetre donar la sencera explicació del fenomen magnètic d'Arago i descobrir un nou estat que ha de tenir, probablement, una gran influència sobre alguns dels efectes més importants dels corrents elèctrics.

5) Em proposo descriure aquests resultats, no com han sigut obtinguts, sinó en forma de proporcionar una ressenya de conjunt el més concisa possible.

Inducció de corrents elèctrics

6) Prop de 26 peus de fil d'aram de coure d'un vintè de polzada de diàmetre, van ser enrotllats al voltant d'un cilindre de fusta en forma d'hèlice, estant les seves espirals impedides de formar contacte per mitjà de la intercalació de fils retorçuts. Aquesta hèlice va ser coberta amb tela de cotó, aplicant, després, un segon fil d'aram de la mateixa manera. Dotze hèlices van ser, d'aquesta manera, superposades, contenint cada una d'elles un fil d'aram de 27 peus de llarg, més o menys, i estant enrotllats tots ells en la mateixa direcció. La primera, tercera, quinta, setena, novena i onzena d'aquestes hèlices van ser connectades extrem amb extrem, de manera que formaven una hèlice. Les altres van ser connectades d'una manera semblant, obtenint-se així dos hèlices generals, estretament intercalades amb la mateixa direcció, cada una de 155 peus de llarg, sense tocar-se en part alguna.

⁴ *Experimental researches in Electricity*, Vol. I; 1ª sèrie; publicat per primera vegada en "Philosophical Transactions", 1832; Traduït al castellà per Desiderio Papp (1945).

7) Una d'aquestes hèlices va ser connectada amb un galvanòmetre, i una altra amb una bateria voltaica ben carregada de deu parells de plaques quadrades de quatre polzades de costat, sent les de coure dobles. No obstant, ni la més lleu desviació va poder observar-se en l'agulla del galvanòmetre.



8) Es va construir una hèlice composta semblant, que constava de sis fils d'aram de coure i sis fils d'aram de ferro dolç. L'hèlice de ferro contenia 214 peus de fil d'aram, i la de coure 208 peus. Però, al passar el corrent del recipient a través de l'hèlice de coure o la de ferro, no es podia observar efecte algun en el galvanòmetre.

9) En aquest i molts altres experiments anàlegs, no havia cap diferència, en l'efecte de qualsevol índole, entre el ferro i altres metalls.

10) Un fil d'aram de coure de 203 peus va ser enrotllat al voltant d'un gran bloc de fusta; un altre semblant de 203 peus va ser intercalat en forma d'hèlice entre les espirals de la primera bobina, impedit el contacte metàl·lic en totes parts, per mitjà de fil retorçut. Una d'aquestes hèlices va ser connectada amb un galvanòmetre, i l'altra, amb una bateria ben carregada de cent parells de plaques, de quatre polzades de costat, amb cobres dobles. Al fer el contacte, es va produir en el galvanòmetre un efecte sobtat i molt dèbil, havent-hi també un lleu efecte semblant, al trencar-se el contacte amb la bateria. Però, mentre el corrent voltaic continuava travessant una hèlice, no han pogut observar-se fenòmens galvanomètrics ni altres efectes de la inducció sobre l'altra hèlice, a pesar que l'energia activa de la bateria fóra molt gran, cosa que va ser comprovada per l'escalfament de la totalitat de la seva pròpia hèlice i per la brillantor de la descàrrega feta per mitjà de puntes de carbó.

11) La repetició d'aquests assajos amb una bateria de 120 parells de plaques no va produir altres efectes; però es va establir, en aquests dos casos, que la lleu desviació de l'agulla que ocorre en el moment de completar la connexió, s'efectuava sempre en una direcció i que la desviació també dèbil ocorreguda en el moment de tallar el contacte, tenia lloc en l'altra direcció, i que aquests efectes es produïen també al utilitzar les primeres hèlices (6, 8).

12) Els resultats que havia obtingut en aquesta època amb imants, em van induir a creure que el corrent de la bateria a través d'un fil d'aram produïa, en realitat, un altre corrent semblant a través d'un altre fil d'aram, però que aquesta només durava un instant, i que

s'assemblava més a l'ona provocada per la descàrrega d'una botella de Leyden comú que al corrent d'una bateria voltaica, i que per tant hauria de ser capaç d'imantar una agulla a d'acer, encara que ella afectés escassament al galvanòmetre.

13) Aquesta hipòtesi va ser corroborada, doncs, al substituir el galvanòmetre per una hèlice petiteta buida, formada al voltant d'un tub de vidre, introduint una agulla d'acer, establint un contacte, com abans, entre la bateria i el fil d'aram inductor (7, 10) i retirant després l'agulla abans d'interrompre el contacte de la bateria, se la va trobar imantada.

14) A l'establir, primer, el contacte de la bateria, introduint, després, una agulla no magnetitzada en la hèlice petiteta indicadora (13) i suprimint, per fi, el contacte de la bateria, l'agulla es va trobar magnetitzada en un grau aparentment igual que abans, però amb els pols invertits.

15) Els mateixos efectes van tenir lloc, quan es van usar les hèlices compostes, descrites al principi (6, 6).

16) Quan l'agulla no magnetitzada va ser col·locada en l'hèlice indicadora, abans d'establir el contacte del fil d'aram inductor amb la bateria, romanent en aquesta posició fins que el contacte fóra suprimit, es revelava poc de magnetisme o gens, havent-hi quasi neutralitzat el primer efecte pel segon (13, 14). La força del corrent induït a l'establir contacte es mostrava sempre superior a aquell del corrent induït al tallar-lo; per consegüent, si el contacte es tancava i obria, moltes vegades, en orde successiu, mentre l'agulla romania en l'hèlice indicadora, aquella resultava tan magnetitzada com si només haguera obrat sobre el mateix el corrent induït a l'establir el contacte. Aquest efecte pot ser a causa de l'anomenada acumulació en els pols de la pila no connectada, la que fa el corrent, quan s'estableix primer el contacte, més poderosa de la que resulta més tard, en el moment de tallar-lo.

17) Si el circuit entre l'hèlice o fil d'aram sota inducció i el galvanòmetre o l'espiral indicadora no es tancava *abans* d'establir o interrompre la connexió entre la bateria i el fil d'aram inductor, llavors no es percebia efecte algun en el galvanòmetre. D'aquesta manera, si s'establien primer les comunicacions de la bateria, connectant, després, el fil d'aram sota inducció amb l'hèlice indicadora, no es notava força magnètica alguna. Però, al mantenir encara aquestes connexions, quan s'interrompien aquelles amb la bateria, es formava un imant en l'hèlice, però de la segona classe (14), val dir, amb pols que indiquen un corrent en la mateixa direcció que aquell del corrent de la bateria, o del corrent que sempre s'indueix al tallar la de la bateria induïda pel corrent en la seva cessació.

18) En els experiments precedents, els fils d'aram es van col·locar uns prop d'altres, i quan es desitjava obtenir l'efecte inductiu, s'establia el contacte del fil d'aram inductor amb la bateria; però, com havia de suposar-se que l'efecte particular només es produeix en els moments de tancar i obrir el contacte, la inducció es va realitzar d'una altra manera. Un fil d'aram de coure de diversos peus va ser desplegat **en** forma d'amples zig-zags, semblants a la lletra W, sobre la superfície d'una taula extensa; un segon fil d'aram es va estendre, en forma precisament semblant, sobre una altra taula, de manera que, després d'aproximar-los un a l'altre, els dos fils d'aram podien tocar-se en totes parts, a menys que s'interposés un full de paper gruixut. Un d'aquests fils d'aram va ser connectat amb el galvanòmetre, i l'altre, amb una bateria voltaica; el primer es va fer moure, després, cap al segon, i a mesura que se li aproximava, l'agulla es desviava. Allunyant-lo després, l'agulla es desviava en sentit oposat. Aproximant i allunyant els fils d'aram amb el mateix ritme que les vibracions de l'agulla, aquestes augmentaven, però quan els fils d'aram cessaven de moure's, és a dir, deixaven d'acostar-se o allunyar-se, l'agulla del galvanòmetre prompte tornava a la seva posició normal.

19) Quan els fils d'aram s'aproximaven, el corrent induït es produïa en direcció *contrària* al corrent inductora, mentre que, a l'allunyar-se els mateixos, el corrent induït tenia *la mateixa direcció* que el corrent inductora. Però romanent els fils d'aram en posició fixa, no havia corrent induït.

20) Al introduir un petit dispositiu voltaic en el circuit entre el galvanòmetre (10) i la seva hèlice o fil d'aram, per a produir una desviació permanent de 30 a 400 de l'agulla, i connectar, després, la bateria de cent parells de plaques amb el fil d'aram inductor, apareixia una acció instantània com abans (11); però l'agulla del galvanòmetre tornava a ocupar, immediatament el seu lloc i el mantenia inalterat, a pesar del continu contacte del fil d'aram inductor amb la bateria. Tal va ser el cas, qualsevol fóra la forma en què es feren els contactes (33).

21) D'aquí pareixeria que els corrents col·laterals, tant en la mateixa direcció com en l'oposada, no exerceixen una sobre una altra un poder permanent d'inducció que afecte la seva quantitat o tensió.

22) No vaig poder obtenir cap efecte sobre la punta de la llengua, ni espurna o escalfament d'un fil d'aram fi o de carbó, que indiqués el passatge d'electricitat a través del fil d'aram sota inducció; tampoc vaig poder obtenir efecte químic algun, a pesar de que els contactes amb solucions metàl·liques i d'altres classes es van obrir i van tancar alternativament amb els de la bateria, de manera que el segon efecte de la inducció no s'oposava o neutralitzava al primer (13, 16).

23) Aquesta deficiència de l'efecte no se deu al fet que el corrent elèctric induït no pot travessar els fluids, sinó potser a la seva breu duració i dèbil intensitat. Perquè, al introduir dos grans plaques de coure en el circuit del costat induït (20), estant les plaques submergides en salmorra, però impedides d'entrar en contacte una amb una altra per un drap interposat, l'efecte en el galvanòmetre indicador o en l'hèlice es va revelar com abans. L'electricitat induïda ha pogut passar, també, a través d'una cubeta voltaica (20). No obstant, quan la quantitat del fluid interposat es va reduir a una gota, el galvanòmetre no va donar cap indicació.

24) Les temptatives per a obtenir efectes semblants, per mitjà de l'ús de fils d'aram portadors d'electricitat ordinària, van ser dubtoses en els resultats. Es va recórrer a una hèlice composta, semblant a aquella ja descrita, amb vuit hèlices elementals (6). Quatre de les hèlices tenien els seus extrems semblants lligats amb fil d'aram, i els dos terminals generals així obtinguts van ser connectats amb la hèlice petita magnetitzant, que contenia una agulla no imantada (13). Les altres quatre hèlices van ser reunides en forma semblant, però els seus extrems es van connectar amb una botella de Leyden. Al passar la descàrrega, l'agulla es va revelar com un imant, però pareixia probable que una part de l'electricitat de la botella haguera passat per la hèlice petita, magnetitzant així l'agulla. No hi havia, en realitat, raó alguna per a esperar que l'electricitat d'una botella que posseeix, per cert, una gran tensió, no es propagui a través de tots els cossos metàl·lics interposats entre els revestiments.

25) Encara no pot deduir-se que la descàrrega de l'electricitat ordinària, a través d'un fil d'aram, no produeixi fenòmens anàlegs a aquells que naixen de l'electricitat voltaica; però, com pareix impossible separar els efectes produïts en el moment en què la descàrrega comença a passar, dels efectes iguals i contraris, produïts al cessar de passar la mateixa (16), atès que en el cas de l'electricitat ordinària aquests períodes són simultanis, pot haver-hi escassament una esperança de percebre'ls en aquesta classe d'experiments.

26) D'aquí és evident que els corrents de l'electricitat voltaica presenten fenòmens d'inducció quelcom semblants a aquells produïts per l'electricitat de tensió, a pesar que, com es veurà

més endavant, existeixen entre elles moltes diferències. El resultat és la producció d'altres corrents (però que són només momentànies) paral·leles o tendents al paral·lisme amb el corrent inductora. Respecte als pols de l'agulla formada en l'hèlice indicadora (13, 14) i a les desviacions de l'agulla galvanomètrica (11), s'ha observat, en tots els casos, que el corrent induït, produïda per la primera acció del corrent inductora, tenia direcció contrària a la d'aquesta última, però que el corrent produït per la cessació del corrent inductor tenia la mateixa direcció (19). A fi d'evitar perifrasi, proposo anomenar, a aquesta acció del corrent derivat de la bateria voltaica, inducció *voltaelèctrica*.

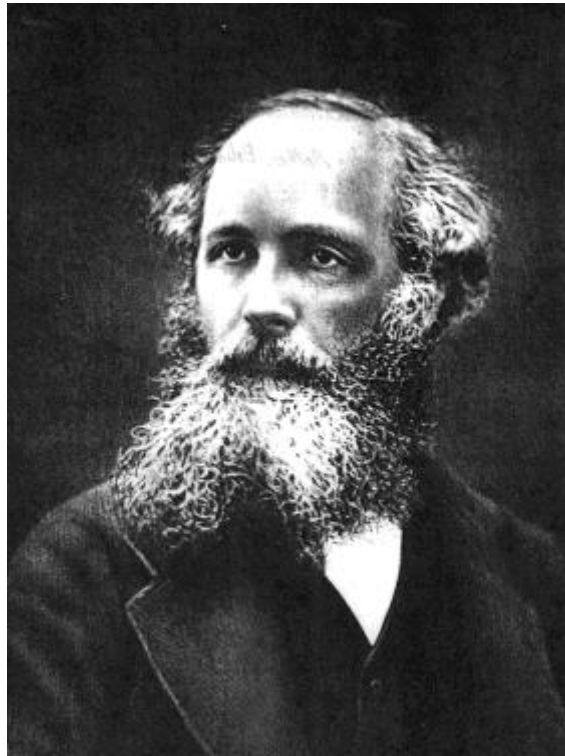


Estudi de Faraday

James Clerk Maxwell

Físic britànic. Va nèixer el 13 de juny de 1831 a Edimburg, al si d'una família escocesa de la classe mitjana, fill únic d'un advocat. Després de la primerenca mort de sa mare a causa d'un càncer abdominal –la mateixa malaltia que posaria fi a la seva vida–, va rebre l'educació bàsica en l'Edimburg Academy, sota la tutela de la seva tia Jane Cay. Amb tan sols setze anys va ingressar en la universitat d'Edimburg, i en 1850 va passar a la Universitat de Cambridge, on va enlluernar a tots amb la seva extraordinària capacitat per a resoldre problemes relacionats amb la física. Quatre anys més tard es va graduar en aquesta universitat, però el deterioració de la salut de son pare el va obligar a tornar a Escòcia i renunciar a una plaça en el prestigiós Trinity College de Cambridge.

En 1856, poc després de la mort de son pare, va ser nomenat professor de filosofia natural en el Marischal College d'Aberdeen. Dos anys més tard es va casar amb Katherine Mary Dewar, filla del director del Marischal College. En 1860, després d'abandonar la acabada d'instituir Universitat d'Aberdeen, va obtenir el lloc de professor de filosofia natural en el King's College de Londres. En aquesta època va iniciar l'etapa més fructífera de la seva carrera, i va ingressar en la Royal Society (1861). En 1871 va ser nomenat director del Cavendish Laboratory.



Va publicar dos articles, clàssics dins de l'estudi de l'electromagnetisme, i va desenrotllar una destacable labor tant teòrica com experimental en termodinàmica; les relacions d'igualtat entre les distintes derivades parcials de les funcions termodinàmiques, denominades relacions de Maxwell, estan presents d'ordinari en qualsevol llibre de text de l'especialitat. No obstant, són les seves aportacions al camp de l'electromagnetisme les que el situen entre els grans científics de la història.

En el prefaci de la seva obra *Treatise on Electricity and Magnetism* (1873) va declarar que la seva principal tasca consistia a justificar matemàticament conceptes físics descrits fins aquell moment de forma únicament qualitativa, com les lleis de la inducció electromagnètica i dels camps de força, enunciades per Michael Faraday. Amb aquest objecte, Maxwell va introduir el concepte d'ona electromagnètica, que permet una descripció matemàtica adequada de la interacció entre electricitat i magnetisme per mitjà de les seves cèlebres equacions que descriuen i quantifiquen els camps de forces. La seva teoria va suggerir la possibilitat de generar ones electromagnètiques en el laboratori, fet que va corroborar Heinrich Hertz en 1887, vuit anys després de la mort de Maxwell, i que posteriorment va suposar l'inici de l'era de la comunicació ràpida a distància.

Va aplicar l'anàlisi estadística a la interpretació de la teoria cinètica dels gasos, amb la denominada funció de distribució de Maxwell-Boltzmann, que estableix la probabilitat de trobar una partícula amb una determinada velocitat en un gas ideal diluït i no sotmès a camps de força externs. Va justificar les hipòtesis d'Avogadro i d'Ampère; va demostrar la

relació directa entre la viscositat d'un gas i la seva temperatura absoluta, i va enunciar la llei d'equipartició de l'energia. Va descobrir la birrefringència temporal dels cossos elàstics translúcids sotmesos a tensions mecàniques i va elaborar una teoria satisfactòria sobre la percepció cromàtica, desenrotllant els fonaments de la fotografia tricolor.

La influència de les idees de Maxwell va més enllà, si és el cas, d'allò que s'ha especificat, ja que en elles es basen moltes de les argumentacions tant de la teoria de la relativitat einsteiniana com de la moderna mecànica quàntica del segle XX. Va morir en Cambridge, Regne Unit, el 5 de novembre de 1879.

Consideracions sobre el camp electromagnètic⁵

JAIME CLERK MAXWELL

Considerarem ara un altre fenomen observat en el camp electromagnètic. Quan es mou un cos a través de les línies de força magnètica experimenta el que s'anomena una força electromotriu; les dos extremitats del cos tendeixen a carregar-se d'electricitats contràries, i un corrent elèctric tendeix a fluir a través del cos. Quan la força electromotriu és prou poderosa i se la fa actuar sobre certs cossos compostos, els descompon, i obliga a un dels seus components a moure's cap a un extrem del cos i a l'altre en direcció oposada.

Tenim aquí l'evidència d'una força que produeix un corrent elèctric vencent la resistència; que electrifica els extrems d'un cos amb càrregues oposades, circumstància que només és produïda per la força electromotriu i que, tan prompte com desapareix la dita força, tendeix, amb una força igual i oposada, a produir a través del cos un contracorrent per a restablir el seu estat elèctric primitiu; i que, finalment, si és prou poderosa, descompon substàncies químiques i porta els seus components en direccions oposades, en contra de la seva tendència natural a combinar-se, i a combinar-se amb una força que pot generar una força electromotriu en direcció oposada.

Aquesta és llavors una força que actua sobre un cos causada pel seu moviment a través del camp electromagnètic, o per canvis que ocorren en aquest camp mateix i l'efecte de la força és el de produir un corrent i escalfar el cos, o de descompondre al cos, o, quan no pot fer una altra cosa, de generar en ell un estat de polarització, elèctrica, estat de coacció, en el qual els extrems oposats s'electritzen amb càrregues contràries, i del qual el cos tendeix a alliberar-se tan prompte com desapareix la força pertorbadora.

D'acord amb la teoria que em proposo explicar, aquesta força electromotriu és la força que entra en joc durant la comunicació de moviment d'una part del mig a una altra, i és per mitjà d'aquesta força que el moviment d'una part causa moviment en una altra part. Quan la força electromotriu actua sobre un circuit conductor, produeix un corrent que, si troba resistència, ocasiona una transformació contínua d'energia elèctrica en calor, que no és susceptible de ser transformada de nou en energia elèctrica per cap inversió del procés.

Però quan la força electromotriu actua sobre un dielèctric, produeix un estat de polarització de les seves parts, semblant en distribució a la polaritat de les parts d'una massa de ferro sota la influència d'un imant, i, com la polarització magnètica, es pot descriure com un estat en què cada partícula té els seus pols oposats en condicions oposades.

En un dielèctric sota l'acció d'una força electromotriu, podem imaginar que l'electricitat està desplaçada en cada molècula de mode tal que un costat s'ha fet elèctricament positiu i l'altre negatiu, però que l'electricitat roman totalment lligada a la molècula, i no passa d'una molècula a una altra. L'efecte d'aquesta acció és el de produir un desplaçament general de l'electricitat en certa direcció. Aquest desplaçament no arriba a ser un corrent, perquè quan ha aconseguit cert valor roman constant, però és el començament d'un corrent, i les seves variacions constitueixen corrents en la direcció positiva o negativa, segons que el desplaçament augmenti o disminueixi. En l'interior del dielèctric no hi ha indicatiu d'electrització, perquè l'electrització de la superfície d'una molècula està neutralitzada per l'electrització oposada de la superfície de les molècules que estan en contacte amb ella; però en la superfície limitant del dielèctric, on l'electrització no està neutralitzada, vam trobar fenòmens que indiquen electrització positiva o negativa.

⁵ *Philosophical Transactions*, vol. 155, 1865; reimprès en MAGIE: Source Book in Physics, traduït al castellà per Desiderio Papp (1945).

La relació entre la força electromotriu i el valor del desplaçament elèctric que produeix depèn de la naturalesa del dielèctric, produint la mateixa força electromotriu, generalment, major desplaçament elèctric en dielèctrics sòlids, tals com vidre o sofre, que en l'aire.

Aquí vam observar, llavors, un altre efecte de la força electromotriu, a saber, desplaçament elèctric, que d'acord amb la nostra teoria, és una espècie de deformació elàstica, sota l'acció de la força, semblant a què té lloc en estructures i màquines a causa de la falta de rigidesa perfecta en les connexions.

La investigació pràctica de la capacitat inductiva dels dielèctrics es fa dificultosa a causa de dos fenòmens pertorbadors. El primer és la conductibilitat del dielèctric, que si bé en molts casos és excessivament petita, no és del tot despreciable. El segon és el fenomen anomenat absorció elèctrica, en virtut del qual, quan el dielèctric s'exposa a una força electromotriu, el desplaçament elèctric creix gradualment, i quan la força electromotriu desapareix, el dielèctric no torna instantàniament al seu estat primitiu, sinó que només descarrega una part de la seva electrització, i si és abandonat a si mateix adquireix, gradualment, electrització en la seva superfície, a mesura que l'interior es va despolaritzant gradualment.

Quasi tots els dielèctrics sòlids mostren aquest fenomen, que dóna origen a la càrrega residual en les botelles de Leyden, i a diversos fenòmens en els cables elèctrics descrits per Mr. F. Jenkin.

Tenim aquí altres dos classes de deformacions al costat de la deformació del dielèctric perfecte, que hem comparat a un cos perfectament elàstic. La deformació deguda a la conductibilitat pot ser comparada a la d'un fluid viscos (és a dir, un fluid que té gran fricció interna), o a un sòlid blau sobre el qual la força més petita produeix una alteració permanent de la forma, que augmenta amb el temps durant el qual actua la força. La deformació deguda a l'absorció elèctrica pot comparar-se a la d'un cos elàstic alveolar que conté un fluid espès en les seves cavitats. Un cos tal, quan se sotmet a pressió és comprimit gradualment a causa de la deformació gradual del fluid espès; i quan la pressió cessa, no recobra immediatament la seva forma perquè l'elasticitat de la substància del cos ha de vèncer gradualment la tenacitat del fluid abans de poder recuperar l'equilibri complet.

Diversos cossos sòlids en els quals no es pot trobar una estructura com la que hem suposat, pareixen posseir una propietat mecànica d'aquesta classe; i pareix probable que les mateixes substàncies, si són dielèctriques, tinguin la propietat elèctrica anàloga, i si són magnètiques, tinguin propietats corresponents respecte a l'adquisició, retenció i pèrdua de polaritat magnètica.

Per tant pareix que certs fenòmens d'electricitat i magnetisme porten a la mateixa conclusió que els de l'òptica, a saber, que hi ha un medi eteri que ocupa tots els cossos, i només està modificat lleument per la seva presència; que les parts d'aquest medi són susceptibles de ser posades en moviment per corrents elèctrics i imants; que aquesta es comunica d'una part del medi a una altra per forces que provenen de les connexions d'aquestes parts; que sota l'acció d'aquestes forces hi ha certa deformació que depèn de l'elasticitat d'aquestes connexions; i que per això l'energia pot existir en el medi en dos formes diferents, sent una de les formes l'energia actual del moviment de les seves parts i l'altra l'energia potencial emmagatzemada en les connexions, en virtut de la seva elasticitat.

D'aquesta manera ens veiem conduïts a la concepció d'un complicat mecanisme, susceptible d'una gran varietat de moviments, però al mateix temps organitzat de tal manera que el moviment d'una part depèn, d'acord a relacions definides, del moviment d'altres parts, sent comunicats aquests moviments per forces que provenen del desplaçament relatiu de les parts connectades, en virtut de la seva elasticitat.

Un mecanisme tal ha d'estar subjecte a les lleis generals de la dinàmica i hauríem d'estar en condicions d'extraure totes les conseqüències del seu moviment, supòsit que coneixem la forma de la relació entre els moviments de les parts.

Sabem que si s'estableix un corrent elèctric en un circuit conductor, la zona veïna del camp està caracteritzada per certes propietats magnètiques i que si dos circuits es troben en el camp, les propietats magnètiques del camp, a causa d'ambdós corrents, estan combinades. Així, cada part del camp està en connexió amb ambdós corrents, i els dos corrents estan connectats entre si en virtut de la seva connexió amb la magnetització del camp. El primer resultat d'aquesta connexió que em proposo examinar, és la inducció d'un corrent per una altra, i pel moviment de conductors en el camp.

El segon resultat, que es dedueix d'aquest, és l'acció mecànica entre conductors en els quals circulen corrents. El fenomen de la inducció de corrents ha sigut deduït de la seva acció mecànica per Helmholtz i Thomson. Jo he seguit l'orde invers, i he deduït l'acció mecànica a partir de les lleis d'inducció. A més he descrit mètodes experimentals per a determinar les quantitats L , M , N , de les quals depenen aquests fenòmens.

Després vaig aplicar els fenòmens d'inducció i atracció de corrents a l'exploració del camp electromagnètic, i al traçat de sistemes de línies de força magnètica que expressen les seves propietats magnètiques. Explorant el mateix camp amb un imant, he mostrat la distribució de les seves superfícies magnètiques equipotencials, que tallen perpendicularment a les línies de força.

A fi de sintetitzar aquests resultats en el concís llenguatge de les matemàtiques, els exprés en les Equacions Generals del Camp Electromagnètic. Aquestes equacions expressen:

- (A) La relació entre desplaçament elèctric, conducció vertader i corrent total compost d'ambdós.
- (B) La relació entre les línies de força magnètica i els coeficients d'inducció d'un circuit, com ja s'ha deduït de les lleis d'inducció.
- (C) La relació entre la intensitat d'un corrent i els seus efectes magnètics, d'acord al sistema electromagnètic de mesures.
- (D) El valor de la força electromotriu originada en un cos pel moviment d'aquest en el camp, l'alteració del camp mateix, i la variació del potencial elèctric d'un punt a un altre del camp.
- (E) La relació entre el desplaçament elèctric i la força electromotriu que ho produeix.
- (F) La relació entre un corrent elèctric i la força electromotriu que la produeix.
- (G) La relació entre la quantitat d'electricitat lliure en un punt i els desplaçaments elèctrics en les seves proximitats.
- (H) La relació entre l'augment o disminució de l'electricitat lliure i els corrents elèctrics en les seves proximitats.

Hi ha en total vint d'aquestes equacions, en les que figuren vint quantitats variables.

Referències bibliogràfiques

ASIMOV, I. (1993). *Nueva guía de las ciencias. Ciencias físicas*. Barcelona: RBA Editores.

BERKSON, W. (1985). *Las teorías de los campos de fuerzas*. Madrid: Alianza Editorial.

BERTAN, O. I RIBA, J.R. (2004). Comprovació experimental de la llei de Coulomb per a pols magnètics. *Revista de Física*, vol. 3, núm. 7, pp 24-27.

BIBLIOTECA NACIONAL DE FRANÇA. (2004). *Gallica, bibliothèque numérique de la Bibliothèque nationale de France*. <http://gallica.bnf.fr/>, (Conté edicions facsímil consultables en línia de forma gratuïta de nombroses obres de científics de tots els temps i països del Mon).

CIUTAT, O., I ALTRES. (2002). 190 experiencias de ciencias para la enseñanza secundaria. Lleida: Ed. Milenio.

DEPARTAMENT D'ENSENYAMENT. (2002a). DECRET 179/2002, de 25 de juny, pel qual es modifiquen el Decret 75/1992, de 9 de març, pel qual s'estableix l'ordenació general dels ensenyaments de l'educació infantil, l'educació primària i l'educació secundària obligatòria a Catalunya, el Decret 96/1992, de 28 d'abril, pel qual s'estableix l'ordenació dels ensenyaments d'educació secundària obligatòria i el Decret 75/1996, de 5 de març, pel qual s'estableix l'ordenació dels crèdits variables de l'educació secundària obligatòria. DOGC núm. 3670 - 04/07/2002.

DEPARTAMENT D'ENSENYAMENT. (2002b). DECRET 182/2002, de 25 de juny, pel qual es modifiquen el Decret 82/1996, de 5 de març, pel qual s'estableix l'ordenació dels ensenyaments de batxillerat, i el Decret 22/1999, de 9 de febrer, pel qual s'adequa l'organització dels ensenyaments de batxillerat al règim nocturn. DOGC núm. 3674 - 10/07/2002.

DEPARTAMENT D'ENSENYAMENT. (2003a). *Projecte de decret pel qual s'estableix l'ordenació curricular de l'educació secundària obligatòria*. Barcelona: Departament d'ensenyament, Generalitat de Catalunya.

DEPARTAMENT D'ENSENYAMENT. (2003b). *Projecte de decret pel qual s'estableix l'ordenació dels ensenyaments de batxillerat*. Barcelona: Departament d'ensenyament, Generalitat de Catalunya.

DIAZ-HELLÍN, J.A. (2001). *El gran cambio de la física. Faraday*. Madrid: Nivola.

DRIVER, R. I ALTRES. (1989). *Ideas científicas en la infancia y la adolescencia*. Madrid: MEC-Morata.

FARADAY, M. (1946). *Las fuerzas de la materia y Historia química de una vela*. Buenos Aires: Ed. Emecé Editores, Colección Maestros de la Ciencia.

FAVIERES, A. I ALTRES. (1999). Una propuesta para enseñar electricidad en la ESO, *Alambique. Didáctica de las Ciencias Experimentales*, n. 19, pp 19-26.

FLORES, F. (2004) *Ideas previas*. <http://ideasprevias.cinstrum.unam.mx:2048/>. CCADET Centro de Ciencias Aplicadas y Desarrollo Tecnológico. Universidad Nacional Autónoma de

México (Projecte consistent en la localització, identificació, captura, anàlisi, categorització i organització de las idees prèvies dels estudiants que es troben en la literatura recent).

FURIÓ, C. I GUIASOLA, J. (1999). Concepciones alternativas y dificultades de aprendizaje en electrostática. *Enseñanza de las Ciencias*, vol 17 (3), pp 441-452.

GÁMEZ, L.A., 2000, Los jóvenes españoles son menos crédulos que en 1994, pero un 41% tiene fe en la astrología. *El escéptico digital* (<http://www.el-esceptico.org/n6/credulos.htm>), n 6.

GAMOW, G. (1980). *Biografía de la física*. Madrid: Alianza Editorial.

GANOT, A. (1873). *Tratado elemental de Física experimental y aplicada*. Madrid: Editor Carlos Bailly-Bailliere. (consultable en línea en format text, de manera gratuïta, en la Biblioteca Virtual Miguel de Cervantes, <http://www.cervantesvirtual.com>)

GRUP RECERCA FARADAY. (1988). *Física Faraday*. Barcelona: Teide.

GUIASOLA, J. I ALTRES. (2003). Concepciones alternativas sobre el campo magnético estacionario. Elección de cuestiones realizadas para su detección. *Enseñanza de las Ciencias*, vol 21 (2), pp 281-293.

GUIASOLA, J. (1999). Enseñanza/aprendizaje de la teoría eléctrica que explica los fenómenos electrostáticos básicos. *Alambique. Didáctica de las Ciencias Experimentales*, n. 19, pp 9-18.

HEWITT, P.G. (1999). *Física conceptual*. Méxic: Addison Wesley Longman.

HIERREZUELO, J. I MONTERO, A. (1988) *La ciencia de los alumnos*. Barcelona: Laia-MEC.

HOLTON, G. I BRUSH, S.G. (1976). Introducción a los conceptos i teorías de las ciencias físicas. Barcelona: Reverté.

KARTSEV, V.P. (preparado por Patricio Barros). (2001). *Tres milenios del iman*, <http://www.geocities.com/tresmileniosdeliman/index.html>,.

MENESES, J. I CABALLERO, M.C. (1995). Secuencia de enseñanza sobre electromagnetismo. *Enseñanza de las Ciencias*, vol 13 (1), pp36-45.

NOAA'S NATIONAL GEOPHYSICAL DATA CENTER. (2004). <http://www.ngdc.noaa.gov/cgi-bin/seg/gmag/fldsnt1.pl>, Administració nacional de l'oceà i l'atmosfera(NOAA), Centre nacional de dades geofísiques (NGDC), Departament de Comerç. Estats Units de Nordamèrica. (proporciona valors de la declinació i l'inclinació magnètica, així com de l'intensitat del camp magnètic terrestre en qualsevol punt de la Terra, donades les coordenades geogràfiques i l'altura).

PAPP, D. (1945) *Historia de la física*. Espasa-Calpe Buenos Aires: Argentina.

PASTOR, J. M.. (1999). La electricidad y el magnetismo en la LOGSE, *Alambique. Didáctica de las Ciencias Experimentales*, n. 19, pp 39-46.

PÉREZ, M.C. I VARELA, P. (2003) *Orígenes del electromagnetismo. Oersted y Ampère*. Tres Cantos (Madrid): NIVOLA libros y ediciones.

POZO, J.I. (1989) *Teorias cognitivas del aprendizaje*. Madrid: Morata.

PRO, A. I SAURA, O. (1996). Una propuesta metodológica para la enseñanza y el aprendizaje de la electricidad y el magnetismo en secundaria. *Investigación en la escuela*, n 28, pp 79-94.

PRO, A. I SAURA, O. (1999). ¿Qué podemos mejorar de una propuesta de enseñanza de la electricidad para la ESO?. *Alambique. Didáctica de las Ciencias Experimentales*, n. 19, pp 27-37.

ROBINSON, P. I HEWITT, P.G. (1998). *Manual de laboratorio de Física*. Méxic: Addison Wesley Longman.

SEMINARI DE FÍSICA I QUÍMICA. (1988). *La construcción de las ciencias fisico-químicas*. València: NAU llibres.

SHAYER, M. I ADEY, P. (1984). *La ciencia de enseñar ciencias*. Madrid: Narcea.

STERN, D.P. (traduït per Mendez, J.). (2003). *La Tierra, el Gran Imán*, <http://www-spf.gsfc.nasa.gov/earthmag/Mdmagint.htm>.

UNESCO. (1978). Nuevo manual de la Unesco para la enseñanza de las ciencias. Barcelona: EDHASA.

VVAA. (2004a). *El rincón de la Ciencia nº 25: Imanes en acción*, <http://centros5.pntic.mec.es/ies.victoria.kent/Rincon-C/rincon.htm>. Revista de divulgación del I.E.S. Victoria Kent (Madrid).

VVAA. (2004b). *Treballs pràctics de física. Materials de suport dels cursos de formació*, <http://www.xtec.es/cdec/index.htm>. Centre de Documentació i Experimentació en Ciències i Tecnologia (cdec). Generalitat de Catalunya. Departament d'Ensenyament.