

Recursos de física



ESTIMACIÓ EXPERIMENTAL DEL CAMP MAGNÈTIC DE LA TERRA

ANICET COSIALLS MANONELLES¹

Proposem un mètode alternatiu, senzill i divertit, per fer una estimació experimental del camp magnètic de la Terra.

Introducció

Actualment, ja hi ha més de 3.000 exoplanetes descoberts pels astrònoms, i la llista no para de créixer. Recentment, la NASA ha anunciat el descobriment d'un sistema planetari, Trappist-1 [1], molt similar al nostre, amb tres planetes que podrien albergar vida. L'habitabilitat d'un planeta està condicionada per molts factors:

- ✓ L'òrbita de la seva estrella al voltant del centre galàctic ha de ser gairebé circular.
- ✓ El planeta ha de ser sempre a la zona d'habitabilitat.
- ✓ El planeta ha de posseir un camp magnètic que actua com un escut protector contra la radiació còsmica.

Però, com es pot determinar experimentalment la intensitat del camp magnètic?

Actualment, tenim al nostre abast distints mètodes per determinar la intensitat del camp magnètic: es pot fer a partir de la mesura de l'angle de desviació d'una brúixola col·locada a l'interior d'una bobina per la qual hi circula corrent elèctric [2][3], o bé utilitzant el sensor magnètic dels telèfons mòbils [4].

Aquest protocol proposa un mètode alternatiu, senzill i divertit, per fer una estimació experimental del camp magnètic de la Terra.

L'experiment [5] fou realitzat pels alumnes de 2n de batxillerat de l'Institut Guindàvols de Lleida durant el curs 2016-2017. El vídeo [6] explicatiu de l'experiència ha estat guardonat amb el primer premi en concurs internacional "XVIII Ciència en Acció" [7] en la modalitat de curts científics.

Objectius

- ✓ Produir un corrent induït utilitzant la Terra com a imant.
- ✓ Fer una estimació del camp magnètic de la Terra.

Marc teòric

El camp magnètic de la Terra

El magnetisme de la Terra es pot interpretar si es té en compta que aquesta es comporta com un gran imant a gran escala [8] (vegeu la figura 1). Els pols magnètics de la Terra estan invertits respecte els pols

¹ Catedràtic de física i química de l'Institut Guindàvols de Lleida

geogràfics. El pol nord geogràfic de la Terra es correspon amb el seu pol sud magnètic i viceversa. De fet el pol sud magnètic de la Terra està un xic desplaçat respecte el nord geogràfic, al voltant de 1300 km. Una brúixola col·locada en un punt exterior de la Terra s'orienta paral·lela al camp magnètic

El camp magnètic de la Terra (\vec{B}) és una magnitud vectorial, i se'n poden conèixer les seves components en un punt de la seva superfície. Cal però, establir prèviament un sistema de referència. Escollirem un sistema de referència de coordenades cartesianes XYZ amb els eixos orientats de tal manera que el nord és el nord geogràfic, o projecció sobre el pla horitzontal de l'eix de rotació de la Terra. La component horitzontal de la intensitat del camp magnètic (H) assenyaleta el nord magnètic i té una desviació (D) respecte el nord geogràfic. Aquesta desviació s'anomena declinació magnètica. L'angle format per la intensitat del camp magnètic i l'horitzontal és la inclinació magnètica (I) (vegeu la figura 2).

Així doncs, podem considerar que el camp magnètic en qualsevol punt de la Terra de latitud, λ , tindrà una component horitzontal (H) i una component vertical (B_z) (vegeu la figura 3).

Les relacions matemàtiques entre aquestes magnituds són:

$$\vec{B} = (B_x, B_y, B_z) \text{ (vegeu la figura 2)}$$

$$H = \sqrt{B_x^2 + B_y^2} \text{ (f vegeu la figura 2)}$$

$$B_z = H \tan(I) \text{ (vegeu la figura 3)}$$

$$B = \sqrt{H^2 + B_z^2} \text{ (f vegeu la figura 3)}$$

Per mesurar la component vertical (B_z) [9] cal una brúixola o una agulla magnètica que pugui girar lliurement quan l'eix de rotació està horitzontal (vegeu la figura 3).

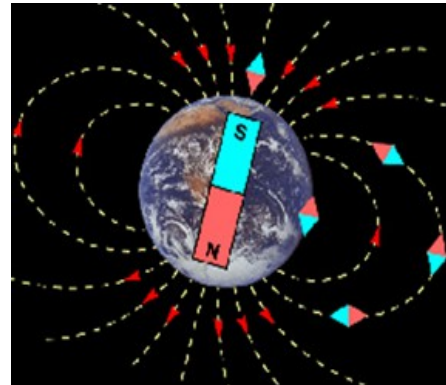


Fig. 1: Esquema simplificat del camp magnètic de la Terra amb les línies de camp i orientació d'una brúixola

http://www.rrfisica.cat/rrfisica/jj_curto_001/c_magnetic_terra_guia_profes.htm

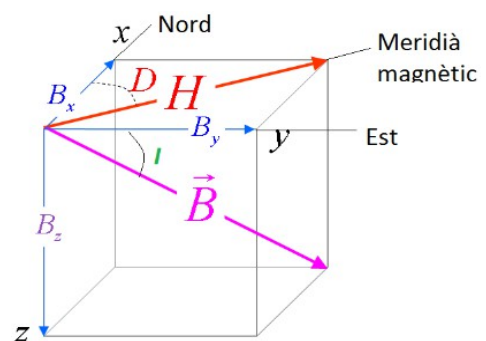


Fig. 2: Components del camp magnètic en un sistema de referència de coordenades cartesianes amb els eixos orientats

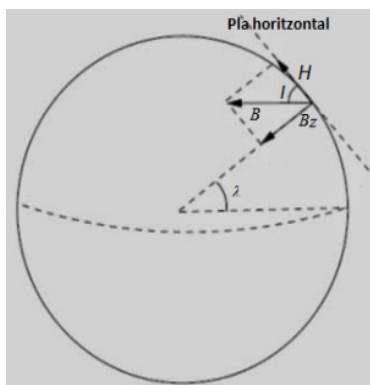


Fig. 3: Components horitzontal (H) i vertical (B_z) del camp magnètic de la Terra (B) en un punt de latitud λ .

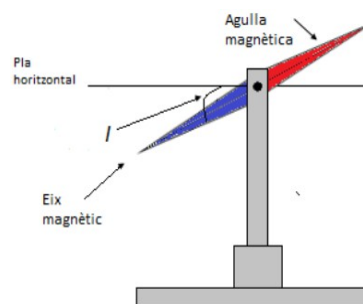


Fig. 4: Mesura de l'inclinació magnètica (I) amb una brúixola.

<https://qph.ec.quoracdn.net/main-qimg-951b3eeddccc530abcdd5a20e0251ace7>

Llei de - Faraday – Lenz

La força electromotriu induïda [10], ε , en una espira de superfície, S , que gira amb una velocitat angular, ω , connectada a un voltímetre, en presència d'un camp magnètic uniforme, B , ve donada per la llei de Faraday– Lenz:

$$\varepsilon = -\frac{d\Phi}{dt} = -\frac{d(BS \cos \alpha)}{dt} = -\frac{d(BS \cos \omega t)}{dt} = BS\omega \sin \omega t \quad (1)$$

Hem suposant que la velocitat angular es manté constant, amb la qual cosa el desplaçament angular, α ,

val $\alpha = \omega t$. La força electromotriu induïda màxima serà $\varepsilon_0 = BS\omega$ i camp magnètic $B = \frac{\varepsilon_0}{S\omega}$.

Disseny experimental

Descripció de l'experiment

Es fa una estimació del camp magnètic de la Terra a partir del corrent induït que es genera en una espira de gran superfície que gira sotmesa a la influència del camp magnètic de la Terra.

Dos estudiants fan girar al voltant d'un eix horitzontal un cable molt llarg com si fos una espira. El cable està connectat a un polímetre digital (en la modalitat de corrent continu i mV) i està orientat en direcció perpendicular a l'eix magnètic d'una brúixola (imatge 5).

Procediment

a) Dos alumnes separats en direcció perpendicular a l'eix magnètic d'una brúixola aguanten un cable molt llarg (al voltant de 10 m) connectat a un voltímetre. Al principi el cable està destensat i forma un arc. Quan el professor diu que comenci l'experiment, els estudiants fan girar el fil verticalment com si estiguessin jugant a saltar la comba. Podem idealitzar el problema suposant que el cable forma una semicircumferència perfecta de radi.

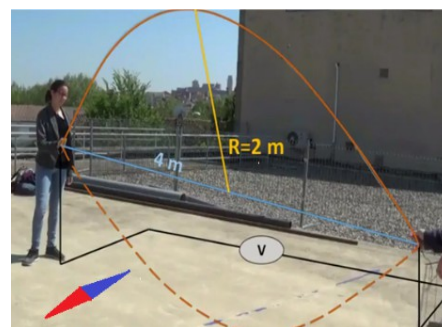


Fig. 5: Cable girant en un pla vertical connectat a un voltímetre. Alumnes de 2n de batxillerat de l'Institut Guindàvols de Lleida. Curs 2016-2017.

✓ **b)** Cal fer girar la comba a una velocitat angular constant ω . Per tal de minimitzar l'error en la mesura del període, T , de rotació de la comba es mesura el temps, Δt , que triga la comba en fer 10 voltes. D'aquesta manera podrem determinar el període de rotació:

$$T = \frac{t}{10} \quad (2)$$

i la velocitat angular mitjana:

$$\omega = \frac{2\pi}{T} \quad (3)$$

✓ **c)** La força electromotriu induïda, \mathcal{E} , enregistrada pel voltímetre anirà canviant d'una manera sinusoidal amb el temps, prenent valors positius i negatius (vegeu la figura 6). Un altre estudiant observarà aquests canvis i anotarà el valor màxim, $\mathcal{E}_{\text{màx}}$, de la força electromotriu



Fig. 6: Valor de la força electromotriu instantània enregistrada pel polímetre en fer girar la comba.

Utilatge

Vegeu la figura 7

- ✓ Cable de 10 m
- ✓ Polímetre digital (Tester)
- ✓ Cronòmetre (0,01 s).
- ✓ Cinta mètrica de 5 m (0,001 m)



Fig. 7: Estris utilitzats

Resultats obtinguts. Anàlisi i discussió

Farem l'estimació que la superfície de l'espira és la d'un semicercle de radi R .

Radi de l'espira : $R = 2,0$ m. Superfície del semicercle $S = \frac{\pi R^2}{2}$

$$S = \frac{\pi R^2}{2} = \frac{\pi 2^2}{2} = 6,28 \text{ m}^2 \quad (4)$$

El màxim valor de la força electromotriu enregistrat pel polímetre digital és de $2,3$ mV (vegeu la figura 8), i la velocitat angular mitjana és de $20,3$ rad/s.

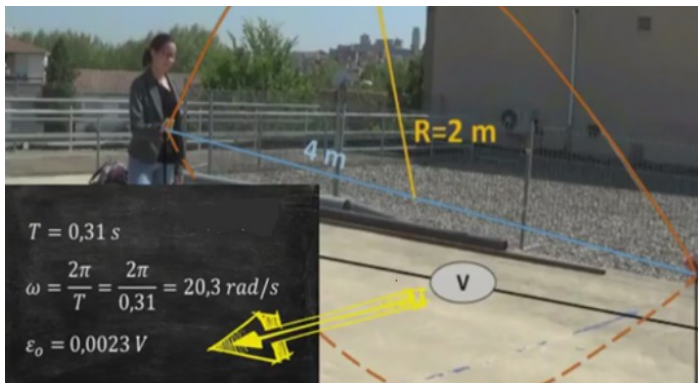


Fig. 8: Valors obtinguts de la força electromotriu màxima (ε_0) i de la velocitat angular (ω).

$$\varepsilon = \frac{-d\phi}{dt} = \frac{-d\vec{B}\vec{S}}{dt} = \frac{-d}{dt} BS\cos\alpha = \frac{-d}{dt} BS\cos\omega t = BS\omega\sin\omega t = \underbrace{BS\omega}_{\varepsilon_0} \sin\omega t$$

$$\phi = \vec{B}\vec{S} = BS\cos\alpha \quad \alpha = \omega t$$

$$\varepsilon_0 = BS\omega \quad B = \frac{\varepsilon_0}{S\omega} = \frac{0,0023}{6,28 \times 20,3} = 18 \times 10^{-6} \text{ T} = 18 \mu\text{T}$$

Fig. 9: Valor del camp magnètic de la Terra al pati de l' Institut Guindàvols

El valor obtingut de la intensitat del camp magnètic de la Terra és de $18 \mu\text{T}$.

En girar la comba en la direcció indicada, la seva superfície ha estat exposada, tant a la component horitzontal del camp magnètic de la Terra, com a la component vertical, amb la qual cosa el valor determinat correspon al camp magnètic total.

Aquest valor no coincideix amb el valor del camp magnètic de Lleida ($45 \mu\text{T}$) facilitat per la NOAA [11], però és del mateix ordre de magnitud i satisfà les nostres expectatives.

Conclusions

- ✓ 1) Es pot generar un corrent induït en un circuit utilitzant com a imant la Terra.
- ✓ 2) L'experiment proposat possibilita fer una estimació de la intensitat del camp magnètic de la Terra d'una manera senzilla, i amb materials a l'abast de tothom.
- ✓ 3) La intensitat del camp magnètic a Lleida és de $18 \mu\text{T}$.

Referències bibliogràfiques

- [1] Exoplanets. Disponible a <https://www.nasa.gov/press-release/nasa-telescope-reveals-largest-batch-of-earth-size-habitable-zone-planets-around>.
- [2] Espiras y brújulas: medición del campo magnético de la Tierra. Disponible a <http://www.cienciaredcreativa.org/informes/magnetismo%202.pdf>.
- [3] Yuste M., Carreras C. Fuerzas entre imanes: un experimento casero para medir el campo magnético terrestre. Revista Española de Física, V-4, nº 3, 1990, págs. 73-79.
- [4] (Ramirez, Lorenzo), Experimentació amb tecnologia mòbil. El sensor magnètic i el camp magnètic de la Terra. Disponible a <https://experimentacioliure.wordpress.com/2017/03/07/experimentacio-amb-tecnologia-mobil-el-sensor-magnetic-i-el-camp-magnetic-de-la-terra/>.
- [5] Beberide D., Gómez A. , Preixens, C. i Cosialls A.(2017). Electromagnetisme HD. Disponible a <https://www.youtube.com/watch?v=dgdO783-gZE>.
- [6] Beberide D., Gómez A. , Preixens, C. i Cosialls A. (2017). Ciencia sin límite. Disponible a <https://www.youtube.com/watch?v=g201gS2nysc>.
- [7] Ciencia en Acción. Disponible a <http://www.cienciaenaccion.org>
- [8] Estudi d'una tempesta geomagnètica. Disponible a http://www.rrfisica.cat/rrfisica/jj_curto_001/c_magnetic_terra_guia_profe.htm.
- [9] Why is the Earth's horizontal component of magnetic field always taken in problem solving? Why isn't vertical? Disponible a <https://www.quora.com/Why-is-the-Earths-horizontal-component-of-magnetic-field-always-taken-in-problem-solving-Why-isnt-vertical>.
- [10] Sears F. I Zemanski M.(1973). Física General. Aguilar
- [11] Magnetic fields calculator. Disponible a <https://www.ngdc.noaa.gov/geomag-web/#igrfwmm>.