

La inducció electromagnètica

Material per al professorat

Orientacions didàctiques

Temporització

- ½ hora per a la lectura inicial, predicció i l'experimentació.
- ½ hora per al tractament, anàlisi de dades i qüestionari.
- 1 hora per a l'ampliació.

Alumnes als quals s'adreça l'experiència

Alumnes de 2n de Batxillerat

Orientacions didàctiques

- Convé dedicar una mica de temps a la predicció, per tal que l'alumnat hagi de pensar en la Llei de Faraday i de Lenz per poder fer una representació gràfica.
- Malgrat la seva senzillesa, l'experiment permet visualitzar i aclarir nombrosos conceptes i principis: flux magnètic, fem induïda, llei de Faraday, llei de Lenz.
- La part d'ampliació en la qual s'ha de determinar l'acceleració de caiguda és molt oberta, cal deixar temps a l'alumnat per tal que faci proves, es podria deixar com a activitat per a casa a realitzar pel grup d'alumnes que han fet la pràctica.
- Es pot plantejar una discussió sobre si la part d'energia cinètica dels imants que es transforma en energia elèctrica és o no important en relació al valor absolut de l'energia cinètica. Del càlcul de l'acceleració s'observa que no i si es fa un càlcul de l'energia elèctrica del circuit també s'observa que és irrellevant.

Orientacions tècniques

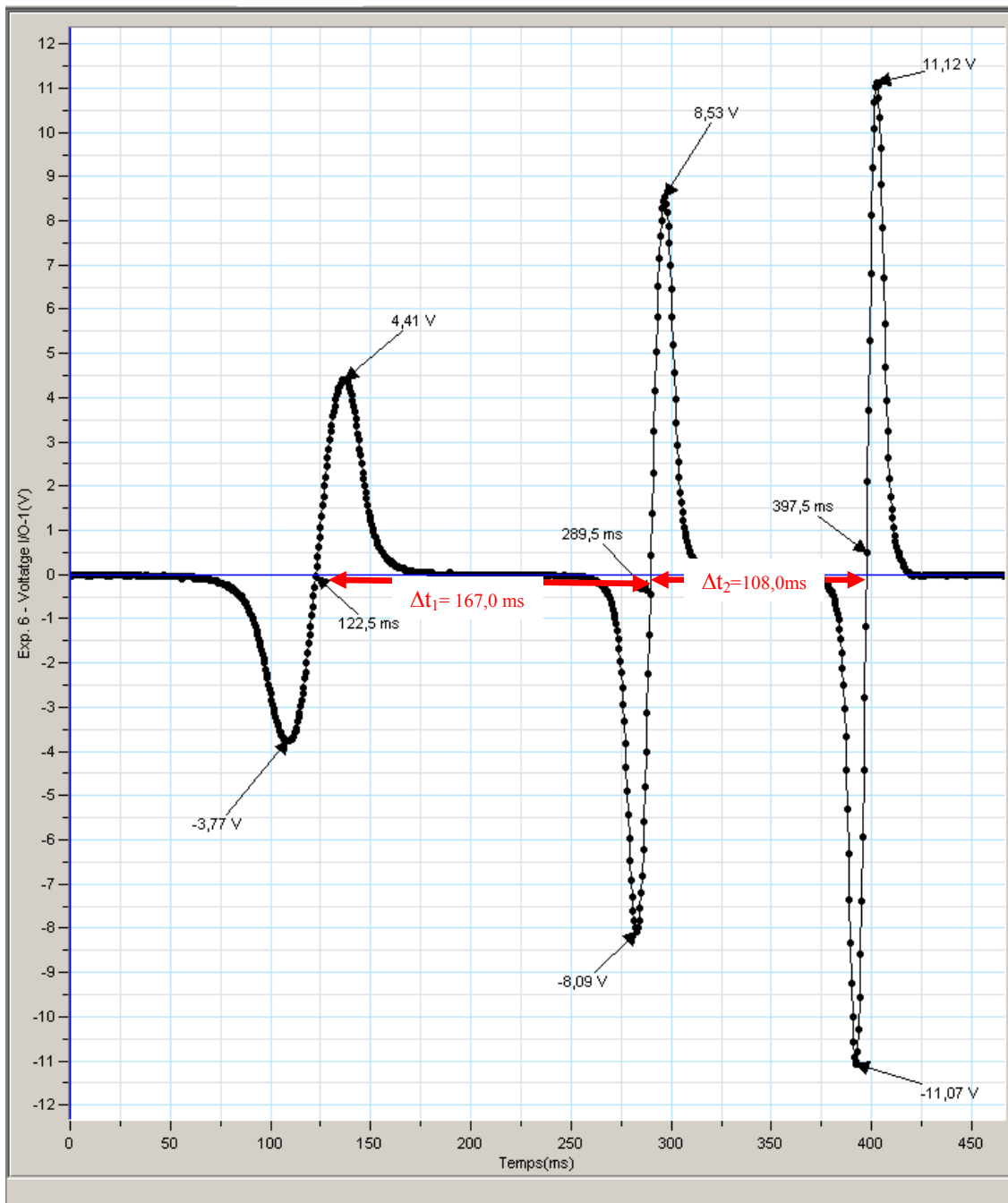
- En aquest cas, per tractar-se d'un experiment de caire qualitatiu pel que fa al voltatge, no és imprescindible calibrar prèviament el sensor de voltatge.
- El sensor de voltatge, com tots els sensors, presenta un determinat temps de resposta (temps transcorregut des del moment de prémer el botó **Executar** i el moment en que comença la captació. Per aquest motiu cal esperar un parell de segons a deixar caure els imants per poder enregistrar el seu pas per les bobines. Per assegurar-se tardar una mica més en iniciar la captació i programar un temps més llarg per la pressa de dades, per exemple 10 s.
- D'altra banda, cal situar les bobines prou separades (30 o 40 cm) perquè sigui apreciable la diferència entre les forces electromotrius induïdes en cadascuna d'elles.
- El imants de neodimi de 0,5 cm de diàmetre resulten els més adients. Amb sis imants la fem induïda és significativa però es pot deixar caure menys quantitat i el fenomen també és observable.

- El tub pot ser de PVC o de metacrilat.
- És important col·locar a sota del tub un tros d'escuma per tal d'evitar que el cop amb una superfície dura faci malbé els imants.

Conclusions

Resultats esperats

Els resultats de l'experiment mostren clarament que quan més ràpidament (part baixa) passen els imants per les bobines més gran és la fem induïda (Llei de Faraday) i que el signe d'aquesta fem depèn del pol que s'apropi o allunyi (Llei de Lenz).



Els valors obtinguts en l'experiment es poden observar en la figura anterior, o també obrint el fitxer adjunt (**imant amb tres bobines.mlp**) La diferència entre el corresponents valors positiu i negatiu pot ser deguda a l'increment de velocitat al llarg de cadascuna de les bobines.

Respostes a les preguntes

1. Feu un anàlisi dels tres gràfics corresponent al pas de l'imant per les tres bobines:

- a) Compareu el major o menor valor de la tensió en cada cas amb la velocitat de caiguda de l'imant.**
- b) Expliqueu el signe de la tensió en cada pas de l'imant per les bobines.**

Quan passa a través de la primera bobina la velocitat és més lenta i va augmentant progressivament ja que es tracta d'un MRUA. Aquest fet provoca que la variació del flux del camp magnètic amb el temps sigui més gran en el cas de la última bobina que en el de la primera i per tant la f.e.m induïda sigui també més gran en la última que en la primera tal i com ens indica la Llei d'inducció de Faraday.

Quan passa per cadascuna de les bobines primer la tensió és negativa i després positiva, això podem interpretar-lo a partir de la Llei de Lenz.

El fet de que primer sigui negativa i després positiva o a l'inrevés està també relacionat amb com està connectat el voltímetre i amb la polaritat de l'imant quan cau (es a dir si cau amb el pol Nord cap a baix o cap amunt).

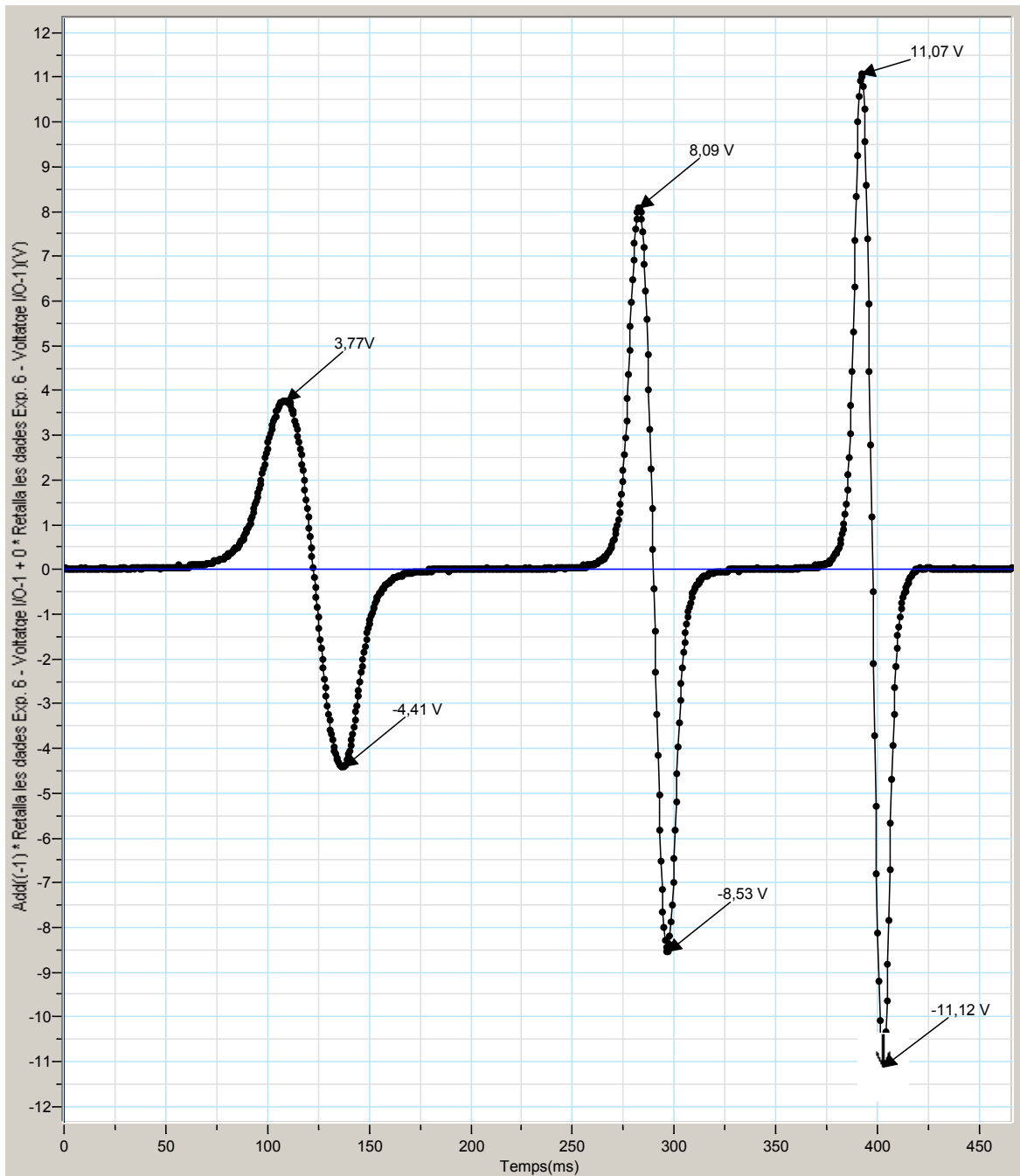
Que canviï de signe la fem en cada bobina podem explicar-lo suposant que fins que l'imant es trobi en la meitat de la bobina el flux del camp magnètic augmenta (o disminueix) i l'altra meitat el flux disminueix (o augmenta), és a dir el sentit de la variació del flux del camp canvia.

S'observa també que el temps de pas per cadascuna de les bobines va canviant de major a menor, ja que el moviment és MRUA i per tant cada vegada és més petit per a la mateixa distància.

Qüestions:

1. Què succeiria si es deixessin caure els imants amb la polaritat invertida?

Les gràfiques serien iguals però la fem negativa passaria a positiva i a l'inrevés, com es pot observar en el gràfic.



2. Com variarà el gràfic: a) si s'augmenta la distància entre les bobines; b) si s'augmenta el nombre o la potència dels imants. c) Si s'augmenta el nombre d'espines de la bobina

a) Els primers valors de la primera bobina serien iguals i els corresponents a la segona i tercera més grans. b) Tots els valors serien més grans. c) Tots els valors serien més grans

Ampliació

El cos quan cau cedeix part de la seva energia cinètica al circuit en forma d'energia elèctrica a través del camp magnètic, però com podem observar en el càlcul de l'acceleració, la quantitat d'energia que cedeix al circuit és molt petita, això es degut a la gran impedància del circuit (aquesta impedància és deguda fonamentalment al sensor de voltatge, 250 k Ω). Observarem que l'acceleració resultant és pràcticament la de la gravetat.

Temps de pas entre el centre de la primera i la segona bobina: $t_1 = 167 \text{ ms} = 0,1670 \pm 0,0005 \text{ s}$

Temps de pas entre el centre de la segona i la tercera bobina: $t_2 = 108 \text{ ms} = 0,108 \pm 0,0005 \text{ s}$

$h_1 =$ distància entre les dues primeres bobines $0,400 \pm 0,001 \text{ m}$

$h_2 =$ Distància entre la segona i la tercera bobina $0,400 \pm 0,001 \text{ m}$

El moviment és MRUA:

Podem escriure les següents equacions :

$$h_1 = v_0 \cdot t_1 + \frac{1}{2} a t_1^2$$

$$h_1 + h_2 = v_0 (t_1 + t_2) + \frac{1}{2} a (t_1 + t_2)^2$$

Aïllem v_0 en la primera equació: $v_0 = \frac{h_1}{t_1} - \frac{1}{2} a t_1$ i substituïm en la

segona :

$$h_1 + h_2 = \left(\frac{h_1}{t_1} - \frac{1}{2} a t_1 \right) (t_1 + t_2) + \frac{1}{2} a (t_1 + t_2)^2 =$$

$$h_1 - \frac{1}{2} a t_1 t_2 + \frac{h_1 t_2}{t_1} - \frac{1}{2} a t_1 t_2 + \frac{1}{2} a t_1^2 + \frac{1}{2} a t_2^2 + a t_1 t_2; \text{ simplificant :}$$

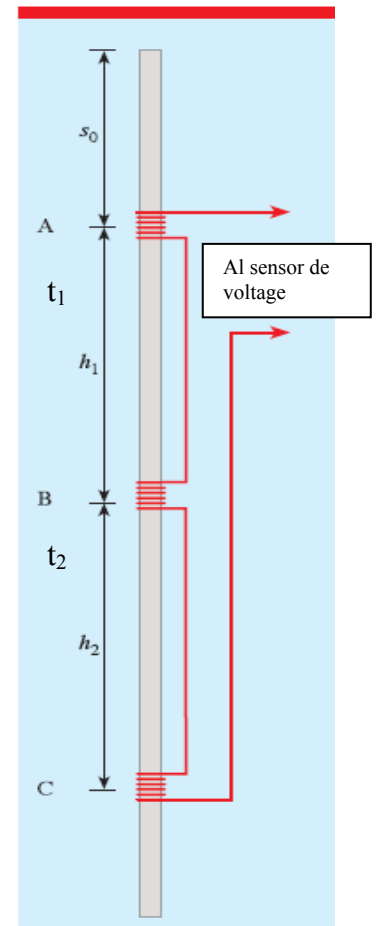
$$h_2 = \frac{h_1 t_2}{t_1} + \frac{1}{2} a t_1 t_2 + \frac{1}{2} a t_2^2; \text{ dividint tot per } t_2 \text{ queda :}$$

$$\frac{h_2}{t_2} = \frac{h_1}{t_1} + \frac{1}{2} a t_1 + \frac{1}{2} a t_2; \text{ queda :}$$

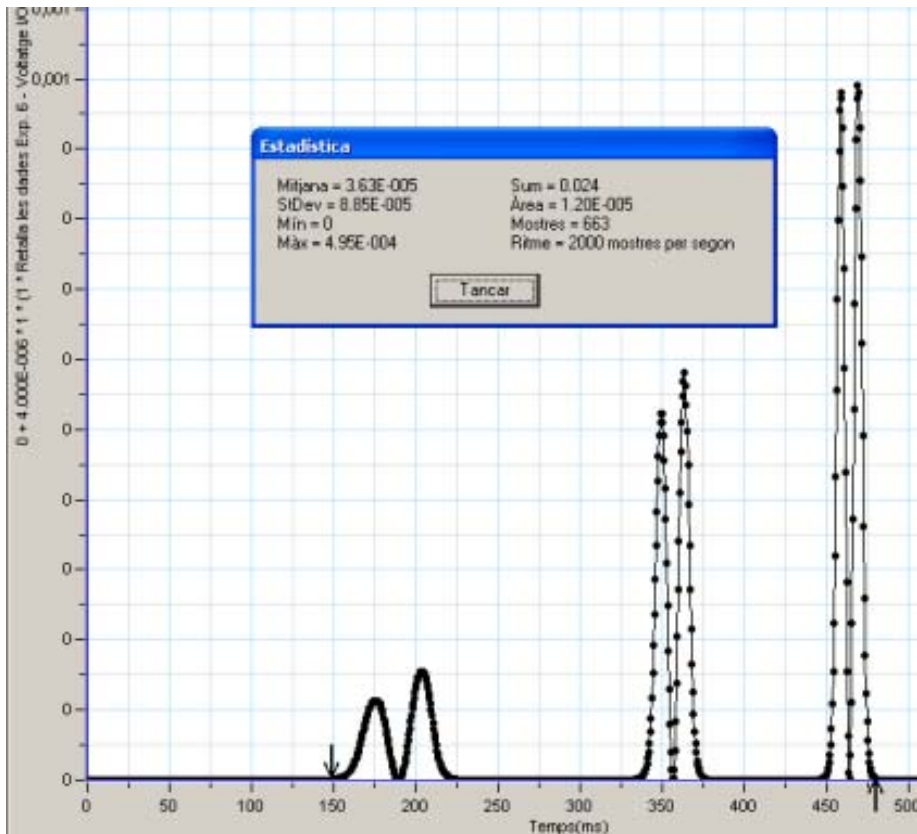
$$a = \frac{2 \left(\frac{h_2}{t_2} - \frac{h_1}{t_1} \right)}{t_1 + t_2}; \text{ Substituïm els valors obtinguts :}$$

$$a = \frac{2 \left(\frac{0,400 \text{ m}}{0,1080 \text{ s}} - \frac{0,400 \text{ m}}{0,1670 \text{ s}} \right)}{0,1670 \text{ s} + 0,1080 \text{ s}} = 9,516 \text{ m/s}^2 = 9,52 \text{ m/s}^2$$

Com es pot observar el valor és molt proper al de la gravetat.



Es podria calcular quina és l'energia que ha passat al circuit, Fent el càlcul de $E = \int_r^t \frac{V^2}{R} dt$; considerant que $R=250000 \Omega$ i la integral es pot calcular a partir d'Anàlisi|Ajudant d'anàlisi| Funcions de Multilab, fent primer V^2 , dividint per R i a partir de l'opció del menú Anàlisi|Estadística, s'obté el valor de l'energia de l'àrea de la gràfica



El valor de l'àrea és de $1,20 \cdot 10^{-5}$ J. L'energia cinètica en una caiguda lliure en el punt més baix, serà igual a l'energia potencial a dalt mgh , si el tub mesura 1 metre i el conjunt d'imants 17,22 g, serà $E = 0,01722 \text{ kg} \cdot 9,8 \text{ m/s}^2 \cdot 1 \text{ m} = 0,169 \text{ J}$. Per tant la fracció que ha passat a energia elèctrica és $\frac{1,20 \cdot 10^{-5}}{0,169} \cdot 100 = 0,007\%$, per tant no s'ha de notar el canvi en l'acceleració de la gravetat.