

Un senzill acceleròmetre que desafia el sentit comú

Victor Grau
www.physics.cat
EPS, Universitat de Vic

Us presentem un senzill muntatge de cost pràcticament nul que us pot servir tant per a l'estudi de la segona llei de Newton com del principi d'Arquímedes o la força centrípeta. També pot ser una bona eina per il·lustrar el principi amb el que funcionen els receptors de l'equilibri que tenim a l'oïda interna, o els sensors emprats en la Wii per a controlar el moviment del jugador.

NIVELL: ESO i batxillerat

OBJECTIU

Construirem un senzill dispositiu que ens permetrà observar qualitativament l'estat d'acceleració d'un sistema així com veure quina és la direcció de l'acceleració.

CONSTRUCCIÓ

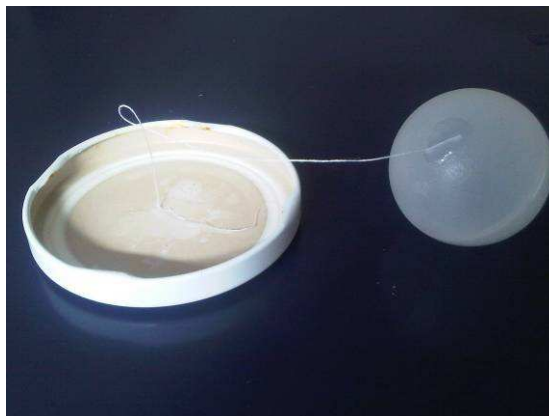
Material

- Un pot de vidre de conserva, és important que tanqui hermèticament
- Una pilota de ping-pong o bé una bola de desodorant roll-on
- Fil de cosir
- Cola

Procés

Tallarem un fil de la longitud adequada per tal que la pilota pengi dins el pot, des de la tapa, sense tocar la base ni les parets.

Un extrem del fil s'encola a la bola i l'altre a la part interior de la tapa, al centre (Imatge 1).



Imatge 1

No totes les coles són adequades per enganxar el fil a la pilota, i aquí és on podeu trobar alguna petita dificultat. Amb el material de que estan fetes algunes boles de desodorant una gota de Cyano pot ser molt adequat, però en general haureu d'emprar una cola del tipus Loctite Super Glue 3, que es troba fàcilment a qualsevol papereria.

Un cop la cola és ben seca ompliu el pot d'aigua i tapeu-lo, vigilant que la tapa no pessigui el fil (Imatge 2).

Ja teniu el vostre acceleròmetre! (Imatge 3).

Si feu servir un recipient de diàmetre gran serà més fàcilment visible la desviació.



Imatge 2

Amb el pot ple d'aigua hi introduïm la bola.



Imatge 3

Acceleròmetre acabat.

FUNCIONAMENT

Si poseu el vostre acceleròmetre sobre la taula i l'empenyeu acceleradament cap a la vostra esquerra veureu com la bola s'inclina cap a... l'esquerra! justament en el sentit de l'acceleració del pot. En el moment que el freneu veureu com la pilota s'inclina cap a la dreta.

Aquest comportament és justament l'invers del que el sentit comú ens diria en un primer moment. Esperaríem que en accelerar el pot cap endavant la bola s'inclinés cap enrere, tal com ens passa a nosaltres quan anem al damunt d'un vehicle que accelera.

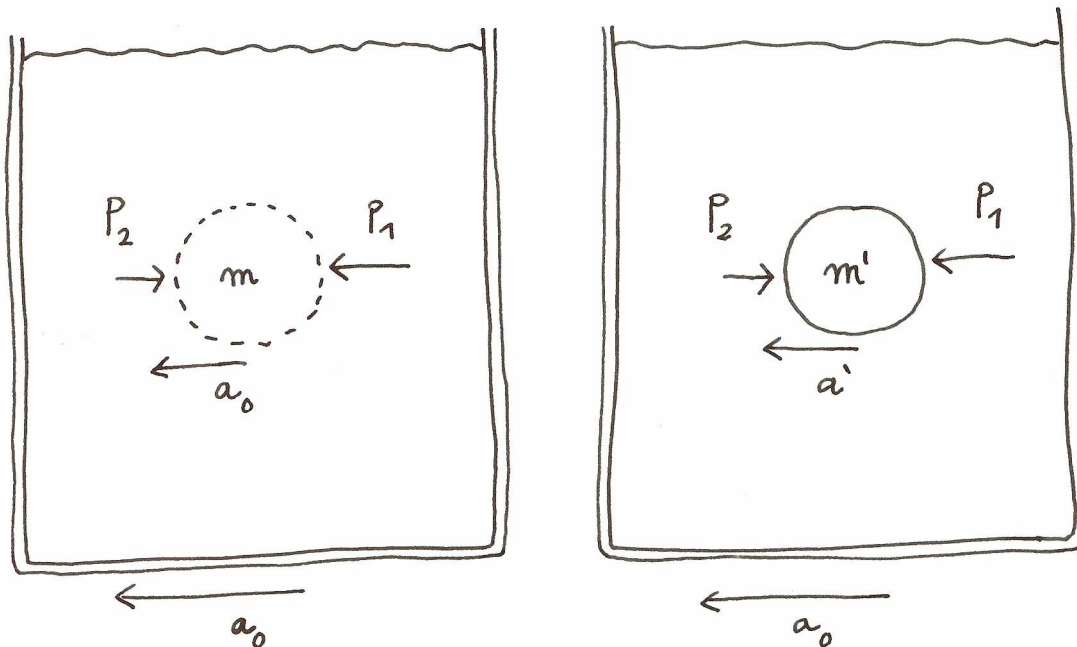
La raó d'aquest funcionament paradoxal resideix en el fet que es tracta d'una bola buida. La inèrcia d'aquesta bola és inferior a la del corresponent volum d'aigua. Això explica que en accelerar tot el pot en una direcció la bola tendeix a ocupar la part del davant, ja que l'aigua, per la seva major inèrcia, tendeix a quedar-se enrere, ocupant l'espai que anteriorment ocupava la bola.

Pensar el seu funcionament en termes de pressió, pot donar-nos una perspectiva molt interessant del fenomen, i ens permet veure'n les analogies amb el principi d'Arquímedes. De fet el mateix argument que ens explica l'empenta d'Arquímedes en una situació estàtica, ens explica el moviment d'aquesta bola, però ara es tracta d'un sistema no inercial. A la imatge 4 en tenim un esquema. Es representa el pot, ple d'aigua, al qual se li dóna una acceleració a_0 cap a l'esquerra.

A la part esquerra hi hem representat amb línia de punts, un volum d'aigua igual al de la pilota. Aquest volum imaginari d'aigua té una massa m i es mou amb la mateixa acceleració que el pot. La distribució de pressions sobre ell és per tant la necessària per a moure's conjuntament amb tota l'aigua del pot, per tant les pressions P_1 i P_2 que actuen sobre aquest volum d'aigua verifiquen: $P_1 - P_2 = m \cdot a_0$

Si ara substituïm aquest volum d'aigua per la pilota del nostre dispositiu, la massa que conté serà diferent, m' , però com que la distribució de pressions dins l'aigua és la que anteriorment hem comentat, ara l'acceleració de la bola serà diferent: a' , i depenent del valor de la seva massa la bola s'accelerarà en el mateix sentit o en sentit contrari a a_0 :

$$P_1 - P_2 = m' \cdot a'$$



Imatge 4

Esquerra: volum d'aigua de massa m sotmès a una diferència de pressions que el mouen amb la mateixa acceleració que la resta de volum d'aigua del pot.
Dreta: pilota de massa m' sotmesa a la mateixa distribució de pressions que li proporcionen una acceleració diferent.

ESTUDI DEL COMPORTAMENT DE L'ACCELERÒMETRE

Aquest senzill dispositiu pot ser d'interès per a fer reflexionar a l'alumnat.

El moviment aparentment anòmal de la bola pot ser el primer motiu d'anàlisi, demanant a l'alumnat que construeixi un model per explicar aquest comportament.

Pot ser interessant completar l'experiència fent un segon acceleròmetre que respongui segons "l'esperat", és a dir, desviant la bola en sentit contrari a l'acceleració, i fent comparar a l'alumnat el comportament de cadascun d'ells.

Aquest segon acceleròmetre el podem aconseguir de dos maneres: canviant la bola o canviant el fluid.

- Canviant el fluid: si deixem que la bola pengi sense omplir el pot d'aigua (ara el fluid és l'aire), el comportament de la bola serà l'esperat: es desviarà en sentit contrari al de l'acceleració.
- Canviant la bola: podem aconseguir el mateix efecte amb el dispositiu ple d'aigua però amb una bola que no suri, per exemple penjant-hi una bola de goma massissa.

És un bon exercici proporcionar els dos dispositius a cada grup d'alumnes i fer-los comparar el comportament de cadascun d'ells.

Perquè la bola que sura es desplaça en el mateix sentit que l'acceleració?

I perquè la bola que no sura es desplaça en sentit contrari al de l'acceleració?

*És aquest darrer cas equivalent al de la bola que penja dins del pot sense aigua?
Perquè?*

Hi ha una variant molt més espectacular d'aquesta experiència però no a l'abast de tothom, ja que necessitareu una furgoneta tancada i globus inflats amb heli. Es tracta d'inflar la meitat de globus amb aire i l'altra meitat amb heli. Pengeu del sostre de la furgoneta els globus inflats amb aire, i subjecteu del terra de la furgoneta els que heu inflat amb heli. Aquests darrers pugen, mentre que els primers pengen del sostre. Si la furgoneta accelera cap a endavant, cap a on s'inclinaran els globus? Us deixem la resposta per a vosaltres...

POSSIBLES EXPERIÈNCIES AMB L'ACCELERÒMETRE

Moviment lineal.

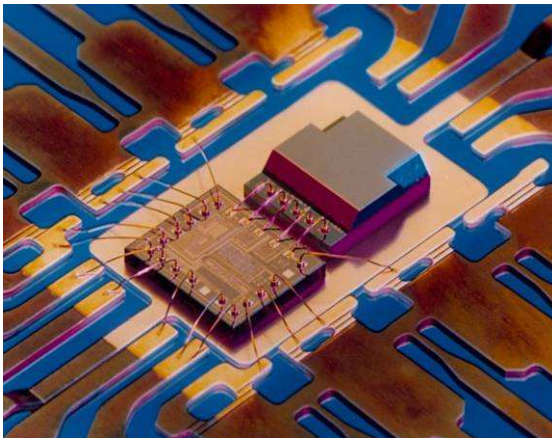
- Accelereu el dispositiu sobre una taula i observeu el comportament.
- Camineu amb l'acceleròmetre a velocitat constant, i també accelerant i frenant.
- Si feu servir una bola petita podeu intentar incorporar una escala graduada a l'interior per a mesurar-ne la inclinació, i deduir d'aquí un valor aproximat per a l'acceleració.
- Construïu dos dispositius d'igual longitud de fil però amb boles de massa ben diferent, i sense omplir el pot d'aigua, accelereu-los tots dos alhora. Quin dels dos es desvia més? Pot servir per il·lustrar el problema que es planteja a l'alumnat de 1r de Batxillerat, i que consisteix a trobar la inclinació d'un pèndol que penja del sostre d'un vehicle que es mou acceleradament.

Moviment circular.

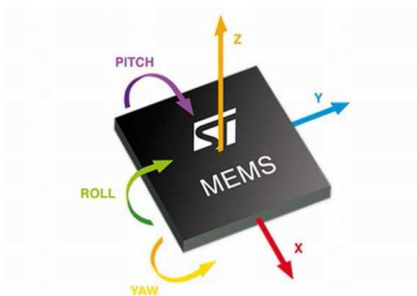
- Agafeu l'acceleròmetre amb les dos mans i observeu-lo mentre gireu sobre vosaltres mateixos. Com preveieu que es desviarà la bola? Compareu les vostres previsions amb allò que observeu.
- Subjectant l'acceleròmetre correu descrivint una trajectòria circular. Observeu i expliqueu el desviament de la bola.

Moviment lineal vertical.

- Es desviarà l'acceleròmetre si us situeu amb ell dalt d'un ascensor que engega?
- I si l'ascensor cau acceleradament?
- Imagineu-vos que esteu dins d'un ascensor en caiguda lliure amb l'acceleròmetre. Si en aquestes condicions l'accelereu horitzontalment (per exemple sobre una taula) , com penseu que respondrà l'acceleròmetre?

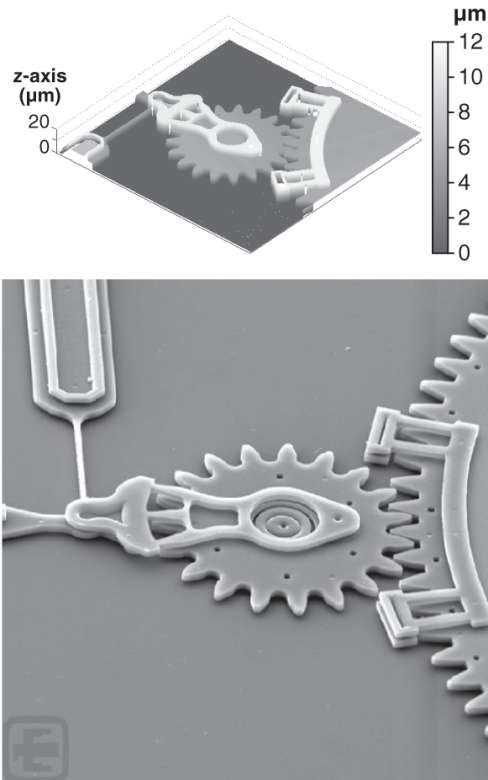
RELACIÓ AMB ALTRES DISPOSITIUS

En els mandos de la Wii hi ha xips com aquest de la fotografia, dins del qual es troben dispositius capaços de mesurar les més insignificants acceleracions, però en lloc d'una massa gran com la que hem fet servir nosaltres, utilitzen molècules de gas i sensors MEMS (Micro Electro Mechanical Systems), que eliminen les estructures mecàniques mòbils de l'interior de l'acceleròmetre. La grandària d'un dispositiu MEM s'estén generalment des d'alguns micròmetres fins a un mil·límetre, mentre que els components individuals que el formen poden ser d'entre 1 i 100 micròmetres.



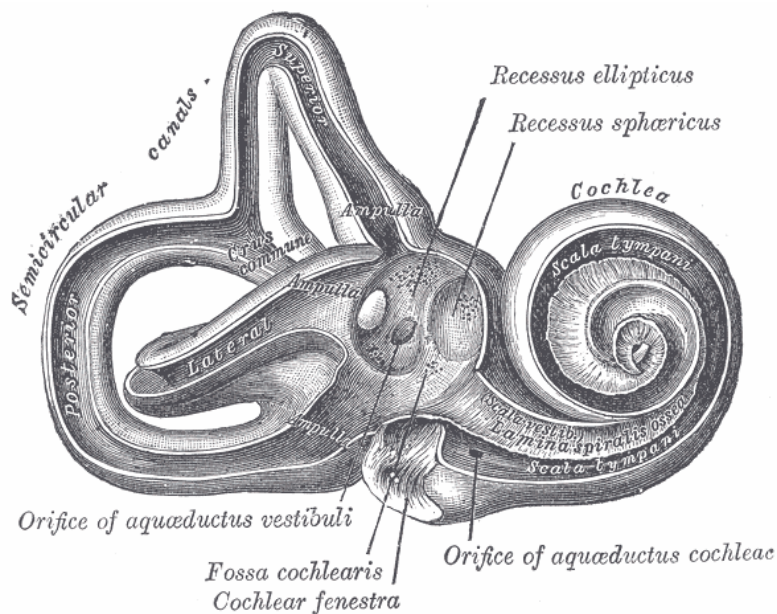
Imatges 5 i 6
Acceleròmetre MEM

Aquests mateixos dispositius són també els que permeten que el iPhone canviï l'orientació d'una imatge en girar-lo.



Imatge 7
Microfotografia de part
del mecanisme d'un
acceleròmetre

A l'oïda intern, dins els canals semicirculars, unes cèl·lules especialitzades s'encarreguen de proporcionar al cervell la informació sobre la posició i moviments del cap. De la mateixa manera que a l'acceleròmetre que hem construït, aquestes cèl·lules es mouen en resposta a les acceleracions del nostre cos.



Imatge 8
Esquema de l'oïda intern