

La dansa de l'acceleració



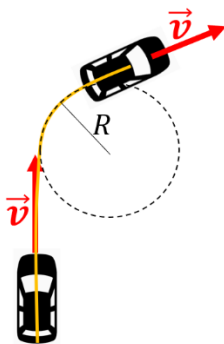
Salts, voltes, piruetes, moviment. Quietud. La dansa ens expressa sentiments amb el moviment. Una sacsejada ens fa veure l'enuig de la ballarina. Uns moviments suaus fan que els nostres ulls acompanyin al ballarí en la seva tranquil·la felicitat. Però també podem veure la dansa amb altres ulls.

Podem veure les lleis de Newton, acceleracions de peus i cames que puguen per saltar, girs que es fan més ràpids per conservar el moment angular...

Les dues mirades són complementàries i s'enriqueixen mútuament, i avui veureu i viureu ambdues!

Una mica de teoria

Teniu alguna idea de l'acceleració màxima que podeu aconseguir movent el vostre cos? És comparable a l'acceleració d'un astronauta en un coet? A la d'un cotxe que accelera? O és molt més petita que tot això?



Totes i tots sabem quina és la definició de l'acceleració: el canvi de la velocitat dividit pel temps que hem trigat a fer aquell canvi. Tothom associarà aquests canvis només a un canvi en la rapidesa del moviment... però hi ha una altra forma d'accelerar. En física la velocitat és un vector. Això vol dir que no només indica com de ràpid es mou un objecte: també ens indica la seva direcció! Per tant accelerar pot estar relacionat també amb un canvi de direcció!

Dividirem, doncs, l'acceleració en dos parts: la que fa anar més de pressa o més lent i la que fa canviar la trajectòria:

- L'acceleració que *només* fa anar més ràpidament ha de ser paral·lela al vector velocitat... en cas contrari el faria canviar també de direcció! A més el vector velocitat és tangent a la trajectòria. Per tant a l'acceleració responsable del canvi de rapidesa l'anomenarem **acceleració tangencial**.
- L'acceleració que *només* fa canviar la direcció ha de ser perpendicular al vector velocitat. Si no també faria canviar la seva "longitud", és a dir, el seu mòdul. Aquesta acceleració s'hauria de dir acceleració perpendicular... però resulta

que, per complicar les coses, els físics hem escollit un sinònim de perpendicular: normal¹. Per tant a aquesta acceleració se li diu **acceleració normal**.

*Si no heu vist acceleració normal i tangencial a classe no hi ha cap problema!
L'acceleració que anomenem "tangencial" és senzillament el que coneixeu com a "acceleració" del MRUA. Aquí us ho explicarem tot... saber més del compte no fa mal!*

En un moviment rectilini l'única acceleració que té sentit és l'acceleració tangencial. L'acceleració normal sempre serà zero. Si el moviment rectilini és accelerat, la relació entre la velocitat i la posició amb l'acceleració la coneixeu bé:

$$v = v_0 + at$$

$$x = x_0 + v_0t + \frac{1}{2}at^2$$

Essent v_0 i x_0 les velocitats i posicions inicials d'un objecte.

En un moviment circular uniforme l'única acceleració que actua és l'acceleració normal. L'acceleració tangencial és zero perquè el moviment és uniforme i el cos dona voltes sempre amb la mateixa rapidesa. Imaginem ara que volem agafar un revolt amb un cotxe amb una rapidesa constant... Com més gran sigui la velocitat, o més tancada sigui la corba, més força de fregament entre rodes i carretera necessitarem per no derrapar. De fet, podem calcular exactament² quant val l'acceleració normal que és proporcional a la força de fregament que impedeix un accident:

$$a_n = \frac{v^2}{R}$$

On v és el mòdul de la velocitat, i R és el radi de la corba (veieu el dibuix en la pàgina anterior!).

¹ La culpa la tenen els romans ☺. A una casa, les parets ben fetes han de ser perfectament perpendiculars. Per comprovar-ho, a l'antiga Roma s'utilitzava un estrió anomenat "norma", el que ara anomenaríem un escaire...

² Quan diem que ho podeu fer, volem dir realment que *ho podeu fer!* Preneu la posició del cos en coordenades cartesianes expressades en funció del radi i de la velocitat angular $\vec{r} = R \cos(\omega t)\vec{i} + R \sin(\omega t)\vec{j}$ feu dues derivades per trobar l'acceleració i després feu el seu mòdul, i aquí tenim l'acceleració normal (com que el moviment és uniforme tota l'acceleració serà normal).

El nostre experiment

L'objectiu del nostre experiment és mesurar les acceleracions que pot patir el nostre cos. La nostra activitat està dividida en tres parts, i cada part es fa en una zona diferent:

- **Zona de mesura:** en aquesta primera part us proposarem realitzar dos experiments senzills per tal de mesurar les acceleracions que podeu aconseguir amb el vostre cos (necessitareu un telèfon mòbil per grup com a mínim!). En aquesta zona també estarem “fent cua” per tal d'accedir a la zona de dansa.
- **Zona de dansa:** experimentareu i veureu en acció l'acceleració gràcies al grup de dansa contemporània *Equid'art*. Gaudiu i balleu!
- **Zona de càlcul:** farem un parell de càlculs amb les acceleracions que hem mesurat... i sabrem si el nostre cos es pot accelerar com la *Soyuz* en el seu viatge cap a l'estació espacial.

En aquest guió us expliquem el que cal fer en la zona de mesura i en la zona de càlcul, el que fareu en la zona de dansa és una sorpresa !!!!!

Mesurem!

Abans de començar agafeu el vostre mòbil i, si no ho heu fet abans,



baixeu l'app Arduino Science Journal. Toqueu ara la icona per començar a experimentar. El primer pas per mesurar serà afegir un experiment, el segon afegir una mesura, i el tercer gravar els nostres resultats. És molt convenient “jugar” amb aquesta app **abans** de venir al Fòrum!

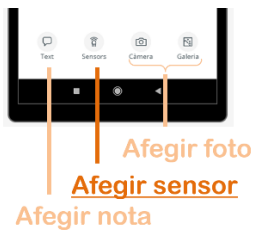
1.- Afegim un experiment



Science Journal és el més semblant a un diari de laboratori que utilitzem els i les recercaires. En un experiment podrem tenir anotacions, fotos i mesures.

El primer que farem, per tant, serà crear un experiment on guardarem les mesures que fem. Per fer això un cop hem obert l'app, pitjarem el botó amb el signe +.

2.- Mesurem



Ja tenim obert el nostre diari de laboratori per la primera pàgina, i la pantalla que veiem és la de la figura. El primer que ens apareix és un menú que ens indica si volem afegir una observació, un sensor o fer/carregar una foto. Nosaltres escollirem afegir un sensor:



Un cop hem obert el menú dels sensors veiem que el mòbil comença a mesurar. El primer sensor que es veu a la pantalla és un detector de llum: podeu mirar què passa posant i treient la mà del telèfon mòbil. Pel nostre experiment, però, cal escollir un altre sensor, l'acceleració lineal.



Quan estiguem preparades només caldrà pitjar el botó de gravar i començarem la nostra primera mesura. Per aturar, pitgem el mateix botó, que ara tindrà forma de quadrat.

3.- Analitzem



Per fer una primera anàlisi de l'experiment podem desplaçar el cursor amb forma rodona per la mesura. En una petita finestra ens indicarà a l'esquerra el temps, i a la dreta la mesura de l'acceleració.

També podem amb dos dits augmentar o disminuir la regió en què volem fer l'anàlisi, si volem veure algun detall de la mesura.

Per exportar l'experiment cal pitjar al menú indicat amb tres punts al marge superior dret. S'obrirà un diàleg. Hem de seleccionar l'opció de compartir. Ara només ens cal escollir de quina forma volem exportar l'experiment: el podem enviar per *Whatsapp*, gravar-lo al nostre drive, exportar-lo per mail...

Fem els experiments! Us proposem fer dos experiments, un relacionat amb la mesura de l'acceleració tangencial, i un altre relacionat amb l'acceleració normal:

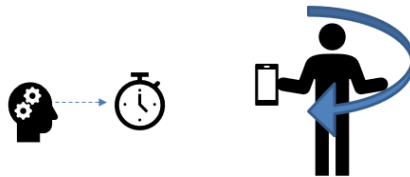
Experiment 1 (acceleració tangencial)

- Agafeu el telèfon i enganxeu-lo al cos. Podeu agafar-lo fermament amb una mà i enganxar-lo al pit, per exemple.
- Ara encongiu les cames i salteu amb tota la vostra energia cap a dalt.
- Un cop heu caigut a terra aturarem l'acceleròmetre del telèfon.

Ara recupereu la mesura i anoteu l'acceleració màxima del vostre cos en la taula que trobareu a l'apartat "Analitzem". Feu quatre salts per tal de tenir una millor estadística.

Experiment 2 (acceleració normal)

Per aquest experiment necessiteu dues persones: una donarà voltes amb un mòbil a la mà, i l'altra cronometrarà el temps que triga a fer tres voltes.



La persona que gira:

- Agafeu el mòbil amb una mà.
- Estireu el braç i mesureu-lo amb els metres que trobareu a la zona de mesura. Escriviu aquesta longitud a la taula que trobareu al següent apartat.
- Comenceu a gravar.
- Estireu el braç i comenceu a donar voltes amb velocitat (angular) constant.
- Intenteu mantenir el telèfon sempre en la mateixa posició i no mogueu gaire els braços.
- Quan us ho digui la persona que cronometra pareu de donar voltes.
- Pareu la gravació.

La persona que cronometra:

- Abans de cronometrar deixeu que la persona que gira estabilitzi una mica el seu moviment.
- Comenceu a gravar quan veieu passar el telèfon mòbil per davant vostre.
- Conteu tres voltes.
- Pareu el cronòmetre després de la tercera volta.
- Apunteu el valor del temps a la taula que trobareu a l'apartat "Analitzeu".

Un cop fets els experiments podeu anar a la zona de dansa si ja us toca el torn.

Analitzem!

Ja heu sortit de la zona de dansa, fent allò que heu fet a la zona de dansa (no desvelarem el secret en aquest dossier 😊)!

Experiment 1 (acceleració tangencial)

Anoteu els valors que heu obtingut dels vostres quatre salts

	Salt 1	Salt 2	Salt 3	Salt 4	Mitjana $\frac{m}{s^2}$	Mitjana Unitats "g"
acceleració màxima $\frac{m}{s^2}$						

Un cotxe de carreres pot accelerar de $0 \frac{km}{h}$ a $100 \frac{km}{h}$ en només 3s. Compareu la vostra acceleració amb la d'un cotxe esportiu.

Per altra banda, podeu comparar l'acceleració obtinguda amb la què patiu en caiguda lliure degut a la gravetat. Per fer això dividiu el valor que heu obtingut per $g = 9,8 \frac{m}{s^2}$. Podeu comparar aquesta acceleració amb la què pateixen els astronautes a la Soyuz: 3g.

Experiment 2 (acceleració normal)

Per tal de calcular la velocitat en girar penseu que recorreu una longitud $2\pi L$ en fer una volta sencera, essent L la longitud del braç.

Acceleració normal mesurada $\frac{m}{s^2}$		Temps en fer 3 voltes (s)	Temps en fer una volta (s)	Longitud del braç (m)	Velocitat en girar $\frac{m}{s}$	Acceleració normal calculada $\frac{m}{s^2}$

Obteniu els mateixos valors per l'acceleració normal mesurada amb el telèfon mòbil i la calculada?

Vull saber més!

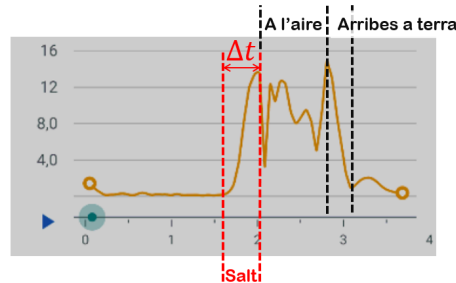
... amb quina velocitat inicial hem saltat (aproximadament)?



Per fer el salt, tant nosaltres com les ballarines i els ballarins ens hem accelerat (en contra de la gravetat) fins que els nostres peus han deixat d'estar en contacte amb el terra. En aquest moment hem fet un moviment rectilini uniformement accelerat en què només ens afecta la gravetat. Calculem ara quina és la velocitat *aproximada* amb la qual ens desenganxem del terra.

Hem mesurat l'acceleració màxima. Podem fer ara una aproximació de l'acceleració mitjana dividint aquest valor entre dos. L'anomenarem, senzillament a .

Per altra banda podem calcular, també *aproximadament*, quant de temps hem trigat a accelerar. El moment en el qual comença el salt és quan l'acceleració deixa de ser zero... i aquesta acceleració augmenta fins que deixeu d'estar en contacte amb el terra. Aquesta part l'hem marcat com a "salt". Fixeu-vos que a l'aire (on hauríem de tenir acceleració de la gravetat $g = 9,8 \frac{m}{s^2}$ tenim pics deguts a moviment involuntaris per mantenir l'equilibri³. Per últim tornem a caure a terra i la nostra acceleració serà nul·la.



Ara podeu calcular la velocitat amb què salteu a partir de l'equació $v = a \cdot \Delta t$

... a quina alçada hem saltat (aproximadament)?

Sabem quina és la velocitat amb què hem saltat cap amunt de l'apartat anterior. Ara només ens cal utilitzar que al punt més alt del vostre salt la velocitat és zero, i per tant, el temps que triguem a arribar al punt de màxima alçada serà:

$$0 = v_0 - gt_{salt} \rightarrow t_{salt} = \frac{v_0}{g}$$

Un cop amb aquesta dada, podem calcular molt fàcilment l'alçada màxima del salt a partir de:

³ Recordeu que l'app mesura el mòdul de l'acceleració!

$$h_{max} = v_0 - \frac{1}{2}gt^2$$

... per cert. A la gràfica de l'acceleració que hem obtingut amb el mòbil també veiem el moment en què toquem a terra: quan l'acceleració torna a ser zero. El temps de salt que heu calculat és aproximadament el mateix que el que podeu mesurar amb el mòbil? (recordeu que t_{salt} és el temps només de pujada. En pujar i baixar heu trigat el doble).