

# 01. Carrousel Normal. DINÀMICA.

FISIDABO



## CONCEPTES

Moviment circular uniforme.  
Acceleració normal.



## CONEIXEMENTS PREVIS

Mesura de temps.  
Mesura de distàncies amb foto.  
Mesura d'angles.



## MATERIAL

Cronòmetre  
Inclinòmetre.  
Cinta mètrica.



## APPS & MÒBIL

No és imprescindible.  
Es pot fer servir el cronòmetre del mòbil i l'acceleròmetre.

## Donar voltes o seguir recte

Pugem al Carrousel... i tota la diversió es basa en anar contra la llei d'inèrcia de Newton. Sense forces, tots els moviments serien lineals. Al Carrousel, i en moltes altres situacions, és evident que donem voltes. Per tant alguna força més o menys amagada ens està fent girar. Amb aquest experiment estudiarem aquesta força!

Donar voltes significa canviar el sentit el desplaçament contínuament... o en termes matemàtics, canviar la direcció del vector velocitat. La llei d'inèrcia de Newton ens diu que no hi ha forma de fer això sense aplicar una força. Això vol dir que, per tal de descriure un moviment circular, encara que sigui uniforme, cal que hi actuï una acceleració en tot moment. L'acceleració responsable del canvi de direcció d'un objecte s'anomena **acceleració normal** i és perpendicular en tot moment a la direcció amb la qual avancem. Dit d'una altra forma: **els vectors velocitat i acceleració normal són perpendiculars**. Sempre. A més, podem demostrar que el valor numèric d'aquesta acceleració es pot calcular amb la següent equació:

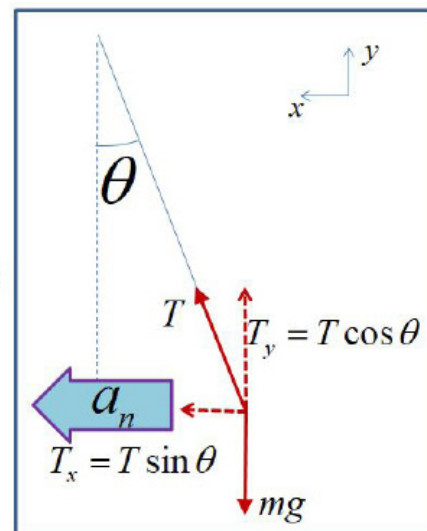
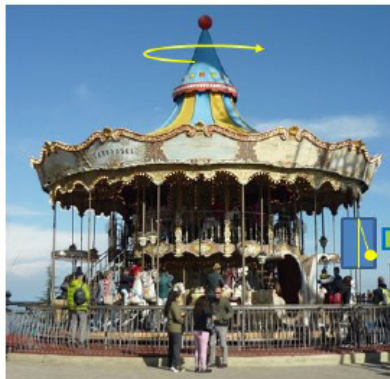
$$a_n = \frac{v^2}{R}$$

$a_n$  és l'acceleració normal.

$v$  és la velocitat lineal de l'objecte.

$R$  és el radi de la trajectòria que descriu.

Suposem ara que pengem un pèndol del sostre del Carrousel del Tibidabo. Sobre el pèndol només hi actuaran dues forces. Per una banda la gravetat, que faria que el pèndol caigués cap avall, i d'una altra banda la tensió del fil. La tensió aconseguirà dues coses: la primera que el pèndol no caigui, i la segona que el pèndol giri. El pèndol estarà afectat per l'acceleració normal perquè està donant voltes. Si fem un dibuix amb totes les forces i l'acceleració obtenim el següent:



Si ara escrivim les equacions de Newton en els eixos  $x$  i  $y$  (tal com estan indicats a la figura) obtenim el següent:

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{eix } x: T \sin \theta = m a_n = m \frac{V^2}{R} \\ \text{eix } y: T \cos \theta - m g = 0 \end{array} \right.$$

$T$  és la tensió de la corda.  
 $\theta$  és l'angle que forma la corda amb la vertical.  
 $g$  és l'acceleració de la gravetat

Si ara aïllem els termes amb les tensions i dividim les dues equacions, aconseguim eliminar la tensió, i obtenim: (vegeu el quadre de la dreta). Per tant, mesurant l'angle  $\theta$  de desplaçament del pèndol i el radi podem esbrinar la velocitat angular de l'atracció.

$$\operatorname{tg} \theta = \frac{V^2}{R g} = \frac{\omega^2 R}{g}$$

## EXPERIMENTA!

### Què farem?

Abans de res, a fora de l'atracció, mesurarem el seu radi i la seva velocitat. Després pujarem al Carrousel. Un cop a dintre mesurarem com es desvia el pèndol de la vertical... i notarem la força que ens fa girar, i la mesurarem!

### E1: MESURA DIRECTA DEL RADI DE L'ATRACCIÓ

#### *Fora de l'atracció* (Ídem 02-E1)

1. Per mesurar el radi a partir d'una fotografia, un alumne pujarà a l'atracció amb una barra d'un metre i la sostindrà en sentit horitzontal. Això ho fem per tenir una referència per poder mesurar amb la foto del mòbil.
2. Des d'un punt llunyà farem una foto en què es vegi la barra, i tota l'amplada del Carrousel.
3. Ara podem utilitzar l'aplicació ImageMeter per tal de mesurar el radi de l'atracció. També ho podem fer sense l'ImageMeter del mòbil, tal i com descrivim a la tècnica "mesura de distàncies". A aquesta mesura l'anomenarem  $R_{\text{foto}}$ .

$$R_{\text{foto}} = \quad \text{m}$$

**EXPERIMENTA!****E2: MESURA DIRECTA DE LA VELOCITAT ANGULAR***Fora de l'atracció*

1. Primer farem una mesura prèvia: comptarem quantes voltes fa el Carrousel en total des que es posa en marxa fins que s'atura. Anotem aquest valor.

$N =$                   Voltes

2. Per fer l'experiment prendrem un punt de referència com per exemple un cavallet de l'atracció.

3. Esperem fins que l'atracció hagi donat la meitat de voltes aproximadament per tal d'assegurar-nos que tenim un moviment circular uniforme i que no està accelerat tangencialment.

4. Mesurarem ara el temps que tarda a fer una volta amb el cronòmetre. Agafarem el punt de referència que hem determinat per poder afirmar que ha fet una volta completa. Anomenarem a aquesta mesura  $T$ .

$T =$                   s

**E3: MESURA INDIRECTA DE LA VELOCITAT ANGULAR AMB UN PÈNDOL***Dins de l'atracció*

1. Prenem l'inclinòmetre que hem construït a classe (vegeu tècnica "mesura de distàncies").

2. Recolzeu l'inclinòmetre a alguna part del perímetre de l'estructura de l'atracció per tal que no es mogui durant l'atracció. Ens hem d'assegurar de col·locar l'inclinòmetre de tal manera que l'eix horitzontal del transportador d'angles sigui paral·lel al radi de l'atracció i que quan estem en repòs el pèndol marqui  $90^\circ$ .

3. En posar-se en marxa l'atracció veurem que el pèndol es desvia cap enfora. Espereu a que aquesta inclinació sigui màxima i anoteu el valor de l'angle  $\theta$ .

$\theta =$                   °

## QÜESTIONS?

1. Calculem a velocitat angular a partir del període calculat a l'experiment E2.

$$\omega = \frac{2\pi}{T} = \quad \text{rad/s}$$

2. Calculem la velocitat angular a partir del valor de l'angle que hem mesurat en l'experiment E3.

$$\omega = \sqrt{\frac{g \operatorname{tg} \theta}{R}} = \quad \text{rad/s}$$

3. Comparem la velocitat que hem obtingut a partir de la mesura de l'angle de desviament del pèndol (experiment E3) amb el que hem obtingut en l'experiment E2 amb una mesura directa. Són compatibles les dues mesures?

4. Quina és la velocitat lineal en un punt de l'extrem del Carrousel?

$$v = \omega \cdot R = \quad \text{m/s}$$

## +A L'AULA!

- A partir dels valors de  $\omega$ ,  $R$  i  $\theta$  experimentals (experiments E1, E2 i E3) obtinguem el valor per la gravetat. És aquest valor similar al valor de  $g = 9,81 \text{ m/s}^2$ ?
- Un cop sabem el radi de l'atracció i de la velocitat angular, podem calcular quin seria el desviament del pèndol per a cada valor del radi. Calculem quant es desviarà si estem just al centre de l'atracció i a una distància igual a  $R/2$ . Si vols, pots tornar a pujar a l'atracció per comprovar que la teva predicció és correcta.
- Fem una gràfica de l'angle de desviament del pèndol en funció de la velocitat angular de l'atracció. És possible que el pèndol arribi a estar paral·lel al terra per a alguna velocitat? (és a dir que l'angle  $\theta$  sigui de  $90^\circ$ ).
- Tenint en compte que la velocitat màxima a la qual es pot viatjar és la de la llum, calculem quin seria l'angle de desviament si la velocitat d'un punt extern del Carrousel fos la de la llum ( $v_{\text{llum}} = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$ ).
- Fem una gràfica de l'angle de desviament en funció del radi.
- Com abans, calculem quin hauria de ser el radi del Carrousel si volguéssim que el pèndol estigués paral·lel al terra.

*"I didn't want to just know names of things.  
I remember really wanting to know how it all worked." Elizabeth Blackburn.*