



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 i 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 desafiar la llei d'inèrcia de Newton. Sense forces, tots els moviments serien lineals. Però al Carrusel, com en moltes altres situacions, observem clarament que giram. Això significa que hi ha una força, més o menys amagada, que ens fa girar. Amb aquest experiment, analitzarem aquesta força!

Donar voltes significa canviar el sentit del 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. Així doncs, per mantenir un moviment circular, encara que sigui uniforme, és imprescindible que hi actuï una acceleració constant, que dirigeixi l'objecte cap al centre de la trajectòria 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 descrita.

Suposem ara que pengem un pèndol del sostre del Carrousel del Tibidabo. Aquest pèndol està sotmès a dues forces principals. D'una banda, la força de la gravetat, que tendeix a fer-lo caure cap avall, i de l'altra, la tensió del fil que el sosté. Aquesta tensió compleix dues funcions: impedir que el pèndol caigui i, alhora, forçar-lo a girar. 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 escrivim les equacions de Newton en els eixos x i y (tal com estan indicats a la figura) obtenim el següent:

$$\begin{cases} \text{eix } x: T \sin\theta = m a_n = m v^2/R \\ \text{eix } y: T \cos\theta - mg = 0 \end{cases}$$

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

A continuació, si dividim les dues equacions, aconseguim eliminar la tensió, obtenint així l'expressió:

$$\tan\theta = \frac{v^2}{Rg} = \frac{\omega^2 R}{g}$$

On s'ha utilitzat la relació $v = \omega R$.

Per tant, mesurant l'angle θ de desplaçament del pèndol i el radi podem esbrinar la velocitat angular de l'atracció.

EXPERIMENTA!

Què farem?

Abans de començar, a fora de l'atracció, mesurarem el radi i la velocitat de l'atracció. Un cop tinguem aquestes dades, pujarem al carrusel. Quan estiguem dins, observarem el desplaçament del pèndol respecte a la vertical per mesurar-ne l'angle. A més, notarem la força centrípeta que ens fa girar, i la mesurarem!

E1: MESURA DIRECTA DEL RADI DE L'ATRACCIÓ

FORA DE L'ATRACCIÓ

1. Per a 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. Aquesta barra actua com a escala de referència, permetent calcular el radi de manera precisa a partir de la imatge capturada amb el 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 es descriu a la tècnica "mesura de distàncies". A aquesta mesura l'anomenarem R_{foto} .

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

EXPERIMENTA!**E2: MESURA DEL PERÍODE****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 fix que es troba instal·lat a l'atracció com, per exemple, un cavallet.

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 triga a fer una volta completa utilitzant el cronòmetre. Per a garantir que l'atracció ha fet una volta completa, ens guiarem pel punt de referència establert prèviament. Anomenarem a aquesta mesura T.

$T =$ s

E3: MESURA DE L'ANGLE**DINS DE L'ATRACCIÓ**

1. Prenem l'inclinòmetre que hem construït a classe (consulteu la 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° .

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 θ .

$\theta =$ $^\circ$

QÜESTIONS ?

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

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

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

$$\omega = \sqrt{\frac{g \tan(\theta)}{R}} = \frac{rad}{s}$$

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?

$$v = \omega \cdot R = \frac{m}{s}$$

+ A L'AULA!

1. A partir dels valors de ω , R i θ experimentals (experiments E1, E2 i E3) obtinguem el valor de la gravetat. És aquest valor similar al valor de $g = 9,81 \text{ m/s}^2$?
2. Un cop sabem el radi de l'atracció i 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 $R/2$.
3. 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 θ sigui de 90°).
4. 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 ($v_{\text{lum}} = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$).
5. Fem una gràfica de l'angle de desviament en funció del radi.
6. Com abans, calculem quin hauria de ser el radi del Carrousel si volguéssim que el pèndol estigués paral·lel al terra.