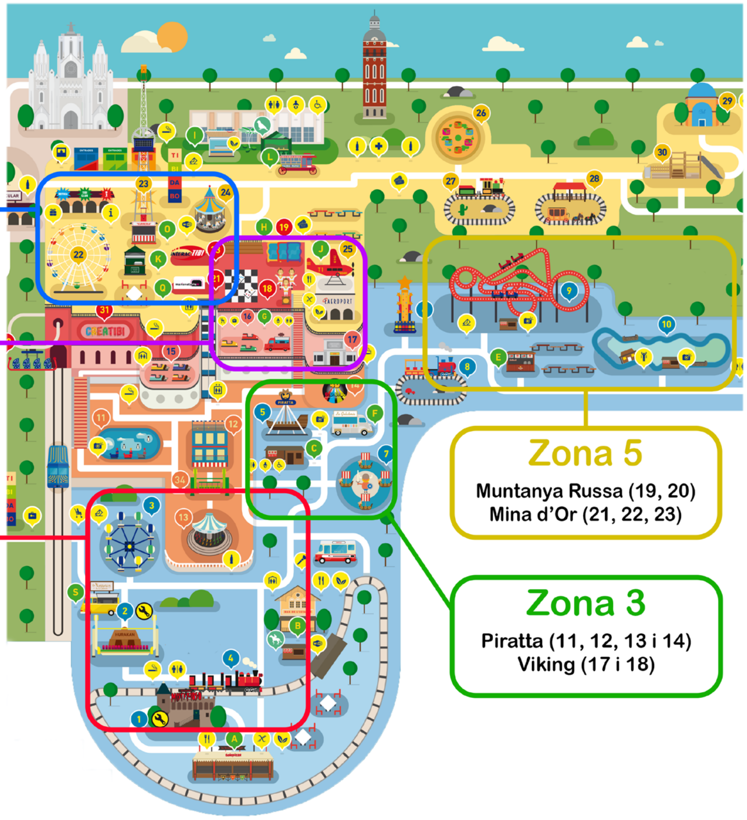
FISIDABO

Dossiers Batxillerat

Mapa Fisidabo



Zona 1
Carrousel (1, 2)
Giradabo (3, 4)

Zona 2
Miramiralls (5)
Crash Cars (6,7 i 8)

Zona 4
Tibidabo Express (9 i 10)
Diavolo (15 i 16)
Hurakan (24)

Zona 5
Muntanya Russa (19, 20)
Mina d'Or (21, 22, 23)

Zona 3
Piratta (11, 12, 13 i 14)
Viking (17 i 18)

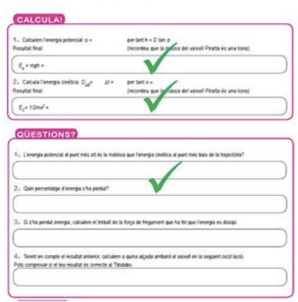
Dossiers:

1. Carrousel Normal Btx
2. Carrousel Circular 4t ESO
3. Giradabo Normal Btx
4. Giradabo Circular 4t ESO
5. Miramiralls Focals Btx
6. Crash Cars Rectilini 4t ESO
7. Crash Cars amb Força 4t ESO
8. Crash Cars amb Moments Btx
9. Tibidabo Express Rectilini 4t ESO
10. Tibidabo Express Normal Btx
11. Piratta Normal Btx
12. Piratta Pèndol Btx
13. Piratta Energia 4t ESO
14. Piratta Circular Btx
15. Diavolo Normal Btx
16. Diavolo Pèndol Btx
17. Viking Circular 4t ESO
18. Viking Normal Btx
19. Muntanya Russa Acceleració Btx
20. Muntanya Russa Energia 4t ESO
21. Mina d'Or Energia 4t ESO
22. Mina d'Or Rectilini Btx
23. Mina d'Or Força 4t ESO
24. Hurakan Circular Btx

Instruccions:

1.- fes un experiment de la zona que et toca

2.- fes els càlculs del dossier



Demana ajuda als voluntaris

3.- canvia de zona per fer el següent experiment

MÈTODE DE TREBALL DELS DOSSIERS AL FISIDABO

1. **LLEGIR** el dossier, abans d'arribar a l'atracció.
2. Fer les **MESURES** de fora de l'atracció, **ABANS DE FER LA CUA**.
3. **FER LA CUA**, i resoldre les **QÜESTIONS** del dossiers i encendre les apps.
4. **SENTIR** la física a l'atracció, i si l'experiment ho requereix **FER MESURES** amb el mòbil.
5. Acabar el dossier per lliure o amb el suport del professorat disponible a l'**AULA OBERTA**.

En acabar un dossier, poden realitzar el següent experiment, sempre **CANVIANT DE ZONA**:

Índex

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

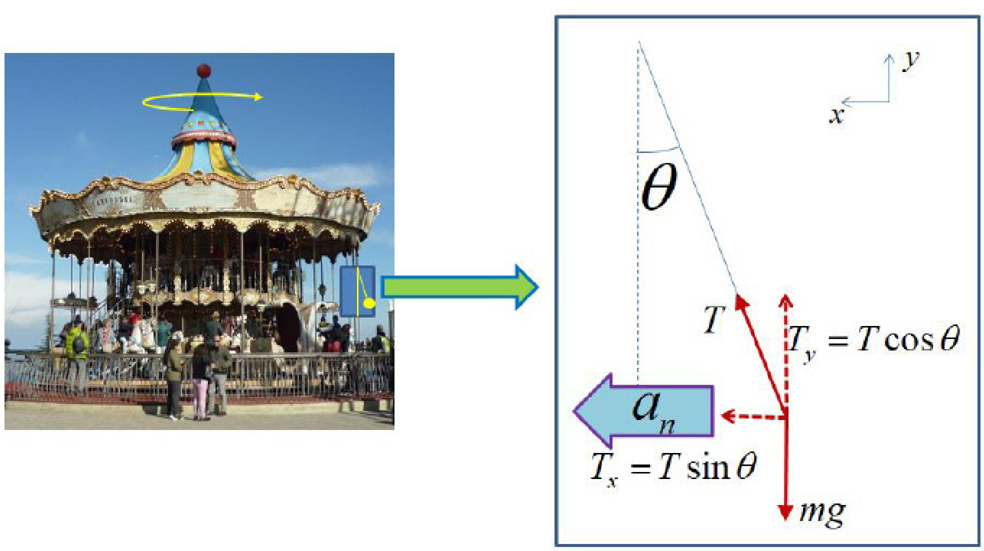
Pugem al Carrousel… i tota la diversió es basa en anar contra la llei d'inèrcia de Newton. Sense forces, tots els moviments serien lineals. Al Carrousel, i en moltes altres situacions, és evident que donem voltes. Per tant alguna força més o menys amagada ens està fent girar. Amb aquest experiment estudiarem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

$$\begin{cases} \text{eix } x\text{:} \quad T \sin\theta = m\, a_n = m \dfrac{V^2}{R} \\ \text{eix } y\text{:} \quad T \cos\theta - m\, g = 0 \end{cases}$$

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

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 θ de desplaçament del pèndol i el radi podem esbrinar la velocitat angular de l'atracció.

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

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_{foto}.

R_{foto} = 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 90º.

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.

$\theta =$ º

QÜESTIONS?

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

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

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

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

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?

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

+A L'AULA!

1. A partir dels valors de ω, R i θ experimentals (experiments E1, E2 i E3) obtinguem el valor per la gravetat. És aquest valor similar al valor de g = 9,81m/s^2?

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.

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 90º).

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_{llum} = 3•10^8 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.

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

03. Giradabo Normal. DINÀMICA.

CONCEPTES
Força normal.
Moviment circular.
Acceleració normal.

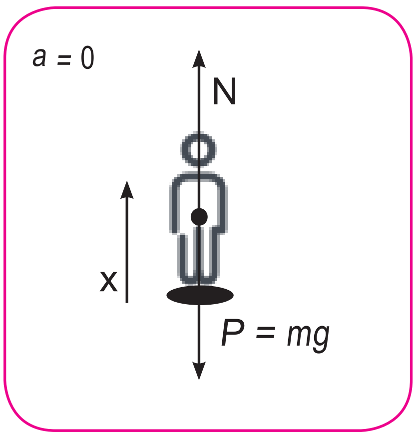
CONEIXEMENTS PREVIS
Mesura de distàncies.

MATERIAL
Balança.
Cronòmetre.

APPs & MÒBIL
Aplicació ImageMeter.

Pes aparent al Giradabo

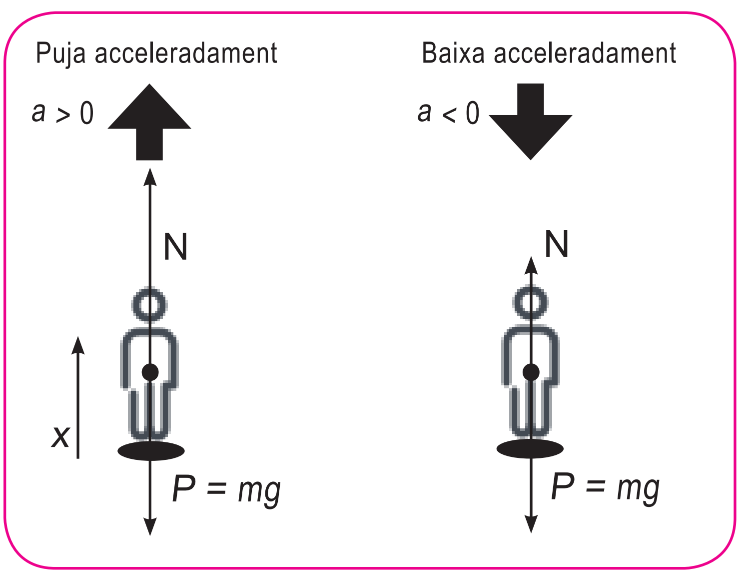
Pugem al Giradabo. Comença a donar voltes. És llavors quan comencem a sentir els efectes de no estar quiets a terra. Quan estem al punt més alt ens podem sentir alleugerits, com si peséssim menys. Al punt més baix passa el contrari: notem que pesem més. El mateix pot passar en un ascensor: “pesem més” quan comença a pujar, i “pesem menys” quan acaba el seu moviment ascendent. Això es degut a que no és possible diferenciar entre un sistema que està accelerat i la gravetat. Ascensors, rodes de fira i en general qualsevol sistema accelerat són, per tant, uns sistemes una mica especials i en física els anomenem no inercials.



La força que mesura com d’intens és el contacte amb la superfície de les cistelles de la roda de fira és la **força normal**. Aquesta és, de fet, la força que mesura una bàscula. En cas que el Giradabo estigui parat, la normal és molt senzilla de calcular. Dibuixem el diagrama de forces sobre una persona pujada en una balança a la roda de fira (vegeu dibuix de l’esquerra).

Donat que l’acceleració sobre la persona a la roda de fira és nul·la perquè està quieta, la segona llei de Newton ens diu en aquest cas:

$$\sum F = ma = 0 \qquad \text{i per tant} \qquad N - mg = 0$$



La normal per tant és simplement el pes: $P = mg$. La cosa es complica una mica quan pugem o baixem d’una forma accelerada. Fem en aquests dos casos el diagrama de forces i dibuixem també l’acceleració (vegeu dibuix de l’esquerra):

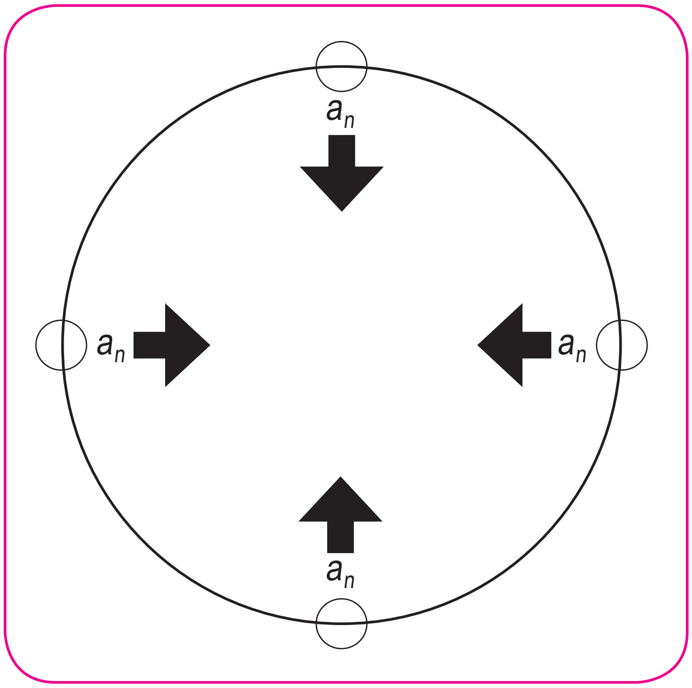
En aquests dos casos, l’acceleració ja no és zero, i per tant la normal ja no serà igual al pes. La segona llei de Newton en aquests dos casos la podem escriure com:
$N - mg = ma$ i per tant la normal:

$$N = m\,(g+a)$$

Si l'ascensor està accelerant cap a dalt, l'acceleració és positiva, i per tant la normal serà més gran que el pes. En cas que l'ascensor acceleri cap a baix, la normal serà més petita que el pes. En el cas extrem en què un ascensor caigui lliurement, l'acceleració serà igual a la gravetat, i en aquest cas la normal serà zero: notarem ingravidesa.

La roda de fira gira en un moviment circular, amb una certa velocitat angular ω. L'acceleració, en aquest cas deguda al gir, s'anomena acceleració normal i es pot calcular com:

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



On hem utilitzat la relació $v = \omega\, R$ entre la velocitat lineal i l'angular. Dibuixem ara les acceleracions quan el Giradabo està fent el seu moviment circular uniforme (vegeu dibuix de l'esquerra):

La direcció de l'acceleració normal sempre apunta al centre de la circumferència, ja que és la responsable de que el cos giri. Si ara calculem la força normal als punts més baix i més alt de la trajectòria:

Punt més alt: $N - m\,g = -\,m\,\omega^2 R$ i per tant la normal serà igual a $\boxed{N = m\,(g - \omega^2 R)}$

Punt més baix: $N - m\,g = m\,\omega^2 R$ i per tant la normal serà igual a $\boxed{N = m\,(g + \omega^2 R)}$

Fixem-nos que en els punts a banda i banda de la circumferència, l'acceleració normal no té cap efecte sobre el nostre pes aparent.

La mesura del pes aparent la farem amb una balança. Tot i que tothom creu que les balances mesuren la massa d'un objecte, això és fals. Com hem vist mesuren la normal. El que passa és que normalment els mercats no estan instal·lats en rodes de fira, i per aquesta raó les balances, en situacions normals, mesuren el pes.

Les unitats en què es dóna la mesura d'una balança són kg, però de fet, donat que una balança mesura força i no massa, seria més correcte dir que la mesura és en kiloponds, a vegades anomenats "kilograms força". La relació entre Newtons i kiloponds és senzilla 1 kp = 9.81 N. Per tant, si multipliquem la mesura de la balança pel valor de *g*, obtindrem la força en Newtons que fa la normal sobre la balança i, per tant, el pes aparent (en Newtons).

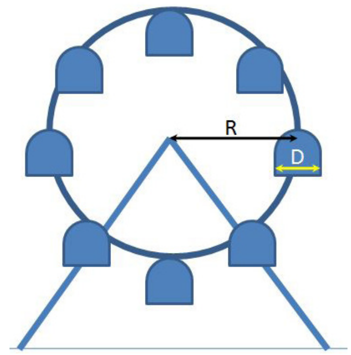
EXPERIMENTA!

Què farem?

En aquesta activitat volem comprovar que, efectivament, el gir de la roda de fira afecta al pes aparent. A més volem relacionar aquest pes amb el radi i la velocitat de gir del Giradabo, per comprovar que l'expressió de l'acceleració normal funciona. Per això primer mesurarem la velocitat i el radi del Giradabo des de fora de l'atracció, i després pujarem per mesurar la força normal mesurada per la balança.

E1: CALCULEM EL RADI

Fora de l'atracció **(Ídem 04-E1)**



1. Per mesurar el radi ens situarem lluny de l'atracció, de manera que puguem veure la roda sencera, i farem una fotografia amb el mòbil.

2. Obrirem l'aplicació ImageMeter.

3. Sabent que el diàmetre d'una cistella és de 166 cm podem utilitzar aquesta longitud com a referència i calcular amb l'aplicació el radi de la roda de fira sencera.

$R =$ m

E2: DETERMINEM LA VELOCITAT ANGULAR

Fora de l'atracció

1. Prenem una de les cistelles com a referència, per saber quan es completa una volta sencera.

2. En posar-se en marxa l'atracció, caldrà esperar a que pugin tots els participants, i per tant anirà parant. En aquest moment encara no mesurarem.

3. Quan el Giradabo comenci a donar voltes de forma constant, mesurem el temps que triga en fer una volta sencera. A aquest temps l'anomenarem el període *T*.

$T =$ s

3. Finalment calculem la velocitat angular:

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

EXPERIMENTA!

E3: DETERMINEM EL PES APARENT

Dins de l'atracció

1. Quan accedim al Giradabo, veurem que tenim una balança al terra de la cistella amb una massa de 4kg a sobre. Si us plau NO MOGUEU LA BALANÇA ni canvieu res del que hi ha a la cistella.

2. Quan el Giradabo estigui quiet, anotem la massa que indica la balança:

$m =$ kg

3. Quan el Giradabo comenci a moure's a velocitat angular constant, fixeu-vos en el pes que marca la balança al punt més baix $F_{a\ baix}$ i al punt més alt $F_{a\ dalt}$. Recordem que, tot i que el que marca la balança són kilograms, de fet el que estem mesurant és una força en kiloponds (o kg força).

5. Les forces obtingudes en els punts més alt i més baix són:

$F_{a\ baix} =$ kp ; $F_{a\ dalt} =$ kp

6. Les mesures anterior en Newtons són:

$F_{a\ baix} =$ N ; $F_{a\ dalt} =$ N

QÜESTIONS?

1. Quina és la diferència entre el pes aparent al punt més alt i al punt més baix de la trajectòria.

$\Delta m =$ kg

2. Calculem, a partir de les equacions de la introducció i els valors del radi i de la velocitat angular que hem mesurat, el pes aparent de l'objecte de 4 kg a dalt i a baix:

$N_{dalt} = m\,(g - \omega^2 R) =$ N , $N_{baix} = m\,(g + \omega^2 R) =$ N

3. Calculem ara, a partir del resultat anterior, la diferència entre el pes aparent al punt més alt i al punt més baix de la trajectòria, en Kp. Compara aquest resultat amb l'obtingut a la primera qüestió?

$\Delta N =$ kp

+A L'AULA!

1. Calculem a quina velocitat hauria de girar la roda de fira per tal que el pes aparent de la massa que estem mesurant fos la meitat.

2. Calculem en el cas anterior, quin seria el pes aparent en el punt més baix de la trajectòria.

"Courage is like — it's a habitus, a habit, a virtue: you get it by courageous acts. It's like you learn to swim by swimming. You learn courage by couraging". Marie M. Daly.

05. Miramiralls Focals. ÒPTICA.

FISIDABO

CONCEPTES
Lleis de reflexió.
Formació d'imatges.

CONEIXEMENTS PREVIS
-

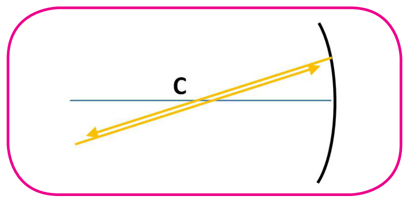
MATERIAL
Cinta mètrica.

APPs & MÒBIL
No és necessari. Si fas un vídeo, veuràs el canvi de la formació de la imatge.

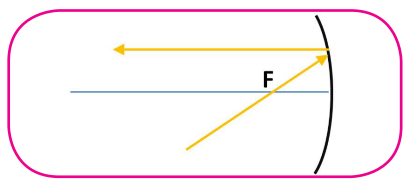
Com es dissenya un mirall?

Estem davant d'un mirall als Miramiralls del Tibidabo. Ens movem cap a dalt i cap a baix. I veiem com els nostres braços es fan curts, i llargs. Ens allunyem del mirall, i ens veiem cap per avall. Ara som nans, i ara som gegants. I darrera de tots aquests canvis de la nostra imatge algú ha calculat curosament com corbar els miralls. I nosaltres volem saber quin és el seu secret… o al menys una part d'ell.

Els miralls de l'atracció estan corbats de forma que ens donen una imatge deformada del nostre cos. Tot i que cap d'ells és esfèric, si ens fixem bé, tots tenen forma cilíndrica. **Al radi del cilindre** que formen els miralls del Tibidabo l'anomenarem *R*. Aquest punt té una característica especial: en passar un raig de llum pel centre i rebotar en el mirall, **la seva direcció no es veu alterada** (vegeu el quadre de la dreta).



Hi ha un altre punt especial en un mirall: **el focus**. Quan un raig de llum passa pel focus, aquest rebota i **surt en la direcció paral·lela a l'eix òptic**. Tingui la direcció que tingui originalment. Per tant, els raigs de llum que passen pel focus, surten tots paral·lels a l'eix òptic un cop s'han reflectit en el mirall (vegeu el quadre de la dreta).



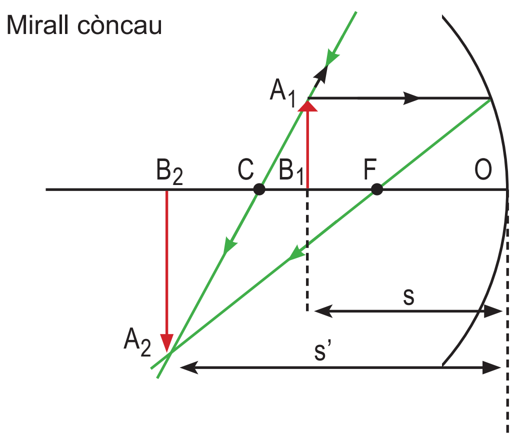
Es pot demostrar també que la distància des del centre al mirall és el doble que la distància des del focus al mirall:

$$R = 2F$$

R és el radi de curvatura del mirall.

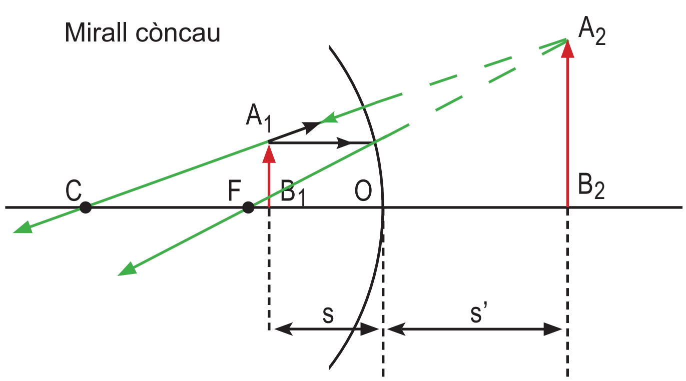
F és el focus del mirall.

Per tal de determinar com es forma una imatge en un mirall, cal representar els raigs de llum que passen per un punt de l'objecte, i determinar **en quin punt es creuen**. En el cas d'un mirall còncau, la imatge serà molt diferent si l'objecte està entre el focus i el mirall, o si està més lluny que aquesta distància. Estudiem primer el cas en que l'objecte es troba més enllà del focus, si dibuixem la trajectòria dels raigs de llum.



B_1 és el punt on es troba l'objecte.
A_1 és un punt situat a l'extrem de l'objecte.
B_2 és el punt on es forma la imatge.
A_2 és l'extrem de la imatge.
F és el punt focal.
C és el centre del mirall.
S és la distància entre l'objecte i el mirall.
S' és la distància entre el punt on es forma la imatge i el mirall.

Fixem-nos ara en la punta de la fletxa que hem dibuixat A_1. Dibuixem dos raigs que passen per l'extrem de la fletxa A_1: un que passa pel centre del mirall, i un altre que passa pel seu focus. Podem llavors determinar en quin punt es creuen: aquest punt és l'extrem de la imatge A_2. Per tant la imatge que es formarà estarà invertida. Però no només això. Podem observar que, a més, aquesta imatge es formarà darrere de nosaltres.



B_1 és el punt on es troba l'objecte.
A_1 és un punt situat a l'extrem de l'objecte.
B_2 és el punt on es forma la imatge.
A_2 és l'extrem de la imatge.
F és el punt focal.
C és el centre del mirall.
S és la distància entre l'objecte i el mirall.
S' és la distància entre el punt on es forma la imatge i el mirall.

Imaginem ara que apropem la fletxa al mirall, més a prop del focus. Dibuixem ara, com abans, dos raigs que passen per la punta de la fletxa A_1, un que travessa el centre del mirall, i un altre el focus. Al contrari del que passava abans, la fletxa es veu dreta, i més gran que l'original. A més a més veiem que la imatge es forma darrera del mirall.

És possible també calcular en quin punt es forma la imatge. Fixem-nos en els dibuixos anteriors. La relació entre aquestes dues magnituds ve donada per:

$$\frac{1}{S}+\frac{1}{S'}=\frac{2}{R}$$

Per últim també podem calcular com d'augmentada es veu la imatge. La relació entre aquestes dues alçades es pot calcular a partir de la fórmula:

$$\frac{y'}{y}=\frac{S'}{S}$$

y és l'alçada de la imatge original.
y' és l'alçada de la imatge que es forma en el mirall.

EXPERIMENTA!

Què farem?

Les imatges que es formen als miralls no només depenen de com estan fets. També és important a quina distància ens situem. En aquest experiment comprovarem que, efectivament la imatge canvia en funció de la distància al mirall. A més esbrinarem com estan fets els miralls. I tot això passant d'estar drets a estar cap per avall.

E1: DETERMINEM EL RADI DEL MIRALL

Dins de l'atracció

1. Ens aproparem el màxim possible a un dels tres miralls còncaus que hi ha a la sala dels miralls.

2. Ens anirem allunyant a poc a poc, amb compte de no xocar amb algú altre.

3. La imatge que es forma està dreta quan estem a prop del mirall. En canvi, si ens allunyem la imatge que es formarà estarà invertida. En algun punt ha canviat d'estar dreta a estar torta. Intentarem determinar aquest punt movent-nos cap endavant i cap enrere fins a trobar el punt mig entre que veiem la imatge dreta i cap per avall.

4. Mesurarem ara la distància del mirall a aquest punt. Com hem explicat abans aquest és el punt focal, i per tant anomenem la distància *F*:

$F =$ m

5. Finalment calculem el radi del mirall:

$R = 2 \cdot F =$ m

QÜESTIONS?

1. Prenem la cinta mètrica i determinem on és el centre del mirall. Aquest punt es troba a dintre de la sala dels miralls? Com ha de ser la imatge que es forma si ens situem en aquest punt?

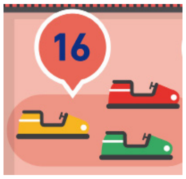
+A L'AULA!

1. Aquest experiment el podem repetir amb un mirall convex. Fins i tot podem utilitzar una llum làser per tal d'obtenir el focus i el radi del mirall. Per veure els raigs podem utilitzar fum o pols d'alguna mena com farina.
2. Compara el mirall còncau amb un forn solar. Per què creus que s'utilitza aquesta forma de miralls per fer els forns solars? En quin punt hem de col·locar una olla a un forn solar perquè s'escalfi el màxim possible.
3. Una forma similar a la d'un mirall còncau la podem trobar també en una antena parabòlica. A què es deu això? Quina diferència hi ha entre la llum que incideix en un mirall i la radiació que incideix en una antena?

"A ship in port is safe, but that's not what ships are built for". Grace Hopper.

08. Crash Cars Moment. MOMENT LINEAL.

FISIDABO



CONCEPTES
Acceleració.
Força.

CONEIXEMENTS PREVIS
Mesura d'acceleracions.

MATERIAL
Cronòmetre.

APPs & MÒBIL
Acceleròmetre de Vieyra.

Tens un moment?

Un cotxet tendeix a avançar en línia recta… fins que no xoqui amb algun altre cotxet. Aquesta seria la primera llei de Newton als crash cars. De fet, podem quantificar la inèrcia, a física l'anomenem moment o quantitat de moviment. Als crash cars, la diversió consisteix en xocar. Xocar i canviar de direcció. Canviar de direcció i per tant canviar el moment dels autos de xocs. Amb aquest experiment mesurarem aquest canvi de moment… i fins i tot estimarem quant dura un xoc entre dos cotxets.

Per estudiar els xocs un dels conceptes més importants és el de moment lineal, ja que en un xoc aquest no canvia. Per entendre què és el moment imaginem un cotxet de massa m avançant a una velocitat v per la pista. Aquest cotxet té una certa inèrcia a mantenir la seva trajectòria inicial, i això dependrà de la seva massa i la seva velocitat. La quantitat que mesura aquesta inèrcia és el moment lineal.

Dit d'una forma gràfica: és molt més fàcil canviar la trajectòria d'un mosquit de massa petita, que d'un camió de massa gran degut a que el segon té més inèrcia a mantenir la seva trajectòria. El mateix passa si intentem aturar una pilota de futbol que rodola lentament per terra, o una que ens han xutat en un penal a tota velocitat. La primera és més fàcil d'aturar. O en altres paraules: com més gran és la velocitat, major serà la seva inèrcia, i major serà el seu moment. Per tant el moment o quantitat de moviment dependrà de la velocitat i de la massa de l'objecte que es mou:

$$P = m\,v$$

Pensem ara un altre cop en un xoc d'un cotxet contra un altre que està aturat. El primer quedarà aturat després del xoc, i el segon es començarà a moure. En termes físics el que succeeix és que el moment que porta el cotxet, de sobte, es fa zero. I on va a parar el moment? Al segon cotxe que es posa en moviment. Per tant un xoc el podem descriure com un procés durant el qual es transmet el moment d'un objecte a un altre quan aquests entren en contacte. La forma de quantificar com de violent és un xoc, té a veure, precisament, amb quant es tarda a fer aquest bescanvi de moment. Ara farem una mica d'àlgebra per poder calcular-ho...

L'acceleració és el canvi de velocitat: $a = \dfrac{\Delta v}{\Delta t}$

per tant la segona llei de Newton la podem escriure com: $F = m\,a = m\,\dfrac{\Delta v}{\Delta t}$

La massa d'un cos es manté constant encara que canviï el seu moment, per tant podem introduir-la a l'increment:

$$F = m\,a = m\,\frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{\Delta(mv)}{\Delta t} = \frac{\Delta P}{\Delta t}$$

Segons aquesta forma de veure la segona llei de Newton, una força serveix per canviar el moment d'un objecte. I serà més gran com més ràpid vulguem fer aquest canvi (ja que Δt es farà petit)... i això és important als autos de xoc. Si els xocs fossin "secs", per exemple si els cotxes no tinguessin els enormes para-xocs de goma, els xocs tindrien lloc en molt poc temps. Dit d'una altra manera, el canvi de moment es faria molt bruscament (en molt poc temps). Llavors la força sobre el nostre cos seria perillosament gran. El què fan els para-xocs de goma és augmentar el temps que tarda a produir-se el xoc, per tal de disminuir la força aplicada sobre els nostres cossos.

EXPERIMENTA!

Què farem?

Quant dura un xoc? Ho podem mesurar sense una càmera d'alta velocitat? Aquest experiment ens permetrà mesurar un temps de xoc molt curt. Per fer això dividirem l'experiment en dues parts: a la primera cal no xocar amb els altres, ja que l'objectiu és mesurar la velocitat aproximada dels cotxets en circular per la pista. A la segona podreu xocar tot el que vulgueu, ja que el que voldrem és precisament saber com de violent és el bescanvi de moment entre els cotxets. Alerta, donat que aquest bescanvi pot ser molt violent si el xoc es fa frontalment, cal evitar aquesta mena de xocs.

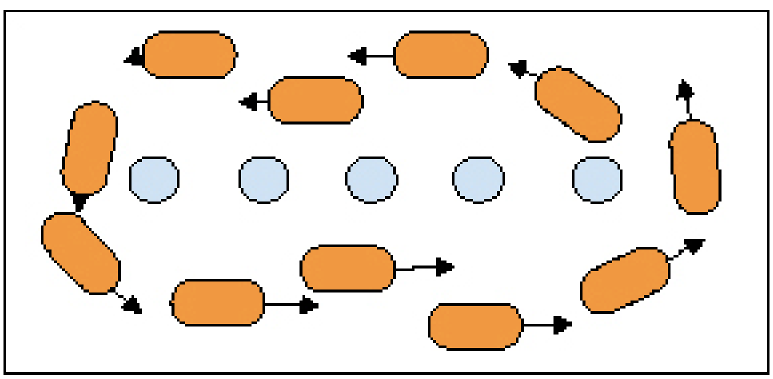
E1: MESUREM LA FORÇA QUE PATEIX EL COS

Dins de l'atracció (Ídem 07-E1)

1. Ens penjarem el telèfon mòbil tal com indica la fotografia inferior.

2. Donat que seria molt complicat iniciar l'aplicació quan l'atracció és en marxa, iniciarem l'acceleròmetre de Vieyra en sonar el clàxon, tot i que les mesures de la primera part no les utilitzarem.

3. A la primera part de l'atracció els cotxes han de donar voltes en sentit contrari a les agulles del rellotge. Si us plau, intenteu no xocar els uns amb els altres (tindreu temps a la segona part de l'experiment). En passar pel costat llarg de la pista intenteu, si us plau, mantenir una trajectòria el més rectilínia possible.



4. Quan soni el xiulet, podem xocar els uns amb els altres, però mai frontalment.

5. Quan soni el clàxon haurem d'abandonar l'atracció.

6. Obrim l'aplicació de l'acceleròmetre i mirem la gràfica que hem obtingut. Donat que el mòbil el tenim penjat com s'indica en la fotografia anterior, els eixos que ens interessen són únicament l'*x* i el *z*. Prenem l'acceleració màxima en un d'aquests dos eixos:

a_{max} = m/s^2

EXPERIMENTA!

E2: DETERMINEM LA VELOCITAT

Fora de l'atracció **(Ídem 07-E2)**

1. A la primera part, quan els cotxes avancen sense xocar, preneu un cotxe qualsevol (no cal que sigui el del vostre company!) i compteu el temps que tarda a avançar entre dues marques qualsevol del terra. Les marques estan separades una distància $D = 3\ m$.

2. Inicieu el cronòmetre quan la part de darrere passa per la primera marca, i atureu-lo quan aquesta mateixa part de darrere passi per la segona marca. Farem tres mesures diferents:

$T_1 =$ s, $T_2 =$ s, $T_3 =$ s

3. Calculem les velocitats per cada un dels temps diferents:

$v = \frac{D}{T} \Longrightarrow v_1 =$ m/s ; $v_2 =$ m/s ; $v_3 =$ m/s ;

4. Escollim la velocitat màxima de les obtingudes anteriorment, és la velocitat que utilitzarem per resoldre les qüestions:

$v_{max} =$ m/s

QÜESTIONS?

1. A partir de la velocitat que hem mesurat podem calcular el moment del vostre cos que està gaudint de l'atracció dels crash cars. Si no sabeu la vostra massa, la podeu mesurar en una de les balances que es troben a prop de l'atracció.

$$p_e = m_e v = \qquad \frac{m}{s}kg$$

2. Tenint en compte la vostra massa, i que els cotxets tenen una massa d'uns 200 kg, també podem calcular el moment del conjunt: vosaltres, més el cotxet.

$$p_t = (m_e + m_c)\, v = \qquad \frac{m}{s}\,kg$$

3. Calculem ara la força que ha patit el vostre cos en un xoc, utilitzem l'acceleració obtinguda a l'experiment E1:

$$F = m_e \cdot a = \qquad N$$

4. Suposem ara que, molt probablement, en el xoc més fort (aquell amb acceleració en els eixos *x* o *z* màxima), anàvem el més ràpid possible i després del xoc hem sortit rebotats en direcció contrària. Per tant suposarem que la velocitat inicial serà $v_{ini} = v_{max}$, i la velocitat final serà $v_{fin} = -\, v_{max}$, per tant l'increment del moment serà:

$$\Delta P = \Delta\,(m\ v) = m\ v_{fin} - m\ v_{ini} = -\,2m\ v_{max} = \qquad \frac{m}{s}\,kg$$

5. De fet només ens interessa el valor absolut. Calcula utilitzant la força de l'apartat anterior i el canvi del moment, el temps que ha durat el xoc més violent entre dos cotxets.

$$\Delta t = \frac{\Delta p}{F} = \qquad s$$

+A L'AULA!

1. Per tal de poder estimar el temps que ha durat la col·lisió hem fet moltes aproximacions, més o menys raonables. En primer lloc, per fer els càlculs fàcils hem agafat només l'acceleració en una direcció, però de fet en el xoc participen dues direccions, *x* i *z* (segons el nostre telèfon mòbil). Calcula ara l'acceleració en una direcció paral·lela a terra, utilitzant totes dues components *x* i *z*.

2. Una altra suposició que hem fet és que el cotxe surt en direcció contrària, sense perdre energia, és a dir, hem suposat que el xoc és elàstic. Això no és cert, però ens ha permès fer una primera aproximació. Si el xoc no fos elàstic, ens sortiria un temps més gran o més petit?

"All sorts of things can happen when you're open to new ideas and playing around with things". Stephanie Kwolek.

10. Tibidabo Express Normal. DINÀMICA.

CONCEPTES
Acceleració normal.

CONEIXEMENTS PREVIS
Mesura de velocitats.
Acceleròmetre mòbil.

MATERIAL
Mòbil i funda.
Cronòmetre.

APPs & MÒBIL
Acceleròmetre.
Cronòmetre.

Qui m'està empenyent al Tibidabo Express?

Seiem a la vagoneta. La barra baixa i sortim de l'estació. El tren xiula i entrem al túnel fent una corba interminable cap a la dreta. Llavors, sentim una força imaginària, que ens empeny cap al nostre costat esquerre.

La primera llei de Newton (llei d'inèrcia) explica perquè els viatgers tendim a seguir en línia recta quan el tren gira. Si no sortim disparats és gràcies al coeficient de fregament amb el seient, i al disseny tancat de la vagoneta. Però imaginem que estem a una pista de gel a sobre d'un camió (una andròmina ben curiosa) que va en línia recta. Suposem que el camió gira. Nosaltres lliscaríem i seguiríem rectes fins a caure fora.

Girar significa canviar la direcció. **En termes matemàtics,** vol dir que el vector velocitat canvia la direcció que descriu el nostre moviment. Però per aconseguir-ho necessitem una acceleració. D'això "se n'encarrega" l'acceleració normal, dita normal perquè és perpendicular a la trajectòria. En el cas d'una corba de radi *R*, aquesta acceleració té una fórmula ben senzilla (vegeu el quadre de la dreta).

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

an: Acceleració normal.

***V*:** Mòdul de velocitat.

***R* :** Radi de la corba.

EXPERIMENTA!

Què farem?

A l'expressió de l'acceleració normal apareix la velocitat i el radi de la corba. El radi de la corba és molt difícil, si no impossible, de mesurar. Per aquesta raó el primer que farem des de fora de l'atracció serà mesurar el temps i, així, trobar la velocitat. En un segon experiment mesurarem l'acceleració situats a dintre del tren.

E1: MESUREM LA VELOCITAT.

Fora de l'atracció

1. La longitud del Tibidabo Express és: $L = 1990$ cm.
2. Des de fora de l'atracció, esperem a la segona volta del tren per tenir una velocitat constant. Iniciem el cronòmetre quan la part frontal del tren surt de l'estació i el parem just quan la cua també surti de l'estació.

$t =$ s

3. Calculem la velocitat que porta en tren en aquest punt:

$$v = \frac{L}{t} = \qquad \text{m/s}$$

E2: MESUREM L'ACCELERACIÓ NORMAL.

Dins de l'atracció

1. Pugem al tren i engeguem l'aplicació de l'acceleròmetre. Cal tenir en compte (com està descrit a la part "tècniques de mesures") que cal saber quin eix representa cada direcció del nostre telèfon mòbil. L'eix que ens interessa és l'x. Guardarem el mòbil a la funda porta-mòbils. Agafeu-vos, que marxem!
2. Un cop acabada l'atracció aturarem la mesura per poder analitzar el resultat.

Cal tenir en compte, a l'hora d'interpretar les dades, que el recorregut del tren de la mina comença de forma rectilínia accelerada, per després fer una primera corba molt pronunciada a la dreta. Per tant en un moment donat veurem que l'acceleració en l'eix de les x augmenta. Aquest augment pot estar "emmascarat" per les vibracions pròpies de l'atracció. Intentarem determinar d'una forma aproximada quina és l'acceleració en aquesta volta fent a ull una mitjana dels valors obtinguts, i, donat que és l'acceleració normal, l'anomenarem a_n:

$a_n =$ m/s^2

QÜESTIONS?

1. Calculem d'una forma aproximada el radi de curvatura R de l'atracció en la primera corba, a partir de la relació:

$$R = \frac{v^2}{a_n} = \qquad\qquad \text{m}$$

2. Per tal d'obtenir l'acceleració en unitats de g, només cal dividir el valor de l'acceleració que has obtingut pel valor g=9,81m/s^2. Compara el valor obtingut amb la gravetat terrestre. És molt gran o molt petit

$$a = \qquad\qquad \text{g}$$

+A L'AULA!

1. Calculem la força aplicada sobre el teu cos a partir de la teva massa, en Newtons.
Comparem el resultat amb la força que fa el planeta terra sobre la teva massa.

2. És possible, a partir de la gràfica $a(t)$, obtenir les gràfiques $v(t)$ i $x(t)$ tot integrant numèricament $a(t)$.
Per fer-ho cal tenir en compte que el tren parteix del repòs i que per temps zero està al punt inicial.
Podem fer aquest càlcul i discutir el resultat a classe.

3. En aquest experiment hem mesurat l'acceleració normal relacionada amb canvis de direcció...
però també tenim la tangencial associada amb canvis de celeritat (mòdul de la velocitat). De fet en el teu mòbil tens enregistrades les acceleracions en els tres eixos, i per tant tens enregistrades ambdues acceleracions...
Quina acceleració (tangencial o normal) correspon a cada eix?

4. Discuteix a classe, a partir dels resultats obtinguts en els tres eixos, el moviment del Tibidabo Express.

"Above all, don't fear difficult moments. The best comes from them". Rita Levi-Montalcini.

11. Piratta Normal. DINÀMICA.

FISIDABO

CONCEPTES
Força normal.
Moviment circular.
Acceleració normal i tangencial.

CONEIXEMENTS PREVIS
Mesura de velocitats.
Mesures amb acceleròmetres

MATERIAL
Cronòmetre.
Acceleròmetre.
Mocador de color.

APPs & MÒBIL
Acceleròmetre.

Nota: aquest experiment està dividit en dos experiments que es poden fer de manera independent l'**11.A** i l'**11.B**

Sóc normal. La força normal

Estem drets a terra i no ens enfonsem. Estem asseguts a una cadira, i no la travessem. Una força invisible ens esclafa contra el banc del vaixell Piratta del Tibidabo. I cridem. Cridem però, per sort, el banc ens aguanta. I darrere de tot això hi ha la normal: la força normal. I amb aquest experiment la calcularem: amunt i avall.

La força normal és la reacció que fa el terra sobre nosaltres perquè nosaltres hem fet sobre el terra una força d'acció. Aquestes dues forces, per la tercera llei de Newton, han de ser d'igual mòdul i direcció però de sentit contrari. Els problemes comencen quan la superfície on ens recolzem es mou acceleradament. Si estem quiets a sobre d'una superfície horitzontal, la força normal serà igual al nostre pes. Però si estem en un ascensor, aquesta força no serà igual al pes quan comenci a pujar o a baixar: en començar a pujar notarem que ens "esclafen" contra el terra i en començar a baixar, que "pesem menys". Aquest efecte és degut a la primera llei de Newton.
Si entrem a l'ascensor, pitgem el botó, i aquest comença a pujar, la primera llei de Newton ens diu que la tendència és que no ens moguem. Però el terra de l'ascensor es mourà de totes totes i ens elevarà de forma que finalment guanyarà a la tendència a no ser moguts. I per tant la força normal que fa el terra no serà només el pes, també caldrà afegir aquesta inèrcia a continuar en repòs. Donat que tot això succeeix en un ascensor que puja amb una acceleració *a*, aplicant la segona llei de Newton obtenim: $N - P = ma$ i donat que el pes el podem escriure com: $P = mg$: $N = m\,(a+g)$

Per tant, si l'ascensor està quiet, la normal serà igual al pes ($P = mg$), si pugem, l'acceleració serà positiva i la normal es veurà incrementada, i si baixem l'acceleració serà negativa i la normal es veurà disminuïda.

Nosaltres no estarem en un ascensor. Estarem al vaixell Piratta i en aquest cas l'acceleració no serà deguda a un moviment vertical… el que ens "esclafarà" contra el seient serà l'acceleració deguda al moviment circular que fa el vaixell: l'acceleració normal. L'acceleració normal es pot calcular com:

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

És a dir, serà més gran com més ràpid sigui el moviment que fem, i com més petit sigui el radi del moviment circular.

Acceleració al punt més baix:
Si ara ens situem al punt més baix de la trajectòria, acceleració normal i gravetat són a l'eix vertical. Per tant podem utilitzar l'expressió que hem obtingut per l'ascensor, substituint l'acceleració *a*, per l'acceleració normal a_n:

$$N = m\left(\frac{v^2}{R} + g\right)$$

Si utilitzem un dinamòmetre per mesurar la normal, aquesta és la relació que necessitem! Però el que farem serà utilitzar un acceleròmetre (tant si utilitzes el mòbil com l'acceleròmetre vertical de molla) que està calibrat per tal que quan l'acceleració sigui la de la gravetat, el resultat de la mesura sigui una unitat de *g*. Dit d'una altra forma, com el que mesura és l'acceleració en unitats de *g*, si aïllem de la segona llei de Newton *F*=*ma* l'acceleració obtenim:

$$a_{\text{a baix}} = \frac{F}{m}$$

que ens donaria una lectura en m/s^2, si ara volem la lectura en unitats de *g* l'únic que ens cal és dividir el resultat per *g*, i per tant:

$$a_{g,\ a\ baix} = \frac{F}{mg}$$

L'acceleració que estem mesurant amb l'acceleròmetre és la relacionada amb la normal *N*. Si ara substituïm en l'expressió anterior la força *F* per la força normal, obtenim que l'acceleració en unitats de *g* al nostre vaixell Piratta al punt més baix de la trajectòria serà:

$$a_{\text{g, a baix}} = \frac{F}{mg} = \frac{N}{mg} = \frac{\frac{m\,v^2}{R} + mg}{mg} = 1 + \frac{v^2}{gR}$$

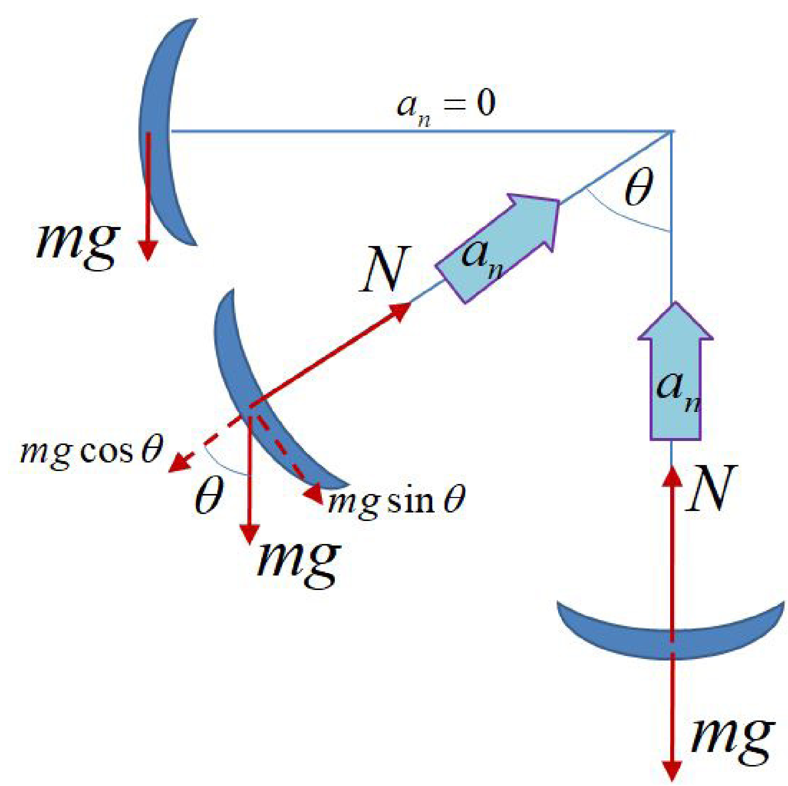
Acceleració al punt més alt:

Al punt més alt passa una cosa totalment diferent: la velocitat en el moment en el qual el vaixell es troba a prop del punt d'altura màxima és molt petita, i per tant l'acceleració normal serà negligible. Només tenim acceleració tangencial. Això fa que la normal sigui igual a la component tangencial del pes, i per tant:

$$N_{\text{a dalt}} = m\,g\cos\theta$$

Al punt de màxima altura, l'angle és pròxim a 90º i per tant el cosinus serà zero o molt petit. Això fa que la normal sigui petita i que, per tant, tinguem la sensació que "no toquem el seient", o dit d'una altra forma, tenim una sensació de microgravetat. Aquesta és la sensació que senten els astronautes tota l'estona quan són a l'espai. Si, com abans, calculem l'acceleració en unitats de *g* dividint la normal per *mg*, obtenim:

$$a_{\text{a dalt}} = \cos\theta$$



EXPERIMENTA!

Què farem?

Volem mesurar l'acceleració del vaixell Piratta al punt més alt i més baix de la trajectòria… i comprovar si les fórmules que hem obtingut són correctes. Per tant, primer necessitarem saber unes quantes coses del vaixell Piratta: el seu radi i la seva velocitat al punt més baix. També necessitarem l'angle al punt més alt de la trajectòria. Tot això ho farem des de fora del vaixell Piratta. Després pujarem al vaixell amb l'acceleròmetre, i mirarem si els nostres càlculs són correctes.

E1: MESUREM LA VELOCITAT AL PUNT MÉS BAIX.

Fora de l'atracció **(Ídem 13-E2 i 14-E2)**

1. A terra, just al costat del vaixell Piratta veureu un punt groc que ens servirà de referència. Quan el vaixell baixi a tota velocitat un cop assolida la màxima altura, els punts A i B del vaixel Piratta passaran per davant del punt groc (vegeu figura inferior). La distància entre aquests dos punts és de 197 cm.

2. Mesurem el temps que tarda entre el moment en el qual el punt A està alineat amb la marca groga a terra, i el moment en el qual el punt B passa pel davant de la mateixa marca groga. Aquest temps l'anomenarem Δt (vegeu mètode "mesura de velocitats").

$$\Delta t = \qquad \text{s}$$

3. La velocitat es pot obtenir fàcilment a partir de: (tingues en compte que el vaixell passa molt ràpidament i, per tant, la mesura de temps serà molt dolenta)

$$v = \frac{D_{AB}}{\Delta t} = \qquad \text{m/s}$$

E2: MESUREM EL RADI

Fora de l'atracció **(Ídem 14-E3)**

1. Busqueu els punts marcats a prop de la darrera baixada de l'atracció. En aquests punts està marcada la distància D des del mateix punt fins a la base del punt més alt de l'atracció.

2. Mesureu l'angle que us marca inclinòmetre si, des del punt, observeu l'eix sobre el que oscil·la el vaixell pirata:

$$\alpha = \qquad {}^{o}$$

3. Mesureu, amb una cinta mètrica, la vostra alçada. Si no podeu, feu una estimació:

$$h = \qquad \text{m}$$

4. L'alçada del punt més alt serà, per tant:

$$R = h + D\cdot \text{tg}(\alpha) = \qquad \text{m}$$

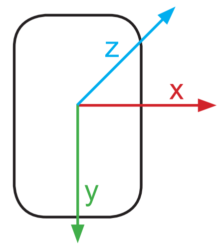
5. També podem fer la mesura utilitzant l'aplicació ImageMeter del mòbil. Per fer això necessitarem una referència. Pots demanar a un company que agafi una barra d'un metre que tindrem a l'atracció i la posi en vertical o pot utilitzar com a referència les longituds que es donen a la figura de la pàgina anterior.

EXPERIMENTA!

E3: MESUREM L'ACCELERACIÓ

Dins de l'atracció **(Ídem 14-E4)**

1. Abans de pujar al vaixell pirata engegarem l'aplicació de l'acceleròmetre.
2. Guardarem el telèfon a la funda i ens la penjarem tal com s'indica a la foto de sota.
3. Un cop acabada l'atracció aturarem la mesura per poder analitzar el resultat.
4. Si ens hem penjat el telèfon tal com s'indica a la foto anterior, en l'eix *y* sentirem l'acceleració normal, que és la que ens interessa en aquest experiment.



QÜESTIONS?

1. Calculem l'acceleració normal amb les dades obtingudes:

$$a_n = \frac{v^2}{R} = \qquad \text{m/s}^2$$

2. Compara el resultat obtingut per l'acceleració a partir de la mesura del radi i la velocitat amb l'obtingut a partir de l'acceleròmetre. Has obtingut resultats similars?

+A L'AULA!

1. Dibuixa una gràfica de l'acceleració normal en funció de l'angle al qual es troba el pèndol
2. Compara aquesta gràfica amb la qual hem obtingut de les mesures de l'acceleròmetre.
3. Podem determinar el període de l'atracció a partir de la gràfica de les acceleracions?

EXPERIMENTA!

E1: MESURA DE L'ANGLE

Fora de l'atracció

1. L'amplitud màxima de la trajectòria del vaixell Piratta sabem que es produeix després de *n* oscil·lacions, com hem mesurat abans.

$n =$

2. Dos estudiants hauran pujat al vaixell Piratta, cadascú a un seient diferent: un a l'extrem, i l'altre al mig. Cal que l'estudiant que queda fora es fixi en els llocs on estan asseguts els seus companys.

3. L'estudiant que es queda a fora farà una fotografia quan el vaixell assoleixi el punt de màxima altura.

4. Un cop sortim de l'atracció aquesta fotografia ens servirà per mesurar l'angle que ha assolit al punt de màxima altura. Això ho podrem fer utilitzant l'aplicació ImageMeter. Hem de mesurar dos angles amb la vertical, un per l'extrem del vaixell i l'altre pel centre, un per cada posició on es col·locaran els estudiants a la segona part de l'experiment:

$\theta_1 =$ º ; $\theta_2 =$ º

E2: MESURA DE L'ACCELERACIÓ

Fora de l'atracció

1. Cal que dos estudiants pugin al vaixell Piratta, un a un extrem del vaixell i un altre al mig. (Si puja només un estudiant l'activitat es pot fer, però es realitzarà només una mesura de l'acceleració).

2. Abans que l'atracció es posi en marxa cal que els dos estudiants obrin l'aplicació "acceleròmetre" del mòbil.

3. Quan l'atracció es posi en marxa cal que els dos estudiants posin a gravar les dades d'acceleració al mateix moment, si pot ser.

4. Un cop el vaixell s'hagi aturat cal aturar la gravació de dades.

5. Per tal de saber quina és l'acceleració al punt més alt de la trajectòria cal obrir les dades que hem gravat amb la mateixa aplicació, i mirar quina és l'acceleració mínima que hem mesurat:

$a_1 =$ m/s^2 ; $a_2 =$ m/s^2

QÜESTIONS?

1. En el moment més alt de la trajectòria, algun dels estudiants ha arribat a condicions de microgravetat? (és a dir, marcava l'acceleròmetre zero en algun moment?

+A L'AULA!

1. Si les mesures de la persona asseguda a l'extrem del vaixell i al mig són diferents, raona a què és deguda aquesta diferència.

2. Coincideixen les acceleracions amb els valors que podeu calcular gràcies a la fórmula a=cosθ?

3. Troba l'expressió de l'acceleració normal en funció de l'angle d'inclinació del pèndol.

4. Dibuixa una gràfica del pes al punt més alt en funció de l'angle al punt més alt. Per quins angles tenim situacions de gravetats inferior al 50%?

"All creative people want to do the unexpected". Hedy Lamarre.

12. Piratta Pèndol. MOVIMENT OSCIL·LATORI.

FISIDABO

CONCEPTES
Pèndol simple.
Relació entre període i longitud.
Equació del moviment.

CONEIXEMENTS PREVIS
Mesura d'alçades.
Mesura de temps.

MATERIAL
Cronòmetre.
Inclinòmetre.

APPs & MÒBIL
Es pot fer servir l'analitzador de fotos ImageMeter.

Gegantí, però al cap i a la fi, un pèndol

Mans enlaire! i sentim que no toquem el seient. Passem a tota velocitat pel punt més baix, i torna-hi: al punt més alt tornem a cridar embogits. I torna-hi, i un altre cop de banda a banda. Un cop a baix, mirem el moviment del vaixell i veiem que, de fet, és només un pèndol. Gegant, però només un pèndol. I un cop més cridem embogits d'alegria, incapaços de resoldre les equacions que amaga aquesta atracció. O pot ser no.

Un pèndol realitza un moviment oscil·latori pel fet que sobre ell actua una força recuperadora: la gravetat. Aquesta força fa que el pèndol intenti tornar a la seva posició d'equilibri, és a dir, penjant verticalment de la corda. Però en arribar a aquesta posició, la inèrcia fa que no s'aturi i passa de llarg, tornant a guanyar alçada. Aquest moviment es pot descriure utilitzant la segona llei de Newton. Un dels resultats més importants un cop obtinguda l'equació del moviment és que el temps que tarda el pèndol a fer una oscil·lació completa depèn exclusivament de la longitud del pèndol, i es relaciona amb l'equació:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{L}{g}}$$

L és la longitud del pèndol.
g és l'acceleració de la gravetat.

Fixem-nos que en aquesta fórmula no apareix ni l'amplitud de l'oscil·lació ni la massa que està penjada a l'extrem del pèndol. Un dels primers objectius d'aquest experiment és comprovar que, efectivament, això es compleix. Per altra banda, si aïllem el valor de la gravetat, obtenim:

$$g = 4\pi^2 \frac{L}{T^2}$$

Per tant, és possible calcular el valor de la gravetat en un punt donat d'un planeta utilitzant una corda i una pedra, tot fabricant un senzill pèndol.

EXPERIMENTA!

Què farem?

Volem comprovar si podem descriure el moviment del vaixell Piratta amb les equacions del pèndol simple. Per fer això farem mesures de la longitud de la barra de la qual penja el vaixell i del temps que tarda a fer una oscil·lació. Si voleu pujar podem combinar aquest experiment amb el del Piratta Normal.

E1: PERÍODE DEL MOVIMENT.

Fora de l'atracció

1. Abans de començar l'experiment farem una mesura preliminar: esperem que es posi en marxa el vaixell Piratta i comptem quantes oscil·lacions fa a banda i banda durant tot el temps que dura el seu moviment.
Apuntem per a quina oscil·lació l'alçada del vaixell és màxima (n):

$n =$

2. Amb el cronòmetre comptem quant tarda el vaixell Piratta a fer una oscil·lació. Per això posarem el cronòmetre en marxa quan el vaixell estigui a una banda, i el pararem quan torni al mateix punt (és a dir, el temps en anar i tornar):

$T =$ s

3. Prenem tres mesures: una al principi, quan les oscil·lacions són petites (però visibles!), una altra quan les oscil·lacions són grans i una altra al final. Els valor obtinguts per al període al principi, al mig i al final de l'atracció són:

$t_1 =$ s, $t_2 =$ s, $t_3 =$ s

EXPERIMENTA!

E2: COMPROVEM QUE LA FÓRMULA $T = 2\pi\sqrt{\frac{L}{g}}$ FUNCIONA

Fora de l'atracció

1. Busqueu els punts marcats a prop de la darrera baixada de l'atracció. En aquests punts està marcada la distància D des del mateix punt fins a la base del punt més alt de l'atracció.

2. Mesureu l'angle que us marca inclinòmetre si, des del punt, observeu l'eix sobre el que oscil·la el vaixell pirata:

$\alpha =$ º

3. Mesureu, amb una cinta mètrica, la vostra alçada. Si no podeu, feu una estimació:

$h =$ m

4. L'alçada del punt més alt serà, per tant:

$H = h+D \cdot \mathrm{tg}(\alpha) =$ m

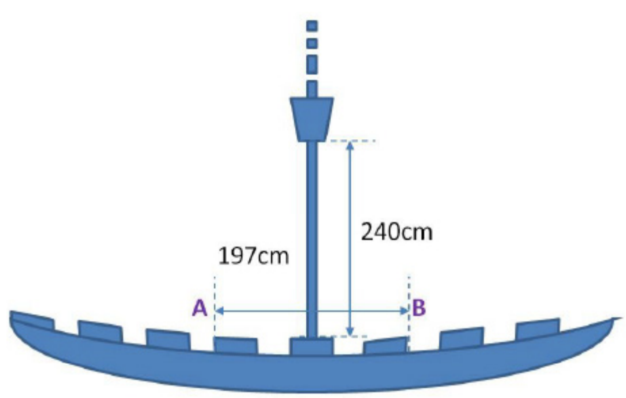
5. També podem fer la mesura utilitzant l'aplicació ImageMeter del mòbil. Per fer això necessitarem una referència. Pots demanar a un company que agafi una barra d'un metre que tindrem a l'atracció i la posi en vertical o pot utilitzar com a referència les longituds que es donen a la figura inferior.

6. Comptem quant de temps tarda el vaixell Piratta a fer cinc oscil·lacions. A aquest temps l'anomenarem *t*.

$t =$ s

7. Per tal d'obtenir el temps d'una sola oscil·lació, dividirem aquest valor per 5:

$T = t/5 =$ s



QÜESTIONS?

1. Observa els diferents períodes obtinguts a l'experiment E1. Dèpen el període de l'amplitud de l'oscil·lació?

2. Calculem el període del pèndol a partir de l'equació. Coincideix aquest valor amb el període T_{exp} que hem mesurat?

$$T_{calc} = 2\pi\sqrt{L/g} = \qquad \text{s}$$

3. Hem suposat que el valor de g = 9,8m/s^2… però qui ens diu que aquest valor és correcte?
El calcularem: si aïllem g de l'equació $T_{calc} = 2\pi\sqrt{L/g}$ obtenim:

$$g = 4\pi^2 \frac{L}{T^2} = \qquad \text{m/s}^2$$

+A L'AULA!

1. El vaixell Piratta és al Tibidabo, però imaginem que volem muntar un parc d'atraccions semblant a la lluna. Quin seria el període del pèndol del vaixell Piratta en aquest planeta? (g_{lluna}= 1,622 m/s^2)

2. Suposem ara que volem dissenyar la mateixa atracció però volem que el període del vaixell Piratta sigui de 10s. Quina distància hi hauria d'haver entre l'eix de rotació i el centre del vaixell Piratta?

3. Els rellotges de pèndol estan fets per comptar segons. Calculem quina ha de ser la longitud del pèndol d'un rellotge.

4. Totes les equacions que hem vist són certes només quan un pèndol fa oscil·lacions petites. Quan fa oscil·lacions grans les coses es compliquen molt. Si sou prou valents, podeu donar una ullada a aquest treball que van fer uns estudiants de la Universitat d'Alacant… (http://iopscience.iop.org/article/10.1088/0143-0807/30/2/L03) i podeu calcular de quant ens hem equivocat en el nostre experiment. Si ho feu: creieu que amb els nostres aparells de mesura podem mesurar aquesta diferència?

"Don't let anyone rob you of your imagination, your creativity, or your curiosity". Mae Jemison.

14. Piratta Circular. MCUA.

CONCEPTES
Moviment circular uniformement accelerat

CONEIXEMENTS PREVIS
Mesura d'alçades.
Mesura de temps.
Mesura d'acceleracions

MATERIAL
Cronòmetre.
Inclinòmetre.
acceleròmetre

APPs & MÒBIL
ImageMeter.
Acceleròmetre.
Cronòmetre

La velocitat angular canvia... Visca, tenim acceleració angular!

Som al punt més alt surant a l'aire, pràcticament parats i, de sobte, caiem altre cop. Passem a tota velocitat pel punt més baix i tornem a surar en l'aire. Tornem a caure... I així fins que s'acaba l'atracció. És evident que la nostra velocitat angular està canviant constantment, per tant actuarà sobre nosaltres una acceleració angular. A classe només hem estudiat casos en què l'acceleració angular és constant o nul·la, per tant, segur que en el vaixell és així… o no? Anem a comprovar-ho!

El moviment circular uniformement accelerat és aquell moviment circular on podem veure un canvi uniforme en la velocitat angular, el que vol dir que tindrem una acceleració, a la que anomenarem acceleració angular, ja que és la variació que de la velocitat angular en funció del temps. La definim amb la següent formula:

$$\alpha = \frac{\Delta\omega}{\Delta t}$$

Si l'acceleració angular és constant, és fàcil determinar quina serà la velocitat angular en funció del temps:

$$\omega(t) = \omega_0 + \alpha t$$

Com en el cas del moviment rectilini, és senzill estudiar sistemes amb una acceleració angular constant. Podem deduir de les equacions del moviment que l'angle girat expressat en funció del temps vindrà determinat per la següent equació:

$$\theta(t) = \theta_0 + \omega_0 t + \frac{1}{2}\alpha t^2$$

També és molt important tenir en compte que com ens diu la segona llei de newton tot canvi en la velocitat, és a dir, tota acceleració és deguda a una força, per tant perquè hi hagi acceleració angular en un sistema hem de tenir-hi forces actuant.

Finalment, podem relacionar les magnituds angulars amb les lineals. Com ja hem comentat en altres experiments sabem que la velocitat angular es pot relacionar amb la velocitat lineal amb la següent formula:

$$v = \omega R$$

Per tant també podrem relacionar l'acceleració angular amb l'acceleració lineal de la següent manera:

$$\alpha = \frac{\Delta\omega}{\Delta t} = \frac{\Delta v}{R\Delta t} = \frac{a_t}{R} \longrightarrow a_t = \alpha R$$

EXPERIMENTA!

Què farem?

En aquest experiment suposarem que el pèndol del vaixell pirata té un moviment circular uniformement accelerat entre el seu punt més alt i el punt més baix. Per comprovar si la nostra hipòtesi és correcta, en primer lloc calcularem quina és l'acceleració angular que provoca que arribem a la velocitat angular que portal el vaixell quan arriba al seu punt més baix. Per això hem de calcular el radi del pèndol, la velocitat lineal en el punt més baix i el temps que triga el vaixell en arribar del punt més alt al més baix. Finalment compararem els notres resultats amb les mesures obtingudes amb l'acceleròmetre del telèfon mòbil i reflexionarem sobre si la nostra hipòtesi és certa.

E1: Mesura de temps

Fora de l'atracció

1. Esperem que el vaixell faci les primeres oscil·lacions, un cop aquestes ja són més grans mesurem el temps que triga el vaixell en anar del punt més alt al més baix. Fem la mesura almenys tres vegades:

$t_1 =$ s, $t_2 =$ s, $t_3 =$ s

2. Fem la mitjana de les mesures anteriors, aquest serà el valor amb el qual treballarem:

$t =$ s

E2: MESUREM LA VELOCITAT AL PUNT MÉS BAIX.

Fora de l'atracció **(Ídem 11A-E1 i 13-E2)**

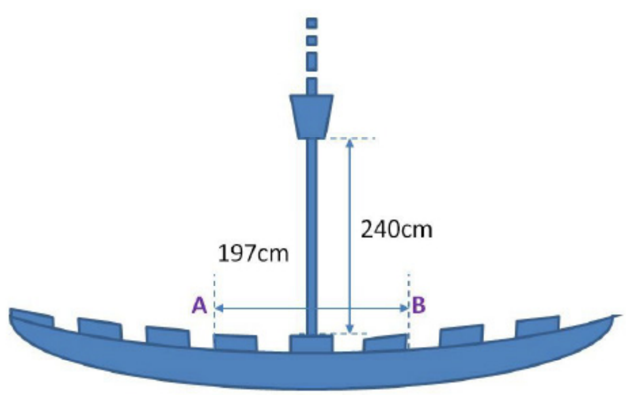
1. A terra, just al costat del vaixell Piratta veureu un punt groc que ens servirà de referència. Quan el vaixell baixi a tota velocitat un cop assolida la màxima altura, els punts A i B del vaixel Piratta passaran per davant del punt groc (vegeu figura inferior). La distància entre aquests dos punts és de 197 cm.

2. Mesurem el temps que tarda entre el moment en el qual el punt A està alineat amb la marca groga al terra, i el moment en el qual el punt B passa pel davant de la mateixa marca groga. Aquest temps l'anomenarem Δt (vegeu mètode "mesura de velocitats").

$\Delta t =$ s

3. La velocitat es pot obtenir fàcilment a partir de

$$v = \frac{D_{AB}}{\Delta t} = \qquad \text{m/s}$$



EXPERIMENTA!

E3: MESUREM EL RADI

Fora de l'atracció **(Ídem 11A-E2)**

1. Busqueu els punts marcats a prop de la darrera baixada de l'atracció. En aquests punts està marcada la distància D des del mateix punt fins a la base del punt més alt de l'atracció.

2. Mesureu l'angle que us marca l'inclinòmetre si, des del punt, observeu l'eix sobre el que oscil·la el vaixell pirata:

$\alpha =$ °

3. Mesureu, amb una cinta mètrica, la vostra alçada. Si no podeu, feu una estimació:

$h =$ m

4. L'alçada del punt més alt serà, per tant:

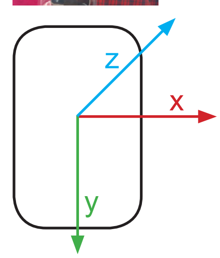
$R = h + D \cdot \mathrm{tg}(\alpha) =$ m

5. També podem fer la mesura utilitzant l'aplicació ImageMeter del mòbil. Per fer això necessitarem una referència. Pots demanar a un company que agafi una barra d'un metre que tindrem a l'atracció i la posi en vertical o pot utilitzar com a referència les longituds que es donen a la figura de la pàgina anterior.

E4: MESUREM L'ACCELERACIÓ

Dins de l'atracció **(Ídem 11A-E3)**

1. Abans de pujar al vaixell pirata engegarem l'aplicació de l'acceleròmetre.
2. Guardarem el telèfon a la funda i ens la penjarem tal com s'indica a la foto de sota.
3. Un cop acabada l'atracció aturarem la mesura per poder analitzar el resultat.
4. Si ens hem penjat el telèfon tal com s'indica a la foto anterior, en l'eix *z* sentirem l'acceleració tangencial, que és la que ens interessa en aquest experiment



QÜESTIONS?

1. Calcula la velocitat angular al punt més baix:

$$\omega = \frac{v}{R} = \qquad \text{rad/s}$$

2. Calcula l'acceleració angular:

$$\alpha = \frac{\omega}{t} = \qquad \text{rad/s}^2$$

3. Calcula l'acceleració tangencial que tendria el MCUA. Compara el resultat amb la mesura obtinguda per l'acceleròmetre del mòbil en l'eix z:

$$a_t = \alpha \cdot R = \qquad \text{m/s}^2$$

+A L'AULA!

1. Creus que el moviment del pèndol és un moviment circular uniformement accelerat? Observa les acceleracions obtingudes amb l'acceleròmetre per raonar la resposta.

2. Troba l'expressió de l'acceleració tangencial en funció de l'angle d'inclinació del pèndol. Fes un dibuix aproximat de la funció i compara-la amb la forma de la gràfica per l'acceleració en *z* obtinguda amb l'acceleròmetre del mòbil.

3. Troba l'expressió de l'acceleració angular en funció de l'angle d'inclinació del pèndol.

"La detección de las ondas gravitacionales ha marcado el principio de una nueva era en la Astronomía". Alícia Sintes.

15. Diavolo Normal. DINÀMICA.

FISIDABO

CONCEPTES
Força normal.
Moviment circular.
Acceleració normal i tangencial.

CONEIXEMENTS PREVIS
Mesura de distàncies.
Mesures d'acceleracions.

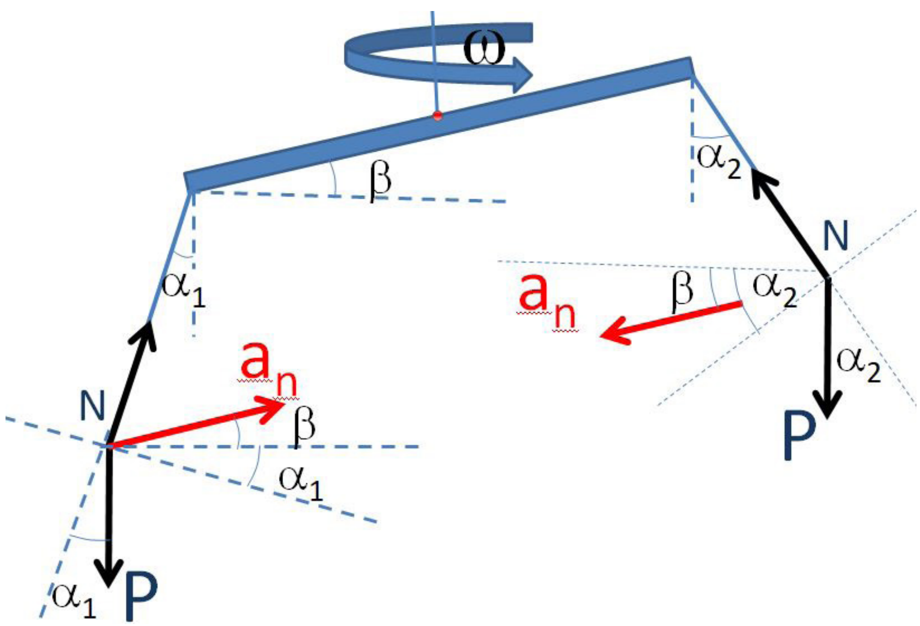
MATERIAL
Inclinòmetre.

APPs & MÒBIL
Acceleròmetre.
ImageMeter.

Alguna cosa més que girar...

Les cadiretes voladores del Tibidabo fan més coses que no pas només donar voltes. Si ens fixem, el suport de les cadiretes no gira horitzontalment. El seu eix de gir està lleugerament inclinat. Aquest petit angle fa que la normal, que no permet que travessem les cadiretes, vagi canviant: en el punt més baix ens sentim una mica esclafats contra la cadira, i en el punt més alt sentim un petit efecte semblant al d'ingravidesa. I un cop a terra intentarem esbrinar si podem calcular aquests canvis amb l'ajuda de Newton.

Abans de res, intentem esbrinar si l'increment de la normal que ens esclafa contra la cadireta i la seva disminució que ens fa volar és real. Per fer això dibuixem el diagrama de forces que actua sobre una persona asseguda en una cadireta en aquests dos punts. Alerta, la beta de la dreta agafa tot l'angle!:



Al diagrama de forces hem afegit també l'acceleració normal que sempre està dirigida cap al centre de rotació.
Escrivim ara les equacions de Newton en un eix paral·lel a la normal. Això ho farem per les dues posicions de la cadireta:
Per la cadira que està a baix:

$$-P\cos\alpha_1 + N_{baix} = m\cdot a_n\cdot \sin(\alpha_1+\beta)$$

$$N_{baix} = P\cos\alpha_1 + m\cdot a_n\cdot \sin(\alpha_1+\beta)$$

Per la cadira al punt més alt:

$$-P\cos\alpha_2 + N_{dalt} = m\cdot a_n\cdot \sin(\alpha_2-\beta)$$

$$N_{dalt} = P\cos\alpha_2 + m\cdot a_n\cdot \sin(\alpha_2-\beta)$$

Per últim, si tenim en compte que l'acceleració normal es pot calcular a partir de la velocitat angular ($a_n = R\,\omega^2$) obtenim els següents valors per la normal:

$$N_{baix} = P \cos \alpha_1 + m\,R\,\omega^2 \sin (\alpha_1 + \beta)$$
$$N_{dalt} = P \cos \alpha_2 + m\,R\,\omega^2 \sin (\alpha_2 - \beta)$$

Donat que els angles α_1 i α_2 són molt semblants el terme $P \cos \alpha$ serà molt semblant per les dues posicions. En canvi el terme relatiu a l'acceleració normal és molt diferent. En el cas del punt més baix el sinus està afectat per dos angles: el del desplaçament de la cadira i el d'inclinació de l'eix. En canvi, en el punt més alt, només està afectat pel desplaçament de les cadiretes. Donat que el sinus és proporcional a l'angle (per angles petits), efectivament la normal és més gran en el punt més baix que en el punt més alt. L'efecte és real.
En el nostre experiment el que voldrem mesurar és la diferència entre la normal als punts més alt i més baix de la trajectòria de la cadireta. Per fer les coses fàcils suposarem que els angles α_1 i α_2 són iguals. Si ara restem les normals al punt més baix i més alt obtenim:

$$N_{baix} - N_{dalt} = m\,R\,\omega^2\,[\sin (\beta+\alpha) - \sin (\alpha - \beta)]N = m\,(v^2 / R + g)$$

Si tenim en compte les expressions que ens donen la suma i resta d'angles en funció de cosinus i sinus següents:

$$\sin (\alpha+\beta) = \sin \alpha \cos \beta + \sin \beta \cos \alpha$$
$$\sin (\alpha - \beta) = \sin \alpha \cos \beta - \sin \beta \cos \alpha$$

podem escriure la darrera equació com:

$$N_{baix} - N_{dalt} = 2m\,R\,\omega^2 \sin \beta \cos \alpha$$

EXPERIMENTA!

Què farem?

Volem calcular la normal quan estem asseguts a les cadiretes en els punts més alt i més baix de la trajectòria. Per fer això necessitarem primer calcular els angles que participen en el càlcul. També necessitarem mesurar el radi de gir i el període de gir. I amb tot això mirarem de calcular la normal. Sort!

E1: MESUREM LA VELOCITAT ANGULAR.

Fora de l'atracció

1. Una de les cadiretes té un llaç de forma que tinguem una referència per tal de comptar voltes.
2. En un primer moment l'atracció comença a girar i pujar. En aquesta primera part el moviment no és circular uniforme.
3. Quan les cadiretes són a dalt de tot, el moviment ja es pot considerar circular uniforme.
4. Prenem el temps que tarda a fer una volta.
5. Repetim aquesta mesura quatre cops. Si veieu que en un moment donat l'atracció comença a aturar-se, no tingueu aquesta mesura en compte. A les mesures les anomenarem T_1, T_2,...
6. La velocitat angular es pot calcular a partir de la relació: $\omega=2\pi/T$

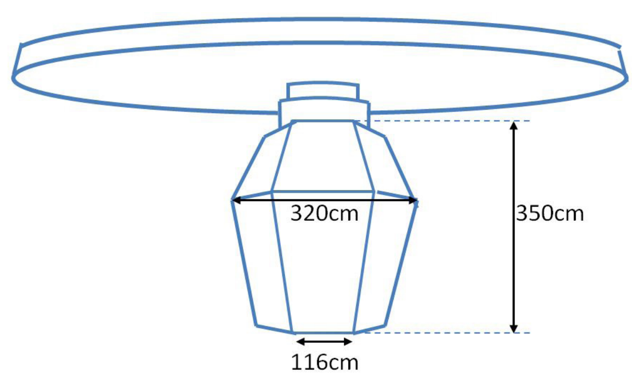
Període (s)	T_1	T_2	T_3	T_4	$T_{mitjana}$
Velocitat Angular ω (rad/s)					

E2: TRAJECTÒRIA DE LES CADIRETES.

Fora de l'atracció

1. El diàmetre de l'eix inferior del Diavolo és de 320 cm (vegeu figura inferior).
2. Fem una fotografia de l'atracció quan estigui girant a velocitat constant.
3. A partir de l'aplicació ImageMeter, i tenint en compte la mesura de referència podem trobar el radi amb què giren les cadiretes.
4. Amb la mateixa aplicació també podem mesurar els angles α i β que caracteritzen el moviment de les cadiretes.

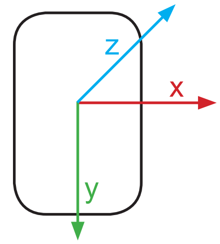
$R =$ m ; $\alpha =$ ° ; $\beta =$ °



EXPERIMENTA!

E3: MESUREM LA FORÇA NORMAL

Dins de l'atracció



1. Pugem a l'atracció amb l'acceleròmetre encès i ficat dins el porta-mòbils. Tal com es veu a la fotografia.

2. Un cop s'ha acabat l'atracció podeu treure el mòbil de la seva funda i comprovar l'acceleració que heu obtingut.

QÜESTIONS?

1. La mesura de la diferència de la normal al punt més alt i més baix amb el mòbil, es correspon amb els vostres càlculs a partir dels valors del radi R, la velocitat angular ω i els angles α i β?

$N_{baix} - N_{dalt} = 2m\, R\, \omega^2 \sin\beta \cos\alpha =$ N

2. Podem determinar el període a partir de la mesura amb l'acceleròmetre? Us dóna un resultat similar?

3. Quina és la velocitat lineal de les cadiretes més externes?

$v = \omega R =$ m/s

+A L'AULA!

1. En quins eixos podem veure l'acceleració normal? Calcula l'acceleració normal de les cadiretes a partir de les dades de l'acceleròmetre i l'angle α. Fes també el càlcul a partir de la velocitat i el radi obtinguts als experiments. Compara els dos resultats

2. Hem fet l'aproximació que els angles α_1 i α_2 són iguals. Però no ho són. De fet els podem calcular a partir de les equacions de Newton, si descomponem les forces amb els eixos paral·lels a la força normal i a l'acceleració normal. Calcula els angles tenint en compte els valors mesurats al Tibidabo. Com són de diferents? Són semblants als que podeu mesurar amb les fotografies?

3. De fet, encara hem fet una altra aproximació... el moviment no és circular. Però el seu càlcul és molt complicat. De totes maneres si sou prou valents, ho podeu intentar...

"Basically, I have been compelled by curiosity". Mary Leakey.

16. Diavolo Pèndol. DINÀMICA.

FISIDABO

CONCEPTES
Pèndol cònic.
2ona llei de Newton.
Moviment circular uniforme.

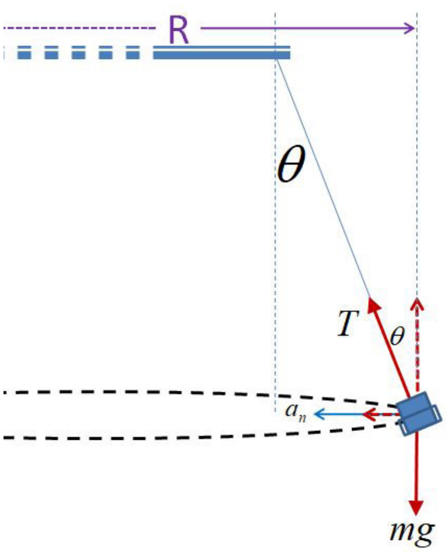
CONEIXEMENTS PREVIS
Mesura de distàncies i angles.
Mesura de temps.

MATERIAL
Cronòmetre.

APPs & MÒBIL
Analitzador de fotos.

Cadiretes no inercials

Veiem Barcelona als nostres peus, mentre girem i girem. En girar les cadiretes, que abans penjaven, ara volen. I tot degut a que giren… i giren gràcies a la cadena que ens agafa fermament al sostre de l'atracció… i s'aixequen perquè donem voltes. Aquest experiment ens permetrà no només entendre per què s'aixequen les cadiretes, també aprendrem a calcular l'angle que formen les cadiretes amb la vertical.



Mirem les cadires com donen voltes al Diavolo del Tibidabo… fixeu-vos que en donar voltes, les cadires amb les seves cadenes formen el tronc d'un conus. En física, això li diem pèndol cònic: consisteix en una corda amb un extrem fix, i una massa a l'altre extrem que porta una certa velocitat de manera que la massa gira amb un moviment circular uniforme. El moviment circular associat a les cadiretes fa que la velocitat modifiqui la seva direcció però no el seu mòdul, i per tant el moviment serà uniforme. Per aquest motiu l'acceleració que fa que canviï el mòdul de la velocitat (l'acceleració tangencial) serà nul·la. En canvi l'acceleració que fa que canviï la direcció de la velocitat (l'acceleració normal) serà diferent de zero, però constant, i la podem calcular com: $a_n = \omega^2 R$

On ω és la velocitat angular del cos. Per tal de poder descriure com es mouen les cadiretes cal que fem un diagrama amb les forces que actuen sobre elles. Al mateix gràfic afegirem també l'acceleració normal.

Com que l'acceleració normal està dirigida cap al centre de la circumferència que formen les cadiretes, podrem escriure la segona llei de Newton en la direcció horitzontal, *x*, i en la component vertical, *y*.

$$\begin{cases} T\sin\theta = ma_n = m\,\omega^2 R \\ T\cos\theta - mg = 0 \end{cases}$$

Aïllem ara el terme on apareixen les tensions, tot obtenint el següent sistema d'equacions:

$$\begin{cases} T\sin\theta = m\,\omega^2 R & \text{horitzontal, } x \\ T\cos\theta = mg & \text{vertical, } y \end{cases}$$

Dividint ara les dues equacions obtenim el següent resultat: $\mathrm{tg}\,\theta = \dfrac{\omega^2 R}{g}$

Si ara tenim en compte que la velocitat angular del pèndol es pot determinar com l'angle associat a una volta completa (2π) entre el temps que triga a fer-la (el període), $\omega = 2\pi/T$
podem arribar a l'expressió que ens relaciona l'angle que es desvien les cadiretes respecte a la vertical amb el radi de gir de les cadiretes (vegeu quadre de la dreta):

$$\boxed{\mathrm{tg}\,\theta = \frac{4\pi^2 R}{g\,T^2}}$$

EXPERIMENTA!

Què farem?

Volem predir quant s'aixequen les cadiretes. Dit d'una altra forma, quin és l'angle que formen amb la vertical en girar.
Per això ens caldrà en la primera part de l'experiment mesurar el radi i el període de gir de les cadiretes.
En l'experiment final mesurarem si, efectivament, els nostres càlculs de l'angle han sigut acurats.

E1: MESUREM LA VELOCITAT ANGULAR

Fora de l'atracció

1. Deixem que el Diavolo doni unes voltes, fins que veiem que les cadiretes giren a una velocitat aproximadament constant.

2. Mesurem amb el cronòmetre el temps que tarda una cadireta a donar una volta completa. Per fer això, prendrem com a referència la cadireta de l'atracció que té un llaç de color. Mesurem el temps que triga aquesta cadireta en fer 3 voltes.
A aquest temps l'anomenarem t.

$t =$ s

3. Per trobar el període de rotació T només caldrà dividir aquest temps entre tres.

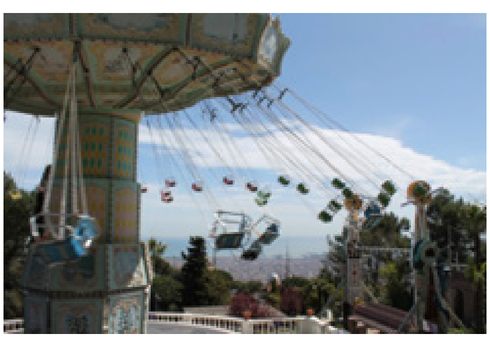
$T = t/3 =$ s

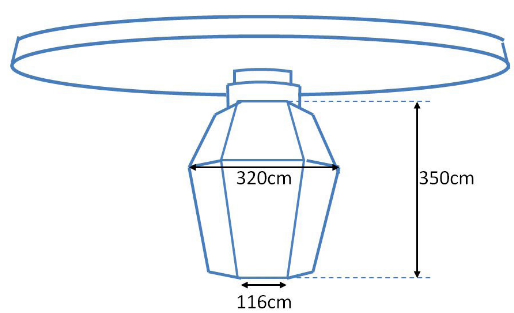
E2: ANGLE D'ELEVACIÓ I RADI DE GIR

Fora de l'atracció

1. Deixem que el Diavolo doni unes voltes, fins que veiem que les cadiretes giren a una velocitat aproximadament constant.

2. Fem una foto el més allunyats possible intentant situar-nos davant del Diavolo, intentant obtenir una imatge com aquesta:





3. Amb l'aplicació ImageMeter podem mesurar ara la inclinació de les cadiretes i el radi de gir. Per fer això cal tenir una referència, prendrem el diàmetre de l'eix central que és R_{eix} = 320 cm.

4. Els valor obtinguts pels angles i el radi mesurats a partir de la foto són:

$R =$ m ; $\theta =$ º

QÜESTIONS?

1. Calculem l'angle d'elevació de les cadiretes a partir del període i del radi que hem mesurat: la diferència entre els valors experimental i calculat de l'angle és significativa?

$$\theta = \text{arctg}\,\frac{4\pi^2\ R}{g\,T^2} = \qquad\qquad {}^{\text{o}}$$

+A L'AULA!

1. Podem també calcular la gravetat a partir de tots els valors que hem mesurat, aïllant-la de l'equació. Quin valor obtenim? És semblant a g = 9,81m/s^2?

2. Quina velocitat han de tenir les cadiretes per tal de tenir un angle de desviació respecte a la vertical de 90º?

3. Quin és el valor de la velocitat lineal d'una cadireta de la part externa?

"Humans are allergic to change. They love to say, "We've always done it this way." I try to fight that. That's why I have a clock on my wall that runs counter-clockwise". Grace Hopper.

18. Viking Normal. DINÀMICA.

CONCEPTES
Acceleració normal.

CONEIXEMENTS PREVIS
Mesura de velocitats.
Acceleròmetre del mòbil.

MATERIAL
Cronòmetre.
Cinta mètrica.

APPs & MÒBIL
Acceleròmetre.
Cronòmetre, opcional.

Accelerar sense anar més de pressa

Accelerar, per gairebé tothom és anar més de pressa. Però pels físics, accelerar significa qualsevol canvi que es faci en la velocitat d'un objecte: sigui el seu valor o la seva direcció. A l'atracció dels Vikings del Tibidabo els vaixells donen voltes. Cert, no van cada cop més ràpid o més lentament. Però la seva direcció canvia contínuament…

Parlem amb propietat: accelerar és canviar el vector velocitat. Això es pot fer canviant el seu mòdul o la seva direcció. Per cadascuna d'aquestes acceleracions tenim un nom especial. La primera, en què només canvia com de ràpid anem, s'anomena **acceleració tangencial**. La segona, que ens diu com de fort és el canvi en la direcció, l'anomenem **acceleració normal**.

Els vaixells Vikings es mouen en un moviment circular. Per tant el que ens interessa no és quant avancen per unitat de temps (al cap i a la fi donem voltes, i no avancen gaire). El que ens interessa és quin angle recorren per unitat de temps. A la velocitat que ens diu com de ràpid donen voltes se l'anomena **angular**, i es representa amb la lletra grega omega ω.

Donat que a l'atracció Viking del parc d'atraccions del Tibidabo aquesta velocitat angular és constant, l'acceleració tangencial serà zero. Però donat que el moviment és circular, estem canviant contínuament la direcció en la qual avancem, i això fa que l'acceleració normal no sigui zero. La podem calcular a partir de la relació del requadre de la dreta.

$$a_n = \omega^2 R$$

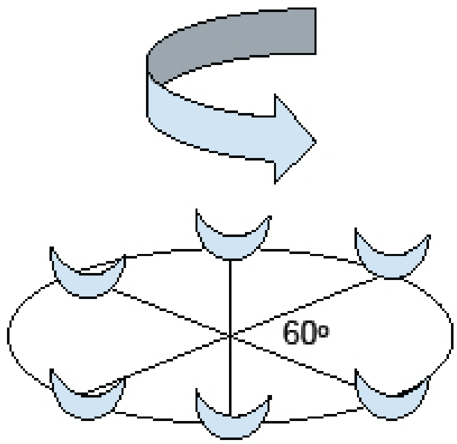
$\boldsymbol{\omega}$ és el mòdul de la velocitat amb que estem girant.

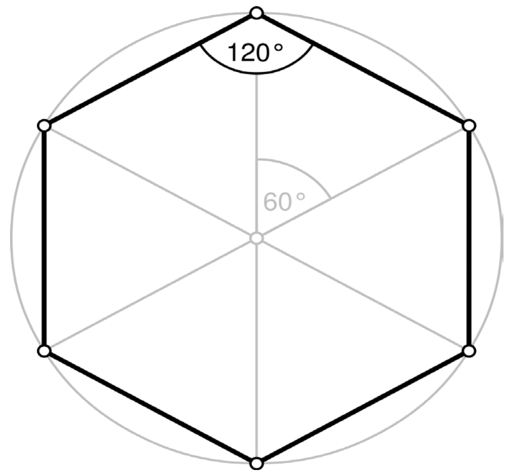
R és el radi de la corba.

EXPERIMENTA!

Què farem?

Aquest experiment ens permetrà obtenir la gràfica que ens diu com varia l'angle que descriu un vaixell Viking amb el temps. Com que voldrem calcular també la velocitat lineal d'un vaixell, ens caldrà prèviament mesurar el radi de l'atracció.





E1: CALCULEM EL RADI

Fora de l'atracció **(Ídem 17-E1)**

1. Abans de res fixem-nos que l'atracció està formada per sis vaixells, tots a la mateixa distància els uns dels altres. Això vol dir que entre vaixell i vaixell tenim un angle de 60º. Cada un del vaixells és un dels vèrtex que formen un hexàgon. Els hexàgons tenen la particularitat que estan formats per 6 triangles equilàters el que vol dir que el costat té la mateixa longitud que el radi. En el cas de la nostra atracció això voldrà dir que la distància entre els màstils de dos vaixells contigus serà igual a la distància entre el màstil i el centre de l'atracció.

2. Mesureu la distància entre el màstil de dos vaixells. Aquesta distància serà igual al radi de l'atracció:

R = m

EXPERIMENTA!

E2: MESUREM LA VELOCITAT ANGULAR

Fora de l'atracció

1. A l'atracció Viking del Tibidabo tenim sis vaixells, i per tant l'angle que es forma entre ells és de 360º/6 = 60º.
2. Primer esperarem que l'atracció estigui donant voltes de forma constant.
3. Quan passi un vaixell al nostre costat començarem a comptar amb el cronòmetre, i deixarem passar tres vaixells (3x60º = 180º = π rad).
4. Quan el tercer vaixell passi pel nostre costat aturarem el cronòmetre.
5. Això ho repetirem cinc cops, anotem i calculem:
6. Calculem la mitjana amb aquestes cinc mesures, i l'anomenarem ω.

Angle (rad)	π	π	π	π	π
Temps Δt (s)					
Velocitat angular $\omega = \frac{\pi}{\Delta t}$ (rad/s)					

E3: MESUREM L'ACCELERACIÓ NORMAL

Dins de l'atracció

1. Pujarem a un vaixell i engegarem l'aplicació de l'acceleròmetre.
2. Cal tenir en compte (com està descrit a la part de tècniques necessàries prèvies) que cal saber quin eix representa cada direcció del nostre telèfon mòbil. Si teniu el telèfon com s'indica a la figura inferior, l'eix que ens interessa és l'*x*.
3. Un cop acabada l'atracció aturarem la mesura per poder analitzar el resultat.
4. Observa l'acceleració a l'eix x quin és el seu valor durant gran part de l'atracció? Aquesta acceleració serà la nostra acceleració normal:

$a_n =$ m/s^2

QÜESTIONS?

1. A partir de la relació $a_n = \omega^2 R$ calculem el valor de l'acceleració normal, tenint en compte el valor que hem mesurat de la velocitat angular.

$a_n =$ m/s^2

2. Compara el resultat obtingut anteriorment amb la mesura feta per l'acceleròmetre del mòbil:

+A L'AULA!

1. El càlcul de l'acceleració normal l'hem fet a partir del radi que us hem donat. Però... i si aquest radi és fals? Podem calcular el radi a partir dels valors de l'acceleració normal i de la velocitat angular.

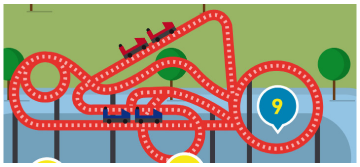
2. En pujar a l'atracció ens en vàrem adonar que els vaixells pugen i baixen.
Com es veu això en les dades que hem recol·lectat amb l'acceleròmetre?

3. L'acceleració tangencial també l'hem enregistrat a l'app. En quin eix es troba? Com canvia en el temps?

"Life need not be easy, provided only that it is not empty". Lise Meitner.

19. Muntanya Russa Acceleració. DINÀMICA.

FISIDABO



CONCEPTES
Acceleració normal.
Acceleració tangencial.

CONEIXEMENTS PREVIS
Mesura de velocitats.
Acceleròmetre del mòbil.

MATERIAL
Mòbil i funda.
Cronòmetre.

APPs & MÒBIL
Acceleròmetre.
Cronòmetre, opcional.

Emocions accelerades

La clau per aconseguir que una muntanya russa sigui divertida està en l'acceleració.
En aquesta atracció tenim moments en què sentim una sensació gairebé d'ingravidesa (sobretot en el moment inicial), i altres moments en què ens sentim esclafats contra el seient.
La gent que dissenya les muntanyes russes té molt en compte quines acceleracions pateix el nostre cos en tot el recorregut, i avui nosaltres intentarem esbrinar aquest secret.

Les nostres sensacions estan, per tant, relacionades amb l'acceleració. Recordem que l'acceleració és un canvi en la velocitat. Recordem també que la velocitat ens indica dues coses: la direcció que portem i la celeritat amb la qual ens movem. Dit d'una forma més tècnica: la velocitat és un vector amb el seu mòdul i la seva direcció. Per tant, podrem aconseguir una acceleració de dues formes: o canviant el mòdul del vector velocitat o la seva direcció. Mirem aquestes dues acceleracions per separat:

Per produir una acceleració es pot canviar la rapidesa amb la qual avancem en la nostra trajectòria. És a dir, aconseguim accelerar quan canviem el mòdul de la velocitat. A aquesta acceleració l'anomenem **acceleració tangencial,** ja que sempre té lloc en la mateixa direcció amb la qual avancem en la nostra trajectòria. Per sentir aquesta acceleració no cal canviar de direcció. La podem calcular a partir del **canvi del mòdul en funció del temps**, tal com mostra el requadre de la dreta:

$$a_t = \frac{\Delta|v|}{\Delta t}$$

$|\mathbf{v}|$ és el mòdul de la velocitat.
Δt és temps que es tarda a canviar-la.

Per altra banda podem aconseguir sentir una acceleració si canviem la direcció amb la que avancem en el nostre moviment. Dit d'una altra forma, canviant la direcció del vector velocitat. En aquest cas l'acceleració és responsable únicament del canvi de direcció i s'anomena **acceleració normal**. Aquesta acceleració és responsable únicament del **canvi de direcció** en la velocitat, i no té cap efecte sobre el seu mòdul. Per aquesta raó ha de ser sempre perpendicular a la trajectòria. Podem quantificar quina és l'acceleració que sentim en el cas de canviar de direcció gràcies a la fórmula del requadre de la dreta:

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

a_n és l'acceleració normal.
v és el mòdul de la velocitat amb la que estem girant.
R és el radi de la corba.

Això vol dir que com més ràpid anem o més tancada és una corba (menor és el radi de gir) més forta haurà de ser l'acceleració… i això ho notem durant tot el recorregut de l'atracció.

En la primera caiguda de l'atracció la responsable de la sensació d'ingravidesa és bàsicament l'acceleració tangencial, ja que en aquesta part del trajecte les vagonetes de la muntanya russa gairebé no canvien de direcció.
En canvi durant gairebé tota la resta de l'atracció sentirem l'acceleració normal. Els canvis de direcció faran que aquesta acceleració prengui protagonisme, i ens esclafi contra el seient.

EXPERIMENTA!

Què farem?

Si t'hi fixes, tant en la definició de l'acceleració tangencial com en la de l'acceleració normal apareix la velocitat. Per aquesta raó abans de res ens caldrà saber com de ràpid van les vagonetes de la muntanya russa. És a dir: ens cal mesurar el mòdul de la seva velocitat. Ens agradaria tenir aquesta mesura en tot el recorregut, però l'únic punt on la podem aconseguir d'una forma fiable és al punt més baix. Un cop sabem aquesta velocitat ja ens podem muntar a la muntanya russa amb el nostre acceleròmetre, i deixar que les acceleracions ens facin cridar...

E1: MESURA DE LA VELOCITAT AL PUNT MÉS BAIX

Fora de l'atracció **(Ídem 20-E1)**

1. En primer lloc tindrem en compte que la longitud sencera d'un dels cucs formats per les quatre vagonetes és de 1015 cm. Anomenarem a aquesta distància *D*.

2. Per mesurar la velocitat, el sistema de referència ho és tot. Per això ens quedarem fora de l'atracció, just a l'entrada, abans d'entrar al túnel: és el punt més baix del recorregut.

3. Escollirem un punt característic, que serà el nostre sistema de referència. Pot ser l'entrada del túnel, una planta, un arbre o algun element arquitectònic.

4. Quan sentim els crits de la gent de l'atracció és el moment d'estar preparats. Amb el cronòmetre, mesurarem el temps que tarda a passar tot el cuc per davant del sistema de referència escollit. A aquest temps l'anomenarem *t*.

$t =$ s

5. Calculem la velocitat:

$$v = \frac{D}{t} = \qquad \text{m/s}$$

6. També podeu fer servir l'aplicació "VidAnalysis" per tal d'obtenir la velocitat d'una forma més exacta.

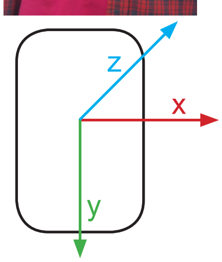
E2: MESUREM L'ACCELERACIÓ

Dins de l'atracció

1. Abans de pujar a la vagoneta de la muntanya russa engegarem l'aplicació de l'acceleròmetre.

2. Guardarem el telèfon a la funda i ens la penjarem tal com s'indica a la foto.

3. Un cop acabada l'atracció aturarem la mesura per poder analitzar el resultat.



4. Si ens hem penjat el telèfon tal com s'indica a la foto anterior, en l'eix *z* sentirem l'acceleració tangencial, i en els eixos *x* i *y* l'acceleració normal.

QÜESTIONS?

1. Quina és la velocitat del cuc de la muntanya russa en el punt més baix en km/h? És una velocitat molt alta?
A partir d'aquest resultat, raona si les sensacions a la muntanya russa estan associades a la velocitat o a l'acceleració.

$v =$ km/h

2. Quin és el valor de l'acceleració tangencial en la primera part del recorregut de l'atracció?

$a_t =$ m/s^2

3. Quin és el valor màxim de l'acceleració normal?
Quantes vegades és més gran aquesta acceleració que l'acceleració deguda a la gravetat?

$a_n =$ m/s^2

+A L'AULA!

1. Explica la sensació d'ingravidesa a la primera caiguda.

2. Com hem pogut observar, en una part del recorregut de la muntanya russa es descriu una trajectòria gairebé circular.
Podem trobar les acceleracions normals tenint en compte que són gairebé constants durant un cert període de temps.
Calculem quin és el radi d'aquesta trajectòria circular, si suposem que només actua l'acceleració normal segons l'eix x, $a_{n,x}$
Per fer això, suposem que la velocitat de la vagoneta és la que hem mesurat al primer experiment E1.

3. L'acceleració total que mesurem és una suma vectorial de les tres acceleracions en els tres eixos.
Pots calcular l'acceleració tangencial total a partir de la suma vectorial en els eixos x i z: quin valor obtens?

4. Per què és tan important definir un bon sistema de referència a l'hora de fer mesures?

5. És possible, a partir de la gràfica $a(t)$, obtenir les gràfiques $v(t)$ i $x(t)$ tot integrant numèricament $a(t)$.
Per fer-ho cal tenir en compte dues coses: que el cuc de la muntanya russa parteix del repòs: $v(t=0) = 0$.
I que per temps zero està al punt inicial: $x(t=0) = 0$. Podem fer aquest càlcul i compartir el resultat a classe.

"Scientists should never claim that something is absolutely true". Jocelyn Bell Burnell.

22. Mina d’Or Rectilini. MOVIMENT RECTILINI UNIFORME.

CONCEPTES
Moviment rectilini uniforme

CONEIXEMENTS PREVIS
Mesura de temps

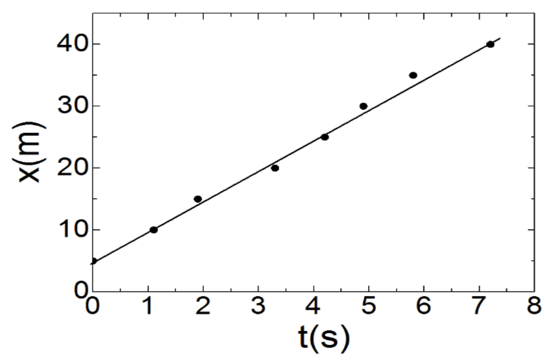
MATERIAL
Cronòmetre

APPs & MÒBIL
Cronòmetre

Avançar per tornar al mateix lloc

Ja ens hem mullat per primer cop. Després d’haver pujat per la cinta transportadora hem fet la primera baixada i ara avancem plàcidament… i el nostre cap comença a pensar que pot ser el nostre moviment és rectilini uniforme. En posar el peu fora de l’atracció no podem esperar ni un moment. Correm a un punt on es pugui veure la primera part del recorregut després de la primera caiguda i mesurem si, efectivament, el moviment és uniforme: segur que tots heu pensat el mateix!

Un cos descriu un moviment rectilini uniforme quan la trajectòria que segueix és una línia recta i, a més, avança a velocitat constant. Però... com sabem que el moviment es produeix, efectivament a velocitat constant? Una bona de comprovar-ho és fer una gràfica de la posició del cos en funció del temps. Si la velocitat és constant i mesurem el temps que triga a passar per punts equidistants hauríem d’obtenir una gràfica com aquesta:



Fixem-nos que els punts estan alineats... més o menys a causa d’un possible error de mesura. Quan els punts estan alineats significa que el cos que estem estudiant avança la mateixa distància en el mateix temps durant tot el recorregut. En aquest cas podem descriure matemàticament el seu moviment amb l’equació:

$$x(t) = x_0 + vt$$

$\boldsymbol{x_0}$ és el punt de partida
v és la velocitat del cos
t és el temps que va passant mentre el moviment té lloc.

Per tal d’obtenir la velocitat a partir de la gràfica, si els punts estan prou ben alineats, ho podem fer senzillament tenint en compte la distància total recorreguda per l’objecte entre el punt inicial i el final que hem mesurat, i el temps que ha trigat en viatjar entre aquests dos punts… però també podem obtenir velocitats entre cada parella de punts de la gràfica utilitzant la distància i el temps que ha trigat el cos en anar d’un punt al següent.
La primera velocitat s’anomena velocitat mitjana, i la segona, mesurada en cada punt de la trajectòria, s’anomena velocitat instantània.

EXPERIMENTA!

Què farem?

L'objectiu d'aquest experiment és obtenir la gràfica *x(t)* associada al moviment dels troncs de l'atracció de la mina d'or. Per fer això utilitzarem una sèrie de referències de l'estructura i mesurarem el temps que triga en passar per davant de cadascun d'aquests punts.

E1: MESURA DE L'ALÇADA A LA DARRERA BAIXADA DE L'ATRACCIÓ

Fora de l'atracció

1. Abans de res fixem-nos que els troncs avancen per un canal format per peces regulars. Aquestes peces tenen una llargària L = 98 cm.

2. Ens col·loquem a la zona on es fa la coa per pujar a l'atracció i observem que davant nostres podem veure perfectament el tram rectilini que hi ha després de la primera caiguda.

3. Hem d'escollir com a punt d'inici del moviment una de les unions entre dues peces. Quan un troc passi per aquest punt iniciem el cronòmetre del mòbil.

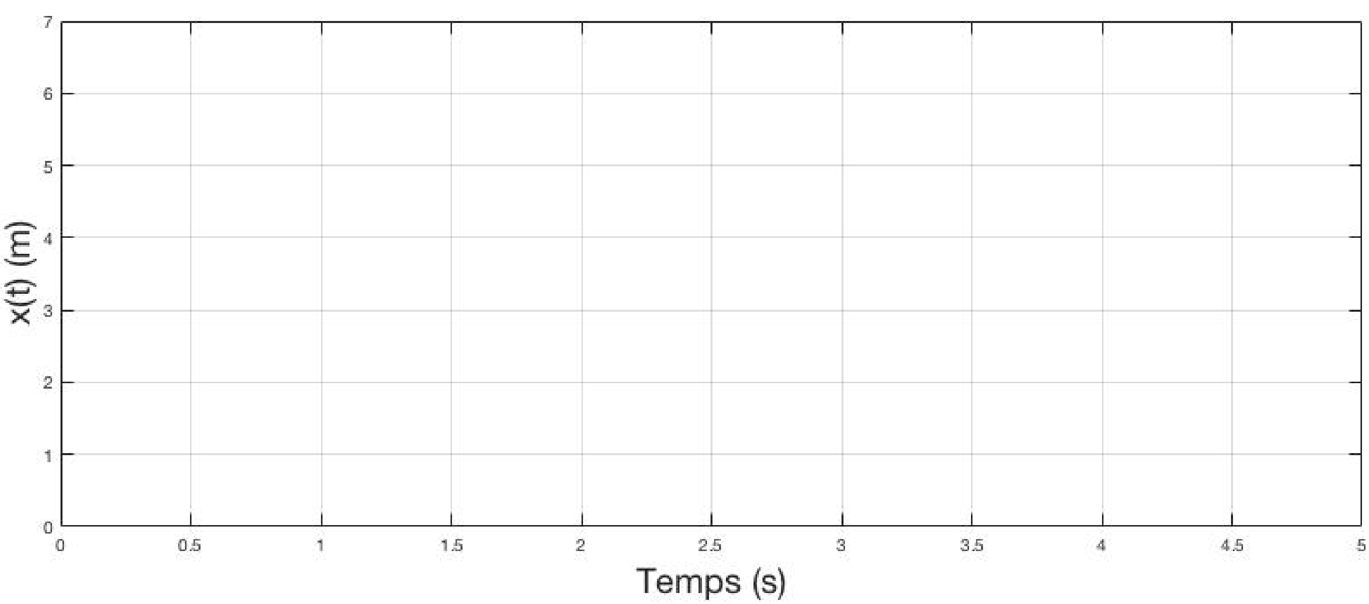
4. Cada cop que el tronc passi per una unió entre dues peces premem el botó **Volta** del cronòmetre.

5. Finalment, un cop ja ha passat el troc anotem els valors de temps obtinguts:

Volta	1	2	3	4	5	6	7
Distància (cm)	d_1 = 98	d_2 = 196	d_3 = 294	d_4 = 392	d_5 = 490	d_6 = 588	d_7 = 686
Temps (s)	t_1 =	t_2 =	t_3 =	t_4 =	t_5 =	t_6 =	t_7 =

QÜESTIONS?

1. Dibuixa la gràfica de la distància en funció del temps:



QÜESTIONS?

2. Observa la gràfica que has obtingut, creus que els troncs avancen a una velocitat uniforme?

3. Prenent el primer i el darrer punt de la trajectòria podem calcular la velocitat mitjana. Per això simplement caldrà dividir la distància recorreguda entre el temps que ha necessitat el tronc per anar del primer al darrer punt.

$$v = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \qquad \text{m/s}$$

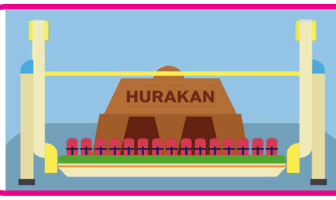
+A L'AULA!

1. Calcula la velocitat en km/h. Compara-la amb la velocitat d'una persona caminant (4 km/h aproximadament).

2. Calcula aquesta velocitat instantània per cada punt: s'assemblen aquestes velocitats?

3. Calcula la mitjana entre les velocitats i compara-la amb la velocitat mitjana: Quina mesura de la velocitat dels troncs creus que té un error més gran?

"That one must do some work seriously and must be independent and not merely amuse oneself in life-this our mother [Marie Curie] has told us always, but never that science was the only career worth following." Irene Joliot-Curie.



CONCEPTES
Coordenades cartesianes del moviment circular.

CONEIXEMENTS PREVIS
Mesura de velocitats. Acceleròmetre del mòbil.

MATERIAL
Mòbil i funda. Cronòmetre.

APPs & MÒBIL
Acceleròmetre, Cronòmetre, Càmara

Voltes i voltes, el món va donant voltes

Un moviment circular ja és garantia d'una atracció mogudeta… però que passa si a sobre n'hi afegim un altre? La resposta és l'hurakan: pot ser l'atracció guanyadora en produir adrenalina al TIBIDABO. Un cop asseguts a l'atracció ens serà difícil saber si estem cap per avall o cap per dalt. Per això, mirem-nos l'atracció des de fora per tal d'entendre una mica millor quins moviments es produeixen, abans de pujar i cridar, cridar i cridar.

El moviment circular és una mica especial: està confinat a passar sempre dintre d'un cercle. Això fa que sigui més convenient definir posicions, velocitats i acceleracions tenint en compte l'angle i no la posició en coordenades cartesianes (x,y). En primer lloc, definim l'angle que va recorrent un objecte en moviment circular com a $\theta(t)$. Per tant la velocitat angular mitjana la podem calcular com:

$$\omega = \frac{\theta - \theta_0}{\Delta t}$$

De la mateixa forma, podem calcular l'acceleració angular com:

$$\alpha = \frac{\omega - \omega_0}{\Delta t}$$

Les equacions del moviment, tenint en compte aquestes dues equacions, les podem escriure com:

$$\theta(t) = \theta_0 + \omega_0 t + \frac{1}{2}\alpha t^2$$

$$\omega(t) = \omega_0 + \alpha t$$

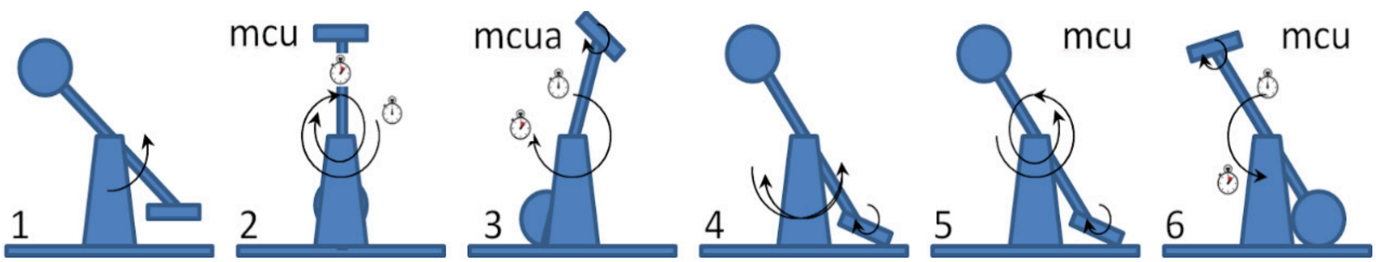
EXPERIMENTA!

Què farem?

Ens fixarem en el moviment del braç de l'Hurakan, i mesurarem el temps entre alguns punts de la trajectòria per tal d'obtenir les magnituds associades al moviment. A la seqüència de moviments de l'atracció podem trobar tant moviments circulars uniformes, com uniformement accelerats.

L'Hurakan es compon d'un braç on hi ha unida una "barca" on seuen els passatgers. El seu moviment sempre té la mateixa seqüència. Cal conèixer-la per tal de poder fer les mesures en el moment que pertoca. Abans de començar a fer l'experiment, si us plau, comproveu que els moviments que fa el braç són els que descrivim a continuació:

1. Puja cap enrere un quart de volta
2. Fa una primera volta
3. Es deixa anar i fa tres quarts de volta
4. Un cop aturat el braç torna enrere i endavant amb un moviment oscil·latori
5. Després fa una volta sencera
6. Acaba amb mitja volta feta a poc a poc



E1: MESURA DEL RADI DE L'ATRACCIÓ:

Fora de l'atracció

1. Busqueu els punts marcats a prop de l'atracció. En aquests punts està marcada la distància D des del mateix punt fins a la base del braç de l'Hurakan.

2. Mesureu l'angle que us marca l'inclinòmetre si, des del punt, observeu la "barca" quan es troba al punt més alt:

$\alpha =$ º

3. Mesureu, amb una cinta mètrica, la vostra alçada. Si no podeu, feu una estimació:

$h =$ m

4. L'alçada del punt més alt serà, per tant:

$H = h + D \cdot \mathrm{tg}(\alpha) =$ m

5. Llavors podem aproximar el radi com a la meitat d'aquesta altura:

$R = H/2 =$ m

EXPERIMENTA!

E2: MESURA DEL TEMPS PER CADA MOVIMENT

Fora de l'atracció

Per facilitar les mesures de temps, utilitzeu al cronòmetre del mòbil la tecla ‘‘volta’’ per marcar l’inici i el final de cada moviment.

Moviment 2. Mesura el temps en fer una volta. Tingues en compte que fa una volta i mitja! El millor és calcular el temps entre que passa dos cops pel punt més baix:

$t_2 =$ s

Moviment 3. Aquest moviment és accelerat, partint gairebé del repòs. Mesurarem el temps que triga en fer mitja volta: des del punt més alt fins al punt més baix:

$t_3 =$ s

Moviment 5. Mesura el temps en fer una volta. Tingues en compte que fa una volta i mitja! El millor és calcular el temps entre que passa dos cops pel punt més baix:

$t_5 =$ s

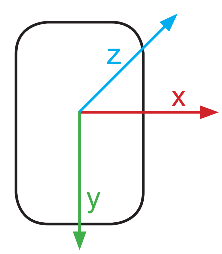
Moviment 6. Mesura el temps en fer la darrera mitja volta:

$t_6 =$ s

E3: MESUREM L’ACCELERACIÓ

Dins de l’atracció

1. Abans de pujar a la “barca“ de l’Hurakan engegarem l’aplicació de l’acceleròmetre.
2. Guardarem el telèfon a la funda i ens la penjarem tal com s’indica a la foto.
3. Un cop acabada l’atracció aturarem la mesura per poder analitzar el resultat.
4. El resultat d’aquest experiment és la gràfica de l’acceleració que heu obtingut



E4: GRAVACIÓ EN VÍDEO

Fora de l’atracció

1. Ens col·loquem al costat de l’atracció. Hem de veure l’atracció de manera similar a com es veu en la figura de la pàgina anterior.
2. Gravem l’atracció completa, des que comença a girar fins que s’atura.
3. Un cop a classe podem utilitzar el vídeo per reconstruir la trajectòria completa de l’atracció

QÜESTIONS?

Moviment Circular uniforme (moviments: 2, 5 i 6)

1. Donat que en aquests casos el moviment és gairebé uniforme, podem calcular la velocitat angular i la velocitat lineal en cadascun d'aquests trams:

	Tram 2	Tram 5	Tram 6
Temps t (s)	$t_2 =$ s	$t_5 =$ s	$t_6 =$ s
Angle girat $\Delta\theta$ (rad)	$\Delta\theta_2 = 2\pi$ rad	$\Delta\theta_5 = 2\pi$ rad	$\Delta\theta_6 = \pi$ rad
Velocitat angular $\omega = \Delta\theta/t$ (rad/s)	$\omega_2 =$ rad/s	$\omega_5 =$ rad/s	$\omega_6 =$ rad/s
Velocitat lineal v $v = \omega \cdot R$ (m/s)	$v_2 =$ m/s	$v_5 =$ m/s	$v_6 =$ m/s
Velocitat lineal v (km/h)	$v_2 =$ km/h	$v_5 =$ km/h	$v_6 =$ km/h

Moviment Circular uniformement accelerat (moviment: 3)

2. A l'experiment E2 hem calculat el temps t_3 que ha trigat la barqueta en fer aquesta mitja volta ($\Delta\theta_3 = \pi$) , i sabem que parteix aproximadament del repòs ($\omega_0 = 0$ rad/s). Llavors podem calcular l'acceleració angular de la següent manera:

$$\alpha = \frac{2\Delta\theta_3}{t_3^{\,2}} = \qquad \text{rad/s}^2$$

3. Podem calcular l'acceleració lineal com:

$$a_t = \alpha \cdot R = \qquad \text{m/s}^2$$

4. Per últim, pots comparar els teus resultats de l'acceleració amb els que has obtingut amb l'acceleròmetre de forma qualitativa. Són del mateix ordre de magnitud? Com creus que afecta el moviment circular de la barqueta a la mesura de l'acceleròmetre?

+A L'AULA!

1. Observa les gràfiques obtingudes per l'acceleròmetre, en quins eixos veuríem l'acceleració normal? Podeu donar-ne algun valor i comparar-lo amb els resultats obtinguts a les qüestions? Recordeu la relació entre l'acceleració normal i la velocitat lineal.

2. Si heu fet un vídeo de la trajectòria de l'hurakan, un cop a classe el podeu analitzar amb l'app VidAnalysis free o el programa tracker i comparar els resultats amb els que heu obtingut al TIBIDABO.

3. Compara les gràfiques obtingudes amb l'acceleròmetre i amb el vídeo. Intenta identificar quines acceleracions es podem veure a cada tram.

4. Creus que és possible amb les mesures de l'acceleròmetre obtingudes construir tota la trajectòria de la barqueta durant l'atracció, raona la teva resposta.

"Follow your interests, get the best available education and training, set your sights high, be persistent, be flexible, keep your options open, accept help when offered, and be prepared to help others.". Mildred Dresselhaus.