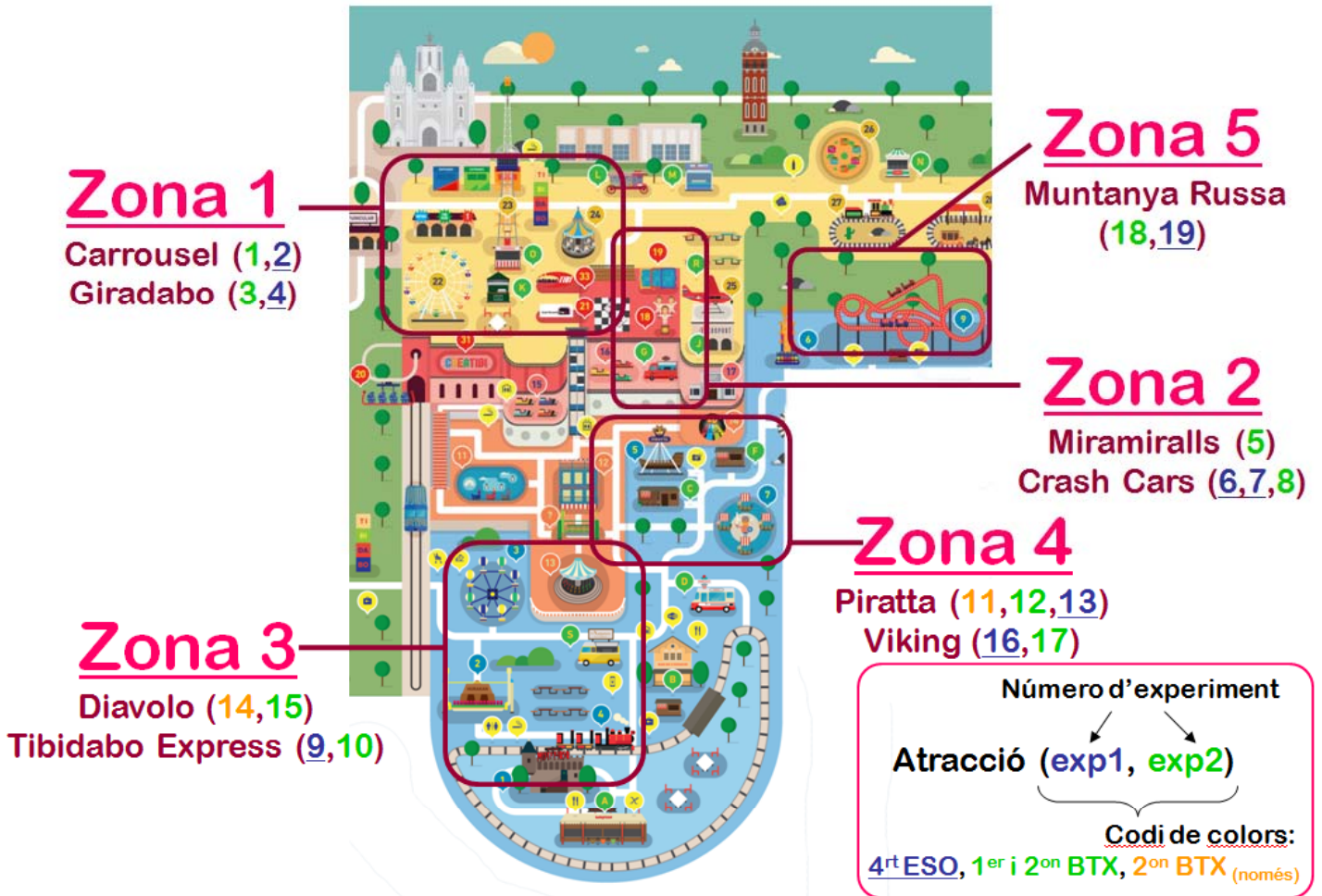


FISIDABO



EXPERIMENTS BTX

EXPERIMENTS FISIDABO



Coses importants:

- Recordeu baixar-vos les apps!
- Recordeu muntar l'inclinòmetre
- Recordeu carregar el mòbil al 100% el dia abans!
- Recordeu que l'acceleròmetre s'apaga si la pantalla es bloqueja
- Recordeu que cal pujar amb el portamòbils assegurat

Instruccions

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



2.- fes els càlculs del dossier

CALCULA!

1. Calcula l'energia potencial $U_p = mgh$ per tant $h = U_p / mg$ Resultat final: $h = U_p / mg$ per tant $h = U_p / mg$ (recordeu que la unitat del resultat Piratta és una zona)

2. Calcula l'energia cinètica $E_c = \frac{1}{2}mv^2$ Resultat final: $E_c = \frac{1}{2}mv^2$ per tant $v = \sqrt{2E_c / m}$ (recordeu que la unitat del resultat Piratta és una zona)

QUESTIONS?

1. L'energia potencial al punt més alt és la mateixa que l'energia cinètica al punt més baix de la trajectory?

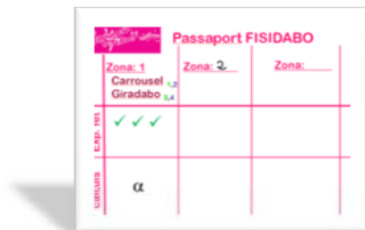
2. Quin percentatge d'energia s'ha perdut?

3. Si s'ha perdut energia, calcula el treball de la força de fregament que ha fet que l'energia es dissipés.

4. Tria un conjunt de resultats anteriors, calcula i suma alguns ambdós el resultat en la següent zona. Pots comprovar si el teu resultat és correcte al Tibidabo.

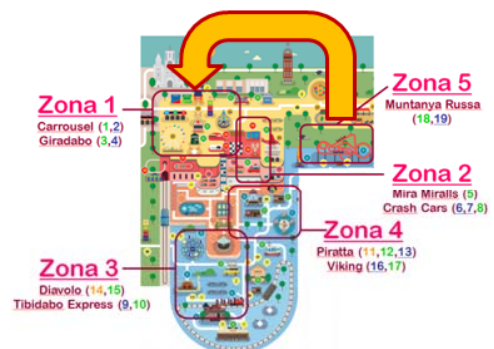
Demana ajuda als voluntaris!

3.- ensenya els teus resultats als voluntaris o al teu professor



et marcaran el teu passaport!

4.- canvia de zona per fer el següent experiment



Índex

Num.	Nom	Pàgina
1.-	Carrousel normal.....	1
3.-	Giradabo normal.....	5
5.-	Miramiralls Focal.....	10
8.-	Crash amb moment.....	13
10.-	Tren Normal.....	17
11.-	<u>Piratta Normal</u>	20
12.-	Pèndol Piratta.....	26
14.-	<u>Diavolo Normal</u>	30
15.-	Pèndol Diavolic.....	34
17.-	Viking Normal.....	37
18.-	Acceleració Russa.....	41

(Els experiments 11 i 14 són de nivell de segon de Batxillerat)



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.

Nota: recordeu que el període és el temps que el Carrousel tarda a fer una volta sencera.

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 d'avançament contínuament... o en termes matemàtics, canviar la direcció del vector velocitat. La llei d'inèrcia de Newton ens diu que no hi ha una altra forma de fer això que aplicant 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:

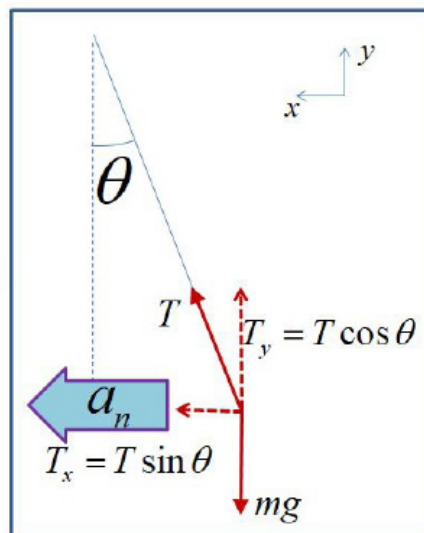
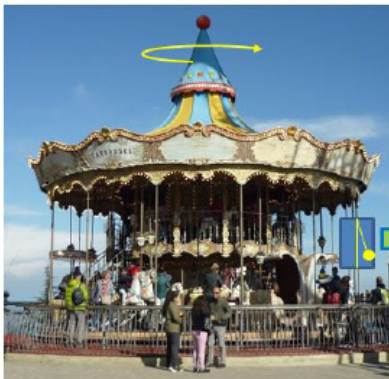
$$a_n = \frac{v^2}{R}$$

a_n és l'acceleració normal.

v és la velocitat lineal de l'objecte.

R és el radi de la trajectòria que descriu.

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



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

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

T és la tensió de la corda. θ és l'angle que forma la corda amb la vertical. I aquí s'amaga la força que fa girar l'objecte: és la component horitzontal de la tensió $T \cos \theta$!

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.

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

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 a sobre la mesurarem!

E1: MESURA DIRECTA DEL RADI DE L'ATRACCIÓ

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.
4. També ho podem fer sense l'ImageMeter del mòbil, tal i com descrivim a la tècnica "mesura de distàncies".

E2: MESURA DIRECTA DE LA VELOCITAT ANGULAR

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.
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 .

5. A partir d'aquesta mesura es fàcil calcular la velocitat angular a partir de la relació:

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

E3: MESURA INDIRECTA DE LA VELOCITAT ANGULAR AMB UN PÈNDOL

1. Prenem l'inclinòmetre que hem construït a classe (vegeu tècnica "mesura de distàncies").
2. Quan l'atracció està aturada agafeu l'inclinòmetre de forma que el pèndol marqui zero.
3. Recolzeu l'inclinòmetre a alguna part del perímetre de l'estructura de l'atracció per tal que no es mogui durant l'atracció.
4. 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 .

$$\theta =$$

QÜESTIONS?

1. Calculem la velocitat angular a partir del valor del radi que hem mesurat en l'experiment E3.

$$\omega = \sqrt{\frac{g \tan \theta}{R}}$$

2. 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?

3. 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.

4. Quina és la velocitat lineal en un punt de l'extrem del Carrousel?
(calculem aquesta velocitat a partir del radi i de la velocitat angular).

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

+A L'AULA!

- Fem una gràfica de l'angle de desviament del pèndol en funció de la velocitat angular de l'atracció. És possible que el pèndol arribi a estar paral·lel al terra per a alguna velocitat? (és a dir que l'angle θ sigui de 90°).
- Tenint en compte que la velocitat màxima a la que es pot viatjar és la de la llum, calculem quin seria l'angle de desviament si la velocitat d'un punt extern del Carrousel fos la de la llum ($v_{\text{llum}} = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$).
- Fem una gràfica de l'angle de desviament en funció del radi.
- Com abans, calculem quin hauria de ser el radi del Carrousel si volguéssim que el pèndol estigués paral·lel al terra.

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

03. Giradabo Normal. DINÀMICA.



CONCEPTES
Força normal.
Moviment circular.
Acceleració normal.



CONEIXEMENTS PREVIS
Mesura de distàncies.



MATERIAL
Balança.
Cronòmetre.

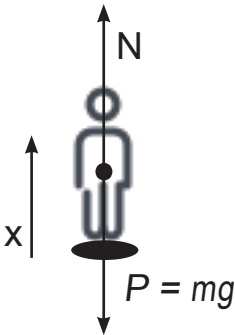


APPS & MÒBIL
Aplicació ImageMeter.

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.

$a = 0$

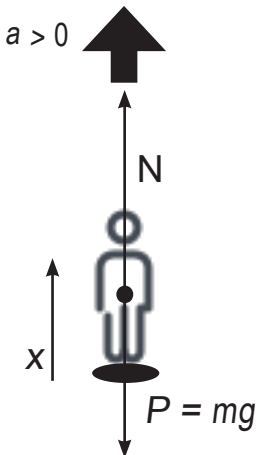


La força que mesura com d'intens és el contacte amb la superfície de les cistelles de la roda de fira és la **força normal**. Aquesta és, de fet, la força que mesura una bàscula. En cas que el Giradabo estigui parat, la normal és molt senzilla de calcular. Dibuixem el diagrama de forces sobre una persona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

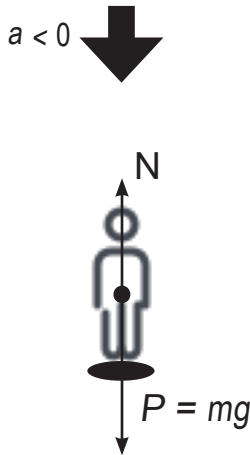
Donat que l'acceleració sobre la persona a la roda de fira és nul·la perquè està quieta, la segona llei de Newton ens diu en aquest cas:

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

Puja acceleradament



Baixa acceleradament



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):

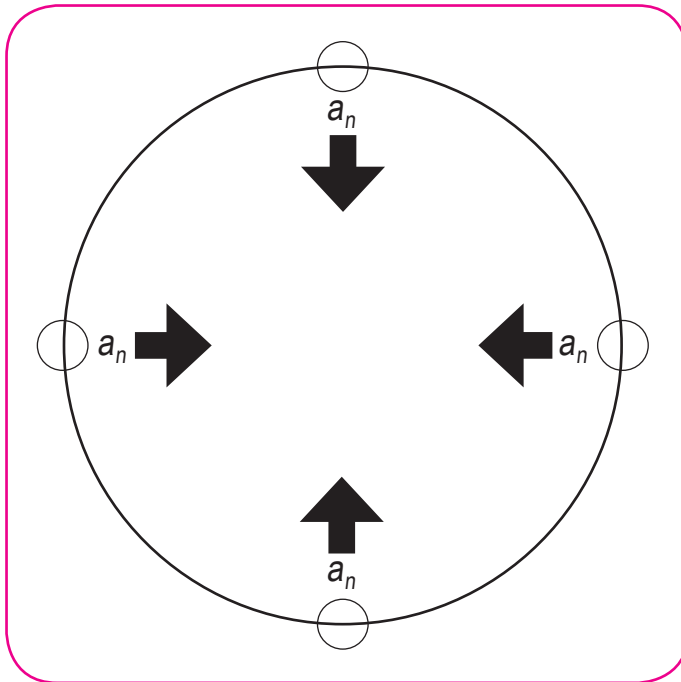
En aquests dos casos, l'acceleració ja no és zero, i per tant la normal ja no serà igual al pes. La segona llei de Newton en aquests dos casos la podem escriure com:
 $N - mg = ma$ i per tant la normal:

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

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:

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



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: $N - mg = -m\omega^2 R$ i per tant la normal serà igual a $N = m(g - \omega^2 R)$

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

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.

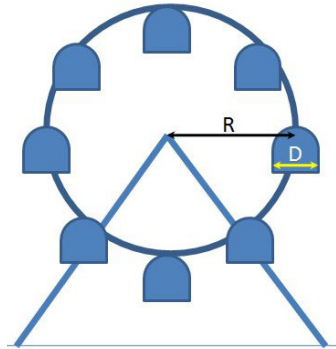
Les unitats en què es dona la mesura d'una balança són kg, però de fet, donat que una balança mesura força i no massa, seria més correcte dir que la mesura és en kiloponds, a vegades anomenats "kilograms força". La relació entre Newtons i kiloponds és senzilla $1 \text{ kp} = 9.81 \text{ N}$. Per tant 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

1. Per mesurar el radi ens situarem el més lluny de l'atracció, on 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 calcular el radi de la roda de fira sencera.



$R =$

E2: DETERMINEM LA VELOCITAT ANGULAR

Nota: aquesta mesura es pot fer dintre de la roda de fira, a la vegada que la mesura de la normal amb la balança (veure E3).

1. Si som a fora de l'atracció, 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 .

E3: DETERMINEM EL PES APARENT

Nota: aquesta mesura es pot fer a la vegada que la mesura de la velocitat angular (veure E2).

1. Quan accedim al Giradabo, veurem que tenim una balança al terra de la cistella amb una massa de 5 kg a sobre.

Si us plau NO MOGUEU LA BALANÇA ni canviu res del que hi ha a la cistella.

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

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 $F_{a \text{ baix}}$ i al punt més alt $F_{a \text{ dalt}}$

4. 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. Anem a mesurar:

Les forces obtingudes en els punts més alt i més baix són $F_{a \text{ baix}} =$ kp ; $F_{a \text{ dalt}} =$ kp

Aquestes mesures en Newtons són: $F_{a \text{ baix}} =$ N ; $F_{a \text{ dalt}} =$ N

QÜESTIONS?

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

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 5 kg. El vostre càlcul dona un resultat semblant al que heu mesurat?

3. Podem mesurar directament l'acceleració normal en els punts on la cistella de la roda de fira està horitzontal respecte a l'eix de la roda utilitzant l'aplicació de l'acceleròmetre del mòbil. En aquest cas: el càlcul que hem fet a partir del radi i la velocitat angular, i el mesurat amb el mòbil són semblants?

+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.



CONCEPTES
Lleis de reflexió.
Formació d'imatges.



CONEIXEMENTS PREVIS
-



MATERIAL
Cinta mètrica.



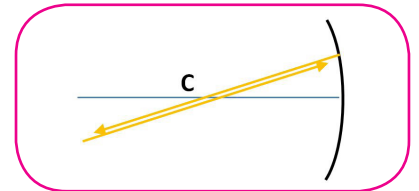
APPS & MÒBIL
No és necessari. Si fas un vídeo veuràs el canvi de la formació de la imatge.

Com es dissenya un mirall?

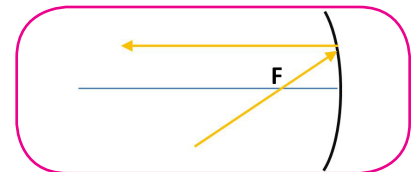
Estem davant d'un mirall als Miramiralls del Tibidabo. Ens movem cap a dalt i cap a baix. I veiem com els nostres braços es fan curts, i llargs. Ens allunyem del mirall, i ens veiem cap per avall. Ara som nans, i ara som gegants. I darrera de tots aquests canvis de la nostra imatge algú ha calculat curosament 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 corbatura 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 concàu, 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.

Mirall còncav

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.

Mirall còncav

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 la 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

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 :

$F =$... i per tant el Radi de curvatura serà $R = 2F =$

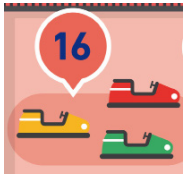
QÜESTIONS?

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.

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



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, i 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. I 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 pel 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 ($a = \frac{\Delta v}{\Delta t}$),

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

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 paraxocs de goma, els xocs tindrien lloc en molt poc temps. O dit d'una altra forma, el canvi de moment es faria molt bruscamment (en molt poc temps). Llavors la força sobre el nostre cos seria perillosament gran. El què fan els paraxocs de goma és augmentar el temps que tarda a produir-se el xoc, per tal de disminuir la força aplicada sobre els nostres cossos.

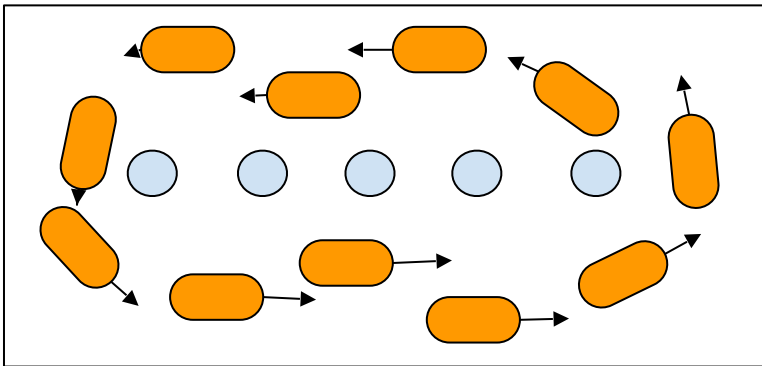
EXPERIMENTA!**Què farem?**

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: DETERMINEM LA VELOCITAT

El/la conductor/a del Crash Car:

1. Ens penjarem el telèfon mòbil tal i 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. Cal tenir en compte que no es pot apagar la pantalla del mòbil durant el temps de l'experiment!!
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 es 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 rectilínea 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.

El/la company/a a fora de l'atracció:

1. A la primera part, espereu a que els cotxes avancin sense xocar.
2. Quan el seu moviment sigui més o menys uniforme, 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. Aquestes marques estan separades tres metres. A aquests temps els anomenem t_1, t_2, t_3, \dots . Per fer això preneu com a referència la part de darrere del cotxe: 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. Recordeu que les marques estan separades tres metres.
3. Fem aquesta mesura entre dos i cinc cops (tot depèn de quan soni el xiulet perquè comencin a xocar els cotxes).

Mesures: En aquest experiment tindrem dues mesures:

Els temps que ha mesurat el/la vostre/a company/a, a partir dels quals calcularem les velocitats. Recordeu que les marques estan separades tres metres, per tant la distància és el número de marques que ha avançat el cotxe en el temps de mesura:

temps t	$t_1=$	$t_2=$	$t_3=$	$t_4=$
distància d	$d_1=$	$d_2=$	$d_3=$	$d_4=$
velocitat $v = \frac{d}{t}$	$v_1=$	$v_2=$	$v_3=$	$v_4=$

Ara podeu calcular la mitjana de les velocitats v_{\max} =

Anomenarem a aquesta velocitat v_{\max} perquè és la velocitat màxima a la que pot anar el cotxe si no troba obstacles.

D'altra banda teniu les mesures de l'acceleròmetre preses amb el telèfon.

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.

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.

3. Calculem ara la força que ha patit el vostre cos en un xoc:

- Obrim l'aplicació de l'acceleròmetre i mirem la gràfica que heu obtingut. Donat que el mòbil el teniu penjat com indica la primera figura, els eixos que ens interessin són únicament l'**x en vermell** i el **z en blau**.
- Prenem l'acceleració màxima en un d'aquests dos eixos. No agafeu l'acceleració total (en blanc) ja que té afegida la gravetat!
- Fixeu-vos que l'acceleració està en unitats de g . Per tant cal multiplicar per $9,81 \text{ m/s}^2$ per obtenir l'acceleració en el sistema internacional d'unitats.

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:

$$\Delta P = \Delta (m v) = m v_{fin} - m v_{ini} = -2m v_{max}$$

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.

+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 al 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.

FISIDABO



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 lliscariem 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).

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

Acceleració normal, dita normal perquè és perpendicular a la trajectòria.

Mòdul de velocitat.

Radi de la corba, difícil de mesurar viatjant dintre del tren de la mina.

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. Això és el que farem seguidament.

E1: MESUREM EL TEMPS.

1. Des de fora de l'atracció, esperem a la segona volta del tren per tenir una velocitat constant. Apremem el cronòmetre quan la part frontal del tren surt de l'estació, agafant com a referència el punt magenta. ● Parem el cronòmetre just quan la cua passi pel punt de referència. Anotem el resultat, el qual anomenarem t , sense oblidar indicar la unitat de mesura. Ara ja et pots posar a la cua.

$$t =$$
E2: MESUREM L'ACCELERACIÓ NORMAL.

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. Si utilitzeu l'app de Vieyra i teniu el telèfon penjat com s'indica a la foto inferior, l'eix que ens interessa és l' x (en vermell). Guardarem el mòbil a la funda porta-mòbils, tot tenint cura de no apagar el telèfon. Agafeu-vos, que marxem! Un cop acabada l'atracció aturarem la mesura per poder analitzar el resultat.

$$a_n =$$

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 "enmascarat" 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 .



QUESTIONS?

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

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

2. El resultat de l'acceleració normal obtingut en la pregunta anterior, està en unitats de g . Per tant, el podem comparar amb el valor de la gravetat terrestre. És molt més gran o més petit?

3. Per tal d'obtenir l'acceleració en metres per segon, multipliquem la mesura amb el mòbil per el valor de $g = 9.8 \text{ m/s}^2$, i anotem el resultat. Creus que el resultat és raonable?

4. 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.

$$F = m \cdot a_n \qquad F =$$

+A L'AULA!

- 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.
- 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?
- 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.



CONCEPTES

Força normal.
Moviment circular.
Acceleració normal i tangencial.



CONEIXEMENTS PREVIS

Mesura de velocitats.
Mesures amb acceleròmetres (vertical o del mòbil).



MATERIAL

Cronòmetre.
Acceleròmetre.
Mocador de color.



APPS & MÒBIL

Acceleròmetre.

Soc normal. La força normal

Estem drets al 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 degut a que 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 aquesta 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 quant més ràpid sigui el moviment que fem, i quant 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:

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

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:

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

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:

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

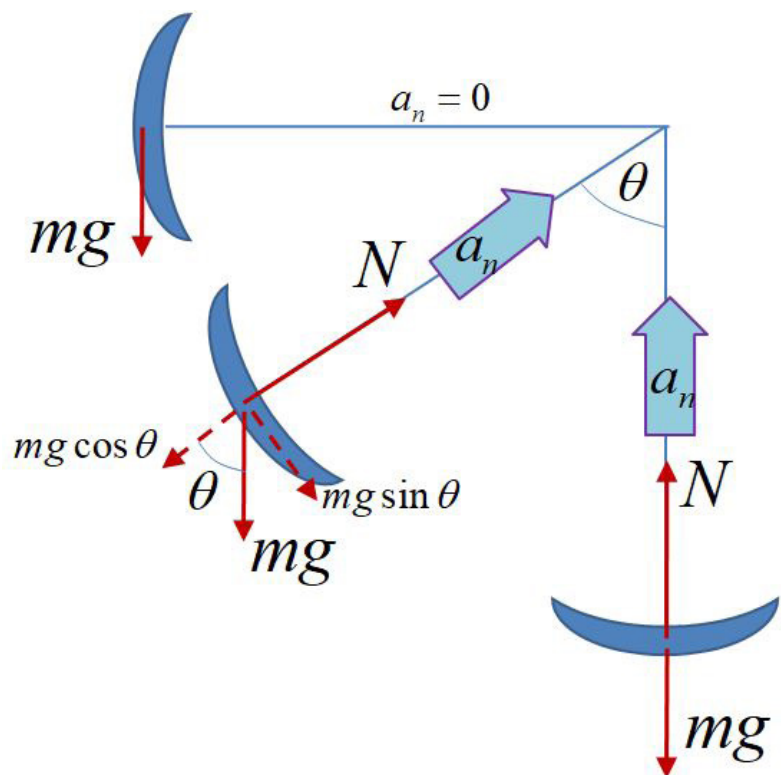
Acceleració al punt més alt:

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:

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

Al punt de màxima altura, l'angle és pròxim a 90° 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:

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



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: CALCULEM LA NORMAL AL PUNT MÉS BAIX DE LA TRAJECTÒRIA.

Abans de començar l'experiment farem una mesura preliminar: espera a que es posi en marxa el vaixell Piratta i compta quantes oscil·lacions fa a banda i banda durant tot el temps que dura el seu moviment. Apunta per a quina oscil·lació l'altura del vaixell és màxima (anomenarem n a aquesta oscil·lació).

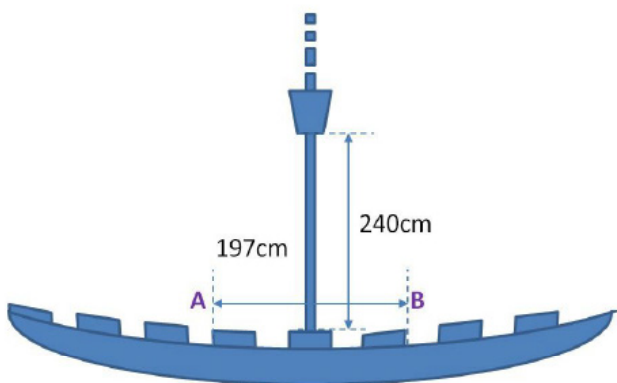
(Farem les següents mesures a fora del vaixell Piratta).

Mesura del radi de gir:

1. Amb inclinòmetre: quan el vaixell estigui quiet, mesurarem amb l'inclinòmetre l'angle θ que forma el mig del vaixell Piratta amb l'eix. Això ho farem des del punt magenta marcat al terra de l'àrea al voltant de l'atracció, a una distància marcada al mateix punt de la base del vaixell Piratta. D'aquesta forma podrem determinar el radi R de l'atracció utilitzant la relació trigonomètrica $h = D \tan \theta$ (vegeu mètode "càlcul de distàncies").
2. Amb mòbil: prenem una fotografia del vaixell Piratta quan està quiet. Sabent que l'alçada del primer tram del màstil del vaixell Piratta és de 240 cm (veure figura inferior) calcula amb l'aplicació ImageMeter quina és l'altura a la que es troba el vaixell (vegeu mètode "càlcul de distàncies").

Mesura de la velocitat al punt més baix:

1. La distància entre els punts A i B del vaixell piratta és de 197 cm..
2. Al terra de l'atracció, al costat del vaixell Piratta veureu una marca de color groc que correspon al centre del vaixell Piratta. El vaixell pujarà, assolirà l'altura màxima, i baixarà, passant per davant de la marca groga, primer el punt A i després el punt B.
3. Mesurem el temps que tarda entre el moment en que el punt A està alineat amb la marca groga al terra i el moment en què passa el mateix amb el punt Δt (vegeu mètode: "mesura de velocitats").
4. La velocitat al punt més baix es pot obtenir fàcilment a partir de $v = D_{AB}/\Delta t$



EXPERIMENTA!

(Farem les següents mesures a dintre i fora del vaixell Piratta).

1. Un cop al vaixell Piratta un/a estudiant posarà en marxa el telèfon mòbil i posarà en marxa l'aplicació "acceleròmetre".
2. Cal mantenir el mòbil encès per tal que gravi les dades d'acceleració.
3. En sortir cal parar l'adquisició de dades i sortir de l'aplicació.

Mesures:

Calculem el radi:

$$\theta = \quad \quad \quad \text{per tant } R = D \tan \theta$$

Calculem la velocitat:

$$D_{AB} = \quad \quad \quad \Delta t = \quad \quad \quad \text{per tant } v =$$

Calculem l'acceleració normal amb les dades obtingudes:

$$a = v^2 / R =$$

Per obtenir l'acceleració total en unitats de g :

$$a_g = 1 + \frac{v^2}{gR} =$$

Acceleració mesurada al punt més baix (amb el mòbil o l'acceleròmetre de molla):

$$a_{\max} = 1 + \frac{v^2}{gR} =$$

QÜESTIONS?

1. Quina acceleració normal has calculat a partir de les mesures de la velocitat i del radi?

És gran comparada amb el valor de la gravetat?

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 (de molla o del mòbil). Has obtingut resultats similars?

EXPERIMENTA!

E2: CALCULEM LA NORMAL AL PUNT MÉS ALT DE LA TRAJECTÒRIA: MICROGRAVETAT.

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

(Farem les següents mesures a fora del vaixell Piratta):

1. 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.

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

3. Un cop sortim de l'atracció aquesta fotografia ens servirà per mesurar l'angle que ha assolit al punt de màxima altura. Això ho podem fer utilitzant l'aplicació ImageMeter. Els angles que obtenim els anomenarem θ_1 i θ_2

(Farem les següents mesures a dintre del vaixell Piratta):

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. Cal no apagar el telèfon mòbil mentre estigui prenent les dades.

5. Un cop el vaixell s'hagi aturat cal aturar la gravació de dades.
6. 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.

Mesures:

Angle màxim assolit pels dos estudiants (a partir de la fotografia):

$$\theta_1 = \quad \quad \quad \theta_2 =$$

Acceleracions mesurades pels dos estudiants:

$$a_1 = \quad \quad \quad a_2 =$$

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?)
2. Si les mesures de la persona asseguda a l'extrem del vaixell i al mig són diferents, raona a què és deguda aquesta diferència.
3. Coincideixen les acceleracions amb els valors que podeu calcular gràcies a la fórmula $a = \cos\theta$?

“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 degut a 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: $g = L \cdot 4\pi^2 / T^2$

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 que 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.

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):

2. Amb el cronòmetre comptem quan 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):

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:

$T_1 =$ $T_2 =$ $T_3 =$

QÜESTIONS?

1. Has obtingut el mateix temps en els tres casos? (tingues en compte que la mesura té un cert error).

2. Creus que el període d'oscil·lació depèn de l'amplitud del moviment?

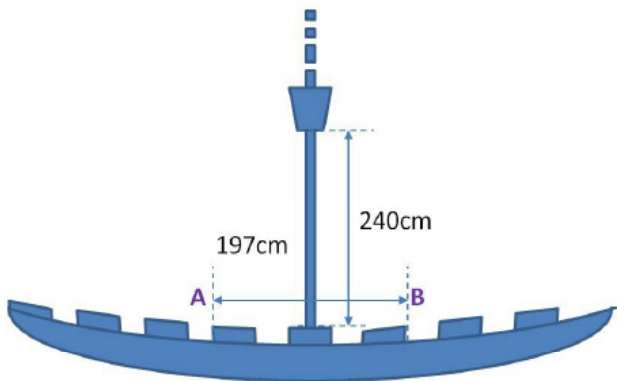
EXPERIMENTA!**E2: COMPROVEM QUE LA FÓRMULA $T = 2\pi\sqrt{\frac{L}{g}}$ FUNCIONA**

1. Mesurem, amb l'ajuda de l'inclinòmetre, l'altura a la que es troba l'eix del qual penja el vaixell Piratta. Això ho farem des d'un punt magenta marcat al terra de l'àrea al voltant de l'atracció, a la mateixa altura que la base del vaixell Piratta. A aquesta altura l'anomenarem L :

2. 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.

3. Comptem quant de temps tarda el vaixell Piratta a fer cinc oscil·lacions. A aquest temps l'anomenarem t . Podeu prendre com a referència la longitud del primer tram del màstil del vaixell Piratta que és de 240 cm (vegeu figura inferior). Per tal d'obtenir el temps d'una sola oscil·lació, dividirem aquest valor per 5:

$L =$; $t =$; $T_{EXP} = t/5 =$



QÜESTIONS?

1. Calculem el període del pèndol a partir de l'equació: $T_{\text{calc}} = 2\pi \sqrt{L/g}$

Coincideix aquest valor amb el període T_{exp} que hem mesurat?

2. Hem suposat que el valor de $g = 9,8 \text{ m/s}^2$... però qui ens diu que aquest valor és correcte?

El calcularem: si aïllem g de l'equació $T_{\text{calc}} = 2\pi \sqrt{L/g}$ obtenim: $g = L \cdot 4\pi^2 / T_{\text{calc}}^2$

3. Calculem el valor de la gravetat, a partir dels valors que hem mesurat en l'experiment.

+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? ($g_{\text{lluna}} = 1,622 \text{ m/s}^2$)

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 fer 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. Diavolo Normal. 2^a LLEI DE NEWTON.

FISIDABO



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



CONEIXEMENTS PREVIS
Mesura de distàncies.
Mesures d'acceleracions.



MATERIAL
Inclinòmetre.

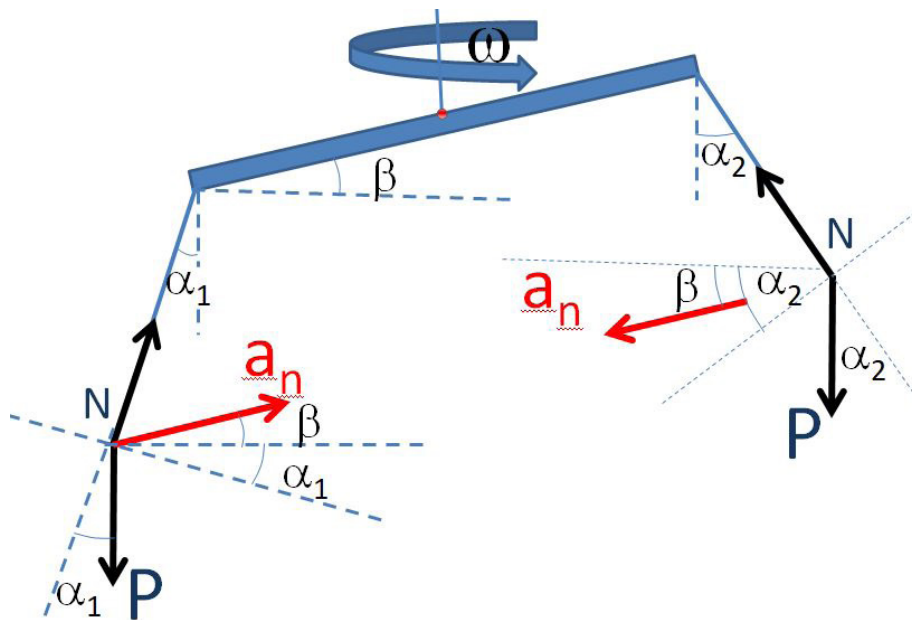


APPS & MÒBIL
Acceleròmetre.
ImageMeter.

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'ingravedesa. 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:

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

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

Per la cadira al punt més alt:

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

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

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:

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

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

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:

$$N_{\text{baix}} - N_{\text{dalt}} = m R \omega^2 [\sin (\beta + \alpha) - \sin (\alpha - \beta)]$$

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

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

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

podem escriure la darrera equació com:

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

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.

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, \dots
6. La velocitat angular es pot calcular a partir de la relació: $\omega = 2\pi/T$

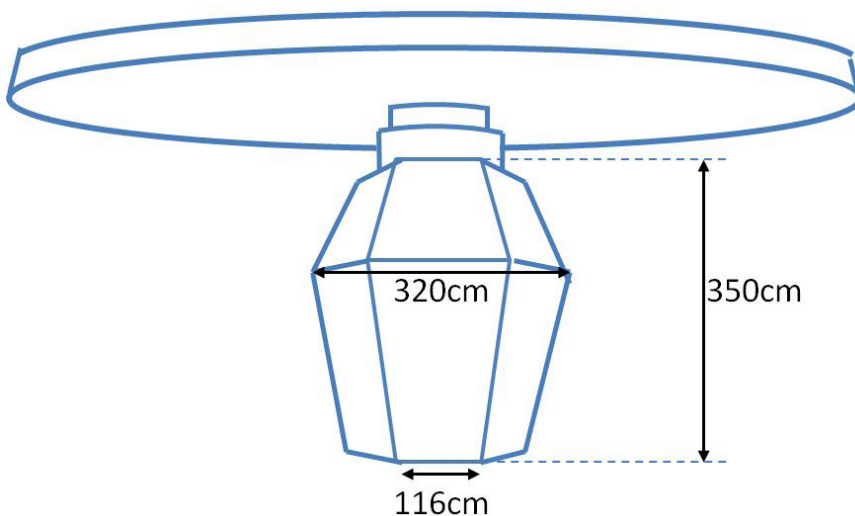
Mesures:

Període	T_1	T_2	T_3	T_4	T_{mitjana}
Velocitat Angular ω					

E2: TRAJECTÒRIA DE LES CADIRETES.

1. El radi de l'eix inferior del Diavolo és de 650 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.

$R=$ $\alpha=$ $\beta=$



EXPERIMENTA!**E3: MESUREM LA FORÇA NORMAL**

1. Pugem a l'atracció amb l'acceleròmetre encès i ficat dins el porta-mòbils:
2. Recordeu que si apagueu el mòbil o bloquegeu la pantalla, l'aplicació deixa de prendre dades!
3. Un cop s'ha acabat l'atracció podeu treure el mòbil de la seva funda i comprovar l'acceleració que heu obtingut.

Mesures:

Amb l'aplicació heu mesurat l'acceleració en cadascuna de les direccions perpendiculars al telèfon mòbil. El problema és que l'acceleròmetre de l'aplicació del mòbil té en compte la força de la gravetat, i per aquesta raó el que mesurem és la normal més la gravetat. Per tal d'eliminar el seu efecte, en comptes de calcular la normal en el punt més alt i més baix, calcularem la diferència, que podem comparar amb el resultat de la part teòrica. Tingueu en compte que el telèfon mòbil mesura l'acceleració en unitats de g , i que cal multiplicar el resultat per $9,81 \text{ m/s}^2$ per obtenir les mesures en el sistema internacional d'unitats.

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 ?
2. Podem determinar el període a partir de la mesura amb l'acceleròmetre? Us dona un resultat similar?
3. Quina és la velocitat lineal de les cadiretes més externes?

+A L'AULA!

1. 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 descomposem 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?
2. De fet, encara hem fet una altra aproximació... el moviment no és circular. Però el seu càlcul és molt complicat. De totes formes si sou molt valents ho podeu intentar...

“Basically, I have been compelled by curiosity”. Mary Leakey.

15. Diavolo Pèndol. DINÀMICA.



CONCEPTES
Pèndol cònic.
Zona llei de Newton.
Moviment circular uniforme.



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



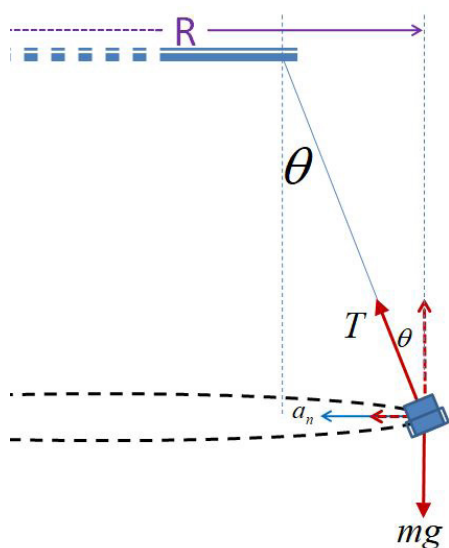
MATERIAL
Cronòmetre.



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, podem escriure la segona llei de Newton en la direcció horitzontal, x, i en la component vertical, y.

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

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

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):

$$\tan \theta = \frac{4\pi^2 R}{g T^2}$$

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: MASUREM LA VELOCITAT ANGULAR

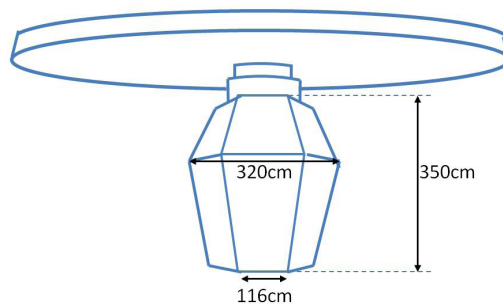
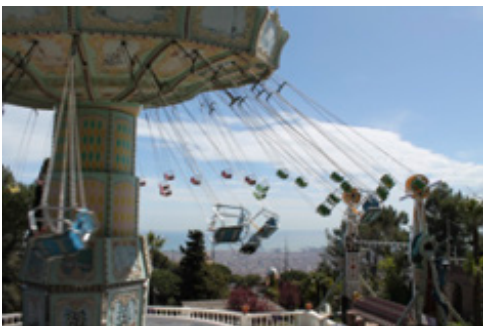
1. Deixem que el Diavolo doni unes voltes, fins que veiem que les cadiretes giren a una velocitat aproximadament constant.
2. Mesurem amb el cronòmetre el temps que tarda una cadireta a donar una volta completa. Per fer això, prendrem com a referència la cadireta de l'atracció que té un llaç de color. Mesurem el temps que triga aquesta cadireta en fer 3 voltes. A aquest temps l'anomenarem t . Per trobar el període de rotació T només caldrà dividir aquest temps entre tres. Els valor obtinguts pels angles mesurats i calculats són:

$t =$ _____ i per tant el període $T = t/3 =$ _____

Podem fer la mesura més d'un cop i fer la mitjana.

E2: ANGLE D'ELEVACIÓ I RADI DE GIR

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 radi de l'eix central que és $R_{\text{eix}} = 650$ cm.

$R =$ _____ $\theta =$ _____

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?

2. 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 $g = 9,81\text{m/s}^2$?

+A L'AULA!

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



CONCEPTES
Acceleració normal.



CONEIXEMENTS PREVIS
Mesura de velocitats.
Acceleròmetre del mòbil.



MATERIAL
Cronòmetre.
Cinta mètrica.



APPS & MÒBIL
Acceleròmetre.
Cronòmetre, opcional.

Accelerar sense anar més ràpid

Accelerar, per gairebé tothom és anar més ràpid. 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...

i d'això n'és responsable l'acceleració normal. I avui la mesurarem!

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 avancem per unitat de temps (al cap i a la fi donem voltes, i no avancem 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 .

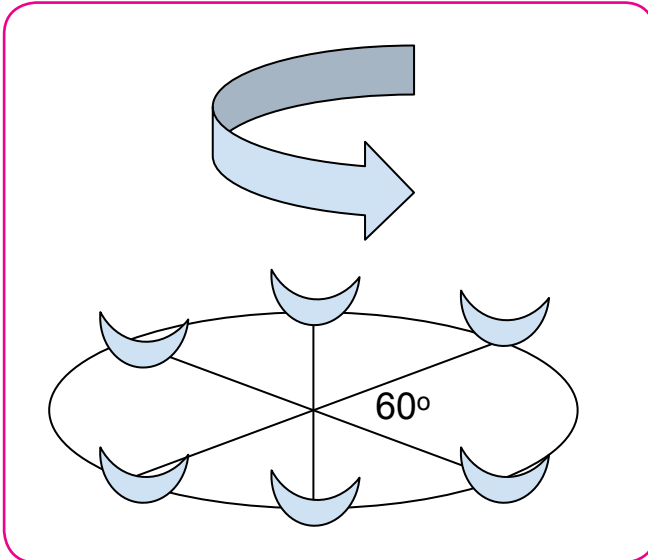
Donat que a l'atracció Viking del parc d'atraccions del Tibidabo aquesta velocitat angular és constant, l'acceleració tangencial serà zero. Però donat que el moviment és circular, estem canviant contínuament la direcció en la que avancem, i això fa que l'acceleració normal no sigui zero. La podem calcular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

$$a_n = \omega^2 R$$

ω és el mòdul de la velocitat amb que estem girant.
 R és el radi de la corba.

EXPERIMENTA!**Què farem?**

En aquest experiment mesurarem l'acceleració normal dels vaixells mentre giren. Aquesta acceleració depèn del radi i de la velocitat angular. El radi de l'atracció el coneixem. Però la seva velocitat angular no. Per aquesta raó la mesurarem en un primer experiment. Finalment comprovarem si, efectivament, podem relacionar l'acceleració normal del segon experiment, amb la velocitat mesurada al primer experiment.



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 60° .

E1: CALCULEM EL RADI

1. Mesureu la distància D entre dos vaixells. Si multipliquem aquesta distància per sis, obtindrem una molt bona aproximació del perímetre de l'atracció L .

$D =$ _____ ; $L =$ _____

2. Calculem el radi de l'atracció a partir de la longitud del perímetre que hem obtingut, utilitzant la relació $L=2\pi R$:

3. Podem comparar aquest resultat amb l'obtingut per algun altre mètode, com per exemple fent una fotografia amb el mòbil i mesurar el radi amb la fotografia.

4. Heu trobat diferències? En cas que sí, a què les podem atribuir?

E2: MESUREM LA VELOCITAT ANGULAR

1. A l'atracció Viking del Tibidabo tenim sis vaixells, i per tant l'angle que es forma entre ells és de $360^\circ/6=60^\circ$.
2. Primer esperarem a 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 ($3 \times 60^\circ = 180^\circ = \pi$ 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	π	π	π	π	π
Temps Δt					
Velocitat angular $\omega = \frac{\pi}{\Delta t}$					

E3: MESUREM L'ACCELERACIÓ NORMAL

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 utilitzeu l'app de Vieyra i teniu el telèfon com s'indica a la figura inferior, l'eix que ens interessa és l'**x** (en vermell).
3. Guardarem el mòbil a la nostra funda porta-mòbils tot tenint cura de **no apagar el telèfon, ni bloquejar-ne la pantalla..**
4. Un cop acabada l'atracció aturarem la mesura per poder analitzar el resultat.



! Mesures. Un cop a fora de l'atracció podem mirar el resultat al telèfon mòbil. Si ens hem penjat el telèfon correctament, l'aplicació ens donarà l'acceleració normal en l'eix de les **x**, en vermell. El valor màxim de l'acceleració en aquest eix l'obtindrem quan l'atracció estigui donant voltes de forma constant. El resultat, però, no serà una línia recta ja que es produeixen vibracions que poden enmascarar la lectura de l'acceleració. Prenem un valor aproximadament mitjà d'aquestes mesures.

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. Tinguem en compte que el telèfon mòbil mesura les acceleracions en unitats de g . Això vol dir que per tal d'obtenir l'acceleració en m/s^2 cal multiplicar la mesura del mòbil pel valor de $g = 9.8m/s^2$. Creus que el resultat és raonable?

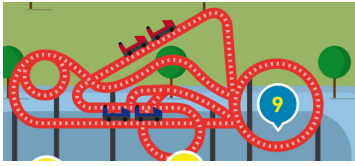
+A L'AULA!

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 recollert 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.

18. 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'ingravedesa (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 que ens movem. Dit d'una forma més tècnica: la velocitat és un vector amb el seu mòdul i la seva direcció. Per tant, podem 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 que avancem en la nostra trajectòria. Dit d'una altra forma: 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 que 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:

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

$|v|$ 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'ingravedesa 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 PRÈVIA DE LA VELOCITAT AL PUNT MÉS BAIX

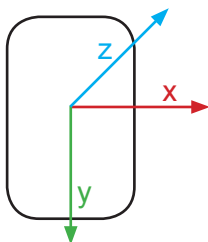
1. En primer lloc tindrem en compte que la longitud sencera d'un dels cucs formats per les quatre vagonetes és de 1015cm. Anomenarem a aquesta distància D .
2. Per mesurar la velocitat, el sistema de referència ho és tot. Per això ens quedarem fora de l'atracció, just a l'entrada, abans d'entrar al túnel: 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 .
5. Anotem D i t , i calculem la velocitat:

$$D = \quad ; t = \quad ; \text{ per tant la velocitat: } v = \frac{D}{t}$$

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

E2: MASUREM L'ACCELERACIÓ

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 i com s'indica a la foto de sota.
3. Cal tenir en compte que **no es pot apagar el telèfon ni bloquejar-ne la pantalla**, ja que deixaria d'adquirir les dades de l'acceleració.
4. Un cop acabada l'atracció aturarem la mesura per poder analitzar el resultat.



! Mesures. El nostre telèfon mòbil mesura l'acceleració en tres direccions. Si esteu utilitzant l'aplicació de l'acceleròmetre de Vieyra, les direccions en les quals es mesuren les acceleracions, amb els colors amb que apareixen a la pantalla són les següents:

Si ens hem penjat el telèfon tal i 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.

L'acceleració normal, de fet, la podem tornar a dividir en dos: en l'eix x i en l'eix y: l'acceleració normal en l'eix y està relacionada amb canvis de direcció de dalt a baix, i l'acceleració normal en l'eix x amb girs a dreta i esquerra.

Cal recordar també que el mòbil mesura l'acceleració "en unitats de g ". Això vol dir que les mesures no són directament en m/s^2 . Si volem les mesures en sistema internacional cal multiplicar el resultat que obtinguem amb el telèfon mòbil per $9,81m/s^2$.

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.

- 2.** Quin és el valor de l'acceleració tangencial en la primera part del recorregut de l'atracció? Explica a què és deguda la sensació d'ingravedesa que sentim en aquesta primera caiguda.

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

- 4.** 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.

+A L'AULA!

1. 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?
2. Per què és tan important definir un bon sistema de referència a l'hora de fer mesures?
3. 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.