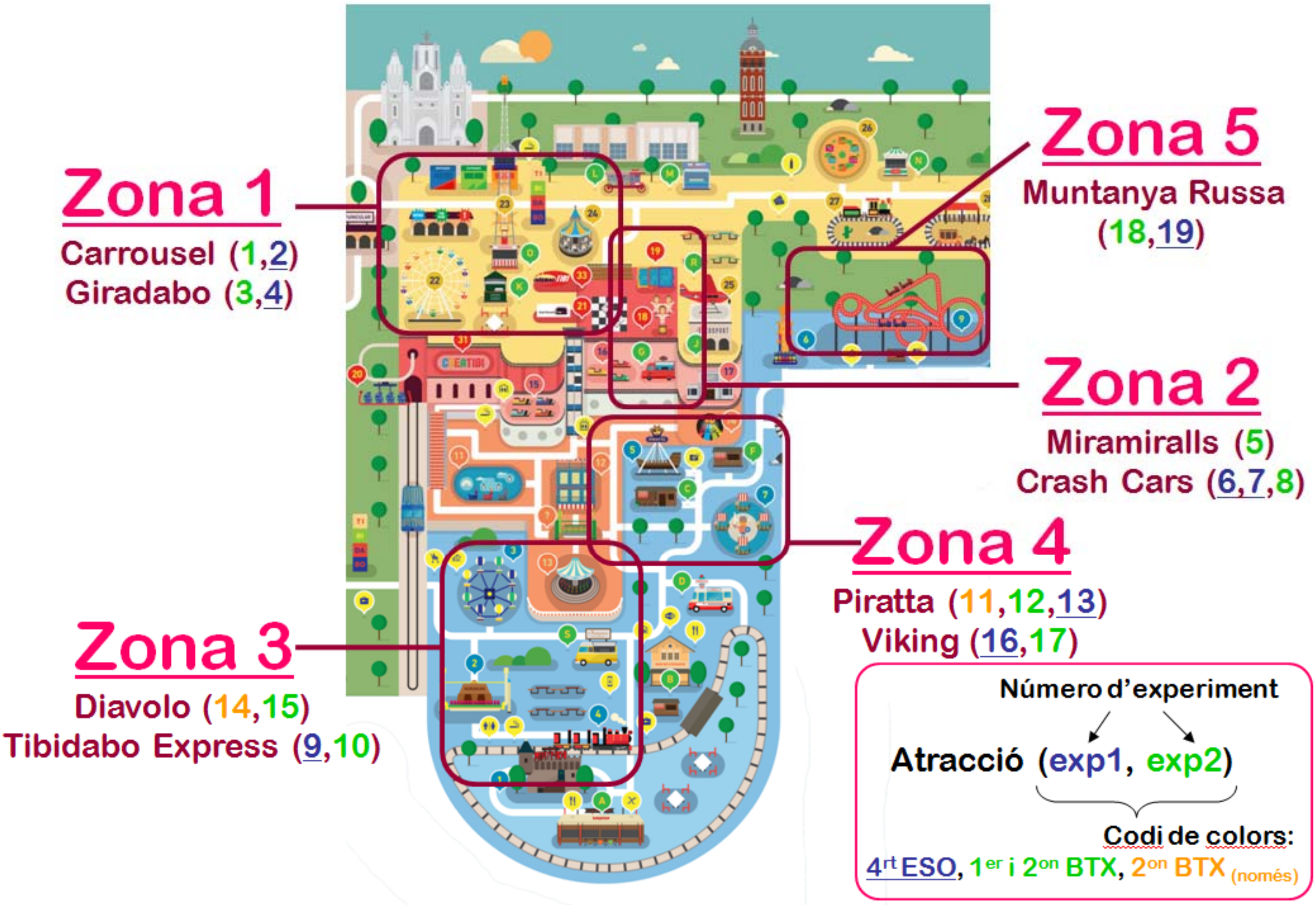
FISIDABO

EXPERIMENTS

EXPERIMENTS FISIDABO

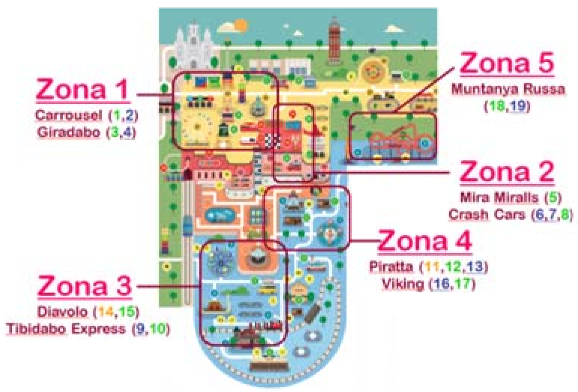


<u>Coses importants:</u>

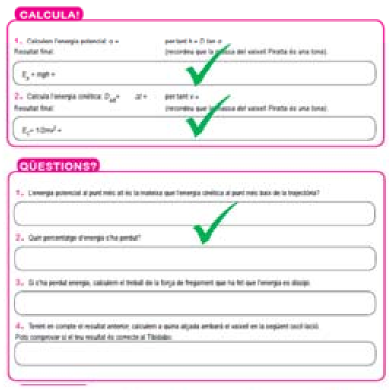
•Recordeu baixar-vos les apps!
•Recordeu muntar l'inclinòmetre
•Recordeu carregar el mòbil al 100% el dia abans!
•Recordeu que l'acceleròmetre s'apaga si la pantalla es bloqueja
•Recordeu que cal pujar amb el portamòbils assegurat

Instruccions

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



2.- fes els càlculs del dossier

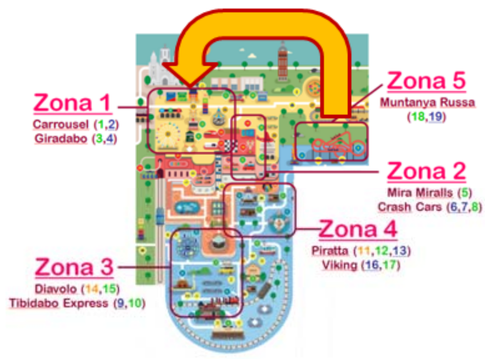


Demana ajuda als voluntaris!

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
2.-	Carrousel Circular................	5
3.-	Giradabo Normal..................	8
4.-	Giradabo Circular.................	13
5.-	Miramiralls Focal..................	16
6.-	Crash cars Rectilinis............	19
7.-	Crash Cars amb Força..........	23
8.-	Crash amb moment.............	27
9.-	Tren Rectilini.......................	31
10.-	Tren Normal.........................	35
11.-	Piratta Normal......................	38
12.-	Pèndol Piratta......................	44
13.-	Energia Piratta.....................	48
14.-	Diavolo Normal	52
15.-	Pèndol Diavòlic.....................	56
16.-	Viking Circular......................	59
17.-	Viking Normal.......................	63
18.-	Acceleració Russa................	67
19.-	Energia Russa.....................	71

01. Carrousel Normal. DINÀMICA.

FISIDABO

CONCEPTES
Moviment circular uniforme.
Acceleració normal.

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

MATERIAL
Cronòmetre
Inclinòmetre.
Cinta mètrica.

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

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

Donar voltes o seguir recte

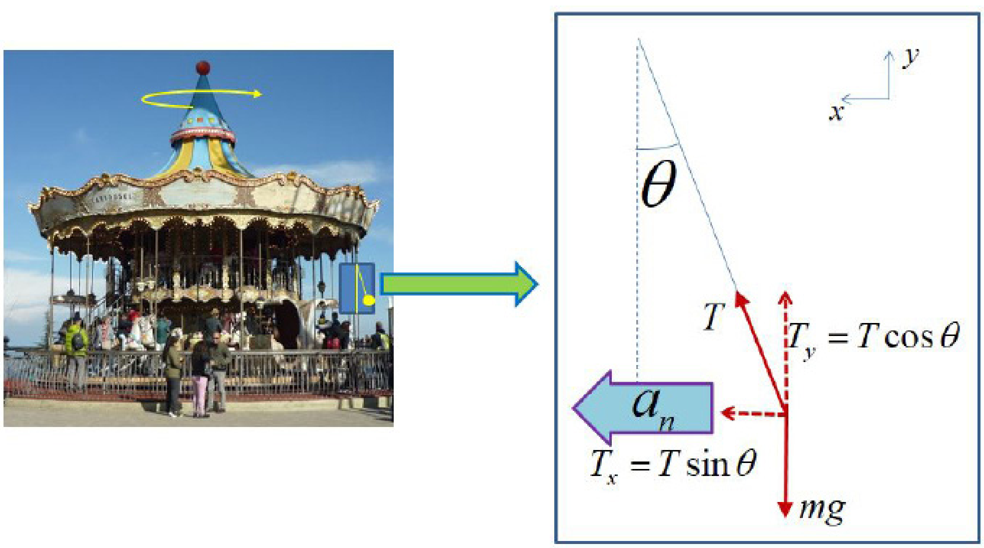
Pugem al Carrousel… i tota la diversió es basa en anar contra la llei d'inèrcia de Newton. Sense forces, tots els moviment serien lineals. Al Carrousel, i en moltes altres situacions, és evident que donem voltes. Per tant alguna força més o menys amagada ens està fent girar. Amb aquest experiment estudiarem 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 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 i 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. 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 (experiments E1, E2 i E3) obtinguem el valor per la gravetat. És aquest valor similar al valor de $g = 9{,}81 \text{m/s}^2$?

+A L'AULA!

1. 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).

2. 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 ($v_{llum} = 3 \cdot 10^8$ m/s).

3. Fem una gràfica de l'angle de desviament en funció del radi.

4. 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.

02. Carrousel Circular. MOVIMENT CIRCULAR.

CONCEPTES
Moviment circular uniforme.
Velocitat lineal i angular.
Període i freqüència.

CONEIXEMENTS PREVIS
Mesura de temps.
Mesura de distàncies amb foto.

MATERIAL
Cronòmetre
Cinta mètrica de 25 ó 50m.

APPs & MÒBIL
Aplicació ImageMeter.
Es pot fer servir el cronòmetre del mòbil per comptar voltes.

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

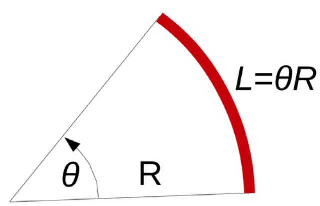
En cercles

El moviment al Carrousel és especial: girem i girem per acabar, tard o d'hora, al mateix punt de sortida. Girem i girem i després d'un temps determinat el moviment es repeteix. Això fa que el moviment circular sigui una mica especial, i tingui les seves pròpies velocitats i acceleracions…. i tot això mentre seguim girant al Carrousel.

El carroussel gira, i en girar un punt qualsevol avança un cert angle θ. Però també és cert que ens hem desplaçat descrivint un arc de circumferència de longitud L. L'equació fonamental que ens relaciona la longitud L que avança en la trajectòria corba i l'angle θ que gira és:

$$L = \theta R$$

L és la longitud de la corba.
R és el radi de gir.
θ és l'angle que gira.



Cal tenir en compte que per tal que aquesta fórmula sigui correcta, cal escriure l'angle θ en radians. Com a exemple, fixeu-vos que si un objecte dona una volta sencera, l'angle θ és igual a 2π i per tant, obtenim la relació que segur que coneixeu: $L = 2\pi R$

La velocitat (lineal) es defineix com la distància recorreguda per unitat de temps. Com tots sabeu, però, en un moviment circular podem definir una altra velocitat: l'angle que recorre un objecte en un cert interval de temps. A aquesta velocitat l'anomenarem velocitat angular.
Si la velocitat (lineal) la definíem com: $v = \dfrac{L}{\Delta t}$; la velocitat angular la definirem com: $\omega = \dfrac{\theta}{\Delta t}$

Combinant les equacions anteriors obtenim **la fórmula que ens relaciona les velocitats angular i lineal**:

$$v = \omega R$$

Com hem dit, el moviment circular és especial: es repeteix després d'un cert temps. A aquest temps se l'anomena període i es representa amb la lletra T.

EXPERIMENTA!

Què farem?

En aquest experiment mesurarem velocitats angulars i lineals. I el més important: mirarem com el món dels moviments circulars i el dels moviments lineals es relacionen entre ells. Determinarem el radi de gir de l'atracció del Carrousel a partir de la mesura directa del radi mitjançant una foto.

E1: CALCULEM EL RADI DEL CARROUSEL

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 fer mesures amb la foto del mòbil.
2. Des d'un determinat punt farem una foto on es vegi la barra, i 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 mòbil tal i com es descriu al mètode "mesura de distàncies". A aquesta mesura l'anomenarem R_{foto}.

E2: CALCULEM EL PERÍODE I LA VELOCITAT ANGULAR I LINEAL

1. Primer farem una mesura prèvia: comptarem quantes voltes fa el Carrousel en total, des que es posa en marxa fins que s'atura, i el temps que tarda a fer-ho. Anotem aquests valors:
2. Per fer l'experiment prendrem un punt de referència que està instal·lat a 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.
4. Mesurarem ara el temps que tarda en fer una volta amb el cronòmetre. Agafarem el punt de referència que hem determinat per poder afirmar que ha fet una volta completa. Repetiu aquesta mesura 5 vegades. Anomenarem a aquests temps T_1, T_2, T_3, T_4 i T_5.

5. Fem ara la mitjana de totes les mesures, que anomenarem *T*:

6. Calculem les velocitats angular i lineal:

$\omega = \frac{2\pi}{T} =$ $v = \omega R_{FOTO} =$

QÜESTIONS?

1. Comparem els temps T_1, T_2, T_3, T_4 i T_5 que hem mesurat: creus que l'atracció està fent un moviment circular uniforme? Justifica la resposta.

2. Calculem la mitjana de tots els períodes que hem mesurat: quina mesura creus que és més fiable, la mitjana o cadascuna de les mesures que hem fet per separat?

3. Calcula la velocitat lineal que has obtingut en km/h. Compara aquesta velocitat amb la d'una persona caminant (4km/h).

4. Calcula la freqüència amb què gira el Carrousel del Tibidabo en voltes/min.

+A L'AULA!

1. Comparem el període obtingut experimentalment amb el resultat de dividir el nombre de voltes que fa l'atracció pel temps. Argumenta el resultat utilitzant evidències observables al Tibidabo.

2. En el moment de la construcció del Carrousel, quina característica creus que és més important? Justifica la teva resposta.

"A la vida no hi ha res a témer, només cal compendre". Marie Curie.

03. Giradabo Normal. DINÀMICA.

CONCEPTES
Força normal.
Moviment circular.
Acceleració normal.

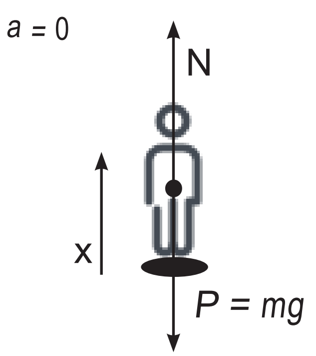
CONEIXEMENTS PREVIS
Mesura de distàncies.

MATERIAL
Balança.
Cronòmetre.

APPs & MÒBIL
Aplicació ImageMeter.

Pes aparent al Giradabo

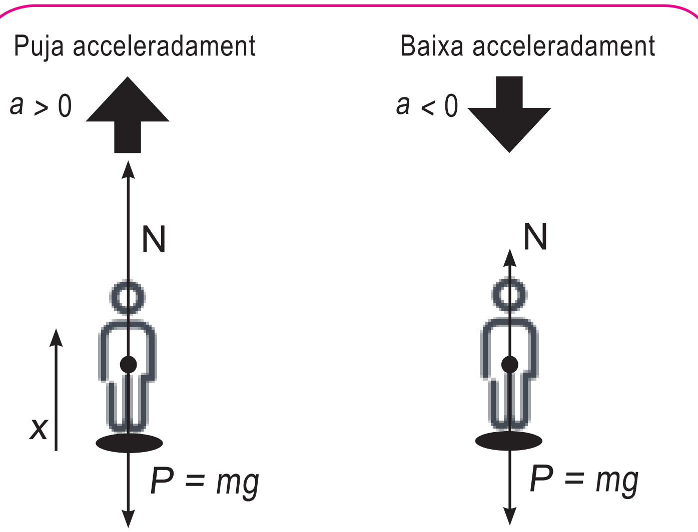
Pugem al Giradabo. Comença a donar voltes. És llavors quan comencem a sentir els efectes de no estar quiets a terra. Quan estem al punt més alt ens podem sentir alleugerits, com si peséssim menys. Al punt més baix passa el contrari: notem que pesem més. El mateix pot passar en un ascensor: "pesem més" 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:

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



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):

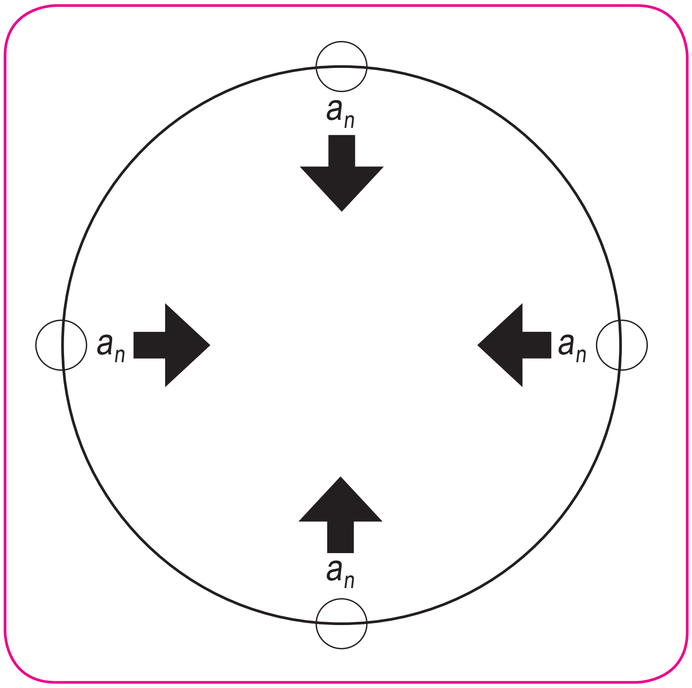
En aquests dos casos, l'acceleració ja no és zero, i per tant la normal ja no serà igual al pes. La segona llei de Newton en aquests dos casos la podem escriure com: $N - mg = ma$ i per tant la normal:

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

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:

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



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.

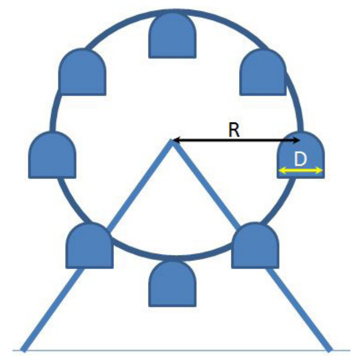
Les unitats en què es dona la mesura d'una balança són kg, però de fet, donat que una balança mesura força i no massa, seria més correcte dir que la mesura és en kiloponds, a vegades anomenats "kilograms força". La relació entre Newtons i kiloponds és senzilla 1 kp = 9.81 N. Per tant si multipliquem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



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

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

Aquestes mesures 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.

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.

04. Giradabo Circular. MOVIMENT CIRCULAR UNIFORME.

FISIDABO

CONCEPTES
Velocitat lineal i angular.
Període i freqüència.

CONEIXEMENTS PREVIS
Mesura de distàncies amb foto.
Mesura de temps.

MATERIAL
Cronòmetre.
Inclinòmetre.

APPs & MÒBIL
Aplicació ImageMeter.
Cronòmetre.

Gaudim de la vista circularment!

Estem acostumats a emocions fortes… però el Giradabo ens permet fer una pausa. Seure. Gaudir de la vista…. i deixar que un moviment circular uniforme ens passegi pel sostre de Barcelona. Però com de ràpid ens movem? Com podem mesurar aquesta velocitat?

El Giradabo és una roda de fira que gira amb un moviment circular aproximadament uniforme. Això vol dir que **una cistella**, quan l'atracció està girant sense aturar-se, **recorre el mateix angle en el mateix temps**. Per tant, definim la **velocitat angular ω** com: **θ és l'angle que gira en un cert increment de temps Δt**.

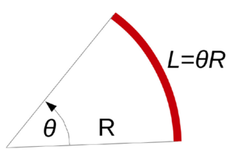
$$\boxed{\omega = \frac{\theta}{\Delta t}}$$

En el cas especial en que l'angle que gira sigui 2π, és a dir una volta sencera, el temps que triga en fer-ho s'anomena **període** i s'indica amb la lletra T, i per tant obtenim la següent relació (vegeu quadre de la dreta):

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

També és possible relacionar l'angle que gira un objecte amb la longitud de l'arc de circumferència (distància lineal) que ha avançat mitjançant la relació:

$$\boxed{L = \theta \cdot R}$$



Cal tenir en compte que, per tal que aquesta fórmula sigui correcta, **cal escriure l'angle θ en radians!** Com a exemple, fixeu-vos que **si un objecte dona una volta sencera l'angle θ és igual a 2π** i per tant, obtenim la relació que segur coneixeu: $L = 2\pi R$

És possible també relacionar la velocitat angular i la velocitat lineal d'un punt del perímetre de la circumferència, i la velocitat angular de l'objecte. La velocitat lineal d'aquest punt està definida com: $v = \frac{L}{\Delta t}$

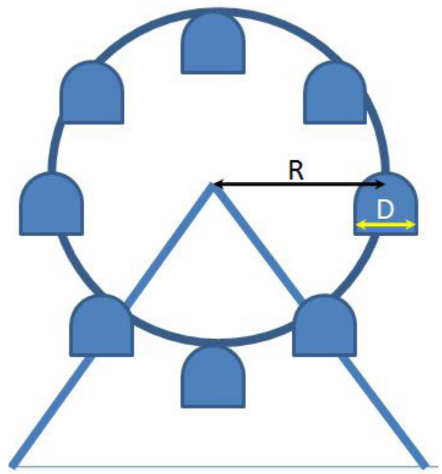
Però, com hem vist, es pot relacionar l'angle i la longitud de l'arc que recorre a través de la relació $L = \theta\ R$ i per tant podem substituir-la a l'equació anterior, i obtenim: $v = \frac{L}{\Delta t} = \frac{\theta \cdot R}{\Delta t} = \omega R$

Resumint, **la relació entre les dues velocitats lineal i angular** és: $\boxed{v = \omega\ R}$

EXPERIMENTA!

Què farem?

Volem relacionar les velocitats angular i lineal. Per fer això, necessitarem mesurar el radi del Giradabo. Això és el que farem en el primer experiment.
En el segon experiment mesurarem les velocitats angular i lineal de la roda de fira… va lenta o ràpida? Arrisca't i digues, abans de mesurar, quina velocitat creus que té una cistella en km/h!



E1: CALCULEM EL RADI

1. Per mesurar el radi ens situarem tan lluny de l'atracció com sigui possible, 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 utilitzar aquesta longitud com a referència i calcular amb l'aplicació el radi de la roda de fira sencera.

$R =$

E2: CALCULEM EL PERÍODE I LA VELOCITAT ANGULAR I LINEAL

1. Primer farem una mesura prèvia: comptarem quantes voltes fa el Giradabo en total, des que es posa en marxa fins que s'atura. Apuntem aquest número.

2. Per fer l'experiment prendrem una cistella de referència fixant-nos amb el seu color.

3. Esperem fins que l'atracció faci voltes de forma uniforme (quan tots els passatgers ja són a dintre).

4. Mesurarem ara el temps que tarda a fer una volta amb el cronòmetre. Repetiu aquesta mesura dues vegades. Anomenarem a aquests temps T_1 i T_2, i els anotarem.

5. Fem ara la mitjana de les dues mesures, que anomenarem T.

6. Calculem la velocitat angular i lineal de la cistella.

$\omega = \dfrac{2\pi}{T} =$ $\qquad$ $v = \omega R =$

QÜESTIONS?

1. Calculem la velocitat lineal en km/h per tal de fer-nos una idea de la rapidesa del moviment.
Una persona camina a uns 4km/h, així que comparem aquesta velocitat amb la de la roda de fira.

.

2. Podem fer també una estimació de l'acceleració angular. Mesurem quant de temps tarda la roda en girar de forma constant. L'acceleració angular la podem obtenir a partir de la seva definició:

$$a_n = \frac{\omega}{t}$$

+A L'AULA!

1. A partir dels valors de la velocitat i acceleració angulars, i tenint en compte el temps que tarda la roda de fira a girar a velocitat constant, podem fer tres gràfiques: l'angle que gira l'atracció en funció del temps, la velocitat angular i l'acceleració angular.

"Science and everyday life cannot and should not be separated". Rosalind Franklin.

05. Miramiralls Focals. ÒPTICA.

CONCEPTES
Lleis de reflexió.
Formació d'imatges.

CONEIXEMENTS PREVIS
-

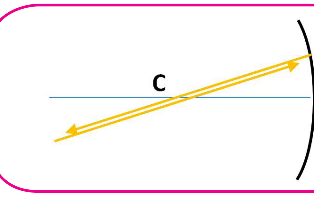
MATERIAL
Cinta mètrica.

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

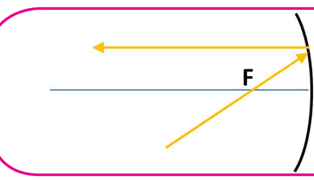
Com es dissenya un mirall?

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).



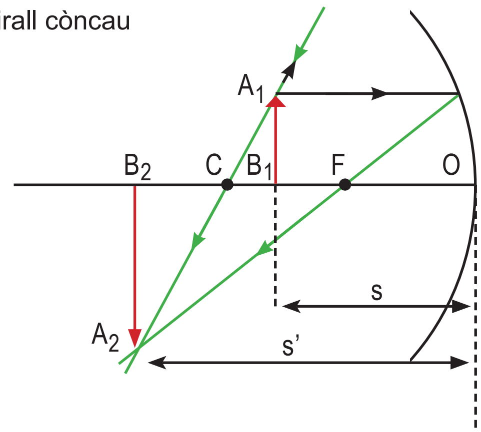
Es pot demostrar també que la distància des del centre al mirall és el doble que la distància des del focus al mirall:

$$R = 2F$$

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 còncau



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.

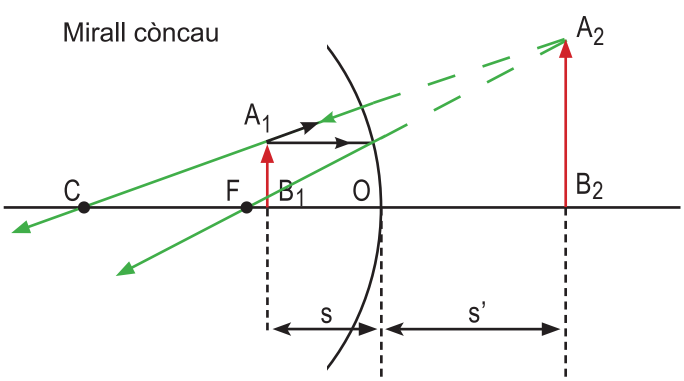
C és el centre del mirall.

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 còncau



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* = 2*F* =

QÜESTIONS?

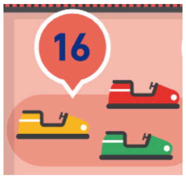
1. Prenem la cinta mètrica i determinem on és el centre del mirall. Aquest punt es troba a dintre de la sala dels miralls? Com ha de ser la imatge que es forma si ens situem en aquest punt?

+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.

06. Crash Cars rectilini. MOVIMENT RECTILINI.



CONCEPTES
Posició.
Acceleració i velocitat.

CONEIXEMENTS PREVIS
Anàlisi de vídeos.

MATERIAL
Cronòmetre.

APPs & MÒBIL
VidAnalysis free.

Moviment rectilini… fins que xoques

Un auto de xoc va recte… fins que xoca amb un altre. Sembla una llei de la física, i ho és. En concret la primera llei de Newton, o d'inèrcia. De totes formes, abans de xocar el cotxet ha tingut temps d'anar en línia recta, i en aquest experiment el que volem és, precisament, analitzar aquest moviment.

Un moviment en el qual la direcció del cotxe no canvia amb el temps s'anomena rectilini. Això implica que la posició del cotxe està totalment determinada si coneixem la seva velocitat inicial i la seva acceleració en un moment determinat. Suposem, per simplificar, que quan comencem a comptar el temps comencem a mesurar la distància que avança el nostre objecte, és a dir $x_0=0$. En aquest cas, l'equació que ens diu la posició del cotxe en un determinat instant de temps en funció de la seva velocitat inicial i la seva acceleració és la següent:

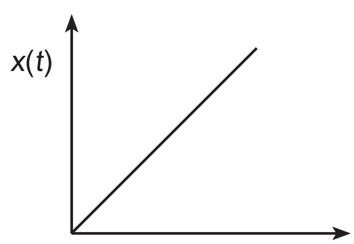
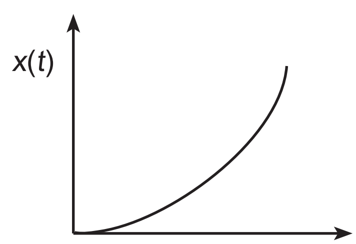
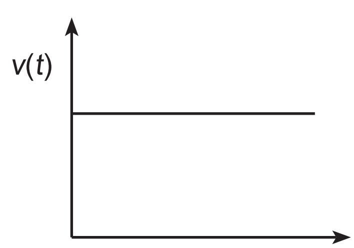
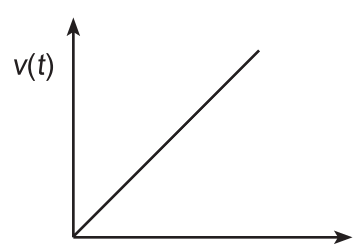
$$x(t) = v_0 t + \frac{1}{2} a t^2$$

$\mathbf{x_0}$ i $\mathbf{v_0}$ són les posicions i velocitats inicials de l'objecte. **a** és la seva acceleració.

També podem escriure una segona equació que ens permet calcular la velocitat en funció del temps, tot sabent l'acceleració que pateix l'objecte:

$$v(t) = v_0 + at$$

Si ara fem una representació gràfica de la posició i la velocitat d'un cotxe de l'atracció que va en línia recta, en els casos que no accelera i es mou amb velocitat constant (MRU) i en el cas en que accelera (MRUA) obtenim les següents gràfiques (de forma qualitativa):

	Moviment Recilini Uniforme (MRU)	Moviment Recilini Uniformement Accelerat (MRUA)
Posició		
Velocitat		

EXPERIMENTA!

Què farem?

En la primera part d'aquest experiment tots els cotxes donaran voltes en el mateix sentit. I serà llavors quan determinarem com és el moviment dels cotxets. Durant aquesta primera part, si us plau, no xoqueu els uns amb els altres: espatllaríeu l'experiment. Tindreu temps a la segona part, després que soni el xiulet!

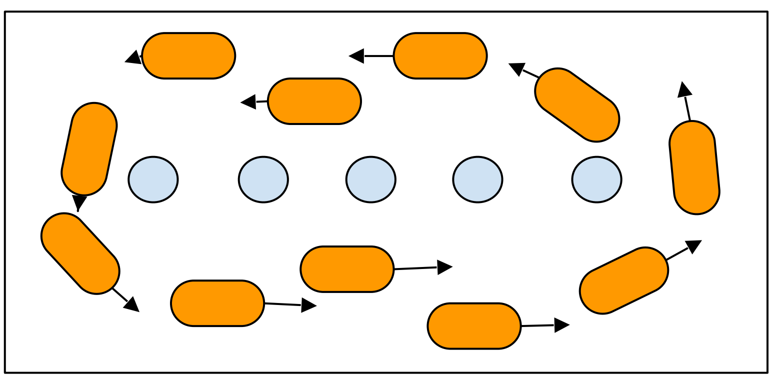
E1: DETERMINEM $x(t)$

La longitud dels autos de xoc és L = 180 cm. Aquesta longitud és important per poder determinar $x(t)$ amb l'aplicació VidAnalysis.

L'experiment es fa entre dos estudiants: un/a a fora de l'atracció que filmarà la trajectòria dels autos, i un/a a dins que conduirà el cotxet (podeu repetir l'experiment canviant els rols).

El/la conductor/a del Crash Car:

1. Quan soni el clàxon l'estudiant a dintre de l'auto de xoc el posarà en marxa i començarà a girar per la pista **en sentit contrari a les agulles del rellotge.** Al principi serà difícil, ja que els cotxes queden desordenats a la segona part de l'experiment. En aquesta primera part **no xoqueu els uns amb els altres**.



2. Quan passeu pel costat llarg de la pista intenteu anar el més recte possible per tal que el moviment sigui rectilini. En aquest moment serà quan el/la vostre/a company/a us filmarà des de fora de l'atracció.

3. Quan tots els cotxes circulin sense xocar un parell de voltes sonarà un xiulet. Ara sí! Podeu xocar tot el que vulgueu, però mai frontalment. La segona part forma part de l'experiment Crash Força, i el podeu fer conjuntament amb aquest experiment canviant-vos amb el vostre/a company/a si voleu.

El/la company/a a fora de l'atracció:

1. Poseu-vos en el costat més llarg de la pista dels crash cars, a una certa distància.
2. Obrim la càmera del vostre mòbil per fer vídeos, i espereu a que els cotxes circulin d'una forma uniforme i sense xocar.
3. Filmeu una estona deixant que els cotxes passin davant vostre. No cal filmar el del vostre company! Això cal fer-ho deixant la càmera quieta, és a dir, al vídeo els cotxets han de passar d'esquerra a dreta. Una opció és utilitzar un trípode flexible per tal que la càmera no es mogui.
4. Quan soni el xiulet els cotxes començaran a xocar per fer un altre experiment. Ara ja no caldrà fer res, a part d'esperar a que acabi l'atracció.

Mesures:

la mesura obtinguda és el vídeo obtingut pel company que ha filmat la trajectòria d'un cotxe. Per obtenir la gràfica $x(t)$ del cotxet obriu l'app VidAnalysis i procediu tal i com es descriu a la tècnica "mesura de trajectòries". La distància de referència serà la longitud del cotxet.

Si voleu analitzar les dades a classe, no oblideu guardar les dades com a fitxer en format .CSV que podem carregar en la majoria de programes de càlcul com l'Excel. Per fer això, un cop acabat l'anàlisi amb VidAnalysis, a l'extrem superior dret cliqueu la icona ⋮ i graveu les dades. L'app també us donarà l'opció de compartir les dades, i per tant us les podeu enviar per correu electrònic.

QÜESTIONS?

Obrim l'aplicació i representem la posició en funció del temps:

1. Creieu que el moviment és rectilini uniforme?
2. Quant de temps tarda el cotxe a avançar un metre?
3. Calculem la velocitat a partir de la gràfica que hem obtingut.

Obrim l'aplicació i representem la velocitat en funció del temps:

1. Mirant aquesta altra gràfica, creieu que el moviment és uniforme?
2. La gràfica us dona la velocitat respecte del temps, compareu aquest resultat amb el que heu obtingut en l'apartat anterior.
3. Si en algun moment el moviment no és uniforme, calculeu l'acceleració del moviment.

+A L'AULA!

1. Podeu baixar-vos les dades de l'aplicació connectant el mòbil a un ordinador, o bé us les podeu enviar per correu electrònic. Un cop al vostre ordinador podeu obrir les dades amb algun full de càlcul com l'Excel i fer les gràfiques amb el programa.

2. Amb la gràfica $x(t)$ podeu calcular la velocitat utilitzant una recta de regresió (el que anomena l'Excel com a línia de tendència). Calculeu la velocitat utilitzant aquest mètode i compareu-la amb les velocitats obtingudes per l'aplicació.

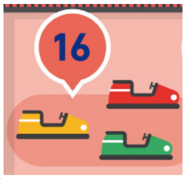
3. Podeu també calcular l'acceleració a partir de la gràfica v(t). Recordeu que l'acceleració (en el nostre cas mitjana) és:

$$a(t) = \frac{v\,(t+\Delta t) - v(t)}{\Delta t}$$

Haurien de sortir valors molt petits. Podeu comparar aquests valors amb l'acceleració de la gravetat g=9,81m/s^2.

"It is invaluable to have a friend who shares your interests and helps you stay motivated".
Maryam Mirzakhani.

07. Crash Cars amb força. DINÀMICA.



CONCEPTES
Acceleració.
Força.

CONEIXEMENTS PREVIS
Mesura d’acceleracions.

MATERIAL
Cronòmetre.

APPs & MÒBIL
Acceleròmetre de Vieyra.

Xocs amb força

Agafem el volant amb les dues mans. Sona el clàxon. I comencem a girar el volant, pitjar l’accelerador, mirar a dreta, esquerra, davant, i llavors: crash! No havíem mirat al darrere i de sobte patim una acceleració. I com que patim una acceleració, sentim una força. I la segona llei de Newton ens ajuda a calcular-la.

Imaginem que estem conduint un cotxe dels crash cars amb una certa velocitat. Quan xoquem amb un altre cotxe, el que patim és un canvi de la velocitat molt gran, durant un temps molt breu. Dit d’una altra forma, patim una acceleració que serà més gran quant més ràpid anem, i quant més breu sigui el xoc. Suposarem, per fer-ho més fàcil, que anem en línia recta. De fet, si anàvem amb una velocitat $v_{ini}=v$, i després del xoc quedem quiets, $v_{fin}=0$, podem calcular l’acceleracio a partir de la relació:

$$a = \frac{V_{fin} - V_{ini}}{\Delta t} = -\frac{V}{\Delta t}$$

a és l’acceleració.

$\boldsymbol{v_{fin}}$ és la velocitat després del xoc, que en el nostre cas és 0.

$\boldsymbol{v_{ini}}$ és la velocitat abans del xoc, que en el nostre cas és *v*.

$\boldsymbol{\Delta t}$ és el temps que dura el xoc.

Calculem ara la força que produeix el xoc en l’impacte. La força que patirem serà, de fet, més o menys intensa depenent de la massa que tinguem. Si sabem l’acceleració podem calcular la força a partir de la segona llei de Newton:

$$F = m\,a$$

EXPERIMENTA!

Què farem?

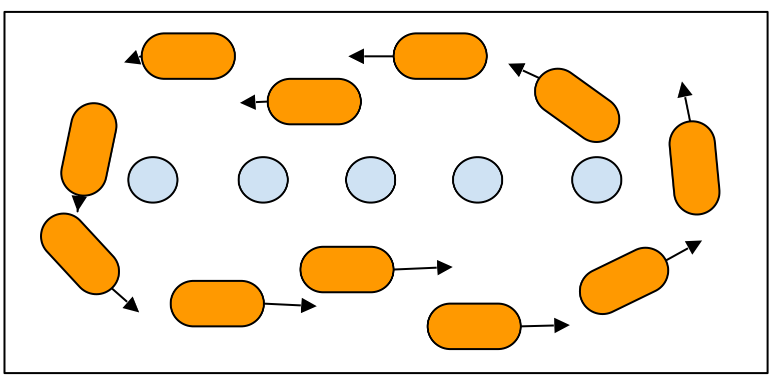
Aquest experiment té dues parts:
En la primera part d'aquest experiment tots els cotxes donaran voltes en el mateix sentit. Durant aquesta primera part, si us plau, no xoqueu els uns amb els altres ja que volem mesurar la velocitat dels cotxets quan avancen lliurement.
A la segona part podreu xocar tot el que vulgueu, perquè el que volem és mesurar la força del xoc entre els autos.
No ho feu mai frontalment. L'intercanvi de moment es produiria massa ràpid, i la força que notaríeu seria massa intensa ;-)

E1: DETERMINEM LA FORÇA QUE PATEIX EL COS

1. El conductor del cotxe es penjarà el telèfon mòbil (tal i com s'indica a la foto inferior de la dreta).

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 el mòbil** durant el temps de l'experiment!!!

3. A la primera part de l'experiment els cotxes han de donar voltes al llarg de la pista en sentit contrari a les agulles del rellotge. Si us plau intentem no xocar els uns amb els altres (tindreu temps a la segona part de l'experiment). En passar pel costat llarg de la pista intentem, si us plau, mantenir una trajectòria el més rectilínea possible, tal i com indica el dibuix esquerre:



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

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

Mesures: en aquest experiment hem determinat les forces gràcies a l'acceleròmetre del telèfon.

QÜESTIONS?

1. Obrim l'aplicació de l'acceleròmetre i mirem la gràfica que hem obtingut. Donat que el mòbil el tenim penjat com s'indica en l'anterior dibuix, els eixos que ens interessen són únicament l'x en vermell i el z en blau. Prenem l'acceleració màxima en un d'aquests dos eixos. No agafem l'acceleració total (en blanc) perquè té afegida la gravetat!!!!

2. Fixem-nos que l'acceleració està en unitats de *g*. Abans de res, mirem quin és aquest valor que podem comparar directament amb la gravetat terrestre: és gran o petit?

3. Ara podem obtenir l'acceleració en sistema internacional multiplicant per 9,81m/s^2. Quin valor obtenim? $a =$ m/s^2

4. Donat que hem mesurat la velocitat podem estimar quant de temps ha durat el xoc. Prenem un valor de l'acceleració el més gran possible. Suposarem que en el xoc més violent anem amb la velocitat *v* que hem mesurat al primer apartat, i que al final ens quedem parats. Calculem el temps en què hem perdut la velocitat que portàvem, és a dir, el temps que ha durat el xoc.

$$\Delta t = \frac{v}{a}$$

5. Podem calcular la força tot multiplicant l'acceleració per la massa del teu cos: $F = ma$

6. Comparem la força anterior amb la que es necessita per aixecar un quilogram de pes (9,81N).

+A L'AULA!

1. Hem obtingut l'acceleració en tots els eixos amb l'aplicació de l'acceleròmetre. Fixem-nos ara en les acceleracions en els eixos *x* i *z* que són paral·lels al terra. Intentem esbrinar en quin moment hem xocat, en quin moment hem girat i en quin moment anàvem amb velocitat constant.

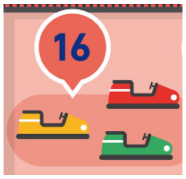
2. Podem també calcular les acceleracions totals paral·leles al terra (és a dir les que ens fan canviar de direcció) gràcies a la fórmula:

$$a_{horitzontal} = \sqrt{a_x^2 + a_z^2}$$

3. Descarreguem les dades i utilitzem un full de càlcul com l'Excel per tal de determinar l'acceleració horitzontal total. Amb aquestes dades podem fer un càlcul més acurat del temps mitjà que dura un xoc.

"If you know you are on the right track, if you have this inner knowledge, then nobody can turn you off... no matter what they say". Barbara McClintock.

08. Crash Cars amb moment. MOMENT LINEAL.



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 ($a = \dfrac{\Delta v}{\Delta t}$),

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 paraxocs de goma, els xocs tindrien lloc en molt poc temps. O dit d'una altra forma, 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 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!

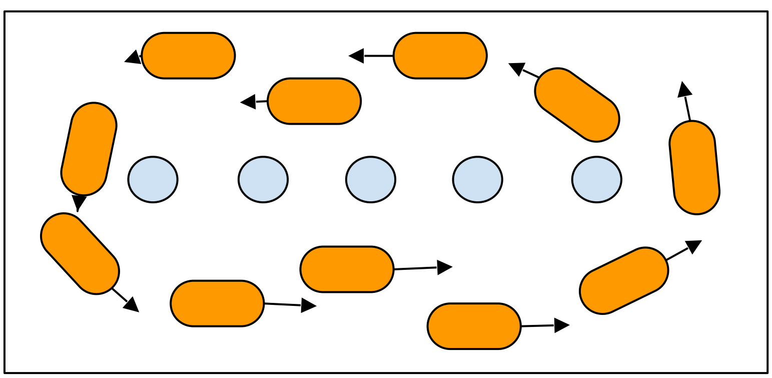
Què farem?

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,... 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 interessen 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 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.

09. Tibidabo Express rectilini. MOVIMENT RECTILINI.

CONCEPTES
Posició.
Acceleració i velocitat.

CONEIXEMENTS PREVIS
Mesura de velocitats.

MATERIAL
Cronòmetre.
Cinta mètrica.

APPs & MÒBIL
Cronòmetre.

A tota velocitat...

Un cop estem asseguts al Tibidabo Express només cal esperar. Esperar a que el tren acceleri. I en accelerar ens preguntem: podem descriure el moviment com a rectilini accelerat? Podem mesurar la velocitat final? Podem fer una gràfica $x(t)$ per representar el moviment del tren de la Mina? Tranquils, ha arribat el dia! Avui donarem resposta a totes aquestes preguntes!

Un moviment rectilini és aquell en què la direcció de l'objecte no canvia amb el temps. Això implica que la posició de l'objecte està totalment determinat si coneixem la seva velocitat inicial i la seva acceleració en un moment determinat. Suposem, per simplificar, que quan comencem a comptar el temps comencem a mesurar la distància que avança el nostre objecte. En aquest cas, l'equació que ens relaciona la posició de l'objecte amb la seva velocitat inicial i la seva acceleració la podem escriure com:

$$x = v_0 t + \frac{1}{2} a t^2$$

$\boldsymbol{v_0}$ és la velocitat inicial de l'objecte.
a és la seva acceleració.

També podem escriure una segona equació que ens relaciona la velocitat amb l'acceleració: $v = v_0 + at$

Suposem ara que un tren inicialment en repòs i d'una longitud coneguda L inicia el seu moviment davant nostre. Si estava inicialment quiet (v_0=0) podem relacionar el temps que tarda a sortir de l'estació amb la seva longitud L:

$$L = \frac{1}{2} a t^2$$

i per tant és possible calcular l'acceleració del tren a partir del tremps que tarda a sortir de l'estació. També és possible calcular la velocitat que té en sortir de l'estació utilitzant la segona equació anterior.

EXPERIMENTA!

Què farem?

Volem saber l'acceleració del tren en sortir de l'estació i la velocitat amb què circula en passar per l'estació. Per això farem dos experiments situats a fora de l'atracció. Per últim farem un tercer experiment en el qual mesurarem l'acceleració tot pujant a l'atracció. Cal adonar-se que el tren fa dues voltes. Al sortir el trenet accelera fins assolir la velocitat final, i després torna a passar per l'estació a velocitat aproximadament constant.

E1: MESUREM L'ACCELERACIÓ.

1. La longitud del Tibidabo Express és L=1990 cm. La necessitarem per calcular l'acceleració.
2. En el moment en què es posi en marxa el tren posarem en marxa el cronòmetre.
3. Aturarem el cronòmetre quan la cua del tren surti de dintre l'estació. Anomenem aquest temps t_{MRUA}
4. Els valors de la longitud i el temps mesurats són:

t_{MRUA} = L=

5. Per tant l'acceleració del tren i la velocitat que assoleix són:

a= v=

QÜESTIONS?

1. Compara el valor de l'acceleració que has mesurat amb el valor de l'acceleració de la gravetat g=9,81 m/s^2. És més gran o més petit?.

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. Calcula aquest valor:

3. Els fabricants de cotxes acostumen a donar l'acceleració calculant el temps que triga un cotxe en assolir 100km/h. El rècord mundial el té un cotxe que accelera de de 0 a 100km/h en 1,53 segons. Un cotxe normal accelera de 0 a 100 km/h en uns 10 segons. Calcula quant de temps tardaria el tren de la mina a accelerar de 0 a 100 km/h i compara el resultat amb els cotxes comercials.

EXPERIMENTA!

E2: MESUREM LA VELOCITAT.

1. La longitud del Tibidabo Express és L=1990 cm.
2. Posem el cronòmetre en marxa quan vegis passar la part frontal del tren de la mina sortint de l'estació.
3. Aturarem el cronòmetre quan la cua del tren surti de dintre de l'estació. Anomenem aquest temps $t_{MRU.}$
4. Els valors de la longitud i el temps mesurats són:

t_{MRU} = L=

5. Per tant la velocitat del tren de la mina obtinguda és:

v=

QÜESTIONS?

1. Calculem la velocitat en km/h.

2. La velocitat que has obtingut en aquest segon experiment és igual que l'obtinguda en l'experiment anterior?

EXPERIMENTA!

E3: MESUREM L'ACCELERACIÓ.

1. Pujarem al tren i engegarem l'aplicació de l'acceleròmetre.

2. Cal tenir en compte (com està descrit a la tècnica "mesures d'acceleracions") que cal saber quin eix representa cada direcció del nostre telèfon mòbil. Si utilitzeu l'app de Vieyra i tenim el telèfon com s'indica a la fotografia inferior, l'eix que ens interessa és el *z*.

3. Guardarem el mòbil en la nostra funda portamòbils tot tenint cura de no apagar el telèfon.

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

Mesures: la mesura en aquest experiment és la gràfica obtinguda per l'aplicació del nostre dispositiu.

QÜESTIONS?

1. Observa la gràfica que has obtingut en l'eix *z* que és el que ens indica l'acceleració en el sentit d'avançament del tren. Quina acceleració mesures quan l'atracció es posa en marxa?

2. És compatible amb l'acceleració que has mesurat al primer experiment?

+A L'AULA!

1. A partir dels resultats del vostre experiment, feu una gràfica $x(t)$ del moviment del tren en el tram recte (al principi).

2. Tenint en compte que sabem que la velocitat incial és zero podem dibuixar les gràfiques $v(t)$ i $a(t)$ a partir de les dades de E1 i E2. Fes el dibuix amb un programa de tractament de dades com l'Excel.

3. Compara el resultat de la teva gràfica amb el que has obtingut amb el teu mòbil (recorda que l'acceleració ha d'estar en unitats de *g*). (No et preocupis si surt molt diferent. Les dades del telèfon no només tenen en compte el moviment del tren, també el del teu cos, i per tant és normal que la diferència sigui gran).

"As always in life, people want a simple answer . . . and it's always wrong". Susan Greenfield.

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 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).

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

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

Módul 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. Apretem el cronòmetre quan la part frontal del tren surt de l'estació, agafant com a referència el punt magenta. ● Parem el cronómetre 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 msures") 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

QÜESTIONS?

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

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

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 $g = 9.8\ m/s^2$, 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.

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

+A L'AULA!

1. 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.

2. 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?

3. 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 (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:

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

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:

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

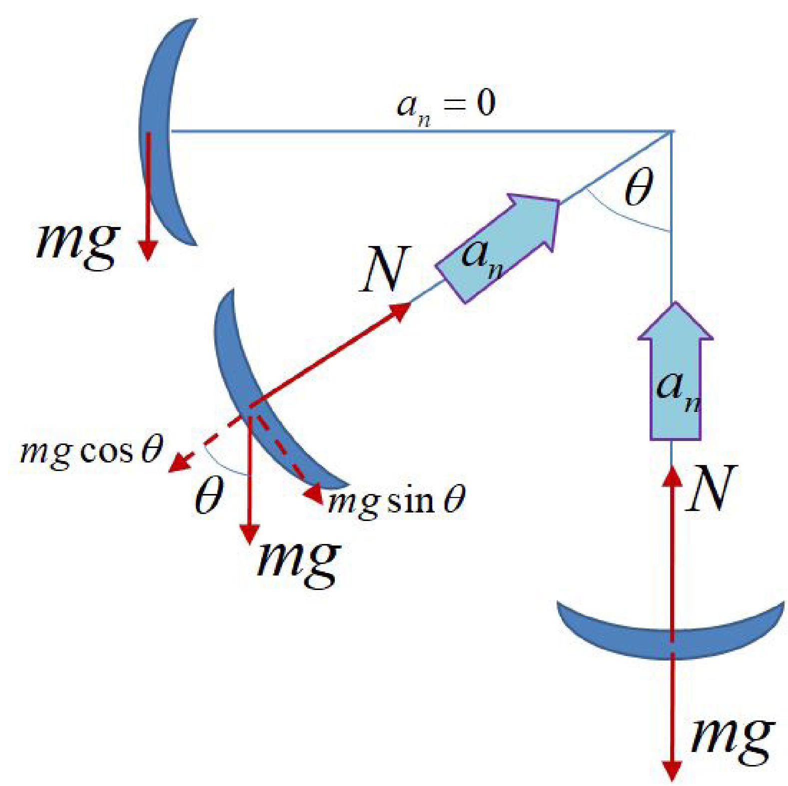
Acceleració al punt més alt:

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: 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").

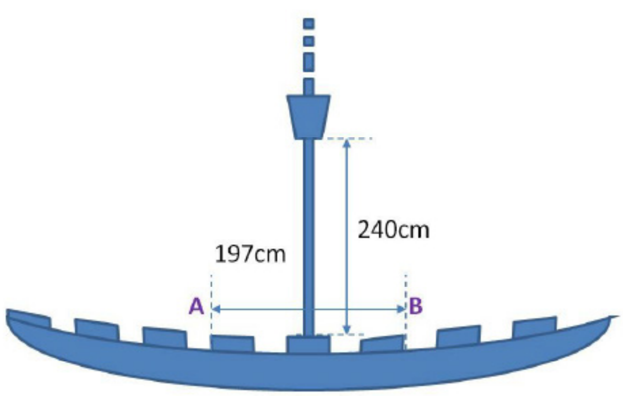
Mesura de la velocitat al punt més baix:

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:

$\theta =$ per tant $R = D \tan \theta$

Calculem la velocitat:

$D_{AB} =$ $\Delta t =$ 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 podrem 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):

θ_1 = θ_2 =

Acceleracions mesurades pels dos estudiants:

a_1 = 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=cosθ?

"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!

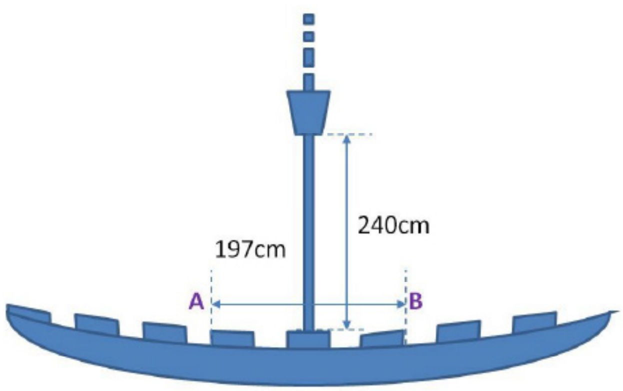
E2: COMPROVEM QUE LA FÓRMULA $T = 2\pi\sqrt{\frac{L}{g}}$ FUNCIONA

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: $T_{calc} = 2\pi\sqrt{L/g}$
Coincideix aquest valor amb el període T_{exp} que hem mesurat?

2. Hem suposat que el valor de $g = 9{,}8 m/s^2$… 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: $g = L \cdot 4\pi^2 / T^2_{calc}$)

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_{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 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.

13. Piratta Energia. ENERGIA.

CONCEPTES
Energia cinètica.
Energia potencial.
Conservació de l'energia.

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

MATERIAL
Cronòmetre.
Inclinòmetre.

APPs & MÒBIL
Es pot fer servir l'analitzador de fotos ImageMeter, inclinòmetre i cronòmetre.

Nota: recordeu que una oscil·lació completa es produeix quan un pèndol surt d'una posició, arriba a l'altre extrem de la trajectòria i torna al mateix punt d'on ha sortit.

L'energia es conserva, la sang freda no

Pugem al vaixell Piratta. La barra ens encasta contra el seient: això es mourà! I el motor comença a donar energia al vaixell. I aquest la utilitza per guanyar altura. En guanyar energia potencial... i un cop assolit el punt més alt baixem. I guanyem energia cinètica mentre cridem amb les mans aixecades.

El vaixell Piratta guanya altura gràcies a un motor que l'impulsa, de forma que cada cop assoleix una altura més gran. Però quan el vaixell oscil·la amb l'amplitud més gran, es deixa que les energies potencial gravitatòria i cinètica facin la seva feina. Al punt d'altura màxima, el vaixell està quiet durant uns instants: la seva energia cinètica és nul·la, però la seva energia potencial és màxima. Al punt més baix, en canvi, tota l'energia potencial acumulada es transforma en energia cinètica associada a la seva velocitat (suposem que no hi ha fregament de cap mena!). Per tant si comencem a comptar l'altura des del terra, **l'energia potencial** del vaixell al punt més alt serà tal i com veiem a la dreta:

$$E_p = m\,g\,h$$

***m*,** massa de l'objecte.
***g*,** acceleració de la gravetat.
***h*,** altura respecte el terra.

Per altra banda, com que hem escollit que l'altura la comptem des del terra, al punt més baix de la trajectòria l'energia potencial serà zero. En canvi tota **l'energia** serà **cinètica**, i la podem escriure com s'indica al quadre de la dreta:

$$E_c = \frac{1}{2} m\,v^2$$

***m*,** massa de l'objecte.
***v*,** celeritat de l'objecte.

En el cas que tinguem fregament d'alguna mena, l'energia cinètica al punt més baix serà més petita que l'energia potencial al punt més alt, ja que una part s'haurà perdut en forma de treball de la força de fregament:

$$W_{Ff} = E_c - E_p$$

Aquest treball és negatiu, i això indica que l'energia s'ha perdut.

EXPERIMENTA!

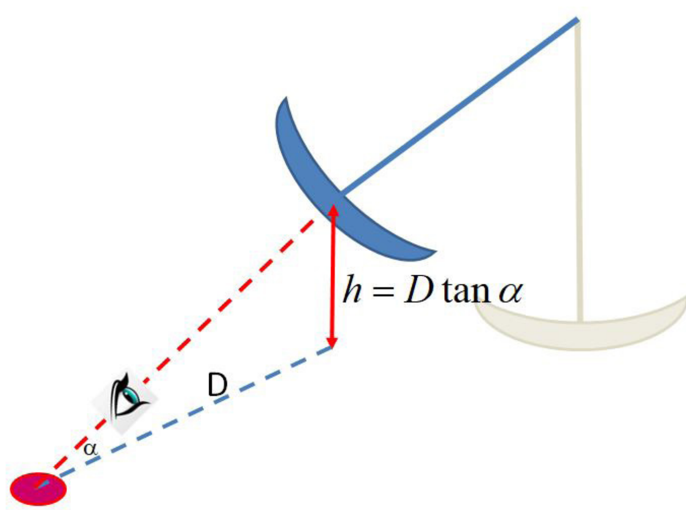
Què farem?

En aquest experiment comprovarem si l'energia es conserva al vaixell Piratta. Si això no és cert mirarem d'esbrinar quanta energia s'ha perdut en el moviment descendent. Pels més agosarats mirarem de calcular el guany d'energia al principi de l'atracció deguda al motor, i la pèrdua al final degut al sistema que frena el vaixell Piratta.

E1: MESUREM L'ALTURA MÀXIMA.

1. 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 (n).

2.A. Un cop sabem per a quina oscil·lació l'amplitud és màxima, mesurarem amb l'inclinòmetre l'angle que forma el centre del vaixell Piratta al punt més alt (vegeu dibuix inferior). Això ho farem des d'un dels punts magenta marcats al terra de l'àrea al voltant de l'atracció. La distància D del punt a la base del vaixell Piratta està marcada en cadascun dels punts. D'aquesta forma podrem determinar l'altura màxima h utilitzant la relació trigonomètrica: $h = D \tan \alpha$ *(vegeu mètodes: "mesura de distàncies")*.



2.B. Aquesta mesura també la podem fer amb el mòbil: prenem una fotografia del vaixell Piratta quan està al punt de màxima altura. Sabent que la distància de l'eix d'on penja el vaixell fins a la base és de 7,5 m, calculem amb l'aplicació ImageMeter quina és l'altura a la que es troba el vaixell (vegeu mètodes *"mesura de distàncies"*).

3. L'energia potencial E_p la podem calcular a partir de la massa del vaixell (que prendrem com una tona), l'acceleració de la gravetat i l'altura màxima.

EXPERIMENTA!

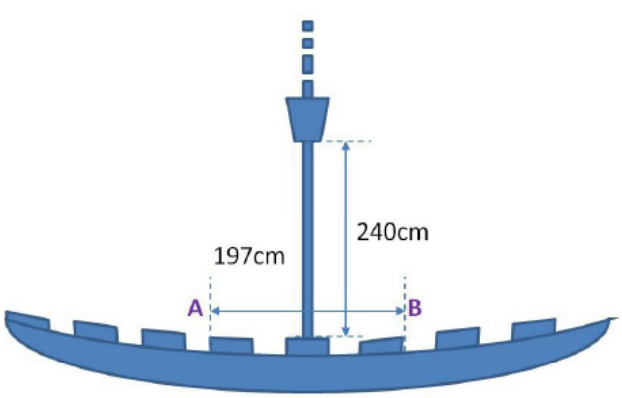
E2: MESUREM LA VELOCITAT AL PUNT MÉS BAIX.

1. Al 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 passaràn 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").

3. La velocitat es pot obtenir fàcilment a partir de $v = D_{AB} / \Delta t$

$v =$



CALCULA!

1. Calculem l'energia potencial: α = per tant $h = D \tan \alpha$

Resultat final: (recordeu que la massa del vaixell Piratta és una tona).

$E_p = mgh =$

2. Calcula l'energia cinètica: $D_{AB} =$ $\Delta t =$ per tant $v =$

Resultat final: *(recordeu que la massa del vaixell Piratta és una tona).*

$E_C = 1/2mv^2 =$

QÜESTIONS?

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

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

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

4. Tenint en compte el resultat anterior, calculem a quina altura arribarà el vaixell en la següent oscil·lació.
Pots comprovar si el teu resultat és correcte al Tibidabo.

+A L'AULA!

1. Sabent el tant per cent d'energia que es perd en una oscil·lació, podem calcular quantes oscil·lacions fa el vaixell fins que s'atura. Això succeirà quan s'hagi perdut aproximadament un 90% de l'energia inicial. Calculem aquest número i compareu-lo amb el número d'oscil·lacions real que necessita el vaixell per aturar-se (n/2).

2. Pots fer "el teu vaixell Piratta" a classe… per fer això només necessites un pèndol.
Pots repetir l'experiment penjant masses de formes diferents i mirar quina tarda més a aturar-se.

"Let us choose for ourselves our path in life,
and let us try to strew that path with flowers". Emilie du Chatelet.

14. Diavolo Normal. 2ª LLEI DE NEWTON.

FISIDABO

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

CONEIXEMENTS PREVIS
Mesura de distàncies.
Mesures d'acceleracions.

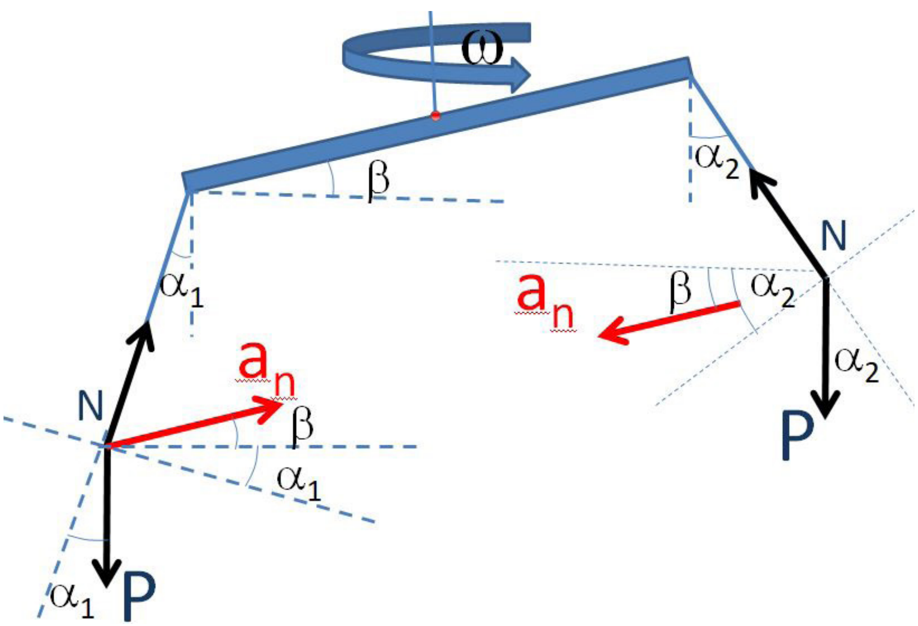
MATERIAL
Inclinòmetre.

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'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:

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

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:

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

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.

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: $\omega=2\pi/T$

Mesures:

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

E2: TRAJECTÒRIA DE LES CADIRETES.

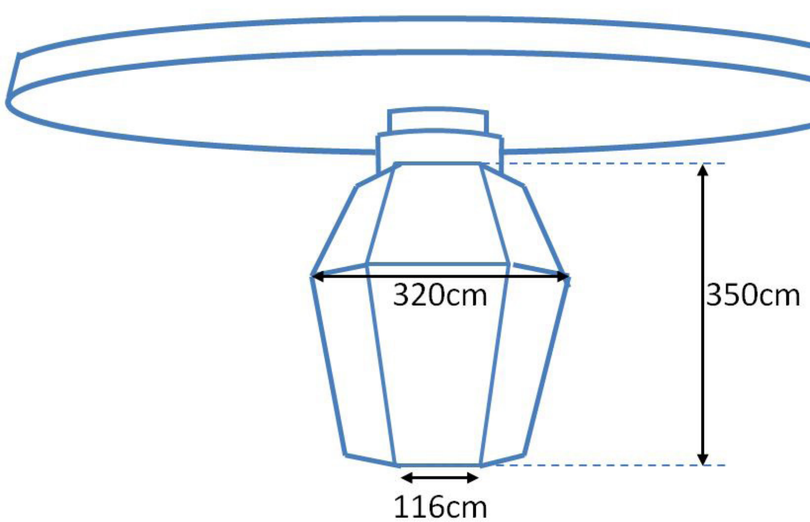
1. El radi de l'eix inferior del Diavolo és de 650 cm (vegeu figura inferior).

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= α= β=



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 comprobar 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 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.

FISIDABO

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

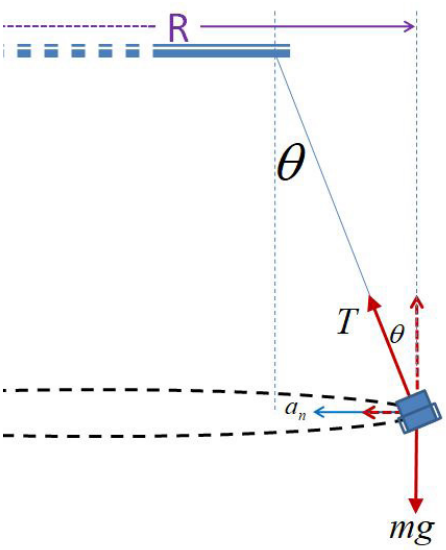
CONEIXEMENTS PREVIS
Mesura de distàncies i angles.
Mesura de temps.

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

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):

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

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: MESUREM 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:

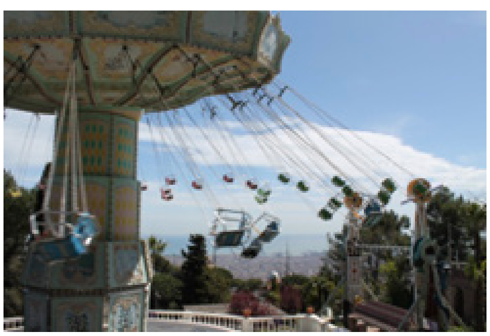
t =	i per tant el periode $T = t/3$ =

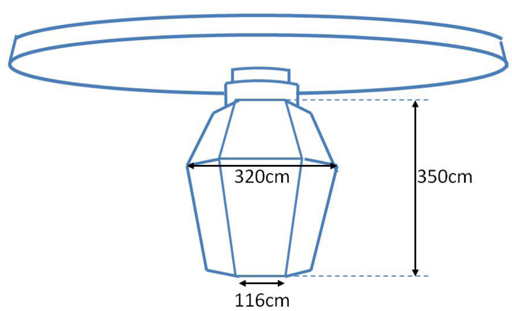
Podem fer la mesura més d'un cop i fer la mitjana.

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_{eix} = 650 cm.

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

R =	θ =

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 = 9,81m/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 90º?

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.

16. Viking Circular. MOVIMENT CIRCULAR.

FISIDABO

CONCEPTES
Moviment circular uniforme.
Moviment circular uniformement accelerat.

CONEIXEMENTS PREVIS
Mesura de velocitats.

MATERIAL
Cronòmetre.
Cinta mètrica de 25 a 50m.

APPs & MÒBIL
ImageMeter.

Nota: recordeu que el període és el temps que es tarda a fer una volta completa.

.

Avançar per tornar al mateix lloc

Certament, als vaixells Vikings no patirem una pujada d'adrenalina. Però que el seu gir sigui tant lent té algunes avantatges, des del punt de vista de la física. Podem estudiar còmodament el seu moviment circular… i saber si és uniforme o accelerat.

Quan un cos dona voltes no té molt sentit parlar del que avança donat que després d'un cert temps torna a la mateixa posició. El seu moviment es pot descriure millor tenint en compte l'angle que avança després que passi un cert temps t: $\theta(t)$.

Com passa al moviment rectilini, uniforme i accelerat, aquest angle pot canviar d'una forma uniforme o d'una forma accelerada. En el nostre cas el que ens interessa és saber **com canvia l'angle amb el temps**. Aquest ve determinat per la velocitat, en el nostre cas angular ω. Aquesta magnitud la definirem com l'angle θ que avança un cos donant voltes en un cert interval de temps Δt i per tant:

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

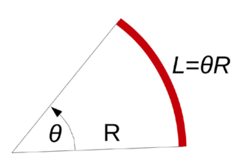
També podem definir, d'una forma similar, **l'acceleració angular** com: $$\alpha = \frac{\omega}{\Delta t}$$

Fixeu-vos que per tal de distingir-les de les velocitats lineals, **la notació per a la velocitat i acceleració angulars la farem amb les lletres gregues ω i α**. Escrivim ara les següents equacions relacionades amb el moviment circular uniformement accelerat (és a dir, amb acceleració constant):

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

La primera ens diu l'angle que ha girat un objecte que dona voltes sabent quin és l'angle inicial θ_0, la velocitat angular inicial ω_0 i la seva acceleració angular α. La segona ens permet calcular la velocitat angular $\omega(t)$ si sabem l'acceleració angular α.

També podem trobar la longitud L que avança en la trajectòria corba i l'angle θ que gira a partir de la relació: $$L = \theta R$$

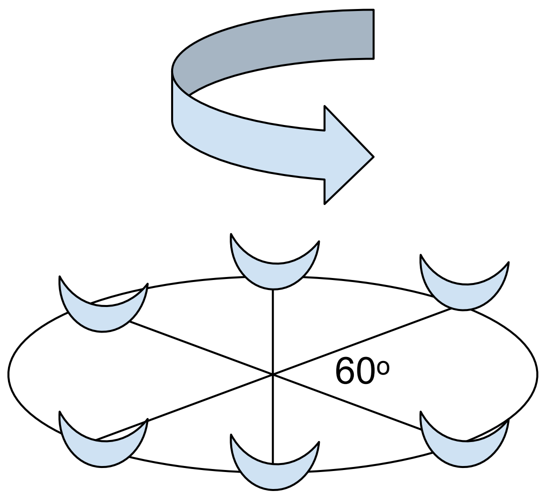


Cal tenir en compte que per tal que aquesta fórmula sigui correcta, cal escriure l'angle θ en radians! Com a exemple, fixeu-vos que si un objecte dona una volta sencera l'angle θ és igual a 2π radians (360º) i per tant, obtenim la relació per la longitud total del cercle que de ben segur coneixeu: $L = 2\pi R$

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.



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.

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* =

QÜESTIONS?

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

2. 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.

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

EXPERIMENTA!

Què farem?

Determinarem la gràfica de l'angle d'un vaixell en funció del temps.

! Material: cronòmetre, si pot ser d'aturada múltiple.
Per defecte, els dispositius Android tenen un cronòmetre a l'aplicació "rellotge". Aquest té la particularitat que pitjant la tecla ⏱ ens mostra el temps però sense parar el cronòmetre. Això ho podem fer fins a 99 cops. La llista dels temps parcials apareix al final de l'aplicació i la podem recuperar en el moment que vulguem (vegeu "mètode de mesures").

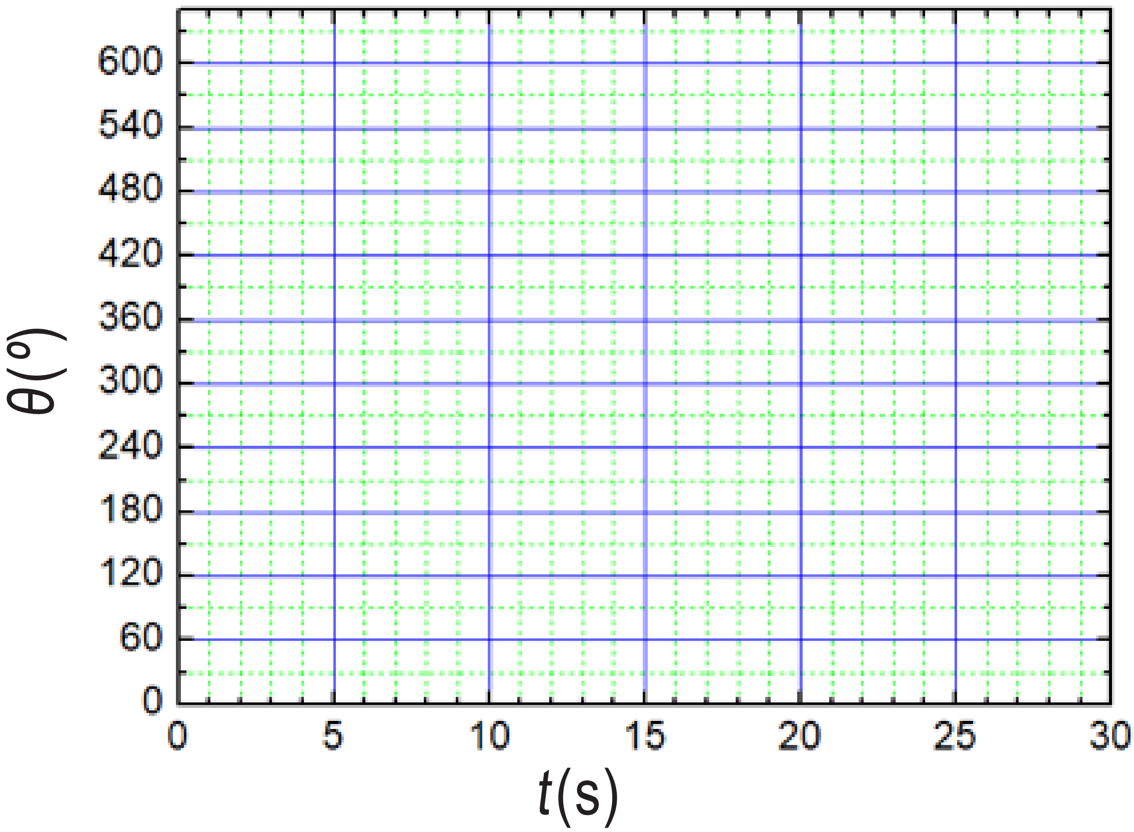
E2: OBTENIM LA GRÀFICA $\theta(t)$

1. Ens situarem al costat d'un dels vaixells Vikings, i quan aquest es posi en marxa, posarem en marxa el cronòmetre.
2. Cada cop que passi per davant nostre un vaixell Viking polsarem el ⏱ per tal d'enregistrar el temps.
3. Si tenim un cronòmetre clàssic, li direm a un company el temps cada cop que passi per davant nostre un vaixell Viking.
4. No cal mesurar el temps durant el que dura tota l'atracció. Un cop porta una estona movent-se amb velocitat uniforme no cal seguir enregistrant els temps.
5. **Mesures.** Donat que sabem que l'angle que formen dos vaixells és de 60º podem omplir la següent taula amb els temps mesurats:

Angle (graus)	60	120	180	240	300	360	420	480	540
Angle (rad)	$\pi/3$	$2\pi/3$	π	$4\pi/3$	$5\pi/3$	2π	$7\pi/3$	$8\pi/3$	$9\pi/3$
t (s)									

QÜESTIONS?

1. Fem una gràfica de l'angle que recorre l'atracció en funció del temps $\theta(t)$:



2. Observem els temps que hem mesurat: quan creus que comença el moviment circular uniforme?

3. Quina és la velocitat angular dels vaixells Vikings quan donen voltes uniformement?

4. Quina és l'acceleració angular al principi de l'atracció?

5. A partir de la velocitat angular, calculem la velocitat lineal d'una persona asseguda en un dels vaixells Vikings.

"I hadn't been aware that there were doors closed to me until I started knocking on them." Gertrude B. Elion.

17. 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 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 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 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.

$$a_n = \omega^2 R$$

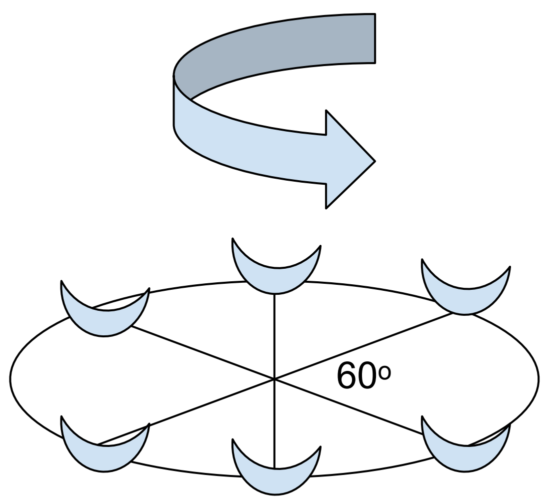
ω és el mòdul de la velocitat amb que estem girant.

R és el radi de la corba.

EXPERIMENTA!

Què farem?

En aquest experiment mesurarem l'acceleració normal del 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 60º.

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 360º/6=60º.
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 (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	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 necessaries 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!

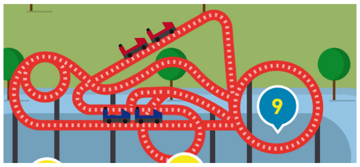
1. El càlcul de l'acceleració normal l'hem fet a partir del radi que us hem donat. Però… i si aquest radi és fals? Podem calcular el radi a partir dels valors de l'acceleració normal i de la velocitat angular.

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 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.

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'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 que 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 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'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 PRÈVIA DE LA VELOCITAT AL PUNT MÉS BAIX

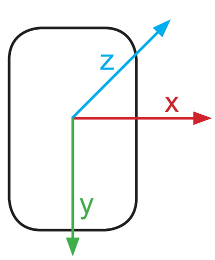
1. En primer lloc tindrem en compte que la longitud sencera d'un dels cucs formats per les quatre vagonetes és de 1015cm. Anomenarem a aquesta distància *D*.
2. Per mesurar la velocitat, el sistema de referència ho és tot. Per això ens quedarem fora de l'atracció, just a l'entrada, abans d'entrar al 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:

$D =$; $t =$; per tant la velocitat: $v = \dfrac{D}{t}$

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

E2: MESUREM 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 $9{,}81 m/s^2$.

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'ingravidesa 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?

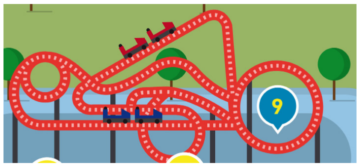
2. Per què és tan important definir un bon sistema de referència a l'hora de fer mesures?

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.

19. Muntanya russa Energia. ENERGIA.

FISIDABO



CONCEPTES
Energia cinètica.
Energia potencial.
Conservació de l'energia.

CONEIXEMENTS PREVIS
Mesura de velocitats.

MATERIAL
Cronòmetre.

APPs & MÒBIL
Cal una aplicació de GPS, proposem GeoTracker.

Quan l'energia potencial fa por...

Pugem a la vagoneta de la muntanya russa. La barra baixa. Ens posem en marxa i comencem a pujar. Clec, clec, clec, clec va sonant. Arribem al punt de màxima altura i em pregunto quina energia potencial dec tenir. I una veu em respon: depén del punt de referènciaaaaaaaaaah!

No hi ha millor lloc per veure actuar la conservació de l'energia que la muntanya russa. En aquesta atracció, una vagoneta va guanyant alçada mitjançant un sistema de remolc, per després perdre-la en forma d'energia cinètica. L'energia emmagatzemada pel carretó de la muntanya russa en el punt més alt, **s'anomena energia potencial**. La podem expressar com s'indica en el quadre de l'esquerra. Però la *h* no significa res si no fixem des de quin punt la mesurem. Nosaltres la mesurarem des del punt més baix de la trajectòria de la muntanya russa.

$$E_p = mgh$$

Per altra banda, **en el punt més baix** pel que passa la vagoneta, l'energia potencial serà zero. Però en canvi **l'energia cinètica serà màxima** i igual a:

$$E_c = \frac{1}{2} m v^2$$

Malauradament, és possible que actuï alguna **força de fricció que aturi la vagoneta**. Aquesta força pot ser deguda a dues causes: el fregament amb el vent, o el fregament amb els rails. És molt difícil mesurar acuradament l'efecte d'aquestes dues forces de fricció en la muntanya russa. El que sí que sabem és que aquest efecte farà que una part de l'energia potencial inicial es perdi per sempre. Per tant, podem calcular l'energia perduda a partir de les energies potencial inicial i cinètica final com veiem al quadre de la dreta. Fixem-nos que aquest treball és negatiu, i això indica que l'energia s'ha perdut.

$$W_{Ff} = E_c - E_p$$

En aquest experiment comprovarem si l'energia es conserva a la muntanya russa, però ja us advertim que el principal problema no serà el fregament, sinó l'exactitud de la mesura de l'alçada.

EXPERIMENTA!

Què farem?

En primer lloc mesurarem, de forma el més acurada possible, les alçades màxima i mínima de la trajectòria de la muntanya russa amb GPS. No intenteu obtenir tota la trajectòria: els canvis de direcció son tan violents que no els podem mesurar amb el GPS. En la segona part de l'experiència mesurarem la velocitat al punt més baix de la trajectòria…
i mirarem si l'energia es conserva.

E1: ALÇADA MÀXIMA I MÍNIMA DE LA MUNTANYA RUSSA

1. Abans de pujar a l'atracció posarem en marxa l'aplicació GeoTracker del telèfon mòbil.
2. Guardem el telèfon mòbil a dintre de la funda.
3. Ara només cal disfrutar de l'atracció i apagar el mòbil en arribar al destí.
4. Per obtenir les mesures de les altures màxima i mínima obrirem l'aplicació i pitgem on posa "estadístiques".
5. Tirant amb el dit cap avall, veurem en un dels llocs, que diu "diferència d'alçades", aquesta serà la nostra alçada *H*.

$H =$

E2: MESUREM LA VELOCITAT AL PUNT MÉS BAIX

1. La longitud total del cuc format per les quatre vagonetes de la muntanya russa és $D = 1015$ cm.
Aquesta distància serà important per determinar la velocitat.

2. Per mesurar la velocitat cal sortir fora de l'atracció, i situar-nos al túnel que dona accés a la mateixa.
Aquest és el punt més baix del recorregut de la muntanya russa, i per tant el de velocitat màxima.

3. Quan sentim els crits de la gent de l'atracció és el moment d'estar preparats. Mesurarem el temps que triga en passar tot el cuc, tot prenent una referència (com per exemple un arbre). A aquest el temps l'anomenarem *t*.

$D =$; $t =$; per tant la velocitat: $v = \dfrac{D}{t} =$

QÜESTIONS?

1. Calculem l'energia potencial al punt més alt de la trajectòria i l'energia cinètica al punt més baix.
Creus que es conserva l'energia mecànica?

2. Si no es conserva, calcula la pèrdua d'energia mecànica quan la vagoneta fa el camí de descens.

3. No hem tingut en compte que, de fet, al punt més alt el cuc no està totalment quiet. Com afecta això al nostre resultat?

+A L'AULA!

1. Tenint en compte les pèrdues que hem calculat: des de quina alçada cal deixar anar la vagoneta per tal que arribi al punt més baix amb velocitat zero (suposarem que la longitud del recorregut és el mateix).

2. Amb quina velocitat mínima hauríem de llençar el cuc de la muntanya russa per tal que arribi al punt més alt tenint en compte les pèrdues energètiques?

3. Una forma de confirmar si l'energia es conserva a la muntanya russa és fer una maqueta… però això pot ser força complicat. Us proposem que fem un model simplificat i fem dos rails per tal de poder llençar bales de vidre.
Podem filmar el moviment de les bales, i després reconstruir la seva gràfica $x(t)$... i comprovar si l'energia es conserva.

*"Every individual matters. Every individual has a role to play.
Every individual makes a difference". Jane Goodall.*