

	 CONCEPTES Força normal. Moviment circular. a_t i a_n.	 CONEXIMENTS PREVIS Mesura de velocitats. Mesura d'acceleracions.	 MATERIAL Cronòmetre. Acceleròmetre. Mocador de color.	 APPS i MÒBIL ImageMeter. Acceleròmetre.
---	---	--	---	---

NOTA: Aquest experiment està dividit en dos experiments que es poden fer de manera independent.

Sóc normal. La força normal

Estem drets a terra i no ens enfonsem. Estem asseguts en una cadira i no la travessem. Una força invisible ens esclafa contra el seient del vaixell Piratta del Tibidabo. Cridem, però, per sort, el seient ens aguanta. Darrere de tot això hi ha la protagonista habitual: la **força normal**, i amb aquest experiment la calcularem!

La força normal és la reacció que fa el terra sobre nosaltres quan exercim una força sobre ell. Segons la tercera llei de Newton, aquestes dues forces —acció i reacció— tenen el mateix mòdul i la mateixa direcció, però sentits contraris. En situacions d'equilibri, com quan estem sobre una superfície en repòs o en moviment rectilini uniforme, la força normal és igual al nostre pes. Ara bé, quan la superfície s'accelera, com passa dins d'un ascensor, aquesta força varia. Si l'ascensor puja, sentim que “pesem més”, i si baixa, que “pesem menys”. Aquestes sensacions es deuen a les variacions en la força normal provocades per les acceleracions.

Entrem a l'ascensor, pitgem el botó i aquest comença a pujar. Segons la primera llei de Newton, el nostre cos tendeix a romandre en repòs; és a dir, presenta inèrcia al canvi de moviment. Tanmateix, el terra de l'ascensor comença a pujar i acaba transmetent-nos aquest moviment. Per aconseguir-ho, ha d'exercir una força superior al nostre pes, ja que ha de vèncer la inèrcia del nostre cos. Per tant, la força normal que fa el terra no només compensa el pes, sinó que també ha de generar una acceleració cap amunt. Atès que el sistema (el nostre cos dins l'ascensor) puja amb una acceleració a i aplicant la segona llei de Newton, obtenim $N - p = ma$. A més, com sabem que el pes es pot escriure com $p = mg$, aleshores $N = m(g + a)$.

Per tant, si l'ascensor està en repòs o es mou a velocitat constant, la força normal és igual al pes, és a dir, $N = mg$. Si l'ascensor puja amb una acceleració positiva, la força normal augmenta: $N = m(g + a)$. En canvi, si l'ascensor baixa amb una acceleració negativa, la força normal disminueix: $N = m(g - a)$.

Ara bé, en el nostre cas no estarem dins d'un ascensor, sinó al vaixell Piratta. Aquí, l'acceleració que experimentarem no serà deguda a un moviment vertical, sinó al moviment circular que realitza l'atracció. Allò que ens “esclafa” contra el seient és l'**acceleració centrípeta**, també anomenada acceleració normal, que actua dirigint-se cap al centre de la trajectòria circular. Aquesta acceleració és responsable de la força que sentim i incrementa la força normal exercida pel seient, i es pot calcular amb l'expressió següent:

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

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

Acceleració en el punt més baix

Ara, si ens situem en el punt més baix de la trajectòria, l'acceleració normal i la gravetat es troben a l'eix vertical. De manera que podem utilitzar l'expressió que hem obtingut per a 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 força normal, aquesta és la relació que necessitem. No obstant això, en aquest cas farem servir un acceleròmetre —ja sigui el del mòbil o un acceleròmetre de molla en orientació vertical— que està calibrat de manera que, quan l'acceleració és igual a la de la gravetat, el resultat de la mesura és una unitat de g . Dit d'una altra manera, com que el dispositiu mesura l'acceleració en unitats de g , si aïllem l'acceleració a partir de la segona llei de Newton, $F = ma$, obtenim l'expressió de l'esquerra. Ara, si volem tenir la lectura de l'acceleració en unitats de la gravetat, l'únic que hem de fer és dividir l'acceleració entre g , obtenint l'expressió de la dreta.

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

L'acceleració que mesurem amb l'acceleròmetre és la que està relacionada amb la força normal, N . Si substituïm en l'expressió anterior la força F per la força normal, obtenim que l'acceleració en unitats de g . En el punt més baix de la trajectòria del vaixell Piratta serà:

$$a_{g, \text{ a baix}} = \frac{F}{m g} = \frac{N}{m g} = \frac{m \left(\frac{v^2}{R} + g \right)}{m g} = 1 + \frac{v^2}{g R}$$

Acceleració en el punt més alt

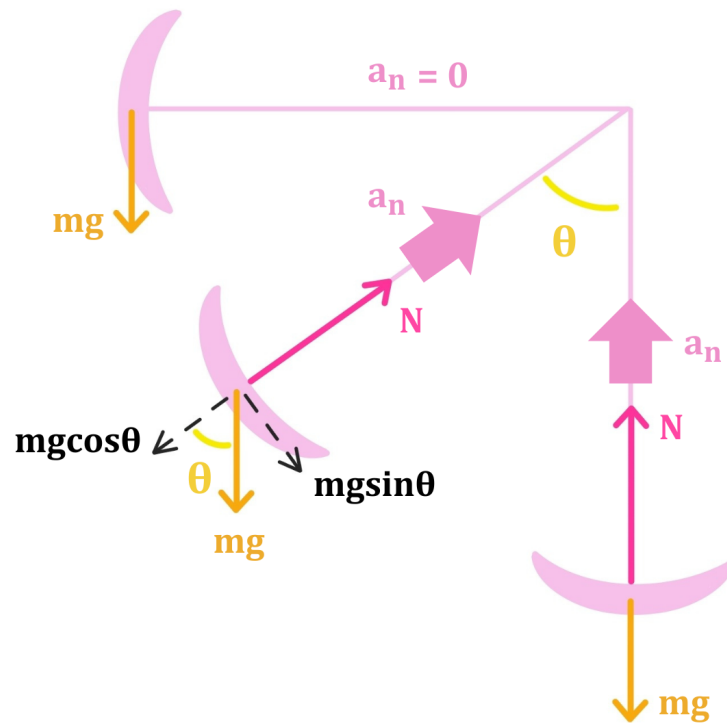
En el punt més alt, la situació és completament diferent: la velocitat del vaixell quan es troba prop del punt de màxima alçada és molt petita, de manera que l'acceleració normal es pot considerar negligible. En aquest cas, només hi ha acceleració tangencial. Això implica que la força normal és igual a la component tangencial del pes, de manera que tenim:

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

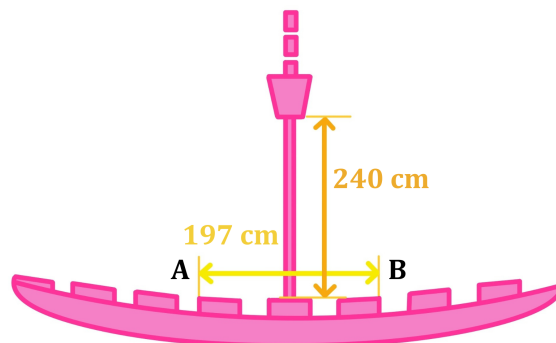
En el punt de màxima alçada, l'angle respecte a la vertical és pròxim als 90° , de manera que el cosinus d'aquest angle és molt petit o pràcticament zero. Això fa que la força normal també sigui molt petita, i, per tant, tinguem la sensació que “no toquem el seient”. Dit d'una altra manera, experimentem una sensació de microgravetat. Aquesta és, de fet, la sensació que perceben els astronautes de manera constant quan són a l'espai. Ara, com he fet en el cas anterior, calculem l'acceleració en unitats de g dividint la força normal entre $m g$, obtenint així:

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

A continuació es mostra un esquema de les forces i l'acceleració normal en l'atracció del Piratta.



Mesures necessàries per a dur a terme l'experiment a continuació.



EXPERIMENTA!

Què farem?

Volem mesurar l'acceleració del vaixell Piratta als punts més alt i més baix de la trajectòria per comprovar si les fórmules que hem obtingut són correctes. Per això, primer recollirem des de fora del vaixell algunes dades: el radi de la trajectòria, la velocitat al punt més baix i l'angle al punt més alt. Després pujarem amb l'acceleròmetre i compararem els resultats experimentals amb els càlculs.

E1: MESURA DE LA VELOCITAT EN EL PUNT MÉS BAIX**FORA DE L'ATRACCIÓ**

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

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

$$\Delta t = \quad s$$

3. La velocitat es pot obtenir fàcilment a partir de la següent expressió:

$$v = \frac{D_{AB}}{\Delta t} = \quad \frac{m}{s}$$

E2: MESURA DEL RADI**FORA DE L'ATRACCIÓ**

1. Busqueu els punts marcats a prop de la darrera baixada de l'atracció. En aquests, està marcada la distància D , que correspon a la separació entre aquest punt i la base del punt més alt de l'atracció.

2. Mesureu l'angle que indica l'inclinòmetre quan, des del punt marcat, observeu l'eix sobre el qual oscil·la el vaixell Piratta.

$$\alpha = \quad ^\circ$$

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

$$h = \quad m$$

4. Per tant, ja podem calcular l'alçada del punt més alt.

$$H = h + D \tan \alpha = \quad m$$

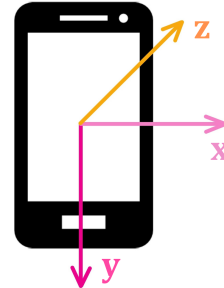
5. També podem fer la mesura amb l'aplicació ImageMeter del mòbil. Per fer-ho, necessitem una referència. Pots demanar a un company que col·loqui verticalment una barra d'un metre que tindrem a l'atracció, o bé utilitzar les referències de la figura de la pàgina anterior.

EXPERIMENTA!

E4: MESURA DE L'ACCELERACIÓ

DINS DE L'ATRACCIÓ

1. Primer, abans de pujar al vaixell Piratta, engegum l'aplicació de l'acceleròmetre.
2. Després, guardarem el telèfon a la funda i ens la pengem al coll.
3. Un cop acabada l'atracció, aturem la mesura per poder analitzar el resultat.
4. Si ens hem penjat el telèfon tal com s'ha mencionat, en l'eix z sentirem l'acceleració tangencial i en els eixos x i y l'acceleració normal.



QÜESTIONS ?

1. Calcula l'acceleració normal amb les dades obtingudes.

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

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

+ A L'AULA!

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

Segon experiment

EXPERIMENTA!

E1: MESURA DE L'ANGLE**FORA DE L'ATRACCIÓ**

1. Abans de començar l'experiment, farem una mesura preliminar. Espera que el vaixell Piratta es posi en marxa i compta quantes oscil·lacions fa a banda i banda durant tot el temps que dura el seu moviment. Apunta quina oscil·lació (n) correspon a l'alçada màxima del vaixell.

$$n =$$

2. Ara, dos estudiants pugen al vaixell Piratta, cadascú a un seient diferent: un a l'extrem, i l'altre al mig. D'altra banda, un tercer estudiant situat a fora de l'atracció s'ha de fixar en els llocs on estan asseguts els seus companys.

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

4. Un cop hagi acabat l'atracció de l'atracció, la fotografia ens servirà per mesurar l'angle assolit al punt de màxima altura, utilitzant l'aplicació ImageMeter. Cal mesurar dos angles respecte a la vertical: un per a l'extrem del vaixell i un altre per al centre, corresponents a les dues posicions on estan ubicats els estudiants.

$$\theta_1 = \quad ^\circ, \quad \theta_2 = \quad ^\circ$$

E2: MESURA DE L'ACCELERACIÓ**DINS DE L'ATRACCIÓ**

1. Com abans, 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, els dos estudiants han de posar a gravar les dades d'acceleració al mateix moment, si pot ser.

4. Un cop el vaixell s'hagi aturat, s'ha d'aturar la gravació de dades.

5. Per a determinar l'acceleració en el punt més alt de la trajectòria, cal obrir les dades enregistrades amb l'aplicació i identificar el valor mínim d'acceleració mesurat.

$$a_1 = \quad m/s^2, \quad a_2 = \quad m/s^2$$

QÜESTIONS ?

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

+ A L'AULA!

1. Si les mesures de la persona asseguda a l'extrem del vaixell i al mig són diferents, raona a què es deguda aquesta diferència.
2. Coincideixen les acceleracions amb els valors que podeu calcular gràcies a la fórmula $a = \cos \theta$?
3. Troba l'expressió de l'acceleració normal en funció de l'angle d'inclinació del pèndol.
4. Dibuixa una gràfica del pes en el punt més alt en funció de l'angle en el punt més alt. Per a quins angles tenim situacions de gravetats inferior al 50%?