



CONCEPTES

Força normal.
Moviment circular.
Acceleració (a_n i a_t).



CONEIXEMENTS PREVIS

Mesura de distàncies.
Mesura d'acceleracions.



MATERIAL

Inclinòmetre.



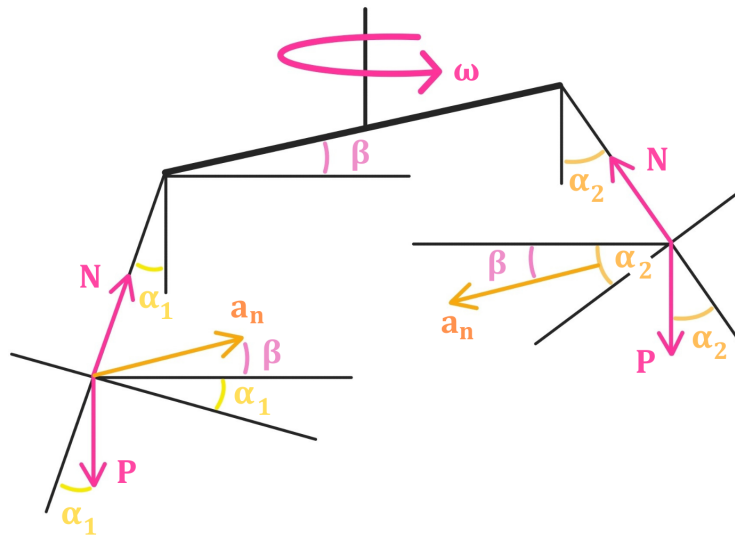
APPS i MÒBIL

Acceleròmetre.
ImageMeter.

Alguna cosa més que girar...

Les cadiretes voladores del Tibidabo fan més coses que 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 força normal, que ens impedeix travessar les cadiretes, canviï constantment. En el punt més baix, ens sentim una mica esclafats contra la cadira, mentre que en el punt més alt experimentem un petit efecte semblant al d'ingravedesa. Un cop a terra, intentarem determinar si podem calcular aquests canvis amb l'ajuda de les lleis de Newton.

Abans de res, intentarem esbrinar si l'increment de la força normal que ens esclafa contra la cadireta i la seva disminució que ens fa volar és real. Per fer-ho, dibuixem el diagrama de forces que actuen sobre una persona asseguda en una cadireta en aquests dos punts. Atenció, l'angle 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. Ara, escrivim les equacions de Newton en un eix paral·lel a la normal per a les dues posicions de la cadireta.

Per a la cadira que està a baix:

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

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

Per a la cadira que es troba al punt més alt:

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

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

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

$$\begin{aligned} N_{\text{baix}} &= P \cos \alpha_1 + m \omega^2 R \sin (\alpha_1 + \beta) \\ N_{\text{dalt}} &= P \cos \alpha_2 + m \omega^2 R \sin (\alpha_2 - \beta) \end{aligned}$$

Com que els angles α_1 i α_2 són molt semblants, el terme $P \cos \alpha$ tindrà valors gairebé idèntics en ambdues posicions. En canvi, el terme associat a l'acceleració normal varia significativament. En el punt més baix, el sinus està influït tant per l'angle de desplaçament de la cadira com per la inclinació de l'eix, mentre que en el punt més alt només depèn del desplaçament de les cadiretes. Atès que el sinus és aproximadament proporcional a l'angle per valors petits, es confirma que la força normal és més gran en el punt més baix que en el més alt. L'efecte, per tant, és real.

En aquest experiment volem determinar la diferència entre la força normal en els punts més alt i més baix de la trajectòria de la cadireta. Per simplificar els càlculs, suposarem que els angles α_1 i α_2 són iguals.

Si restem les forces normals en aquests dos punts, obtenim:

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

Considerant les expressions que ens proporcionen la suma i la resta d'angles en termes de cosinus i sinus:

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

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

Aleshores, podem escriure l'equació de la resta de les forces normals com:

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

EXPERIMENTA!

Què farem?

Volem calcular la força normal quan estem asseguts a les cadiretes en els punts més alt i més baix de la trajectòria. Per a això, primer haurem de determinar els angles implicats en el càlcul. També necessitarem mesurar el radi de gir i el període de gir. Amb tota aquesta informació, procedirem a calcular la força normal. Bona sort!

E1: MESURA DE LA VELOCITAT ANGULAR

FORA DE L'ATRACCIÓ

1. Primer, prenem una cadira en concret com a referència.
2. Esperem fins que les cadiretes estiguin a dalt de tot i el moviment es pugui considerar circular uniforme.
3. En aquest instant, ja podem mesurar el temps que es triga en fer una volta (el període). Repetim la mesura quatre cops i anotem els resultats.

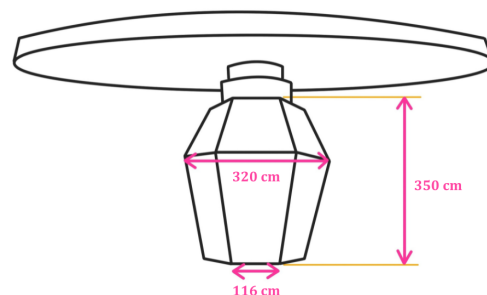
Període (s)	$T_1 =$	$T_2 =$	$T_3 =$	$T_4 =$	$T_{mitjana} =$
Velocitat angular (rad/s)					

E2: MESURA DEL RADI I DELS ANGLES

FORA DE L'ATRACCIÓ

1. El diàmetre de l'eix inferior del Diavolo és de 320 cm (observar l'esquema inferior).
2. Fem una fotografia de l'atracció quan estigui girant a velocitat constant (semblant a la proporcionada a sota).
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.

$$R = \quad m \quad , \quad \alpha = \quad ^\circ \quad \beta = \quad ^\circ$$



EXPERIMENTA!

E3: MESURA DE L'ACCELERACIÓ

DINS DE L'ATRACCIÓ

1. Primer, abans de pujar a les cadiretes, engegum l'aplicació de l'acceleròmetre.
2. Si utilitzem l'aplicació *Science Journal*, haurem de mesurar l'**acceleració lineal**. En canvi, si fem servir *Phyphox*, farem la mesura de l'**acceleració (sense g)**, i a l'hora d'analitzar els resultats mirarem la gràfica del valor absolut d'aquesta acceleració.
3. A continuació, guardem el telèfon dins la funda i ens la pengem al voltant del coll, assegurant-nos que el dispositiu quedi ben fixat al cos durant tota l'atracció. És fonamental que el telèfon no es balancegi, per tal d'obtenir uns resultats més precisos.
4. Un cop acabada l'atracció, aturem la mesura per a analitzar el resultat.
5. Finalment, podem anotar l'acceleració màxima obtinguda.

$$a_{\text{màx}} = \frac{m}{s^2}$$

QÜESTIONS ?

1. La diferència de la força normal entre el punt més alt i el més baix, mesurada amb el mòbil, coincideix amb els càlculs teòrics basats en el radi R , la velocitat angular ω i els angles α i β ?

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

2. Podem determinar el període a partir de la mesura amb l'acceleròmetre? Dona un resultat semblant?

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

$$v = \omega R = \quad m/s$$

+ A L'AULA!

1. Hem fet l'aproximació que els angles α_1 i α_2 són iguals, però en realitat no ho són. De fet, els podem calcular a partir de les equacions de Newton, descomponent les forces en els eixos paral·lels a la força normal i a l'acceleració normal. Calcula els angles tenint en compte els valors mesurats al Tibidabo. Quina diferència hi ha entre ells? Són semblants als que es poden mesurar a partir de les fotografies?
2. De fet, encara hem fet una altra aproximació... el moviment no és estrictament circular. Però el seu càlcul és bastant complicat. De totes maneres, si sou prou valents, podeu intentar-ho...