

## Forces sobre un saltador de bungee-jumping\*

### Material per al professorat

## Orientacions didàctiques

### Temporització

- 1/2 hora per a l'experimentació.
- 3/4 hora per respondre el qüestionari.

### Alumnes als quals s'adreça l'experiència

Alumnes de 2n de batxillerat

### Metodologia

- Els resultats de l'experiment permeten als alumnes aplicar els principis de la dinàmica per interpretar un fet real prou interessant com els pot resultar el salt de bungee-jumping.
- És fonamental que els alumnes dibuixin, aproximadament a escala, l'esquema de les forces que actuen sobre el saltador en les diverses etapes de la caiguda.
- Dels resultats dinàmics, el alumnes podran explicar cinemàticament com ha estat el moviment de caiguda del saltador en cada etapa.
- Un altre aspecte que caldrà destacar és la utilitat i els avantatges de l'ús de models en ciències i en tecnologia.
- La discussió sobre les discrepàncies entre les prediccions i els resultats experimentals i entre aquests i la teoria és una bona estratègia per desarrelar errors conceptuals i fer els alumnes conscients de les fonts d'error que existeixen en tot experiment.
- Cal insistir en la relativitat del moviment i en l'elecció (arbitrària quan és possible) del sistema de referència. En el nostre cas, com que l'origen de les posicions és sempre el sensor de posició, el desplaçament del saltador és negatiu a mesura que baixa. D'altra banda, el sensor mesura, per defecte, la força que la goma hi exerceix (cap avall) que sortirà negativa. Si volem visualitzar com a positiva (d'acord amb el criteri de signes donat per a la posició) la força que la goma exerceix sobre el saltador (cap amunt) haurem de seleccionar, a l'inici de la configuració, l'opció **Estirar positiu** del sensor de força.

\*esport que consisteix en llançar-se des d'un pont lligat amb una corda

## Orientacions tècniques

- Cal recordar que el sensor de posició només mesura a partir dels 40 cm. Per tant, la distància del sensor de força al de posició serà com a mínim:

longitud de la goma + allargament + altura del saltador + distància de seguretat + 40 cm.

- El saltador es deixarà caure des del ganxet del sensor de força procurant que no s'enredi la goma.
- Si no s'ha seleccionat l'opció del sensor de força **estirar positiu**, la força sortirà negativa i en fase amb la posició. Es pot canviar el signe anant al menú **Anàlisi** i seleccionant, per a la força:

**Ajudant d'anàlisi** → **Funció** → **Absoluta**

- No convé repetir les mesures gaires vegades amb la mateixa goma ja que aquesta mai no recupera totalment la longitud inicial.
- Una freqüència més alta donaria un gràfic força-temps més detallat, però, el sensor de distància no permet fer mesures acceptables per sobre de les 50 per segon.

## Conclusions

### Resultats esperats

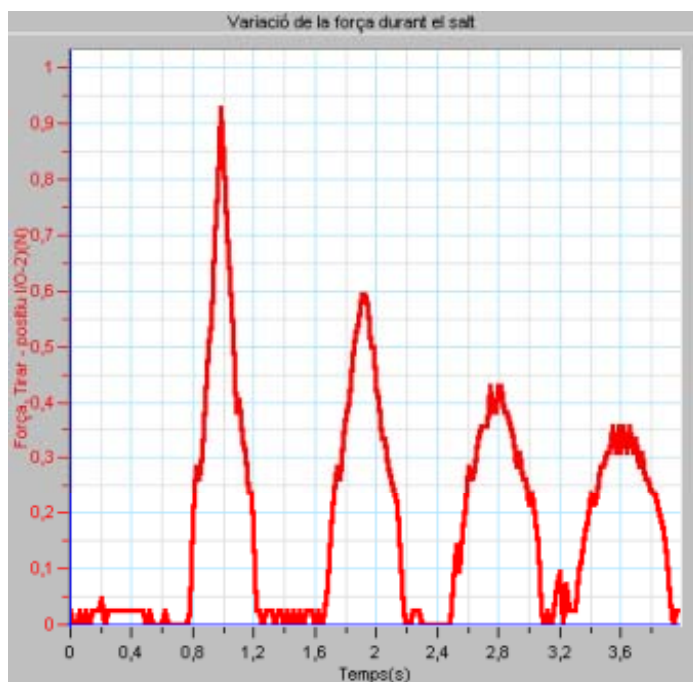


Figura 3

El gràfic de la figura 3 s'ha obtingut emprant 50 cm (mesurats des del ganxet del sensor fins al saltador) de cordó de goma molt prim i fent servir com a model de saltador el tub d'un rodet fotogràfic amb plastelina dins amb una massa total de 21,3 g. Es pot fer servir com a saltador

un ninot d'una massa similar tenint en compte que ha de tenir una base adient perquè la seva caiguda sigui enregistrada correctament pel sensor de distància. La figura 4 és un retall de la figura 3 per ampliar els detalls de la figura 1.

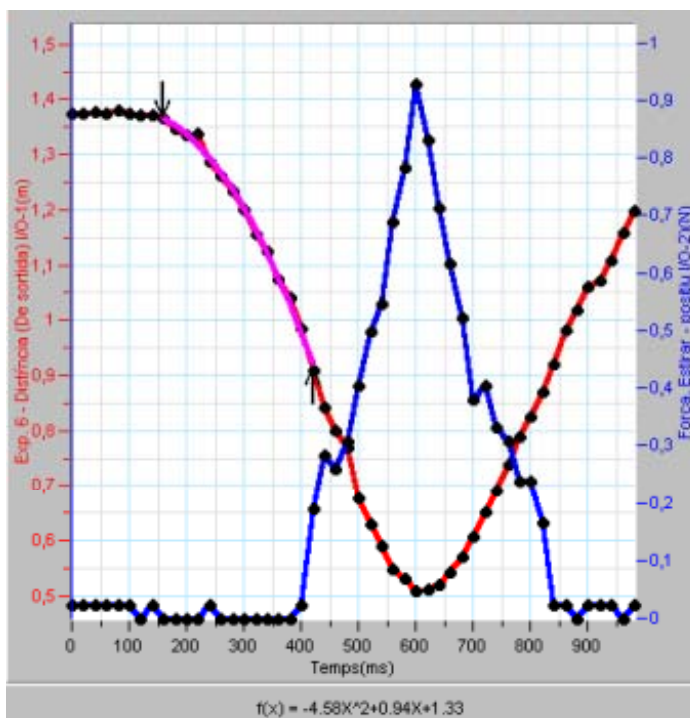


Figura 4

## Respostes al qüestionari

2. Mentre cau la longitud de la corda el moviment del saltador és uniformement accelerat. Ajustant una paràbola al gràfic en aquest interval resulta una acceleració de  $9,2 \text{ m s}^{-2}$  (menor que la de la gravetat, a causa de la resistència de l'aire). Quan la corda comença a estirar-se, exerceix sobre el saltador una força cap amunt que disminueix la força resultant ( $F_{\text{neta}} = mg - kx$ ) la qual cosa fa que l'acceleració del saltador disminueixi fins a anul·lar-se, per canviar de sentit, a continuació. Com a conseqüència, el saltador és frenat, s'atura, momentàniament, en el punt més baix i, a continuació, és accelerat cap amunt però sense arribar al punt de partida (a causa de la resistència de l'aire i, sobretot, a l'histèresi de la goma). Evidentment, mentre la goma està estirada l'acceleració del saltador no és constant. El moviment de vaivé es repetirà cada cop amb menys amplitud fins que, finalment, el saltador quedarà en repòs.
3. La força màxima exercida per la corda (l'enregistrada pel sensor de força) ha estat 0,93 N.
4. La força resultant màxima sobre el saltador val:

$$F_{\text{neta}} = kx - mg = 0,93 \text{ N} - 0,0213 \text{ kg} \times 9,8 \text{ m s}^{-2} = 0,72 \text{ N}$$

Que resulta ser:

$$F_{\text{neta}} / mg = 0,72 \text{ N} / 0,21 \text{ N} = 3,5$$

És a dir, 3,5 vegades el pes.

5. La corda exerceix la força màxima sobre el saltador en el punt més baix de la trajectòria.
6. La força resultant sobre el saltador és màxima quan ho és l'exercida per la goma, és a dir, en el punt més baix de la trajectòria.
7. Restant de la posició inicial del saltador la posició més baixa, obtenim:

$$d_0 - d = 1,376 \text{ m} - 0,511 \text{ m} = 0,87 \text{ m}$$

Per tant, el saltador ha baixat 0,87 m.

8. L'interval de temps invertit pel saltador per baixar ha estat de 0,42 s
9. La corda s'allarga des del moment en què la força enregistrada pel sensor comença a créixer fins que arriba al valor màxim, és a dir durant 0,22 s.
10. La velocitat mitjana del saltador ha estat:

$$v_m = \frac{d}{\Delta t} = \frac{0,93 \text{ m}}{0,42 \text{ s}} = 2,2 \text{ m s}^{-1}$$

11. Mentre ha baixat la longitud de la corda el moviment del saltador uniformement accelerat ja que en aquest tram del gràfic s'ha pogut ajustar una paràbola. L'acceleració ha estat de  $9,2 \text{ m s}^{-2}$ , menor que la de la gravetat a causa de la resistència de l'aire.
12. El moviment ha estat accelerat però no uniformement. Primer ha continuat accelerant cap avall amb acceleració decreixent, ha continuat baixant amb acceleració variable i decreixent, després l'acceleració s'ha fet zero i, a partir d'aquest moment, el moviment ha estat retardat fins que la velocitat s'ha fet zero en el punt més baix.