

Com fer un salt de bungee-jumping* segur

Material per al professorat

Orientacions didàctiques

Temporització

- 1 hora per a l'experimentació.
- 1 hora per respondre el qüestionari.

Alumnes als quals s'adreça l'experiència


Alumnes de 1er o 2n de batxillerat

Metodologia

- L'experiment permet aplicar el principi de conservació de l'energia mecànica per resoldre un problema relacionat amb una situació prou engrescadora com pot ser per als alumnes el salt de bungee-jumping.
- Cal que els alumnes valorin la utilitat del concepte d'energia a l'hora de donar resposta quantitativa a una qüestió que pel fet que implica una força variable no es podria obtenir per aplicació directa de les lleis de Newton.
- La necessitat de transformar els resultats de l'experiment per obtenir, primer, l'allargament de la goma en lloc de la variació de posició respecte del sensor de distància i, després, el valor absolut d'aquest, dona ocasió per discutir sobre la relativitat del sistema de referència.
- El Multilab enregistra sempre la força que actua sobre el sensor que, per defecte, surt positiva quan s'empeny i negativa quan s'estira. Com que aquesta força és en mòdul, direcció i sentit, igual que la que actua sobre la goma, interessa que surti positiva fent ús, a l'inici de la configuració, de l'opció **Estirar positiu** del sensor de força. És important que l'alumnat faci l'esquema de les forces que actuen sobre el sensor, sobre la goma i sobre el portapesos per tal que compregui el canvi que s'ha de realitzar.
- S'ha de fer notar que la goma no és totalment elàstica i pot ser que no recuperi la longitud inicial un cop emprada. Aquest fet i el possible error en el càlcul de l'allargament previst aconsella afegir una certa longitud de seguretat (uns 10 cm) a l'hora de determinar l'altura des de la qual haurà de deixar-se caure el saltador.
- Un altre fenomen a considerar és el de la histèresi de la goma. L'energia elàstica emmagatzemada quan la goma s'estira no es recupera totalment quan s'encongeix. La diferència es dissipa com a calor en l'ambient. Això i el fregament amb l'aire fan que les oscil·lacions del saltador tinguin cada cop menys amplitud i que, finalment, s'aturi.

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

Orientacions tècniques

- El sensor de força s'ha de calibrar abans de començar la presa de dades. A aquest efecte, s'ha de fer en posició vertical una primera mesura clicant el botó **Executar**. La força enregistrada ha de ser zero o el valor de resolució (0,024 N). Si no és així, caldrà esborrar memòria, apagar la interfície, desconnectar-la de l'ordinador, sortir del programa i tornar a començar.  la
- El sensor de distància ve calibrat de fàbrica.
- Per a la corda elàstica es poden utilitzar uns 0,60 cm de cordó prim de goma i per al saltador un ninot de massa adient a la goma emprada. Quant més elàstica sigui la corda menys massa ha de tenir el saltador.
- Per determinar el gràfic força–allargament s'afegiran de 10 g en 10 g els pesos al portapesos fins a registrar uns 20 valors. Cal tenir present que el sensor de distància dóna mesures correctes a partir dels 40 cm. És convenient anar afegint els pesos sense treure'ls. Si s'han de treure per substituir-los per pesos de 50 g caldrà aguantar la goma perquè no torni a encongir-se.
- Si no s'ha seleccionat l'opció del sensor de força **Estirar positiu**, la força sortirà negativa. El problema es pot solucionar anant al menú **Anàlisi** i seleccionant, per a la força:

Ajudant d'anàlisi → Funció → Absoluta

Conclusions

Resultats esperats

Els gràfics de les figures 4 i 5 s'obtenen emprant 50 cm de cordó de goma prim (el més prim que es pot trobar a les merceries).

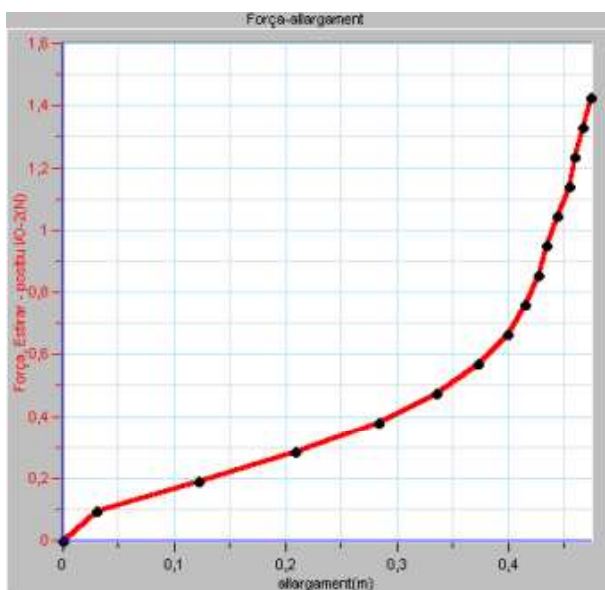


Figura 4

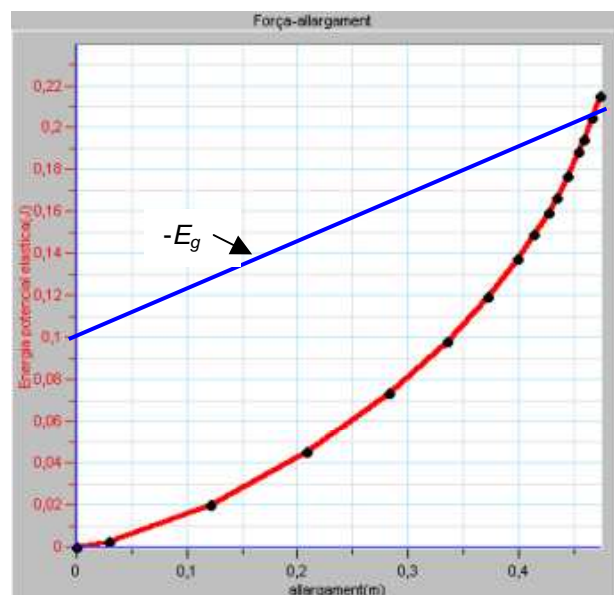


Figura 5

La recta de color blau representa $-E_g$ i s'ha obtingut manualment unint els punts determinats donant valors a l'altura en l'expressió de l'energia potencial gravitatòria i canviant-los de signe. L'abscissa del punt d'intersecció entre aquesta recta i la corba de l'energia potencial elàstica dóna l'allargament màxim experimentat per la goma.

Respostes al qüestionari

- No. El gràfic força-allargament no és rectilini i, per tant, els allargaments no són proporcionals a les forces aplicades que és el que hauria de passar si es complís la llei de Hooke.
- Els valors màxims de l'energia potencial elàstica i de l'allargament donats pel gràfic força-allargament són, respectivament, 0,215 J i 0,453 m.
- L'equació que dóna l'energia potencial gravitatòria del saltador en funció de la massa i de la posició respecte del nivell de referència és:

$$E_g = mg(l+x)$$

On: l = longitud inicial de la goma i x = allargament.

- El model de saltador utilitzat tenia una massa de 21,30 g.
- L'increment d'energia potencial gravitatòria experimentat pel model de saltador quan ha baixat la longitud de la goma ha estat:

$$\Delta E_g = E_g = mgl = 0,02130 \text{ kg} \cdot 9,8 \text{ m s}^{-2} \times 0,50 \text{ m} = 0,102 \text{ J}$$

- En l'equació de la qüestió 4 s'ha fet $x = 0$ i $x = 0,3$ m i s'han obtingut per a l'energia potencial gravitatòria els valors: $E_g = 0,102 \text{ J} \approx 0,10 \text{ J}$ i $E_g = 0,169 \text{ J} \approx 0,17 \text{ J}$.
- L'ordenada del punt d'intersecció entre la corba que dóna l'energia potencial elàstica i la recta que dóna menys l'energia potencial gravitatòria proporciona l'augment d'energia potencial elàstica de la goma quan el saltador arriba al punt més baix de la seva trajectòria. Aquest valor és de 0,21 J.
- L'abscissa del punt d'intersecció entre la corba que dóna l'energia potencial elàstica i la recta que dóna menys l'energia potencial gravitatòria proporciona l'allargament experimentat quan el saltador arriba al punt més baix de la seva trajectòria. Aquest valor és de 0,47 m.
- L'altura considerada adient per deixar anar el saltador ha estat:

$$h = h_h + x + d_s = 50 \text{ cm} + 3,5 \text{ cm} + 0,47 \text{ cm} + 10 \text{ cm} = 110,5 \text{ cm} \approx 110 \text{ cm}$$

On: l = longitud inicial de la goma; h_h = altura de l'home; x = allargament i d_s = distància de seguretat.

- Sí. El model de saltador baixa 1 m.

12. Igualant l'expressió de l'energia potencial gravitatòria al valor màxim de l'energia potencial elàstica obtenim per al valor màxim de la massa 23 g.
13. Tant la goma emprada com les cordes de salt de bungee-jumping no són totalment elàstiques i no recuperen exactament la longitud inicial.
14. Amb el mateix saltador una goma més rígida s'allargaria menys perquè caldria fer més treball (aquest treball el fa la Terra quan el saltador cau) per deformar-la igual. Amb el mateix saltador una goma més llarga s'allargaria més perquè cada cm s'allargaria igual.
15. Quan es deforma una goma creix la seva energia elàstica i quan desapareix la causa de la deformació la goma es recupera i torna l'energia emmagatzemada. Tanmateix, les gomes no tornen tota energia que se'ls ha proporcionat sinó que una part es dissipa com a calor en l'ambient. Aquest fenomen es coneix com a histèresi de la goma i, en el salt de bungee-jumping, s'afegeix a la resistència de l'aire per fer que el saltador arribi cada cop menys amunt i acabi per aturar-se.