

Caiguda lliure i velocitat límit

Material per al professorat

Orientacions didàctiques

Temporització

La preparació és molt breu, però si es vol aprofitar més el temps val la pena que l'alumnat es trobi el muntatge a punt en entrar al laboratori.

- 1 hora per a l'experimentació i les conclusions
- 1 hora per al qüestionari
- 1 hora per a l'aplicació dels resultats i l'ampliació de coneixements

El darrer apartat *Aplicació dels resultats i ampliació de coneixements* (que es per a resoldre a casa) està pensat per l'alumnat més interessat en el tema i també pot servir pel professor o la professora si vol justificar àmpliament les diferències observades en les dues caigudes lliures.

Alumnes als quals s'adreça l'experiència

Alumnat de 1r de batxillerat

Orientacions metodològiques

- La pràctica permet estudiar i comparar els moviments rectilini uniforme i rectilini uniformement accelerat.
- També facilita la introducció de l'ús del coeficient de correlació com a paràmetre que ens determina la bondat de l'ajustament d'un conjunt de dades a una funció determinada.
- L'experiment pot ser útil per fer notar que en el moment de resoldre problemes i aplicar els coneixements teòrics cal tenir en compte els límits de validesa d'aquests. És a dir, malgrat que l'alumnat acostuma a pensar que la majoria de caigudes lliures són moviments uniformement accelerats en molts casos no és cert, ja que els factors de forma i pes del propi cos tenen molta importància en el moviment a través d'un fluid.
- Cal fer notar que si es fa aquesta experiència després que a classe s'hagi estudiat el moviment accelerat, una part de l'alumnat planteja com a hipòtesi que el moviment de caiguda de la bola de porexpan serà rectilini uniformement accelerat. Cosa que alguns nois i noies continuen pensant després de veure com cau la bola de porexpan, tot i que a simple vista es veu que ha de ser uniforme. Aquesta percepció desapareix després d'haver fet la pràctica i una bona part de l'alumnat és capaç d'argumentar que el moviment de caiguda de la pilota de porexpan és rectilini uniforme i el de la bola d'acer és uniformement accelerat.

Propostes de recerca

Es pot plantejar un treball de recerca que estudiï la caiguda dels paracaigudes i que permeti esbrinar el valor del factor de forma b en el moviment dels cossos a través de fluids, tot experimentant prèviament amb boles de diferents tipus i forma. Així mateix es pot intentar esbrinar el valor del coeficient n de la força d'arrossegament $F_{\text{d'arrossegament}} = bv^n$ i comprovar que per a cossos petits $n \rightarrow 1$ i per a cossos grans $n \rightarrow 2$. Així mateix es pot relacionar amb el moviment de cossos dins d'aigua i fer un estudi de l'aerodinàmica de cotxes i vaixells. Els moviments dins l'aigua com, per exemple, una caiguda a través del mateix tub de metacrilat, no es pot seguir amb el sensor de posició, però es pot filmar i després tractar les dades amb el programari Vidshell. Una introducció a aquest programari es pot trobar al Curs de Treballs Pràctics de Física al Batxillerat (SDGFP), curs 2000-2001 i curs 2002-2003 o descarregar el

fitxer **Introducció al Vidshell. Estudis d'alguns moviments mitjançant programes editors de vídeo** a l'adreça <http://www.xtec.es/~mcalvet/Fisica/Practiques1r.htm>.

Orientacions tècniques

- Adreces per comprar el material suplementari.
 - Tub de metacrilat. Servei Estació (C/ Aragó 270-272, 08007 Barcelona. Tel: 93 216 02 12); Disnou (Polígon Industrial C/ Bages, s/n. Tel: 7144429. Castellar del Vallès).
 - Boles de fusta, porexpan, suro. Servei Estació; Ciència Activa (C/ Concepció Arenal 272, 08030 Barcelona. Tel: 93 408 58 50); E.Rabinat S.A. (Gran Via de les Corts Catalanes 531, 08011 Barcelona. Tel: 93 451 20 99).
 - Boles d'acer. Successora de Lluís Jordà; E. Rabinat S.A.; Ciència Activa
- Cal recordar que el sensor de distància necessita la font d'alimentació (DC9-12V) per funcionar i que mesura a partir dels 0,40 m. Per aquest darrer motiu el tub ha de ser com a mínim d'1,5 m de llargada.
- El sensor ha d'estar alineat perpendicularment al tub i col·locat molt a prop de la seva boca, tal com es mostra en el dibuix de la pàgina 2 del material per a l'alumnat.

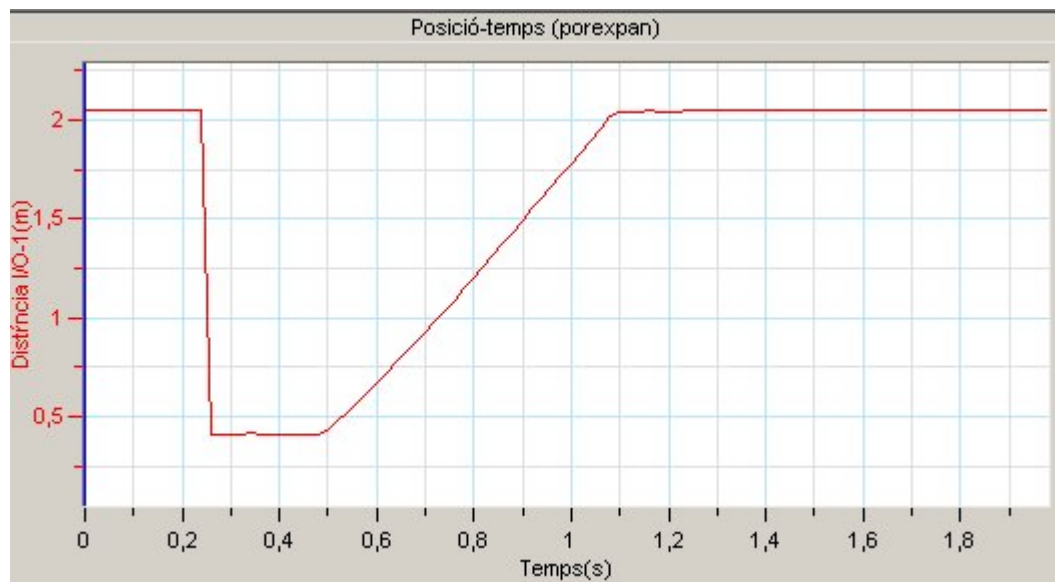


Quan es deixa caure la bola d'hacer, si no hi ha el tros de planxa de porexpan sota del tub de metacrilat, es pot trencar la rajola i si algú posa el peu a sota del tub es pot fer mal.

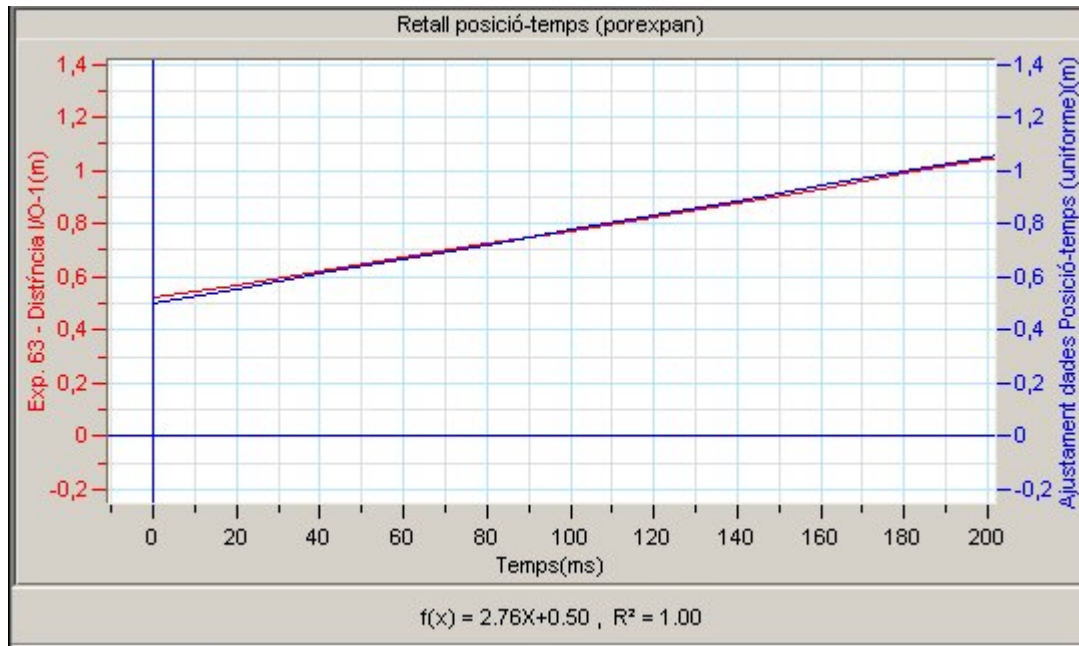
Conclusions

Resultats esperats

1. Caiguda de la pilota de porexpan

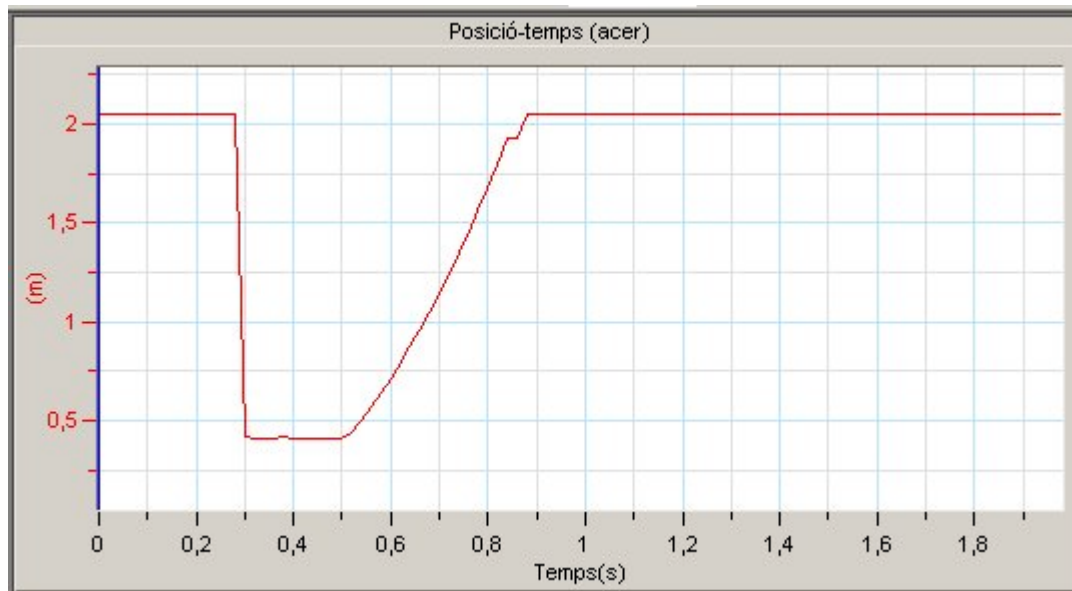


Ajustament lineal

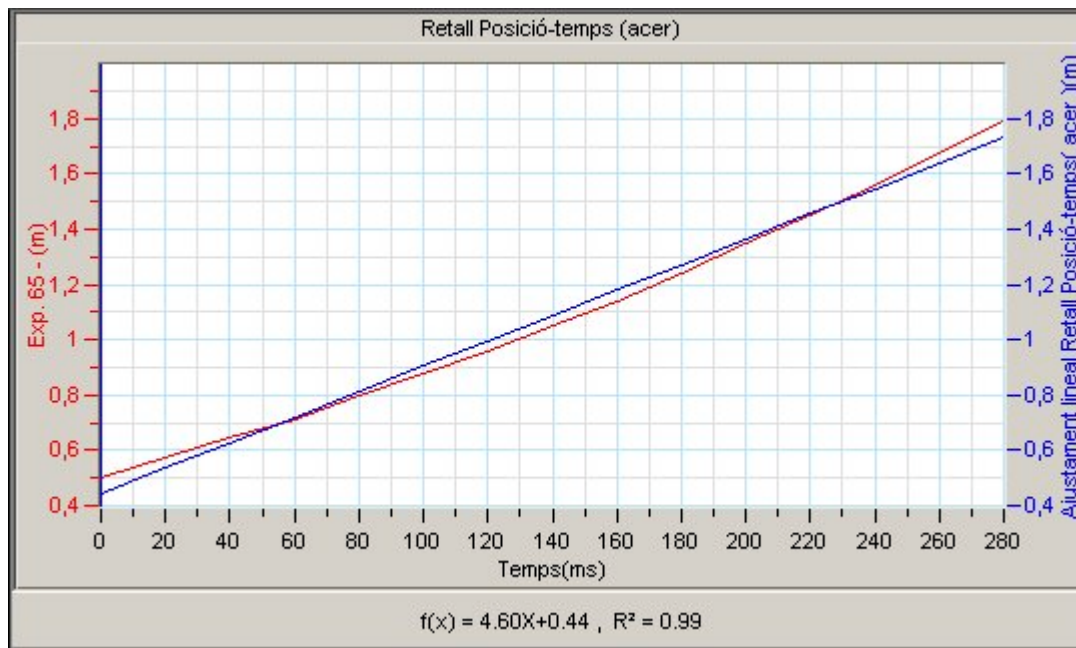


Noteu que el coeficient de correlació és $R^2=1.00$

2. Caiguda de la bola d'acer

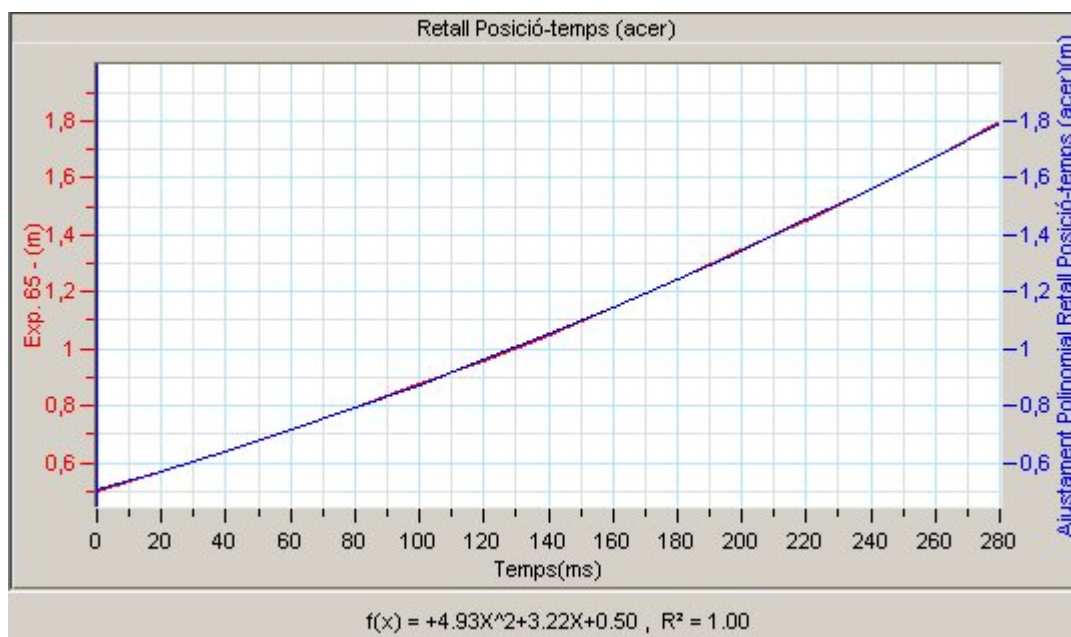


Ajustament lineal



Noteu que el coeficient de correlació és $R^2 = 0.99$

Ajustament a una paràbola.



Noteu que el coeficient de correlació és $R^2 = 1.00$

Respostes al qüestionari (Conclusions experimentals)

1. Com és el moviment de la pilota de porexpan?

Tal com es pot comprovar amb el gràfic corresponent el moviment de la pilota és rectilini uniforme. Aquesta afirmació està validada pel valor del coeficient de correlació de l'ajustament lineal $R^2 = 1.00$

2. Quina és l'equació matemàtica que relaciona el desplaçament de la pilota de porexpan i el temps transcorregut?

$$\left. \begin{array}{l} f(x) = 2,76x + 0,50 \\ x = v \cdot t + x_0 \end{array} \right\} \Rightarrow \text{l'equació del moviment serà } [x = 2,76t + 0,50] \text{ en S.I}$$

3. Què significa cada terme de l'equació?

$v = 2,76$ m/s és la velocitat de la pilota de porexpan i $x_0 = 0,50$ m és la posició a partir de la qual el sensor comença a mesurar.

4. Quines diferències s'observen entre els gràfics de la pilota de porexpan i la bola d'acer?

El gràfic de la pilota de porexpan és una recta uniforme creixent, que ens indica que és un moviment rectilini uniforme, ja que la velocitat és constant.

El gràfic de la bola d'acer correspon a una paràbola còncaua creixent, que ens indica que el moviment de caiguda de la bola d'acer és rectilini uniformement accelerat.

5. Com és el moviment de la bola d'acer?

Rectilini uniformement accelerat, tal com es pot veure en el gràfic corresponent, la qual cosa queda validada pel valor del coeficient de correlació $R^2 = 1.00$ de l'últim gràfic.

6. Quina és l'equació matemàtica que relaciona el desplaçament de la bola d'acer i el temps transcorregut?

Escollim com a correcta l'equació corresponent al gràfic que té un coeficient de correlació R^2 més pròxim a 1,00.

$$\left. \begin{array}{l} f(x) = +4,93x^2 + 3,22x + 0,50 \\ x = \frac{a}{2} \cdot t^2 + v_0 t + x_0 \end{array} \right\} \Rightarrow \text{l'equació del moviment serà } [x = 4,93t^2 + 3,22t + 0,50] \text{ en S.I}$$

7. Què significa cada terme de l'equació?

L'acceleració de caiguda de la bola d'acer és $a = 4,93 \times 2 = 9,86 \text{ m/s}^2$, la velocitat de la bola quan el sensor comença a captar la seva posició és $v_0 = 3,22 \text{ m/s}$ i $x_0 = 0,50 \text{ m}$ és la posició a partir de la qual el sensor comença a mesurar.

8. A partir de l'equació anterior digueu tot el que pugueu sobre el moviment de la bola d'acer.

A partir d'aquesta equació podem deduir que l'acceleració de la bola d'acer és de $9,86 \text{ m/s}^2$. Així mateix, amb l'equació també podem saber la seva velocitat inicial, aquella que portava la bola quan el sensor comença a mesurar, és a dir als $0,50 \text{ m}$. Com que és una funció de segon grau, també sabem que la gràfica posició-temps és una paràbola.

(Daniel P. Batxillerat 1B. IES de Castellar)

Solució i interpretació teòrica

Defenseu o negueu la hipòtesi inicial sobre el moviment de la pilota de porexpan i de la bola d'acer a través del tub i responeu la pregunta.

Després de realitzar la pràctica ens hem adonat que el moviment que segueix la pilota de porexpan és rectilini uniforme i no un moviment rectilini uniformement accelerat com havíem previst inicialment. En el cas de la bola d'acer si que havíem previst el moviment correcte (MRUA).

A què creieu què són degudes les diferències entre els dos moviments?

En el cas de la pilota de porexpan, el que passa és que la força d'arrossegament i la força de gravetat s'igualen molt ràpidament i això provoca que la bola tingui una velocitat constant i per tant una acceleració igual a zero. El cas de la bola d'acer és diferent: la força d'arrossegament no s'igualava amb la força de la gravetat i per aquest motiu el cos descriu un moviment rectilini uniformement accelerat. Les dues forces no s'igualen perquè la bola no cau prou temps; si deixéssim caure la bola d'acer més estona, al final també descriuria un moviment rectilini uniforme amb acceleració igual a zero i velocitat constant molt elevada.

(Daniel P. Batxillerat 1B. IES de Castellar)

Aplicació dels resultats i ampliació de coneixements

1. Perquè baixa a velocitat constant la pilota de porexpan?

Perquè la força d'arrossegament i la força de gravetat s'igualen molt ràpidament. Això provoca que la pilota de porexpan agafi la velocitat límit molt de pressa.

2. Quina és la seva velocitat límit?

La seva velocitat límit és de $2,76 \text{ m/s}$.

3. La bola d'acer arriba a assolir la seva velocitat límit?

No. Perquè en cap moment la velocitat de la bola d'acer és constant. Això vol dir que la força d'arrossegament i la força de la gravetat no s'arriben a igualar. Per tant, la bola no assolix la seva velocitat límit durant la seva caiguda.

4. A quin moviment dels estudiats s'assembla cadascuna de les fotografies?

El moviment de la bola de l'esquerra (pilota de golf) s'assembla al moviment de la bola d'acer (MRUA). I el moviment de la bola de la dreta (pilota de plàstic) s'assembla al moviment de la pilota de porexpan (MRU).

(Daniel P. Batxillerat 1B. IES de Castellar)

Bibliografia

CALVET, Miquel. *Estudi de tres moviments rectilinis uniformes. Protocols de pràctiques del Seminari de Física i Química*. IES de Castellar. Castellar del Vallès, 1995.

CALVET, Miquel. *El registre de dades mitjançant sensors a "La recerca científica"*. Seminari de Física i Química. IES de Castellar. Castellar del Vallès, 1996.

FOURIER SYSTEMS. *Guia d'Usuari MultilogPRO*. Tecnologia y Sistemas Didácticos S.A. Barcelona 2002.

TIPLER, Paul A. *Física*, vol 1. pp 116. Editorial Reverté, S.A. Barcelona, 1994.

FERRER, Valentí i LLORENTE Emilio. SDGFP. "El Vídeo com a instrument de treball. Programa Vidshell" a *Curs de Treballs Pràctics de Física al Batxillerat Curs 2000-2001*. Departament d'Ensenyament. Barcelona 2000.

BAILLO, Margarita i CALVET Miquel (2002). "Introducció al Vidshell. Estudis d'alguns moviments mitjançant programes editors de vídeo" a *Curs de Treballs Pràctics de Física al Batxillerat Curs 2002-2003*. Departament d'Ensenyament. Barcelona 2002

BAILLO, Margarita i CALVET Miquel (2002). *Introducció al Vidshell. Estudis d'alguns moviments mitjançant programes editors de vídeo* a <http://www.xtec.es/~mcalvet/Fisica/Practiques1r.htm>.