



PROBLEMES D'AQUÍ I D'ALLÀ

Salvador Estradé

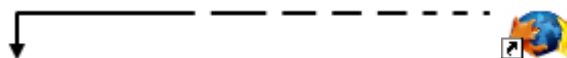
Problemes d'aquí i d'allà

L'objectiu d'aquesta secció és proposar i resoldre problemes que siguin estimulants i atractius per a l'alumnat (i per a nosaltres) i que en fomentin l'interès per la física. Voldríem que el professorat s'animés a col·laborar-hi i que ens enviés les seves propostes a sestrade@xtec.cat i engresqués el seu alumnat a participar-hi. En cada número hi haurà una proposta i se'n publicarà la millor solució o la més original.

Començarem amb un problema de nivell de batxillerat que es va proposar a la fase espanyola de l'Olimpíada de Física de l'any 2007. Es tracta d'un problema relacionat amb la creació artificial de condicions de microgravetat. Aquestes condicions s'utilitzen tant per a la recerca científica com per a l'art! (vegeu a la la **Revista de física** 4 (3) pàg. 55 l'escrit "*Ballar sense gravetat o la insuportable lleugeresa de l'ésser*" de Josep Perelló).

No cal dir que esperem que els vostres estudiants el puguin resoldre i que ens n'envieu la solució tant aviat com sigui possible. La podrem publicar en el mateix número. Recordeu incloure-hi els noms i els cognoms dels autors i del professor o professora i el nom del centre a què pertanyen!

Enunciat



La campanya anual de vols parabòlics que promou des de fa anys l'Agència Espacial Europea (ESA) permet que més d'un centenar d'estudiants universitaris realitzin experiències dissenyades per ells mateixos en condicions de gravetat aparent nul·la a bord d'un avió Airbus A300.

La descripció d'aquest tipus de vol, representat esquemàticament en la figura 1, és la següent: l'avió arriba al punt *A* volant horitzontalment a la seva velocitat màxima. Després s'eleva i quan aconsegueix una altura de 25000 ft sobre el nivell del mar amb un angle de 45° (punt *B*), redueix la potència dels motors fins al mínim necessari per contrarestar la pèrdua d'energia produïda per la fricció amb l'aire. En aquesta primera fase del vol (tram *AB*), que dura 20 s, els passatgers noten que el seu pes aparent quasi es duplica.

A partir de *B*, el vol es pot considerar lliure i, per tant, la trajectòria és parabòlica (per això que aquests vols s'anomenen *parabòlics*). El vèrtex de la paràbola (punt *C*) està a una altura de 28000 ft sobre el nivell del mar. Durant el descens, quan arriba al punt *D*, simètric respecte de *B*, s'augmenta de nou la potència dels motors per permetre que en el punt *E* l'avió recuperi el vol horitzontal inicial.

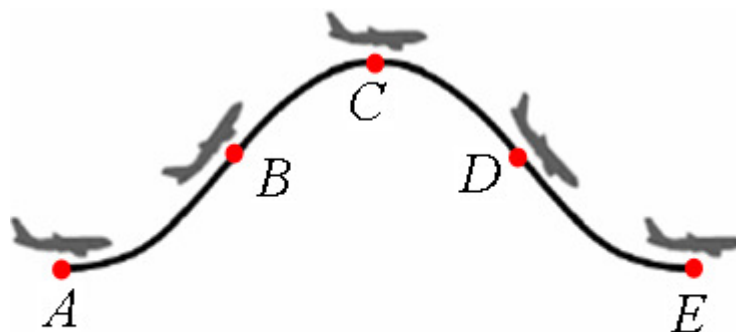


Fig. 1

En el tram *BCD*, els passatgers estan en condicions de gravetat aparent zero mentre que en el tram

DE , que dura igual que el tram AB , noten novament que el seu pes *aparent* quasi es duplica.

Aquesta maniobra es repeteix unes 30 vegades en cada vol, que té una durada total d'unes dues hores i permet realitzar experiències en condicions d'ingravedesa (microgravetat) durant el tram BCD .

- Escriviu les equacions de la posició i la velocitat de l'avió en el tram parabòlic.
- Calculeu la velocitat de l'avió en el punt B .
- Calculeu el temps de què disposen els estudiants per fer les seves experiències en condicions de *gravetat aparent* nul·la en cada maniobra.
- Calculeu els valors de la gravetat aparent mitjana en els trams AB i DE .

Notes:

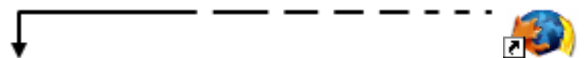
- L'equivalència del peu és $1 \text{ ft} = 0,30480 \text{ m}$.
- El valor de la gravetat per a punts propers a la superfície terrestre és $9,81 \text{ m/s}^2$.

Per a més informació sobre aquests vols: <http://www.esa.int/education/parabolic>



Solució

La nostra solució és:



a) Les equacions que determinen el moviment de l'avió en el tram parabòlic (BCD) si agafem com a origen de les coordenades el punt B són:

Per a la posició:

$$x = v_B \cos(45^\circ) t$$

$$y = v_B \sin(45^\circ) t - \frac{1}{2} g t^2$$

on, d'acord amb l'enunciat, $g = 9,81 \text{ m/s}^2$.

Per a la velocitat:

$$v_x = v_B \cos(45^\circ)$$

$$v_y = v_B \sin(45^\circ) - g t$$

b) Per calcular la velocitat en el punt B cal tenir en compte que en el punt C es compleix $y_C = h_C - h_B$ i que la component vertical de v_C és nul·la. Així doncs, tenim:

$$h_C - h_B = v_B \sin(45^\circ) t_{BC} - \frac{1}{2} g t_{BC}^2 \quad (1)$$

$$0 = v_B \sin(45^\circ) - g t_{BC} \quad (2)$$

Aïllant el temps de (2), substituint-lo a (1) i fent les operacions corresponents, n'obtenim:

$$v_B = 189 \text{ m/s}$$

c) El temps de cada maniobra per realitzar les experiències en condicions de microgravetat és: $t_{BCD} = 2t_{BC} = 27,2 \text{ s}$; i el valor de t_{BC} s'ha calculat directament de (2).

d) En el tram AB del vol, l'avió puja i accelera. Per tant, les components verticals de la velocitat i l'acceleració són positives. La mitjana de la component vertical de l'acceleració es pot calcular dividint el canvi experimentat per la component vertical de la velocitat de l'avió en passar del punt A al B , entre el temps que ha trigat per fer aquest trajecte:

$$a_{(y \text{ mitjana } AB)} = \frac{v_B \sin(45^\circ) - 0}{t_{AB}} = 6,68 \text{ m/s}^2$$

Si un observador que es troba situat a l'exterior de l'avió, en un sistema inercial (un observador fix sobre la superfície terrestre es pot considerar un bon observador inercial per a aquest cas), aplica la llei fonamental de la dinàmica a un passatger de massa m , n'obté segons l'eix vertical:

$$N_y - m g = m a_{(y \text{ mitjana } AB)}$$

on N_y és la component vertical de la força mitjana que l'avió (concretament el seient de l'avió) exerceix sobre el passatger. El seu valor és:

$$N_y = m g + m a_{(y \text{ mitjana } AB)} = m 1,68 g$$

Així doncs, la gravetat aparent que notarà el passatger dins de l'avió en el tram AB és $1,68 g$.

En el tram DE del vol, l'avió baixa i frena. Per tant, la component vertical de la velocitat és negativa i

la de l'acceleració positiva. La mitjana de la component vertical de l'acceleració en aquest tram es pot calcular igual que abans, a partir del canvi experimentat per la component vertical de la velocitat de l'avió en passar de D a E (cal tenir en compte que l'avió a D , perquè conserva l'energia mecànica, porta la mateixa velocitat que tenia a B i, a més, la simetria de la trajectòria parabòlica comporta que arribi a D amb una inclinació descendent de 45°). Així doncs:

$$a_{(y \text{ mitjana } DE)} = \frac{0 - (-v_B \sin(45^\circ))}{t_{DE}} = 6,68 \text{ m/s}^2$$

Justament el mateix resultat que en el tram AB .

Si l'anterior observador inercial aplica la llei fonamental de la dinàmica a un passatger de massa m , n'obté segons l'eix vertical:

$$N_y - m g = m a_{(y \text{ mitjana } DE)}$$

El valor de N_y és el mateix que abans:

$$N_y = m g + m a_{(y \text{ mitjana } DE)} = m 1,68 g$$

Així doncs, la gravetat aparent dins de l'avió en el tram DE també és $1,68 g$.

Finalment, cal dir que en el tram BCD l'acceleració de l'avió és $a_y = -g$ i, en conseqüència, la gravetat aparent que nota un passatger a l'interior de l'aparell és nul·la.



Salvador Estradé

Professor de física de l'IES Montserrat, de
Barcelona.

Adreça electrònica: sestrade@xtec.cat