

# Física per a regalar

Rafael Garcia Molina\*

Departament de Física. Universitat de Múrcia.

## Introducció

Entrar en una botiga d'articles de regal sempre resulta interessant per la gran varietat d'objectes que s'hi troben. Però si, a més a més, els observem des de la perspectiva professional d'un físic, n'hi trobarem alguns el funcionament dels quals està relacionat amb algun principi de la física; per això podem aprofitar per a donar-los un ús pedagògic, a més del decoratiu per al qual van ser dissenyats originalment.

La utilització d'aquest tipus d'artefactes en la docència té moltes aplicacions, ja que poden fer-se servir tant per a captar l'atenció dels estudiants durant la classe com per a relaxar l'ambient quan les lliçons estan molt carregades de qüestions formals. També poden utilitzar-se aquests objectes de regal per a iniciar la discussió sobre alguns temes de física que no solen tractar-se normalment durant un curs acadèmic, o bé per a organitzar seminaris on es parle de física fora del seu ambient habitual i se la presente fins i tot com una activitat que pot arribar a ser divertida.

Tot seguit comentaré breument els fenòmens físics que intervenen en el funcionament d'alguns artefactes que es comercialitzen com a elements decoratius; el seu ús pedagògic està relacionat amb els conceptes físics que s'esmenten en cada descripció. Cada explicació va acompanyada d'una il·lustració esquemàtica, per tal que els lectors puguin reconèixer de què s'està parlant, ja que el nom amb què es designen molts d'aquests objectes no està clarament definit: alguns tenen un nom comercial (que varia segons el fabricant) i d'altres tenen un nom molt genèric (que sol fer referència a l'efecte que s'hi observa). També hi apareixerà una referència bibliogràfica on es pot trobar més informació sobre temes similars als que es comenten en cada cas. La utilització d'aquests artefactes en l'àmbit docent no queda restringida, ni de bon tros, als comentaris que faig, ja que és ben segur que cada persona hi trobarà moltes més aplicacions de les que jo esmente en aquestes notes.

\*Rafael Garcia Molina (Alacant, 1957) és doctor en Física per la Universitat de València (1987). Actualment és professor titular de Física Aplicada a la Universitat de Múrcia. El seu camp d'investigació és l'estudi de la interacció de partícules carregades amb la matèria.

## Figures equilibristes

Són figures que semblen mantenir-se en un equilibri precari, miraculosament recolzades en un únic punt; però quan intentem pertorbar aquest equilibri observem que tornen a la posició original (figura 1). L'estabilitat d'aquestes figures es basa en el fet que la seua massa està distribuïda de forma que el centre de massa del sistema estiga sota el punt de recolzament (i el més baix possible). En inclinar la figura una mica en qualsevol direcció elevem el seu centre de massa, la qual cosa produirà un moment de forces respecte del punt de recolzament, i això tendeix a restituir l'objecte a la seua posició d'equilibri estable (Turner, 1992).

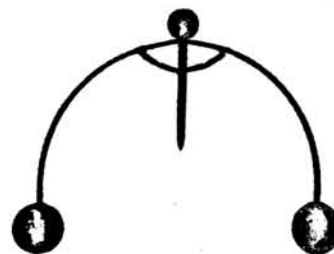


Figura 1: Exemple de figura equilibrista

## Globus de plasma

També s'anomena ull de la tempesta. Es tracta d'un recipient esfèric de vidre que conté gasos inerts en el seu interior, els quals s'ionitzen parcialment en aplicar una diferència de potencial entre el centre de l'esfera i la seua superfície exterior, que està connectada a terra (figura 2). Quan està funcionant s'observen uns filaments colorits dirigits des del centre de l'esfera cap a la seua superfície: són les trajectòries a través de les quals s'ha produït la ruptura dielèctrica del gas, que deixa de ser un aïllant per a convertir-se en un plasma conductor en aquelles regions on s'ionitzen els àtoms. A més a més, aquestes trajectòries es repelleixen entre elles perquè són regions ionitzades que tenen la mateixa càrrega elèctrica. En tocar amb la mà la superfície de l'esfera de vidre, les trajectòries de plasma es dirigeixen cap als punts que toquem, perquè el cos humà és més bon conductor que el vidre i per això el pas del corrent

elèctric cap a terra es fa més bé a través nostre que a través del vidre. Com que la intensitat del corrent que flueix és tan baixa no té efectes perceptibles en l'organisme humà (Tipler, 1994).

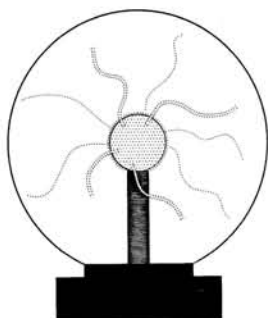


Figura 2: Exemple de globus de plasma

### Termòmetre d'amor

Es tracta de dos bulbs de vidre comunicats per un tub estret, de disseny més o menys artístic; tot el sistema es disposa verticalment. A l'interior del bulb inferior hi ha un líquid molt volàtil (normalment, algun tipus d'èter) acolorit (figura 3). Quan posem les mans en contacte amb el bulb inferior, el líquid es volatiliza i augmenta la pressió del vapor, el qual empeny el líquid i el fa pujar a través del tub cap al bulb superior. El líquid ascendirà més com més calor comuniquem al bulb inferior, per això es relaciona un ascens molt fort/fluix amb l'ardor/gelors pròpia de l'enamorament/desenamorament. Quan ha pujat pràcticament tot el líquid al bulb superior, s'hi observa com si el líquid estiguera bullint. Però la presència de bombolles no es deguda a l'ebullició del líquid (atribuïda a la gran calor que desprenen les mans d'una persona molt enamorada), sinó al fet que quan el nivell del líquid que hi ha al bulb inferior descendeix fins a l'altura de la boca del tub de comunicació comença a passar vapor entremesclat amb el líquid que va ascendint, i arriba al bulb superior en forma de bombolles.

### Pardalet bevedor

Consisteix en dos bulbs de vidre units per un tub estret; el bulb inferior —més gran— correspon al cos i el bulb superior representa el cap del pardalet; les seues potes sostenen un eix horitzontal al voltant del qual pot girar el pardalet (figura 4). A l'interior dels bulbs hi ha un líquid molt volàtil (normalment, algun tipus d'èter) acolorit. El cap del pardalet està cobert amb una tela de feltre o borriçol, la qual cosa proporciona una àrea més gran perquè s'evapore l'aigua amb què s'ha banyat prèviament en un got. Aquesta evaporació refreda el cap del pardalet i fa disminuir la pressió del vapor que hi ha a dintre, amb la qual cosa la pressió del vapor que hi ha al cos empeny el líquid cap amunt, on es desplaça el centre de massa del pardalet. Com que el líquid va ascendint pel cos del pardalet, quan el seu pes en la part



Figura 3: Exemple de termòmetre d'amor

superior és més gran que el de la part inferior, aquest es gira cap endavant, i es col·loca en posició quasi horitzontal i banya el seu cap en el got d'aigua. Però quan el pardalet està en aquesta situació, el vapor dels dos bulbs es comunica a través del tub, s'hi igualen les pressions i el líquid torna al bulb inferior, on es desplaça el centre de massa, de manera que el pardalet tendeix a posar-se vertical. Però mentrestant, l'evaporació de l'aigua que banya el feltre del cap del pardalet fa que el cicle anterior torne a començar i el pardalet oscil·la entre les posicions quasi vertical i horitzontal (Wilson, 1996).

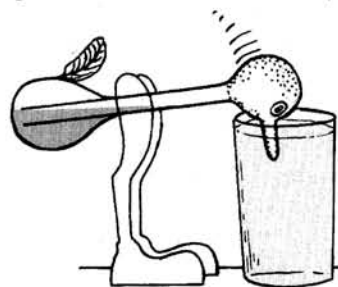


Figura 4: Exemple de pardalet bevedor

### Pèndol d'executiu

També s'anomena bressol o boles de Newton. Són cinc boles idèntiques, cadascuna de les quals penja d'un parell de fils de manera que totes estan en contacte i alineades (figura 5). Quan se separa una de les boles d'un extrem i es deixa que xoque contra les altres boles, s'observa que la bola que hi ha a l'altre extrem es posa en moviment i assoleix la mateixa altura que la bola que s'ha soltat inicialment; mentrestant, la resta de boles està en repòs. Aquest cicle d'oscil·lacions, en què alternativament ix disparada una bola de cada extrem (mentre que les altres quatre resten en repòs), es repeteix fins que la fricció fa que es detinga el moviment.

Independentment del nombre de boles que s'alliberen per a iniciar el moviment, sempre entren en moviment les mateixes boles de cada extrem del conjunt. El comportament d'aquest moviment pendular pot explicar-se aplicant la conservació del moment lineal i de l'energia cinètica a una seqüència de col·lisions elàstiques entre boles veïnes. Si utilitzem una miqueta de plastilina per a modificar la massa d'alguna de les boles o per a fer que es queden juntes en xocar, podrem observar com s'altera el tipus de moviment que acabem de referir (Gavenda i Edginton, 1997).

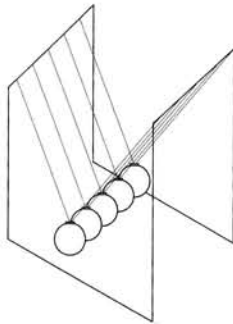


Figura 5: Exemple de pèndol d'executiu

### Figures d'art cinètic

N'hi ha de diverses formes, però bàsicament aquest tipus de figures consten d'un parell de circumferències concèntriques que contenen algun cos amb forma de nau espacial, planeta o similar (figura 6). Cada circumferència pot oscil·lar lliurement al voltant d'un eix que coincideix amb un dels seus diàmetres. La base sobre la qual oscil·len les circumferències té un circuit format per dues bobines i un transistor, mentre que la circumferència més gran té un imant en la seua part inferior, que quan passa a prop d'una de les bobines de la base hi induïx un corrent elèctric, que serveix perquè el transistor connecte i amplifiqui en la bobina principal el corrent generat per una bateria. Això fa que la bobina de la base genere un camp magnètic que propulsa de manera sincronitzada el pas de la circumferència més gran, cosa que produeix oscil·lacions forçades que eviten l'amortiment del moviment degut a la fricció. D'altra banda, el conjunt de circumferències efectua oscil·lacions acoblades. A més a més, les circumferències tenen sengles imants enfrontats, de forma que la repulsió entre ambdós, combinada amb el moviment oscil·latori acoblat, fa que tot el conjunt tinga un moviment caòtic (Crane, 1984).

### Radiòmetre

Va ser inventat el 1875 per Sir William Crookes per a estudiar els gasos a baixa pressió, per això també es coneix com a radiòmetre de Crookes. Consisteix en un recipient esfèric de vidre, del qual s'ha extret (parcialment)

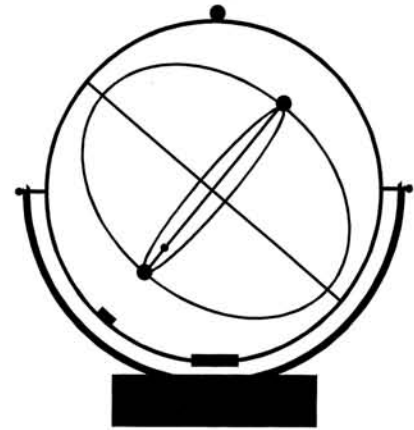


Figura 6: Exemple de figura d'art cinètic

l'aire i que té en el seu interior un molinet format per quatre aspes de mica que poden girar al voltant d'un eix vertical; cada aspa té una cara de color negre i l'altra blanca (figura 7). Si incideix llum sobre el radiòmetre, les aspes es posen a girar i la rotació és més ràpida com més intensa és la llum que hi arriba. Les aspes giren en el sentit que va des de la cara negra a la blanca de cada aspa, la qual cosa indica que el seu moviment és degut a les col·lisions que el gas residual que roman al recipient efectua contra les aspes, en comptes de ser degut a la incidència directa de la radiació lluminosa sobre les aspes. L'explicació de tot això és que la cara negra de cada aspa escalfa més que la blanca, ja que absorbeix la radiació que hi incideix (en comptes de reflectir-la, com fa la cara blanca), i les molècules del gas que estan al costat d'una zona més calenta (la cara negra) adquireixen més energia cinètica que les que hi ha a prop de la cara blanca. En conseqüència, se li transfereix més moment lineal a cada aspa a causa dels xocs que li arriben per la cara negra que dels que li arriben per la cara blanca, i per això el molinet gira en el sentit que va de la cara negra a la cara blanca de cada aspa. De fet, no cal la llum visible per a fer girar les aspes del radiòmetre, ja que n'hi ha prou amb radiació calorífica. Si s'introdueix el radiòmetre dins d'un congelador podem observar que les aspes giren en sentit contrari al que hem descrit anteriorment, ja que ara la cara negra de cada aspa es refreda més ràpidament. Hi ha radiòmetres que, en comptes de descansar sobre una base, pengen d'un fil per l'extrem superior; en aquest cas, quan comencen a girar les aspes del radiòmetre, el cos d'aquest gira en sentit contrari a causa de la conservació del moment angular. Si dins del radiòmetre hi haguera el buit (o una pressió molt baixa), el molinet giraria en sentit contrari al que acabem de descriure, perquè ara la transferència principal de moment lineal a les aspes seria deguda a la llum que es reflecteix en les cares blanques i és absorbida en les cares negres (Paveri-Fontana, 1977).



Figura 7: Exemple de radiòmetre

## Llums de lava

Dins d'un recipient (normalment cilíndric) hi ha un sòlid de punt de fusió baix (o un líquid molt viscos) immers en un líquid; el sòlid està acolorit i és més dens que el líquid, per això es troba al fons del recipient (figura 8). Quan s'encén l'aparell, el llum que hi ha a la base genera una calor que fon el sòlid, el qual disminueix la seua densitat i comença a surar cap amunt. Quan arriba a la part de dalt del recipient la seua temperatura ja ha disminuït, torna a ser més dens que el líquid i per això regresa al fons del recipient. Aquest moviment d'ascens i descens es repeteix mentre el llum està encès. També hi ha d'altres llums que tenen dins una espècie d'encenalls brillants, els quals són arrossegats amunt i avall pels corrents de convecció que es formen en calfar el líquid mitjançant una disposició adequada de llums.

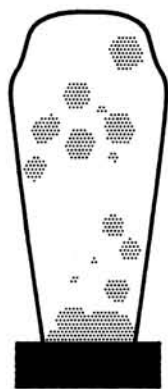


Figura 8: Exemple de llums de lava

## Arena que cau per dins d'un líquid entre dues plaques

Es tracta de dues plaques transparents verticals que al seu interior contenen un líquid acolorit i arena o polsim de diferents tipus de color i grandària de gra, principalment (figura 9). Si sacsegem tot el conjunt, observarem la seqüència en què sedimenta l'arena: primerament la de gra de més gruix i després la de gra més fi. Quan tota l'arena està en la part de dalt de les plaques, se'n desprèn suaument i comença a caure lentament formant corrents d'arena, encara que de vegades s'observa el des-

prement d'alguna allau. Quan l'arena arriba a la part inferior de les plaques, s'hi sedimenta formant muntanyes, el creixement regular de les quals queda interromput de tant en tant per l'enfonsament sobtat d'alguna porció de muntanya; aquestes petites allaus tenen lloc quan el pendent on s'acumula l'arena arriba a un angle crític determinant. Si ens fixem amb deteniment en els perfils de les muntanyes segons van creixent, observarem que hi ha petites terrasses (o esglaons) i que aquestes estructures es repeteixen a distintes escales, la qual cosa s'aprecia més clarament en les estructures d'arena de diferent color que ja estan cobertes per les noves capes d'arena que s'han acumulat damunt. L'amuntegament de material granular, contemplat amb aquest artefacte, posa de manifest successos catastròfics en forma d'allaus i il·lustra a petita escala aspectes relacionats amb la teoria de la criticalitat autoorganitzada, la qual ha originat una nova manera de mirar la natura (Bak, 1997).

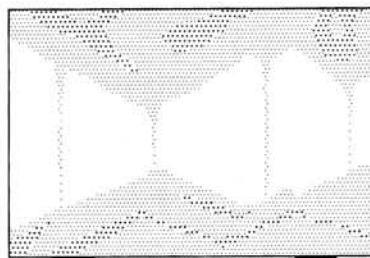


Figura 9: Exemple d'arena que cau per dins d'un líquid entre dues plaques

## Pot cilíndric transparent amb líquid viscos que cau com si fos mel

Es tracta d'un pot transparent (de grandària similar a una llauna de refresc), l'interior del qual està dividit a meitat d'altura per una superfície paral·lela a les bases i que té alguns forats petits (figura 10). El pot conté un líquid viscos que, a través dels forats de la superfície de separació, cau des de la part superior a la part inferior. Mentre cau el líquid s'observa clarament la dificultat a moure's típica dels líquids viscosos i com forma un doll que és més estret a mesura que es va separant del forat per on raja (per l'equació de continuïtat, el producte de la secció per la velocitat d'un tub de corrent és constant). En caure el líquid a la meitat inferior del pot s'aprecia que el nivell del líquid s'eleva localment on cau el doll, al mateix temps que aquest s'enrotlla com si es tractés d'una corda que es deixa caure verticalment al terra. Aquest tipus de comportament s'observa habitualment amb la mel i el sabó de bany. El fenomen que comentem és degut a la cohesió del líquid (per això el doll és continu i no es trenca en gotes mentre cau) i a la seua viscositat (la qual evita que el líquid s'estenga molt ràpidament després de caure). L'aire que va ar-



rossegant el líquid mentre cau queda atrapat en forma de bombolles, les quals començaran a ascendir a través del líquid que ja ha caigut a la part inferior (a causa de la flotabilitat de l'aire en el líquid, de menor densitat el primer que el segon); a més, l'ascens és lent (per la gran viscositat del líquid) i amb velocitat uniforme, perquè de seguida s'arriba a la velocitat terminal que s'obté a partir de la llei de Stokes (Barnes i Woodcock, 1958).

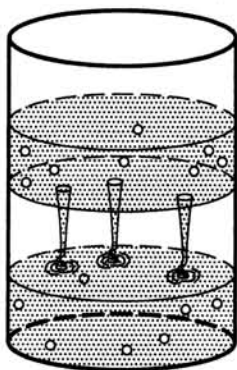


Figura 10: Exemple de pot cilíndric transparent amb líquid viscos que cau com si fos mel

### Ones i turbulències en la superfície de separació de dos líquids

Es tracta d'un recipient rectangular format per làmines paral·leles transparents, dins el qual hi ha dos líquids immiscibles de densitats i viscositats diferents; un dels líquids és transparent, mentre que l'altre està acolorit (figura 11). Un petit motor fa oscil·lar suaument el recipient al voltant d'un eix horitzontal que passa pel centre de la seua base inferior. Amb aquest artefacte es poden visualitzar les ones superficials i les turbulències que es formen en la superfície de separació de dos líquids que es mouen amb diferents velocitats.

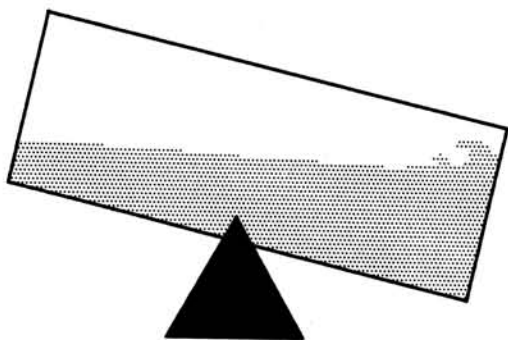


Figura 11: Exemple d'ones i turbulències en la superfície de separació de dos líquids

Després d'haver vist tants objectes en la botiga, potser en comprem algun per a regalar o regalar-nos. I què millor per a embolcallar un obsequi que un bon paper de regal! I com que el regal té connotacions científiques, per què no triem un paper que també pose de manifest algun fenomen físic? En particular, n'hi ha alguns

que tenen una brillantor iridescent, la qual és deguda a les interferències de la llum que reflecteixen, bé a través d'una xarxa de difracció consistent en petits solcs impresos en el paper, o bé a través d'una pel·lícula transparent de gruix no homogeni que el recobreix.

Segurament, quan vàrem entrar a la botiga encara era de dia, però entretinguts amb tants artefactes se'n ha fet tard. Per això, ara que marxem cap a casa amb el nostre regal ben embolcallat, si mirem cap arrere observarem els anuncis de neó amb el nom de la botiga, i inevitablement ens vindrà al cap que aquests llums no són altra cosa que una descàrrega elèctrica en un gas enrarit... i que la física ens envolta pertot arreu.

Encara podríem parlar de més articles de regal que contenen molta (i bona) física, com ara llums formats per manolls de fibres òptiques, caixetes musicals, brúixoles, rellotges de sol, rellotges d'arena, higròmetres, termòmetres i baròmetres ordinaris, termòmetres de cristall líquid, ballarines que fan graciosos moviments sobre una superfície polida, peixos que estan en moviment continu dins d'una peixera, figures fosforescents, boles amb neu i figures nadalenques al seu interior, i un llarg etcètera. En aquest treball sols m'he referit a aquells objectes de regal que solen deixar-se com a ornament sobre un prestatge o una taula, i no he considerat altres objectes que també s'acostuma a regalar i que també podrien emprar-se per a discutir fenòmens físics, com per exemple els discos compactes, la superfície dels quals actua com a xarxa de difracció, o els joguets, o alguns articles d'esport...

Com acabem de veure, moltes vegades no cal usar equips sofisticats per discutir alguns conceptes de física que poden il·lustrar-se amb objectes ben quotidians que estan destinats a altres usos (no científics).

### Bibliografia

- BAK, P., *How Nature works. The science of self-organized criticality*, Oxford University Press (Oxford, 1997).
- BARNES, G.; WOODCOCK, R., Liquid rope-coil effect, *American Journal of Physics*, **26**, 205, (1958).
- CRANE, H. R., A spinning top, Lenz's law and electric watches, *The Physics Teacher*, **22**, 113-114, (1984).
- GAVENDA, J. D.; EDGINTON, J. R., Newton's cradle and scientific explanation, *The Physics Teacher*, **35**, 411-417, (1997).
- PAVERI-FONTANA, S. L., An elementary model for the radiometer, *American Journal of Physics*, **45**, 447, (1977).
- TIPLER, P.A., *Física*, Reverté, Col·lecció Scriptorium, 3a ed., cap. 22 (Barcelona, 1994).
- TURNER, R., 100 years of physics and toys: balancing toys, *The Physics Teacher*, **30**, 542-543, (1992).
- WILSON, J. D., *Física*, Prentice-Hall, p. 408 (Mèxic, 1996).