



ESPORT i CIÈNCIA

Víctor Grau i Torre-Marin

Tertúlies de Literatura Científica
Escola Politècnica Superior, UVIC
Juny 2011



*Apropant la física als centres
d'ensenyament de Catalunya*

www.physics.cat



Som en un món físic.
Les nostres activitats, música, pensaments, jocs,...
tota la nostra vida és regida en darrera instància
per unes lleis físiques a les que no podem escapar.
I l'esport no n'és cap excepció.

Dibuixos: Víctor Grau

INDEX

Surto a córrer	3
L'aire i la pressió	
Experiències	
Per a pensar	
Quina pujada...!	8
Freqüència natural. Oscil·lacions	
Experiència	
Per a pensar	
La carrera dels tarahumares i la biomecànica	
Experiència	
Vídeos	
Llibres	
Força, potència, velocitat	
Per a pensar	
L'adhesiu del Sr. Pere Neutró	21
La velocitat i el color	
Experiències	
Per a pensar	
El partit de futbol	25
Els xuts amb efecte	
Experiències	
Articles i webs sobre la física del futbol	
Vídeos	
Per a pensar	

Surto a córrer

La setmana havia estat llarga i aquell divendres a la tarda em venia de gust sortir a córrer, així que em vaig calçar les vambes i vaig sortir en direcció a la muntanya.

Des de casa he de pujar una avinguda, creuar una rotonda i fer encara un tram de carrer per davant de l'estació fins arribar al circuit de cros. M'agrada aquest circuit: un estret camí de terra, ombrívol i ple de pujades i baixades.

Començo a pujar l'avinguda i de sobte un enorme camió a gran velocitat passa pel meu costat, desprevingut i massa a prop de l'asfalt estic a un pel de ser arrossegat pel camió. Bé però... de fet el camió era ben bé a un metre de distància,... com és que m'ha xuclat el camió?

L'experiència ha estat ben clara, en passar pel meu costat, durant uns instants el camió m'ha atret cap a ell perillosament. Què ha passat? Perquè el camió m'ha arrossegat cap a ell? La veritat és que no ho entenc... més aviat hagués esperat que en passar ràpid a prop meu m'hagués donat una empenta llançant-me cap enfora...

La classe de física d'ahir em ve al cap, el professor de física ens va parlar de magnetisme, de com s'atreuen els imants i de la seva relació amb els corrents elèctrics, però... crec que relacionar-ho amb el que m'acaba de passar és un disbarat, no pot haver estat cap força magnètica. De fet l'únic element de ferro que duc a sobre són les claus de casa... i són molt petites. No, no ha estat una força magnètica ni, per descomptat, elèctrica, en canvi la forta ventada que ha fet el camió al seu pas m'indica que l'aire hi deu haver tingut un paper important.

Vaig corrent i pensant... fent proves. Quan passen altres cotxes a prop meu miro d'acostar-m'hi, però l'efecte d'aquell camió no es repeteix.

Al cap d'una estona veig uns peus que corren al meu davant. Van en la mateixa direcció que jo, i poc a poc m'hi he anat acostant. Aixeco el cap i veig una noia que em somriu, li torno el somriure... penso que és estrany, perquè essent molt més petita que el camió m'hi sento igualment atret. Segurament no deu ser el mateix efecte...

Vivim en un oceà d'aire.

L'aire sovint sembla intangible, però a voltes pot ser destructor.

El pes de l'aire que tenim al nostre damunt equival al d'un elefant i mig per metre quadrat.

El moviment d'aquest aire pot provocar vents de més de 150km/h, capaços d'enderrocar grans construccions. Però també ens refresca els dies d'estiu, i gràcies a ell podem respirar, fer parapent, fer volar estels o llançar-nos en paracaigudes.

Nosaltres i tots els objectes ens movem dins d'aquest aire, i sense ell no podríem viure.

L'aire i la pressió.

L'any 1738 Daniel Bernouilli va publicar el que ara coneixem com a equació de Bernouilli. Aquesta equació ens parla de com es relaciona la velocitat d'un fluid (l'aire en el nostre cas) amb la pressió en aquell punt. És bàsicament l'aplicació del principi de conservació de l'energia a un fluid en moviment. Essencialment l'equació té tres sumands: un d'ells associat a l'energia cinètica (deguda a la velocitat), un segon associat a la pressió i el tercer que té en compte si en el desplaçament del fluid hi ha canvis d'altura (energia potencial). Aquest tercer terme no intervé en la nostra situació, perquè jo i el camió hem mantingut sempre un desplaçament horitzontal, i per tant no ha canviat en cap moment.



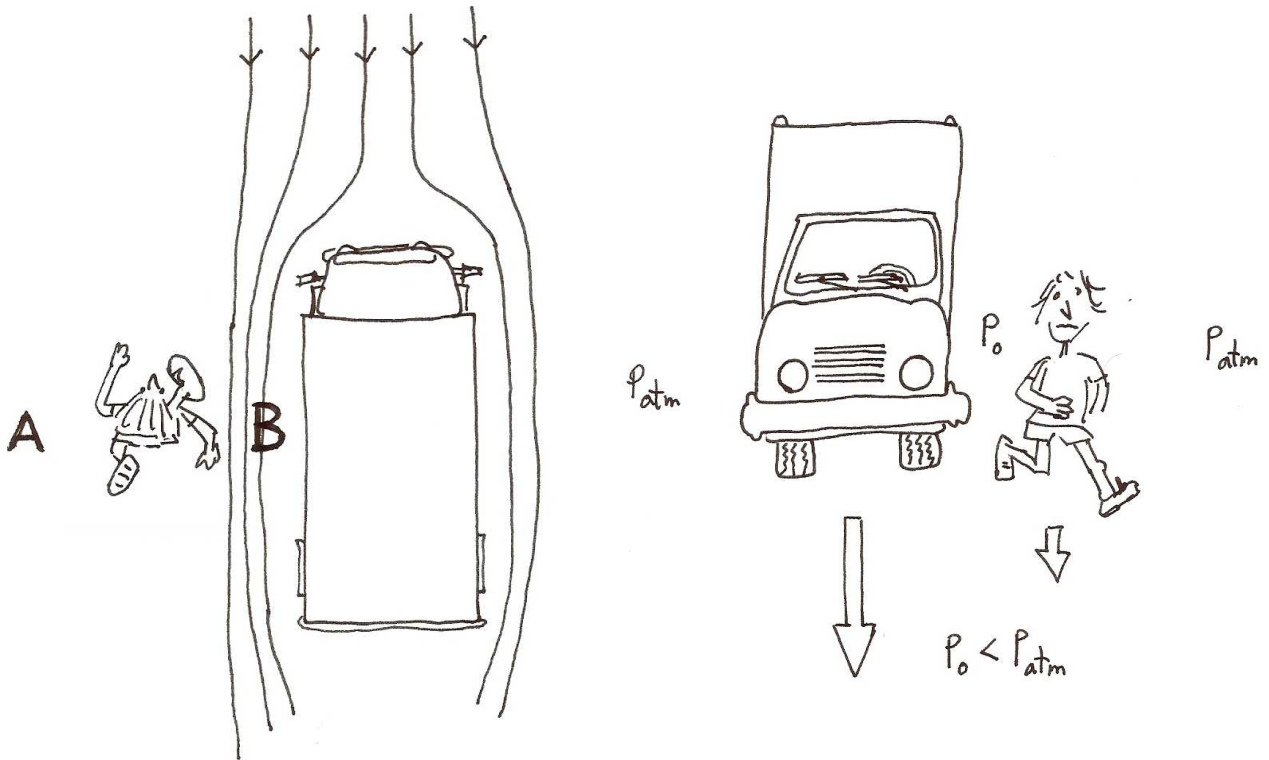
Daniel Bernouilli

Així doncs podem escriure: $E \cong E_{\text{velocitat}} + E_{\text{pressió}}$

Sense fer una anàlisi gaire a fons ja veiem que si en un punt del fluid augmenta l'energia cinètica, l'altre sumand, el de pressió, ha de disminuir per tal de mantenir

l'energia total constant. Aquest fet és el que explica que en aquells punts on la velocitat del fluid és major, la pressió sigui menor.

Vegem com s'aplica aquest fet a la situació amb el camió. A la figura veiem el camió i la persona a la seva esquerra. Les línies de flux de l'aire circulant pel costat del camió s'han ajuntat.



Aquestes línies, que sense el camió seguirien una línia recta des del davant fins al darrera, ara han de seguir un camí més llarg, rodejant el camió, i van a una velocitat més alta. Això vol dir que en el punt B situat entre la persona i el camió la pressió P_0 és menor que P_{atm} , la pressió atmosfèrica normal que hi ha a l'esquerra de la persona, al punt A. La conseqüència d'aquesta diferència de pressions entre A i B és que la persona sent una força resultant dirigida cap al camió.

A continuació us proposem algunes experiències molt senzilles i algunes propostes per a pensar.

Experiència 1.

Preneu dos fulls de paper, i subjecteu-los per la banda de dalt, deixant-los penjar molt a prop l'un de l'altre. Ara, des de dalt bufeu per tal d'intentar separar-los. Ho aconsegiu? Què succeeix?

Experiència 2.

Poseu, sobre una taula, dues llaunes de refresc buides a poca distància l'una de l'altra. Bufeu per entre les llaunes intentant generar un feix d'aire estret i ràpid. Què els passa a les llaunes?

Experiència 3.

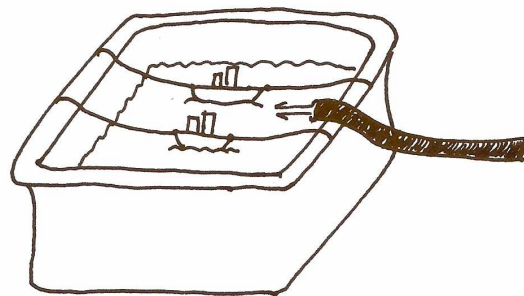
Necessiteu un embut i una pilota de ping-pong.

Poseu l'embut cap amunt i introduïu-hi la pilota. Mantenint l'embut vertical bufeu amb força des de sota per tal de fer sortir disparada cap amunt la pilota. Què fa la pilota? Intenteu bufar més suaument a veure si aconsegiu el vostre objectiu.

Ara, aguantant la pilota amb la mà, invertiu l'embut. Sense prémer-la contra el fons de l'embut, subjecteu la pilota a prop del broc, i des de dalt bufeu. Si tot va bé podreu treure la mà, perquè la pilota s'aguantarà tota sola. És estrany oi? Bufeu cap avall i la pilota sent una força cap amunt!

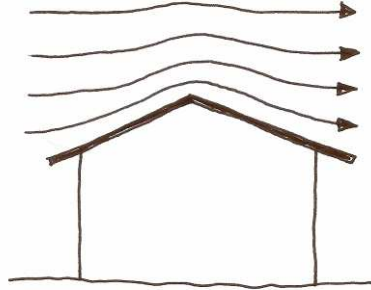
Experiència 4.

Per a aquesta experiència necessitareu dos petits vaixells de joguina que surin. En un recipient subjecteu amb dos fils els petits vaixells, de manera que quedin situats paral·lelament. Procureu que els fils no quedin massa tibants, per tal que els vaixells puguin moure's. Amb una mànega provoqueu un corrent d'aigua entre els dos vaixells, tal com indica la figura. Feu proves amb diferents velocitats de l'aigua i expliqueu què i perquè passa. Pot ser interessant filmar l'experiència.



Per a pensar...

Per què un vent mol fort pot arrencar la teulada d'una casa?



Per què amb fort vent el paraigua sempre se'ns gira del revés i mai no es tanca?



Un invent: el polvoritzador.

Estudieu com està construït un polvoritzador, com els de fumigar o els de perfum. Analitzeu quin és el seu funcionament i quina relació té amb la situació descrita a la història.

Un altre invent: l'avió.

L'avió vola gràcies a les seves ales. Quina forma tenen les ales dels avions? Expliqueu i relacioneu la forma de les ales amb el que s'ha vist anteriorment.

Quina pujada...!

*Diu el Sr. Neutró que quan estem aguantant la
cartera, drets i quietets, no fem cap treball.
També ens diu que una pilota disparada contra
la porteria no té força, que només té velocitat.
Quins disbarats!
Perquè els profes de física sempre ens volen dur
la contrària quan hi ha coses tan evidents?*

Deixo enrere la noia del somriure, i també deixo de fer experiments arriscats amb els cotxes. He arribat a la conclusió que l'efecte és petit. Potser, si jo fos tan gran com el camió o com un cotxe, podria notar més aquest efecte, però en tota la resta de proves que he anat fent no he tornat a notar res en absolut! Així que em concentro, és el que ara em cal, perquè comença una bona pujada.

Córrer em relaxa la ment...

Penso que córrer demana una concentració, una comunió amb el camí que no sempre és fàcil d'aconseguir. Sempre m'ha semblat que no has de córrer contra el camí, no has d'intentar vèncer-lo, ni trepitjar-lo amb força,... la Terra és la nostra amiga i el millor és arribar a aquell estat en que corres amb el camí, amb la sensació que el sents sota els peus, que quasi forma part de tu, que et marca el pas, et porta i que, fins i tot, t'ajuda. I a més són les teves cames les que corren! mentrestant tu pots anar fent la teva, somiant, mirant, pensant,...

És clar que aconseguir això no sempre és fàcil, i al meu davant veig un home que clarament no ho fa així, literalment va donant cops de peu al camí. El seu ritme és irregular, i més que córrer sembla que aixafi alguna cosa, i això que duu l'últim model de la Nike!

Com pot córrer donant aquests cops al terra i a un ritme tan irregular?

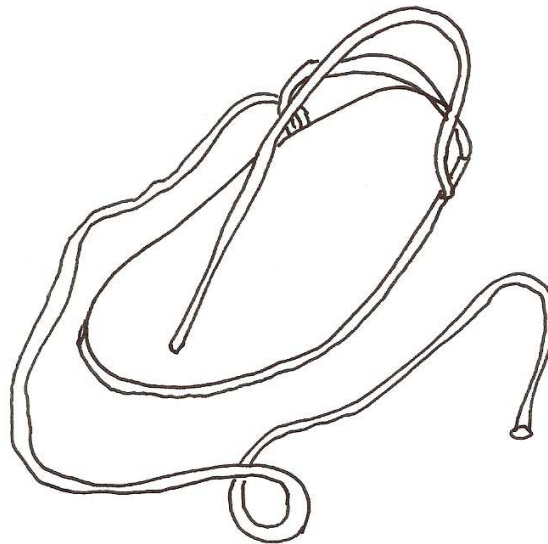
Cada vegada que dóna una passa, aquest home fa una força molt gran sobre el terra, i aquests cops tampoc no l'ajuden a fer la passa següent. Veig com deixa caure els seus peus de plom sobre el camí, l'un rere l'altre, com si fossin un pes mort, ... Això és una bona manera de malgastar l'energia.

Una de les coses que m'ajuden a no cansar-me és agafar un ritme, i tinc comprovat que tendeixo a anar sempre a aquell mateix pas, és com si tingués un ritme natural que és el que a mi em va bé, però aquest home... tan aviat frena com s'embala...

El sento com respira amb dificultats, esbufega... s'entrebanca i cau! Pobre.... em diu que no s'ha fet mal però sembla que se'n torni cap a casa. El veig allunyar-se adolorit, amb un caminar basculant i pesant.

He vist la seva manera de córrer i ara em fixo en la meva. També em miro les vambes, són molt més senzilles que les seves, però em són molt còmodes, i sobretot s'agafen molt bé als camins de terra. Si dugués les vambes d'aquell home crec que podria córrer molts quilòmetres... o no...?

No, no és cap tonteria, ahir nit a casa varem veure un documental sobre els tarahumares, i em va deixar molt intrigat... Els tarahumares són un poble del nord de Mèxic, i els seus habitants tenen fama de ser els millors corredors de grans distàncies del món. Per ells córrer forma part de la seva vida. Són capaços de recórrer distàncies enormes. No 12 km com jo, no... per ells fer-ne 100 és una diversió! I el més fort de tot és que ho fan sense vambes! Ho fan amb una mena de xancletes com les del dibuix, és quasi com córrer descalç.

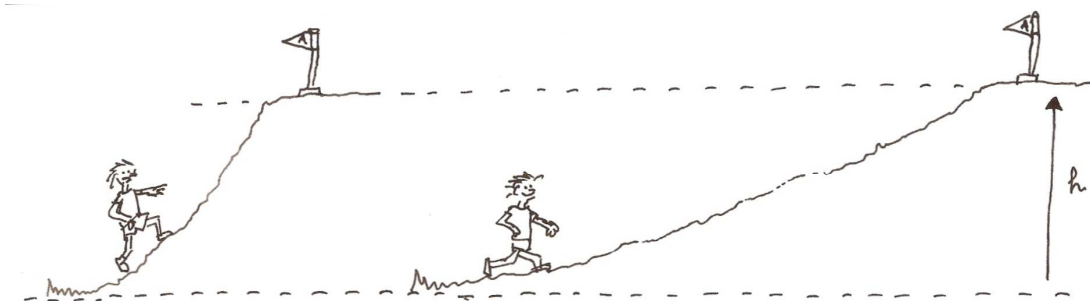


Amb aquest calçat tant minimalista, sense càmeres d'aire ni cap tecnologia, aguanten tant com els millors corredors d'ultrafons equipats amb les vambes més sofisticades del mercat. Llavors, què aporten les vambes actuals?

Bufff...! ja li preguntaré a la professora de gimnàstica... els tarahumara potser aguanten molt... però jo... jaestic una mica cansat, i aquesta pujada no s'acaba...

Pujar i pujar... buff! Diu el profe de física, el Sr. Pere Neutró, que tant se val el pendent, que el treball que hem de fer per arribar a dalt és el mateix independentment del camí. Segons ell el que és rellevant és el desnivell que hem de fer, no com el pugem... Bufff... Miro just al meu davant, als meus peus, així sense veure la pujada em puc imaginar que el camí és pla i... de vegades... sembla que costi menys... només de vegades...!

A mi, això que ens diu el Sr. Pere Neutró, no em quadra. Ens està dient que per pujar un cert desnivell hem de fer el mateix treball tant si el pendent és suau com si és molt fort. Vol dir això que ens cansem igual? NO M'HO CREC!. Avui a classe de tecnologia corregíem exercicis d'energia i treball, i el Nico, l'empollon de la classe, explicava el que jo penso: que ens cansem menys en una pujada suau encara que sigui molt llarga. Si una pujada és molt dreta, deia el Nico, és més curta, i per tant hem de pujar tot el desnivell en un tram molt curt. Això representa emprar una major potència que no pas si podem anar pujant suaument fins dalt.



Els altres no ho han vist gaire clar, però el Sr. Pere Neutró s'ha entusiasmat en veure com s'explicava en Nico i ens ha començat a parlar de treball i potència i no se que més... perquè aquí m'he perdut pensant en les vacances d'estiu.

Estic arribant a dalt del pendent, però sembla que aquesta pujada no s'acabi mai....

- Adeu!
- Ehh... bufff! Ad..eu.... bufff... –algú ha passat i m'ha saludat. No se qui era, vaig tant cansat que no li he vist la cara, i si em giro a mirar em canso més. Tant se val, seguim....-

Les persones caminem movent braços i cames simultàniament, i sobre el pla ho fem a un ritme determinat: 1Hz. És la nostra freqüència natural. La marxa dels militars es basa en aquest fet, i fan exactament 120 passes per minut, i com que la passa promig és de 83cm, resulta que marxen a una velocitat de 100m/min.

Freqüència natural. Oscil·lacions.

Quan caminem movem simultàniament braços i cames. Aquest moviment combinat de braços i cames té un important paper per establir el cos durant la marxa, evitant la tendència del cos a girar a un o altra costat en fer les successives passes. En termes físics diríem que es tracta de mantenir el moment angular més o menys igual a zero.

Un bon ritme caminant sobre una superfície plana és de 2 passes per segon, això vol dir que cada segon repetim el cicle: avançar cama dreta, avançar cama esquerra i repetir. Fer un cicle cada segon és el que els físics anomenen una freqüència de 1 Hz.



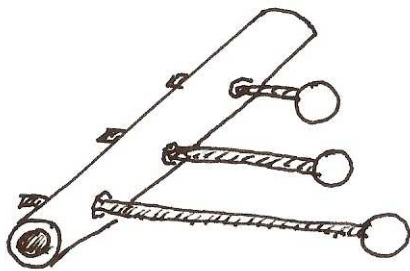
Així com nosaltres caminem a un determinat ritme, tots els objectes oscil·len i no ho fan a qualsevol ritme, també tenen la seva manera natural d'oscil·lar, és el que anomenem freqüència pròpia d'oscil·lació. Per exemple si pincem una corda de guitarra aquesta vibrarà a una determinada freqüència, i sempre serà la mateixa (si no fos així seria molt difícil afinar els instruments!). El pèndol d'un rellotge també té una freqüència molt ben determinada d'oscil·lació, així marca bé l'hora.

Si doneu un cop a la barana metàl·lica de les escales també vibrarà, i ho farà amb una freqüència pròpia, sempre igual, i que depèn de la seva forma i de com està fixada al terra.

Per una corda de guitarra, que és una senzilla corda subjecte pels seus extrems, aquesta freqüència pròpia es molt fàcil de calcular, però per la barana que és un objecte de forma més complicada i amb moltes subjeccions pot ser molt difícil.

Experiència

Podeu construir fàcilment un sorprenent ressonador. Un aparell amb el que veureu què és la freqüència pròpia de vibració. Necessiteu un tub de més o menys 1 m de llarg, són ideals els de cartró que us donaran a les botigues que venen teles a metres. També calen 3 varetes d'acer roscat i 3 pilotes. Al dibuix podeu veure un esquema del muntatge, que no necessita de gaire explicació. Com a detalls pràctics tingueu en compte el següent:



1. *Feu els forats per passar-hi les varetes el més ajustats possibles. Això és molt important, si la vareta balla dins del forat no us funcionarà bé.*
2. *Si compreu volanderes i femelles que ajustin a la vareta podreu fixar-la en*

la longitud adequada, i us quedarà més fermament subjecte. Després, si voleu, podeu tallar tota la vareta que surt pel darrere, però millor proveu-ho abans de tallar.

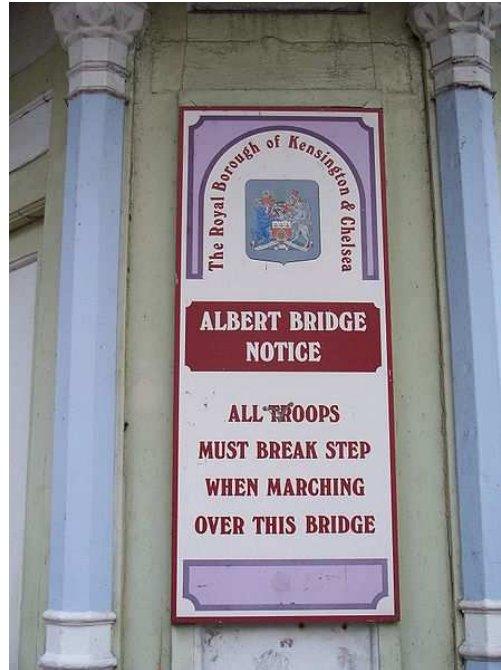
3. *Enganxeu les pilotes de goma o boles de porexpan a l'extrem de cadascuna de les varetes.*
4. *Fer el ressonador amb un tub de cartró és econòmic, ràpid i molt fàcil, però si voleu un dispositiu més durador caldrà que substituïu el cartró per un suport de fusta, pvc, etc.*

Per fer-lo funcionar agafeu el tub pels extrems i feu-li fer petites oscil·lacions sobre el seu eix a diferents ritmes. Segons el ràpidament que feu oscil·lar el tub aconseguireu que es moguin una o altra de les tres boles. Això serà quan estiguen aplicant la freqüència d'oscil·lació que correspon a aquella bola. Les altres, mentrestant, restaran aturades. Com que les tres boles són iguals el motiu que tinguin diferents freqüències de vibració està en la diferent longitud de les varetes. Ajusteu aquestes longituds fins aconseguir que l'aparell us funcioni bé. Un cop hagueu fixat la longitud ideal per a les varetes podeu tallar-les fàcilment amb una serra de metall.

Per a pensar...

El pont.

Imagineu ara aquesta situació: un regiment de soldats, tots caminant al mateix ritme d'1Hz, passen per sobre un pont. Imagineu també que el pont té una freqüència natural d'oscil·lació d'1 Hz, com el ritme dels soldats. Què penseu que pot passar?



Cartell a l'Albert Bridge, pont sobre el Thames, a Londres

Millenium Bridge, Londres.

http://www.youtube.com/watch?v=eAXVa_XWZ8&feature=related

Un cas real i espectacular del que es planteja a la qüestió anterior és el que es va produir els dies 10 i 11 juny de l'any 2000, a l'estrena del pont Millenium a Londres. En el vídeo podeu veure el moviment del pont. Aquests moviments eren produïts pel gran número de persones, 90.000 al llarg del primer dia i en molts moments més de 2000 sobre el pont al mateix temps.

Les primeres petites vibracions obligaven a la gent a caminar de manera sincronitzada amb el balanceig (vídeo: 0:40), això incrementava encara més l'efecte, fins i tot quan el pont era poc transitat. Sense voler, la gent feia oscil·lar el pont cada cop amb més amplitud.

La carrera dels tarahumares i la biomecànica

Els tarahumares són un poble de Mèxic que conserva encara molt vives les seves tradicions, ja que s'han barrejat poc amb la resta de civilització. Amb l'arribada dels espanyols van haver de desplaçar-se cap a les Barrancas del Cobre de la Sierra Madre Occidental, a Chiuaua, un indret a les muntanyes de molt difícil accés.



Tarahumara és una castellanització de rarámuri, que en la seva llengua significa "corredors" o "peus lleugers". Són uns grans corredors, i el córrer forma part de la seva vida. Poden fer fàcilment curses de molts kilòmetres, i ho fan sense cap entrenament especial i amb el calçat que us he dibuixat abans: una fina sola que subjecten amb uns tires de cuir. Usar aquest calçat és el més similar a córrer descalç, i fer-ho així és molt diferent de fer-ho amb unes vambes.

Alguns corredors ja han fet curses descalços a les Olimpíades, per exemple, a les Olimpíades de Roma de l'any 1960 Abebe Bikila va córrer descalç, també ho va fer Zola Budd l'any 1984 a les Olimpíades de Los Angeles.

L'any 2001 Nike se'n va adonar que molts atletes professionals de la Universitat d'Stanford feien part de l'entrenament descalços, perquè d'aquesta manera eren més ràpids i tenien menys lesions. Al 2008 la revista British Journal of Sports Medicine va publicar una recerca on es mostrava que no hi havia cap prova que usar vambes per córrer reduís el nombre de lesions en els esportistes professionals. L'any 2010 va tenir una forta influència el treball del professor Daniel Lieberman, professor de biologia humana evolutiva a la Universitat de Harvard, en que posava en dubte l'avantatge d'emprar vambes per sobre de córrer descalç

(vegeu: <http://www.fas.harvard.edu/~skeleton/danlhome.html>).

Aquests fets van portar a marques de calçat esportiu i a molts corredors a plantejar-se perquè servien doncs les caríssimes vambes amb materials i tecnologia

sofisticada: amortidors, càmeres d'aire, microxips,... I d'aquí han sorgit, per una banda un grup cada cop més nombrós de corredors descalços, i per altra part uns nous calçats de marques com Nike, Saucony o Vibram que es venen com el més similar a córrer descalç: les Vibram Five Finger, les Nike Free o les Saucony Kinvara.

Què hi ha de física en això?

Els estudis de biomecànica de D. Lieberman, resumits en el vídeo que podreu trobar a YouTube, mostren un fet important: en primer lloc que córrer amb o sense vambes determina una manera molt diferent de posar el peu a terra, com veieu a la fotografia 1. En el primer cas el contacte amb el terra comença en el taló. En el segon cas amb la part davantera del peu.



Fotografia 1. El contacte del peu amb el terra corrent amb i sense vambes.

En segon lloc en aquest estudi es va analitzar l'impacte a que està sotmès el peu corrent d'una o altra manera. Mesurant la força en l'impacte del peu nu sobre el terra s'observen grans diferències. En aterrar amb la part mitjana o frontal del peu, els corredors descalços reben un impacte molt menor que el que generen la major part dels corredors amb vambes, ja que aquests tendeixen a fer el primer contacte amb el taló. A les fotografies 2 i 3 podeu veure un gràfic de la força sobre el peu en cadascun dels dos casos.



Fotografia 2. Força sobre el peu recolzant primer el taló.

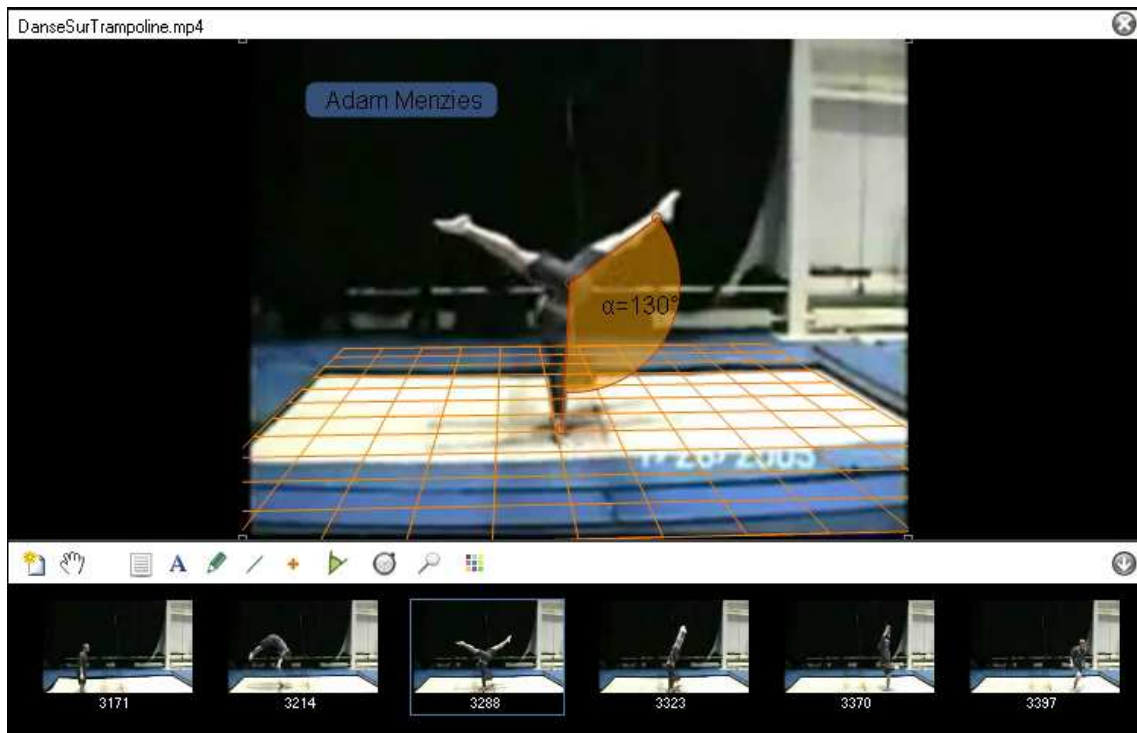


Fotografia 3. Força sobre el peu recolzant primer la part davantera del peu.

Experiència

És probable que vosaltres no pugueu fer aquestes anàlisi, però el que si podeu fer és analitzar quina és la vostra manera de córrer, saltar, xutar,... Per això necessiteu una bona càmera de filmar i el software gratuït Kinovea, <http://www.kinovea.org/en/>

Kinovea és un software emprat per estudiants d'educació física (CAFE, INEF,...) i que us permetrà fer un munt d'anàlisis interessants sobre la cinemàtica de l'esport: la trajectòria seguida per una part del vostre cos, els desplaçaments, els angles, l'amplitud dels vostres moviments, etc.



Fotografia 4. Exemple d'aplicació del programa Kinovea.

Vídeos...

A YouTube podreu trobar uns quants vídeos interessants, com per exemple aquest:

The Tarahumara - A Hidden Tribe of Superathletes Born to Run

<http://www.youtube.com/watch?v=FnwIKZhrdt4&feature=related>

O aquest altre, un recull de fotos de poca qualitat, però que corresponen a la cursa descrita al llibre "Nascuts per córrer", de Christopher McDougall:

Copper Canyon Ultra Marathon in Born to Run

http://www.youtube.com/watch?v=hdfriHwh9R4&feature=player_embedded#at=11

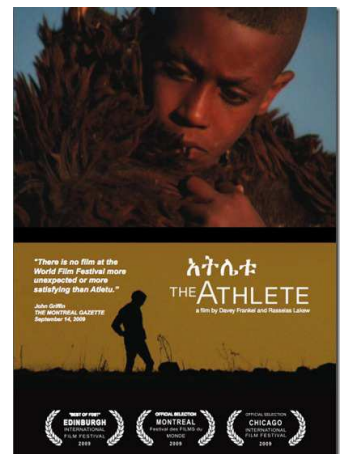
Un encantador poema de Marciano Duran (Uruguai) "Esos locos que corren" sobre la bogeria dels corredors populars.

Un bonic vídeo amb el poema recitat per l'autor:

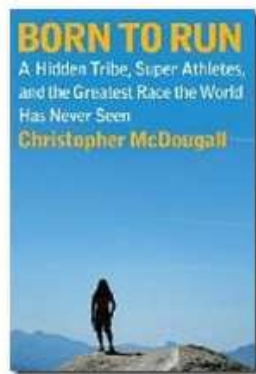
<http://www.youtube.com/watch?v=qHWdyWzLRvE&feature=related>

El poema: <http://www.marcianoduran.com.uy/?p=289>

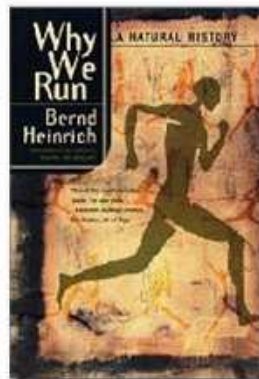
Existeix també una pel·lícula de l'any 2009 sobre el corredor descalç Abebe Bikila.



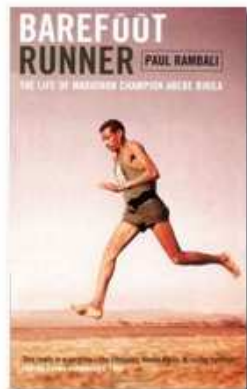
Llibres sobre córrer descalç



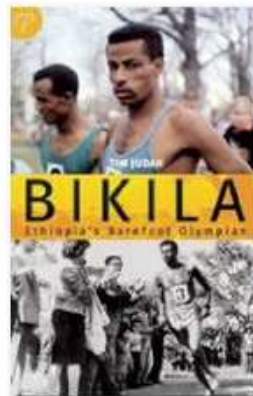
Born to Run: A Hidden Tribe, Superathletes, and the Greatest Race the World Has Never Seen de Christopher McDougall



Why We Run: A Natural History de Bernd Heinrich



Barefoot Runner: The Life of Marathon Champion Abebe Bikila de Paul Rambali



Bikila: Ethiopia's Barefoot Olympian de Tim Judah

El llibre “Nascuts per córrer” el podeu trobar en català a Edicions La Campana, març 2011. La traducció no és gaire bona així que si podeu us recomano que el llegiu en anglès.

Força, potència, velocitat

Quan fem una passa, el nostre peu es recolza sobre el terra. En aquell moment el peu suporta el nostre pes, al que li hem d'afegir la força deguda a l'impacte i la necessària per impulsar el cos en la següent passa. Podem imaginar que en promig cada quilòmetre es produeixen uns 1000 impactes sobre els peus.

Això és molta força aplicada sobre els peus, i fàcilment us en podeu fer una idea de la magnitud: si el vostre pes és de 62 kg de ben segur que la força no serà inferior a $62 \cdot 9,8 = 607,6$ N, i en un quilòmetre això representa que els vostres peus han suportat 607600 N que corresponen a unes 62 tones.

Per a pensar...

L'afirmació del Sr. Pere Neutró.

El nostre protagonista no està d'acord amb l'afirmació que fa el Sr. Pere Neutró sobre el treball necessari per pujar un cert desnivell. Per què no hi està d'acord? Discussiu si l'afirmació del professor és encertada o no i per què, o bé si el dubte de l'alumne és raonable.

L'explicació del Nico.

Després de l'explicació del professor, en Nico fa un raonament sobre els pendents i el cansament. Creieu que és encertat?

El nostre consum d'energia en caminar.

S'han fet experiments per avaluar quin és el nostre consum d'energia quan caminem, i proporcionen un valor de 2,5W per cada quilogram de massa corporal. L'estimació ha estat feta a partir del consum d'oxigen i la producció de diòxid de carboni. Aquesta quantitat pot semblar gran, ja que per una persona de 80kg això representa un consum de 200W, però cal tenir present que mecànicament, caminar és una activitat complexa, en la que intervenen una quantitat molt gran de múscles.

En un desplaçament horitzontal el nostre centre de masses puja i baixa uns 4cm a cada passa. Per a la persona de 80kg, serieu capaços de calcular quin consum d'energia pot suposar aquest fet?

Experiments fets per Arthur D. Kuo de la Universitat de Michigan mostren que caminar de manera que el centre de masses es mantingui sempre a la mateixa altura (sense pujar i baixar aquests 4cm) incrementen el consum d'energia. A la vista del resultat obtingut en el càlcul anterior i dels experiments del Dr. Kuo, com explicaries aquesta aparent contradicció?

També s'ha vist que s'incrementa el consum d'energia al caminar fent passes de longitud superior o inferior a la longitud natural de la nostra pròpia passa.

En poques paraules, l'anàlisi energètica del caminar és complexa, però en qualsevol cas sembla que la manera més eficient de fer-ho és caminar de la manera que ja ho fem normalment.

L'adhesiu del Sr. Pere Neutró.

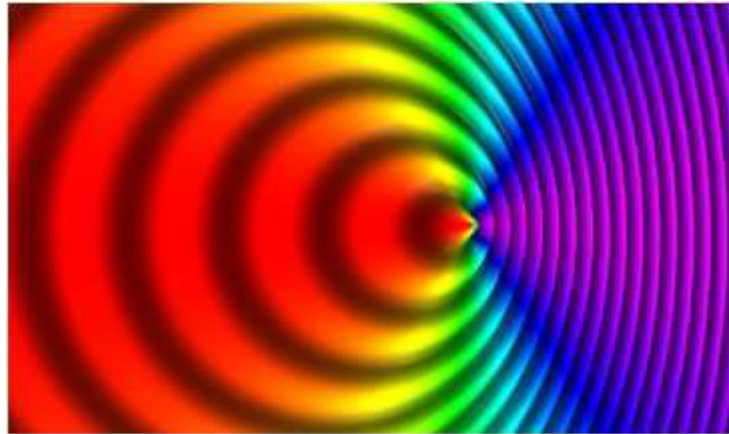
Ja de tornada cap a casa veig passar pocs cotxes. N'hi ha pocs perquè acaba de començar el partit de futbol, i els carrers estan ben deserts. Deixo enrere la fruiteria, que ja tanca. Només el bar té animació, i de lluny se sent la remor de la tele que retransmet el partit. La gent seu fora perquè a dins el bar ja és ple. Enmig d'aquesta ciutat, ara mig deserta, passa un cotxe pel meu costat, el conductor em fa senyals, és el professor de física, el Sr. Pere Neutró, que em saluda... Deu ser veritat que els professors no cobren gaire, perquè aquest duu un cotxe blau molt vell i sorollós. Al seu darrera hi destaca un adhesiu vermell, el podeu veure aquí baix, en una foto que li vaig fer uns dies després a l'institut:



El cotxe del Sr. Pere Neutró.

La veritat és que no se què vol dir. Com el puc veure blau si és vermell? Què té a veure el color amb la velocitat? En qualsevol cas jo no corria prou com per veure'l canviar de color. Hauria de córrer molt ràpid per a veure'l blau?

L'adhesiu és intrigant. El senyor Pere Neutró és un home ben peculiar...



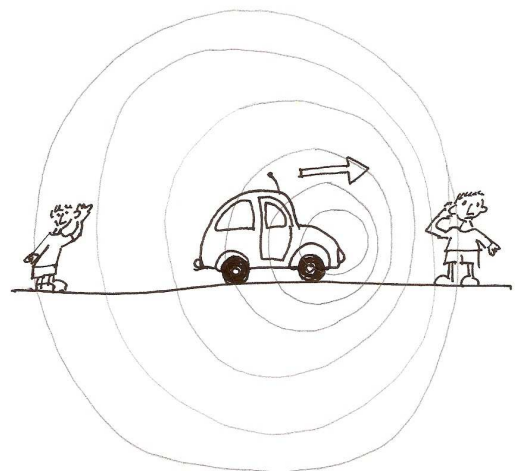
Una font de llum movent-se cap a la dreta a un 70% de la velocitat de la llum. La freqüència de la llum és més alta a la dreta (més blava) i més baixa a l'esquerra (més vermella).

La velocitat i el color.

L'adhesiu del cotxe del Sr. Pere Neutró té una explicació física. És el que s'anomena "efecte Doppler". Aquest efecte es pot veure tant amb la llum com amb el so.

Amb el so hi estem molt acostumats, i no se'ns fa gens estrany perquè ens hi trobem cada dia. Mireu, segur que l'heu observat molts cops:

- a les curses de cotxes, quan sentiu el "nyiiiiiaaauuuuu" del cotxe que primer s'acosta i després s'allunya, esteu sentint un so més agut del motor en apropar-se i més greu en allunyar-se de nosaltres*
- al carrer, si sentiu una ambulància que s'acosta ràpidament sentireu un so agut de la seva sirena, però quan ja us ha passat pel davant i l'ambulància s'allunya, notareu que el so canvia radicalment, es fa molt més greu. La sirena és la mateixa i no ha canviat el seu so, però sí el que nosaltres hem sentit.*



Aquests canvis que sentim en el so segons la velocitat són deguts al que anomenem efecte Doppler.

Amb la llum succeeix una cosa similar, perquè com el so, també són ones. Quan una llum blanca s'apropa a nosaltres ràpidament veurem la seva llum una mica més blava que si estigués quieta, i si aquesta mateixa llum s'allunya, la veurem un poc més vermella. Així doncs si ens apropéssim molt ràpidament a l'adhesiu del cotxe l'hauríem de veure més blau, tant més com més ràpidament ens hi acostéssim. Si intenteu fer la prova mai de la vida ho aconseguireu observar, perquè?

La raó està en que la velocitat, de l'observador o del focus emissor, ha de ser similar a la de la ona. Si és molt més petita l'efecte Doppler és tan remenut que no el notarem.

Per exemple, el so té una velocitat relativament petita, uns 300 m/s, i les velocitats dels objectes quotidians (dels focus emissors o dels receptors) són comparables a la del so, llavors l'efecte Doppler es fa evident.

En canvi la llum té una velocitat enorme, uns 300000000 m/s, i per tal que fos visible l'efecte amb la llum ens hauríem de moure a velocitats similars, però aquestes velocitats no les té cap objecte del nostre entorn.

Ja veieu que el que ens diu l'adhesiu només passaria si ens poguéssim a una velocitat semblant a la de la llum, de molts milers de quilòmetres per segon. És clar doncs que es tracta d'una broma.

Experiència 1

Si aconsegiu un petit timbre que funcioni amb una pila, introduïu-lo en marxa dins d'una pilota de goma i observeu l'efecte Doppler en llançar-vos la pilota.

Experiència 2

Més fàcil encara: agafeu un objecte qualsevol que emeti un soroll continu, per exemple un despertador. Lligueu-lo a l'extrem d'una corda i feu-lo girar ràpidament. Demaneu a un company que escolti el so mentre el feu girar. Després intercanvieu-vos els llocs i compareu el que sentiu des d'un i altre lloc.

Per a pensar...

On es veu l'efecte Doppler en la llum?

A les galàxies i altres objectes de l'univers.

Els objectes astronòmics tenen unes velocitats increïbles, de vegades similars a les de la llum, això fa que els astrònoms estiguin molt habituats a veure aquest fenòmen.

Si l'univers s'està expandint, com ens diu el model del Big Bang, com afectarà l'efecte Doppler al color dels objectes astronòmics més llunyans?

Se t'acut alguna aplicació que pugui tenir l'efecte Doppler a l'estudi de l'univers?

L'efecte Doppler i la policia.

Investiga per a què fa servir la policia l'efecte Doppler.

El partit de futbol.

*Si les pilotes han de ser ben rodones,
i en sabem de fer pilotes rodones,
perquè no fan les pilotes de futbol
perfectament llises? Com si fos una
pilota de ping pong? I perquè fan pilotes
peludes, com les de tenis? I perquè les
pilotes de basket són peludes com les de tenis?
I perquè les de golf tenen aquells foradets?
Tinc un dubte de pilotes...*

La dutxa que he fet quan he arribat a casa ha estat el millor de sortir a córrer!

Ara ja no hi vaig, però fa uns anys havia anat a unes instal·lacions esportives universitàries que tenien unes dutxes fantàstiques, m'encantava dutxar-me allà. Era una sala gran i neta amb sis o vuit dutxes una al costat de l'altre de les que sortia un abundant cabal d'aigua, i com que a migdia no hi havia ningú, tenia una dutxa de la mida d'un vestuari per a mi sol.

Els pares i la germana petita són davant del televisor, ja fa 38 minuts que ha començat el partit, i el nostre equip va guanyant 1 a 0. Demano el meu tros de sofà i



m'hi assec, ben a prop de les galetes que la mare ha deixat sobre la tauleta... en aquest moment estic més interessat en les galetes que en el partit, i... ei! Descobreixo que la meva germana s'ha agafat totes les de xocolata! Protesto, el pare em fa callar. Ma germana té les mans

plenes de galetes de xocolata i al pot no en queda ni una! En vull una! Ma germana crida, no me'n vol donar cap. Li agafo una mà, ella prem fort i esclafa les galetes. La mare rondina, i ma germana somriu com dient "sóc la petita, no te'n donaré cap, i si t'acostes més cridaré". Això no pot ser! Vull galetes de xocolata! Li intento obrir les

mans plenes de galetes. Ella crida. Jo també. Les galetes ja estan triturades...! Els pares també criden. Exigeixo les meves galetes! Tothom crida... què passa...? Ma germana i jo ens quedem parats... No són les galetes... és el partit... Han tornat a fer un gol, i amb tot això veig que ma germana ha deixat les galetes al sofà: m'hi llenço.

El patètic episodi de les galetes no ha acabat bé. Les taques de xocolata al sofà han empenyat pare i mare que ens les han acabar prenent totes i ens han enviat a l'habitació. Gràcies a l'estúpida de ma germana he hagut de veure el partit després, a les repeticions... però he quedat al·lucinat amb el segon gol... Ara entenc tots aquells crits.

Des de més o menys mig camp el jugador xuta cap a endavant, aparentment amb molt poca punteria, perquè la pilota surt directe cap al lateral del camp, però després d'avançar uns pocs metres la pilota comença a rectificar la seva trajectòria, es va desviant poc a poc cap a l'esquerra, i finalment, quan ja és quasi sobre la porteria, acaba de desviar-se més fortament, entrant i deixant tots els jugadors desconcertats.

Ostres! Com s'ho ha fet? Diuen a la tele que li ha "donat efecte", i es queden tan panxos! Bé, el xut si que ha estat efectiu, però "donar efecte"... què vol dir?, l'única cosa certa que el jugador ha donat a la pilota és un gran impuls inicial i una elevada velocitat de rotació sobre ella mateixa. Esta clar que si la pilota s'ha anat desviant deu haver estat per això. I penso que aquesta tarda jo també m'he desviat, com la pilota però no tant, quan aquell enorme camió m'ha passat tan a prop. La diferència és que la pilota estava sola, volant al mig del camp, i que s'ha desviat més, sobre tot cap al final del seu trajecte... Però intueixo alguna relació: en el meu cas l'aire hi ha jugat un paper important, i en aquest xut la pilota es mou per l'aire, i no hi ha res més.

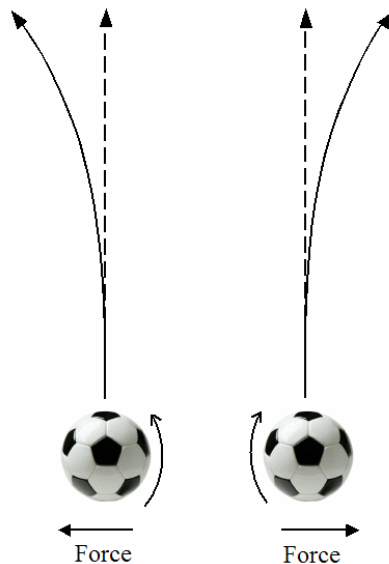
Diuen els meus amics que "l'efecte" consisteix en xutar la pilota fent-la girar ràpidament sobre ella mateixa, i que si gira tendeix a desviar-se cap al costat on gira. Sempre em diuen això, però ningú m'ha explicat exactament perquè la pilota que gira s'ha de desviar!

És una bona pregunta per fer-li dilluns al Sr. Pere Neutró, i si la troba interessant amb una mica de sort s'oblidarà de demanar-nos els exercicis.

Els xuts amb efecte

En els xuts amb efecte tornem a trobar una explicació física que té força a veure amb la situació descrita en el primer capítol.

Si xuteu una pilota sense proporcionar-li cap gir, veureu la trajectòria prevista: una paràbola. Si miréssiu l'ombra de la pilota sobre el camp veuríeu una línia recta. Però si en xutar una pilota li imprimeu una forta velocitat de rotació, podreu comprovar que la pilota no es mourà igual. També comença descrivint una paràbola, però aviat es desviarà lateralment, depenent el sentit de com estigui girant la pilota. Si miréssiu l'ombra de la pilota sobre el camp ara ja no seria una línia recta.



El gir de la pilota desvia la seva trajectòria de la línia recta. Aquest efecte s'anomena “efecte Magnus” i té molta relació amb el teorema de Bernoulli que hem descrit al primer capítol.

La proposta que us faig és que amb el material suggerit més avall, i amb altres que tingueu al vostre abast, doneu una explicació física del xut amb efecte.

Experiència 1

Proveu a xutar la pilota de futbol fent-la girar, sobre un eix vertical, en un o altre sentit i observeu que la seva trajectòria es desvia a dreta o esquerra.

Proveu ara a xutar la pilota fent-la girar sobre un eix horitzontal. Com serà la trajectòria que descriurà?

Experiència 2

Llenceu amb les mans una pilota de ping pong proporcionant-li alhora una rotació sobre ella mateixa. Això pot demanar pràctica, però aconseguireu veure el mateix que en els xuts amb efecte.

Articles i webs sobre la física del futbol

Un article interessantíssim sobre la física del futbol, on explica amb detall el perquè dels xuts amb efecte. Physics World: The physics of football

<http://physicsworld.com/cws/article/print/1533>

Una altra web interessant sobre futbol: soccerballworld.com. Entre moltes altres coses trobareu un apartat dedicat a la física del futbol:

<http://www.soccerballworld.com/Physics.htm#world-11-6-8-2>

Article, d'un nivell una mica més elevat, sobre els xuts: Kick-off

Armando Vieira, , The Physics Teacher, May 2006 ; Vol 44, Issue 5, pp. 286

<http://www.scribd.com/doc/36392743/kick-off>

Vídeos

Vídeo del gol de Roberto Carlos de l'any 1997 al França – Brasil.

La perspectiva que es veu a partir de l'instant 0:27 és impressionant.

http://www.youtube.com/watch?v=cmgx8K1cl_0

Per a pensar...

Una pilota llisa

Podríem jugar igualment a futbol si les pilotes oficials fossin absolutament llises en la seva superfície? Què aporta una certa rugositat de la pilota als seu vol?

Els sòlids platònics i el futbol

Què té a veure l'estudi dels sòlids geomètrics de Plató amb les pilotes de futbol?

A la Lluna, podríem jugar a futbol?

Penses que seria igual d'interessant? Què podríem fer i què no podríem fer respecte al joc a la Terra? Podríem fer xuts amb efecte?

A sota l'aigua, podríem jugar a futbol?

Imagina't una piscina de la mida d'un camp de futbol.

Suposa també que la pilota és molt pesant i no flota, i que pots respirar i caminar pel fons de la piscina sense flotar.

Com seria el futbol al fons de la piscina? Podríem fer xuts amb efecte? Podríem fer un xut tan llarg com els del futbol de veritat, de porteria a porteria? Quins inconvenients i avantatges podria tenir jugar a futbol sota l'aigua?

Desitjaria que aquest text us pugues ser el més útil possible, i això s'aconsegueix amb els vostres comentaris, els dels professionals que esteu dia rere dia a l'ensenyament secundari. Per tant m'agradarà molt rebre qualsevol suggeriment, comentari o correcció que penseu que pot millorar o fer més pràctic aquest text. Si voleu fer qualsevol aportació escriviu-me a: victor.grau@uvic.cat

Algunes imatges de l'acte.

17 de gener de 2012. Aula Magna UVic (EPS)



