

Recursos de física



TALLER DE FÍSICA: ONES EN MOVIMENT. LA CUBETA D'ONES

SANTI VILCHEZ¹

Des d'aquesta nova secció, **TALLER DE FÍSICA**, no pretenem imitar grans experimentadors, només aprofitar-nos del que tenim al voltant per explorar les possibilitats que ens dona la tecnologia actual per experimentar amb pocs recursos.

Introducció

La imatge que ens ve al cap quan pensem en un laboratori de física segur que és molt sofisticada. I segurament així deu ser en els laboratoris de física experimental actuals. Mesures precises, control i minimització d'errors, dissenys acurats i paràmetres molt controlats. I si ho pensem una mica segurament també així ha estat sempre en qualsevol laboratori de qualsevol temps. Els experiments de Cavendish per determinar la constant de gravitació universal o la determinació de la càrrega de l'electró duta a terme per Millikan o fins i tot les mesures que va dur a terme en el seu temps Eratòstenes per determinar el radi terrestre en són alguns exemples. La física experimental està lligada als recursos disponibles en el moment en què es porten a terme. Qualsevol mesura requereix aparells i els aparells limiten la precisió de les dades. Però no tot és tecnologia. L'enginy de l'experimentador per dur a terme l'experiment per sobre de les limitacions del seu temps és el que fa d'aquesta part de la física un recorregut fascinant.

Des d'aquesta nova secció, **TALLER DE FÍSICA**, no pretenem imitar grans experimentadors, només aprofitar-nos del que tenim al voltant per explorar les possibilitats que ens dona la tecnologia actual per experimentar amb pocs recursos. Avui en dia és senzill disposar d'un làser o d'imants potents de neodimi, materials realitzats amb impressores 3D o algun petit programa fet amb una placa d'Arduino. El mateix mòbil és un dispositiu impressionant de mesura. En Lorenzo Ramírez, al seu blog <https://experimentacioliure.wordpress.com>, en treu molt de profit.

Per tot plegat, **TALLER DE FÍSICA** intenta continuar amb el testimoni d'altres seccions que hi ha hagut en aquesta revista, com la d'"experiments de la iaia" d'en Josep Ametlla.

Una cubeta d'ones

Les ones en un estany de muntanya, l'oscil·lació del seient del cotxe en un viatge, la velocitat a la qual bat les ales un colibrí o l'aterrador brunzit d'un mosquit; el so d'un instrument o un whatsapp que fa vibrar el nostre mòbil, tenen en comú que ens son familiars i de vegades difícils de comprendre per als alumnes. Veure a càmera lenta qualsevol dels moviments anteriors pot ajudar a comprendre'ls, però poder reproduir-los en una cubeta d'ones i observar-los tantes vegades com sigui necessari és una oportunitat per experimentar molt valuosa. Potser al principi sembla complexa, la *Fig. 1*



seva construcció, fins i tot excessiva, tenint en compte que només serveix per fer una demostració, pe-

¹ Professor de física a l'escola Tecla Sala a l'Hospitalet. Adreça electrònica: svilchezmail@gmail.com

rò el gran ventall de possibilitats que ofereix per dur a terme un treball de recerca o la posada en marxa en una classe compensa el temps dedicat a construir-la.

Què necessitem?

La versió que s'explica en aquest article és una millora d'una cubeta que va ser construïda fa quatre anys. Podeu trobar el vídeo en aquest enllaç: https://www.youtube.com/watch?v=G_BlbMMubSU

Els elements que necessitarem per construir la cubeta són:

- ✓ Llum d'Ikea. Pot ser amb un regulador de llum estroboscòpica o no. No aporta grans diferències.
- ✓ Suport per a la cubeta. Estructura de fusta o metall.
- ✓ Cubeta de de vidre o metacrilat. Millor metacrilat.
- ✓ Placa Arduino (UNO). Motor pas a pas o *stepper motor* (Nema 17). Driver de motor (*easy driver*) i potenciòmetre (10 K).
- ✓ Font d'alimentació (24 W).
- ✓ Peces impreses amb una impressora 3D.
- ✓ Tub de coure i lleva de niló.

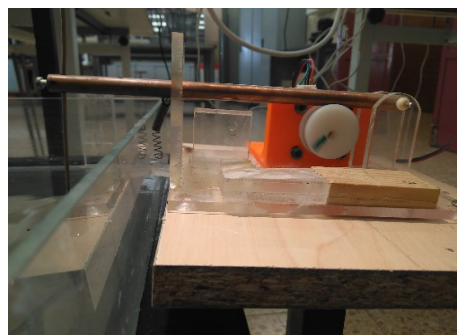


Fig. 2

A partir d'aquest model, s'hi han afegit algunes millores. Sobretot s'han substituït el motor reductor per un motor pas a pas o *stepper motor* controlat per Arduino, i la pantalla per un mirall i un vidre esmerilat.

Què ens proposem?

- ✓ Identificar i reproduir diferents tipus d'ones.
- ✓ Reconèixer els paràmetres que les defineixen.
- ✓ Apropar-nos d'una manera qualitativa a fenòmens ondulatoris com la difracció, la superposició d'ones, la refracció, l'efecte Doppler, etc.
- ✓ Dissenyar maneres de mesurar mitjançant la imatge.

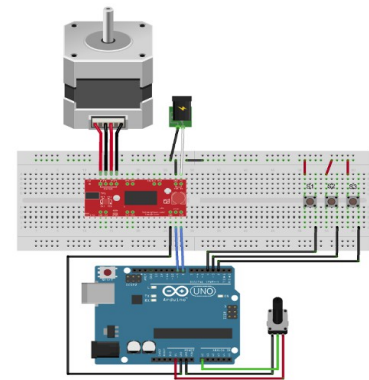
1. Moviment harmònic simple

La primera tasca és aconseguir tots els materials necessaris. A continuació podeu trobar els enllaços on es poden aconseguir els materials electrònics.

- ✓ Placa Arduino. [Versió oficial](#) i [versió lliure](#).

- ✓ Stepper motor. Es pot aconseguir [aquí](#).
- ✓ Potenciòmetre. Es pot aconseguir [aquí](#).
- ✓ Easy driver. Es pot aconseguir [aquí](#).
- ✓ Font d'alimentació. Es pot aconseguir [aquí](#).

I el primer que hem de fer és posar a prova el control del motor pas a pas. El muntatge del circuit queda tal com es mostra a la figura 3. El programa és una adaptació del que podeu trobar en [aquesta pàgina](#). Tot un *Fig. 3* repte per començar!



```
// Example5 code for Brian Schmalz's Easy Driver Example page
// http://www.schmalzhaus.com/EasyDriver/Examples/EasyDriverExamples.html
//https://github.com/adafruit/AccelStepper
// Atents a les connexions del potenciòmetre i les dels pins DIR -->8 i STEP -->9
#include <AccelStepper.h>
// Define the stepper and the pins it will use
AccelStepper stepper1(AccelStepper::DRIVER, 9, 8);
// Define our three input button pins
#define LEFT_PIN 4
#define STOP_PIN 3
#define RIGHT_PIN 2
// Define our analog pot input pin
#define SPEED_PIN 0
// Define our maximum and minimum speed in steps per second (scale pot to these)
#define MAX_SPEED 8000
#define MIN_SPEED 100
void setup() {
//The only AccelStepper value we have to set here is the max speed, which is higher than we'll ever
go
  stepper1.setMaxSpeed(10000.0);
// Set up the three button inputs, with pullups
  pinMode(LEFT_PIN, INPUT_PULLUP);
  pinMode(STOP_PIN, INPUT_PULLUP);
  pinMode(RIGHT_PIN, INPUT_PULLUP);
}
void loop() {
  static float current_speed = 0.0; // Holds current motor speed in steps/second
  static int analog_read_counter = 1000; // Counts down to 0 to fire analog read
  static char sign = 0; // Holds -1, 1 or 0 to turn the motor on/off and control direction
  static int analog_value = 0; // Holds raw analog value.
// If a switch is pushed down (low), set the sign value appropriately
  if (digitalRead(LEFT_PIN) == 0) {
    sign = 1;
  }
  else if (digitalRead(RIGHT_PIN) == 0) {
```

```

    sign = -1;
}
else if (digitalRead(STOP_PIN) == 0) {
    sign = 0;
}
// We only want to read the pot every so often (because it takes a long time we don't
// want to do it every time through the main loop).
if (analog_read_counter > 0) {
    analog_read_counter--;
}
else {
    analog_read_counter = 3000;
// Now read the pot (from 0 to 1023)
    analog_value = analogRead(SPEED_PIN);
// Give the stepper a chance to step if it needs to
    stepper1.runSpeed();
// And scale the pot's value from min to max speeds
    current_speed = sign * (((analog_value/1023.0) * (MAX_SPEED - MIN_SPEED)) + MIN_SPEED);
// Update the stepper to run at this new speed
    stepper1.setSpeed(current_speed);
}
// This will run the stepper at a constant speed
    stepper1.runSpeed();
}

```

Una vegada hàgim aconseguït que l' stepper motor funcioni, la segona tasca serà muntar-ho sobre un suport 3D com el de la figura 4, acoblar-li la lleva i situar-lo sota el tub de coure.

Amb aquesta primera fase ja disposem del necessari per generar un MHS. Podem començar.

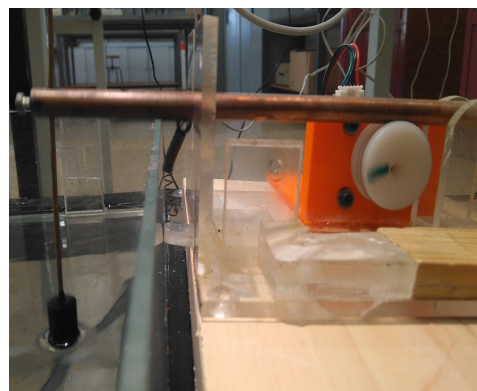


Fig. 4

1.1. Relació entre moviment circular i moviment lineal alternatiu. Velocitats

En primer lloc, a les figures 5, 6 i 7 es pot visualitzar la relació que hi ha entre l'MCU de la lleva i el moviment lineal alternatiu del percussor.



Fig. 5

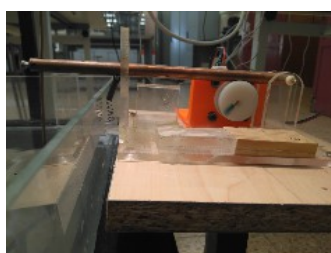


Fig. 6

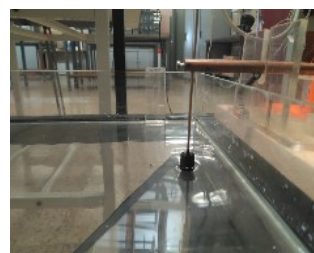


Fig. 7

- ✓ Figures 5 i 6: Mesurem el temps que triga a fer 10 voltes: 11,5 s. Utilitzant:

$$\omega = \frac{\Delta\varphi}{\Delta t} \quad (1)$$

Amb $\Delta\varphi = 10 \times 2\pi$ rad i $\Delta t = 11,5$ s obtenim $\omega = 5,46$ rad/s.

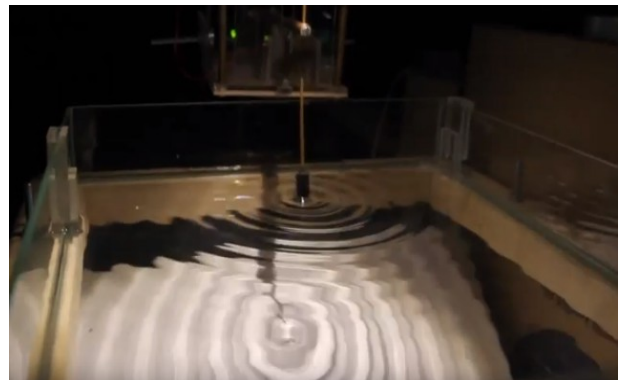
- ✓ Figures 7: Mesurem el temps que triga a colpejar l'aigua 10 vegades i tornar a pujar: 13 s. Utilitzant (1) amb $\omega = 2\pi f$, on f , la freqüència, és el nombre de vegades que el percussor passa per la posició inferior per unitat de temps, $f = \frac{10}{13} \text{ s}^{-1} = 0,77$ Hz, obtenim

$$\omega = 4,86 \text{ rad/s.}$$

Podem observar com els valors obtinguts són diferents. No pretenem mesurar, el nostre estudi és qualitatiu, però es podria fer un estudi d'errors i minimitzar l'error en aquesta mesura.

2. Ones circulars

Primer assemblem les peces i comprovem que funcionen. Tots els sistemes requereixen ajustos. És molt important que la peça que colpeja l'aigua ho faci d'una forma suau i seguint un MHS. El muntatge quedaria com la figura 8.



2.1. Ones circulars

Una ona és la pertorbació que es trasllada en forma de moviment ondulatori. L'objectiu d'aquest article és fer un apropament qualitatiu a la cubeta d'ones, però es podria arribar a determinar la velocitat de propagació v de l'ona si s'obtenen la longitud d'ona i el període:

$$v = \frac{\lambda}{T} \quad (2)$$

- ✓ Als alumnes se'ls pot demanar que capturin amb el mòbil una imatge, figura 9, i que hi localitzin la longitud d'ona, el focus emissor, el front d'ona i el raig. Vegeu la figura 10.



Fig. 9



Fig. 10

2.2. Superposició d'ones

Si en comptes d'un percussor en col·loquem dos podem observar la superposició d'ones, tal com ens mostra la figura 11.

Podem obtenir una captura en un instant de temps que ens doni els màxims i mínims d'interferència (vegeu la figura 12) i tornar a demanar als alumnes que els localitzin (vegeu la figura 13).



Fig. 11



Fig. 12

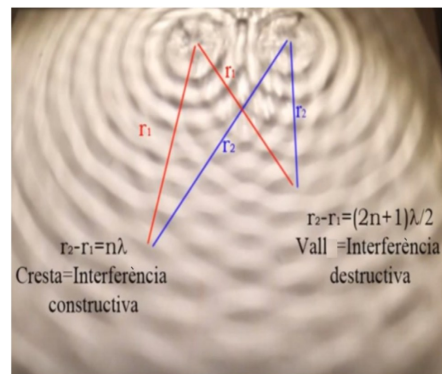


Fig. 13

2.3 Efecte Doppler

Per poder generar l'efecte Doppler només ens cal desplaçar el percussor d'un cantó a l'altre de la cubeta



Fig. 14



Fig. 15

A les figures 14 i 15 podem veure el que passa si desplaçem el percussor cap a un extrem i l'altre de la cubeta. Seguint aquests exemples, als alumnes se'ls pot demanar una identificació: que dibuixin a sobre de les imatges com canvia la longitud d'ona quan l'emissor es desplaça amb una certa velocitat.

3. Ones planes

Per poder generar ones planes necessitem un altre enginy, que es mostra a la figura 16. Consisteix en uns angles d'alumini travessats per un eix. S'ha acoblat el percussor a l'angle de tal manera que pugui oscil·lar.

3.1 Ones planes

De manera anàloga a l'apartat d'ones circulars, podem demanar als alumnes que capturin amb el mòbil una imatge, com la de la figura 17, i hi localitzin la longitud d'ona, el focus emissor, el front d'ona i el raig (vegeu la figura 18).



Fig. 16



Fig. 17



Fig. 18

3.2 Difracció. Principi de Huygens

Les ones canvien de direcció de propagació si topen amb algun obstacle o senzillament quan entren en un medi de propagació diferent. Christian Huygens va donar una explicació d'aquests fenòmens, que es coneix com *principi de Huygens*, que diu que els punts d'un front d'ones es constitueixen en centres emissors d'ones circulars secundàries, l'envolupant de les quals constituirà un nou front d'ones.

De nou és tot un repte saber què li passa a una ona quan es troba un obstacle pel camí. És molt il·lustrador escollir una escletxa i anar reduint-ne les dimensions. Es pot observar com l'ona plana que la travessa passa de fer una "ombra" al darrere de l'obstacle, vegeu la figura 20, fins a convertir-se en un nou front d'ona circular, vegeu la figura 21, que torna a propagar-se per tot l'espai. L'explicació d'aquest fenomen la tornem a trobar en el principi de Huygens.

En aquest cas, els alumnes poden fotografiar diferents instants i identificar en quin moment es produeix la difracció.

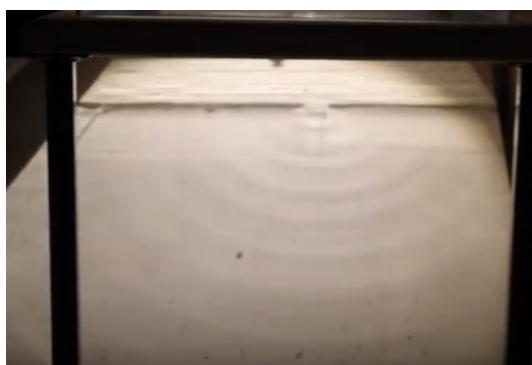


Fig. 20

3.3 Reflexió i refracció d'ones planes

Per tal de fer l'anàlisi de la refracció i la reflexió de les ones, tornem a identificar el fronts d'ona incident, reflectit i refractat. Per aconseguir la reflexió s'ha col·locat un obstacle que impedeix la propagació de les ones, vegeu la figura 21, i per aconseguir la refracció s'ha col·locat una peça de metacrilat que canvia la profunditat de la làmina d'aigua que hi ha a sota de la cubeta, com veieu a la figura 22.

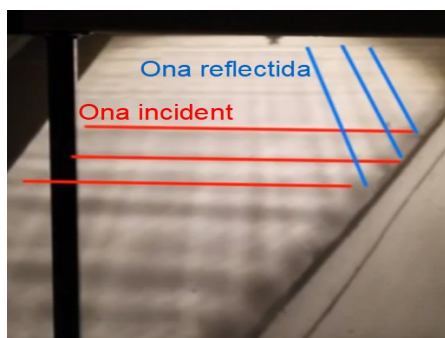


Fig. 21

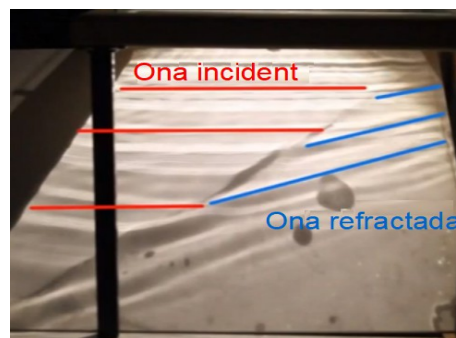


Fig. 22

Conclusions

Fins aquí tot un recorregut pels fenòmens ondulatoris. La construcció d'un giny com aquest pot arribar a ser tot un desafiament tècnic, però l'aprenentatge de la física que s'aconsegueix és inigualable. Per poder obtenir els resultats esperats s'han de conèixer a fons les raons que el produeixen. La transició de la física de pissarra a la física experimental és, sens dubte, difícil, sobretot si cal construir una cubeta d'ones i no hi ha cap altre forma d'aconseguir-la. Però, per a la persona que la construeix, veure-la en funcionament és tota una recompensa pel desafiament tècnic que comporta. També per als alumnes és força sorprenent observar la forma física d'una ona, l'amplitud o la longitud d'ona reflectides a l'aigua, com canvia l'ona quan l'emissor es propaga o el sorprenent fenomen de la difracció. Per a ells és tot un repte enfrontar-se a la identificació dels fenòmens que han estudiat. L'experimentació enriqueix l'experiència d'ensenyar física i la cubeta en aquest procés pot ser una gran ajuda.

Agraïments

No vull acabar aquesta article sense agrair la col·laboració de Juan Antonio Jiménez Salas. El seu canal és <https://www.youtube.com/user/Lavoisier2001>. La primera cubeta que vaig construir va ser gràcies a les seves aportacions.