

# 117

# Simple+ física



## Ola, ola, ola... no vengas sola (9 - 13 junio 2008)

Estamos en una playa y vemos que las olas llegan paralelas a su orilla. Caminamos y nos vamos a otra playa, cuya orientación es diferente de la primera y... allí también llegan las olas paralelas a esa orilla. Y así sucede con todas las playas.

¿Por qué llegan las olas siempre paralelas a la orilla de las playas,<sup>1</sup> si cada playa tiene una orientación diferente?



---

AVISO: El objeto de *Simple+mente física* no va más allá del placer que proporciona plantearse y resolver sencillas cuestiones razonando (y experimentando) de acuerdo con principios básicos de la física. No hay ningún tipo de compensación, excepto la satisfacción personal y no van dirigidas a ningún grupo de personas en particular (es decir, están abiertas a todo el mundo).

El primer día hábil de cada semana se presentará una nueva cuestión y la respuesta a la cuestión de la semana anterior.

---

Rafael Garcia Molina, Departamento de Física - CIOyN, Universidad de Murcia (rgm@um.es)

<http://bohr.inf.um.es/miembros/rgm/s+mf/>

---

<sup>1</sup> A no ser que haya un fuerte vendaval.

**Resp. :** Las ondas que se propagan en la superficie de un líquido tienen una velocidad  $v$  que disminuye a medida que se reduce la profundidad  $h$  del líquido. En concreto, la fórmula que relaciona la velocidad de la onda con su longitud de onda  $\lambda$  y con las características del líquido (densidad  $\rho$ , tensión superficial  $\gamma$ ) es:

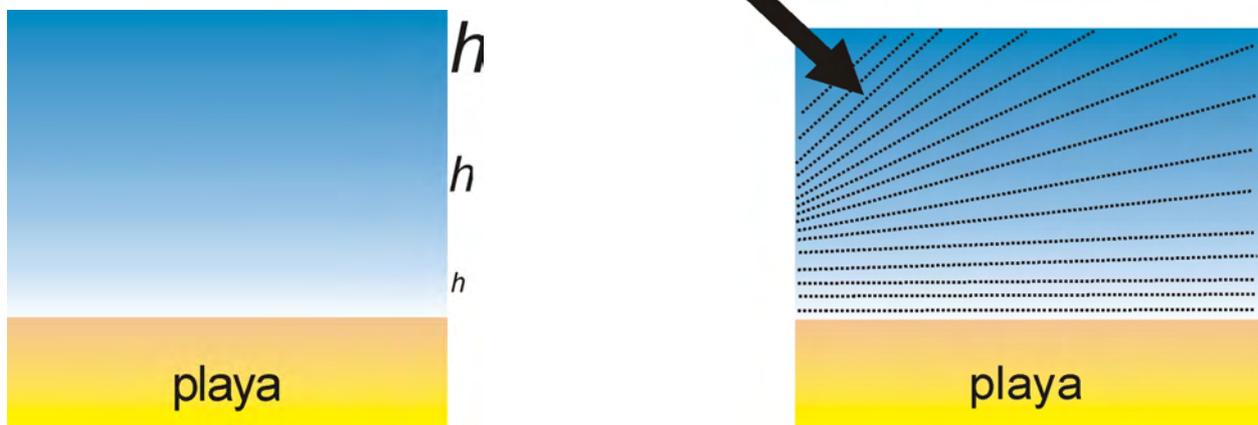
$$v = \sqrt{\left( \frac{g\lambda}{2\pi} + \frac{2\pi\gamma}{\rho\lambda} \right) \tanh\left( \frac{2\pi h}{\lambda} \right)},$$

donde  $g$  es la aceleración debida a la gravedad terrestre. La función  $\tanh(\dots)$  es la tangente hiperbólica:  $\tanh x = (e^x - e^{-x}) / (e^x + e^{-x})$ . Como puede comprobarse, la velocidad de la onda depende de su longitud de onda.<sup>2</sup> Si la profundidad es mucho mayor que la longitud de onda ( $h \gg \lambda$ ), la expresión anterior se reduce a<sup>3</sup>

$$v = \sqrt{\left( \frac{g\lambda}{2\pi} + \frac{2\pi\gamma}{\rho\lambda} \right)}.$$

Otro motivo que contribuye a la disminución de la velocidad de las olas al reducirse la profundidad es el aumento del rozamiento con el lecho del fondo.

Por lo general, el aumento en la profundidad de las playas al alejarnos de la orilla tiene lugar gradualmente, con las curvas de nivel dispuestas paralelamente a la orilla. En la figura izquierda, que representa una playa, la orilla está representada en color amarillo y el mar en color azul, cuya intensidad aumenta a medida que crece la profundidad  $h$ .



En la figura de la derecha se muestra una ola que se ha generado en alta mar, impulsada por un viento (representado por la flecha negra) que forma un determinado ángulo con la orilla. Cuando la ola se acerca a la orilla, su velocidad en las zonas más

<sup>2</sup> Cuando la velocidad de propagación de la onda depende de la longitud de onda se dice que hay dispersión.

<sup>3</sup> Nótese el diferente comportamiento de la velocidad entre las ondas de gran longitud de onda ( $v = \sqrt{g\lambda / (2\pi)}$ ) y las de pequeña longitud de onda ( $v = \sqrt{2\pi\gamma / (\rho\lambda)}$ ). Las primeras se denominan "ondas gravitatorias" y su velocidad no depende de la naturaleza del líquido, aumentando con  $\lambda$ . Las segundas se denominan "ondas capilares", su velocidad sí que depende de la naturaleza del medio y disminuye con  $\lambda$ .

profundas es mayor que en las menos profundas. De esta manera, la parte de la ola más próxima a la playa avanza menos que la parte más alejada, lo que ocasiona que el frente de la onda tienda a alinearse paralelo a la playa.

Así pues, el efecto neto es que, independientemente de la dirección original de las olas cuando se aproximan a la playa, tan pronto "notan" el fondo del mar comienzan a "maniobrar" para orientarse paralelas a la orilla. Claro está que todo esto sucede si no sopla un viento fuerte, pues en este caso la dirección de las olas que llegan a la orilla está determinada por la dirección del viento.

Como vemos, las ondas en las superficies de los líquidos se refractan cuando cambia la profundidad del líquido, de la misma manera que la luz se refracta cuando cambia el índice de refracción del medio a través del cual se propaga.

*Miscelánea (frases, anécdotas, curiosidades...):* A continuación se reproduce el menú de la cena privada que Rafael Campalans ofreció a Albert Einstein el día 27 de febrero de 1923, cuando visitó Barcelona. Según los diarios de la época, se empleó "latín relativista" (con algunas erratas) para escribir la lista de platos. Seguidamente se transcribe todo el menú, que es un homenaje a Einstein<sup>4</sup> (en latín a la izquierda, en castellano a la derecha).

**[Anverso] - Coena in honorem Doctoris Einstein Pontificis scientiarum**

{firma autógrafa} Albert Einstein 1923

**[Reverso] - Scientia a priori**

**Solida**

Cannulae Fizeauniensis

Penaei Caramote et Mollusci Gaussensis cum jure Magonensi in perihelio

Fabae Laurentzianae catalaunice transformate

Phasianus nyctemerus Minkowskiensis, quatriplex dimentiones

Homo platonicus secundum Diogenem cum jure Michelsoniense

Continuos Euclidianus glaciatus

Encasadae Furni Sancti Jacobi et Saccharea edulia Weyliensia, simultanea

Fructus Galilei

**Liquida**

Castrum Remedii gravitatorium

Xeres Thii Josephi inertialis

Malum parvum cum Doppler effectu

Xampanyus relativisticus Codorniuensis deflectens lucem

Caffea sobraliensis cum spirituosibus liquoribus et vectoribus tabacalibus

**Tempus locale:**

II Kalendas Martii, Anno XLIV Erae Einsteinianae

**Locus:**

Aedibus Campalani, studiosi catalaunici Barcinonensis

**[Anverso] - Cena en honor del doctor Einstein pontífice de la ciencia**

{firma autógrafa} Albert Einstein 1923

**[Reverso] - Ciencia a priori**

**Sólidos**

Canelones a la Fizeau

Langostinos y mejillones a la Gauss con salsa mayonesa en el perihelio

Habas a la Lorentz transformades a la catalana

Faisán plateado a la Minkowski en cuatro dimensiones

Hombre platónico según Diógenes [pollo] con salsa a la Michelson

Helado continuo euclidiano

Tetas de monja [pasteles], del Forn de Sant Jaume, y repostería a la Weyl, simultáneas

Fruta de Galileo

**Líquidos**

[Vino] Castillo del Remedio gravitatorio

Jerez inercial Tío Pepe

Manzana pequeña con efecto Doppler [sidra]

Champaña Codorniu relativista que desvía la luz

Café de Sobral [Brasil] con licores espirituosos y vectores de tabaco

**Tiempo local:**

Día segundo antes de las calendas de marzo del año XLIV de la era einsteiniana [1923]

**Lugar:**

Residencia de Campalans, estudioso catalán de Barcelona

<sup>4</sup> E. Sallent y A. Roca, Sopar a Barcelona en honor d'Albert Einstein (1923), *Revista de Física*, número especial (2005) 57.

Oliva de Gilanova, imp.  
Barcelona

Coena  
in honorem  
Doctoris Einstein  
Pontificis scien-  
tiarum

*Albert Einstein. 1923.*

Scientia a priori

☞ Solida ☞

Lannulae fizeauniensis

**P**enaei Caramote et Mollusci Bausse-  
sis cum jure Wagonensi in perihelio

Fabae Laurentzianae catalaunice  
transformate

**P**hasianus nycthemerus Winskowskien-  
sis, quatriplex dimentiones

Homo Platonicus secundum Diogenem  
cum jure Michelsoniense

**C**ontinuos Euclidianus glaciatus

Encasadae Furni Sancti Jacobi et  
Saccharea edulsa Weyliensis, simultanea  
**F**ructus Galilei

☞ Liquida ☞

Lastrum Remedii gravitatorum

**X**eres Chii Josephi inertialis

Malum parvum cum Doppler effectum

**K**ampanyus relativisticus Lodomiensis  
deslectens lucem

Caffea sobriensis cum spirituosibus  
liquisibus et vectoribus tabacalibus

**I** Tempus locale :

II Kalendas Martii, Anno XLIV  
Erae Einsteinianae

**I** Locus :

Bedibus Campalani, studiosi catalaunici  
Barcinonensis