

# Movimiento dirigido de *kinks* sin fuerzas externas

Bernardo Sánchez-Rey<sup>1</sup>, Jesús Casado-Pascual<sup>2</sup> y Niurka R. Quintero<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Departamento de Física Aplicada I, E. S. P., Universidad de Sevilla, Virgen de África 7, 41011 Sevilla, Spain

<sup>2</sup>Física Teórica, Universidad de Sevilla, Apartado de Correos 1065, 41080 Sevilla, Spain

Los solitones son ondas no lineales localizadas que en muchas situaciones se comportan como partículas. Como tales, se les puede asignar masa, velocidad y otras características típicas de las mismas. Un tipo particular de solitones son los denominados *kinks*, que son soluciones exactas de una ecuación diferencial no lineal en derivadas parciales llamada ecuación de sine-Gordon,

$$\Phi_{tt} - \Phi_{xx} + \sin(\Phi) = 0, \quad (1)$$

donde el campo  $\Phi(x, t)$  depende del espacio  $x$  y del tiempo  $t$ . Esta ecuación describe una gran variedad de sistemas físicos, que van desde las dislocaciones en cristales [1], hasta las uniones Josephson largas [2].

En este contexto, un tema que ha suscitado bastante interés ha sido el estudio de las condiciones bajo las cuales se induce un movimiento dirigido de solitones, independiente de las condiciones iniciales, aplicando fuerzas de promedio nulo. Con ello, se ha pretendido extender a este tipo de estructuras un fenómeno observado en partículas puntuales denominado *efecto ratchet*. Este efecto, además de tener importantes aplicaciones prácticas en los campos de la Biología y la Nanotecnología, es de por sí de gran interés teórico, ya que el movimiento dirigido surge como consecuencia de la ruptura de ciertas simetrías subyacentes [3, 4, 5].

En esta contribución describimos un nuevo mecanismo mediante el cual se genera un movimiento dirigido de *kinks* [6]. A diferencia de otros mecanismos anteriormente estudiados, no se precisa de fuerzas externas. El movimiento dirigido es consecuencia de la transición entre estados del sistema, que considerados por separado no dan lugar a transporte neto alguno. En particular estudiamos el sistema

$$\Phi_{tt}(x, t) - \Phi_{xx}(x, t) + \beta\Phi_t(x, t) + \sin[\Phi + \theta\eta(t)] = 0 \quad (2)$$

donde  $\eta(t)$  es una función  $T$ -periódica y  $\theta$  es un parámetro que ajusta la amplitud de  $\eta(t)$ .

Analizamos un caso en el que las transiciones ocurren entre dos estados discretos. En un periodo  $T = \tau_{+1} + \tau_{-1}$  en el intervalo de tiempo  $\tau_{+1}$ ,  $\eta(t) = +1$  y en el siguiente intervalo de tiempo  $\tau_{-1}$ ,  $\eta(t) = -1$ .

En el segundo caso el sistema transita de forma continua pasando por infinitos estados definidos por

$$\eta(t) = \cos(\omega t) + \cos(2\omega t + \delta), \quad (3)$$

donde  $\omega$  y  $\delta$  representan la frecuencia y la diferencia de fase de la señal, respectivamente.

En el caso discreto, el transporte neto ocurre únicamente si los tiempos de residencia en cada estado son diferentes. En la Fig. 1, la línea azul muestra la ausencia de movimiento dirigido cuando los tiempos de residencia son iguales, mientras que la línea roja pone de manifiesto la emergencia de

transporte para tiempos diferentes. El caso continuo se describe analíticamente utilizando la teoría aproximada de coordenadas colectivas.

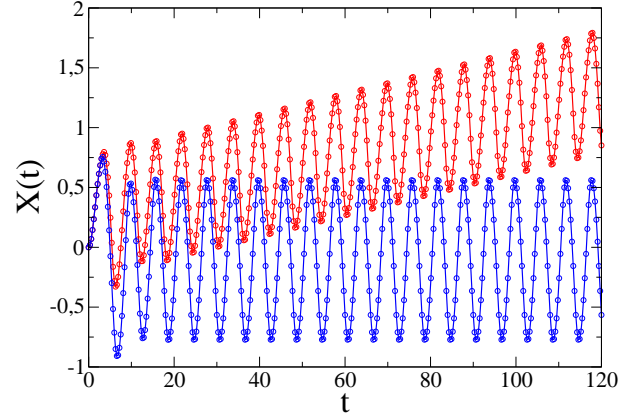


Figure 1: Evolución del centro del *kink* obtenido a partir de las simulaciones de (2). Línea roja: movimiento dirigido del *kink*  $\tau_{+1} \neq \tau_{-1}$ . Línea azul:  $\tau_{+1} = \tau_{-1}$ . Parámetros:  $\theta = 0.8$ ,  $T = 6$ ,  $\beta = 0.8$ .

Aunque el mecanismo propuesto ha sido investigado dentro del marco específico de la ecuación de sine-Gordon, puede ser fácilmente generalizado a otros sistemas con soluciones tipo solitón.

- 
- [1] Braun O. M, Kivshar Yu. S., *The Frenkel-Kontorova model. Concepts, methods and applications*, Springer (2004).
  - [2] A. V. Ustinov, C. Coqui, A. Kemp, Y. Zolotaryuk and M. Salerno, *Phys. Rev. Lett.* **93**, 087001 (2004).
  - [3] P. Reimann, *Phys. Rep.* **361**, 57 (2002).
  - [4] J. A. Cuesta, N. R. Quintero and R. Álvarez-Nodarse, *Phys. Rev. X* **3**, 041014 (2013).
  - [5] J. Casado-Pascual, J. A. Cuesta, N. R. Quintero, and R. Alvarez-Nordarse, *Phys. Rev. E* **91**, 022905 (2015).
  - [6] Bernardo Sánchez-Rey, Jesús Casado-Pascual, and Niurka R. Quintero, *Phys. Rev. E* **94**, 012221 (2016).