

Solitones brillantes

Seleccionando la opción de solitones brillantes nos adentramos en una aventura que nos permitirá descubrir distintas propiedades de estos solitones mediante el estudio de como actúan bajo la influencia de ciertos potenciales. Si bien el concepto de solitón no nos es común y puede parecer un tanto extraño, por no mencionar que se rige por propiedades cuánticas, veremos a lo largo de nuestro viaje que no es tan diferente a lo que vemos en nuestro día a día en ciertos casos.

1. Introducción

Sin entrar en mucho detalle, un solitón es una onda que no cambia su forma cuando se propaga, es decir, no se deforma. Es remarcable de esta definición el hecho de que es una onda, y por lo tanto viene descrita por una función de onda, la cual nos indicará la posición con cierta probabilidad de nuestra "partícula" si considerásemos el solitón como tal. Ya hemos visto el tratamiento de una función de onda bajo potenciales armónicos y en movimiento libre en el bloque de *WavePack Dispersion*, así que hemos cogido cierta familiaridad.

También hemos podido ver como hay otro tipo de solitón aparte de los que trabajaremos en esta sección: los solitones oscuros. La diferencia principal entre unos y otros es el signo de su interacción: los solitones brillantes presentan una interacción negativa (y por lo tanto son atractivos), mientras que los oscuros presentan una interacción positiva (repulsivos). ¡Empezemos pues con los solitones brillantes!

2. El solitón brillante libre

Solo entrar podremos ver la forma usual de un solitón brillante, parecido a las funciones vistas en *WavePack Dispersion*, pero debemos saber que la función matemática que describe un solitón brillante es distinta a la de un paquete gaussiano.

Supongamos primero que el solitón no se encuentra en ningún potencial externo (seleccionemos *None*, viene por defecto) y dándole una posición y velocidad inicial, veremos como el solitón se comporta siguiendo un movimiento rectilíneo uniforme (MRU). Ahora bien, podemos decidir tener el solitón libre por un circuito cerrado interconectado o encerrarlo en una caja. Podemos entender el primer caso como un coche de carreras dando vueltas en un circuito, una vez llega al final (meta) vuelve al inicio; en el segundo caso sería como dejar una canica dentro de una caja pero con cierta velocidad inicial, esta chocaría contra las paredes e iría en sentido contrario.

Empecemos con un caso sencillo, dejando el solitón libre (sin la restricción que supone una caja) y situemos el solitón a una posición $x_0 > 0$ y con $v = 10$. Seleccionemos *Start* para empezar con el cálculo. Una vez obtenidos los resultados, se pueden mirar las gráficas más a fondo, intentando entender los resultados obtenidos.

- **¿Te atreves?** ¿Eres capaz de calcular el valor de la energía cinética del solitón, suponiendo que su masa es $m = 1$? Comprueba su valor en la figura de *Energies*.

- **¿Te atreves?** Entra ahora en la figura de *Position's mean value*. ¿Qué es lo que sucede aquí? ¿Porqué vemos una pendiente $\frac{dx}{dt}$ con un cambio brusco sabiendo que esta es precisamente la definición de velocidad, mientras que en la figura *Velocity* se aprecia una velocidad constante? **Pista:** puedes ayudarte de la casilla con un ?.

Descubramos qué otro ejemplo se esconde bajo el caso de tener el solitón encerrado en una caja seleccionando esta opción en "*The soliton is:*" e introduciendo algunos parámetros y finalmente dándole a *Start* para empezar el cálculo.

- **¿Te atreves?** ¿Serías capaz de calcular la tensión del objeto que aparece en pantalla sabiendo que la masa de éste es 10g, su longitud de 2m y dada la velocidad introducida? Deduce primero como calcularla teniendo en cuenta que sólo se precisa de la tensión (en Newtons, pues se trata una fuerza) del objeto, la longitud del objeto (en metros) y la velocidad del pulso (en m/s), y sabiendo que las unidades de masa son kg.

3. ¡El solitón cae en una trampa!

Cambiamos ahora de potencial: pongamos nuestro solitón en una trampa armónica. Para ver unos mejores resultados seleccionemos un caso particular que nos permitirá ver con claridad el comportamiento del solitón en este potencial. Seleccionemos pues *Demo 1* para empezar el cálculo. En este caso se ha seleccionado una fuerza de interacción de -0.8 , eso nos dará un solitón más estrecho, es decir, más **unido/ligado**. En este apartado tenemos un potencial armónico centrado en la posición 0, y veremos como el solitón brillante se comporta tal y como lo haría una partícula clásica unida a un muelle. Una vez acabado de realizar el cálculo, podemos comprobar que el solitón oscila alrededor de 0. Miremos dentro de las distintas gráficas generadas para entender mejor el movimiento oscilatorio.

- **¿Te atreves?** Mirando la gráfica de velocidad en función de la posición, ¿puedes decir cuándo la velocidad es mayor y cuando menor? ¿Como relacionarías lo que acabas de encontrar con la conservación de la energía?

Podemos ahora acceder a la opción *Guess the function* que nos permitirá entender como se describe matemáticamente el movimiento ya observado. Introduce unos valores para A y ω y pulsa sobre *Try* para ver el resultado.

- **¿Te atreves?** ¿Qué deben significar los parámetros A y ω ? ¿Podrías relacionarlos con algún valor conocido y/o introducido?

A pesar de que en este apartado se aprecie cierta similaridad con el caso de una partícula clásica, debemos recordar que estamos tratando con física cuántica, y no se debe confundir pensando que se trata de lo mismo. Hay ciertos comportamientos regidos por la cuántica que tienen su analogía a la clásica, como se trata en cierta manera del oscilador armónico. A pesar de estos, hay algunos que no presentan analogías claras con la clásica, como veremos en el siguiente apartado.

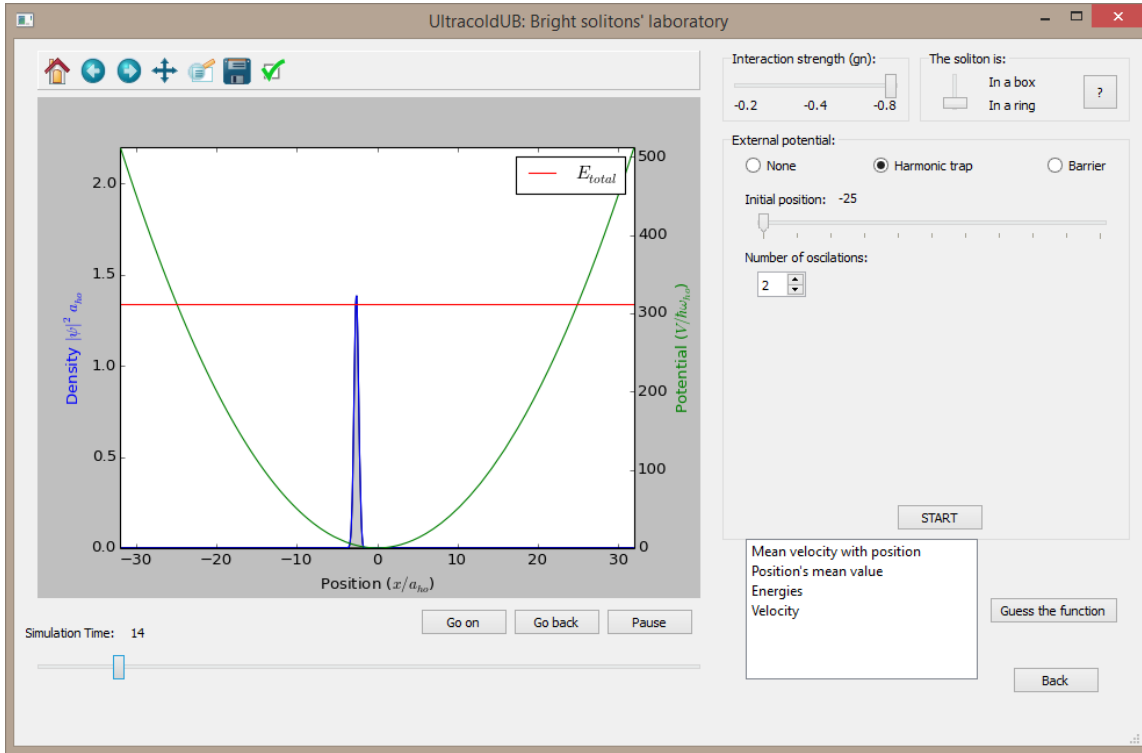


Figura 1: Ejemplo de visualización de un módulo del programa, con todos los parámetros iniciales y representación gráfica de la evolución temporal del solitón. En este caso se aprecia el solitón bajo la una trampa armónica realizando una evolución temporal correspondiente a 2 oscilaciones.

4. El impacto del solitón

Vayamos al último bloque de los solitones brillantes: un solitón chocando contra una barrera de potencial. A diferencia de lo que vemos en nuestro día a día, el solitón se rige por las leyes de la mecánica cuántica, donde todas las entidades presentan a su vez una forma ondulatoria (según la dualidad de De Broglie). Esto nos lleva a fenómenos tan extraños como el llamado efecto túnel, donde una onda como el solitón tiene cierta probabilidad de ser encontrado al otro lado de barrera de potencial finita, al contrario de lo que sucedería si considerásemos un balón al ser lanzado contra una pared. En este último caso nunca veremos el balón cruzar mágicamente la pared; en este bloque podremos comprobar como el solitón puede llegar a hacerlo.

Selecciona *Demo 2*. Podrás ver lo que sucede en la pantalla correspondiente a la Simulación 1 (ver botón *Sim* : 1). Para entender mejor lo que está ocurriendo se puede cambiar la simulación a otras 2 distintas. Ambas se corresponden con analogías mediante la luz. Para un entendimiento mejor de lo que implica la Simulación 3 se puede consultar el Experimento de la doble rendija, puesto que en esta simulación se refleja lo que sucede realmente. En este caso ya seleccionado lo que se hace es dividir el solitón en dos partes iguales. A su vez, podemos ver más en detalle las condiciones introducidas: vemos que la altura de la barrera es mayor a la energía cinética del solitón, pues es en este caso cuando se dice que ha sucedido el efecto túnel. De hecho, se pueden encontrar casos en que el solitón pasa al otro lado fácilmente cuando su energía es mayor a la barrera, pero este caso no presenta

ningún interés, pues en el caso clásico sucedería lo mismo. No obstante, cuando el solitón presenta una energía menor a la barrera no debería pasar pensándolo clásicamente, pero en el mundo cuántico sí que sucede, y es precisamente lo que muestra este caso.

- **¿Te atreves?** Mirando la figura de *Position's mean value*, ¿podrías decir qué significan las barras verticales que aparecen y por qué se van haciendo mayores con el paso del tiempo?
- **¿Te atreves?** ¿Podrías decir con la información que dispones a partir de las figuras si el solitón se ha dividido en dos partes exactamente iguales? En el caso que la respuesta sea no, ¿en qué lado de la barrera hay más probabilidad de ser encontrado y por qué?