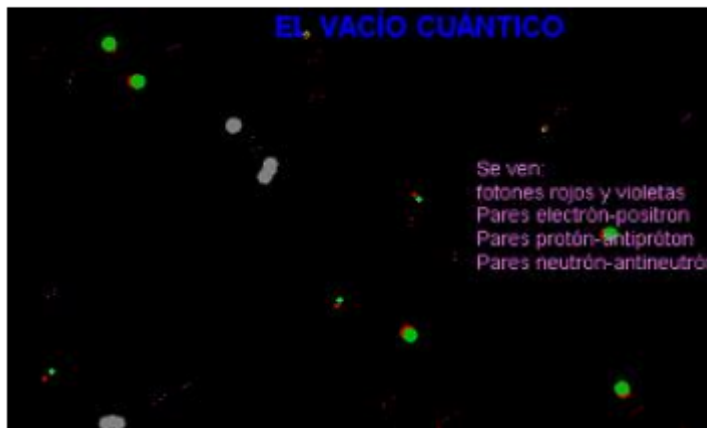


Werner Karl Heisenberg en 1933. En la época de sus grandes aportaciones a la Mecánica Cuántica.



Muy posiblemente el espacio no está tan vacío como nos parece. Como ves en la imagen adjunta, continuamente aparecen y desaparecen parejas de las llamadas **partículas virtuales**. El **principio de incertidumbre** de Heisenberg pone estas partículas, sin embargo, más allá del límite de la percepción humana. Todas ellas se aniquilan antes de que podamos percibir las.

- ¿Cuánto tiempo puede existir un fotón de luz violeta como partícula virtual ?
- ¿Cuánto tiempo podrían existir una pareja positrón electrón?
- El intervalo de tiempo más pequeño concebible se llama tiempo de Planck.  
¿Qué masa puede tener una partícula virtual que subsista ese tiempo?

## SOLUCIÓN

En los datos observamos que la longitud de onda de la luz violeta es:  $L = 4 \cdot 10^{-7} \text{m}$  y que la velocidad de la luz es  $c = 3 \cdot 10^8 \text{m/s}$ .

Como se recuerda en la página de orientación, La longitud de onda y la frecuencia se relacionan a través de  $L = c/f$  así que la frecuencia  $f = c/L = 7,5 \cdot 10^{14} \text{hz}$ .

La energía de un fotón de luz violeta viene dada por  $E = h \cdot f$  donde  $h$  es la constante de Planck:  $h = 6,63 \cdot 10^{-34} \text{J}\cdot\text{s}$ . Sustituyendo valores:  $E = 4,97 \cdot 10^{-19} \text{J}$

En el caso de las partículas virtuales, deben crearse por parejas, partícula y antipartícula, así que la fluctuación de energía en en punto donde aparece el par será :  $\Delta E = 2 \cdot E = 9,94 \cdot 10^{-19} \text{J}$ .

El principio de incertidumbre para la energía es:  $\Delta E \cdot \Delta t \geq h$ , así que ya podemos contestar la primera pregunta. El fotón violeta podrá existir un tiempo máximo:

$\Delta t = h/\Delta E = 6,67 \cdot 10^{-16} \text{s}$ . Para hacernos idea de la pequeñez de este tiempo, pensemos que un cronómetro normal de laboratorio tiene una sensibilidad típica de 0,01s. ¡Estamos hablando de una

cantidad del orden de cien billones de veces menor!

Para calcular la energía equivalente a la pareja electrón-positrón aplicaremos la célebre igualdad de Einstein:  $E = m \cdot c^2$ . La masa de un electrón o un positrón es  $m = 9,1 \cdot 10^{-31} \text{kg}$  así que su energía es:  $E = 8,37 \cdot 10^{-14} \text{J}$  y la energía para crear el par de partículas será:  $\Delta E = 1,67 \cdot 10^{-13} \text{J}$  (el doble que para una sola partícula).

Aplicando de nuevo el principio de incertidumbre, El máximo tiempo que puede existir ese par de partículas sin ser percibido es:  $\Delta t = h / \Delta E = 3,96 \cdot 10^{-21} \text{s}$ . Casi doscientas mil veces menos que el fotón violeta.

Busquemos ahora la masa correspondiente a la partícula más grande que podría crearse (con su antipartícula) por efecto del principio de incertidumbre. Para ello, comprobamos en la página de datos que el tiempo de Planck es  $\Delta t = 5,39 \cdot 10^{-44} \text{s}$

Según el principio de incertidumbre, la energía correspondiente para el par de partículas sería:  $\Delta E = h / \Delta t = 1,23 \cdot 10^{10} \text{J}$ . La energía total de cada partícula del par sería:  $E = 6,15 \cdot 10^9 \text{J}$

según la equivalencia de Einstein, esta energía representa una masa  $m = E / c^2 = 6,84 \cdot 10^{-8} \text{kg}$ . Puede parecer una cantidad muy pequeña, pero es millones de veces mayor que el ADN que contiene una célula de nuestro cuerpo.