

# Principio de Indeterminación

Hoy voy a hablar del Principio de indeterminación de Heisenberg, uno de los pilares básicos sobre los que se asienta la física actual.

A modo de introducción, la mecánica cuántica es el resultado de la revolución que se produce en la física en el periodo que va desde los últimos años del siglo XIX y los primeros del XX, y que se inicia con las teorías especial y general de la relatividad, y que seguirá con la mecánica cuántica propiamente dicha.

Si a finales del siglo XIX las eminencias de la física creían haber llegado a los últimos estadios del conocimiento y que solo era preciso ajustar unas pocas incongruencias, la realidad se encargó de derribar esa creencia y abrir un nuevo universo a explorar.

Algunas de estas incongruencias, como las derivadas de la radiación de un cuerpo negro (“catástrofe ultravioleta”) fueron resueltas por la mecánica cuántica.

Sin embargo, en 1924 el desarrollo de la teoría estaba embarrancado. La doble naturaleza corpuscular y ondulatoria postulada por Louis de Broglie requería un encaje de bolillos para su integración en las otras teorías clásicas. Faltaba una formulación matemática coherente que describiera la realidad. Y fue precisamente Heisenberg quien la desarrolló. Resultado de la misma fue el principio de indeterminación que lleva su nombre.

Ni estos resultados, ni las matemáticas utilizadas (cálculo matricial), altamente complejas, fueron del gusto del resto de la comunidad científica, pero un nuevo enfoque, esta vez protagonizado por Schrödinger y desarrollado a partir de la función de onda, llegó a los mismos resultados. Aunque ambos científicos rechazaban la opción contraria de cálculo, tuvieron que plegarse a la evidencia cuando Schrödinger demostró que ambas opciones eran equivalentes.

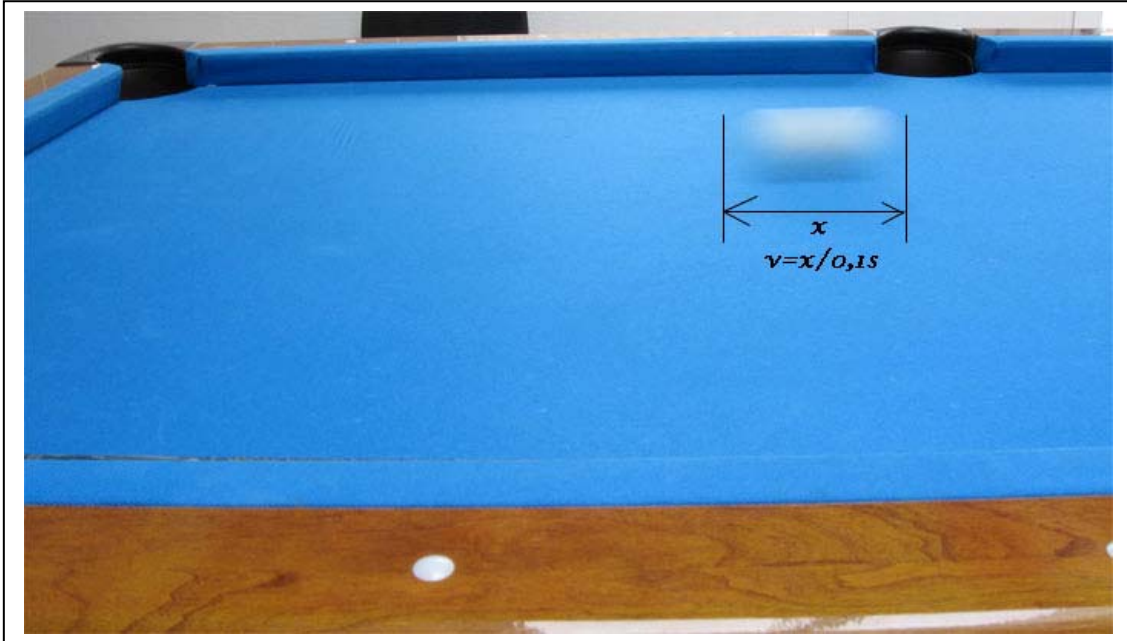
Pero ¿Qué dice el principio de indeterminación? En palabras muy simples, que pares de valores observables, por ejemplo la posición de una partícula y su velocidad de desplazamiento, no pueden conocerse ambos con precisión absoluta.

O bien podemos conocer con total precisión la posición de una partícula, o bien la velocidad a que se mueve. No las dos cosas a la vez.

Para una mayor claridad, he preparado las dos siguientes fotografías con las que pretendo dar una imagen gráfica del tema. Debe

entenderse que no son la aplicación real del principio de indeterminación, solo una representación visual para facilitar la comprensión.

En la primera foto vemos el movimiento de la bola de billar. Podemos determinar su dirección y, sabiendo que la exposición es de 1/10 de segundo, la velocidad. Pero la borrosidad de la bola nos impide situarla en un punto concreto.



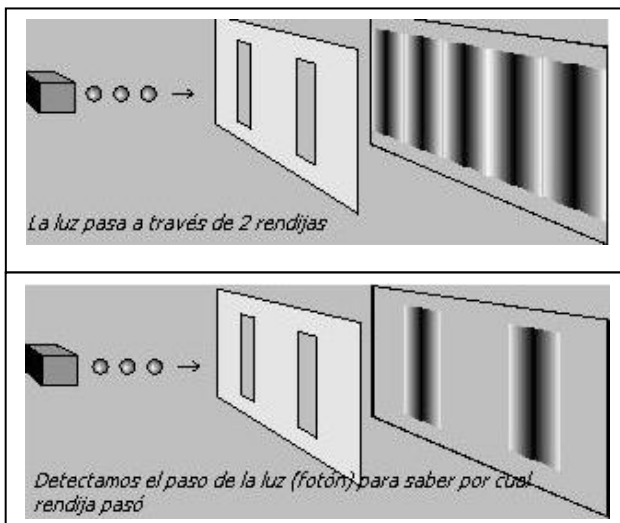
En la segunda foto vemos claramente la posición, pero es imposible saber su velocidad. Ni siquiera de ella podemos deducir que se este moviendo.



De ello quiero recalcar que la medición realizada da el resultado correspondiente al valor buscado. Si buscamos velocidad

encontramos velocidad, pero no posición. Si por el contrario buscamos posición la encontramos a costa de perder la información sobre la velocidad.

Este principio es de aplicación a diversos pares de valores y forma parte de la estructura básica de la mecánica cuántica y de la propia naturaleza. El famoso experimento de la doble rendija es otro ejemplo. Si frente a un emisor de luz situamos una cartulina con una doble rendija, los resultados en la pantalla de detección posterior dependerán de lo que estemos buscando. Si son ondas, nos mostrará el clásico patrón de interferencias. Si buscamos el impacto de los fotones corpusculares, una distribución típica con desaparición de las franjas de interferencia.

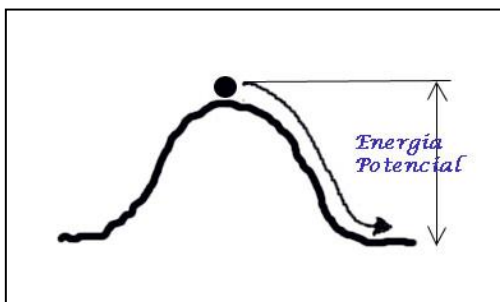


Ni decir tiene que una parte de los físicos se mostraron escépticos y renuentes a aceptar este aspecto de la física, Einstein entre ellos. No podía aceptar que la naturaleza le escondiera las cartas.

El propio Schrödinger, pese a haber colaborado en el asentamiento de este principio, no se sentía cómodo con él.

Su experimento mental conocido como *el gato de Schrödinger*, del que ya he hablado en otro artículo, tenía por objeto poner en cuestión la realidad del propio principio.

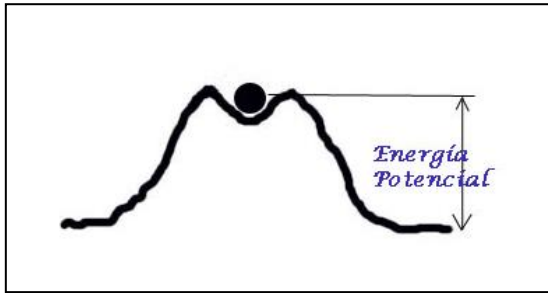
Sin embargo y pese a lo incomprensible que resulta a nuestras mentes, se ha ido asentando como algo real. Tanto es así que de él se derivan resultados prácticos como el llamado microscopio de efecto túnel, y dicho efecto es un resultado del principio de incertidumbre.



¿Qué es el efecto túnel? Para explicarlo de forma sencilla recurriré a un ejemplo. Imaginemos que estamos en la playa. Hemos hecho un pequeño montículo de arena y en la cima del mismo depositamos una canica. Rápidamente la canica rueda hasta la zona más baja. Explicado

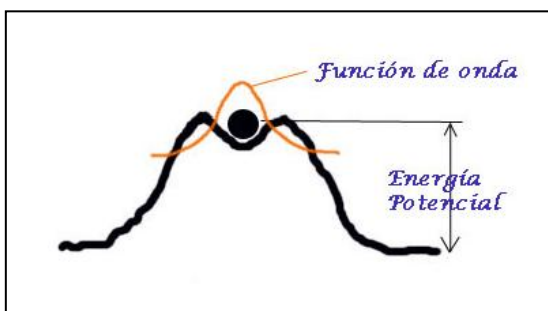
con palabras básicas pero en el marco de la física, la canica en la parte superior del montículo tiene una energía potencial (la altura

sobre la superficie de la playa) que se transforma en cinética al rodar hasta el suelo.



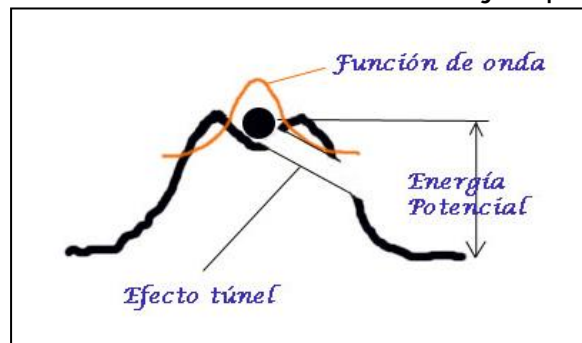
Ahora, en la cima del pequeño montículo, hacemos un pequeño hueco, lo suficiente para que quepa la canica, y depositamos esta allí. La canica ahora no rodará. Permanecerá en la cima. Sigue teniendo la misma energía potencial, pero necesitaría

disponer de una energía extra para saltar los bordes del hueco que la rodean. Hasta aquí física clásica.



Imaginemos que en esta situación macroscópica es posible aplicar el principio de indeterminación y que la canica ya no es una canica, es una onda. Una onda que es más amplia que el diámetro del montículo. Lo que nos dice la onda es que la partícula puede ser localizada en cualquier punto de

la onda. Donde esta tenga más energía será más probable que se encuentre la partícula. Normalmente la partícula se encontrará en la parte central de la onda y por tanto reaccionará como en el ejemplo clásico, permaneciendo en el hueco. Pero en ocasiones aparecerá en alguno de los extremos y por tanto en la pendiente del montículo, rodando hasta el suelo. Como si se hubiera hecho un túnel que conectara el hueco y la pendiente exterior del montículo. De ahí su nombre.



El microscopio de efecto túnel explota este principio. ¿Cómo? Una punta muy fina (el extremo consta de un solo átomo) recorre la superficie a explorar, muy cerca de ella pero sin tocarla. Una diferencia de potencia de pocos voltios conecta superficie explorada y punta. La cantidad de electrones que son captados por la punta de exploración (por efecto túnel) varían en función de cómo varía la distancia que separa la punta de la superficie. Estas diferencias de corriente eléctrica se convierten en una imagen.

Como pedéis ver, la realidad es más fantástica que nuestra imaginación.