

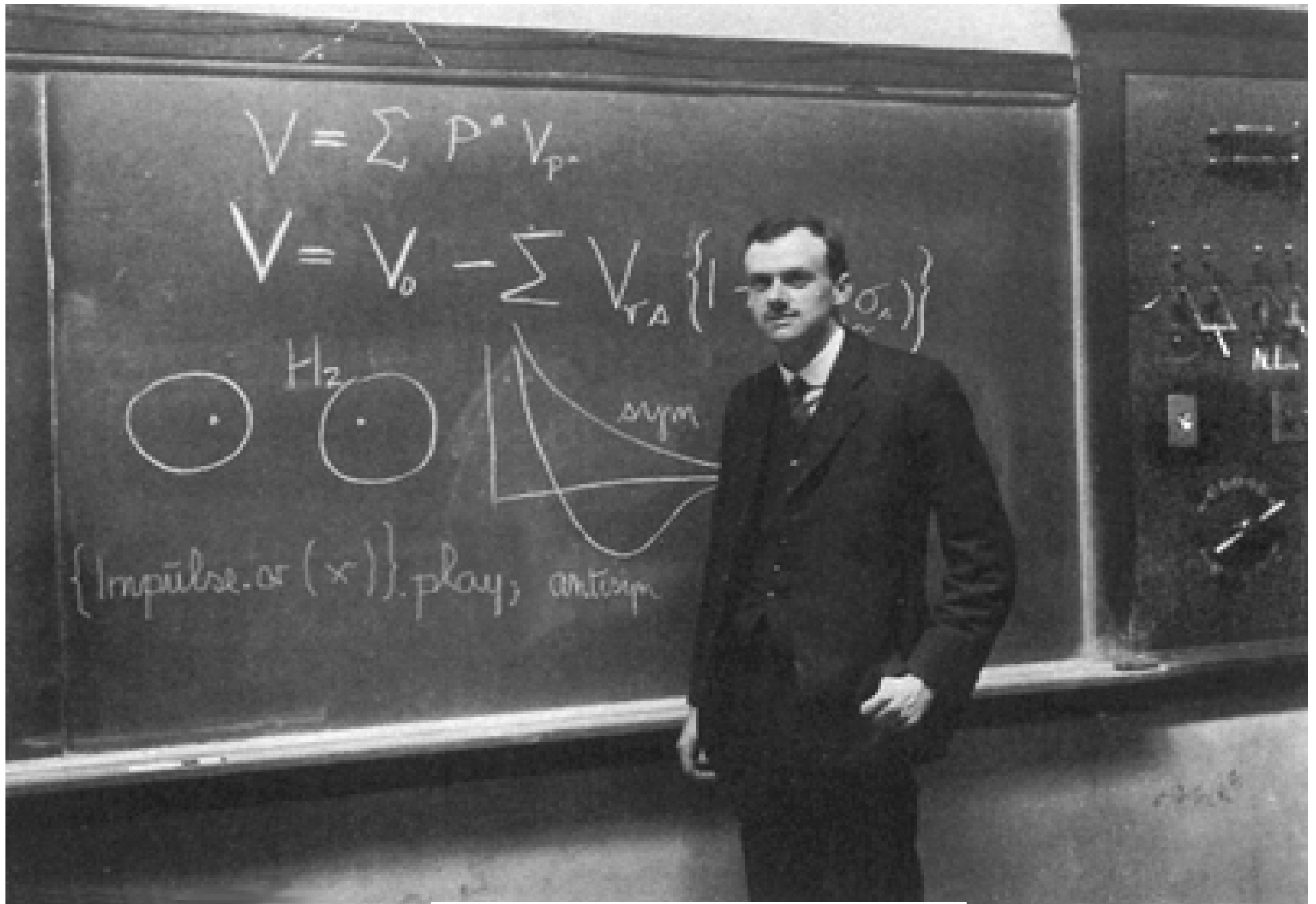
Teorema de no clonación e influencia en el entrelazamiento cuántico

Parte I

Dr. Ing. Ernesto Gandolfo Raso

egandolfo@frm.utn.edu.ar

Estados Cuánticos



Paul Dirac (1902-1984)

Dirac establece el concepto de **estado cuántico**, que es una generalización de conceptos equivalentes en el caso de Schrödinger y Heisenberg (como, por ejemplo, la función de onda o las matrices).

Definición

Un estado cuántico es un objeto matemático que contiene la información de que disponemos sobre un sistema físico

Idealmente, si la cuántica es una teoría completa y conocemos el sistema perfectamente, un estado cuántico contiene ***TODA LA INFORMACIÓN*** acerca del sistema.

Notación de Dirac

Si un sistema se encuentra en un estado E determinado, lo representaremos así: $|E\rangle$.

Si imaginamos que el sistema que estamos estudiando es el Universo completo; en notación de Dirac será:

Universo: $|\Psi\rangle$

La afirmación de que tenemos la información del Universo como sistema significa que conocemos todos los estados posibles de todas las partículas que lo componen.

Decimos entonces que el Universo se encuentra en el estado determinado Ψ .

En el formalismo de la mecánica clásica, conocer el estado de un sistema, es decir, tener un objeto matemático que contenga la información del sistema nos permitiría saber exactamente qué va a suceder con la evolución temporal del sistema en cualquier momento del futuro.

Por ejemplo, conociendo la posición y la velocidad de una partícula en un instante determinado podemos saber exactamente dónde va a estar la partícula en cualquier otro momento posterior.

Por ejemplo, decir que:

el electrón está en el estado $|c\rangle$

sería equivalente a decir que:

se conocen todas las magnitudes relevantes al movimiento del electrón y se es capaz de conocer exactamente dónde va a estar en cualquier instante de tiempo.

Sin embargo conocer exactamente el estado cuántico de un sistema **NO PERMITE SABER** perfectamente lo que vamos a medir si lo observamos (y la razón es el principio de incertidumbre).

Cuando conocemos perfectamente el estado cuántico de un sistema, eso quiere decir que somos capaces de predecir la **PROBABILIDAD de medir un valor determinado de las magnitudes observables en el sistema.**

Supongamos para fijar idea que nuestro sistema a describir es una moneda, y que el único aspecto relevante es si muestra cara o muestra cruz cuando la observamos (da igual, por ejemplo, su color o su temperatura).

Además vamos a suponer que la moneda se encuentra dentro de una caja cerrada de manera que no se pueda ver.

OBSERVAR la moneda significa abrir la caja y mirar dentro.

Este sistema, entonces, puede encontrarse en dos estados posibles, que podríamos definir como:

$|cara\rangle$ y $|cruz\rangle$

Hay que tener cuidado de no confundir *la moneda* con *el estado*:

el estado NO ES la moneda

**EL ESTADO ES TODA LA INFORMACIÓN QUE
TENEMOS SOBRE LA MONEDA**

Cuando miramos la moneda ésta nos muestra únicamente dos posibilidades: o cara o cruz.

Pero la clave de esa frase es “*cuando miramos la moneda*”.

El estado de la moneda *no es el mismo antes y después de mirarla.*

El estado –al representar la información que tenemos del sistema– depende de lo que sabemos acerca de la moneda.

El estado está definido *en cualquier momento, no sólo cuando miramos la moneda, y nos permite predecir lo que veremos si la observamos.*

Por ejemplo, supongamos que se agita la caja cerrada muchas veces, de maneras aleatorias, y luego la deposita sobre la mesa.

¿Cuál es el estado de la moneda? ¿No es $|cara\rangle$ ni $|cruz\rangle$? No se puede decir que “es $|cara\rangle$ o es $|cruz\rangle$ ya que no sabemos cuál de los dos”

El estado de la moneda *está definido en todo momento para nosotros*, y es el que nos permite predecir lo que vamos a observar si miramos la moneda. En este caso, evidentemente, si la única información que existe es que la moneda se ha agitado aleatoriamente y lo único que queremos predecir es si ha salido cara o ha salido cruz, no hay mucho más que decir. Lo que se tiene que tener en claro es que hay, al menos, un tercer estado además de $|cara\rangle$ y $|cruz\rangle$.

Llamemos, por ahora, $|agitada\rangle$ a ese estado, y ya nos preocuparemos luego de cómo obtener más información sobre él.

Pero es que, además de $|cara\rangle$, $|cruz\rangle$ y $|agitado\rangle$ hay más estados posibles, dependiendo de la situación inicial del experimento y de lo que conocemos sobre la moneda.

Por ejemplo, supongamos que se nos informa de lo siguiente: se va a agitar la caja durante un rato de forma aleatoria, y entonces se va a abrir la caja: si la moneda muestra cara, la va a dejar como está, pero si la moneda muestra cruz, va a volver a agitar la caja una vez más de forma aleatoria y terminamos (no se va a mirar cómo está la moneda una segunda vez).

Una vez que se nos ha dicho esto, se toma la caja y se realiza ese proceso para, finalmente, dejar la caja sobre la mesa frente a nosotros.

¿Cuál es el estado de la moneda?

El estado de la moneda ni es $|cara\rangle|cara\rangle$, ni es $|cruz\rangle$ **ni tampoco es** $|agitada\rangle$.

Recordar que el estado nos permite predecir la probabilidad de ver una cosa u otra cuando observemos la moneda, y debería ser evidente que antes, al agitar la caja una vez, había un 50% de probabilidad de ver la moneda como “cara” al abrir la caja y un 50% de verla como “cruz”, mientras que ahora las probabilidades han cambiado (da igual cuánto valen, *lo importante es que no son las mismas de antes y, por lo tanto, el estado no es el mismo*).

Pero se podría inventar muchísimos otros experimentos que podría ser realizado con la caja, informar de ellos y luego preguntar sobre el estado de la moneda.

La realidad está, como suele suceder, peleada con la intuición.

No hay un estado, ni dos, ni tres: hay infinitos estados posibles de la moneda.

De hecho, salvo que haya alguna condición que limite las cosas, cualquier sistema físico, en mecánica cuántica, puede tener infinitos estados: el caso de la moneda es extremo por lo simple (sólo hay dos posibilidades al observarla).

Desde luego, una vez que observamos el sistema, la cosa cambia, y esto es lógico:

si el estado es el conjunto de la información que tenemos sobre el sistema, y observamos el sistema, nuestra información sobre él cambia y, por tanto, su estado también lo hace.

El primer impulso es pensar que esa disociación entre el sistema “real” y su estado es extraña, pero hay que recordar: en los sistemas en los que realmente se notan los efectos cuánticos, a diferencia de nuestra moneda:

No tenemos forma de saber qué es “realmente” lo que pasa en el sistema, independientemente de su estado.

El estado es lo único que tenemos, de modo que describir lo que “pasa realmente” puede ser interesante, pero completamente ajeno al dominio de la cuántica.

Esto no quiere decir que no se pueda especular sobre ello pero, salvo que tenga una consecuencia mensurable en las observaciones que realicemos, no es ciencia.

A todos los efectos prácticos, el estado **ES** el sistema. Esto es así porque se debe recordar que el ejemplo de la moneda éste es un sistema macroscópico, en el que no se notan los efectos cuánticos: esta característica la simulamos metiendo la moneda en la caja.

Dicho con otras palabras, en el caso de la moneda el carácter impredecible y “borroso” del sistema lo hemos forzado utilizando la caja, pero en los sistemas cuánticos reales – como un fotón o un electrón:

la “borrosidad” es inherente a la naturaleza de la materia

El ejemplo de la moneda es útil, pero tal vez haga pensar que los sistemas están bien definidos intrínsecamente y que es nuestra información incompleta la que los hace “borrosos”; pero hay que recordar el principio de incertidumbre.

Se puede pensar también. *“Hay infinitos estados de la moneda, ¡pero no todos son iguales!*

Hay dos ($|cara\rangle$ y $|cruz\rangle$) que son especiales de algún modo, porque la moneda sólo puede mostrar cara o cruz...”

Efectivamente, no todos los estados son iguales: algunos, como estos dos, son especiales.