
FÍSICA CUÁNTICA

Ver: *Técnica / Principio de indeterminación de Heisenberg / Ciencia y filosofía / Observador modifica lo observado / Partículas elementales*

El observador modifica lo observable:

«Es evidente que *la modificación es siempre y solo una modificación para algo que el hombre se propone conseguir y que, por consiguiente, envuelve un momento de saber*; por lo menos, saber lo que se propone. El momento de modificación desde su propia estructura envuelve el momento de saber. La recíproca no es menos cierta, porque tener algo delante no es sin más saber. Para saber necesito penetrar en las cosas, y *ninguna penetración tiene lugar sin modificación*. El hombre, que ejercita con mayor pureza su actitud teórica, deja las cosas como son, pero si quiere saber algo de ellas tiene que modificarlas en alguna medida.

La menor intervención que el hombre puede tener en la realidad cuando la modifica es registrar las cosas. El *registro* es muy difícil de hacer, requiere aparatos registradores, que modifican la realidad, precisamente para poder registrarla. La cosa es todavía más clara si se quiere experimentar: es justamente el punto problemático de todo *experimento*, que por serlo interviene en la realidad que experimenta y la modifica; en todo experimento interviene lo que la cosa es y las modificaciones que el hombre ha introducido en ella por la experimentación.

Ningún fenómeno microscópico de orden electrónico a nivel de partículas elementales puede observarse o experimentarse sin un aparato de medida; ahora bien, el aparato de medida modifica tan profundamente las condiciones de las partículas elementales medidas, que la física actual se encuentra en la incapacidad de predecir unitariamente y con minucioso determinismo, lo que será el curso de las partículas.

Mientras se trata de la luz estudiada sobre el espejo, como la longitud de onda de la luz respecto del objeto iluminado era muy pequeña, iluminar un objeto parecía que no es modificarlo; pero si lo que se ilumina es un electrón, algo cuyas dimensiones son del mismo orden que la longitud de onda, sucede algo parecido a lo que ocurriría si quisiéramos media la temperatura de una habitación poniendo unos bloques de hielo: que se

cambiaría la temperatura anterior de la habitación, que por tanto no podría medirse.

No hay, pues, posibilidad alguna de hacer experimentos o registros si no es interviniendo. Es cierto que el hombre en muchos casos no necesita, y no puede hacer intervenciones de esta naturaleza, por ejemplo, en el campo de las matemáticas o de la filosofía. Pero aun en esos campos, solemos preguntar qué conceptos se manejan; es decir, por lo menos *el hombre introduce modificaciones intencionales en la realidad*.

El hombre inexorablemente interviene física o intencionalmente sobre la realidad. No es inútil recordar a este propósito que la geometría nació en Egipto por necesidad de medir los terrenos inundados por las aguas del Nilo; por agrimensura nació la geometría.

De ahí un gran problema: ¿cuál es la intrínseca unidad del saber y del modificar? Este es el problema central que las cosas nos plantean cuando el hombre quiere hacer su vida. Por razones intrínsecas y por razones históricas, llamemos a esta unidad con un nombre, que no designa una solución sino el título del problema: la *téchne*, la *técnica*. Expresa tan solo la unidad intrínseca entre el saber y el hacer. Y es menester considerar el problema que esta unidad intrínseca plantea.»

[Zubiri, X.: *Sobre el hombre*. Madrid: Alianza Editorial, 1986, p. 330-331]



«Hace años, Rutherford tuvo la idea de suponer que los átomos están compuestos de un núcleo, cuya carga eléctrica resultante es positiva, en torno al cual giran otros corpúsculos de carga negativa, llamados electrones, como los planetas en torno al sol. El núcleo, además de electrones, contendría también corpúsculos de carga positiva, los protones. Ambos elementos se atraen, conforma a la ley de Coulomb, y se mantienen a distancia, precisamente, por la energía del movimiento giratorio del electrón.

Este movimiento provocaría una perturbación en el éter ambiente, la cual, propagada en forma ondulatoria, sería la causa de todos los fenómenos electromagnéticos ya explicados por la teoría de Maxwell. Ahora bien: cada elemento químico se halla caracterizado por un sistema de estas ondulaciones especiales que produce en el espectro luminoso. De tal suerte, el problema de estructura del átomo queda vinculado al de la interpretación de su espectro.

El modelo de Rutherford constituye un primer ensayo de explicación. Habría, pues, una esencial unidad entre los fenómenos que acontecen en el mundo que percibimos y los que acontecen en el interior del átomo; una sola física sería la del macrocosmos y del microcosmos.

Sin embargo, una grave dificultad se interpone a esta concepción. Si la energía de las perturbaciones electromagnéticas fuera debida a la energía cinética, es decir, a la energía aparejada al movimiento planetario del

electrón, es evidente que, en virtud del principio de conservación, la emisión de energía, en forma de ondas electromagnéticas, había de ir acompañada de la pérdida de una cantidad correspondiente de energía cinética, con lo cual el electrón perdería velocidad, y, por tanto, a causa de la atracción eléctrica, iría aproximándose cada vez más al núcleo, hasta caer definitivamente sobre él.

La órbita del electrón no sería circular, sino espiral. En tal momento habría cesado el movimiento y, con él, la producción de ondas electromagnéticas. La materia llegaría rápidamente a un estado total de equilibrio en que no se registraría ningún fenómeno eléctrico ni óptico. La presunta unidad de la física tropezó aquí con una dificultad que la amenazaba en su propia esencia.

Algo parecido había ocurrido al estudiar la distribución de la temperatura en el interior de un cuerpo cerrado, absolutamente aislado del exterior: la llamada radiación del cuerpo negro. Para poder ponerse de acuerdo con la experiencia, Max Planck tuvo la genialidad de renunciar a la idea de que la radiación es un fenómeno que se produce en forma de transiciones continuas e insensibles.

Pensó, en su lugar, que la energía se absorbe y se emite discontinuamente, por saltos bruscos. Poniendo una comparación absurda, supongamos que la temperatura se alterara de diez en diez grados. Si el cuerpo dispusiera de doce, por ejemplo, emitiría tan sólo diez y se reservaría los dos restantes (como si no existieran) hasta tener ocho más, para emitir de un golpe los nuevos diez grados, y así sucesivamente. La absorción y emisión de energía se verificaría, según Planck, por múltiples enteros de una cierta cantidad elemental constante: el *quantum* de acción.

La determinación numérica de esta constante fue la gran creación de Planck. Lleva, por esto, su nombre: *la constante de Planck*. La energía se comporta, pues, como si estuviera compuesta de granos o corpúsculos. Esta idea, conforme, en absoluto, con los datos experimentales, era incompatible con toda la física hasta entonces existente, basada esencialmente en la idea de la continuidad de los procesos físicos.

En realidad, pues, la solución propuesta por Planck para explicar la radiación del cuerpo negro agudiza nuevamente la contradicción entre la experiencia y la física *entera*.

Un colaborador de Rutherford, Niels Bohr, aplicó en 1913 la idea de Planck al modelo atómico de su maestro, y su éxito experimental ha acabado de abrir a los pies de la ciencia el abismo absoluto que la separaba de la experiencia. [...]

Mientras que para Rutherford el átomo emite o absorbe energía mientras se mueve en su órbita, para Bohr las órbitas de los electrones son estacionarias, es decir, no hay radiación mientras el electrón se mueve en ellas, sino tan sólo cuando salta de una órbita a la otra. La frecuencia de la

energía emitida entonces de una cantidad que depende de la constante de Planck y que nada tiene que ver con la frecuencia que habría de esperarse de la traslación del electrón dentro de su órbita. De este modo se agrava un más el problema; no hay relación ninguna entre la frecuencia de la energía de la radiación y la que derivaría mecánicamente de los estados estacionarios del átomo.

Con esta hipótesis, pues, la mecánica de los movimientos electrónicos no tiene nada que ver con la mecánica clásica, la que sirvió para el sistema solar, ni con la física de Coulomb-Maxwell, que exige la estructura continua de la energía y admite todas las posibles distancias entre el electrón y el núcleo. El macrocosmos obedecería a una física continuista, y el microcosmos a una física discontinuista. Y la dificultad sube de punto con sólo pensar que estos dos cosmos no están separados, sino que el uno actúa sobre el otro. ¿Cuál serán entonces la estructura de esta interacción?

Tal es la encrucijada en que se hallaba la física al ocuparse de ella De Broglie, primero y luego Heisenberg, Schrödinger, Dirac. Para comprender la magnitud del problema, piénsese en que no se trata de la dificultad de explicar tal o cual fenómeno concreto, sino de la dificultad de concebir el acontecer físico en general. No puede haber dos físicas, porque hay una sola Naturaleza, la cual, o da saltos, o no los da.»

[Zubiri, Xavier: *Naturaleza, Historia, Dios*. Madrid: Editora Nacional, 1944, p. 249-252]



«La física de los tiempos modernos nació de la *medida de las observaciones*. Esto es lo que concretamente entiende la física clásica por *hechos*. Pero estas expresiones sugieren un equívoco fundamental en las mentes actuales. ¿Qué se entiende por observación? [...] El observador no hace nada, o, si se quiere seguir hablando de “hacer”, no hace sino contemplar, esto es, constatar. Por tanto, él es ajeno –ésta es, por lo menos, la idea– al contenido de lo que observa. [...]

Nada de esto acontece en la física nueva. El observador, por el mero hecho de observar, modifica esencialmente la naturaleza de lo observado, porque necesita iluminar su objeto. [...] Medir tiene, pues, aquí un sentido completamente distinto. En la física clásica, medida significa la relación que realmente existe de por sí entre el metro y lo medido; la medición era la aproximación mayor o menor *la* medida real, que es la única que contaba. Ahora, medir significa *yo mido*, esto es, *realizo* o *puedo efectivamente realizar* una medición. La medición no es una aproximación a la medida, sino que la medida *es*, en sí misma, el valor medio de las mediciones.»

[Zubiri, Xavier: *Naturaleza, Historia, Dios*. Madrid: Editora Nacional, 1944, p. 279-280]



«La matemática y la física matemática son *operaciones* a realizar. Los símbolos matemáticos son tan sólo *operadores*: carecen de todo sentido, como no sea el de ser símbolos de operaciones a realizar sobre otros símbolos que designan observables. La matemática es simplemente una *teoría de operaciones*; no es teoría de *entes matemáticos*.»

[Zubiri, Xavier: *Naturaleza, Historia, Dios*. Madrid: Editora Nacional, 1944, p. 282]



«Resumiendo: para Aristóteles, la Naturaleza es sistema de cosas (sustancias materiales) que llegan a ser por sus causas; para Galileo, Naturaleza es determinación matemática de fenómenos (acontecimientos) que varían; para la nueva física, Naturaleza es distribución de observables. Para Aristóteles, física es etiología de la Naturaleza; para Galileo, medida matemática de fenómenos; para la nueva física, ésta es cálculo probable de mediciones sobre observables.

En la crisis que a la nueva física se plantea, cualquiera que sea su solución, no se trata de un problema interno a la física ni de un problema de lógica o teoría del conocimiento físico: se trata, en última instancia, de un problema de ontología de la Naturaleza. El haber intentado mostrarlo es el sentido de esta breve nota. [...]

No puedo olvidar lo que en cierta ocasión me decía Einstein: *Hay entre los físicos quienes creen que sólo es ciencia pesar y medir en un laboratorio, y estiman que todo lo demás (relatividad, unificación de campos, etc.) es labor extracientífica. Son los Realpolitiker de la ciencia. Pero con sólo números no hay ciencia. Le es preciso una cierta religiosidad. Sin una especie de entusiasmo religioso por los conceptos científicos no hay ciencia... Otros se abandonan a la estadística. Un fenómeno eléctrico tiene asociado un valor de probabilidad. Bien; pero una probabilidad de que se presente algo sometido a la ley de Coulomb. ¿Y esta ley? A su vez, una probabilidad. No lo entiendo. Es concebible que Dios haya podido crear un mundo distinto. Pero pensar que en cada instante está Dios jugando a los dados con todos los electrones del universo, esto, francamente, es "demasiado ateísmo".*

En este problema la ciencia positiva no es más que el reverso de la ontología. Es decir, es un problema ontológico y científico a un tiempo. La ciencia sola podrá pedir un nuevo concepto de Naturaleza, e incluso desecharlo; pero, por sí sola, no puede crearlo.»

[Zubiri, Xavier: *Naturaleza, Historia, Dios*. Madrid: Editora Nacional, 1944, p. 303-304]



«*Nota* designa tanto las cualidades como las partes, esto es, designa los momentos estructurales todos. Y entre las notas en este sentido, hay una que es de especial importancia: el cambio, o, en términos generales, el

movimiento. El movimiento pertenece a las notas factuales primarias del Cosmos.

En la concepción de la filosofía clásica, el movimiento es algo que surge de la naturaleza del móvil por una fuerza activa o pasiva de él. El movimiento es entonces, se nos dice, un estado de la cosa, y esta cosa misma es un ὄν κινητόν, *ens mobile*, un ente móvil. Pero esta idea no es admisible.

En primer lugar, si así fuera, la materia sería una estructura determinante del movimiento mismo. Ahora bien, esto no es necesariamente posible. Porque la presunta fuerza que determina el movimiento es problemática, ante todo como fuerza. La fuerza podría no ser sino la medida de la variación temporal del impulso.

Pero, además, es que, para que el movimiento estuviera determinado, sería necesario que la fuerza determinara unívocamente y simultáneamente la posición y el impulso del móvil. Y esto es algo muy discutible y muy discutido en la ciencia física actual, no sólo por lo que concierne al conocimiento del movimiento, sino por lo que concierne a la realidad física misma del movimiento. Tratándose de estados en que la constante de Planck no sea despreciable, la física actual no admite la posibilidad de que la realidad misma de las partículas esté determinada con precisión simultánea, en punto a su posición y a su impulso.

Es el principio de indeterminación de Heisenberg, al que he aludido varias veces. Los cambios en los átomos y en las partículas elementales son variaciones, pero no son movimientos en sentido clásico, esto es, de estar producidos por fuerzas. Ciertamente, este punto es cuestión de ciencia, pero a la filosofía le es esencial lo que, a mi modo de ver, acontece aquí, a saber, la disociación entre movimiento y fuerza determinante. La mecánica cuántica no está determinada por fuerzas; pero, aunque lo estuviera, no es lo mismo fuerza determinante y movimiento.

Porque, en segundo lugar, el movimiento no constituye un estado del móvil. Porque el movimiento es formalmente respectivo; no tiene sentido la idea de un cuerpo que fuera único en el Mundo y que en sí y por sí mismo estuviera en movimiento. Por tanto, el movimiento no es un estado, sino una función: es el cambio de lugar en el tiempo de un cuerpo respecto de otro. No es algo que brota de una fuerza, sino un modo de respectividad tal que no es posible adscribirlo a un móvil.

Que una cosa esté en movimiento o en reposo depende tan sólo de una convención nuestra en la elección del sistema de referencia. Si, al marchar en un tren, nosotros nos consideramos en reposo, entonces es el paisaje el que respecto de nosotros se mueve; pero, si consideramos que el paisaje está en reposo, entonces es el tren el que se mueve respecto del paisaje. Es el principio de relatividad. [...]

El principio de relatividad, a mi modo de ver, es en rigor metafísico un principio de respectividad dinámica. Quien es relativo es el móvil; pero lo

que no es relativo es el movimiento mismo como relación: es una relación invariante entre dos cuerpos independientemente de la convencional elección de un sistema de coordenadas, de un sistema de referencia. Una vez más, es asunto de ciencia física; pero para la filosofía, sea o no admisible el principio de relatividad, es esencial conceptualizar el movimiento no como estado sino como función.

En su virtud, el movimiento no deriva de lo que cada realidad material es en y por sí misma, sino que el movimiento es en y por sí mismo sólo un momento de la respectividad cósmica, un momento factualmente independiente de todos los demás. No hay un *ens mobile* (ni como cosa ni como Cosmos) sino tan sólo un Cosmos *in motu*, un Cosmos que factualmente, y sólo factualmente, tiene movimiento, sin que este movimiento sea un estado suyo y sin que haya fuerza ninguna que le ponga en movimiento ni le mantenga en movimiento.

Y las cosas del Cosmos están en movimiento sólo por ser momentos del Cosmos, esto es, por ser notas cósmicas, y no al revés, como si el Cosmos estuviera en movimiento por estarlo en y por sí mismas cada una de las cosas que hay en él. El movimiento es una nota factual primaria del Cosmos. La factualidad del movimiento es, a mi modo de ver, absolutamente esencial. Es la expresión conceptual del carácter del movimiento como mera función. Es una función espacio-temporal.

El Cosmos está dotado de movimiento, como está dotado de partículas elementales y de cualidades suyas. Todo ellos son meras notas factuales. El Cosmos es factualmente cambiante, entendiendo por cambio una mera respectividad, no un estado. El movimiento es una nota factualmente independiente de las demás.

Como función cósmica, el movimiento es función respectiva del sistema y no resultante del presunto estado de cada móvil. Esto es, el movimiento es un invariante del sistema, no una consecuencia del estado de cada elemento dentro del sistema. Las leyes mecánicas son meras leyes estructurales de esta función, leyes de una estructura invariante de respectividad; no son leyes de causación de estados.

La independencia del movimiento no significa que no tenga nada que ver con las demás notas del Cosmos. Lo único que digo es que el movimiento no deriva de nada, no es estado de nada. Pero como las notas no son cualidades de una sustancia, sino que son momentos de un sistema, esto es, como son notas de todas las demás, resulta que todas ellas se codeterminan mutuamente en su unidad sistemática. Por tanto, en nuestro caso, todas las notas están afectadas por el movimiento y todas ellas afectan al movimiento.»

[Zubiri, Xavier: *Espacio. Tiempo. Materia*. Madrid: Alianza Editorial, 1996, p. 442-445]



«Estamos habituados a considerar que no hay más leyes en el Universo que las *leyes accionales*, aquellas leyes que vinculaos unos antecedentes y unos consecuentes. Pero esto no es rigurosamente hablando verdad.

A medida que el Universo va evolucionando y se va configurando, aparecen tipos de leyes mucho más sutiles, más difíciles de detectar, que fácilmente el hombre ha propendido a creer que son leyes de acción, y que son simplemente *leyes de estructura*, leyes estructurales. Por ejemplo, la propia gravitación. Einstein puso el dedo en la llega: no hay fuerza de gravitación, la gravitación es la estructura de la curvatura del Universo.

Qué duda cabe que, en gran parte, las leyes cuánticas del átomo son leyes estructurales pero estadísticas, que determinan una distribución, pero no determinan acciones que puedan explicar (sería inadmisibile hoy por hoy) por qué un electrón tiene un sistema fundamental determinado en lugar de tal otro. Se pueden dar distintas posibilidades, cada una con un coeficiente numérico distinto. Y el coeficiente numérico de una posibilidad es justamente lo que he llamado una probabilidad. Y aparecen entonces leyes accionales, leyes estructurales y estas otras leyes que, sin embargo, ofrecen una cierta uniformidad, que es estadística.

Y, finalmente, y lo que es más azorante, el Universo no se compone únicamente de leyes y de configuraciones iniciales: se compone de esas cuatro o seis misteriosas realidades, que son las *constantes universales*: la constante de acción de Planck; la constante de la velocidad de la luz; la constante de la carga eléctrica de un elemento, etc. ¿Qué hacen estas constantes dentro del dinamismo causal?

Algún gran astrónomo, como Eddington, ha pensado que en la evolución se cambia también el sistema de constantes universales. En fin, no soy lo bastante técnico en la materia para poder opinar. Pero, comoquiera que sea, en su forma actual, no cabe duda de que las constantes universales son un producto de la evolución.»

[Zubiri, Xavier: *Estructura dinámica de la realidad*. Madrid: Alianza Editorial, 1989, p. 155-156]



«Como el "hacia" es direccional, y esta dirección puede ser muy distinta según sean los sentires en que está articulado, resulta que el término de este "hacia", esto es, el "allende" mismo, puede tener distintos caracteres. Puede ser "otra cosa", pero puede ser también la misma cosa presente, pero hacia dentro de sí misma. No vamos a entrar aquí en este problema. Sólo apunto a él, para dar a entender que el "allende" no es necesariamente otra cosa, y que lo inmediatamente percibido y lo allende lo percibido no son forzosamente dos realidades numéricamente distintas. Más aún, estos distintos modos del "allende" tienen entre sí y con lo inmediatamente percibido una interna articulación. Es posible, en efecto, que algo que se descubre como siendo "otro" allende lo inmediato resulta ser el fondo

mismo de lo inmediato, pero excediéndolo en profundidad. Con lo cual, el "allende" es a la vez la misma cosa que lo inmediato, esto es, su fondo formal y, sin embargo, es cósmicamente otra cosa que esto meramente inmediato por exceder cósmicamente de ello. Una realidad que está en el fondo de la realidad formal de algo, pero que excede de este algo justamente por ser su fondo formal, no es pura y simplemente una realidad añadida a la primera. Es más bien la misma realidad en profundidad.

De esta interna articulación de las dos zonas de cosas reales, la zona de cosas reales "en la percepción" y la zona de cosas reales "allende la percepción" resultan tres importantes consecuencias.

a) Ir a lo real allende la percepción es algo inexorablemente necesario, un momento intrínseco de la percepción misma de las cualidades sensible. Toda cualidad, en efecto, es percibida no sólo en y por sí misma como tal cualidad, sino también en un "hacia". La realidad de las cualidades "sólo" en la percepción es justo lo que constituye su radical insuficiencia como momentos de lo real; son reales, pero son realmente insuficientes. En su insuficiencia, estas cualidades ya reales están remitiendo en y por sí mismas en su propia realidad "hacia" lo real allende la percepción: es el orto de la ciencia. Lo que la ciencia diga de este "hacia", esto es, aquello hacia lo cual remiten las cualidades sensibles allende la percepción, puede ser debido a un razonamiento inclusive causal. [...]

Algo puede ser logrado por un razonamiento causal y ser, sin embargo, un momento formal del fondo de aquello sobre lo que se razona. La ciencia no es, pues, una ocurrencia caprichosa, ni una arbitraria complexión de conceptos, sino que es algo inexorable sean cualesquiera sus modos. Tanto los modos del "hacia" del hombre más primitivo como los nuestros propios, son modos de "ciencia", esto es, modos de una macha inexorable desde la realidad percibida hacia lo real allende la percepción.

b) El punto de partida y la total razón de ser de la afirmación de lo real allende la percepción es, pues, justamente lo real percibido. Todo lo que la ciencia afirma del mundo físico sólo está justificado como explicación de lo percibido en cuanto real "en" la percepción. Las ondas electromagnéticas o sus fotones, por ejemplo, son necesarios para el color percibido. [...] El color no está producido por la onda (como afirma el realismo crítico), sino que, pienso, el color "es" la onda misma. Por tanto, la percepción visual del color "es" la onda electromagnética "en" la percepción. [...] Las cualidades sensibles son realidad en la percepción, son la realidad perceptiva de lo que cósmicamente excede de ellas. Si las cualidades sensibles no tuvieran realidad, o si ésta fuera numéricamente distinta de la del cosmos, entonces la ciencia sería un mero sistema de conceptos, pero no un conocimiento real. [...]

Lo real percibido, pues, es lo que nos lleva inexorablemente a lo real allende lo percibido; lo real allende lo percibido no tiene más justificación que lo real percibido.

c) Esto significa que en la realidad direccionalmente aprehendida lo que es "de suyo" se nos convierte en problema. No es el problema de que algo sea "de suyo", sino el problema de cuál sea la estructura misma de lo que es "de suyo". Las cualidades sensibles, a pesar de ser reales en la percepción, y a pesar de conducirnos inexorablemente allende lo percibido, pueden quedar derogadas allende lo percibido precisamente para poder ser una explicación de lo percibido.

Las partículas elementales, los átomos, las ondas, etc., no solamente no son percibidas por sí mismas de hecho, sino que por sí mismas son de índole no aprehensible sentientemente, no visualizables, como decían los físicos hace años, pero son, sin embargo, necesarias para lo que formalmente percibimos. Esta necesidad está descrita en la física actual mediante rigurosas estructuras matemáticas unitarias, que superan el dualismo visual de onda y corpúsculo.

Según estas estructuras unitarias, las partículas elementales podrían comportarse como corpúsculos en su producción y absorción, y tal vez podrían comportarse como ondas en su propagación. La mecánica cuántica es precisamente la formulación matemática unitaria de esta realidad no visualizada de las partículas. Y entonces la ciencia no es ya sólo una explicación de lo percibido, sino una explicación de la realidad entera del cosmos: es la labor ingente de los conceptos, de las leyes y de las teorías científicas.»

[Zubiri, Xavier: *Inteligencia sentiente / Inteligencia y realidad*. Madrid: Alianza Editorial, 1980 / 1991, p. 184-188]



«Conocimiento es ante todo precisión y exactitud, pero es una línea direccional. No se trata formalmente de precisión y exactitud en la línea de los conceptos y de las expresiones. Es muy posible que, con conceptos y expresiones no unívocamente realizadas representativamente, marquemos sin embargo una dirección sumamente precisa. En tal caso, aquellos conceptos y expresiones son tan solo indicaciones parcelarias de la realidad profunda, pero según una dirección muy precisa en sí misma. Tal acontece por ejemplo en la física cuántica.

Los conceptos de corpúsculo y onda no son sino representaciones parciales de algún aspecto de lo real profundo. Su función está en que esta parcialidad se inscribe en una dirección precisa *que la supera*. No es tan solo "complementariedad", como quería Bohr; es "superación". Lo propio debe decirse de otros conocimientos, por ejemplo, del conocimiento de realidades personales y de las realidades vivas en general. Los conceptos y expresiones de que nos servimos no son sino aspectos dentro de una dirección muy precisamente determinada no solo hacia lo que queremos inteligir, sino inclusive dirección de lo que ya estamos inteligiendo.

De ahí el estatuto cognoscitivo, por así decirlo, de la intelección racional. El conocimiento no es un sistema de conceptos, proposiciones y expresiones. Esto sería un absurdo conceptismo, mejor dicho, un logicismo en el fondo meramente formal. Y además sería intelección campal pero no conocimiento. El conocimiento no es solo lo que concebimos y lo que decimos, sino que es también, y, en primera línea, lo que queremos decir.

El lenguaje mismo no es, para los efectos de la intelección, algo meramente representativo. Y no me refiero con ello a que el lenguaje tenga otra dimensión distinta de aquella por la que es expresión de lo inteligido. Esto es obvio, y es una trivialidad. Lo que estoy diciendo es que precisamente como expresión de la intelección racional, y dentro de esta intelección, le lenguaje tiene además de una posible función representativa una función diferente de la meramente representativa. Por esto el estatuto cognoscitivo del sistema de referencia no es servir para una intelección constativa, sino que es algo distinto.

Anticipando ideal que expondré inmediatamente, diré que en la intelección racional y en su expresión, no se trata de *constatar* la realización de representaciones, sino de *experimentar* una dirección, para saber si la dirección emprendida es o no de precisión conveniente. Lo que el sistema de referencia determina no es una constatación sino una experiencia. Si así no fuera, el conocimiento jamás tendría su más preciado carácter: ser descubridor, ser creador.

De ahí el error de que a mi modo de ver está radicalmente viciado el positivismo lógico.»

[Zubiri, Xavier: *Inteligencia y razón*. Madrid: Alianza Editorial, 1983, p. 214-215]



«No hay ningún hecho experimental (valga el pleonasma) que se ajeno a la intervención del experimentador: todo experimento es una provocación de lo real. Lo que sucede es que esta intervención puede revestir a su vez diferentes caracteres modales. Puede ser una intervención que fuerza a la realidad a mostrarse tal como ella es con entera independencia de nuestra intervención: es el "hecho" de la física clásica.

Pero puede suceder que la propia intervención del experimentador pertenezca al contenido mismo del hecho. En tal caso el hecho es real, no hay la menor duda de ello, pero no es totalmente independiente del experimento mismo: es el caso, por ejemplo, de los experimentos de la mecánica cuántica. No se trata de una intervención del sujeto *cognoscente* (en cuanto *cognoscente*) en la realidad conocida como pensaba Heisenberg, sino de una intervención de la "manipulación" experimental en el contenido de lo experimentado; es una intervención manipulante.

El hecho está actualizado en intelección sentiente, aunque lo hecho no sea independiente de la manipulación. En todo caso, el experimento es una

experiencia de la realidad como hecho en el sentido ya explicado. Y estos hechos pueden ser no solamente físicos sino también biológicos o humanos: yo puedo experimentar con los hombres o con los seres vivos.»

[Zubiri, Xavier: *Inteligencia y razón*. Madrid: Alianza Editorial, 1983, p. 249]

COMENTARIOS

*En este mundo traidor
nada es verdad ni mentira;
todo es según el color
del cristal con que se mira.*

[Ramón de Campoamor]



«Posiblemente el tema más incómodo es el cuestionamiento del realismo, de la existencia de una realidad subyacente independiente del observador y de la medida. Pero quizás no debemos ver la Cuántica como una teoría que describe la naturaleza, sino que se preocupa por cómo la percibimos al interactuar con ella». [Ignacio Cirac, físico especializado en Óptica Cuántica]



La cuántica nació hace 100 años después de buscar respuesta a las preguntas más elementales de la historia. En 1900 el físico alemán Max Planck descubrió lo que él denominaría constante de Planck, una teoría que servía para calcular la energía de un fotón. Su hallazgo sería recompensado con el Premio Nobel de Física de 1918. Poco más tarde otros científicos, como Albert Einstein o Niels Bohr, seguirían generando conocimiento sobre la física cuántica, el primero con la ley del efecto fotoeléctrico y el segundo con sus trabajos sobre la estructura atómica y la radiación.



«Desde Dirac, los físicos llaman “observable” a los datos ofrecidos por la observación teniendo en cuenta que –en el dominio de las dimensiones cuánticas– el observador modifica la realidad de lo observado, porque para observarlo necesita iluminarlo. De lo cual se deduce que, en mecánica cuántica, la observación exige la indicación precisa del instante en que se realiza, y que toda segunda observación recae sobre un objeto mensurativamente distinto de la primera.»

[Laín Entralgo, P.: *Cuerpo y alma*. Madrid: Espasa Calpe, 1992, p. 71 n. 17]



«Como una gran obra literaria, la teoría cuántica está abierta a multitud de interpretaciones.» (Arthur I. Miller)



«No hay bastante realidad objetiva en el mundo para dar siempre cuenta de nuestra experiencia cuántica porque, a menudo, esta experiencia crea una parte de aquella realidad.»

[Lapiedra, Ramón: *Las carencias de la realidad*. Barcelona: Tusquets, 2008, p. 167]



«En la razón lo real es principio de su propia mensura; o dicho de otra manera, en la razón la realidad actualizada en la aprehensión mensura la realidad allende. Y la mensura de forma "canónica", de modo que la realidad actualizada en la aprehensión se torna en canon mensurativo de la realidad allende. Un ejemplo lo aclarará. En la aprehensión se nos actualizan las cosas materiales con determinados caracteres que inducen al logos a conceptuarlas como "cuerpos". Por esto, en la marcha allende el campo se ha pensado durante muchos siglos que las cosas "allende" son corpóreas.

*Ha hecho falta la conmoción de la física cuántica para introducir muy dificultosamente, pero con éxito indudable, la idea de que lo real allende no siempre es cuerpo. Las partículas elementales, en efecto, no son corpúsculos (tampoco son ondas en el sentido clásico, pero dejemos de lado este aspecto) sino que son otra clase de cosas materiales. Llevados por la intelección campos de los cuerpos [e. de., por el logos], marchábamos dispuestos a inteligir las cosas allende el campo como cuerpos, distintos pero, al fin y al cabo, como cuerpos. La mensura de lo real se emprendió con un metro determinado: el metro era 'cuerpo'. Ahora bien, la marcha hacia la realidad nos ha abierto a otras cosas reales materiales que no son cuerpos. [Zubiri, Xavier: *Inteligencia y razón*. Madrid: Alianza Editorial, 1983, p. 55-56]»*

[Diego Gracia: *Voluntad de verdad. Para leer a Zubiri*. Madrid: Triacastela, 2007, p. 153-154]



«La hipótesis es suposición "de que lo supuesto de lo real profundo consiste en tal o cual supuesto o estructura básica" (IRA 124). Esta suposición no puede hacerse más que a partir de las afirmaciones sobre la estructura básica de tales o cuales cosas en tanto que aprehendidas. Es decir, se supone que las estructuras de lo real en la aprehensión y de lo real allende son "homólogas". Las hipótesis se generan por homologación.

Así se piensa que las partículas elementales tienen en algún aspecto estructuras homólogas a las de los cuerpos que giran alrededor de un eje suyo. Pero en las partículas elementales se trata tan sólo de estructuras básicas homólogas, porque en estas partículas no hay rotación. Sin

embargo, se les atribuye momento angular cuantificado sin rotación: es el spin. Precisamente porque no se trata de modelar sino de lo que aquí llamo homologar, precisamente por eso es por lo que, a mi modo de ver, se dijo desde hace decenios que las partículas elementales no son 'visualizables'. Esto no significa la trivialidad de que no sean 'visibles' sino de que no tienen notas iguales a las de los cuerpos campales. Esto es claro en el caso del spin: representa pura y simplemente la homología de dos estructuras, de la estructura rotatoria de los cuerpos campales, y de la estructura rotacional sin rotación de las partículas elementales. [IRA 126-7]

En consecuencia, cuando la creación libre se efectúa no en la línea de las notas sino en la de su modo de sistematización, en la línea de la estructura básica de la cosa allende la aprehensión, por homología con la estructura básica de algo en tanto que, actualizado en la aprehensión, surge la hipótesis. Es el segundo modo de la creación racional. Su modo campal correlativo es la "construcción" (IL 130).

Existe un tercero, la *postulación*.»

[Diego Gracia: *Voluntad de verdad. Para leer a Zubiri*. Madrid: Triacastela, 2007, p. 155-156]



«**Espín** o **Spin**, momento angular intrínseco de una partícula subatómica. En la física atómica y de partículas existen dos tipos de momento angular: el *momento angular de espín* y el *momento angular orbital*. El espín es una propiedad fundamental de todas las partículas elementales, y existe incluso aunque la partícula no se mueva; el momento angular orbital se debe al movimiento de la partícula. Por ejemplo, un electrón en un átomo tiene *momento angular orbital*, causado por el movimiento del electrón alrededor del núcleo, y *momento angular de espín*. El momento angular total de una partícula es una combinación de los momentos angulares orbital y de espín.

La existencia del espín fue sugerida en 1925 por los físicos estadounidenses de origen holandés Samuel Abraham Goudsmit y George Eugene Uhlenbeck. Los dos físicos se dieron cuenta de que la teoría cuántica de la época no podía explicar algunas propiedades de los espectros atómicos; añadiendo un número cuántico adicional -el espín del electrón-, Goudsmit y Uhlenbeck lograron dar una explicación más completa de los espectros atómicos. Pronto, el concepto de espín se amplió a todas las partículas subatómicas, incluidos los protones, los neutrones y las antipartículas (véase Antimateria). Los grupos de partículas, por ejemplo, un núcleo atómico, también poseen espín, como resultado del espín de los protones y neutrones que lo componen.

La teoría cuántica afirma que el momento angular de espín sólo puede adoptar determinados valores discretos. Estos valores discretos se expresan como múltiplos enteros o semienteros de la unidad fundamental de

momento angular, $h/2\pi$, donde h es la constante de Planck. Generalmente, cuando se dice que una partícula tiene espín $1/2$ significa que su momento angular de espín es $1/2 (h/2\pi)$. Los fermiones, entre los que figuran los protones, los neutrones y los electrones, tienen espín semientero ($1/2, 3/2, \dots$); los bosones, por ejemplo los fotones, las partículas alfa o los mesones, tienen espín entero ($0, 1, \dots$). Los fermiones cumplen el principio de exclusión de Pauli, lo que no ocurre con los bosones.»

["Espín." Microsoft® Encarta® 2009 [DVD]. Microsoft Corporation, 2008]



«**Espín** o **spin** [del ing. *to spin* 'girar']: Momento magnético intrínseco de las partículas. El espín electrónico fue postulado en 1925 por Goudsmit y Uhlenbeck como único modo de explicar el desdoblamiento de las líneas espectrales del átomo de hidrógeno en presencia de un campo magnético, conocido como *efecto Zeeman*. La componente del espín en una dirección dada está cuantizada, es decir, sólo puede tener dos orientaciones respecto al campo magnético, valores correspondientes a:

$$S_z = 1/2\pi \left[+(h/2)S, -(h/2)S \right]$$

siendo h la constante de Planck. Este espín no puede ser explicado de una forma clásica. Como imagen se utiliza la suposición de que el electrón gira sobre sí mismo, de manera aproximada a como la tierra gira alrededor del sol y también alrededor de su propio eje de giro, aunque en el caso del electrón sólo lo podría hacer en dos direcciones, representadas como una flecha hacia arriba y hacia abajo. Sin embargo, no tiene sentido decir que el electrón gira sobre sí mismo porque no se trata de un objeto de paredes rígidas.

El descubrimiento de esta propiedad intrínseca de los electrones es de gran importancia. De hecho, se sabe que a todas las partículas subatómicas se les debe asignar un momento magnético interno, que en todos los casos se trata de un múltiplo entero del valor del espín electrónico. Así, en el caso de los nucleones, protones y neutrones, su espín resulta ser $1/2$, mientras que, en otros casos, como el pión, es cero.

El espín es un grado de libertad interno de las partículas, cuyas funciones de onda pueden separarse gracias al principio de superposición en funciones puramente espaciales y de espín, y resolverse de forma separada. Esto da lugar a la clasificación de todas las partículas fundamentales en dos grandes tipos, dependiendo de si su número cuántico de espín es entero ($0, 1, 2, \dots$) o fraccionario ($1/2, 3/2, \dots$), pues dan lugar a dos clases de funciones de onda, simétricas y antisimétricas, que cumplen o no el principio de exclusión de Pauli. A estos tipos de partículas se les llama, respectivamente, *bosones* y *fermiones*, y cumplen reglas estadísticas completamente diferentes.

Conviene señalar que existe conexión entre las variables espacio-temporales y los grados de libertad internos (espín). Esto provoca la aparición de la *helicidad*, que es la proyección del espín sobre la dirección del movimiento, y cuya manifestación macroscópica, en el caso de los fotones, es la polarización de la luz.

La existencia del espín, y la medida de su magnitud, pueden observarse perfectamente en el experimento de Stern-Gerlach, realizado en 1921 que demostró la cuantización de las componentes de un momento angular interno, llamado también *cuantización del espacio*. En este experimento se estudió la deflexión de un haz de átomos neutros paramagnéticos (plata) en un campo magnético inhomogéneo. El haz se produce calentando a alta temperatura vapor de plata en un recinto en condiciones de alto vacío, en el que se practica un pequeño agujero por el que el haz sale. Unas rendijas coliman el haz, que pasa por el campo magnético producido por un magneto.

Clásicamente es de esperar que el impacto del haz deflectado, cuyos átomos tendrán momentos magnéticos en dirección aleatoria, ocurra en una zona distribuida alrededor del punto central de no deflexión. El resultado sorprendente es la obtención de dos impactos separados de forma simétrica del centro de no deflexión, lo que indica su cuantización. Resultados similares se obtuvieron con átomos de cobre y oro, y más tarde con sodio, potasio e hidrógeno.

La formalización matemática del espín fue expresada por W. Pauli en 1928, al combinar las ideas de la mecánica cuántica con el principio de la relatividad utilizando una formulación matricial de las funciones de onda.»

[Enciclopedia Universal DVD ©Micronet S.A. 1995-2007]



«**Cuanto** (física), cantidad elemental de energía proporcional a la frecuencia de la radiación a la que pertenece.

Para la física clásica, un oscilador de cierta frecuencia podía emitir cualquier parte de su cantidad total de energía sin importar su valor. En 1900, Max Planck, para justificar el espectro de emisión de un cuerpo negro, enunció su hipótesis según la cual el contenido energético de un oscilador puede ser sólo un múltiplo entero de la magnitud hf , a la que se denomina cuanto de energía, y en donde f es la frecuencia de su vibración y h la constante de Planck igual a $6,62 \cdot 10^{-34}$ Js. En realidad, los cuantos o unidades de radiación son tan pequeños que la radiación nos parece continua.

Einstein, en 1905, explicó el efecto fotoeléctrico utilizando la teoría de los cuantos, admitiendo que la luz se traslada por el espacio en forma de cuantos. A este cuanto de radiación se le dio posteriormente el nombre de fotón.»

[Cuanto (física). " Microsoft® Encarta® 2009 [DVD]. Microsoft Corporation, 2008]



«**Cuanto** (del lat. *quantum*, neutro de *quantus*): Salto que experimenta la energía de un corpúsculo cuando absorbe o emite radiación.

Un cuanto es cada una de las pequeñas cantidades discretas (no continuas) con que todo átomo absorbe o emite energía radiante. Se sabe que los cuerpos calientes emiten energía radiante en forma de ondas electromagnéticas, aunque esta energía sólo corresponde al espectro visible (luz), si el cuerpo alcanza una cierta temperatura. Por otra parte, los cuerpos también absorben parte o toda la radiación electromagnética que incide sobre ellos. Un cuerpo ideal que absorbiera (y después emitiera) toda la energía radiante que le llegara, se llama en Física un *cuerpo negro*.

Ningún cuerpo real cumple absolutamente estas condiciones (el negro de platino y el negro de carbón son los más próximos a este concepto), pero es fácil de obtener tomando un recipiente de paredes opacas con un pequeño orificio. La radiación que entra en el orificio es absorbida en su totalidad después de sufrir sucesivas reflexiones en las paredes de la cavidad. Analizando la energía radiada por un cuerpo negro en función de su temperatura (*espectro de radiación*), se encontraron unas leyes que la termodinámica clásica era incapaz de explicar.

En el año 1900 Planck, en un informe ante el Congreso de la Sociedad Alemana de Física, sugirió que la explicación de dicho espectro de radiación era clara admitiendo que la emisión de la energía no es continua y formuló *la teoría de los cuantos*, en la que postulaba que cuando un sólido emite o absorbe energía, no lo hace de forma continua sino por medio de paquetes discretos de energía de magnitud $E = h \cdot n$ que se llamaron cuantos. En la ecuación, n es la frecuencia de la radiación y h es la constante de proporcionalidad o *constante de Planck*, cuyo valor es $6,6255 \cdot 10^{-34}$ Julios por segundo. Cada cuanto está asociado con una cantidad de energía muy pequeña y por ello, cuando se emiten cantidades grandes de radiación, la naturaleza discreta de la energía no se pone de manifiesto. La teoría de Planck, no tuvo en sus comienzos más que el alcance de una simple curiosidad. Su importancia fue revalorizada por Einstein años más tarde al interpretar el efecto fotoeléctrico y generalizar las ideas de Planck, postulando que toda radiación electromagnética tiene lugar en forma de cuantos o fotones.»

[Enciclopedia Universal DVD ©Micronet S.A. 1995-2007]



«**Física cuántica**, rama de la física que estudia el comportamiento de las partículas teniendo en cuenta su dualidad onda-corpúsculo. Esta dualidad es el principio fundamental de la teoría cuántica; el físico alemán Max Planck

fue quien estableció las bases de esta teoría física al postular que la materia sólo puede emitir o absorber energía en pequeñas unidades discretas llamadas cuantos.»

["Física cuántica." Microsoft® Encarta® 2009 [DVD]. Microsoft Corporation, 2008]



«**Física cuántica**: En los últimos años del siglo XIX se pensaba que las Ciencias Físicas estaban completadas: las ecuaciones de Maxwell de la fuerza Electromagnética, la ley de la Gravitación de Newton, la teoría Termodinámica de los procesos Caloríficos y la Teoría Atómica de la Materia, que tantos éxitos había cosechado en el campo de la Química, ofrecían una visión mecanicista y determinista de casi todos los fenómenos fundamentales de la Naturaleza conocidos hasta ese momento. El conjunto de todas estas teorías, en el estado en que se encontraban en 1900, se conoce como Física Clásica.

Sin embargo, permanecían sin resolver por la Física Clásica un conjunto de problemas concernientes a estas teorías que, si bien en un principio se consideraron secundarias, pronto se tornarían en puntos de inflexión en el desarrollo de la Física. Los problemas principales con los que tenía que enfrentarse la Física Clásica eran los siguientes:

- El espectro de radiación del Cuerpo Negro (radiador ideal).
- Los espectros de emisión de los gases enrarecidos.
- El efecto fotoeléctrico.
- La disminución de la capacidad calorífica de los sólidos con la disminución de la temperatura.
- El resultado negativo del experimento de Michelson y Morley.
- Ciertas anomalías en el movimiento orbital de algunos astros.

Al hacerse patente la imposibilidad de la Física Clásica para resolver estos problemas, se entró en un periodo de confusión y revolución de los conceptos básicos de la Física (Crisis de la Física Clásica), que dio lugar a los dos pilares de la Física Moderna: la teoría de la Relatividad Especial y General, y la Teoría Cuántica de la radiación y la materia.»

[Enciclopedia Universal DVD ©Micronet S.A. 1995-2007]



«**Mecánica cuántica**.

En unos pocos años, aproximadamente entre 1924 y 1930, se desarrolló un nuevo enfoque teórico de la dinámica para explicar el comportamiento subatómico. El nuevo planteamiento, llamado mecánica cuántica, comenzó cuando el físico francés Louis de Broglie sugirió en 1924 que no sólo la radiación electromagnética, sino también la materia podía presentar una

dualidad onda-corpúsculo. La longitud de onda de las llamadas ondas de materia asociadas con una partícula viene dada por la ecuación $\lambda = h/mv$, donde m es la masa de la partícula y v su velocidad. Las ondas de materia se concebían como ondas piloto que guiaban el movimiento de las partículas, una propiedad que debería llevar a que en condiciones adecuadas se produjera difracción.

Ésta se confirmó en 1927 con los experimentos sobre interacciones entre electrones y cristales realizados por los físicos estadounidenses Clinton Joseph Davisson y Lester Halbert Germer y por el físico británico George Paget Thomson. Posteriormente, los alemanes Werner Heisenberg, Max Born y Ernst Pascual Jordan, y el austriaco Erwin Schrödinger dieron a la idea planteada por De Broglie una forma matemática que podía aplicarse a numerosos fenómenos físicos y a problemas que no podían tratarse con la física clásica.

Además de confirmar el postulado de Bohr sobre la cuantización de los niveles de energía de los átomos, la mecánica cuántica hace que en la actualidad podamos comprender los átomos más complejos, y también ha supuesto una importante guía en la física nuclear. Aunque por lo general la mecánica cuántica sólo se necesita en fenómenos microscópicos (la mecánica newtoniana sigue siendo válida para sistemas macroscópicos), ciertos efectos macroscópicos como las propiedades de los sólidos cristalinos sólo pueden explicarse de forma satisfactoria a partir de los principios de la mecánica cuántica.

Desde entonces se han incorporado nuevos conceptos importantes al panorama de la mecánica cuántica, más allá de la idea de Broglie sobre la dualidad onda-corpúsculo de la materia. Uno de estos conceptos es que los electrones deben tener un cierto magnetismo permanente y por tanto un momento angular intrínseco o espín. Después se comprobó que el espín es una propiedad fundamental de casi todas las partículas elementales.

En 1925, el físico austriaco Wolfgang Pauli expuso el principio de exclusión, que afirma que en un átomo no puede haber dos electrones con el mismo conjunto de números cuánticos (hacen falta cuatro números cuánticos para especificar completamente el estado de un electrón dentro de un átomo). El principio de exclusión es vital para comprender la estructura de los elementos y de la tabla periódica. En 1927, Heisenberg postuló el principio de incertidumbre, que afirma la existencia de un límite natural a la precisión con la que pueden conocerse simultáneamente determinados pares de magnitudes físicas asociadas a una partícula (por ejemplo, la cantidad de movimiento y la posición).

En 1928 el físico matemático británico Paul Dirac realizó una síntesis de la mecánica cuántica y la relatividad, que le llevó a predecir la existencia del positrón y culminó el desarrollo de la mecánica cuántica.

Las ideas de Bohr desempeñaron un papel muy importante para el desarrollo de un enfoque estadístico en la física moderna. Las relaciones de

causa y efecto de la mecánica newtoniana, totalmente deterministas, fueron sustituidas por predicciones de sucesos futuros basadas sólo en probabilidades estadísticas. Las propiedades ondulatorias de la materia implican que, de acuerdo con el principio de incertidumbre, el movimiento de las partículas nunca puede predecirse con una certeza absoluta, incluso aunque se conozcan por completo las fuerzas. Aunque este aspecto estadístico no es detectable en los movimientos macroscópicos, es dominante a escala molecular, atómica y subatómica.»

["Física." Microsoft® Encarta® 2009 [DVD]. Microsoft Corporation, 2008]



«**Mecánica cuántica**

Teoría física surgida en la primera mitad del siglo XX para describir los fenómenos físicos que tienen lugar a escala atómica, en particular la posición y movimiento de los corpúsculos atómicos sometidos a fuerzas y la naturaleza de la radiación. También recibe el nombre de mecánica ondulatoria por estar enteramente construida a partir del postulado de De Broglie que establece la naturaleza ondulatoria de la materia.

La mecánica cuántica constituye una herramienta de análisis que, junto con la teoría relativista, se ven obligados a utilizar todas las ramas de la física y la química en sus investigaciones, aunque difieran en sus métodos experimentales y aproximaciones teóricas. Los avances científicos ocurridos en este siglo en campos como la física del estado sólido, la astrofísica, la óptica y la física nuclear, por poner varios ejemplos, no son sino las conclusiones del estudio cuántico y relativista de los fenómenos físicos que estos investigan.

POSTULADOS BÁSICOS DE MECÁNICA CUÁNTICA

Una vez establecido el modelo de Bohr, el físico alemán Sommerfeld lo modificó a fin de introducir órbitas elípticas, y durante algunos años se generaron una serie de teorías que combinaban una mezcla de teoría cuántica y clásica, de resultados poco relevantes.

En 1925 y 1926 se publicaron una serie de trabajos, principalmente por parte de físicos alemanes, que sentaron la teoría cuántica sobre una base conceptual más sólida. La teoría para partículas materiales fue desarrollada por W. Heisenberg, M. Born y P. Jordan, en forma de mecánica matricial. Una teoría equivalente, llamada mecánica ondulatoria, fue desarrollada por E. Schrödinger al mismo tiempo, demostrando este último la equivalencia de ambas teorías. Una forma mucho más abstracta, representativa, fue introducida por P. A. M. Dirac en 1930, donde se incluye tanto mecánica matricial como mecánica ondulatoria.

FUNCIÓN DE ONDA Y PRINCIPIO DE INCERTIDUMBRE

Los resultados obtenidos por Planck y Einstein asocian a la radiación electromagnética un cuanto, el fotón.

De acuerdo con la mecánica clásica, si una partícula de masa m se encuentra sujeta a una fuerza cuya energía potencial sea $V(r)$, constante en el tiempo, la suma de su energía potencial y su energía cinética $p^2/2m$ expresa la energía total de la partícula, que es constante (principio de conservación de la energía).

FERMIONES Y BOSONES

La función de onda $\psi(r_i,t)$ presenta peculiares características sin análogo clásico. Si en un sistema dado se tienen dos partículas que sean idénticas en todas sus características (masa, carga eléctrica, ...), al describir clásicamente las trayectorias de cada partícula mediante sus operadores posición y momento, se puede saber en cualquier instante dónde se encuentra cada partícula, o dicho de otra forma, podemos saber cuál es la partícula 1 y cuál es la 2. En mecánica cuántica tanto la posición como el momento lineal de cada partícula están indeterminados, y al no tener ningún medio de seguir sus trayectorias, ambas partículas resultan indistinguibles.

LÍMITES DE LA TEORÍA CUÁNTICA: LA PARADOJA EPD

A pesar de haber contribuido sustancialmente al desarrollo y establecimiento de la mecánica cuántica, Einstein nunca aceptó la descripción aleatoria e indeterminante de la realidad que ésta proporcionaba. Junto con un gran número de científicos (De Broglie y Bohm entre otros) postuló la existencia de ciertas *variables ocultas* responsables de la "aparente" aleatoriedad: si una partícula se encuentra en un estado cuántico y distintas mediciones de su energía dan valores diferentes, debe haber otra propiedad, desconocida y no obstante presente, que haga que ambas partículas se encuentren en distinto estado, con lo que se recupera el determinismo.

A esta corriente se oponen aquellos que creen que la interpretación ortodoxa de la cuántica es la acertada, que es innecesario postular la existencia de variables que no se pueden medir. Esta corriente es conocida como la Escuela de Copenhague por estar liderada por N. Bohr, quien trabajó en esa ciudad.

El debate científico, agrio en ocasiones, entre ambas escuelas parte de un experimento ideal propuesto por Einstein, Podolsky y Rosen en 1935, con el que creyeron demostrar que la teoría cuántica proporciona una descripción incompleta de la realidad, sugiriendo a continuación la existencia de variables ocultas.

El protón posee un momento magnético intrínseco o espín que puede tomar únicamente dos valores, $+1/2$ ó $-1/2$ (tomaremos cantidades adimensionales para mayor simplicidad). Su valor se pone de relieve con un detector apropiado. Si un sistema de dos protones posee espín total nulo quiere decir que ambos espines deben tener espines antiparalelos (de valores contrarios). En este caso, la medición de uno de los espines es superflua: el valor de uno nos indica el valor del otro.

Supóngase que, partiendo de un estado de espín total nulo, dos protones se alejan entre sí. Es imposible conocer sus respectivos valores de espín hasta que no se ha medido uno. La función de onda que describe cada protón da igual probabilidad a cada uno de los valores. Si, cuando se encuentran a cierta distancia, se mide el espín de uno de los protones, la función de onda pasa de ser una mezcla de los estados $+1/2$ y $-1/2$, indeterminada, a ser la correspondiente a su valor de espín, determinada, como se ha señalado anteriormente.

Por la misma razón, la función de onda del segundo protón colapsa también a un estado definido, aunque se encuentre en el otro extremo del universo y no interactúen entre sí. Nótese que si existiera algún tipo de interacción superaría la velocidad de la luz. De hecho, el efecto es instantáneo. Einstein, Podolsky y Rosen concluyeron que, siendo tan obviamente falsa esta conclusión, la descripción cuántica de ambos estados es incompleta: el estado cuántico de ambos protones debe estar, de alguna manera, determinado de forma previa a la medición, que no cambia el estado del sistema, sino que simplemente lo revela. Debe haber alguna variable oculta que restablezca el determinismo clásico.

La solución a esta paradoja, que lleva el nombre clásico de paradoja EPD en honor a los científicos que la argumentaron, fue dada por el británico J. S. Bell. Suponiendo la existencia de una variable oculta, de forma que el efecto de medir el espín sobre uno de los protones es meramente local (sin afectar al segundo), llegó a un teorema, conocido como **desigualdad de Bell**, que expresa la correlación entre los valores $+1/2$ y $-1/2$ de espín. Experimentos realizados con protones y con fotones muestran que la desigualdad de Bell no se cumple y que no es posible una variable oculta basada en un efecto local. Ambos protones se encuentran correlacionados, de forma que la medida en uno de ellos afecta al otro. Los experimentos realizados por A. Aspect en París muestran que **la descripción cuántica de la naturaleza es extraña, pero no falsa.**»

[Enciclopedia Universal DVD ©Micronet S.A. 1995-2007]



Los físicos teóricos de la cosmología cuántica han barajado hace tiempo la creación de un universo mediante una fluctuación cuántica en la nada, que no es lo mismo que "de la nada", sino que esa "nada" podría haber sido una estructura espacio-temporal previamente existente, sin la intervención de

causas "externas" (divinas). No hay margen, leyes físicas en mano, para un Creador.

•

Falta precisar que es la nada y si existe, con lo cual deja de ser nada." 'Nada' no es realmente la palabra adecuada. Es preferible 'vacío'. Y el vacío cuántico es algo muy lleno. Tal y como lo entiendo, si es que lo entiendo, es una consecuencia del principio de indeterminación de Heisenberg.

•

«A Einstein le molestaba la afirmación según la cual "si uno observaba la posición de un átomo, era la observación misma la que causaba su presencia allí". Pero es a partir de esa molestia y de lo que demuestran los experimentos cuánticos, cuando muchas concepciones de sentido común dejan de ser una opción lógica. Lo explican de manera admirable los físicos americanos Bruce Rosenblum y Fred Kuttner en su libro *El enigma cuántico* (Colección Metatemas. Editorial Tusquets. Barcelona, 2010), donde se ocupan de los encuentros entre la física y la conciencia y abordan el secreto mejor guardado de la física contemporánea bajo la etiqueta de "interpretación de Copenhague".

Pero sepamos que la teoría cuántica nos dice que la observación de un objeto puede influir instantáneamente en el comportamiento de otro objeto muy distante, sin que ambos estén conectados por ninguna fuerza física y que afirma también que la observación misma de la posición de un objeto es causante de su presencia ahí. De modo que su existencia en el punto particular donde se detecta su presencia se convierte en una realidad solo si es objeto de observación.»

[Miguel Ángel Aguilar: "Einstein molesto", *El País* – 06/07/2010]

Copyright © Hispanoteca.eu – 2023 – Alle Rechte vorbehalten