



Editorial de la Universidad
Tecnológica Nacional

La Teoría de la Relatividad, La Mecánica Cuántica, La Eternidad y otras Temáticas...

Dr. Ing. Raúl C. Pérez

Director del Laboratorio de Hidrodinámica, Atmósfera y Nubes para Desarrollos Operativos (LIHANDO). CEREDETC.

Facultad Regional Mendoza

Universidad Tecnológica Nacional - U.T.N.

La Teoría de la Relatividad, La Mecánica Cuántica, La Eternidad y otras Temáticas...

¹ Raúl C. Pérez.

¹*Director del Laboratorio de Hidrodinámica, Atmósfera y Nubes para Desarrollos Operativos (LIHANDO). CEREDETC. Facultad Regional Mendoza, Universidad Tecnológica Nacional.*

1 Introducción

En el campo de la ciencia, especialmente en el de la Física, los conceptos de la Mecánica Cuántica y la Teoría de la Relatividad, representan sin lugar a dudas, una revolución en el pensamiento científico, dando unos de los mayores impulsos en la historia de la humanidad al re-descubrimiento del funcionamiento del universo y la naturaleza.

El bagaje de conceptual de sus ideas ha producido cambios hasta en los conceptos filosóficos y la Metafísica. Un punto importante, es que todas las ideas producidas por estas nuevas teorías están muy lejos de agotarse, por el contrario, ellas representan sólo la punta de la madeja que los científicos y pensadores deben comenzar a tirar para desenmarañar todo un universo de conocimientos...

2 La Mecánica Cuántica

La Mecánica Cuántica, al igual que cualquier otra teoría de la Física, nació ligada a un nuevo campo de investigaciones experimentales; las que se iniciaron con el estudio de las propiedades de la radiación de un cuerpo negro por Max Planck; extendiéndose rápidamente a la interacción entre los cuerpos materiales y la radiación electromagnética, dando lugar a los conceptos de la dualidad onda-partícula; y posteriormente a las teorías atómicas y nucleares.

Las propiedades de las partículas de los sistemas atómicos y sub-atómicos difieren en forma sustantiva respecto de las propiedades de los cuerpos macroscópicos. De tal forma, que las leyes y principios de la Mecánica Clásica y el Electromagnetismo

Clásico son insuficientes para realizar una descripción adecuada de la Física de los átomos, moléculas y partículas elementales individualmente.

La diferencia principal entre la Mecánica Clásica Newtoniana y la Mecánica Cuántica es lo que ambas describen; la primera describe el movimiento de partículas debido a la influencia de fuerzas aplicadas y admite por sentado que magnitudes como la posición, la masa, la velocidad, la aceleración, etc... pueden ser medidas en cualquier instante. Esta suposición es totalmente válida, puesto que la Mecánica Clásica es capaz de proporcionar la explicación correcta del comportamiento de los cuerpos en movimientos a bajas velocidades, cuando se las compara con la velocidad de la luz.

2.1 Las magnitudes “observables” y el principio de indeterminación de Heisemberg

Por otro lado, la Mecánica Cuántica también desarrolla relaciones entre las magnitudes observables, pero el principio de indeterminación de Heisemberg modifica sustancialmente el concepto de “*magnitud observable*”, sobre todo en el tratamiento en el campo de la Física Atómica y Nuclear. Según el principio de indeterminación, la posición y la cantidad de movimiento de una partícula pequeña, del orden atómico, no pueden ser medidos exactamente al mismo tiempo, cosa que si es posible en la Mecánica Newtoniana. Las cantidades “*observables*” que busca medir la Mecánica Cuántica son las probabilidades de obtener un valor determinado de la medición.

En principio, esta situación de la Mecánica Cuántica, da la impresión de que ésta es un pobre sustituto de la Mecánica Clásica en el campo de las partículas atómicas y subatómicas, pero un análisis más profundo de la situación lleva a la conclusión de un hecho notable: *La Mecánica Newtoniana no es más que una aproximación de la Mecánica Cuántica, resultado de los promedios de los valores posibles de las magnitudes que se desea describir, que cada átomo posee y que componen el cuerpo macroscópico.* No existen dos áreas diferentes, el de las partículas atómicas y subatómicas, y el de los cuerpos macroscópicos, por el contrario, existe una sola área y desde donde se aborde el problema a resolver, los resultados deben ser consistentes con la otra óptica. En este marco, tal como ocurre con la teoría de la Relatividad y la Mecánica Clásica, ésta última es una aproximación de la Mecánica Cuántica incapaz de describir los fenómenos de partículas de escalas de tamaño del orden del átomo o menor.

2.2 La discretización (cuantificación) de las magnitudes

Otras de las características fundamentales de la Mecánica Cuántica es el carácter discreto de algunas de las magnitudes físicas observables (*cuantificación*), como lo es la discretización de la energía de los sistemas atómicos, que trae asociado como consecuencia sus transiciones discretas. Por ejemplo, cuando un sistema atómico pasa de un estado de mayor energía (excitado), a uno de menor energía, dado que la energía se conserva, la diferencia de energía del proceso es emitida como un fotón de luz a una frecuencia determinada.

Pero la energía no es la única magnitud física medible que está cuantizada; la experiencia de Stern-Gerlach probó que la cantidad de movimiento angular L de los sistemas atómicos también posee un espectro discreto de valores.

Esta situación de la Mecánica Cuántica, del carácter discreto de los valores de las magnitudes fundamentales que caracterizan a los sistemas atómicos, contradice abiertamente el conjunto de conceptos de la Mecánica Clásica. El carácter discreto de las magnitudes de partículas atómicas y sub-atómicas y los cambios discontinuos de sus estados, están en contradicción con las hipótesis generales de la Mecánica Newtoniana que expresan que una fuerza infinitamente pequeña determina una variación infinitesimal del estado en que se encuentra cualquier sistema, siendo posible determinar en cualquier momento las magnitudes físicas que intervienen en el proceso, cuyas magnitudes evolucionan infinitesimalmente tomando valores continuos.

2.3 La naturaleza dual onda-partícula

Uno de los hechos más importantes que presenta la Mecánica Cuántica es que en el mundo físico de las partículas atómicas y sub-atómicas se unen de manera sorprendente las propiedades de las partículas ordinarias con las propiedades de los corpúsculos de las ondas (fotones). Esta propiedad fundamental es llamada el *dualismo onda-partícula*. Dicho en forma más precisa, bajo ciertas condiciones las micro-partículas se comportan como cuerpos materiales, mientras que para otras condiciones las mismas micro-partículas presentan propiedades ondulatorias; y en algunas ocasiones, como en el caso de la resonancia magnética nuclear, manifiestan las propiedades de la naturaleza corpuscular y ondulatoria a la vez.

Esta naturaleza onda-partícula de las partículas atómicas se manifestó por primera vez en las experiencias de cuantos de luz de Max Planck. En lo que concierne a

las propiedades corpusculares de la radiación electromagnética se develaron en el descubrimiento del *efecto Compton*, que admite tan sólo esa interpretación del fenómeno, puesto que desde el electromagnetismo clásico no se puede explicar como una onda electromagnética incidente puede hacer retroceder una partícula de dimensiones atómicas sin poner en movimiento el resto de las partículas que se encuentran en las cercanías. Otra experiencia extraordinaria que confirma el fenómeno de comportamiento de propiedades corpusculares de la luz, es el conocido *efecto Fotoeléctrico*.

Los datos experimentales obtenidos a partir de las numerosas experiencias realizadas en este campo de la Física, probaron que a cada fotón de luz se le puede atribuir una energía E y una cantidad de movimiento p dadas por las cantidades:

$$E = h\nu \quad p = E/c = h/\lambda$$

Donde $h = 6.625 \cdot 10^{-34}$ Joule.s es conocida como la constante de Planck, y ν y λ son la frecuencia y la longitud de onda de la onda electromagnética de luz respectivamente.

La Mecánica Cuántica es el mejor resultado de los esfuerzos de todos los científicos en la historia de la humanidad para describir en forma integral la dinámica de las partículas, independientemente de su tamaño. Pasando a ser la Mecánica Clásica una aproximación muy buena para el caso particular de los cuerpos macroscópicos.

2.4 Principio de indistinguibilidad de las partículas cuánticas

Si se estudia un sistema de partículas de una misma especie, por ejemplo un sistema de electrones, protones, neutrones, etc... En tales sistemas se manifiestan nuevas e importantes peculiaridades para las que no existen propiedades análogas en la Mecánica Clásica. Estas particularidades resultan obvias cuando se estudian los diferentes procesos de colisiones de partículas clásicas y partículas atómicas.

En la Mecánica Clásica, las propiedades de cada partícula se caracterizan por su masa. Si las masas de dos partículas que chocan son iguales, ambas se consideran por completo equivalentes. El estado de cada una esta dado por las condiciones iniciales. Se mueven según trayectorias determinadas, chocan en cierto punto del espacio y divergen sus trayectorias correspondientes. Así, a lo largo de todo momento es posible identificar individualmente cada partícula a pesar de tener la misma masa.

De manera totalmente diferente se comportan los procesos de colisión entre partículas cuánticas. Si antes del choque, dos partículas cuánticas se encuentran en determinados puntos del espacio, en esta situación, por el principio de indeterminación, sus cantidades de movimiento \mathbf{p} no tienen un valor definido. Después de la colisión, si se pudiera establecer sus trayectorias por algún tipo de experimento (ej: cámara de Wilson), y si las dos partículas son de la misma naturaleza (dos electrones, dos neutrones, etc...), es imposible establecer cuál de las dos partículas estaba vinculada a cual trayectoria.

Un buen ejemplo lo constituye un sistema formado por dos átomos de hidrógeno, si ambos se encuentran a distancias suficientemente grandes de forma tal que sus nubes electrónicas no se solapen, cada electrón se encuentra individualizado y localizado moviéndose en sus orbitales atómicos cerca de sus respectivos núcleos. A medida que se muevan uno hacia otro hacia una colisión, sus nubes electrónicas se solaparán, y aumenta la probabilidad de encontrar ambos electrones en un dominio común a las dos nubes. Si esto ocurriera, no existe procedimiento alguno que permita establecer cuál era el electrón que le pertenecía a cada núcleo. Este hecho es conocido como *el principio de indistinguibilidad de las partículas cuánticas*, principio que se puede formular de la siguiente manera:

... en un sistema de partículas idénticas, se dan solamente aquellos estados que no cambian al permutar las posiciones de dos partículas idénticas cualesquiera”...

Este principio que no tiene analogía en la Mecánica Clásica, conduce a consecuencias muy importantes y profundas, como el descubrimiento de la energía atómica de intercambio, concepto al que era imposible llegar desde el formalismo de la Mecánica Newtoniana.

2.5 Bosones y Fermiones

El principio de identidad de las partículas da origen a una propiedad importantísima de la Mecánica Cuántica, que no tiene equivalente en la Mecánica Clásica: *la propiedad de simetría de las partículas*.

Si bien al permutar dos o más partículas cuánticas, el estado del sistema no cambia, lo que si puede cambiar es la paridad de la función de estado que lo describe. De esta manera es natural pensar que la simetría viene determinada por las propiedades intrínsecas de las partículas elementales que constituyen el sistema. Efectivamente, se

pudo demostrar que las partículas que poseen momento angular de spin entero se describen por funciones simétricas, mientras que las de spin semi-entero lo son por funciones antisimétricas. Las primeras partículas se llaman *partículas de Bosé-Einstein* o “bosones”, las segundas, *partículas de Fermi-Dirac* o “fermiones”. A la categoría de los bosones pertenecen los cuantos de campos de fuerza como los fotones, gravitones, etc... y los piones entre otras partículas. Por otro lado, a la categoría de fermiones pertenecen los electrones, positrones, protones, el neutrino, los muones y otros más...

Una propiedad importante de los fermiones es la conocida como *principio de exclusión de Pauli*, que enuncia que en un sistema de partículas cuánticas idénticas de momento angular total de spin semientero, no pueden existir dos de ellas con todas sus magnitudes cuánticas en el mismo estado.

Para aclarar la cuestión relativa a las propiedades de simetría de un sistema formado por partículas compuestas idénticas, hay que determinar el spin total del sistema. Por ejemplo, en un átomo; para poder determinar las propiedades de simetría es necesario calcular su spin total como la suma del spin de todos los electrones, protones y neutrones que lo componen; y sólo entonces, a la luz del resultado, se lo podrá analizar bajo las propiedades de los bosones o los fermiones

3 La Teoría de la Relatividad

Generalmente, cuando se hace referencia a la teoría de la Relatividad, la gente que no esta familiarizada con el tema, la relaciona con aquella frase popular que reza: ...”*todo es relativo*”... ¿Es realmente así?... ¿Este concepto es uno de los postulados que se desprenden de la importantísima teoría que comenzó a delinear Albert Einstein y que continuaron consolidando sus discípulos Fermi y Dirac?. Pues, se verá al finalizar la exposición de las ideas relativistas, que nada está más alejado de la realidad que esta afirmación; por el contrario, la teoría de la Relatividad afirma exactamente lo contrario...

La primera cuestión a entender respecto a esta teoría, es explicar por qué es necesario estudiarla y en qué condiciones se debe aplicar.

Una de las actividades principales e ineludibles de cualquier rama de la Física, es la realización de mediciones de las magnitudes del tema que se investiga. La teoría de

la Relatividad, estudia la dependencia entre las mediciones que se realizan y el movimiento respecto del observador que las realiza.

A partir de la experiencia fallida de Milchesson y Morley que trató de medir la existencia del éter en el universo, Albert Einstein sacó una serie de conclusiones que dan origen a una nueva Mecánica: la Teoría de la Relatividad, también conocida como la *Mecánica de las altas velocidades*. Fundamentalmente porque establece nuevas relaciones entre las magnitudes velocidad, tiempo, energía y masa.

Debido a que las partículas subatómicas como el electrón, neutrón, protón, etc... se mueven en el átomo a muy altas velocidades, comparables con la velocidad de la luz; es imposible llegar a resultados correctos en cualquiera de los estudios que se emprendan sobre ellos, si no se utilizan las correcciones relativistas correspondientes.

3.1 Postulados Básicos:

Cuando en Física se estudian situaciones de incumbencia de la Mecánica, siempre se plantea la influencia del movimiento en las mediciones que se realizan respecto de un marco de referencia determinado. Una gran incógnita a develar en esta situación fue: ¿Existe un marco de referencia universal que se encuentre en reposo respecto de todos los otros existentes? Si el éter buscado por Michelson y Morley hubiera existido, éste sería el marco en cuestión, pero como el resultado de sus investigaciones fue la comprobación de que tal éter o cualquier otro elemento con esas características no existen; la primera gran conclusión obtenida por Einstein al respecto fue.: *“La comprobación de que no existe en el universo ni en la naturaleza un sistema de referencia universal privilegiado”*... O en otras palabras: *todos los sistemas marcos de referencia son covariantes (tienen igual valor)*. Este hecho es conocido como el primer postulado de la teoría de la Relatividad, llamado *principio de Covarianza* de los marcos de referencia.

El concepto de este principio es que todos los sistemas de referencias tienen igual valor, no existe ninguno que sea más importante que otro. En la práctica, la importancia de uno sobre otro lo da la posibilidad de permitir realizar los cálculos en forma más sencillos que otros a la hora de utilizarlos.

Otra conclusión igualmente importante obtenida por Einstein, a partir de los resultados de la experiencia de Michelson y Morley, fue que las expresiones de las leyes

de la Física son las mismas independientemente de cual es el sistema de referencia utilizado.

Una buena síntesis de estos conceptos expuestos, es la afirmación de que en la teoría de la relatividad, *los sistemas de referencia son relativos, y los hechos de la naturaleza representados por las leyes físicas y sus expresiones matemáticas no lo son.* Para aclarar un poco esta idea, se puede decir que la segunda ley de Newton $F = m \cdot a$ será la misma en cualquier marco de referencia que se utilice para medirlos. En cada marco de referencia las mediciones en cada una de estas magnitudes masa (m), aceleraciones (a) y fuerzas (F) pueden ser distintas respecto de otros sistemas de referencia; pero en cualquiera de los marcos de referencia que se utilicen cuando se multiplique el valor de la masa medida por la medición obtenida de la aceleración, siempre será igual al valor medido de la fuerza.

La cuestión que surge ahora es... ¿En cuál de todos los sistemas en que se realizan las mediciones se obtienen los valores correctos?... La respuesta, según los postulados de la teoría de la relatividad es... en todos; porque todos son igualmente válidos, las mediciones son relativas al marco de referencia utilizado...

Para ejemplificar esta situación, se puede tomar el ejemplo de dos personas que viajan sentadas en un tren, si se mide la velocidad de una de estas personas respecto de la otra, y se toma como sistema de referencia del vagón del tren, el valor de sus velocidades respectivas es cero o nula; por el contrario, si la velocidad de ambas personas la mide una tercera que se encuentra en una estación cuando el tren pasa sin detenerse, al tomar esta persona la velocidad de la gente que viaja en el tren, medirá como valor de la velocidad de cada viajero la misma velocidad con que se desplaza el tren, distinta de cero. Evidentemente, las dos mediciones son correctas, ambas desde sus sistemas de referencias, dan valores distintos; y este hecho es congruente con la relatividad de los sistemas marco de referencia; pero tampoco es menos cierto que los hechos físicos que describen el fenómeno no cambian, en este caso, a medida que transcurre el tiempo, la distancia entre las dos personas que están sentadas en el tren no cambian, y ambas a medida que el tiempo avanza se alejarán del tercer observador que se encuentra en las estación; esto se describirá así, se utilice el marco de referencia que se utilice.

Se puede apreciar entonces que la teoría de la relatividad afirma que lo relativo son los sistemas marcos de referencia, mientras que las leyes de la Física y sus expresiones que las describen permanecen “*inmutables*”.

En este camino de pensamiento, y profundizando los conceptos expuestos, podemos tomar al caso de dos automóviles que se desplazan a 100 km/h. Si ambos se dirigen en igual dirección y sentido contrario, cualquier pasajero de uno de los vehículos observará que el otro automóvil se acerca hacia él a una velocidad “*relativa*” de 200 km/h. En cambio, si ambos vehículos se dirigen en la misma dirección y sentido, el observador percibirá que el otro vehículo no se desplaza respecto al suyo (velocidad “*relativa*” cero o nula). Este comportamiento es de percepción común de los cuerpos móviles existentes en el universo; pero Einstein, a raíz de los resultados de la experiencia de Milchesson y Morley, observó que la luz no cumplía con este comportamiento. Y a partir de este fenómeno, estableció *el segundo postulado de la teoría de la Relatividad*:

...El valor de la velocidad de la luz es una magnitud invariante ante el cambio de marco de referencia...

Este postulado se conocido como el principio de Invarianza de la velocidad de la luz, y lo que está afirmando, es que el valor de la velocidad de la luz establecido en aproximadamente 300.000 km/h, es el mismo se mida desde el sistema de referencia que se mida, y es independiente del movimiento de los marcos de referencias entre sí. En otras palabras, al medir la velocidad de la luz, no importa la velocidad del marco de referencia (magnitud, dirección y sentido) desde el que se mida, el resultado de la medición siempre dará un valor de casi 300.000 km/h en el vacío.

Estos dos postulados fundamentales, abrieron la puerta de la Teoría de la Relatividad a través de sus interesantes consecuencias y corolarios...

3.2 Las Transformadas Lorentz

Si se tienen dos marcos de referencia S y S', que se mueven con velocidad relativa constante v , uno respecto del otro, tal como muestra la figura 1, y en un tiempo t dado ocurre un acontecimiento en el punto x, y, z del sistema S. Un observador situado en el marco de referencia S' medirá que el acontecimiento ocurre en el tiempo t' en el punto x', y', z' ; por simplicidad se hace coincidir el eje x con la dirección de la velocidad v . La cuestión es saber como relacionar las mediciones realizadas por un

observador en el sistema S con las realizadas por otro en el sistema de referencia S'. Una respuesta es que si el tiempo que miden ambos sistemas son los mismos, es decir $t = t'$, las medidas realizadas por el observador en S excederán a S' en una cantidad $v \cdot t$; y entonces la transformación lineal de un sistema a otro, conocido como *transformaciones de Galileo* son:

$$x' = x - v \cdot t; \quad y' = y; \quad z' = z; \quad t' = t.$$

y las transformaciones galileanas de las velocidades quedarán como:

$$v_x' = dx'/dt' = v_x - v; \quad v_y' = dy'/dt' = v_y; \quad v_z' = dz'/dt' = v_z$$

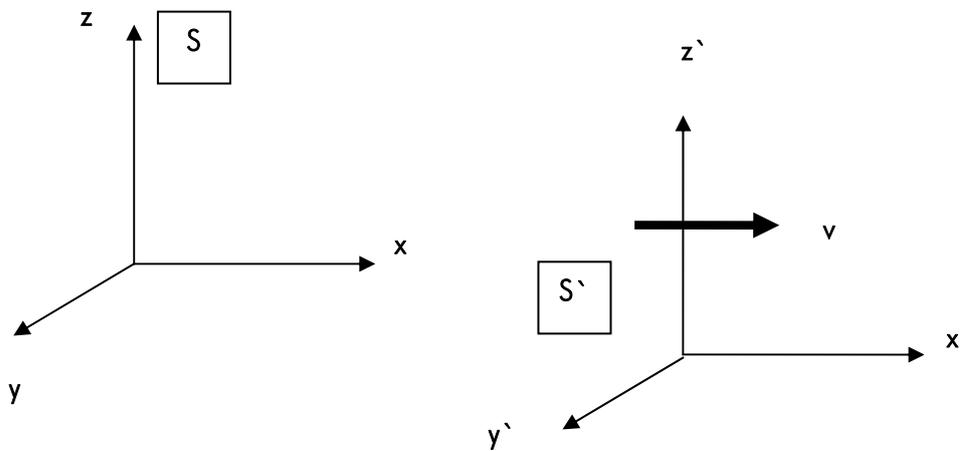


Figura 1: Sistema de marcos de referencia en movimiento relativo inercial

Si se toma el caso de un haz de luz que se dirige a lo largo del eje x del sistema S con velocidad c ; según las transformaciones de velocidades de Galileo, el observador del sistema S' medirá una velocidad de la luz igual a:

$$c' = c - v$$

Evidentemente este resultado se opone al principio de invarianza de la velocidad de la luz de la teoría de la Relatividad, por lo que se hacen necesarias transformaciones diferentes que satisfagan los principios de la teoría de la Relatividad.

En la búsqueda por las transformaciones correctas entre diferentes sistemas de referencia que se mueven uno respecto del otro a velocidad constante; con la condición de que cumplan con los postulados de la relatividad. Lorentz en un genial trabajo, logró encontrar estas relaciones que están dadas por:

$$x' = \frac{x - v \cdot t}{\sqrt{1 - (v/c)^2}} \quad y' = y; \quad z' = z \quad t' = \frac{t - \frac{x \cdot v}{c^2}}{\sqrt{1 - (v/c)^2}}$$

La observación detallada de las ecuaciones de Lorentz trae una serie de casos de interés, quizás los más importantes son:

1. Ya no tiene vigencia que $t' = t$, es decir, que el tiempo transcurrido entre dos eventos depende del sistema de referencia en que se mide, y de su movimiento respecto al otro sistema. La medición del tiempo no es la misma para cualquier sistema de referencia. Por ejemplo, un evento que puede ser simultáneo en un sistema de referencia, en otro no tiene por qué serlo.
2. Las transformaciones de Lorentz quedan reducidas a las de Galileo para velocidades de v muy pequeñas comparadas con c . Es decir, si $v \ll c$ entonces v/c es aproximadamente igual a cero, y las expresiones de Lorentz se transforman en las de Galileo, es por esto que a la Teoría de la Relatividad se la conoce también como la *Física de altas velocidades*, ya que sus efectos comienzan a manifestarse cuando los móviles tienen valores de velocidad comparables a la velocidad de la luz.

3.3 La contracción del espacio (de Lorentz-Fitz Gerald):

Si se mide cualquier objeto que se encuentra en reposo en el sistema S, y el valor de su longitud es L_0 a lo largo del eje x es:

$$L_0 = x_2 - x_1$$

(donde x_2 y x_1 son las medidas de los extremos del objeto en el sistema S) Si se aplican las transformaciones de Lorentz a las mediciones de x_1 y x_2 ; se obtendrá la medición de la longitud del objeto que obtendrá un observador que se encuentra en el sistema de referencia S' que se mueve con velocidad v paralela al eje x. El resultado de tal medición será:

$$L = x_2' - x_1' = L_0 \sqrt{1 - (v/c)^2}$$

Una primera observación, es que el observador que se mueve respecto del sistema de referencia en que el objeto se encuentra en reposo, no va a medir la misma longitud que en el otro; pero algunos otros aspectos interesantes que también se pueden observar son:

1. Si la velocidad v es pequeña comparada con la velocidad de la luz ($v \ll c$), se tendrá que $L \cong L_0$; es decir que para velocidades cotidianas de la Mecánica

Clásica, ambos observadores medirán la misma longitud y los efectos relativistas son despreciables.

2. Si el sistema S' se desplaza a velocidades cercanas a la de la luz, $v/c \approx 1$ y entonces $L = 0$. En otras palabras, para observadores que se mueven a velocidades cercanas a la de la luz, las longitudes que medirá un observador en S' estarán contraídas respecto a las mediciones del sistema de referencia en que el objeto se encuentra en reposo; llegando a un caso extremo en que la longitud será cero cuando S' alcance la velocidad de la luz.
3. Este fenómeno relativista se manifiesta sólo en las longitudes que se miden en las direcciones paralelas a la velocidad v entre los sistemas.

3.4 La dilatación del tiempo

Como se explicó anteriormente, las mediciones del tiempo, en los distintos sistemas de referencias (en contra de la intuición) también serán diferentes debido a los efectos relativistas. La mediciones de tiempo en cualquier marco de referencia siempre se realizan por intervalos entre un tiempo inicial t_1 y uno final t_2 ; es decir $\Delta t = t_2 - t_1$.

Un tiempo medido desde el sistema de referencia S que se considera en reposo, respecto a otro S' que se mueve con velocidad v , será entonces:

$$t_0 = \Delta t = t_2 - t_1.$$

Para poder encontrar la relación de esta medición con su equivalente que obtendrá un observador en S' , se debe aplica a t'_2 y t'_1 las transformaciones de Lorents correspondientes, es decir el resultado de una medición equivalente de un tiempo t realizada por el observador del sistema S' será igual a:

$$t = \Delta t' = t'_2 - t'_1 = \frac{t_0}{\sqrt{1 - (v/c)^2}}.$$

Tal como se analizó para el caso de la contracción del espacio, se puede ver que dos mediciones del mismo tiempo transcurrido, medidas desde dos sistemas de referencias diferentes, que se mueve uno respecto del otro a velocidad v , darán por lo general medidas distintas de tiempo, y sus características son:

1. Si la velocidad v del sistema S' es pequeña comparada con la velocidad de la luz ($v \ll c$), se tendrá que $t \cong t_0$; es decir que para velocidades cotidianas de la Mecánica Clásica, ambos observadores medirán el mismo tiempo.

2. Si el sistema S' se mide a la velocidad de la luz, $v/c \approx 1$, entonces $t = \infty$. En otras palabras, para observadores que se mueven a velocidades cercanas a la de la luz, los tiempos que medirá estarán dilatados respecto a las mediciones del sistema de referencia que se encuentra en reposo; llegando al extremo en que el tiempo no transcurre nunca para el caso de que la velocidad del sistema S' alcance la velocidad de la luz.
3. Este fenómeno se manifiesta solo en las mediciones que se realizan en las direcciones paralelas a la velocidad v .

El carácter relativo del tiempo y el espacio tiene muchas consecuencias interesantes

Lo desarrollado muestra que magnitudes físicas fundamentales, como el tiempo y el espacio, tienen significado solamente si se especifica el marco de referencia en que se realizan las mediciones. Si se fija el marco convenientemente, siempre se puede saber qué mediciones se obtendrá en otro sistema de referencia que se mueve relativamente a velocidad constante, utilizando las Transformaciones de Lorentz. Un evento en el tiempo y el espacio tendrá diferentes aspectos en diferentes sistemas de referencias. Sin embargo, de acuerdo con los postulados de la teoría de la Relatividad, las leyes que describen estos eventos deben tener la misma forma en cualquiera de estos marcos de referencia.

Otras consecuencias de interés se pueden observar cuando se aplica la teoría relativista a las leyes de conservación de la Mecánica Clásica (masa, energía y cantidad de movimiento):

3.5 La relatividad de la masa (m):

Si se aplica las transformaciones de Lorentz a la conservación de la cantidad movimiento lineal durante los choques en que no actúan fuerzas externas se llega a la expresión:

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1-(v/c)^2}}$$

En donde m_0 es la medida de la masa de un cuerpo en el marco de referencia en el cual se encuentra en reposo, mientras que m es su medida obtenida desde el marco que se desplaza a velocidad v . Realizando un análisis de este resultado se puede observar que:

1. Si la velocidad v del sistema S' es pequeña comparada con la velocidad de la luz ($v \ll c$), se tendrá que $m \cong m_0$; es decir que el valor de la medición de la masa que realizará un observador colocado en el marco de referencia en el cual el objeto se encuentra quieto, tendrá el mismo valor que la medición realizada desde otro sistema de referencia que se mueve a velocidad v respecto del primero. Este es el caso común que predomina en la Mecánica Clásica.
2. Si el sistema S' se mueve a velocidades cercanas a la de la luz, $v/c \cong 1$, entonces $m = \infty$. En otras palabras, para observadores que se mueven a velocidades cercanas a la de la luz, la medición de la masa m realizada por un observador que se mueve con velocidad v respecto del marco de referencia en que el cuerpo se encuentra en reposo, crecerá al infinito respecto de la medición m_0 en reposo.

Sería necesario energía infinita para mover un cuerpo de masa infinita a la velocidad de la luz, ésta es una de las razones por lo cual se considera a la velocidad de la luz un límite superior para el movimiento de los cuerpos materiales que poseen masa. No ocurre tal cosa con las partículas que poseen masa despreciable o nula, como es el caso de los fotones que se mueven a la velocidad de la luz.

3.6 La energía relativista:

La relación más célebre de Albert Einstein es aquélla que relaciona la energía de un cuerpo con su masa. Anteriormente al descubrimiento de esta relación, la Mecánica Clásica las trataba por separado y sin relación alguna en dos importantes principios: la conservación de la masa y la conservación de la energía. Para comprender el salto cualitativo aportado por Einstein a la Física en este punto, es conveniente seguir un poco su línea de pensamiento y desarrollo conceptual. El principio del trabajo y la energía de la Mecánica Clásica establece que el trabajo necesario para pasar a un cuerpo de masa m_0 de un estado de reposo a un estado de movimiento con velocidad v es:

$$W = \int_0^W dW = \int_0^s F \cdot dx$$

Si se considera que $F = d(mv)/dt$ y se reemplaza en la ecuación integral anterior y se opera adecuadamente, se llega al resultado final:

$$W = mc^2 - m_0c^2 = (m - m_0)c^2$$

Pero además se sabe por la Mecánica Clásica que el trabajo W que se está tratando es equivalente al cambio de energía cinética K adquirida por el cuerpo por el trabajo realizado sobre él. Es decir:

$$W = K = (m - m_0)c^2$$

La ecuación anterior también puede escribirse como: $E = E_0 + K$, donde:

$E = m.c^2$ y $E_0 = m_0.c^2$, $m_0.c^2$ se conoce como energía en reposo de un cuerpo cuya masa en reposo es m_0 . Este hecho debe comprenderse como que la energía, además de manifestarse en las formas de cinética, potencial, trabajo, electromagnética, térmica, etc... que son tan familiares, también puede manifestarse como masa. El factor de conversión $c^2 = 9.10^{16}$ m/s es muy grande, de modo tal que la energía que se puede obtener de 1 Kg sería 9.10^{16} joules. La conversión de materia en energía, es la fuente de la energía liberada en todas las reacciones exotérmicas de la Física y la Química, y únicamente se explica y calcula exactamente si se utiliza la teoría de la relatividad, éste es uno de los hechos que dan gran fortaleza a la teoría.

Si se expresa la energía cinética K en función de la cantidad de movimiento lineal p , se obtiene la expresión $K = p^2/2m$; reemplazando este resultado en la ecuación anterior y operando, se llega a la expresión:

$$E = \pm [m_0^2 c^4 + p^2 c^2]^{1/2}$$

Si todas las ecuaciones obtenidas para la Mecánica Relativista son aplicadas a la Mecánica Clásica, se obtienen los mismos resultados, es decir que la teoría de la Relatividad es consistente con la Mecánica Clásica, y esta última es un caso particular de la primera. En otras palabras, la Mecánica Clásica es el caso particular de bajas velocidades de la Mecánica Relativista, y no es verdad el caso inverso, porque la Mecánica Clásica no explica correctamente los casos físicos que se desarrollan a altas velocidades cercanas a la de la luz. Sintetizando se puede afirmar que la Mecánica Relativista es de aplicación general, mientras que la Mecánica Clásica es de aplicación particular (a bajas velocidades).

Debido a que las partículas atómicas y subatómicas se mueven a velocidades comparables a la de la luz; en el estudio y cálculo de los fenómenos del campo de la Física Atómica y Nuclear se deben aplicar los principios y ecuaciones relativistas. Las experiencias realizadas en esta dirección fueron todo un éxito, fortaleciendo y convalidando los resultados obtenidos por la Teoría Relativista.

Los hechos mencionados muestran la importancia del rol de la teoría de la Relatividad en los tratamientos en el campo de la Física Atómica y Nuclear.

4. Síntesis y Conclusiones:

Una importante cantidad de nuevos conceptos han sido aportados al conocimiento de la humanidad por estas ramas modernas de la Física. De sus ideas revolucionarias, que se introducen en el campo de la filosofía y la metafísica, se pueden obtener importantes razonamientos que sirven para arrojar mayor luz sobre cuestiones en que la filosofía misma no ha podido avanzar en su invaluable búsqueda de la verdad, incluso en ocasiones, equivocando el camino:

1. Para cuerpos materiales (aquéllos que en reposo poseen masa distinta de cero), la velocidad de la luz es un límite de la naturaleza, debido a que, en la medida que el cuerpo mencionado se mueven a mayor velocidad, su masa se incrementa, a tal punto, que cuando se acerca a la velocidad de la luz su masa tiende a crecer hasta el infinito; en esta situación, es necesario energía infinita para mover un cuerpo de masa infinita a la velocidad de la luz. Esto implica que los cuerpos materiales no pueden moverse a velocidades cercanas a la de la luz ya que la cantidad de energía disponible por el universo no es infinita. Por este motivo, insistimos, los cuerpos materiales no se pueden mover a la velocidad de la luz, y por ende no presentan efectos relativistas como la dilatación del tiempo o contracción de las longitudes extremas, que, por el contrario, sí logran alcanzar las partículas cuánticas de masa nula en reposo. La naturaleza de los cuerpos materiales se encuentra limitada por el simple hecho de que su cuerpo posee materia.

2. Todo lo contrario ocurriría, si existieran en la naturaleza cuerpos inmateriales (cuya masa en reposo sea nula). Éstos no se verían condicionados por el límite natural de los cuerpos materiales, podrían moverse sin impedimento a velocidades de la luz. Ante tal situación, tendría vigencia para ellos la dilatación del tiempo en el caso extremo, en el cual el tiempo se dilataría tanto que nunca transcurriría para ellos; no existiendo diferencia entre pasado, presente y futuro... ¿Será ésta la justificación científica de la existencia de la eternidad?...

3. En la misma dirección de pensamiento, tales cuerpos inmateriales, al moverse a velocidades igual que la de la luz, las longitudes se contraerían a cero; es decir que sus

desplazamientos serían instantáneos, independientemente de lo extensa que sea la distancia que deban recorrer. Teóricamente podrían desaparecer de un lugar y aparecer instantáneamente en otro por más lejos que se encuentre...

4. ¿Hasta dónde se puede especular con la existencia de cuerpos inmateriales?... De hecho, la mecánica cuántica plantea que la naturaleza se caracteriza por la dualidad onda-partícula; entre las cuales existen partículas inmateriales que se mueven a la velocidad de la luz; una de las más importantes es el fotón. Estas partículas cuánticas existen, inundando todo a nuestro alrededor; y sólo podemos ver por nuestros ojos una pequeña cantidad de ellos, aquéllos que tienen su frecuencia en el pequeño ancho de banda que el ojo humano es capaz de percibir, el estrecho espectro visible del ancho espectro electromagnético.

5. Otro hecho que refuerza la posibilidad de la existencia de cuerpos inmateriales, lo representa uno de los descubrimientos más brillantes obtenidos por Einstein, cuando se expuso la ley de la teoría de la Relatividad de la masa; su resultado manifiesta que la masa se puede transformar en energía, es decir, que un cuerpo material se puede transformar en energía compuesto por partículas cuánticas inmateriales...

Evidentemente no hay nada en la Física moderna que contradiga la posibilidad de la existencia de cuerpos inmateriales, por el contrario, provee fundamentos que refuerzan la idea de su existencia. En lo que la ciencia todavía no se puede pronunciar a favor o en contra, es en el hecho de si estas partículas inmateriales se pueden organizar en cuerpos más complejos e incluso puedan tener vidas. Este tema por ahora se mantendrá en el terreno de la fe.

La realidad es que queda mucho camino por recorrer; la ciencia recién está comenzando a dar sus primeros pasos en estos campos, por lo que no hay que descartar la posibilidad de la existencia de cuerpos inmateriales formados por partículas inmateriales.

Lo paradójico del avance científico, es que su recorrido en estas áreas ha “*avanzado*” del determinismo de la Mecánica Clásica a la “*incertidumbre*” de la Mecánica Cuántica, cuyo pilar es el principio de incerteza de Heisenberg. Actualmente, en la Física que trata estos temas, lo único que se puede asegurar, es la incapacidad de determinar los hechos, sólo se puede determinar la probabilidad de que ocurran. En otras palabras, lo más seguro en la Física moderna es la incertidumbre...

Entonces lo más indicado es abrir la mente al hecho de que existe la posibilidad de que estas cosas y muchas otras pueden ocurrir y no han sido descubiertas aún...

5 Bibliografía y referencias.

1. Agazzi, Evandro. *“Temas y problemas de Filosofía de la Física”*. Ed. Herder. 1978.
2. Alonso Finn. *“Física”*. Vol. I, II y III. Ed. Aguilar. 1984.
3. Baig, Antoni y Monserrat, Agustench. *“La Revolución Científica”*. Ed. de la Biblioteca de Recursos Didácticos Alhambra. 1988.
4. Beiser, Arthur. *“Conceptos de Física Moderna”*. Ed. Mac Graw Hill. E.E.U.U. 1995.
5. Bunge, Mario. *“La ciencia, su método y su filosofía”*. Ed Siglo XX. 1985.
6. Crito, Adolfo. *“El método científico en las ciencias sociales”*. Ed. Paidós. 1983.
7. Feynman, Leighton and Sands. *“Mecánica”*. Inter Editions. 1963.
8. Hernández, José. *“Martín Fierro”*.
9. Huxley, Aldous. *“Literatura y Ciencia”*. Ed. Sudamericana. 1979
10. Jardine, J. 1992. *“La Física en sus aplicaciones”*. 1º Edición. Ed. Unigraf. Madrid. pp: 250.
11. Kittel, Charles. Mecánica. Berkeley: *“Curso de Física”*. Education Development Center Inc. 1972.
12. Levich, B. G.. *“Mecánica Cuántica”*. Ed. Reverté. 1976.
13. Newton, Isaac. *“Principios Matemáticos de la Filosofía Natural”*. Ed. Nacional. 1982.
14. Ortega Y Gasset, José. *“Meditación de la Técnica”*. Rev. De Occidente. 1993.
15. Resnick, R., Halliday, D., Krane, K. 2000. *“Física.”*. Compañía Editorial Continental. Mejico
16. Sears-Zemansky. *“Física Universitaria”*. Vol. I. Pearson Education. 1996.
17. Serway Raymond, *“Física “*. Mc Graw. Hill 1996..