

Tiempo, Espacio y Universo
Autores: Lic. Ada Iris Infante Ricardo
Lic. Jorge Pérez Hernández

RESUMEN:

En este artículo se valora la importancia del estudio de los conceptos espacio y tiempo en la evolución de la Física como ciencia y su significación en las diferentes concepciones del Universo. Se plantea la implicación filosófica de que el tiempo y el espacio sean inseparables entre sí y a su vez de la materia en movimiento.

ABSTRACT:

The importance of the study of the concepts space and time in the evolution of the Physics as science and its significance in different conceptions of Universe are evaluated in this paper. Philosophical implications of the unity of space – time, matter and motion are also analyzed.

INTRODUCCIÓN:

La Física, desde sus inicios, convirtió el tiempo en objeto de su estudio experimental y teórico. No es que exista una rama que estudie especialmente el tiempo, sino que toda ella relaciona sus principios y leyes fundamentales con las ideas acerca del tiempo; de modo que la evolución de este concepto ha traído grandes cambios en las concepciones de esta ciencia y en la visión acerca del origen y evolución del universo. Sin pretender dar una respuesta acabada, nos preguntamos: ¿cuál es la naturaleza del tiempo?; ¿siempre y en cualquier condición el tiempo transcurre al mismo ritmo?; ¿hubo un principio en el tiempo?; ¿habrá un final?

DESARROLLO

Según Rosental y Iudin, en su Diccionario Filosófico, el tiempo y el espacio se definen como formas básicas de existencia de la materia, los cuales hoy día se consideran inseparables, pero cabe preguntarse, ¿ siempre fue así?

- **El espacio- tiempo en la mecánica clásica.**

¿ Si cerca de nosotros pasa un reloj a gran velocidad, podemos estar seguros de que sus indicaciones corresponden exactamente a las indicaciones de nuestros relojes?

Una persona sin instrucción al respecto respondería a esta interrogante que sí. Igualmente respondería un conocedor partiendo de la mecánica clásica, elaborada antes del siglo XX en las obras de Galileo Galilei, Isaac Newton y otros.

En Principios Matemáticos de la Filosofía Natural, Newton considera el tiempo como una recta infinita en ambas direcciones, separado del espacio y que ambos constituyen un “escenario” sobre el cual se producen los sucesos, pero no son afectados por estos, es decir, la marcha del tiempo no depende del carácter y la velocidad del movimiento de los cuerpos y las propiedades del espacio permanecen invariables e iguales en cualquier lugar.

Entre los siglos XVII – XIX los éxitos de la mecánica clásica se sucedían uno tras otro; sin embargo, las nociones sobre el tiempo y el espacio se sometían a crítica constantemente, se enunciaban otros puntos de vista que no fueron aceptados por la comunidad científica de entonces.

A finales del siglo XIX los científicos consideraban que la luz se propagaba a través de cierto medio elástico finísimo que llenaba todo el espacio al que denominaron “éter”. Maxwell planteó la necesidad de demostrar su existencia y sugirió un experimento basado en la ley de adición de velocidades de Galileo que pretendía determinar la velocidad de la Tierra respecto al éter. Pero, durante mucho tiempo los científicos no lograron diseñar dispositivos técnicos que sirvieran para estos fines.

En 1881 Albert Michelson confeccionó el interferómetro que poseía una sensibilidad y una precisión muy elevadas. ¿Cuál es su principio de funcionamiento?

El haz luminoso emitido por la fuente se refleja y transmite por el espejo semirreflectante con capacidad de reflejar la mitad de la luz incidente al espejo 1 y transmitir la otra mitad al espejo 2. En estos espejos se produce la reflexión de la luz y ambos haces

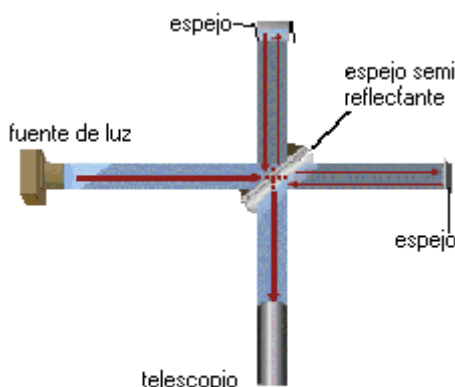


fig.1 Dispositivo de Michelson - Morley

al coincidir producirán un patrón de interferencia.

Utilizando el interferómetro, Michelson y Morley compararon la velocidad de la luz de dos rayos mutuamente perpendiculares. Cuando la Tierra gira sobre su eje y alrededor del Sol, el aparato se desplazaría por el éter con rapidez y dirección variables, pero no detectaron diferencias diarias, ni anuales entre las velocidades de ambos rayos.

Para tratar de explicar el resultado negativo de este experimento Lorentz, sin renunciar al movimiento absoluto ni a la existencia del éter, supuso que al moverse los cuerpos ocurre una variación de sus dimensiones y del ritmo del tiempo. Para ese caso ofreció un grupo de ecuaciones que recibieron el nombre de transformaciones de Lorentz, a partir de las cuales se deducen las

expresiones cuantitativas de la reducción de la longitud $l = l_0 \sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2}$ y de

$$t = \frac{t_0}{\sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2}}$$

la dilatación del tiempo, donde l y t son la longitud y el intervalo de tiempo medidos desde un sistema de referencia inercial respecto al cual el objeto y el reloj se mueven con un valor de velocidad v ; l_0 y t_0 son la longitud y el intervalo de tiempo medidos desde un sistema de referencia inercial respecto al cual el objeto y el reloj se encuentran en reposo y c es la velocidad de la luz en el vacío.

- **El espacio- tiempo en la teoría de la relatividad.**

Para el comienzo del siglo XX las siguientes ideas estaban bien establecidas:

1. Las leyes de la mecánica son igualmente válidas para cualquier sistema inercial.
2. Al pasar de un sistema inercial a otro, son válidas las leyes de transformación de las coordenadas de la mecánica clásica.
3. La velocidad de la luz en el vacío es constante y no depende de la velocidad del movimiento de la fuente y del observador.
4. Se pensaba que la luz se propaga mediante el éter(aunque ya se sabía que las propiedades del éter eran raras y contradictorias).

En estos momentos se acumularon ciertas dificultades serias: en la mecánica, la no comprensión de la naturaleza de la gravitación; en la astronomía, la

desviación de la trayectoria de Mercurio respecto a la calculada y en la óptica, el resultado negativo del experimento de Michelson.

En el año 1905, Albert Einstein elaboró la **teoría especial de la relatividad** en la que planteó una solución inesperada y muy elegante a todo el problema y amplió considerablemente los conceptos existentes en el siglo XIX sobre el tiempo, las dimensiones y la masa de los cuerpos. Las ideas fundamentales de esta teoría aparecen en su artículo: Sobre la Electrodinámica de Cuerpos en Movimiento publicado en 1905. En este, Einstein generaliza el postulado clásico de la relatividad a todos los fenómenos físicos. Los principios fundamentales en que se basa la teoría especial son:

- Las leyes de la Física son las mismas para cualquier sistema inercial.
- La luz se propaga en el vacío con velocidad constante, independientemente del estado de movimiento de la fuente emisora.

Con ayuda de una serie de experimentos mentales, que representan un análisis de la situación real, Einstein encontró que estando en un sistema inercial y observando los acontecimientos o procesos en otro que se mueve a una velocidad constante respecto al primero, el observador descubre en el otro sistema un retardo en el ritmo del tiempo, una reducción de las dimensiones de los cuerpos y un aumento de su masa, y que cuantitativamente estos cambios ocurren según las transformaciones de Lorentz.

La dependencia de las coordenadas espaciales de las temporales y viceversa reveló la unidad y el carácter relativo del espacio - tiempo. Este análisis exigió abandonar la idea de que hay una magnitud universal llamada tiempo que todos los relojes pueden medir y condujo a la representación de un tiempo propio para cada observador.

Esta teoría tuvo dos limitaciones esenciales: no toma en cuenta los efectos gravitatorios y sólo es válida para sistemas inerciales. En 1915, Einstein propuso la **teoría general de la relatividad** que se basa en el principio de equivalencia, el cual plantea que la aceleración y la gravitación son indistinguibles e intercambiables por lo tanto son fenómenos de la misma naturaleza. Esto sugiere que la gravedad es una consecuencia de que el espacio- tiempo no es plano, sino curvo o “deformado” por la distribución de masa y energía presente en el universo.

Los cuerpos no se mueven entonces por órbitas curvas debido a la gravedad, sino que siguen trayectorias rectas en un espacio curvo. A esto se le llamó **curvatura del espacio- tiempo**.

Por ejemplo: la masa del Sol curva el espacio- tiempo de forma tal que a pesar de que los planetas del sistema solar siguen una trayectoria recta en el espacio- tiempo cuatridimensional, nos parece que se mueve en una curva cerrada en el espacio tridimensional.

Esta teoría realiza muchas predicciones. Veamos algunas de ellas:

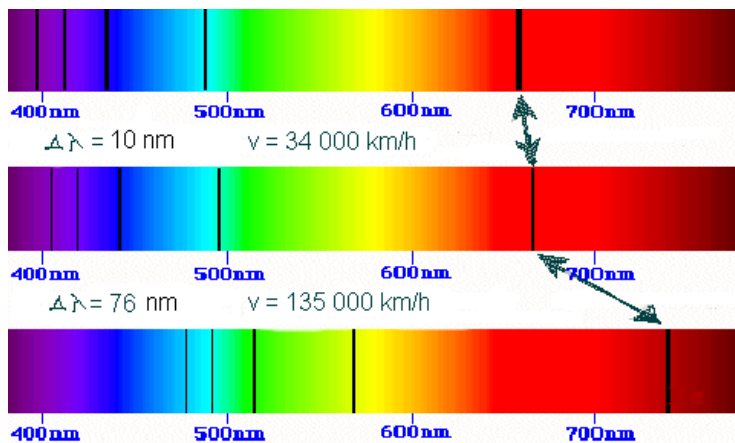
1. Mercurio, el planeta más cercano al Sol, sufre los efectos gravitatorios más fuertes de nuestro sistema solar y sigue una órbita bastante alargada; de la teoría general de la relatividad se deduce que el eje mayor de su elipse debería rotar alrededor del Sol a un ritmo de 1° cada 10 000 años, cuestión que ya había sido observada.
2. La luz también será desviada por la curvatura del espacio- tiempo. Esto fue comprobado durante el eclipse de Sol en 1919 y luego confirmado en reiteradas ocasiones.
3. El tiempo debe transcurrir más lentamente cerca de un cuerpo de gran masa como la Tierra. Esto fue comprobado en 1960 por físicos de la Universidad de Harvard. En su experimento la onda electromagnética (radiación gamma) viajaba una distancia de 22 m desde el techo hasta el suelo de la torre del laboratorio. El atraso del tiempo pronosticado se confirmó con un error del 10 % de la magnitud medida y el experimento descubrió el corrimiento gravitatorio al rojo, al cual se hará referencia más adelante. Más tarde se ha confirmado en numerosas ocasiones.
4. El tiempo prácticamente se detiene en un campo de gravitación muy fuerte. Un ejemplo de esto son los huecos negros. Un cuerpo que cae en el campo de gravitación del hueco negro prolongará su caída hasta el infinito. Cuanto más próximo se halla, más lento se presentará el tiempo para un observador alejado. Se plantea que ninguna emisión puede salir de él.

Con la teoría de la relatividad se asume el espacio tiempo afectado por los sucesos que en él ocurren, dependiente del sistema de referencia escogido y distorsionado por la distribución de materia. Estas nuevas ideas revolucionaron el concepto de universo considerado ahora dinámico y en expansión; surgido

entre 12 400 y 14 900 millones de años atrás, debido a una explosión inicial (el Big Bang) y con la posibilidad de un final (el Big Crunch).

¿ Cómo fue descubierta la expansión del Universo?

El astrónomo estadounidense Edwin Powell Hubble al realizar observaciones astronómicas observó un desplazamiento hacia el rojo en las líneas espectrales de las galaxias, lo cual relacionó, en 1929 con la expansión del Universo. Sugirió que este desplazamiento hacia el rojo, llamado desplazamiento hacia el rojo cosmológico ($\Delta\lambda$), es provocado por el efecto Doppler y permite determinar la velocidad de alejamiento de las galaxias y la distancia hasta ellas (ver fig. 2) Un segundo mecanismo de desplazamiento hacia el rojo es el corrimiento hacia el rojo gravitatorio, llamado también desplazamiento de Einstein. Fue pronosticado por Albert Einstein en la teoría de la relatividad general, según la



cual procesos periódicos se hacen más lentos en un campo gravitacional intenso. Es notable en el espectro de estrellas masivas compactas, como las enanas blancas.

fig.2 Desplazamiento de las rayas espectrales hacia la zona roja del espectro

Suele aceptarse que los amplios desplazamientos

hacia el rojo observados en cuasares son cosmológicos; sin embargo, algunos científicos creen que están producidos por el desplazamiento de Einstein u otro mecanismo desconocido.

- **Una nueva visión de la relación espacio- tiempo**

A partir del análisis de la teoría general de la relatividad se plantea que si se emite un pulso de luz en un instante dado y en un punto específico del espacio, a medida que pasa el tiempo, se extiende como una esfera de luz cuyo tamaño y posición son independientes de la velocidad de la fuente. Si esto ocurriese en un modelo bidimensional sería como las olas que se extienden en un río al lanzar una piedra; si a este espacio se agregase la dimensión temporal sería como un cono cuyo vértice estará en el lugar y tiempo en que se produjo el suceso. De igual forma ocurre en el espacio cuatridimensional.

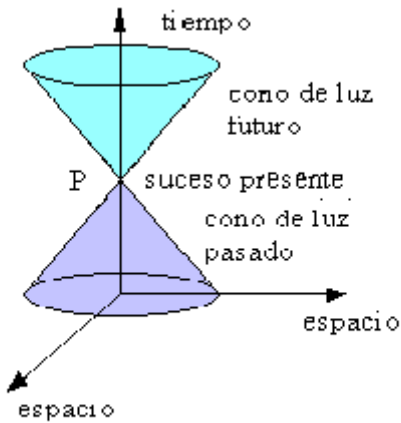


fig. 3 Esquema espacio temporal de la ocurrencia de un suceso, según la teoría de la relatividad.

- consecuencia del suceso presente.
- Lo que queda fuera de los conos son los sucesos que no serán afectados, ni afectarán al suceso P.

Por ejemplo, en la figura 4, si el Sol deja de alumbrar, la Tierra no sería afectada inmediatamente, sino sólo 8 minutos después, que es el tiempo que tarda la luz del Sol en alcanzarnos. Significa que los sucesos en la Tierra están fuera del cono de luz futuro hasta que transcurran 8 minutos, que es cuando entra en él.

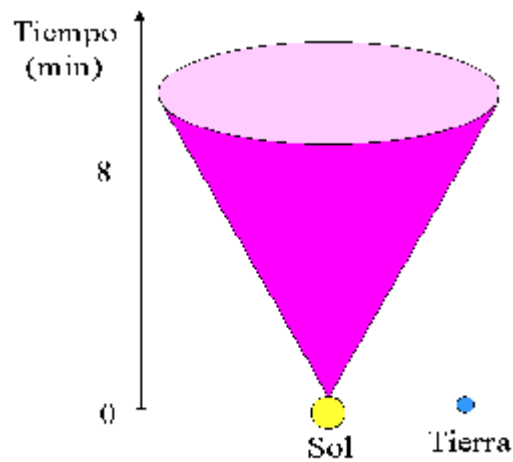


fig.4 Esquema del cono de luz y su afectación a la Tierra

De igual modo la luz que nos llega de las galaxias partió de ellas hace millones de años; por lo tanto estamos viendo su pasado.

Stephen Hawking físico teórico británico, nacido en 1942 y que lucha contra la esclerosis lateral amiotrófica, una enfermedad incurable del sistema nervioso motor, es conocido por sus intentos de aunar la relatividad general con la teoría cuántica y por sus aportes relacionados con la cosmología. Indicó en su investigación que la relatividad general, si es cierta, apoya la teoría de que el origen del Universo se produjo a partir de una Gran Explosión o *Big Bang*, surgida de una singularidad o un punto de distorsión infinita del espacio y el tiempo.

Según la teoría clásica de la gravedad, hay sólo dos formas en que puede comportarse el universo:

- Ha existido durante un tiempo infinito.

- Tuvo un principio, en una singularidad dentro de algún tiempo finito en el pasado.

Tras realizar numerosos intentos por crear la teoría unificada de los campos aún no se posee una teoría completa y consistente que combine la mecánica cuántica con la gravedad, pero los estudios de Hawking proponen introducir el concepto "tiempo imaginario" basado en los posibles cálculos donde se utilizarían números imaginarios; en esta construcción matemática el tiempo imaginario constituye una perpendicular al tiempo real y se comporta como una cuarta dimensión espacial. En esta teoría se combina el "tiempo imaginario" con las ideas de la curvatura del espacio - tiempo de la teoría general.

Según esta teoría cuántica de la gravedad surge una tercera posibilidad:

- El espacio - tiempo es finito en extensión pero no tiene ninguna singularidad que forme una frontera o borde en el tiempo; o sea, podría formar un espacio de cuatro dimensiones, finito, sin singularidades ni fronteras, como la superficie de la Tierra pero con dos dimensiones más.

Según el modelo de Hawking no se necesita especificar ninguna condición de contorno, el universo estaría autocontenido, todo estaría determinado por el principio de incertidumbre de Heisenberg(1920) y de ser así podría tener, como sugiere la teoría de Feynman, múltiples historias y no sólo una. En tiempo imaginario a cada superficie cerrada le correspondería una historia y a cada una de esta, una historia en tiempo real que puede ser diferente de la nuestra (habitada o no, con galaxias o no)

Esta idea podría explicar muchas de las características observadas del universo como su uniformidad a gran escala y las desviaciones de la homogeneidad a más pequeña escala. Si es así el universo no tendría ni principio, ni fin.

CONCLUSIONES:

En la mecánica clásica se consideraba el espacio y el tiempo como categorías absolutas e independientes de la materia. La teoría de la relatividad demostró que no hay espacio único e invariable y que lo mismo sucede con el tiempo; es decir, el espacio y el tiempo son absolutos no en el sentido newtoniano, no porque sean inmutables o iguales para todo el universo, sino que son absolutos en el sentido filosófico de que todo existe en el espacio y el tiempo. No pueden separarse el uno del otro; como tampoco la materia puede separarse de ellos.

El universo tiene aún mucho por mostrarnos. Hoy día se desarrollan nuevas teorías acerca del tiempo, el espacio y el universo. Cada nueva teoría aumenta el caudal de conocimientos del hombre sobre él y en la medida que la ciencia vaya confirmando los postulados y resolviendo las contradicciones de la realidad objetiva con las viejas ideas podrá responder sus interrogantes, pero se plantearán otras nuevas.

BIBLIOGRAFÍA:

- **CHERNIN, A.** Física del tiempo. Ed. Mir. Moscú. 1987.269 p.
- **FERRAT, A y otros.** Mecánica. Primera Parte. Ed. Pueblo y Educación. Ciudad de La Habana. 1988. 506 p.
- **FRISH, S; A, TIMOREVA.** Curso de Física General. Tomos I y III. Ed. Mir. Moscú. 1967.
- **HALLIDAY, D; R. RESNICK.** Física. Parte 2. Ed. Revolucionaria. La Habana. 1965. 768 p.
- **HAWKING, STEPHEN.** Historia del tiempo: del Big Bang a los agujeros negros. Ed. Crítica. Barcelona. 1988. 245 p.
- _____ . El universo en una cáscara de nuez. Ed. Crítica. Barcelona. 2002. 216 p.
- **INFELD, LEOPOLD.** ¿Qué dijo realmente Einstein? Instituto cubano del libro. La Habana. 1973.
- **ROSENTAL, M; P. LUDIN.** Diccionario Filosófico Abreviado. Ed. Pueblos Unidos. Montevideo, 1961.
- **STRELKOV, S.** Mecánica. Ed. Mir. Moscú, 1978. 560 p.
- **ZAVELSKI, F.** El tiempo y su medición. Ed. Mir. Moscú.1987.280 p

