

EXTRATERRESTRES (V): EL “ESPACIO-TIEMPO”

Miguel Guerrero

En el artículo anterior hablamos de cómo percibimos el espacio y el tiempo en el universo conocido. Nos centramos especialmente en mensurarlos a base de escalas, para así tener un mayor conocimiento de ellos y poder entender por qué es complicada una comunicación con posibles civilizaciones extraterrestres.

En el artículo anterior hablamos de cómo percibimos el espacio y el tiempo en el universo conocido. Nos centramos especialmente en mensurarlos a base de escalas, para así tener un mayor conocimiento de ellos y poder entender por qué es complicada una comunicación con posibles civilizaciones extraterrestres.¹

Pero una cosa es cómo perciben nuestros sentidos las cosas y otra muy distinta es cómo son realmente las cosas. Por ejemplo, un daltónico percibe algunos colores de diferente manera, ciertos animales ven en blanco y negro, la percepción sensorial de los autistas es diferente de los que no lo son, la percepción del paso del tiempo en una mosca es diferente al de una tortuga, debido al fenómeno de la refracción percibimos las cosas que hay en el agua de diferente manera que los animales acuáticos, etc.

Nuestros sentidos están adaptados para percibir de una cierta manera el medio que nos rodea, las cosas que hay y suceden al rededor nuestro, es decir, cerca de nosotros. Sin embargo, cuando tratamos de percibir el Universo con unos sentidos que no están adaptados para percibir los objetos y cuerpos muy alejados, observamos que éstos no son realmente como las percibimos. La física cuántica y la relatividad nos demuestran que nuestros sentidos nos confunden cuando tratamos de percibir un medio muy diferente al que estamos acostumbrados,

el Universo.

Para entender el Cosmos ya no nos sirve el “Espacio Euclidiano” ni el “tiempo cíclico” que entendían nuestros antepasados o el “tiempo lineal” que entendemos ahora. El espacio y el tiempo se comportan de manera diferente en el Cosmos, y para entenderlo necesitamos algo más que nuestros sentidos, porque éstos no nos dan una respuesta real cuando tratamos de percibir el macrocosmos o el microcosmos. Tenemos que echar mano de “nuevas herramientas”, como la física cuántica y la relatividad, que nos permiten entender (lo de entender es un decir) o por lo menos explicar ciertas cosas que no somos capaces de percibir adecuadamente con nuestros sentidos.

Debido a esta percepción que hemos desarrollado durante millones de años y que está adaptada a lo que acontece en nuestro entorno más próximo, nos podría parecer que una comunicación con extraterrestres, en caso de que existieran, es algo sencillo. Sin embargo, el hecho de que una civilización con alta tecnología, situada en una galaxia lejana, pueda contactar con nosotros, es algo mucho más complicado de lo que a primera vista pudiera parecer. Hay una serie de factores que lo complica y que vamos a tratar de explicar en las siguientes líneas.

En primer lugar tendremos que diferenciar entre la concepción del espacio y tiempo tradicional (la que hemos visto hasta ahora, que no es otra que la que entienden nuestros sentidos) y la del “espacio-

1

tiempo” de Minkowski. La primera se basa en la mecánica clásica, cuyos principios fundamentales fueron establecidos por Newton, y en el que el tiempo es una coordenada independiente de las coordenadas espaciales y es una magnitud idéntica para cualquier observador. Es decir, son medidas diferentes que se miden de formas muy distintas y las percibimos también de distintos modos. Mientras que la concepción del “espacio-tiempo” de Minkowski se considera una medida absoluta que incluye tanto al espacio como al tiempo. Es decir, una medida unificada que es la que se suele utilizar en la relatividad de Einstein debido a la incorrección de la mecánica newtoniana, especialmente visible a velocidades comparables con la velocidad de la luz.

Hay que recordar que actualmente la única tecnología que disponemos, y que nos permitiría una comunicación con civilizaciones extraterrestres, son las ondas electromagnéticas. Nuestra percepción del espacio y del tiempo hace que este tipo de comunicación no sea instantánea para nosotros, porque estas ondas necesitan recorrer un espacio y tardan un tiempo en llegar a su objetivo. Esto supone una barrera importante para las comunicaciones, ya que las ondas electromagnéticas viajan a una velocidad finita que llamamos velocidad de la luz, por lo que cuanto más alejada se encuentre una posible civilización más difícil se hace una posible comunicación. Por otra parte, si intentan comunicarse mediante alguna tecnología más avanzada que la nuestra, lógicamente no la conocemos y por tanto no podemos recibir sus emisiones.

Con la tecnología actual puede que nos parezca igual de fácil establecer una comunicación con una posible civilización de nuestro vecindario estelar que con una de nuestra galaxia o incluso con una que se encuentre en una galaxia lejana. Sin embargo es mucho más complicado cuanto más nos alejamos en el espacio y en el tiempo. Sería como tratar de comunicarse mediante el sonido (a base de gritos) desde la ladera de un gran valle con

la ladera de enfrente (nuestro vecindario estelar), o tratar de comunicarse con alguien que vive en una ciudad a 20 Km de distancia (al otro lado de nuestra galaxia) o con América (galaxia lejana). Sería una ingenuidad pensar que el sonido de nuestros gritos va a llegar a América en condiciones adecuadas para que nos puedan escuchar. También sería una ingenuidad tratar de comunicarnos mediante señales de radio con una tribu aislada en el Amazonas, ya que ellos no disponen de esa tecnología. Por tanto, aún suponiendo que hubiera una media de una civilización por galaxia capaz de emitir señales electromagnéticas, sería casi imposible captar esas señales. Veamos por qué.

La velocidad de la luz

La luz, como todas las radiaciones electromagnéticas, está formada por partículas elementales desprovistas de masa denominadas fotones. Es la parte de la radiación electromagnética que puede ser percibida por el ojo humano. Pero cuando en astronomía hablamos de la velocidad de la luz no nos referimos únicamente a la velocidad de la luz visible sino a cualquiera de las distintas radiaciones electromagnéticas (fig1). La velocidad de la luz en el vacío es siempre la misma, independientemente de la velocidad de la fuente de luz respecto al observador, es decir, las leyes de la física y de la luz deben ser las mismas para todos los observadores independientemente de en qué estado de movimiento se encuentren.

Se considera una constante universal, invariable en tiempo y espacio físico. Se representa con la letra “c”, que proviene del latín *celeritas* (en español, celeridad o rapidez). Recorre 299.792.458 metros por segundo, 1.080 millones de km por hora y 9.460.730.472.580,8 km en un año (algo menos de diez billones de kilómetros). La base teórica de la velocidad de la luz es expresada mediante la relación que se plantea entre cuánta es la tardanza de la luz en traspasar en el vacío desde un punto a otro, y se mide en el tiempo. Hay que decir que en el boletín *Huygens n.º 49 (2004)* de la AAS,

nuestro compañero Paco Pavía escribió un artículo en el que intenta demostrar que la constante “@” o velocidad de los campos gravitatorios, que tiene la misma velocidad que “c”, debería ser sustituida por esta última, ya que al crearse más tarde, “c” es consecuencia de “@”.

Continuando con la constante “c”, y a modo de ejemplo, podemos decir entonces que la luz del Sol tarda aproximadamente 8 minutos y 19 segundos en llegar a la Tierra. Esta velocidad se relaciona con otra medida estipulada que es el año-luz, el cual se refiere a la distancia recorrida por la luz en un año. Un año-luz no es una unidad ni de tiempo, por lo de año, ni de velocidad, por lo de la luz. Un año luz es una unidad de longitud (es una medida de la longitud del espacio-tiempo absoluto einsteniano). Sin embargo en campos especializados y científicos, se prefiere el pársec (unos 3.26 años luz) y sus múltiplos para las distancias astronómicas, mientras que el año luz sigue siendo habitual en ciencia popular y divulgación.

En otros medios se mueve más lento (a través de un diamante se mueve a solo el 40%). Así que la luz de todo lo que nos rodea tarda un tiempo en llegar a nuestros ojos. En el caso de la luz de una

pantalla de ordenador que esté a 50 centímetros, tarda 1,6 nanosegundos, o lo que es lo mismo, un poco más de la milmillonésima parte de un segundo. Así que podríamos decir que es casi instantáneo. En nuestra vida cotidiana todo lo que nos rodea se mueve en esa escala de nanosegundos. Las señales de las calles, la gente que vemos en un local, los coches que vemos al principio de una calle, etc. En todos esos casos, necesitamos que la luz viaje hasta nuestros ojos para verlo. Así que se produce un pequeño retraso, pero es un lapso de tiempo tan breve que lo podríamos considerar casi simultáneo. Incluso dentro del entorno de la Tierra nos movemos en esa escala.

La velocidad de la luz es finita. Así que al leer estas líneas, en realidad estás leyendo algo que ya ha pasado. La luz tiene que recorrer los centímetros que separan tus ojos del texto de este artículo de esta revista de Huygens que tienes en tus manos. Así que, en realidad, a nuestro alrededor siempre vemos el pasado, y la culpa es de “la luz”. Hemos de decir que todo esto se debe a una percepción determinada de nuestros sentidos, ya que la relatividad y la mecánica cuántica tienen “una manera distinta de percibir el tiempo”. En el próximo capítulo hablaremos de esto.

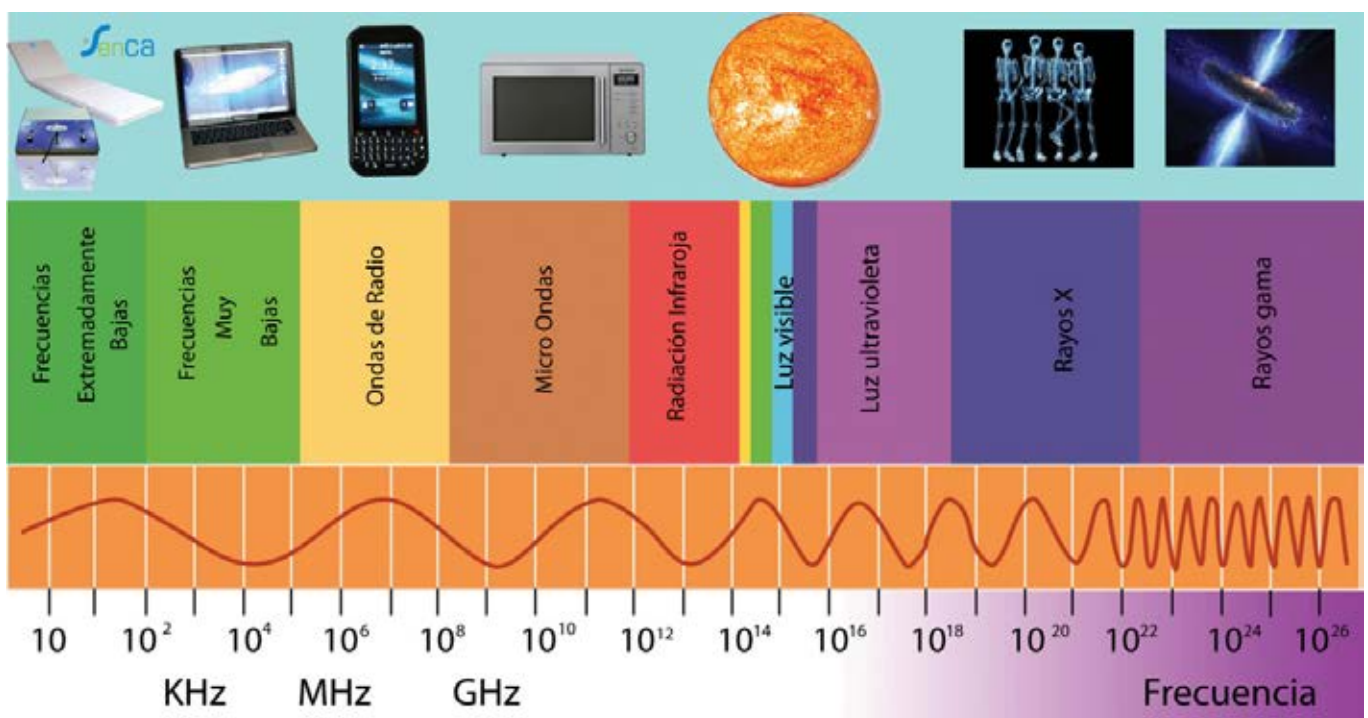


FIGURA 1.- ESQUEMA QUE REPRESENTA LAS FRECUENCIAS DE EMISIÓN DE ONDAS ELECTROMAGNÉTICAS DESDE LAS MAS LARGAS (MENOR ENERGÍA) HASTA LAS MAS CORTAS (MAYOR ENERGÍA).

Mientras tanto, nuestros sentidos nos dicen que cuanto más lejos esté el objeto que vemos, más tiempo necesita la luz para llegar hasta nosotros. Así, la luz de la Luna, que orbita a una media de 384.400 kilómetros de distancia, tarda 1,28 segundos en llegar. La luz del Sol tarda aproximadamente 8 minutos y 19 segundos en llegar a la Tierra. Alfa Centauro, la estrella más cercana a nosotros, se encuentra a 41,32 billones de kilómetros, pero en realidad no utilizamos esos números tan grandes, y decimos que se encuentra 4,3 años-luz. La estrella Vega se encuentra a 25 años-luz y Deneb a 3.200 años-luz. Nuestra galaxia, la Vía Láctea, tiene un diámetro aproximado de unos 100.000 años-luz. La galaxia más cercana, Andrómeda, se encuentra a 2,5 millones de años-luz. La galaxia “Messier 100” se encuentra a unos 55 millones de años-luz, así que su luz partió sólo 10 millones de años después de la extinción de los dinosaurios. La galaxia más lejana que hemos observado en el universo es GN-z11 y se encuentra en la constelación de la Osa Mayor. La vemos tal y como era justo 400 millones de años después del Big Bang.

Mirando el cielo es posible ver el pasado

Si un rayo cae a 1 km de distancia de donde nos encontramos lo veremos instantáneamente, mientras que el trueno tardará cerca de tres segundos en llegar a nosotros. El sonido, a pesar de ser rápido en cortas distancias (viaja a unos 340 m/s), en grandes distancias no es lo suficientemente rápido y tarda un tiempo en llegar a nuestros oídos. Por lo tanto escuchamos lo que ha sucedido hace unos segundos. Pues lo mismo ocurre con la luz en el espacio.

La luz, que viaja a una velocidad de casi 300.000 km/s, en la inmensidad del espacio “es muy lenta”. Las distancias son tan grandes que hasta la luz sufre ese retraso hasta que llega a nuestros ojos. Por eso, cuando decimos que una estrella está a 8 años luz, significa que la luz que proviene de ella ha tardado 8 años en llegar hasta nosotros. Por lo

tanto, al mirar a esa estrella, lo que estamos viendo no es lo que ocurre allí en la actualidad, sino lo que pasó en esa estrella hace 8 años. ¡Estamos viendo el pasado!

Supongamos que en un planeta de Deneb, que es una estrella que se encuentra a 3.200 años luz, hubiera una civilización que dispusiera de una tecnología con telescopios tan potentes que, apuntando a la Tierra, pudieran ver objetos del tamaño de una pelota. Podrían ver las personas de la Tierra. ¿Pero qué personas estarían viendo si apuntaran a la Tierra en estos precisos momentos? Pues si apuntaran a la zona del delta del Nilo estarían viendo nada menos que a los egipcios que vivían en la dinastía XIX, hace 3.200 años, que es el tiempo que a tardado la luz de nuestro planeta en llegar a “sus telescopios”.

Pero los cuerpos que observamos en el universo están cada uno a una distancia diferente, lo que significa que cada cuerpo que vemos lo vemos como era en una época diferente. Es decir, la Luna la vemos cómo era hace 1,2 segundos, el Sol lo vemos cómo era hace 8 minutos, la estrella más cercana la vemos cómo era hace 4 años y medio, la galaxia más cercana la vemos cómo era hace 2,5 millones de años. Lo que a su vez significa que no podemos ver cómo eran todos los diferentes cuerpos del universo en una misma época, por ejemplo hace 100 años, a no ser que observemos únicamente los cuerpos que están justamente a esa distancia. De lo que se deduce que todos los cuerpos del universo no solo están distantes unos de otros en el espacio sino también en el tiempo. Nuestros aparatos de detección no sólo están apuntando a distintos sitios sino también en distintos tiempos.

Vamos a hacer una analogía para intentar entender esto. Las ondas electromagnéticas en el vacío y las del sonido en el aire se desplazan de forma esférica, es decir, en tres dimensiones; pero las ondas producidas por una piedra lanzada en un estanque se propagan de forma circular, es decir, en dos dimensiones. Cuando tiramos una piedra en un

estanque vemos cómo las ondas que ha producido ésta, se van atenuando conforme se alejan en la distancia y en el tiempo que hace que hemos tirado la piedra (fig2). Ahora imaginemos que las ondas que produce el sonido no se atenuaran con el tiempo y la distancia, y pudieran conservarse, o por lo menos registrarse, aunque su atenuación llegase a ser casi infinita. El sonido viaja y se transmite por el aire, pero la Tierra es finita y este sonido no puede escapar hacia el espacio exterior. Así que cualquier sonido emitido en cualquier lugar y en cualquier momento permanecería atrapado en la atmósfera terrestre. Supongamos que, además, dispusiéramos de una tecnología que nos permitiera captar cualquiera de estos sonidos emitido en cualquier época, aunque éste se hubiera debilitado casi hasta el infinito. Sería como si las ondas sonoras de las voces de todos los humanos que han poblado la Tierra estuvieran todavía flotando en el aire, y mediante una tecnología muy avanzada pudiéramos escuchar las ondas sonoras de una conversación emitida por un grupo de romanos, egipcios, neandertales o incluso homínidos. Serían voces reales pero emitidas cada una en una época distinta (pero también captadas en épocas distintas, siempre que se dispusiera de una tecnología que lo permitiera) y por tanto sin posibilidad de comunicación entre ellos. Supongamos que ahora tuviéramos una tecnología que pudiéramos captar unas voces emitidas por unos homínidos en el centro de África hace 2 millones de años. En primer lugar, no sabríamos qué dicen; en segundo lugar, estarían alejados de nosotros en el espacio (miles de km nos separan hasta el centro de África); y en tercer lugar, serían voces emitidas hace mucho tiempo. Lo mismo ocurre si captáramos unas señales provenientes de la galaxia de Andrómeda, con el agravante de que estas señales viajan, llegan y se van, no se quedan atrapadas en nuestro planeta, hay que captarlas en el momento preciso. Estos conceptos, algo abstractos, los desarrollaremos con más detenimiento más adelante.

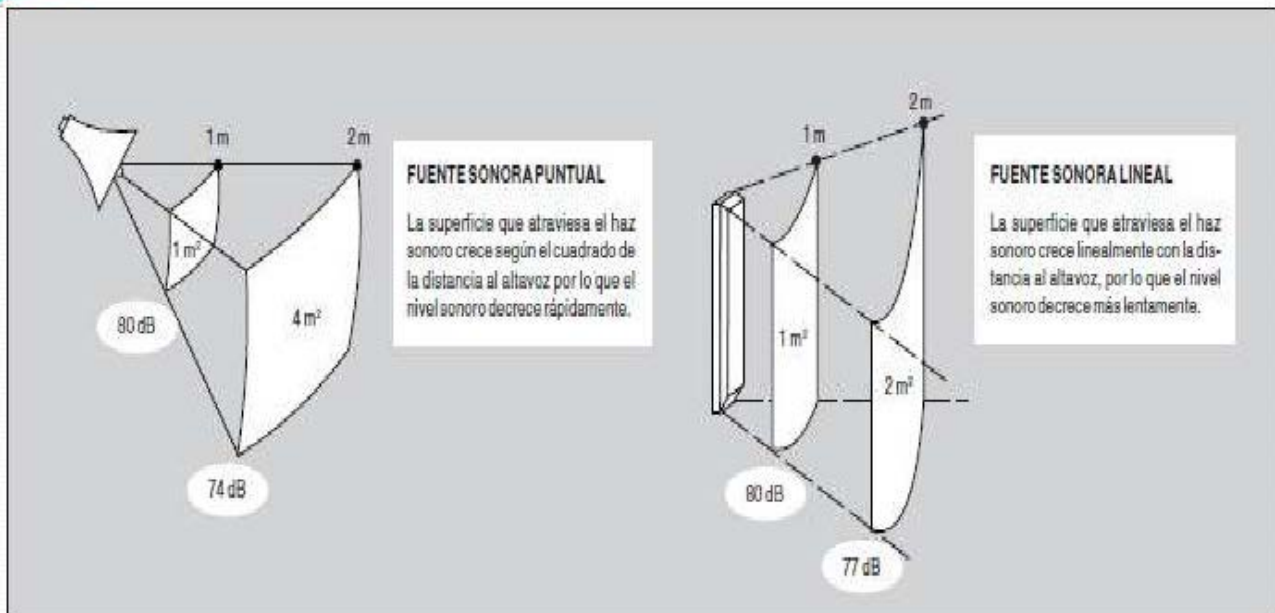
¿Cómo medir dos sucesos simultáneos en el universo?

Si dos sucesos se producen en un lugar determinado o uno muy cerca del otro, no tenemos problemas en determinar si son sucesos simultáneos o no. Sin embargo, si estos sucesos ocurren en lugares alejados, la determinación de si son o no simultáneos se vuelve difícil y confusa.

Aquí en la Tierra podemos medir dos sucesos simultáneos si se han producido muy cerca porque la luz y el sonido nos llegan de forma casi instantánea. Sin embargo, si se producen lejos tenemos que echar mano de las matemáticas y la física. “El presente” es algo subjetivo porque nuestros sentidos son los que determinan si algo acaba de ocurrir o ya hace tiempo que ocurrió. Por ejemplo, si en un momento determinado se produjeran dos relámpagos, uno a 1 km de donde nos encontramos y el otro a 10 km de distancia, un observador sordo diría que acaban de suceder y además han ocurrido a la vez porque ha visto la luz de los relámpagos que han sucedido de forma simultánea, sin embargo un observador ciego pero no sordo, diría que uno ha ocurrido antes que el otro, y además los sucesos ocurren en el momento que los oye, no antes. Pero al señor ciego le tenemos que explicar que la física y las matemáticas demuestran que sus sentidos no le dicen la verdad de lo que ocurre. Para nuestros sentidos el sonido se comporta en la Tierra como la luz en el Universo, es decir, los dos tardan en llegar a nuestros receptores sensitivos. Resulta que la simultaneidad es algo relativo, y se estudia en la teoría de la relatividad, debido a que la velocidad de la luz es finita. ¿Podría ser que alguna civilización poseyera unos sentidos que pudieran ver a la luz viajar de forma instantánea de una parte a otra del Universo? Realmente es así como se comporta la luz cuando los observadores viajan a su velocidad.

Supongamos que en estos precisos momentos en el que leemos estas líneas suceden dos acontecimientos en distintas partes del Universo. Pongamos por caso que se originan dos explosiones de supernova, una en nuestra galaxia, a 30.000 años luz, y otra en la

Propagación del SONIDO



- **ATENUACION CON LA DISTANCIA:** La regla básica y fundamental en Electroacústica, es que el sonido se atenúa gradualmente, conforme nos alejamos de la fuente sonora.

galaxia de Andrómeda, a 2,5 millones de años luz. Lógicamente nosotros no podemos ser conscientes de que estos hechos acaban de ocurrir. La ciencia actual no tiene mecanismos ni tecnología para saber que estos acontecimientos acaban de suceder, ya que la luz tardaría en llegar a la Tierra treinta mil años en un caso y dos millones y medio de años en el otro (sería como el ciego que oye un trueno antes que el otro). Es decir, dentro de 30.000 años se podrá saber que explotó una supernova en nuestra galaxia, y dentro de 2,5 millones de años se podrá saber que en Andrómeda explotó otra supernova.

Así pues, para medir o estudiar un evento en el Universo, los distintos observadores situados en diferentes puntos de él, no solo deberán tener en cuenta las tres dimensiones espaciales, sino que también deberán tener en cuenta “la dimensión temporal”. La física newtoniana, que funciona perfectamente en la vida cotidiana, percibe el tiempo como absoluto e independiente del observador, es decir, que si a la hora de salir un avión distintos observadores ponen a cero su cronómetro, a la llegada del avión pueden

comprobar que siguen sincronizados y dan lecturas idénticas. Nuestra experiencia diaria nos dice que el tiempo es el mismo, independientemente de si vas en coche, andando, estás parado o vas en avión. Pero cuando hablamos del Universo, donde todo se mueve en diferentes direcciones y velocidades, éste es tan vasto que tenemos que tener en cuenta algo más que la física newtoniana. Aquí es cuando nos adentramos en el terreno de la teoría de la relatividad y donde Einstein nos dice que el tiempo también depende de la situación y velocidad del observador.

Para empezar, la teoría de la relatividad es complicada de entender y asimilar porque no tiene ningún reflejo en la vida cotidiana. No existe un sólo indicio que hayamos podido percibir con nuestros sentidos que nos indique que todo esto es cierto. Desde la perspectiva relativista, para percibir cambios significativos en el tiempo se necesitan velocidades cercanas a la luz, sin embargo desde la perspectiva newtoniana, es decir, a velocidades bajas, el tiempo también es un factor debido a las grandes distancias. Todos

los observadores en cualquier parte del Universo pueden creer que están parados y que es el resto del Universo el que se mueve al rededor de ellos. Diferentes observadores estarán en desacuerdo sobre el tiempo y la distancia entre diferentes eventos. En el espacio tridimensional tradicional todos los observadores podrían ponerse de acuerdo en la distancia entre dos puntos A y B, pero en la teoría de la relatividad esto ya no es cierto como veremos en el siguiente apartado donde hablaremos del “espacio-tiempo” de Minkowsky.

Es evidente que todo se mueve en el universo, y por eso todo depende de dónde esté situado el observador y lo que éste observe. Porque cualquier observador está en movimiento y cualquier cosa observada también. Y las velocidades de observadores y eventos observados son diferentes, por lo tanto el tiempo de los sucesos observados también son diferentes. ¿Entonces, qué ocurre con el espacio y con el tiempo si hay observadores (civilizaciones) situados en diferentes puntos del universo moviéndose a velocidades distintas?

Nada en el universo parece que está en reposo, todo se mueve. La Tierra se mueve sobre sí misma (rotación) a una velocidad de 1.600 km/h, y también gira alrededor del Sol, describiendo una órbita elíptica, a una velocidad media de 29,8 km/s (siendo máxima en el perihelio 30,75 km/s y mínima en el afelio 28,76 km/s). El Sol también se mueve respecto a nuestra galaxia a una velocidad de 251 Km/s, con lo que arrastra a la Tierra en ese movimiento (fig3).

Un hecho muy interesante que casi nunca se tiene en cuenta es que las órbitas de los planetas alrededor del Sol, y la órbita del Sol alrededor del centro de la Galaxia no son coplanares, como uno pensaría intuitivamente. Es decir, el plano en el que giramos alrededor del Sol no es el mismo plano en que el Sol gira alrededor de la galaxia, sino

que ambos planos están casi perpendiculares, hay una inclinación de casi 63° relativamente uno del otro. Se cree que no hay una causa externa de esta inclinación, que es aleatorio y depende de las condiciones iniciales cuando se formó el sistema solar, y que otros sistemas planetarios tienen sus propias inclinaciones relativas al plano de la galaxia. Por cierto, no se sabe realmente cómo es la órbita del Sol alrededor de la Vía Láctea, porque nosotros la vemos “de canto”. Se cree que dura entre 225 y 250 millones de años, que estamos en uno de sus ocho brazos espirales, el brazo de Orión, y que además el Sol tiene un movimiento periódico “de arriba a abajo” que lo hace pasar por el plano ideal de la galaxia 2,7 veces en cada vuelta.

Sabemos que la vía Láctea también se mueve. Aunque no aparenta estar girando alrededor de nada, sí se mueve en una determinada dirección junto a sus vecinas del cúmulo de 30 galaxias, llamado Grupo Local. Dentro de nuestro grupo, se podría decir que las galaxias giran alrededor del centro de masa del grupo, que está entre nuestra galaxia y Andrómeda (las dos galaxias con mayor masa). Este grupo de galaxias forma parte de un grupo más grande, llamado el Supercúmulo de Virgo. Nuestra galaxia probablemente choque contra la Galaxia de Andrómeda, mientras viaja con el resto de las galaxias atraídas por el Gran Atractor, un centro gravitacional de nuestro cúmulo, formado por miles de millones de viejas galaxias que



FIGURA 3.- REPRESENTACIÓN DEL MOVIMIENTO DEL SISTEMA SOLAR COMPLETO EN SU DESPLAZAMIENTO ALREDEDOR DEL CENTRO DE LA VÍA LÁCTEA.

chocan entre sí. Debido a que el Universo se está expandiendo, las galaxias se están alejando unas de otras y sobre todo, debido a que el Universo no es lo suficientemente viejo como para que completen una órbita cerrada, no podríamos decir que estamos girando alrededor de algo más grande, porque aunque sea así, ni siquiera hemos dado una vuelta completa alrededor de “eso”. Finalmente está lo que llamamos “universo observable” que no es más que una burbuja esférica alrededor nuestro de lo que podemos observar desde nuestra posición en todas direcciones, y la luz que nos llega desde las galaxias más lejanas. Y en este caso, no hay forma posible de saber si somos parte de una estructura mayor que está girando alrededor de algo. Es probable que no, pero no hay forma de saberlo. Esto se debe a que 13.800 millones de años luz es la distancia del universo observable, más allá es imposible saber que exista algo más porque de haberlo se estará alejando de nosotros a una velocidad mayor a la de la luz, y por tanto su luz nunca nos alcanzará. Por lo tanto, cualquier civilización que exista más allá de esta distancia nunca se podrá comunicar con nosotros ni nosotros con ellos.

Este conjunto de movimientos nos obligan a viajar por el Universo a velocidades vertiginosas. Pero las velocidades son relativas, dicho de otra manera, sólo podemos conocer cómo se mueve un objeto respecto a otro. No sabremos jamás cuál es la velocidad absoluta de un objeto porque para ello tendríamos que conocer un punto totalmente inmóvil en el Universo y, nos guste o no, ese punto de referencia universal, no existe. Así pues, no sabemos a qué velocidad nos movemos por el Universo. Ahora bien, si no podemos dar una velocidad absoluta, al menos podemos calcular las velocidades relativas hasta donde alcancen nuestros conocimientos. Y éstas, aunque no son velocidades cercanas a la de la luz, sí que son velocidades verdaderamente vertiginosas.

Así pues, nada está inmóvil en el universo, todo se mueve, y todo se mueve respecto a algo. Así que, desde el supuesto de que una civilización

emitiera sus señales hace cuatro mil millones de años en una galaxia lejana, todos los cuerpos del Universo han cambiado de posición. ¿Qué ocurre entonces cuando los emisores de señales y los observadores de esas señales están en movimiento a grandes velocidades?

El espacio-tiempo de Minkowski

Hermann Minkowski (fig4) nació el 22 de junio de 1864 en Aleksotas, parte del Imperio Ruso, hoy Lituania. Realizó sus estudios universitarios en la Universidad de Königsberg, en la actualidad Kaliningrado. Allí, en 1885 recibió el doctorado en matemáticas. Dió clases en las universidades de Bonn y Königsberg. En el año 1902, Minkowski se trasladó de Zürich, donde había sido profesor de Einstein en el ETH, a la Universidad de Göttingen. Fue allí donde, en 1905, comenzó a estudiar una formulación geométrica más precisa de la electrodinámica y se interesó particularmente por los trabajos de Einstein sobre el tema. Dos años más tarde, el 7 de noviembre de 1907 dio un coloquio sobre relatividad y fue por primera vez,



Fig. 4.- HERMANN Minkowski.- LITUANIA 1864, ALEMANIA, 1909

cuando tanto los términos espacio-tiempo como de luz, entre otros, fueron conocidos.

Hay que recordar que Minkowsky fue uno de los profesores de Einstein en el Politécnico de Zurich, y que, como con muchos otros docentes del ETH, su relación con él durante los estudios no fue buena. De hecho, cuando Minkowski tuvo conocimiento por primera vez del trabajo de Einstein en relación a la Relatividad Especial le comentó a Max Born: “Ah, ¿Einstein? Siempre se saltaba las clases. Nunca le hubiera creído capaz de esto”.

Sin embargo, hay que poner en el haber de Minkowski que, a diferencia de otros profesores, no sólo llegara a aceptar y trabajar en los postulados de Einstein, sino que descubriera una visión de la Relatividad Especial, “el espacio-tiempo plano y absoluto”, que unos años más tarde sería la base de partida de Einstein para la incorporación de la gravedad en la teoría, y el consiguiente desarrollo de la Relatividad General.

El espacio y el tiempo que conocemos son completamente diferentes. El movimiento en el espacio es tridimensional y el tiempo “fluye” en una única dirección y sentido, desde el pasado hacia el futuro, es decir, se miden de formas muy distintas y los percibimos también de distinto modo, mientras que el concepto unificado de espacio-tiempo, introducido por H. Minkowski en 1908, es una mera simplificación matemática.

Antes de la teoría de la relatividad de Einstein se entendía el tiempo como una invariante relativista. Es decir, se postulaba que si un fenómeno ocurría en un tiempo t (un chasquido, un parpadeo, un aplauso, un segundo), todos los observadores en el universo medirían el mismo intervalo de tiempo sin importar su velocidad, e inclusive su aceleración. Pero Einstein se dio cuenta que esto no era posible, pues un observador alejándose de la fuente del fenómeno recibirá la información asociada con el inicio y el fin del mismo en instantes de tiempo diferentes que uno acercándose a este. Así pues, las leyes de la

física, y por tanto de la luz, deben ser las mismas para todos los observadores independientemente de en qué estado de movimiento se encuentren. Y para que esto sea cierto, el espacio y el tiempo no pueden ser independientes. La coordenada temporal de un evento dado, por lo tanto, es la misma para todos los observadores, independientemente de su posición y velocidad relativa. El “espaciotiempo” es la suma física de todos los eventos que suceden a las cosas. Si no existiesen cosas cambiantes, no habría “espaciotiempo”.

En la visión tradicional, en la cual se basa la mecánica clásica, cuyos principios fundamentales fueron establecidos por Newton, el tiempo es una coordenada independiente de las coordenadas espaciales y es una magnitud idéntica para cualquier observador. Si un evento ocurre a 400 metros, es natural preguntar a 400 metros de qué. Pero si nos dicen que un accidente ocurrió a las 5 de la tarde, ese tiempo tiene carácter absoluto. Sin embargo Einstein demostró que las mediciones de espacio y tiempo en relatividad especial dependen del movimiento relativo de los observadores.

De acuerdo a las teorías de la relatividad de Einstein, el tiempo no puede estar separado de las tres dimensiones espaciales, sino que al igual que ellas, éste depende del estado de movimiento del observador. En esencia, dos observadores medirán tiempos diferentes para el intervalo entre dos sucesos, la diferencia entre los tiempos medidos depende de la velocidad relativa entre los observadores. Si además existe un campo gravitatorio, también dependerá la diferencia de intensidades de dicho campo gravitatorio para los dos observadores.

La Teoría Especial de la Relatividad, tal y como fue enunciada por vez primera por Einstein, era una teoría puramente algebraica, sin referencia alguna a ningún tipo de geometría. Para trabajar mejor con las ecuaciones de la relatividad especial, Hermann Minkowski asignó a todo evento una cuarta dimensión. Así que, se debe a Minkowski

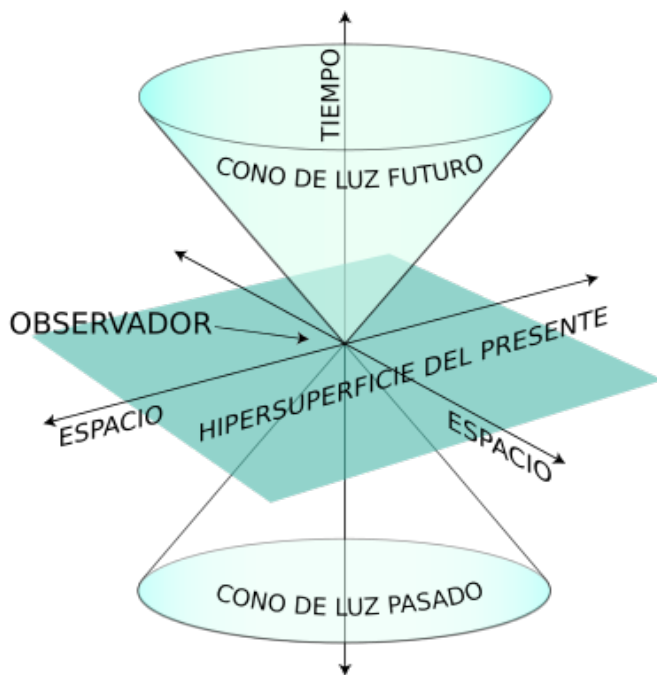


FIGURA 5.- REPRESENTACIÓN DEL ESPACIO-TIEMPO DE CUATRO DIMENSIONES

la proeza de haberla convertido en una teoría geométrica llevando a cabo de paso la unificación de dos conceptos que en la mecánica clásica habían sido considerados completamente independientes y separados el uno del otro: el espacio y el tiempo. Gracias a Minkowski, el espacio y el tiempo fueron unificados en un solo concepto básico e indivisible bajo una sola palabra, el “espaciotiempo” (aquí lo llamaremos “espacio-tiempo” en el entendido de que ambos conceptos han sido fusionados en uno solo), de modo tal que no era posible hablar ya del espacio como entidad individual y del tiempo como entidad individual también, separados el uno del otro.

El intervalo de espacio-tiempo de Minlowski es una especie de “distancia” entre sucesos (fig5). Pero no la distancia que separa a los sucesos en el espacio, ni la distancia que los separa en el tiempo, sino la distancia que los separa usando una medida que incluye tanto al espacio como al tiempo. Las coordenadas medidas por otro observador diferente difieren de las medidas por el primer observador (la transformación que permite relacionar las coordenadas de dos observadores diferentes en el espacio de Minkowski se llaman transformaciones de Lorentz).

Para entender mejor lo que significa el espacio-tiempo, imaginemos que queremos quedar con alguien. Lógicamente quedaremos en algún lugar y a una hora determinada. Una dirección consta de tres datos: Una longitud, una latitud y una altura sobre el nivel del mar (aunque hemos inventado el nombre de las calles y el número para no tener que dar tres coordenadas cada vez). Pero esto no sería suficiente, además, le tenemos que decir a qué hora quedamos. Es decir, además de la información del punto en el espacio donde queremos encontrarnos le tenemos que decir la hora a la que queremos que eso ocurra. Por lo tanto, para identificar el suceso “quedar con un amigo” tenemos que dar cuatro datos. Esto implica que nuestro espacio-tiempo tiene cuatro dimensiones.

Nuestros cerebros se han desarrollado por evolución adaptándose a un entorno tridimensional, no cuatridimensional. Visualizar un espacio de cuatro dimensiones es más difícil que explicarle a alguien la esfera de tres dimensiones con las dos dimensiones del papel; esto último no es imposible (porque nuestro cerebro sí imagina tres dimensiones espaciales) pero no es fácil, y probablemente acabemos echando mano de las matemáticas. Tocando el papel no basta.

Así pues, llegamos a la siguiente conclusión: Para que diferentes observadores, situados en diferentes puntos del Universo y moviéndose a diferentes velocidades, puedan medir los diferentes eventos que ocurrieron, ocurren y ocurrirán en el Universo, deberán tener siempre en cuenta el “espacio-tiempo” de Minkowsky.

Continuará...

Referencias:

El “Espacio-tiempo” de Minkowsky https://es.wikipedia.org/wiki/Espacio-tiempo_de_Minkowski

Hermann Minkowsky https://es.wikipedia.org/wiki/Hermann_Minkowski

Transformaciones de Lorentz https://es.wikipedia.org/wiki/Transformaci%C3%B3n_de_Lorentz

El problema de la simultaneidad <http://www.relatividad.org/bhole/simultaneidad.htm>