COMPORTAMIENTO DEL TIEMPO
EL ESPACIO CURVO Y GEODÉSICO EN AGUJEROS NEGROS

COMPORTAMIENTO DEL TIEMPO
EL ESPACIO CURVO Y GEODÉSICO EN AGUJEROS NEGROS

ENSAYO: RELATIVIDAD GENERAL – Octubre 14 de 2010
Ms. Dario Sanabria C.

Abstract.
A continuación se presenta una nueva interpretación de la deflexión angular de la luz teniendo en cuenta la curvatura del espaciotiempo que permite interpretar el comportamiento de los agujeros negros.

Tomamos el modelo de deflexión de Einstein para el Sol ajustado a un observador.

$$\delta\phi_E = \frac{4GM}{R_0 C^2} \tag{1}$$

La cual la podemos expresar como:

$$\sin(\delta\phi/2) \approx \delta\phi/2 = \frac{2GM}{R_0 C^2} \tag{2}$$

$$\delta\phi_E = \frac{kGM}{R_0 C^2} \tag{3}$$

De donde Einstein para un observador ubicado en la superficie de la Tierra, determino un valor para $k = 4$ y un valor de deflexión $\delta\phi = 1,74\, seg$ con un radio igual al del Sol, mientras por la gravedad Newtoniana se determino un $k = 2$.

1. DEFLEXIÓN ANGULAR DE ACUERDO A LA POSICIÓN DEL LENTE GRAVITACIONAL - OBSERVADOR

La deflexión angular de la luz surge como efecto del espaciotiempo curvo causado por la distribución de la masa y esta densidad de materia genera un espacio geodésico envolvente a una altura determinada sobre el cuerpo del astro. De esta forma se plantea el siguiente desarrollo:

En la Figura 1, se indica la deflexión angular “∅” que sigue la luz para alcanzar una altura “h” sobre el Sol a partir de su radio de curvatura “r” sobre el horizonte plano en la posición real de la estrella; que intersecta el espacio curvo en un punto horizonte “p” ubicado con un ángulo “β”. El plano de la geodésica sobre el polo del sol permite determinar a que altura “h” se observara la estrella con una elevación angular “θ”.

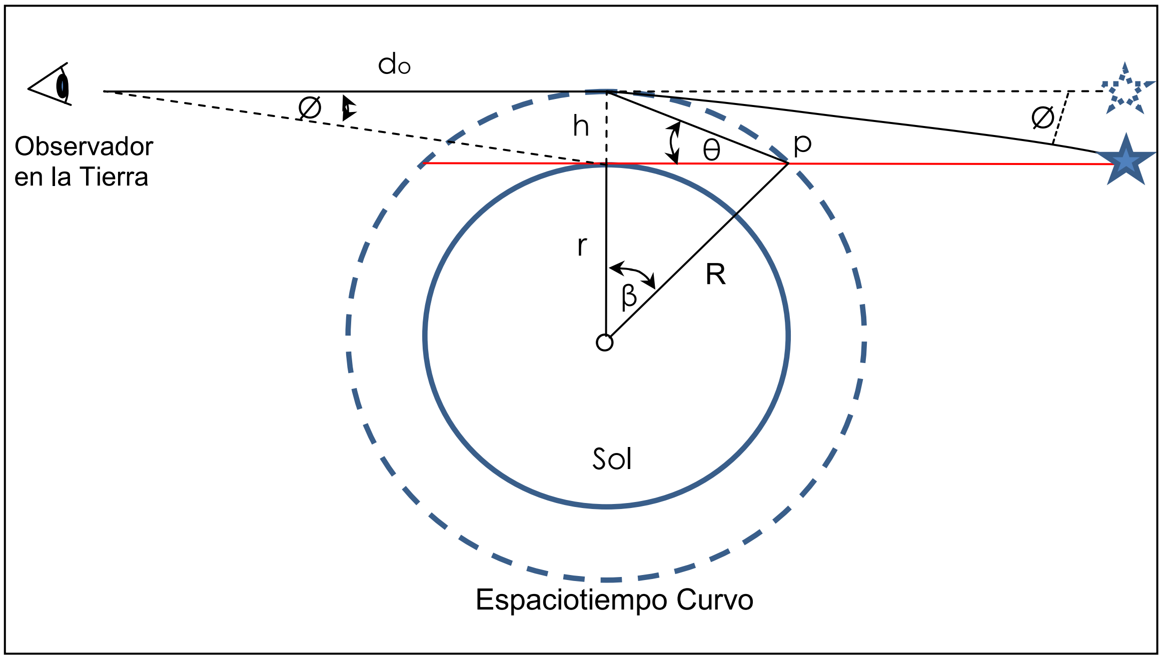

***Figura 1**. Esquema de la deflexión angular y del espaciotiempo curvo*

De la Figura 1, se obtiene la siguiente formulación:

$$R = r + h = \frac{r}{\cos(\beta)}$$

La altura de la geodesica sobre el Sol esta dada por:

$$h = r\left(\frac{1-\cos(\beta)}{\cos(\beta)}\right) \tag{4}$$

De donde:

$$h = r\tan(\beta)\tan(\theta)$$
$$r\tan(\beta)\tan(\theta) = \frac{1-\cos(\beta)}{\cos(\beta)}$$

$$\tan(\theta) = \frac{1-\cos(\beta)}{\sin(\beta)} \quad \Rightarrow \quad \tan(\beta/2) = \frac{1-\cos(\beta)}{\sin(\beta)} \tag{5}$$

$$\theta = \beta/2 \tag{6}$$

Entonces concluimos que el ángulo que circunscribe la geodesica de luz a una altura “h” es la mitad del ángulo que genera la geodesica del horizonte con un radio “R” sin gravedad.

Un observador ubicado en la superficie de la tierra a una distancia “d_o” del Sol, observara una altura geodesica determinada por:

$$h = \phi * d_0$$

De donde la deflexión angular de la luz para un sistema en equilibrio ubicado a una distancia “d_o” de la lente gravitacional es:

$$\phi = \frac{h}{d_0} = r\frac{1}{d_o}\frac{1-\cos(\beta)}{\cos(\beta)} = \frac{1}{d_0}\frac{r}{9{,}8}\frac{\pi}{180}$$

$$\phi = \frac{\pi}{1764}\frac{r}{d_0} = \left(\frac{1-\cos(\beta)}{\cos(\beta)}\right)\frac{r}{d_0} \tag{7}$$

Luego la relación angular que existe entre la distribución de la masa para los planetas y el espacio geodésico propio para un sistema en equilibrio es del orden de $\beta = 3{,}416970708$ grados. Mediante cantidades aproximadas de masa, radio y distancia al Sol, se desarrollo el siguiente ejercicio indicado en la Tabla 1.

Tabla 1*. Correspondencia para “k” y la altura geodesica*

ASTRO	***k***	***h (km)***	***ϕ (seg)***	***ASTRO***	***k***	***h (km)***	***ϕ (seg)***
Sol	4	1240	1,74	Júpiter	8,3	127	0,033
Mercurio	740	4,3	0,0153	Saturno	10,7	107	0,0154
Venus	168	10,8	0,0206	Urano	6,3	45,5	0,00327
Tierra	112	11,4	0,016	Neptuno	3,2	44	0,0020
Marte	192	6	0,0056				

* Valores aproximados

La Tabla indica que tan variable es el valor de “k” en función de la deflexión angular de la luz para obtener el equilibrio tanto en concentración de masa como en distancia al Sol.

Cuando Eddington en el año de 1919 confirmo la predicción de Einstein, se enfrento a la sobreposición de la lente gravitacional del Sol y a la lente de la Luna que le arrojaron varios valores a una aproximación de *1,61 ± 0,3 seg*.

Mediante la ecuación (7) con un punto de observación sobre la Tierra, para una distancia Tierra – Luna que tiene una lente gravitacional débil se determina una deflexión de la luz de *1,66 seg.,* cuya geodesica esta pasando a una altura de 3,0km sobre la superficie lunar. De igual forma para una distancia Tierra - Sol la lente gravitacional determina una deflexión de la luz de *1,74 seg* y la geodesica pasa a una altura de 1.240 km sobre el Sol.

Integrando la ecuación (3) con la ecuación (7) del campo gravitacional nos permite definir el concepto geodésico con la densidad de masa para un sistema en equilibrio:

$$\phi = \left(\frac{1-\cos(\beta)}{\cos(\beta)} \right) \frac{r}{d_0} = \frac{kGM\cos(\beta)}{rC^2} \tag{8}$$

La solución se obtiene para $0 < \beta < \pi/2$

De la ecuación (8), se evidencia que cuando $\beta \to \pi/2$ el radio del astro esférico tiende a cero, lo que implica que la masa se concentra en un volumen muy pequeño (**densidad infinita**) y el sistema es muy inestable con un campo gravitacional muy fuerte, caso en el cual se obtiene la máxima altura geodesica ubicada en :

$$h = \frac{r}{\cos(\beta)} - r \quad , \quad Cos(\beta) \to 0 \ \text{ con } \ h >>> r \ \text{ y } \ \theta \to \pi/4 \tag{9}$$

Por otro lado la forma de equilibrar el sistema es que el valor de $k \to \infty$ requiriendo para ello que la velocidad aumente considerablemente hasta infinito, dado que la velocidad de la luz es constante y tiende a disminuir por el espaciotiempo, no es posible estabilizar el sistema y por consiguiente la luz no puede escapar; y por el contrario la masa se acelera inconmensurablemente hacia el centro del disco dentro del radio horizonte de eventos perdiendo altura geodesica.

De esta forma recurrimos a la ecuación del horizonte de eventos o frontera de eventos, dada por la ecuación de energía:

$$\frac{1}{2}mc^2 - \frac{mGM}{r} = 0 \tag{10}$$

$$r_e = \frac{2GM}{c^2} \tag{11}$$

Mas halla del horizonte de eventos se determina un espacio $r - r_e$ en forma de anillo que configura la disposición de masa y energía hasta el horizonte de “r”.

La ecuación (10) la podemos expresar en términos de la velocidad de la luz y la curvatura gravitacional como:

$$c^2 - \frac{2GM}{r} = 0 \tag{12}$$

De la ecuación (12) se deduce que para aquellos sistemas gobernados por campos gravitacionales fuertes, donde la masa esta concentrada en un radio muy pequeño, el sistema colapsara si mantenemos la velocidad constante, por tal razón existen cuerpos que aunque están perturbados estos se mantienen aislados, caso en el cual incorporamos la variable “k” para evitar su crecimiento.

Entonces, expresando en términos de la ecuación (4) se obtiene:

$$c^2 h\cos(\beta) = kGM(1-\cos(\beta)) \tag{13}$$

Entonces para un agujero negro con un ángulo $\beta \to \pi/2$ se obtiene una velocidad de escape de:

$$\upsilon_i^2 = \frac{kGM_i}{h\cos(\beta)} - \frac{kGM_i}{h} \tag{14}$$

Dado que la velocidad $v_i^2 >>> c^2$ (velocidad superlumínica)[1] implica que el sistema es cada vez más inestable, rápido y turbulento haciendo que el tiempo transcurra más rapido. Para contrarrestar esta rapidez la única solución posible es la transformación de la masa a una tasa tal, que permita emitir grandes cantidades de energía y materia teniendo como resultado un disco de rotación r_e con dos aperturas (chorros) dentro del horizonte de eventos, le sigue una zona de distribución de masa y energía “r” (radio configurado al sistema esférico original

[1] Contradice el principio de la teoría de la relatividad de Albert Einstein

antes de formarse el agujero) y luego un espacio geodésico producto del campo gravitacional muy fuerte, esto indica que la cantidad de materia es cada vez menor para cada estadio en el tiempo:

$$M_1 > M_2 > .... > M_\infty = 0 \tag{15}$$

Entonces de la Figura 1, el plano limite horizonte de la masa intersectado en el punto "p" se aproxima a unos cuantos kilómetros del origen punto "o", en la medida que el radio se hace pequeño resultando una tendencia angular de $\theta \to \pi/4$, distribuyendo de esta forma la masa en toda la extensión del anillo hasta los limites del espacio geodésico.

Si consideramos la solución del espaciotiempo de Schwarzschild para cuerpos esféricos cuyas partículas se mueven a lo largo de geodésicas, el tiempo espacio se expresa como:

$$ds^2 = -\left(1 - \frac{2GM}{rc^2}\right)c^2 dt^2 + \frac{dr^2}{1 - \frac{2GM}{rc_2}} + r^2 d\theta^2 + r^2 \sin^2(\theta) d\phi^2 \tag{16}$$

Para nuestro caso si: $\frac{2GM}{rc^2} \to 1$, parece que el tiempo se detuviera (pero no se detiene) y el espacio se hiciera muy grande, lo que ocurre realmente por el comportamiento de la ecuación (14) es que, en la medida que $r \to 0$ la velocidad v_i aumenta inconmensurablemente hasta obligar a la masa a transformase en energía dado que la energía cinética es mucho mayor que la energía potencial, por consiguiente requiere de un comportamiento especial ajustado para la variable "k" en función del comportamiento del agujero.

Entonces, el comportamiento de un agujero negro se debe a la forma del espaciotiempo y al fuerte campo gravitacional donde la alta densidad de masa se transforma en energía y materia. Adicional se debe tener en cuenta la carga eléctrica y el momento angular que no es el objeto de este ensayo.

Por ejemplo para la galaxia M32, donde posiblemente existe un agujero negro de masa 4 millones de veces la masa solar con un diámetro de un año luz, reportaría la siguiente información aproximada:

Altura geodésica:

$$h = 4{,}73040 * 10^{12}\, km$$

Horizonte de eventos donde no puede escapar la luz:

$$r_e = \frac{2*6,67*10^{-11}*7,9564*10^{36}}{300.000.000^2} = 11.793.153km$$

Angulo que configura el agujero negro:

$$\beta = \cos^{-1}\left(\frac{11.793.153}{4.7304*10^{12}+11.793.153}\right) = 89,99985716 grados \cong \pi/2$$

Radio geodésico del agujero negro:

$$R = r_e/\cos(\beta) = 4,730411*10^{12}\,km$$

Radio original posible si consideramos el sistema esférico y configura la zona de emisión de energía:

$$r = R\cos(\beta) = 4,730411*10^{12}*\cos(3,416970708) = 4,722*10^{12}\,km$$

$\theta \cong \pi/4$, para un comportamiento estimado del agujero de $k^4 = \dfrac{1}{\cos(\beta)}$

$$k = \left(\frac{1}{\cos(89,99985716)}\right)^{\frac{1}{4}} = 25,17$$

Velocidad superlumínica:

$$v_i = \left(\frac{25,17*6,67*10^{-11}*7,9564*10^{36}}{4,7304*10^{15}\cos(89,99985716)}\right)^{1/2} \cong 1.064.181 km/seg$$

Para una densidad de masa dentro del horizonte de eventos = $1.158.079\,kg/m^3$

Ahora, calculando para el disco de acrecimiento:

Estimando igual masa adicional para dicho disco:

$$M = 7,9564*10^{36}\,kg$$

$$r = 4,722*10^{12}\,km$$

$$k = \left(\frac{1}{\cos(89{,}99985716)} \right)^{\frac{1}{5}} = 13{,}20$$

Velocidad en zona de acreción:

$$v_i = \left(\frac{13{,}20 * 6{,}67 * 10^{-11} * 7{,}9564 * 10^{36}}{4{,}722 * 10^{15} \cos(89{,}99985716)} \right)^{1/2} \cong 545.512 km/seg$$

(Aun no puede escapar la luz)

2. DISEÑO DEL AGUJERO NEGRO

En 1963 el científico Roy Kerr hallo una posible solución a la ecuación de Einstein y demostró que era imposible que escapara energía de un agujero negro en rotación. Pero en 1974 el científico Hawking descubrió los medios para que un agujero negro irradiara energía relacionada con la temperatura, su masa y su gravedad superficial. De esta forma hallo una relación entre la termodimánica y la entropía y la teoría de la gravitación para emisiones de rayos X en el disco de acreción. El proceso fue fundamentado en el par de partículas (partícula y antipartícula que se buscan para aniquilarsen), una cae sin retorno al agujero y la otra partícula se fuga aniquilándose con otra partícula, convirtiéndose en radiación pura. Lo cierto es, que los cálculos de las cantidades energía del agujero por dichos métodos son muy pequeñas respecto a la gran energía emita por un agujero.

Para nuestro caso, se establece un sistema de referencia esférico inicial establecido en la Figura 1, unos instantes antes de que colapse el astro con parámetros angulares de un sistema en equilibrio dado por β, un tiempo después del colapso (de supernova a agujero negro) se va retomando un nuevo equilibrio geodésico con un comportamiento angular β_e. Toda la masa del astro esférico con su espacio geodésico se transforma en una nueva distribución como se indica en la Figura 2.

Una vez colapse el astro, inicia a concentrase la materia hacia el centro con un alto momento angular, la materia empieza a organizarse buscando un nuevo equilibrio angular de $\pi - 2\beta$, de igual forma ocurre con el fuerte campo gravitacional. Esta tendencia angular permite organizar el espacio geodésico que antes era esférico hacia un nuevo espacio cónico estrecho en su eje vertical de rotación y simultáneamente un espacio anillado extenso que orienta el campo gravitación en dirección laminar hasta los limites de "R" y posiblemente mas halla. Este campo gravitacional se hace tan delgado y extremadamente fuerte dentro de la zona del horizonte de eventos r_e que apenas logra unos cuantos kilómetros de longitud de arco $L_r = 2\beta.r_e$ y de igual forma para el disco de acreción, la longitud es tan estrecha que se obtiene una longitud de arco $L_r = 2\beta.R$.

Entonces, en la medida que la masa avanza desde el exterior del disco de acreción hasta el disco de eventos el momento angular va aumentando y el campo gravitacional cada vez se extrema. La masa tiene que pasar de una zona ancha a una nueva zona más angosta (embudo), aumentando la tasa de destrucción por colisiones a gran velocidad, con incremento de temperatura y liberando cada vez más energía. Este proceso hace que dentro del gran anillo de acreción se formen áreas de semianillos pequeños como si fuesen pistas de velocidad con diferentes cambios de densidad de masa entre semianillos y donde las partículas pueden viajar arremolinadas.

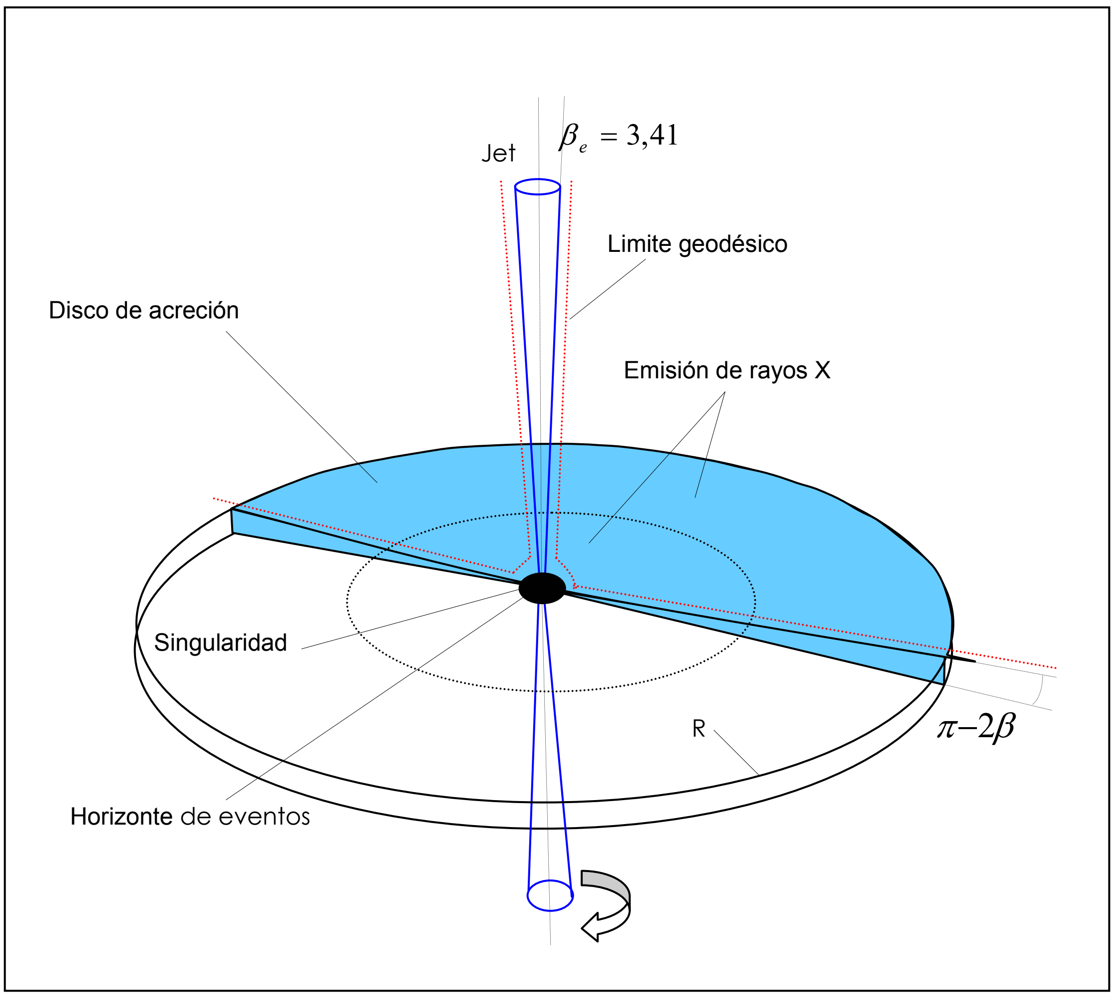

Figura 2. *Esquema dimensionamiento angular de un agujero negro*

La velocidad promedio de $v_i \cong 545.512 km/seg$ calculada para el agujero de M32, permite estimar que existen estos cambios de densidad entre semianillos y es factible que la luz se fugue independiente del momento angular. Es claro observar que entre mas próximo a la singularidad, los cambios en la materia son muy fuertes y por ende la densidad del plasma sea baja lo que permite el concepto favorable de Hawking especialmente en el área del anillo intermedio de $R/2$ de alta energía.

Por otro lado los chorros de materia (jet) son los puntos de evacuación de energía y materia que se forman por el fuerte momento angular de la singularidad y que forma un orificio de expulsión con bajo campo gravitacional, ya que este campo esta distribuido a todo lo largo del eje horizontal del anillo. Este vórtice recibe el plasma a súpervelocidad de un campo gravitacional súper estrecho y/o laminar.

Continuando con nuestro agujero negro de la galaxia M32:

Longitudes de arco para los diferentes radios del anillo:

* Comportamiento angular:

$$\beta_e = 0{,}00000249305 rad$$

* Espesor en los límites del horizonte de eventos

$$L_r = 58{,}8 km$$

* Espesor en el límite externo del disco de acreción:

$$L_R = 23.586.306 km$$

* Si consideramos que en el disco de acreción existen muchos semianillos y que hay por lo menos el 30% de masa, entonces:

$$k = \left(\frac{1}{\cos(89{,}99985716)} \right)^{\frac{1}{5}} = 13{,}20$$

$$R = {}^{r_e}\!/_{\cos(\beta)} = 4{,}730411 * 10^{12} km$$

$v_i \cong 298.524 km/seg$, la luz puede fugarse del campo gravitacional

* De igual forma calculamos el orificio del jet a la altura geodesica:

El radio $x = R.\sin(3{,}416970708) = 0{,}0298414$ años luz de distancia al eje del jet a un radio “R”.

* El radio del vórtice sobre la singularidad es:

$x = r_e.\sin(3{,}416970708) = 351.604km$ al eje del jet, el resultado es muy pequeño

3. DEL TIEMPO

Lo comentaron mucho antes que Einstein y lo confirmo él, que el espaciotiempo podía dilatarse y contraerse en función de la velocidad para que la velocidad de la luz permaneciera constante. La ecuación del tiempo viene expresada por:

$$t = \frac{t_0}{\left(1 - \frac{v^2}{c^2}\right)^{1/2}} \tag{17}$$

De donde t_0 es el tiempo propio del observador. Lo que implica, que a mayor velocidad el tiempo transcurrido es $t > t_0$.

De igual forma Einstein en la teoría de la relatividad general propone, que en las cercanías de una gran masa el tiempo transcurre mas despacio debido a la acción gravitatoria, él dedujo la siguiente ecuación:

$$t = \frac{t_0}{\left(1 - \frac{x}{4\pi}\int_v \frac{\sigma}{r}dv\right)^{1/2}} \tag{18}$$

De donde $x = \frac{8\pi G}{c^2}$ y σ es la densidad del astro y “v” el volumen.

Realizando transformaciones en la ecuación (18) se llega a la ecuación utilizando la velocidad de escape:

$$t = \frac{t_0}{\left(1 - \frac{{v_e}^2}{c^2}\right)^{1/2}} \tag{19}$$

De donde la velocidad de escape $v_e^2 = \frac{2GM}{r}$, queda influenciada por los valores del radio masivo para un sistema en equilibrio. En la medida que la velocidad aumente la masa se concentra a un radio menor de velocidad de escape; y por el contrario si la velocidad disminuye el radio es mayor de velocidad de escape. **Utilizar esta ecuación para calcular el tiempo, es causar un efecto de dilatación y contracción de la masa del astro de referencia**. De esta forma se confunde la ecuación (19) con la ecuación (17) y son validas únicamente para la velocidad de escape.

Esto es, un ejemplo típico para explicar el concepto de espacio-tiempo con dos relojes: consiste en una nave espacial con un cosmonauta que viaja a la velocidad de la luz y un observador astronauta, La nave tiene un reloj óptico dentro de la cabina y el otro reloj lo tiene el astronauta. El astronauta vería que el rayo de luz del reloj óptico va en zigzag en trayectoria diagonal por el movimiento de la nave y que ha recorrido 1,0 m en un tiempo de 3,3 nanosegundos, mientras que el reloj de la nave el pulso de luz va directamente de arriba abajo perpendicular a la nave y ha recorrido 0,6 m en dos nanosegundos. Al comparar los dos relojes notaran que el reloj del astronauta marco mas tiempo que el reloj de la nave. El astronauta saca la conclusión que el reloj de la nave atrasa.

De esta forma concluyeron, que era posible viajar en el tiempo manteniéndosen jóvenes, mientras que en la Tierra envejecían rápidamente.

Pero en realidad no es así, el error pasa desapercibido en el ejemplo del astronauta, el cosmonauta en la nave también ve que el pulso de luz va en sentido diagonal en zigzag como lo ve el astronauta. Para aclararlo, supongamos que la separación de los espejos tiene una longitud de 150.000km para un tiempo de un segundo en bajar y subir. En la medida que la luz se desplaza entre espejos lo hace en sentido diagonal ya que la nave se ha desplazado una distancia a la velocidad de la luz. Desplazamiento que no observa el cosmonauta por que va en la misma dirección de la nave. Luego no es cierta la afirmación de Einstein.

Uno debe colocar el precedente de que dicho concepto de la ecuación (17) no muestra claramente el comportamiento del tiempo, especialmente al no considerar Einstein sus propios postulados del espaciotiempo en función de los campos gravitacionales. En cambio retomo los postulados y las transformadas de Lorentz.

Otro ejemplo, una nave espacial viaja a unos 10.000 km/hora, la diferencia entre los tiempos medidos Tierra – espacio será apenas una diez millonésima de segundo por cada hora transcurrida (valor que se ha podido confirmar con la tecnología moderna), aunque no sabemos con que precisión de equipos fueron tomados los datos.

Para nuestro caso en estudio, el espaciotiempo lo retomamos en función del campo gravitacional y el espacio geodésico. Digamos entonces que debe existir un tiempo estándar en todo el universo cuya función del tiempo esta en función del espaciotiempo en ciertas líneas de tiempo que queremos recorrer tanto en el espacio como tal, así como el espacio geodésico y que su tiempo estándar es medible mediante un reloj ubicado en su propio espacio y configurado para no ser afectado por campos gravitacionales.

Para poder entender su comportamiento, tomamos dos eventos, un evento consiste en instalar un reloj en la tierra y otro de igual característica y precisión en el espacio, dichos relojes pueden estar en reposo o en movimiento. Cuales serian sus lecturas?

Consideremos entonces, la ecuación (10) de la energía y la ecuación (16) del espaciotiempo y conjuguémosla para establecer lo siguiente:

El equilibrio de energía para los dos eventos debe de ser igual, tanto para el evento ubicado en el planeta Tierra de referencia, como el ubicado en el espacio con radio de curvatura r_0 que corresponde también a la altura geodesica donde ocurre el evento y el tiempo t_0, de esta forma obtenemos:

EVENTO TIERRA = EVENTO ESPACIO

$$-\left(1-\frac{2GM}{rc^2}\right)c^2dt^2 = -\left(1-\frac{2GM}{(r+r_0)c^2}\right)c^2dt_0{}^2$$

Simplificando,

$$\left(1-\frac{2GM}{rc^2}\right)^{1/2} t = \left(1-\frac{2GM}{(r+r_0)c^2}\right)^{1/2} t_0 \qquad (18)$$

$$A.t = B.t_0$$

De donde $r_0 = h_0$ puede ser la altura de la geodesia o altura geoestacionaria o una distancia aun evento determinado. Una vez determinados los coeficientes **A y B** o también denominados como **factor de escala de tiempo**, se busca un valor, para cada tiempo, de tal forma que su producto sea igual a la unidad. Si $t-t_0 > 0$ el reloj adelanta y el caso contrario atrasa. Si el evento es una partícula a gran velocidad se toma únicamente r_0 .

Notemos entonces, que cuando $r_0 \to 0$ estamos sobre la superficie de la tierra y que cuando $r_0 \to \infty$ el tiempo de los dos eventos que registran los relojes son iguales $t \cong t_0$ para el sistema de referencia Tierra. De esta forma nada tiene que ver la velocidad a la cual se desplaza el evento ubicado en el espacio o si esta en reposo ya que el reloj de la nave esta registrando su propio tiempo, mientras el reloj de la tierra continua registrando el tiempo del planeta.

Imaginemos entonces,. Que pasaría si la nave espacial tuviera un poder tal, que empujara un planeta de igual características de la Tierra a la velocidad de la luz, el tiempo registrado es igual en los relojes ya que el reloj de la nave esta influenciado por el campo gravitacional del planeta que empuja, y si la nave espacial entra en reposo, los tiempos registrados también serian iguales, ya que la cantidad de tiempo de los relojes corresponde a un segundo estándar del reloj ubicado en el espacio.

Si la nave espacial visita muchos astros de ida y en cada uno coloca un reloj, de regreso podrá tomar los tiempos de cada reloj y compararlos, notaran que todos los relojes ubicados en los planetas han registrado más tiempo que los de la nave; y que el tiempo de los relojes ubicados en los planetas también variaron entre ellos. Esto se debe a que cada planeta tiene su propia masa y campo gravitacional diferente a otro. Lo que pueden descubrir los tripulantes es que, en algunos planetas ellos envejecerían muy rápido y en otros lentamente mientras que en otros si se acerca demasiado pueden fallecer si entran en el campo gravitacional del astro, es el caso de los agujeros negros.

Si la nave entra en reposo, fuera de campos gravitacionales, el reloj de la nave registrara el tiempo estándar patronado a la velocidad de la luz.

Existe un ejemplo con las partículas elementales denominadas muones que la física no ha dado solución a sabiendas que tienen una vida útil de 2.200 nanosegundos (ns) terrestres, y que recorren durante ese tiempo aproximadamente 600m a una velocidad de 299.400 km/seg. Si orbitan a una altura de 20.000m como es que llegan a la superficie terrestre. Para dar solución, imaginemos un reloj en la tierra y otro en la superficie del muon en la línea geodesica, de esta forma obtenemos el siguiente comportamiento para una partícula:

Utilizando los valores aproximados, para la masa terrestre de 5,974E+24 kg con un radio de 6.378,17 km y la constante de gravitación de 6,67E-11 $N\,m^2/kg^2$,

Reloj tierra = Reloj muon

$$A.t = B.t_0$$

$$(0{,}999999999305851).t = (0{,}999999777741943).t_o$$

$$A.(10^9 + 0{,}694ns) = B.(10^9 + 221{,}3700ns)$$ **ATRASA**

Entonces por cada nanosegundo del reloj terrestre han transcurrido 318,9760 ns en el reloj del muon para un total de 703.798,79 ns de vida útil a favor del muon. En dicho tiempo recorre una distancia de 210,72 km. No tiene ningún problema en llegar a la superficie de la Tierra.

Para el caso de la nave espacial que viaja a unos 10.000 km/hora, la diferencia entre los tiempos medidos es 100 ns/h transcurrida. Si estimamos una altura geodesica de 271,0 km, obtendríamos:

Reloj tierra = Reloj nave

$$A.t = B.t_0$$

$$(0{,}999999999305851).t = (0{,}999999999334143).t_o$$

ADELANTA $$A.(10^9 + 0{,}6941ns) = B.(10^9 + 0{,}6658ns)$$

$$A.(2.498{,}9ns/h) = B.(2.397{,}1ns/h)$$

De esta forma la diferencia entre relojes es de 101,87 ns/h.

Como dato curioso se determina que un hombre de 80 años terrestres viviría aproximadamente 400 años marcianos.

Para el Sol, obtendríamos el siguiente comportamiento:

Consideremos una nave espacial que se ubica a una altura geodesica de 1.240 km por donde pasa la luz de la lente gravitacional, como registrarían el tiempo los relojes:

Reloj Sol = Reloj nave

$$A.t = B.t_0$$

$$(0{,}999995762037037).t = (0{,}999995769574003).t_o$$

ADELANTA $$A.(10^9 + 4.237{,}98ns) = B.(10^9 + 4.230{,}44ns)$$

El reloj del Sol adelanta 7,54ns más que el reloj de la nave a dicha altura.

De esta forma podemos calcular que nos ocurre si pensáramos trasladarnos a vivir sobre la superficie del sol: Envejeceríamos mas rápidamente, por cada 0,6941 ns terrestres transcurren 4.237,98 ns solares, luego un hombre que puede vivir 80 años terrestres, en el sol viviría aproximadamente unos 4,78 días solares.

Para el agujero negro, tendríamos el siguiente tiempo:

Para continuar con el ejercicio, coloquemos un reloj en la superficie del agujero negro sin que este lo destruya a un radio de 11.793.000 km que corresponde con el radio de Schuwarzschild, y otro en el espacio a un radio de 11.893.000 km (altura geodesica 100.000.000 km) con una velocidad de la luz de 300.000 km/seg:

Reloj Agujero negro = Reloj nave

$$A.t = B.t_0$$

$$(-0{,}0000129643762307730).t = (0{,}00839545203994885).t_o$$

$$A.(-77.134{,}45seg) = B.(119{,}1121seg)$$ ***ATRASA***

Notara el lector que el reloj del agujero negro esta marcando un tiempo negativo, mientras el reloj de la nave atrasa tomando como referencia el agujero. Si tomamos como referencia la nave espacial, el reloj de la nave acelera y el reloj del agujero atrasa. Pero como explicamos el tiempo negativo, a sabiendas que el tiempo estándar del universo es positivo e igual 1,0 segundo. ***No podemos caer en la salida olímpica de pensar en otra dimensión de espaciotiempo como ha ocurrido, o que un agujero negro es la conexión de poder ir al pasado, ya que el tiempo es negativo y por que contrarresta con la teoría de la relatividad.***

Aunque sabemos que nada puede superar la velocidad de la luz, el comportamiento del agujero negro muestra, que la energía potencial es mayor para dicha velocidad debido al campo gravitacional, también se debe considerar que los valores que se incluyen en el cálculo son aproximados que favorecen un factor de escala negativo del tiempo. No obstante el registro de tiempo en cantidad negativa obedece a una posible disminución débil en la velocidad de la luz. Luego el factor de escala del tiempo se hace positivo cuando incrementamos la velocidad a un margen muy bajo de 300.002 km/seg a una altura de 1.000.000.000 km, veamos:

Reloj Agujero negro = Reloj nave

$$A.t = B.t_0$$

$$(0{,}000003689966270315).t = (0{,}0781680881401722).t_o$$

ADELANTA $A.(2.710.051{,}8724 seg) = B.(12{,}7929 seg)$

Pero no podemos aceptar el resultado ya que proviene de una velocidad de la luz mayor a la velocidad estándar utilizada.

El error voluntario es de precisión en las cifras, por tanto radica en la utilización del valor del radio del agujero como 11.793.000 km, sin tener en cuenta toda la cifra al calcular con la velocidad de la luz, el nuevo calculo da un radio de 11.793.152,8890 km mas un incremento de 0,11 km para no **generar una referencia circular**[2]. Volviendo nuevamente a recalcular para una altura de 1.000.000.000 km, se obtiene:

Reloj Agujero negro = Reloj nave

$$A.t = B.t_0$$

$$(0{,}0000000000094215746).t = (0{,}0781791048113865).t_o$$

ADELANTA $A.(106.139.370{,}44 seg) = B.(12{,}7932 seg)$

El resultado implica que un año transcurrido en la nave espacial corresponde a 16,95 millones de años para el agujero negro.

Para un hombre de 80 años terrestres y piensa ir al agujero negro envejecerá tan rápido a una edad de 12,23 billones de años. Para vivir 80 años terrestres en el agujero debe vivir toda su vida en 15,43 milisegundos.

---

[2] Se genera una referencia circular, dado que para calcular el radio de Schuwarzschild, se utilizo una velocidad de la luz de 300.000 km/seg, lo que nos da un factor de uno al volver a recalcular para dicho radio.

Todo conduce a que la fuerza y/o campo gravitacional se convertirá en una manifestación de la curvatura del espacio-tiempo del que habla Minkowski, donde no cabe o no hay acción a distancia ni misteriosas tendencias a moverse hacia extraños centros, tampoco espacios absolutos que contienen a, o tiempos absolutos que discurran al margen de la materia.

El famoso postulado de Einstein: **La masa le dice al espacio-tiempo como curvarse y éste le dicta a la masa cómo moverse. Es el contenido material quien crea el espacio y el tiempo.** Sigue vigente.

4. CONCLUSIONES

- ✓ Determinamos que el espaciotiempo esta orientado al espacio geodésico y dicho espacio geodésico obedece a la forma como se distribuye la masa y de la forma como interactúa.

- ✓ La distribución de la masa y energía; y la forma como interactúa con el espaciotiempo genera un sistema en equilibrio como nuestro sistema solar y/o las galaxias.

- ✓ Se confirma la certeza de "**La masa le dice al espacio-tiempo como curvarse y éste le dicta a la masa cómo moverse"**

- ✓ La masa en equilibrio interno y su campo gravitacional le indican al tiempo como transcurrir y que tan rápido lo hace, respecto al tiempo estándar del espacio.

- ✓ La alta densidad de masa acelera el tiempo a su máxima expresión y contrae fuertemente el espacio, es el caso de los agujeros negros, donde el tiempo puede ser inconmensurable.

- ✓ En la medida que un cuerpo del espacio se acerca a un astro, el tiempo se acelera tan rápido como el cuerpo llegue a la superficie.

- ✓ No es cierto que los agujeros negros permitan comunicar con otras dimensiones, otros espacios paralelos u otras dimensiones de tiempo pasado o futuro. Son simplemente cuerpos perturbados e irregulares.

- ✓ En la medida que nos alejemos de forma rápida o lenta hacia el espacio profundo el factor de escala del tiempo es 1,0.

Referencias:

Einstein, Albert,. The foundation of the general theory of relativity. Annals der physic, 1916

Ader, R, Bazon, M., Schiffer, M,. Introduction to general relativity, año 1965