

# UNA COMPARACIÓN ENTRE LOS RETRASOS DE TIEMPO DE CARÁCTER RELATIVISTA Y TERMODINÁMICO

COMPARISON BETWEEN DELAY OF TIME OF RELATIVISTIC AND THERMODINAMICAL CHARACTER

L. PÉREZ-TAMAYO

Dpto. de Física Química Electrónica Universidad de Holguín. luperta@facing.uho.edu.cu

Palabras clave: black body radiation (44.40.+a), red schift (98.62.Py), Hawking effects 04.60.-m), black holes evaporation (04.70.Dy)

Luego de las teorías relativistas einsteinianas, la comunidad científica asimiló la idea del carácter relativo del tiempo en sistemas en condiciones de movimiento y campos gravitacionales diferentes, manteniéndose el concepto de que cada sistema tiene un tiempo propio local, invariante ante las transformaciones de coordenadas.

El retraso de tiempo relativista se manifiesta como un corrimiento al rojo de origen doppleriano o gravitacional. Se denomina corrimiento al rojo al desplazamiento hacia las longitudes de onda  $\lambda$  más largas del espectro electromagnético, lo que en realidad constituye un alargamiento de los períodos de tiempo de los ciclos ondulatorios, ya que, como conocemos:

$$\lambda = ct \quad (1)$$

Donde  $c$  es la velocidad de la luz y  $t$  el tiempo de duración de cada ciclo.

Por otro lado, se conoce que la ley de la radiación del cuerpo negro explica la causa de la distribución de las longitudes de onda emitidas en dependencia de la temperatura, como consecuencia del carácter discreto de la emisión de la luz, en lugar del carácter continuo asignado anteriormente.

La ley de Wien revela una relación entre las longitudes de onda  $\lambda_{\max}$  de los máximos de emisión con la temperatura:

$$\lambda_{\max} = 3 \times 10^{-6} / T(\text{K}) \quad (2)$$

donde  $\lambda_{\max}$  viene dada en m.

O sea, como es conocido, un cuerpo negro cuya temperatura disminuye exhibe también un corrimiento al rojo de las longitudes de onda.

Siguiendo dicho razonamiento, pudiera decirse que con la disminución de la temperatura  $T$ , se alarga el tiempo

de los procesos que determinan la emisión de radiación electromagnética, hecho que denominamos retraso termodinámico del tiempo, concepto no encontrado en la literatura revisada.

Sirva como ilustración el hecho de que cuando la temperatura del cuerpo negro disminuye de 10 000 K a 1 K, el retraso termodinámico del tiempo es de cuatro órdenes.

El objetivo central de este trabajo es hacer una comparación entre los tres tipos de retraso temporal aquí considerados: doppleriano, gravitacional y termodinámico.

Con relación a este último, nos referiremos a fenómenos que se caracterizan por experimentar transformaciones con variación continua de la temperatura.

Sea  $\Delta\lambda = \lambda - \lambda_0$  el corrimiento al rojo experimentado por una longitud de onda inicial  $\lambda_0$ .

Para el caso doppleriano:

$$\Delta\lambda / \lambda_0 = \left[ (1 + u/c)(1 - u/c) \right]^{1/2} - 1 \quad (3)$$

Donde  $u$  es la velocidad relativa de alejamiento entre un sistema en movimiento y el observador y  $c$  la velocidad de la luz.

Para el caso gravitacional:

$$\Delta\lambda / \lambda_0 = GM / c^2 R \quad (4)$$

donde:  $G$  constante gravitacional,  $M$ ,  $R$  masa y radio del mega-objeto respectivamente y  $c$  velocidad de la luz.

La fórmula anterior puede modificarse a partir de la definición de potencial gravitacional  $\phi$ :

$$\phi = GmM / R \quad (5)$$

donde  $m$  es la masa de sondeo en kg y  $\phi$  está dado en J.

Comparando  $\phi$  con el potencial gravitacional del sol  $\phi_\bullet$ , se puede llegar a:

$$\Delta\lambda / \lambda_o = 2 \times 10^{-6} \phi / \phi_\bullet \quad (6)$$

Previa sustitución en la fórmula (5), para el potencial gravitacional del sol:

$$G = 6,67 \times 10^{-11} \text{m}^3 \text{s}^{-2} \text{kg}^{-1},$$

$$M_\bullet = 2,1030 \text{ kg},$$

$$R_\bullet = 7.108 \text{ m}.$$

Para el caso del corrimiento termodinámico al rojo:

$$\Delta\lambda / \lambda_o = T_o / T - 1 \quad (7)$$

donde  $T_o$ ,  $T$  temperaturas inicial y final del proceso bajo estudio. A partir de la relación (1), puede escribirse en general,

$$\Delta\lambda / \lambda_o = \Delta t / t_o \quad (8)$$

donde  $\Delta t$  retraso del tiempo  $t(s)$ ,  $t_o$  tiempo base de partida.

<b>Tabla 1:</b> Comparación entre los retrasos temporales y su equivalencia para cada tipo tomando $t_o = 1s$				
$\Delta t (s)$	$u/c$	$\phi/\phi_\bullet$	$T_o/T$	<b>Comentario</b>
0.01-0.75	0.01-0.5	$10^4$ - $10^5$	1.1-1.7	velocidades ley de Hubble
0.001	0.002	$10^3$	1.001	gravitación enanas blancas
0.1	0.2	$10^5$	1.1	gravitación pulsares
0.1	0.2	$10^5$	1.4	radio crítico de la masa solar
10	0.98	$5 \times 10^6$	11	quásares
300	0.9999	$7 \times 10^7$	300	300K-1K superfluidez y superconductividad)

De las fórmulas (3), (6), (7) y (8) puede llegarse a las igualdades:

$$\Delta\lambda / \lambda_o = \left[ (1+u/c)(1-u/c)^{-1} \right]^{1/2} - 1 \quad (9)$$

$$= T_o / T - 1 = 2 \times 10^{-6} \phi / \phi_\bullet$$

que permiten estudiar las relaciones entre las velocidades, temperaturas y potenciales que producen los mismos valores de retrasos temporales.

En la Tabla 1 se presenta una comparación o equivalencia entre los tres tipos de retraso temporal para algunos valores de velocidad  $u/c$ , potencial gravitacional  $\phi/\phi_\bullet$  y de la relación  $T_o/T$ .

Como puede apreciarse, potenciales gravitacionales tan grandes como 106 veces el del sol, apenas representan un cambio de temperatura, o sea,  $T \approx T_o$ . Lo mismo ocurre en el caso de los procesos de formación de las enanas blancas y los pulsares, cuyos potenciales gravitacionales fueron tomados de [1] y con procesos tan catastróficos como la contracción del sol hasta su radio crítico de unos 3 km.

Debe aclararse que en estos casos se ha considerado la simple contracción del sol hacia diferentes estadios, sin tener en cuenta otros tipos de procesos, como los que ocurren en las supernovas.

Dichos corrimientos también se corresponden con velocidades del orden de sólo una décima parte de  $c$ .

Corrimientos del orden de  $z \approx 10$  (entre los más grandes conocidos), propios de los quasares equivalen a una disminución del orden de 10 veces la temperatura inicial, pero en este caso responden a velocidades de alejamiento tan grandes como 0.98c, muy cercanas a la de la luz.

Por último, un retraso de tiempo del orden de 300 segundos debe corresponderse con campos gravitacionales tan grandes como casi cien millones de veces el campo gravitacional solar o con velocidades de 0,9999 c.

Lo anterior sería equivalente al enfriamiento de un conductor desde 300 K (temperatura ambiente) hasta 1 K, temperatura del orden de la necesaria para obtener superconductividad a bajas temperaturas.

### UNA COMPARACIÓN CON LA TEORÍA DE LOS AGUJEROS NEGROS PRIMORDIALES DE HAWKING

Es conocida la teoría de Hawking acerca de la posible formación de agujeros negros microscópicos en los albores del Big Bang [2]. El proceso descrito por el físico inglés parte de una época en que la temperatura del universo alcanzaba valores de millones de millones de kelvin, cuando los enormes campos gravitacionales pudieron ser la causa de contracciones de diferentes valores de masa a volúmenes de radios microscópicos del orden de las dimensiones de un núcleo o menos. Este es un proceso que comienza con un alto valor de temperatura  $T_o$  y culmina con valores de temperatura mucho menores.

Hawking, a partir de un tratamiento cuántico de la gravitación, que se basa en la creación de pares partícula-antipartícula en el vacío físico en las inmediaciones del horizonte de sucesos, deduce que los mencionados agujeros negros deben emitir radiación, siendo ésta mayor cuanto menor sea su masa.

Así Hawking llegó a la ecuación [3]:

$$T = hc^3 / (16\pi G k_B M) \quad (10)$$

donde  $h$  es la constante de Planck,  $k_B$  constante de Boltzmann. Después de sustituir los valores conocidos de las constantes queda como resultado final:

$$T = 10^{23} / M \text{ (kg)} \quad (11)$$

con  $T$  dado en  $K$ .

O sea, a mayor valor de la masa  $M$ , menor será la temperatura  $T$ .

Por otro lado, en este trabajo, partiendo de la fórmula (9), llegamos a la igualdad:

$$T_o / T - 1 = 2 \times 10^{-6} \phi / \phi \bullet \quad (12)$$

la cual establece la relación entre los potenciales  $\phi$  y cambios de temperaturas de  $T_o$  a  $T$  que producen los mismos retrasos temporales.

Pero, a partir de la ecuación (11), y de la definición de los campos gravitacionales puede escribirse la relación:

$$\phi / \phi \bullet = MR \bullet / M \bullet R$$

Y se llega a:

$$T_o / T - 1 = 2 \times 10^{-6} MR \bullet / M \bullet R \quad (13)$$

Haciendo  $T_o = 10^{12}$  K y considerando además un radio microscópico  $R$  de  $10^{-16}$  m, del orden del radio del protón, y sustituyendo numéricamente en (13) los valores de la masa y el radio solar, se llega a la ecuación:

$$T = 1.6 \times 10^{23} / M \text{ (kg)} \quad (14)$$

coincidente con el resultado a que llegó Hawking en (10) por otra vía.

Tal coincidencia sugiere la posible existencia de vínculos físicos entre los diferentes tipos de retraso, más profundos que la simple comparación expuesta en este trabajo.

Los cálculos de Hawking requirieron ciertas aproximaciones cuánticas, como lo exige el tratamiento de un objeto microscópico, mientras que la vía aquí empleada es totalmente clásica.

Debe aclararse que la máxima temperatura que pueda alcanzar un agujero negro en nuestra aproximación está limitada al valor de  $T_o$  inicial, en este caso  $10^{12}$  K, ya que la relación  $T_o/T$  se hace del orden de la unidad lo que implica un valor de cero en la ecuación (12).

## CONCLUSIONES

Se define el concepto de retraso del tiempo termodinámico, considerando que la radiación térmica emitida por un cuerpo negro sufre un alargamiento de los periodos de su espectro óptico al disminuir la temperatura, o sea, un corrimiento al rojo, análogo al doppleriano o el gravitacional.

Una comparación de los retrasos temporales de carácter relativista (doppleriano y gravitacional) y termodinámico lleva a una relación sencilla entre los cambios de temperatura, la velocidad de un sistema y el campo gravitacional que son capaces de producir similares retrasos temporales.

Aplicando esta idea al caso de los agujeros primordiales de Hawking, se reproduce una importante relación entre la temperatura y la masa, similar a la obtenida por el físico británico a partir de aproximaciones cuánticas.

La limitación que presenta nuestra relación con respecto a la de Hawking, no resta valor a la justeza y novedad del enfoque aquí propuesto.

[1] Shklovski, I. S. Estrellas, su nacimiento, vida y muerte. Edit. "Nauka" Moscú 1984. Pp.317-333.

[2] Hawking, S. Historia del tiempo. Edit. Crítica, Barcelona, 1988.

[3] Fernández Cristóbal J. M. Radiación de Hawking. Revista Mexicana de Física. E 56(2) Dic. 2010. 213-216.