El efecto de la gravitación sobre la precesión de Thomas y el efecto Sagnac: El giróscopo-gravimétrico y el gravímetro Doppler.

por

M . W. Evans,

Pensionado Civil en Ciencias

(www.aias.us)

Traducción: Ing. Alex Hill (www.et3m.net)

Resumen

El Teorema Orbital de la teoría ECE se utiliza para la métrica de Minkowski y la métrica que describe el efecto de gravitación. El efecto Sagnac en la teoría ECE es un efecto de marco de referencia en rotación, tal como se demostró en documentos previos de la teoría ECE. Este marco en rotación se demuestra como equivalente a la rotación de las simétricas antes mencionadas utilizando coordenadas cilíndricas polares. La rotación de la métrica de Minkowski produce la precesión de Thomas, y el efecto Sagnac es la precesión de Thomas para una geodésica nula. La rotación de la métrica gravitacional produce el efecto de gravitación sobre el efecto Sagnac. Este efecto es un desplazamiento gravitacional hacia el rojo de la frecuencia del fotón en el interferómetro de Sagnac. Utilizando estos resultados, se sugieren dos instrumentos: el giróscopo-gravímetro y el giróscopo-gravímetro Doppler.

Palabras clave: Teoría ECE, precesión de Thomas, efecto Sagnac, efecto de la gravitación sobre el efecto Sagnac.

1. Introducción

Se introdujo el Teorema Orbital en el Documento 111 de esta serie [1-10] y constituye un caso especial del Teorema de Frobenius para espaciotiempos con simetría esférica. En el documento 111 se utilizó para describir el problema relativista de Kepler sin la ecuación de campo de Einstein, la cual se ha demostrado durante el desarrollo de la teoría ECE que resulta geométricamente incorrecta. En este documento se utiliza el Teorema Orbital en la Sección 2 para deducir la métrica de Minkowski y la métrica que describe el efecto de la gravitación en la teoría ECE. Se rota la métrica de Minkowski para deducir la precesión de Thomas [11], y se ofrece una interpretación sencilla de la precesión de Thomas. El efecto Sagnac se deduce como la precesión de Thomas para el fotón (geodésica nula). En la Sección 3 se rota la métrica gravitacional para obtener el efecto de la gravitación sobre el desplazamiento de Sagnac, y se demuestra que este efecto se debe al desplazamiento gravitacional hacia el rojo de la frecuencia del fotón utilizado en el efecto Sagnac. La rotación de la métrica es equivalente a la explicación del marco de referencia en rotación del efecto Sagnac, ya desarrollado en documentos anteriores de esta serie. Por lo tanto, el efecto Sagnac constituye un efecto de la relatividad general. En la Sección 4, se sugieren dos instrumentos basados en el efecto de la gravitación sobre el giróscopo láser de anillo - el giróscopo gravimétrico y el giróscopo gravimétrico Doppler.

2. Deducción de métricas a partir del teorema orbital

El método de cálculo consiste en comenzar con el Teorema de Frobenius para definir el elemento lineal más general [1-10]. El Teorema de Órbitas constituye un caso especial del Teorema de Frobenius para el espaciotiempo con simetría esférica, y nos da el elemento lineal:

$$ds^2 = n(r)\, c^2\, dt^2 - m(r)\, dr^2 - r^2\, d\varphi^2 - dz^2 \tag{1}$$

donde

$$n(r) = 1 + \frac{\mu}{R} \quad , \quad m(r) = \left(1 + \frac{\mu}{R}\right)^{-1} . \tag{2}$$

Se describe la métrica de Minkowski a partir del caso especial:

$$\mu = 0 \tag{3}$$

y la métrica gravitacional mediante:

$$\mu = -\frac{2MG}{c^2} \tag{4}$$

donde M es la masa del objeto que gravita y donde G es la constante de Newton:

$$G = 6.6726 \times 10^{-11}\ \mathrm{m^3\ kg^{-1}\ s^{-2}} \tag{5}$$

Aquí c es la velocidad de la luz en el vacío y R es la distancia hasta la masa que gravita M. La precesión de Thomas se define mediante la rotación de la métrica de Minkowski como sigue:

$$d\varphi' = d\varphi + \omega\, dt \tag{6}$$

$$v = \omega\, r$$

dando la métrica:

$$\frac{ds'^2}{c^2} = \left(1 - \frac{v^2}{c^2}\right) dt^2 - 2\left(\frac{r}{c}\right)^2 \omega\, d\varphi\, dt - \left(\frac{r}{c}\right)^2 d\varphi^2 - (dr^2 + dz^2)/c^2 \ . \tag{7}$$

En el nivel más sencillo, la precesión de Thomas es la ampliación del ángulo debido al *boost* de Lorentz como sigue:

$$\theta' = \left(1 - \frac{v^2}{c^2}\right)^{-1/2} \theta \tag{8}$$

de manera que

$$\Delta\theta = \theta' - \theta = \theta\left(\left(1 - \frac{v^2}{c^2}\right)^{-1/2} - 1\right) \tag{9}$$

La velocidad angular relativista es:

$$\Omega = \omega\left(1 - \frac{v^2}{c^2}\right)^{-1} \tag{10}$$

porque:

$$\Omega = \frac{d\theta'}{d\tau} = \left(1 - \frac{v^2}{c^2}\right)^{-1/2} \frac{d\theta'}{dt} \tag{11}$$

y

$$\omega = \frac{d\theta}{dt} \tag{12}$$

En la teoría ECE la métrica en rotación deviene un espaciotiempo en rotación [1 -10].

Se obtiene el efecto de la gravitación sobre el efecto Sagnac mediante la rotación de la métrica gravitacional:

$$ds^2 = \left(1 - \frac{2MG}{c^2 R}\right) c^2 dt^2 - \left(1 - \frac{2MG}{c^2 R}\right)^{-1} dr^2 - r^2 d\varphi^2 - dz^2 \tag{13}$$

para dar la métrica:

$$ds'^2 = \left(\left(1 - \frac{2MG}{c^2R} \right) c^2 - v^2 \right) dt^2 - 2\, r^2\, \omega\, d\varphi\, dt - r^2\, d\varphi^2 - \left(1 - \frac{2MG}{c^2R} \right)^{-1} dr^2 - dz^2 \qquad (14)$$

A continuación se demuestra que el efecto Sagnac es la precesión de Thomas para el fotón (geodésica nula). Consideremos la Ec. (7) en el caso de la geodésica nula y para el plano definido por:

$$ds' = dr = dz = 0 \qquad (15)$$

Entonces:

$$\left(1 - \frac{v^2}{c^2} \right) dt^2 = \left(\frac{r}{c}\right)^2 \left(2\, \omega\, d\varphi\, dt + d\varphi^2 \right) \qquad (16)$$

es decir:

$$A\, dt^2 - 2\, \omega\, d\varphi\, dt - d\varphi^2 = 0 \qquad (17)$$

donde:

$$A = \left(\frac{c}{r}\right)^2 \left(1 - \frac{v^2}{c^2} \right) \qquad (18)$$

La Ec. (17) es una cuadrática del tipo:

$$a\, x^2 + b\, x + c = 0 \qquad (19)$$

de manera que:

$$x = \frac{1}{2a} \left(- b \pm (b^2 - 4\, ac)^{½} \right) \qquad (20)$$

Así:

$$dt = \frac{1}{A} \left(\omega \pm (\omega^2 + A)^{½} \right) d\varphi \qquad (21)$$

con:

$$v = \omega\, r \qquad (22)$$

Aquí v es la velocidad lineal tangencial, r es el radio de la plataforma, y ω es la velocidad angular de la plataforma.

Así:

$$\omega^2 + A^2 = \frac{v^2}{c^2} + \left(\frac{c}{r}\right)^2 \left(1 - \frac{v^2}{c^2} \right) = \left(\frac{c}{r}\right)^2 \qquad (23)$$

y:

$$dt = \frac{(1 \pm v/c)}{(1 - v^2/c^2)} \frac{r}{c} d\varphi \qquad (24)$$

Ahora utilicemos:

$$(1 - v^2/c^2) = (1 - v/c)\,(1 + v/c) \qquad (25)$$

de manera que

$$dt = \frac{r/c}{\left(1 \pm \frac{v}{c}\right)} d\varphi \qquad (26)$$

A partir de la Ec. (22):

$$dt = \frac{r/c}{\left(1 \pm \frac{r\omega}{c}\right)} d\varphi = \frac{1}{\frac{c}{r} \pm \omega} d\varphi \qquad (27)$$

Finalmente utilizamos:

$$\omega_0 = \frac{c}{r} \qquad (28)$$

Para obtener:

$$\frac{dt}{d\varphi} = \frac{1}{\omega_0 \pm \omega} \qquad (29)$$

Si

$$\int_0^{2\pi} d\varphi = 2\pi \qquad (30)$$

Entonces el tiempo requerido para cubrir una rotación de 2π es:

$$t = \frac{2\pi}{\omega_0 \pm \omega} \qquad (31)$$

que constituye el efecto Sagnac. Es la geodésica nula en un plano de la métrica de la precesión de Thomas y por lo tanto es la precesión de Thomas para el fotón.

3. Efecto de la gravitación sobre el desplazamiento de Sagnac

Esto se describe mediante la geodésica nula:

$$\mathrm{dt} = \left(\frac{r}{c}\right)^2 \left(1 - \frac{v^2}{c^2} - \frac{2MG}{c^2R}\right)^{-1} \left(\frac{v}{r} \pm \frac{c}{r}\left(1 - \frac{2MG}{c^2R}\right)^{½}\right) d\varphi \tag{32}$$

la cual puede desarrollarse como sigue:

$$\mathrm{dt} = \frac{1}{\omega_0^2}\,(\,\omega \pm \omega_0\, x\,)\, d\varphi \,/\, (x^{\,2} - v^2/\,c^2\,) = \frac{1}{\omega_0^2}\left(\frac{\omega \pm \omega_0\, x}{x^2 - \left(\frac{\omega}{\omega_0}\right)^{\,2}}\right) d\varphi \tag{33}$$

donde:

$$x = \left(1 - \frac{2MG}{c^2R}\right)^{½} \tag{34}$$

La Ec. (33) es:

$$\frac{dt}{d\varphi} = \frac{1}{x\omega_0 \,\pm \omega} \tag{35}$$

de manera que:

$$\mathrm{t} = \frac{2\pi}{x\omega_0 \,\pm \omega} \tag{36}$$

para un recorrido de 2π. Por lo tanto, el efecto de la gravitación sobre el desplazamiento de Sagnac es la producción del corrimiento gravitacional hacia el rojo:

$$\omega_0 \longrightarrow \left(1 - \frac{2MG}{c^2R}\right)^{½} \omega_0 \tag{37}$$

un resultado sencillo y auto-consistente, que demuestra lo correcto del Teorema Orbital y el método utilizado. Cuando se coloca un interferómetro de Sagnac sobre la superficie de la Tierra, el fotón del interferómetro se ve sujeto a un pequeño desplazamiento gravitacional hacia el rojo, el cual puede calcularse de la siguiente manera:

$$\left.\begin{aligned} M &= 5.98 \times 10^{24}\ \mathrm{kg} \\ G &= 6.67 \times 10^{-11}\ \mathrm{m^3\,kg^{-1}\,s^{-2}} \\ c &= 3 \times 10^{8}\ \mathrm{m\,s^{-1}} \\ R &= 6.37 \times 10^{6}\ \mathrm{m} \end{aligned}\right\} \tag{38}$$

de manera que

$$x = 1.39 \times 10^{-9} \tag{39}$$

Por lo tanto, la frecuencia de la luz en el vacío del espacio lejano es diferente de la frecuencia de la luz sobre la superficie de la Tierra en esta pequeña cantidad.

4. Giróscopo gravimétrico y giróscopo gravimétrico de Doppler

Bajo las condiciones:

$$\omega_0 >> \omega \tag{40}$$

y

$$\frac{2MG}{c^2R} << 1 \tag{41}$$

la expresión (36) puede aproximarse mediante:

$$\Delta t = 2\pi \left(\frac{1}{x\omega_0 - \omega} - \frac{1}{x\omega_0 + \omega} \right) \approx \frac{4\pi\omega}{\omega_0^2} \left(1 + \frac{2MG}{c^2R} \right) \tag{42}$$

y el desplazamiento relativo debido a una masa M colocada a una distancia R del gravímetro es:

$$1 : \frac{2MG}{c^2R} = 1.48 \times 10^{-27} \frac{M}{R} \tag{43}$$

Si el interferómetro de Sagnac se coloca a 1 metro de distancia de una masa de 1 kg, el desplazamiento de la frecuencia será de una parte en 1.48×10^{-27}. Un instrumento con una resolución de frecuencia de este orden sería capaz de detectar el esperado corrimiento gravitacional hacia el rojo. Tales instrumentos de alta exactitud se encuentran disponibles en el mercado [12] y por lo tanto pudieran utilizarse como giróscopos gravimétricos. Por ejemplo, semejante instrumento colocado a 100 m de una masa terrestre de 1,000,000 de toneladas métricas (10^9 kilogramos) resultaría en un desplazamiento relativo de frecuencia de 1.48×10^{-20}. Esto se encuentra dentro del intervalo de exactitud ofrecido en la actualidad por giróscopos láser de anillo de alta exactitud. El giróscopo gravimétrico podría utilizarse para registrar cartográficamente distribuciones de masa desde un avión o satélite, utilizando el efecto de masa sobre los diseños de sistemas de navegación.

Una variación de este instrumento utiliza el efecto Doppler relativista, y se basa en el experimento de Pound Rebka [13]. Consideremos dos giróscopos láser de anillo de alta precisión colocados inicialmente a una distancia h el uno del otro. Uno de ellos se mueve alejándose del otro a una velocidad v. Para el giróscopo uno:

$$\Delta t_1 \approx \left(\frac{4\pi\omega}{\omega_0^2} \right) \frac{1}{x_1^2} \tag{44}$$

donde

$$x_1 = \left(1 - \frac{2MG}{c^2(R+h)} \right)^{1/2} \tag{45}$$

y para el giróscopo dos:

$$\Delta t_2 \approx \left(\frac{4\pi\omega}{\omega_0^2} \right) \frac{1}{x_2^2} \tag{46}$$

donde

$$x_2 = \left(1 - \frac{2MG}{c^2 R}\right)^{½} \tag{47}$$

Por lo tanto:

$$\frac{\Delta\, t_1}{\Delta\, t_2} = \left(\frac{x_2}{x_1}\right)^2 \tag{48}$$

A partir de la teoría [1 -10] del experimento de Pound Rebka, hay un desplazamiento Doppler relativista combinado con desplazamientos gravitacionales, de manera que:

$$\left.\begin{aligned} &\frac{\Delta\, t_2}{\Delta\, t_1} = \frac{1+v/c}{1-v/c} = \frac{1-r_0/(R+h)}{1-r_0/R} \\ &r_0 = \frac{2MG}{c^2}\ . \end{aligned}\right\} \tag{49}$$

Esta ecuación puede resolverse para hallar M/R^2 en términos de v y h . A partir de la Ec. (49):

$$2\,\frac{v}{c} = r_0\left(\frac{1}{R} - \frac{1}{R+h}\right)\left(1 - \frac{v}{c}\right)$$
(50)

Si

$$v << c \tag{51}$$

entonces

$$2\,\frac{v}{c} \approx \frac{h r_0}{R(R+h)} \tag{52}$$

Si

$$h << R \tag{53}$$

entonces:

$$\frac{M}{R^2} \approx \frac{c}{G}\,\frac{v}{h} \tag{54}$$

$$\frac{M}{R^2} = 4.5 \text{ x } 10^{18}\,\frac{v}{h} \tag{55}$$

Conociendo v y h, puede construirse un mapa de M/R^2. Aquí, R es la distancia al centro de masa de la Tierra a partir del giróscopo inferior, que corresponde al receptor en el experimento de Pound Rebka, mientras que $R + h$ es la distancia desde el centro de masa de la Tierra al giróscopo superior, y que corresponde al emisor en el experimento de Pound Rebka. El giróscopo superior se aleja del giróscopo inferior a una velocidad v. La Ec. (55) puede considerarse como una evaluación del Teorema Orbital.

Sería posible diseñar un velocímetro de alta exactitud utilizando una parte de la Ec. (49) como sigue:

$$\frac{\Delta t_2}{\Delta t_1} = \frac{1+v/c}{1-v/c} \tag{56}$$

If

$$v << c \tag{57}$$

then:

$$\frac{\Delta t_2}{\Delta t_1} \approx 1 + 2\frac{v}{c} \tag{58}$$

Existe una diferencia en los desplazamientos de Sagnac de un giróscopo en movimiento respecto de otro, o simplemente en un giróscopo en el movimiento. Sólo se requiere un giróscopo debido a que el desplazamiento de Sagnac respecto de la línea base en la superficie terrestre se conoce con un alto grado de exactitud [12].

Sería posible desarrollar un altímetro de alta exactitud a partir de la ecuación:

$$\frac{\Delta t_2}{\Delta t_1} = \left(1 - \frac{r_0}{R+h}\right)\left(1 - \frac{r_0}{R}\right)^{-1} \tag{59}$$

Dado que

$$r_0 << R \tag{60}$$

esta ecuación es

$$\frac{\Delta t_2}{\Delta t_1} \approx 1 + \frac{h r_0}{R(R+h)} \tag{61}$$

Para un muy buen grado de aproximación. Si

$$h << R \tag{62}$$

entonces

$$\frac{\Delta t_2}{\Delta t_1} = 1 + \left(\frac{r_0}{R^2}\right) h = 1 + 2.18 \text{ x } 10^{-16}\ h \tag{63}$$

y h puede medirse a partir de la diferencia entre un giróscopo ubicado a una distancia h por encima de la superficie terrestre y el giróscopo de referencia colocado sobre la superficie terrestre.

Agradecimientos

Se agradece al Gobierno Británico por haber otorgado a este autor la Pensión Civil Vitalicia y a muchos colegas alrededor del mundo por muchas discusiones interesantes.

Referencias

[1] M. W. Evans, "Generally Covariant Unified Field Theory" (Abramis, 2005 en adelante), primeros siete volúmenes (véase también www.aias.us).
[2] M. W. Evans et al., portales ECE: www.aias.us, www.atomicprecision.com, , www.upitec.org.
[3] K. Pendergast, "The Life of Myron Evans" (Arima / Abramis, en prensa, 2010).
[4] M. W. Evans, S. Crothers, H. Eckardt and K. Pendergast, "Criticisms of the Einstein Field Equation" (Abramis, en prensa, 2010).
[5] L. Felker, "The Evans Equations of Unified Field Theory" (Abramis, 2007).
[6] M. W. Evans (ed.), "Modern Non-linear Optics", segunda edición (Wiley 2001).
[7] M. W. Evans y S. Kielich (recop.), ibid., primera edición (Wiley, 1992, 1993, 1997).
[8] M. W. Evans y L. B. Crowell, "Classical and Quantum Electrodynamics and the B(3) Field" (World Scientific 2001).
[9] M. W. Evans and J. - P. Vigier, "The Enigmatic Photon" (Kluwer 1994 a 2002), en cinco volúmenes.
[10] M. W. Evans y A. A. Hasanein, "The Photomagneton in Quantum Field Theory" (World Scientific, 1994).
[11] P. W. Atkins, "Molecular Quantum Mechanics" (Oxford University Press, 1983, 2a edición y subsiguientes).
[12] Los giróscopos laser de anillo poseen una resolución de frecuencia de hasta 1 parte en aproximadamente 10^{25} y están disponibles con todos los proveedores importantes.
[13] El experiment de Pound Rebka (Havard Tower) está descrito en cualquier buen libro de texto acerca de relatividad general.
[14] La teoría del experiment de Pound Rebka equilibra el Efecto Doppler relativista con el efecto de desplazamiento gravitacional hacia el rojo.