

## Описание собственного вращения в ОТО

Якубовский Е.Г.

e-mail [yakubovski@rambler.ru](mailto:yakubovski@rambler.ru)

Пользуясь аналогией между ОТО и СТО вычислим значение четырехмерной скорости, и на этой основе определим метрический тензор ОТО поступательно и вращательно двигающегося тела. Имея метрический тензор неподвижного тела можно вычислить метрический тензор поступательно и вращательно двигающегося тела путем замены аргументов. Решение Керра справедливо при малом моменте импульса, и не описывает решение за горизонтом событий. Кроме того, хотя имеется момент импульса, значение угловой частоты и ее направление не известно, так как метрика Керра не зависит от радиуса тела. Кроме того, удалось построить счетное количество решений ОТО в соответствии с [4].

Определение метрического тензора сводится к уравнению, где метрический тензор зависит от гравитационного и электромагнитного поля (см. [1], более подробно [2])

$$\begin{aligned}g_{nm} u^n u^m &= g_{nm} \frac{p^n}{mc} \frac{p^m}{mc} = 1 \\g_{00} (p^0)^2 + 2 \sum_{n=1}^3 g_{n0} p^n p^0 + \sum_{n,m=1}^3 g_{nm} p^n p^m &= \\= \sum_{n=0}^3 p_n p^n = m^2 c^2 &= g_{00} (p^0)^2 + \sum_{\beta=1}^3 [g_{k0} (a_\beta^k)^{-1}]^2 (p^0)^2 / \lambda_\beta - . \quad (1) \\- \sum_{\beta=1}^3 [\sqrt{\lambda_\beta} a_k^\beta p^k + g_{k0} (a_\beta^k)^{-1} p^0 / \sqrt{\lambda_\beta}]^2 &= m^2 c^2; \\(g_{nm} - \lambda_\beta \delta_{nm}) a_\beta^n &= 0; |g_{nm} - \lambda_\beta \delta_{nm}| = 0\end{aligned}$$

Где собственные числа  $\lambda_\beta > 0$ . Причем справедливо определение обобщенной энергии  $E$  по формуле  $\frac{E^2}{c^2} = g_{00}(p^0)^2 + \sum_{\beta=1}^3 [g_{k0}(a_\beta^k)^{-1}]^2 (p^0)^2 / \lambda_\beta$  так как нулевая проекция импульса  $p^0$  ответственна за энергию. При этом величина обобщенного импульса равна  $P^\beta = \sum_{k=1}^3 [\sqrt{\lambda_\beta} a_\beta^k p^k + g_{k0}(a_\beta^k)^{-1} p^0 / \sqrt{\lambda_\beta}]$ , так как содержит линейную комбинацию четырехмерного импульса. При этом имеется связь между обобщенной энергией  $E$  и обобщенным импульсом  $P^\beta$

$$\frac{E^2}{c^2} = \sum_{\beta=1}^3 (P^\beta)^2 + m^2 c^2$$

Аналогом этой формулы в СТО является формула  $\frac{E^2}{c^2} = \sum_{\beta=1}^3 (p^k)^2 + m^2 c^2$  см. [3].

Величина  $(E/c, P^\beta)$  соответствует четырехмерному импульсу тела с учетом гравитационного и электромагнитного поля. При этом можно ввести четырехмерную обобщенную скорость, зависящую от электромагнитного и гравитационного поля

$$U^k / c = \frac{P^k / mc}{\sqrt{1 + \sum_{l=1}^3 (P^l / mc)^2}}, \quad (2)$$

которая определяется с помощью формулы  $P^\beta / mc = \frac{U^\beta / c}{\sqrt{1 - \sum_{k=1}^3 (U^k / c)^2}}$ .

Предварительно надо связать величины скоростей  $V^l / c = dx^l / cdt$ , полученных дифференцированием по времени, с четырехмерными скоростями  $u^l = dx^l / ds$  по формуле  $V^l / c = u^l \alpha, l = 0, \dots, 3, V^0 = c$ , где необходимо определить коэффициент пропорциональности  $\alpha$ . Причем это нужно сделать для каждой частицы или тела. Назовем скорость  $V^l / c$  трехмерной скоростью в системе координат. Скорость  $u^l$  называется четырехмерной скоростью. Это скорость

движения тела. Тогда имеем связь собственной скорости с четырехмерной скоростью, полученной, по аналогии с СТО, при этом будем записывать и формулы СТО для сравнения

$$u^n = \frac{V^n / c}{\sqrt{g_{00} + 2g_{k0}V^k / c + g_{kn}V^kV^n / c^2}} \quad (3)$$

$$u^n = \frac{V^n / c}{\sqrt{1 - V^2 / c^2}}$$

Формулу можно преобразовать к виду, она получается умножением формулы двух скоростей, вычисленных по формуле (3), умноженных на соответствующий метрический тензор и эта величина суммируется

$$\frac{2g_{k0}V^k / c + g_{kn}V^kV^n / c^2}{g_{00} + 2g_{k0}V^k / c + g_{kn}V^kV^n / c^2} = 2g_{k0}u^k u^0 + g_{kn}u^k u^n.$$

Преобразуем это уравнение, получив из равенства  $\frac{a}{b} = \frac{c}{1}$  соотношение

$$\frac{a}{b-a} = \frac{c}{1-c}$$

$$\frac{2g_{k0}V^k / c + g_{kn}V^kV^n / c^2}{g_{00}} = \frac{2g_{k0}u^k u^0 + g_{kn}u^k u^n}{1 - 2g_{k0}u^k u^0 - g_{kn}u^k u^n}$$

Подставляя значение скорости, полученной с помощью собственного времени, выраженное через компоненту четырехмерной скорости, получим уравнение по определению  $\alpha$

$$\frac{2g_{k0}u^k u^0 + \sum_{k,n=1}^3 g_{kn}u^k u^n}{g_{00}} \alpha^2 = \frac{2g_{k0}u^k u^0 + \sum_{k,n=1}^3 g_{kn}u^k u^n}{1 - 2g_{k0}u^k u^0 - \sum_{k,n=1}^3 g_{kn}u^k u^n}$$

Откуда находим

$$\alpha = \sqrt{\frac{g_{00}}{1 - 2g_{k0}u^k u^0 - \sum_{k,n=1}^3 g_{kn}u^k u^n}}.$$

При условии  $g_{k0} = 0$ , получаем значение  $\alpha = \frac{\sqrt{g_{00}}}{\sqrt{1 - \sum_{k,n=1}^3 g_{kn} u^k u^n}}$ . При этом

значение трехмерной собственной скорости равно

$$V^l / c = u^l \sqrt{\frac{g_{00}}{1 - 2g_{k0} u^k u^0 - \sum_{k,n=1}^3 g_{kn} u^k u^n}},$$

которая является аналогом формулы

$$V^l / c = \frac{u^l}{\sqrt{1 + \sum_{l=1}^3 (u^l)^2}} < 1.$$

При значении  $u^l = 1$ , получаем значение скорости

$$\frac{V^l}{c} = \sqrt{\frac{g_{00}}{1 - 2\sum_{k=1}^3 g_{k0} - \sum_{k,n=1}^3 g_{kn}}}$$

. В пространстве Минковского эта скорость равна

$$V^l / c = 1/2.$$

Подставляя в формулу для импульса частицы  $p^0 = m c u^0$ ,  $p^k = m c u^k$ , значение  $u^n$  из формулы (3), получим четырехмерный импульс тела

$$P^0 = H(x_i, V^i) / c = m c \sqrt{\frac{[g_{k0} (a_\beta^k)^{-1} / \sqrt{\lambda_\beta}]^2 + g_{00}}{g_{00} + 2g_{k0} V^k / c + g_{kn} V^k V^n / c^2}} \quad (4)$$

$$P^\beta = m c \frac{\sqrt{\lambda_\beta} a_k^\beta V^k / c + g_{k0} (a_\beta^k)^{-1} / \sqrt{\lambda_\beta}}{\sqrt{g_{00} + 2g_{k0} V^k / c + g_{kn} V^k V^n / c^2}}$$

Эти формулы аналогичны формулам СТО

$$P^0 = \frac{m c}{\sqrt{1 - V^2 / c^2}}, P^\beta = \frac{m V^\beta}{\sqrt{1 - V^2 / c^2}}$$

И соответствуют импульсу движения тела с учетом электромагнитного и гравитационного поля.

Опишем собственное вращение тела. Для этого запишем изменение импульса

$$P^1 = P \sin \theta \sin \varphi$$

$$P^2 = P \sin \theta \cos \varphi.$$

$$P^3 = P \cos \theta$$

Имеем два импульса, в зависимости от  $P, \varphi, \theta$

$$P^\varphi = (L^2 + iL^1) / R_{\max} = P^2 + iP^1 = P \sin \theta \exp(i\varphi)$$

$$P^3 = P \cos \theta$$

$$x = x^2 + ix^1 = R \sin \theta \exp(i\varphi)$$

$$x^3 = R \cos \theta$$

Где  $L^k$  компонента момента импульса,  $R_{\max}$  радиус тела. Угол  $\theta$  зафиксируем, а угол  $\varphi = \omega \cdot \tau$ . Ставится задача, описать вращающийся метрический тензор, начало координат которого поступательно двигается вдоль радиуса под углом  $\theta_0$  и вращается относительно 3 координаты. Получается движение в пространстве Минковского. Для одиночного тела декартова система координат описывает поступательное и вращательное движение по инерции. Для вычисления метрического тензора двигающегося тела надо определить, как меняются декартовы координаты тела при заданном импульсе и моменте импульса тела. Приравнивая эти декартовы координаты, с декартовыми координатами неподвижного тела получим значение метрического тензора для двигающегося тела. Тело движется поступательно вдоль радиуса, причем вращается. Решение Шварцшильда можно записать относительно декартовых координат. Подстановка решения движения по инерции в декартовой системе координат в значение метрического тензора статической системы координат, решает проблему движения по инерции.

Имеем функцию Гамильтона  $H^2 = P^\beta P^{\beta*} c^2 + m^2 c^4$ . Уравнения движения запишутся в виде

$$\frac{dP^\varphi}{d\tau} = \frac{\partial H}{R \sin \theta \partial \exp(-i\varphi)} = \frac{\exp(i\varphi) |P|^2 c \sin \theta}{R \sqrt{|P|^2 + m^2 c^2}}, \frac{dP^3}{d\tau} = 0,$$

$$P^\varphi - P_0^\varphi \sin \theta = -\frac{i \exp(i\omega \tau) |P|^2 c \sin \theta}{\omega R \sqrt{|P|^2 + m^2 c^2}}, P^3 = P_0 \cos \theta, P = P_0 = L / R_{\max}$$

Где величина  $L$  собственный момент импульса тела, спин тела.

$$\frac{d(x_2 + ix_1)}{d\tau} = -\frac{\partial H}{\partial P^\varphi} = -c \frac{P_0^\varphi \sin \theta_0 - iP_0^2 \sin \theta \exp(i\varphi)c / [\omega R \sqrt{P_0^2 + m^2 c^2}]}{\sqrt{P_0^2 + m^2 c^2}},$$

$$\frac{dx_3}{d\tau} = -\frac{\partial H}{\partial P^3} = -\frac{P_0 c \cos \theta_0}{\sqrt{P_0^2 + m^2 c^2}}.$$

Откуда получаем решение

$$x_1 = x_1^0 - \frac{\text{Im} P_0^\varphi c \tau \sin \theta_0}{\sqrt{P_0^2 + m^2 c^2}} + \frac{P_0^2 c^2 \sin \theta \sin \omega \tau}{\omega^2 R (P_0^2 + m^2 c^2)},$$

$$x_2 = x_2^0 - \frac{\text{Re} P_0^\varphi c \tau \sin \theta_0}{\sqrt{P_0^2 + m^2 c^2}} + \frac{P_0^2 c^2 \sin \theta \cos \omega \tau}{\omega^2 R (P_0^2 + m^2 c^2)}$$

$$x_3 = x_3^0 - \frac{P_0 c \tau \cos \theta_0}{\sqrt{P_0^2 + m^2 c^2}} + \frac{P_0^2 c^2 \cos \theta}{\omega^2 R (P_0^2 + m^2 c^2)}, (\text{Re} P_0^\varphi)^2 + (\text{Im} P_0^\varphi)^2 = P_0^2$$

Отнимем от координаты метрического тензора, член, описывающий вращательное движение тела, возведем в квадрат и просуммируем, получим поступательное движение вдоль радиуса.

$$[x_1 - x_1^0 - \frac{P_0^2 c^2 \sin \theta \sin \omega \tau}{\omega^2 R (P_0^2 + m^2 c^2)}]^2 + [x_2 - x_2^0 - \frac{P_0^2 c^2 \sin \theta \cos \omega \tau}{\omega^2 R (P_0^2 + m^2 c^2)}]^2 +$$

$$+ [x_3 - x_3^0 - \frac{P_0^2 c^2 \cos \theta}{\omega^2 R (P_0^2 + m^2 c^2)}]^2 = \frac{(P_0 c \tau)^2}{P_0^2 + m^2 c^2}$$

Определим связь между частотой вращения и радиусом тела

$$\sqrt{[x_2 - x_2^0 + \frac{\text{Re} P_0^\varphi c \tau \sin \theta_0}{\sqrt{P_0^2 + m^2 c^2}}]^2 + [x_1 - x_1^0 + \frac{\text{Im} P_0^\varphi c \tau \sin \theta_0}{\sqrt{P_0^2 + m^2 c^2}}]^2} =$$

$$= \frac{P_0^2 c^2 \sin \theta \sqrt{(\cos \omega \tau)^2 + \sin^2 \omega \tau}}{\omega^2 (R) R (P_0^2 + m^2 c^2)} = \frac{P_0^2 c^2 \sin \theta}{\omega^2 (R) R (P_0^2 + m^2 c^2)} = R \sin \theta.$$

$$\omega(R) = \begin{cases} \frac{P_0 c}{R \sqrt{P_0^2 + m^2 c^2}}, R > |R_{\max}| \\ \frac{P_0 c}{R_{\max} \sqrt{P_0^2 + m^2 c^2}}, R < |R_{\max}| \end{cases}$$

Частота вращения определяется из равенства

$$P_0 = \int_0^{R_{\max}} \frac{\omega(R_{\max})}{R_{\max}} dJ(R) = \frac{\omega(R_{\max})}{R_{\max}} J_{\max}, \text{ откуда имеем формулу для изменения}$$

$$\omega(R_{\max}) = \frac{c}{R_{\max}} \sqrt{1 - \frac{m^2 R_{\max}^4}{J_{\max}^2}}.$$

Скорость вращения поверхности Земли  $V = c \sin \theta \sqrt{1 - \frac{m^2 R_{\max}^4}{J_{\max}^2}}$ . Величина

среднего момента инерции не однородного тела равна по порядку величины в случае линейного роста плотности

$$J_{\max} = (N + 1)m/2 \cdot R_{\max}^2 / 4 = mR_{\max}^2 (1 + \alpha/8),$$

$$\rho = \rho_0[(N - 1)(R_{\max} - R)/R_{\max} + 1], \rho_{\max} = \rho_0 N.$$

Формула для момента инерции получается, как средняя плотность между граничной и центральной областью, при массе сосредоточенной на половине радиуса. Для Земли отношение максимальной плотности к плотности на поверхности Земли равно  $N = 7 + \alpha$ . К сожалению данные о плотности Земли противоречивы. Поэтому используем приближенное отношение плотности до половины радиуса и для области большей половины радиуса. Должно определиться значение  $\alpha \ll 4$ . Скорость вращения поверхности земли равна  $V = c \sin \theta \sqrt{\alpha/4}$ . Откуда получаем правильную формулу для частоты вращения

$$\omega(R_{\max}) = \frac{V}{R_{\max} \sin \theta}.$$

Имеем правильную формулу для изменения координаты вне поверхности Земли

$$x - x_0 = R \sin \theta \exp(i\varphi) - \frac{P_0^{\varphi} c \tau \sin \theta_0}{\sqrt{P_0^2 + m^2 c^2}}$$

$$x^3 - x_0^3 = R \cos \theta - \frac{P_0 c \tau \cos \theta_0}{\sqrt{P_0^2 + m^2 c^2}}.$$

Внутри поверхности Земли метрический тензор меняется по закону

$$x - x_0 = \frac{R_{\max}^2}{R} \sin \theta \exp(i\varphi) - \frac{P_0^\varphi c \tau \sin \theta_0}{\sqrt{P_0^2 + m^2 c^2}}$$

$$x^3 - x_0^3 = \frac{R_{\max}^2}{R} \cos \theta - \frac{P_0 c \tau \cos \theta_0}{\sqrt{P_0^2 + m^2 c^2}}$$

Общая формула для всего пространства, где радиус определяется по формуле (5)

$$x - x_0 = r \sin \theta \exp(i\varphi) - \frac{P_0^\varphi c \tau \sin \theta_0}{\sqrt{P_0^2 + m^2 c^2}}$$

$$x^3 - x_0^3 = r \cos \theta - \frac{P_0 c \tau \cos \theta_0}{\sqrt{P_0^2 + m^2 c^2}}$$

При каждом значении радиуса имеется постоянная скорость вращения

$$V_x = ic \sin \theta \exp(i\varphi) \sqrt{1 - \frac{m^2 R_{\max}^4}{J^2}} - \frac{P_0^\varphi c \sin \theta_0}{\sqrt{P_0^2 + m^2 c^2}}, V_3 = -\frac{P_0^\varphi \cos \theta_0}{\sqrt{P_0^2 + m^2 c^2}} \quad \text{вне тела и}$$

$$V_x = \frac{ic R_{\max} \sin \theta \exp(i\varphi)}{R} \sqrt{1 - \frac{m^2 R_{\max}^4}{J^2}} - \frac{P_0^\varphi \sin \theta_0}{\sqrt{P_0^2 + m^2 c^2}}, V_3 = -\frac{P_0^\varphi \cos \theta_0}{\sqrt{P_0^2 + m^2 c^2}} \quad \text{скорость}$$

вращения метрического тензора внутри тела.

Частота оказывается действительной только для неоднородного тела с ростом плотности по мере уменьшения радиуса. Внутри тела частота равна

$$\omega(R) = \frac{c}{R} \sqrt{1 - \frac{m^2 R_{\max}^4}{J^2}}. \quad \text{Радиус тела определяется по формуле}$$

$$r = \begin{cases} \frac{P_0^2 R}{(P_0^2 + m^2 c^2) \sqrt{1 - \frac{m^2 R_{\max}^4}{J_{\max}^2}}}, R > |R_{\max}| \\ \frac{P_0^2 R_{\max}^2}{R(P_0^2 + m^2 c^2) \sqrt{1 - \frac{m^2 R_{\max}^4}{J_{\max}^2}}}, R < |R_{\max}| \end{cases} = \begin{cases} R, R > |R_{\max}| \\ \frac{R_{\max}^2}{R}, R < |R_{\max}| \end{cases} \quad (5)$$

Справедлива формула для изменения угла



$$\varphi - \varphi_0 = \int_0^\tau \omega(\tau) d\tau = \begin{cases} \frac{c}{R} \sqrt{1 - \frac{m^2 R_{\max}^4}{J_{\max}^2}} \tau, R > |R_{\max}| \\ \omega_0 \tau = \frac{c}{R_{\max}} \sqrt{1 - \frac{m^2 R_{\max}^4}{J_{\max}^2}} \tau, R < |R_{\max}| \end{cases}$$

При условии отсутствия движения  $P_0 \rightarrow 0$ , получаем неподвижный центр тела и исправленную метрику Шварцшильда.

Допустим, имеем значение метрического тензора для неподвижного не вращающегося тела  $g_{lk} = g_{lk}(x^1, x^2, x^3)$ .

Запишем метрику решения Шварцшильда  $r = f_n(R)$

$$ds^2 = c^2 \left(1 - \frac{r_g}{r}\right) dt^2 - dr^2 / \left(1 - \frac{r_g}{r}\right) - r^2 (d\theta^2 + \sin^2 \theta d\varphi^2).$$

Где для функции  $f_n(R)$  имеем представление

$$f_n(R) = \begin{cases} R + i\varepsilon_n, R > R_{\max} \\ (R_{\max} + i\varepsilon_n)^2 / (R + i\varepsilon_n), R < R_{\max} \end{cases}. \quad \text{Получаем счетное количество}$$

решений с разной степенью шероховатости  $\varepsilon_n$  см. [4]. Где центр системы

координат движется вдоль радиуса под углом  $\theta_0$ , со скоростью  $\frac{P_0 c}{\sqrt{P_0^2 + m^2 c^2}}$ .

При этом угол

$$\varphi - \varphi_0 = \begin{cases} \frac{c}{R + i\varepsilon_n} \sqrt{1 - \frac{m^2 R_{\max}^4}{J_{\max}^2}} \tau, \sqrt{R^2 + \varepsilon_n^2} < |R_{\max}| \\ \omega_0 \tau = \frac{c}{R_{\max} + i\varepsilon_n} \sqrt{1 - \frac{m^2 R_{\max}^4}{J_{\max}^2}} \tau, \sqrt{R^2 + \varepsilon_n^2} > |R_{\max}| \end{cases}.$$

Получилось счетное количество комплексных решений Шварцшильда см [4],

одно с радиусом  $r = R + i\varepsilon_n$  при условии  $\sqrt{R^2 + \varepsilon_n^2} > |R_{\max}|$ , а в другом радиус

равен  $r = (R_{\max} + i\varepsilon_n)^2 / (R + i\varepsilon_n)$  при условии  $\sqrt{R^2 + \varepsilon_n^2} < |R_{\max}|$ . Эти два решения

сопрягаются, образуя решение во всем пространстве. Вычислена и скорость

вращения тела. Отметим, что данная метрика не имеет особенности и тензоры  $g_{00}, g_{rr}$  непрерывны и в ноль не обращаются.

Но имеется действительное решение Керра с метрикой

$$ds^2 = \left(1 - \frac{r_g r}{\rho^2}\right) c^2 dt^2 - \frac{\rho^2}{\Delta} dr^2 - \rho^2 d\theta^2 - \left(r^2 + a^2 + \frac{r_g r a^2}{\rho^2}\right) \sin^2 \theta d\varphi^2 + \frac{2r_g r a c}{\rho^2} \sin^2 \theta d\varphi dt; \Delta = r^2 - r_g r + a^2; \rho^2 = r^2 + a^2 \cos^2 \theta$$

Момент равен  $L = mac$ . При моменте, равном нулю, получается метрика Шварцшильда. Предлагаемое решение не совпадает с решением Керра наличием дисперсии радиуса тела и связи с поступательным движением тела и имеет счетное количество комплексных решений см. [4]. Решение Керра определяется гравитационным радиусом и не имеет радиуса тела. Поэтому определить угловую частоту вращения и направление момента импульса тела невозможно, хотя имеется момент импульса. Предлагаемое решение содержит гравитационный радиус для неподвижного тела и зависит от радиуса тела для движущегося тела. Кроме того, решение Керра справедливо при малых моментах импульса  $a = \frac{L}{mc} < r_g / 2$ . В случае решения Керра внутренность

объема за горизонтом не имеет физического смысла и не описывается.

На поверхности множитель  $R = R_{\max}(1 + i\alpha)$  постоянен и в силу малой шероховатости Земли имеет малую мнимую часть, т.е. поверхность вращается с комплексным радиусом с малой мнимой частью. В среднем Земля имеет форму

$$\begin{aligned} x^1 / R_{\max} &= (\sin \varphi + \alpha \cos \varphi) \sin \theta \\ x^2 / R_{\max} &= (\cos \varphi - \alpha \sin \varphi) \sin \theta \\ x^3 / R_{\max} &= (1 + i\alpha) \cos \theta, \alpha = 0.0588 = \sqrt{\frac{R_{\max} - R_{\min}}{(R_{\max} + R_{\min})0.5}} \end{aligned}$$

Мнимая величина имеет положительный и отрицательный знак. Поэтому для вычисления вклада мнимой части надо извлечь корень из безразмерного среднеквадратичного отклонения. Среднеквадратичное отклонение равно

$\frac{R_{\max} - R_{\min}}{(R_{\max} + R_{\min})0.5}$ . Угол вращается с постоянной угловой скоростью  $\varphi = \varphi_0 + \omega\tau$ .

Это приводит к не постоянной скорости вращения Земли. Вычислим радиус по известным координатам. Тогда мнимая часть квадрата вертикальной компоненты уйдет, так как имеет положительный и отрицательный знак и линейна, получим

$$r^2 / R_e^2 = [(x^1)^2 + (x^2)^2 + (x^3)^2] / R_e^2 = 1 - \langle [\alpha(\theta)]^2 \rangle \cos 2\theta = 1 - 0.003455 \cos 2\theta$$

Вычисленное с помощью учета потенциальной энергии Земли ее форма определяется по формуле см. [5], раздел 4.2

$$r^2 = R_e^2 (1 - 2\varepsilon \cos^2 \theta) = R(1 - \varepsilon - \varepsilon \cos 2\theta), \varepsilon = 3.354 \cdot 10^{-3}.$$

Теоретический и экспериментальный коэффициент совпали с точностью 3%.

### Выводы

На основании решения уравнения ОТО относительно гравитационного и электромагнитного поля можно построить систему координат, в которой тело движется с постоянной скоростью и вращается. Для этого достаточно знать метрический тензор неподвижного тела относительно координат. Образуется счетное количество комплексных решений уравнения ОТО.

### Литература

1. Якубовский Е.Г. Описание электромагнитного поля с помощью уравнений общей теории относительности. Инженерная физика. 2015. №4, стр. 33-39
2. Якубовский Е.Г. Общая теория гравитационного и электромагнитного поля. «Энциклопедический фонд России», 2014, <http://russika.ru/sa.php?s=434>
3. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Теория поля т. II, Наука, М., 1973, 564с.

4. *Якубовский Е.Г.* Счетное количество решений уравнений ОТО. «Энциклопедический фонд России», 2014, 5 стр.  
<http://russika.ru/sa.php?s=1032>
5. *Жаров В.Е.* Сферическая астрономия. М.: 2002г.  
<http://www.astronet.ru/db/msg/1190817/node24.html>