

Замедление времени в СТО и ОТО

Замедление времени является одной из трёх фундаментальных особенностей частной (или специальной) теории относительности (наряду с относительностью одновременности и сокращением размеров движущего тела в направлении движения) и заключается в следующем: в *собственной* системе отсчёта (т. е. в такой *движущейся* вместе с телом системе отсчёта, в которой это тело всё время *покоится*) время течёт медленнее, чем в лабораторной системе отсчёта (ЛСО), из которой наблюдается движение тела.

Элементарный промежуток собственного времени $d\tau$ (определяемый некоторым физическим процессом в собственной СО движущегося тела) связан с промежутком лабораторного времени dt (определяемом наблюдением того же физического процесса из неподвижной лаборатории) соотношением:

$$d\tau = \frac{dt}{\gamma} = \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} dt, \quad (1)$$

где γ — лоренц-фактор, v — скорость движущегося тела в ЛСО.

Рассмотрим замедление времени при вращательном движении с двух точек зрения.

1 Лабораторная СО, частица вращается

Частная теория относительности (ЧТО или СТО) применима и к *неравномерно* движущимся СО, поэтому связь промежутка собственного времени $d\tau$ частицы, вращающейся с линейной скоростью $v = \omega r$ (см. рис. 1), с промежутком времени dt в ЛСО даётся выражением (1):

$$d\tau = \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} dt = \sqrt{1 - \frac{\omega^2 r^2}{c^2}} dt \simeq \left(1 - \frac{\omega^2 r^2}{2c^2}\right) dt. \quad (2)$$

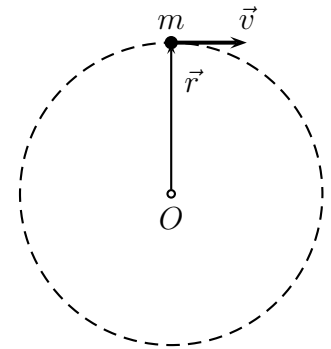


Рис. 1.

2 Вращающаяся СО, частица неподвижна

Во вращающейся СО на неподвижную частицу будет действовать центробежная сила инерции $F_{цб} = m\omega^2 r$ (см. рис. 2), поле которой, по представлениям общей теории относительности (ОТО), эквивалентно действию гравитационного поля.

Рассчитаем удельную потенциальную энергию (т. е. гравитационный потенциал φ) центрального и, следовательно, консервативного поля центробежных сил, приняв $\varphi = 0$ на оси вращения СО, где $F_{цб} = 0$:

$$\varphi(r) = \frac{1}{m} \int_r^0 F_{цб}(r) dr = -\frac{1}{m} \int_r^0 F_{цб}(r) dr = -\omega^2 \int_0^r r dr = -\frac{\omega^2 r^2}{2}. \quad (3)$$

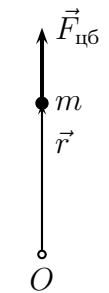


Рис. 2.

Согласно выводам ОТО, темп хода времени в гравитационном поле изменяется, и в слабом гравитационном поле с $\varphi(0) = 0$ справедливо соотношение:

$$d\tau(r) = \left(1 + \frac{\varphi(r)}{c^2}\right) d\tau(0) = \left(1 + \frac{\varphi(r)}{c^2}\right) dt = \left(1 - \frac{\omega^2 r^2}{2c^2}\right) dt, \quad (4)$$

что совпадает с выражением (2), полученным в ЛСО.