1965 г. Октябрь *Том 87, вып. 2*

УСПЕХИ ФИЗИЧЕСКИХ НАУК

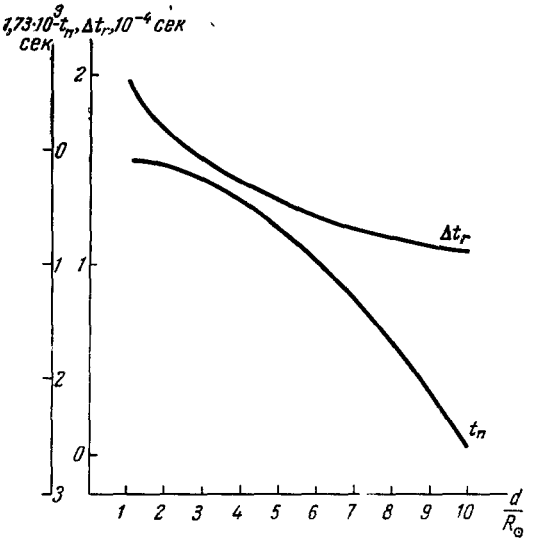
ИЗ ТЕКУЩЕЙ ЛИТЕРАТУРЫ

530.12:531.51

ЧЕТВЕРТАЯ ПРОВЕРКА ОБЩЕЙ ТЕОРИИ ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ (ОТО)

Почти все эксперименты, проведенные для проверки ОТО, направлены на обнаружение малых отклонений метрики от галилеевой, вызванных гравитационным полем Солнца. Недавно И. Шапиро [1] предложил еще один осуществимый в настоящее время эксперимент того же типа. Эксперимент состоит в радиолокации одной из внутренних планет (Меркурия или Венеры) и измерении времени между отправлением радиосигнала и приемом отраженного сигнала.

Согласно ОТО, в присутствии гравитационного поля Солнца пространство-время негалилеево и пространство неевклидово. По измерениям удаленного наблюдателя, скорость света меняется вдоль траектории, уменьшаясь с приближением к Солнцу, и кратчайшее расстояние между двумя фиксированными точками больше расстояния между ними в плоском мире. Соответственно этому время прохождения сигнала от Земли до планеты и обратно t_r, получаемое из ОТО, отличается от галилеева t_n. Разность $\Delta t_r = t_r - t_n$ достигает максимума при дальнем соединении Земли и планеты, когда луч касается края солнечного диска. Вблизи этого положения отличие релятивистского времени, измеренного по часам земного наблюдателя, от галилеева



$$\Delta t_r = \frac{2r_g}{c}\left[\ln\left(\frac{4x_e x_p}{d^2}\right) - \frac{3x_e + x_p}{2x_e}\right], \tag{1}$$

где $r_g \approx 3$ *км* — гравитационный радиус Солнца, d — прицельное расстояние луча от Солнца, x_e, x_p — расстояние от перигелия луча соответственно до Земли и до планеты; (1) справедливо при $d \ll x_e$, x_p в первом приближении по r_g/d и по $d/x_{e,\,p}$ (минимальное значение d равно, очевидно, радиусу Солнца $R_\odot = 7\cdot10^5$ *км*). При $d = R_\odot$ $\Delta t_r = 1{,}9\cdot10^{-4}$ *сек* для Меркурия и $2\cdot10^{-4}$ *сек* для Венеры, что соответствует эффективному изменению расстояния на 60 *км*. Релятивистский избыток (1) является результатом замедления времени и удлинения расстояний. Эффект искривления луча в гравитационном поле Солнца (на котором основана другая известная проверка ОТО) в данном случае несуществен, так как малое изменение траектории, дающей минимум времени распространения, изменяет время лишь во втором порядке малости.

Принципиально Δt_r является наблюдаемой величиной. В [1] предлагается измерить Δt_r при четырех предельных конфигурациях (ближнее и дальнее соединения и элонгации). При дальнем соединении релятивистская поправка больше, чем в остальных трех положениях, более чем на порядок. Недостаток такого метода, основанного на наблюдениях в удаленных точках орбиты, состоит в том, что неточное знание параметров, меняющихся со временем, превращается в случайную ошибку.

В действительности наиболее удобным является непрерывное наблюдение вблизи оптимального положения. На рисунке показаны зависимости t_n и Δt_r от прицельного расстояния d для изменения d от 1 до 10 солнечных радиусов (масштабы кривых отличаются в 10^4 раз). t_n и Δt_r зависят от d по-разному: с увеличением прицельного расстояния t_n убывает ускоренно, а Δt_r — замедленно. Поэтому при сопоставлении кривых $t_n(d)$ и $\Delta t_r(d)$ с экспериментальной существенны вторые производные от времени по d. При $d = 4R_\odot$

$$\frac{\delta^2 t_n}{\delta d^2} \approx -4{,}8\cdot 10^{-2}\ сек/R_\odot^2, \quad \frac{\delta^2(\Delta t_r)}{\delta d^2} = +2{,}5\cdot 10^{-6}\ сек/R_\odot^2. \qquad (2)$$

Важным посторонним эффектом, от которого зависит время прохождения сигнала, является влияние солнечной короны, меняющее групповую скорость волны. Соответствующее запаздывание Δt_m существенно зависит от солнечной активности, но даже в период спокойного Солнца, при частоте сигнала ~ 700 *Мгц*, Δt_m — того же порядка, что Δt_r. Пользуясь тем, что релятивистский эффект от частоты не зависит, а Δt_m обратно пропорционально квадрату частоты, можно сделать Δt_m пренебрежимо малым, увеличив частоту сигнала до $\sim 10^4$ *Мгц*. Для надежного учета этого эффекта достаточно работать одновременно на двух частотах.

Влиянием планетных ионосфер можно полностью пренебречь, так как рабочие частоты много выше критической частоты ионосферы. Гравитационные поля планет слабы по сравнению с солнечным, и, кроме того, при дифференциальном способе наблюдения вносимая ими ошибка постоянна, а потому несущественна.

При выбранном способе наблюдения не требуется также очень точного определения параметров орбит. Большая точность требуется только при измерениях времени, что как раз соответствует современным техническим возможностям. Неточность в знании скорости света не играет роли.

Серьезным техническим затруднением является невозможность наблюдений при достаточно малых угловых расстояниях планеты от Солнца, т. е. там, где релятивистский эффект наиболее значителен.

В. М. Дашевский

ЛИТЕРАТУРА

1 I. I. Shapiro, Phys. Rev. Letts. **13**, № 26 (1964).