

А. Д. Кузьмин. Пульсарная шкала времени. В 1979 г. советскими учеными предложена новая шкала времени, основанная на регулярной последовательности интервалов времени между импульсами радиоизлучения пульсаров^{1,2}. Эта шкала является астрономической, поэтому она долговечна, воспроизводима, едина для всех наблюдателей и имеет единые нуль-пункты.

Первичным эталоном-хранителем шкалы является пульсар. Шкала определяется как непрерывная последовательность интервалов времени между импульсами радиоизлучения пульсаров

$$t_N = t_0 + P_0 N + \frac{1}{2} P_0 \dot{P}_0 N^2,$$

где P_0 и \dot{P}_0 — период и его производная в начальный момент времени, N — текущий номер импульса. Параметры P_0 и \dot{P}_0 являются стабильными характеристиками данного пульсара. Поэтому, если однажды измерить их, можно в дальнейшем на основе соотношения (1) предвычислять временные моменты прихода импульсов.

Из-за вращения Земли и ее обращения вокруг Солнца расстояние пункта ведения шкалы от пульсара и, следовательно, время распространения импульса пульсара на этой трассе изменяются. Для исключения этого эффекта

время приводится к фиксированной точке инерциальной системы координат — барицентру Солнечной системы на основе соотношения

$$t_0 = t_n + \frac{\mathbf{r}_{\oplus} \mathbf{n}}{c} - \Delta t_p,$$

здесь t_n — наблюдаемое время прихода импульсов, \mathbf{r}_{\oplus} — вектор барицентр — наблюдатель, \mathbf{n} — единичный вектор в направлении барицентр — пульсар, Δt_p — релятивистская поправка, учитывающая ход земных часов в переменном гравитационном поле орбитального движения Земли.

Регулярные измерения по этой программе ведутся на Радиоастрономической станции ФИАН (г. Пушино, Московская обл.) с 1979 г. на основе

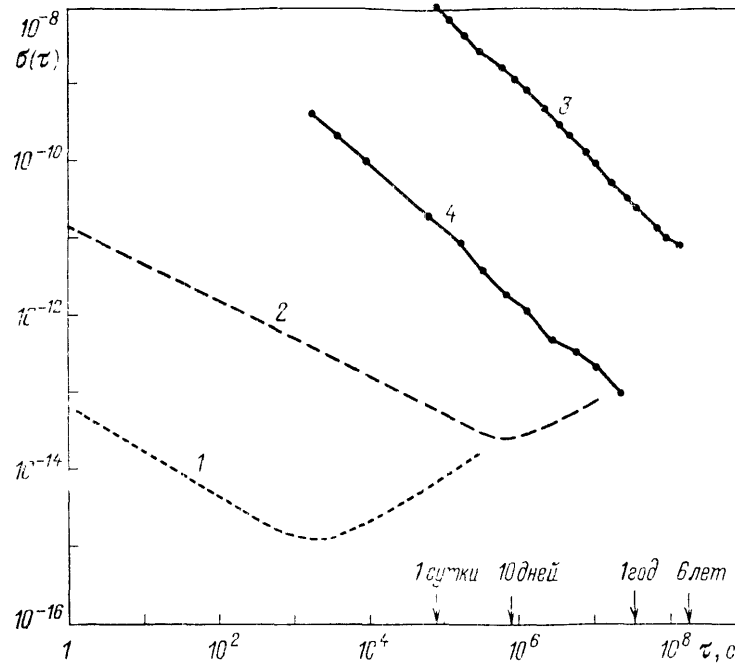


Рис. 1. Дисперсия Аллена $\sigma(\tau)$ в зависимости от интервала намерений. 1 — водородный стандарт, 2 — цезиевый стандарт, 3 — пульсары PSR 0834+06 и 1919+21, 4 — пульсар PSR 1937-21

наиболее стабильных из известных в то время пульсаров PSR 0834 + 06 и 1919 + 21. Результаты измерений представлены на рис. 1 в виде дисперсии Аллена

$$\sigma(\tau) = \frac{1}{2} \langle [R(t+\tau) - 2R(t) + R(t-\tau)] \tau^{-1} \rangle^2.$$

где τ — интервал измерений, $R(t)$ — уклонение времени прихода импульсов от ожидаемого, определяемого соотношением (1). На этом же рисунке приведены результаты измерений дисперсии Аллена для атомных стандартов.

Для идеальных часов уклонения R будет случайной величиной, не зависящей от интервала измерений τ , и поэтому дисперсия $\sigma(\tau)$ будет линейно уменьшаться с увеличением τ . На рис. 1 видно, что $\sigma(\tau)$ действительно уменьшается с τ . Но для атомных стандартов это уменьшение продолжается лишь на малых интервалах измерений (для цезиевого стандарта до $\tau \approx 10$ дней). На более длительных интервалах $\sigma(\tau)$ начинает даже увеличиваться, свидетельствуя о непредсказуемом дрейфе, не позволяющем реализовать высокие точности.

Для пульсаров $\sigma(\tau)$ уменьшается на всем интервале измерений $\tau = 6$ лет, свидетельствуя о хорошей предсказуемости хода пульсарного времени на

длительных интервалах. Однако из-за больших уклонений R величины $\sigma(\tau)$ значительно больше, чем для атомных стандартов.

Величины R лимитируются ошибками измерения временного положения импульса. Эта ошибка пропорциональна длительности импульсов, которые пропорциональны периоду пульсара. В 1982 г. был открыт пульсар PSR 1937 + 21³, период которого около 1,5 мс примерно в тысячу раз меньше, чем у PSR 0834 + 06 и 1919 + 21. Соответственно меньше длительность импульса и ошибка определения временного положения ($\delta t = 1$ мкс). Дисперсия Аллена этого пульсара на интервале около полугода достигает 10^{-13} (см. рис. 1) и сравнивается с дисперсией лучших атомных стандартов^{4,5}. Отсутствие непредсказуемых уходов указывает, что на более длительных интервалах пульсары могут быть часами с наиболее предсказуемым ходом.

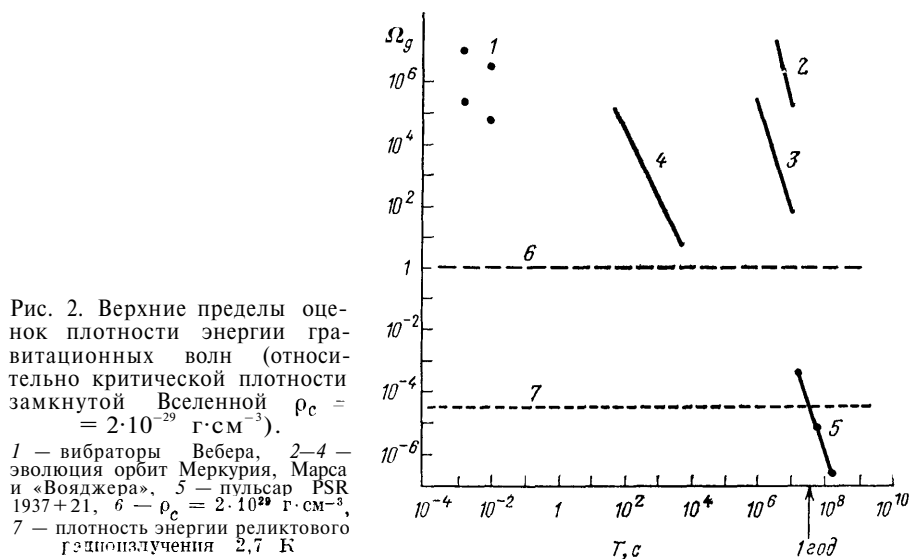


Рис. 2. Верхние пределы оценок плотности энергии гравитационных волн (относительно критической плотности замкнутой Вселенной $\rho_c = 2 \cdot 10^{-29}$ г·см⁻³).
1 — вибраторы Вебера, 2—4 — эволюция орбит Меркурия, Марса и «Вояджера», 5 — пульсар PSR 1937+21, 6 — $\rho_c = 2 \cdot 10^{-29}$ г·см⁻³, 7 — плотность энергии реликтового излучения 2,7 К

Решение соотношения (2) относительно $(\mathbf{r} \oplus \mathbf{n})$ открывает возможность определения положения барицентра Солнечной системы и эфемерид планет, а также движения барицентрической системы координат в Галактике и измерение расстояний до пульсаров.

Пульсарное время является весьма чувствительным детектором реликтовых гравитационных волн (ГВ). ГВ изменяют время-пространственную метрику, что приводит к изменению времени прихода импульсов $\Delta t = hT$, измерив которое можно определить плотность энергии ГВ

$$\rho_g = \frac{\pi}{2G} \Delta t^2 \cdot T^{-4},$$

здесь T — период ГВ. Отсутствие в измерениях^{4,5} отличия времени прихода импульсов от ожидаемого дало возможность авторам этих работ оценить верхний предел ρ_g . Для частот ГВ¹⁻³ 0,8 и 0,23 лет⁻¹ ими получено ρ_g соответственно $< 5 \cdot 10^{-4}$, $< 8 \cdot 10^{-6}$ и $< 3,5 \cdot 10^{-7}$ г·см⁻³.

Результаты указанных оценок в виде отношения плотности энергии ГВ к критической плотности замкнутой Вселенной $\rho_c = 2 \cdot 10^{-29}$ г·см⁻³ вместе с оценками другими методами показаны на рис. 2.

Таким образом, пульсарное время открывает возможность создания часов с наиболее регулярным ходом на длительных интервалах, решения ряда задач фундаментальной астрометрии и обнаружения гравитационных волн. Материалы доклада опубликованы в работах^{2,6}.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ильин В. Г., Плясов Ю. П., Иванова Ю. Д., Кузьмин А. Д., Оксентюк А. Р., Палий Г. Н., Шабанова Т. Н., Шитов Ю. П. Авторское свидетельство № 995062//Бюл. изобрет. 1983. № 5.
2. Ильин В. Г., Плясов Ю. П., Кузьмин А. Д., Пушкин С. Б., Палий Г. Н., Шабанова Т. Н., Шитов Ю. П.//ДАН СССР. 1984. Т. 275. С. 835.
3. Backer D. C., Kulkarni S. R., Heilis C., Davies M. M., Goss W. M. //Nature. 1982. V. 300. P. 615.
4. Davies M. M., Taylor J. H., Weisberg J. M., Backer D. C.//Nature. 1985. V. 315. P. 547.
5. Rawley L. A., Taylor J. H., Davies M. M., Allan D. W. Preprint of Princeton University. Princeton, 1988.
6. Il'in V. G., Isaev L. K., Pushkin S. B., Palii G. N., Ilyasov Yu. P., Kuzmin A. D., Shabanov T. V., Shitov Yu. P.//Metrologia. 1986. V. 22. P. 65.