

УДК 52.423, 524.8, 531.51

Задачи астрофизики и фундаментальной гравитации в космических лазерных интерферометрах

Постнов Константин Александрович director@sai.msu.ru

Государственный астрономический институт им. П.К. Штернберга
МГУ имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия

Аннотация. Представлено описание основных задач в области астрофизики и фундаментальной гравитации, которые планируется решать с помощью космических лазерных интерферометров для измерения гравитационных волн в мГц диапазоне частот, находящихся в стадии разработки. Конкретные примеры даны для чувствительности проекта TianQin (КНР).

Ключевые слова: космические лазерные интерферометры, гравитационные волны, теория гравитации, космология

Введение. Разрабатываемые в настоящее время проекты космических лазерных интерферометров для детектирования гравитационных волн (ГВ) в мГц диапазоне частот включают конфигурацию из 3 спутников на геостационарной (TianQin) или гелиоцентрической (LISA, Taiji, Decigo) орбите. Типичное расстояние между спутниками $L = 10^3 - 1,5 \times 10^5 - 10^6$ км. Целевые параметры TianQin: шум измерения положения $S_x^{1/2} = 10^{-12}$ м Гц^{-1/2}, шум остаточных ускорений $S_a^{1/2} = 10^{-15}$ м с⁻² Гц^{-1/2} [1]. Основные астрофизические задачи — образование и рост сверхмассивных черных дыр (СМЧД), их связь с галактиками. Фундаментальная физика: проверка ОТО в режиме сильного поля. Космология: история расширения Вселенной, измерение космологических параметров. Возможная новая физика: ГВ от фазовых переходов 1 рода в ранней Вселенной, проверка расширений ОТО и поиск новых фундаментальных полей [1].

Методы и материалы. Поставленные задачи будут решаться путем измерения ГВ от Галактических источников (ультратесные двойные системы: двойные белые карлики, системы типа AM CVn с орбитальным периодом десятки минут), от сливающихся двойные ЧД звездных масс до красных смещений $z \sim 0$, от слияния СМЧД с большим отношением масс $q \sim 10^{-5} - 10^{-7}$, которые проходят много циклов до слияния $\sim 1/q$, резко увеличивая отношение сигнала к шуму (горизонт регистрации до $z \sim 3$). Будут также измеряться слияния СМЧД и измеряться фазы ГВ послезвона после слияния (до $z \sim 10$). Интригующей является задача измерения стохастического фона ГВ от совокупности астрофизических источников и космологического ГВ-фона. В настоящее время имеется очень много моделей и высока вероятность обнаружения такого фона.

Заключение. Разрабатываемые сегодня космические лазерные интерферометры (LISA, TianQin, Taiji, DECIGO) дают уникальную возможность

наблюдения астрофизических ГВ источников и космологических ГВ фонов в миллигерцовом диапазоне частот. Прогресс в технологиях космической лазерной интерферометрии позволяет достичь требуемой точности к установленным срокам (≥ 2034) [2]. Большое отношение сигнала к шуму для астрофизических источников в мГц диапазоне позволяет проверять нелинейные эффекты ОТО и ее расширений, новую физику и ставить независимые ограничения на космологические параметры [3].

Работа поддержана грантом РФФ 23-42-00055.

Список источников

- [1] Mei Jianwei, Bai Yan-Zheng, Bao Jiahui et al. The TianQin project: Current progress on science and technology. Progress of Theoretical and Experimental Physics, 2021, vol. 2021, iss. 5, id.05A107. <https://doi.org/10.1093/ptep/ptaa114>
- [2] Luo Jun, Bai Shaojun, Bai Yan-Zheng et al. Progress in the TianQin project. Eprint arXiv:2502.11328. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2502.11328>
- [3] Luo Jun, An Haipeng, Bian Ligong et al. Fundamental Physics and Cosmology with TianQin. eprint arXiv:2502.20138. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2502.20138>

Problems of astrophysics and fundamental gravitation in space laser interferometers

Postnov Konstantin Alexandrovich director@sai.msu.ru

Sternberg Astronomical Institute, Moscow State University, Moscow, Russia;

Abstract. The description of the main problems in the field of astrophysics and fundamental gravitation, which are planned to be solved with the help of space laser interferometers for measuring gravitational waves in the mHz frequency range, which are under development, is presented. Specific examples are given for the sensitivity of the TianQin project (PRC).

Keywords: space laser interferometers, gravitational waves, theory of gravitation, cosmology

Introduction. Space laser interferometers currently under development for the detection of gravitational waves (GW) in the mHz frequency range include a configuration of 3 satellites in geostationary (TianQin) or heliocentric (LISA, Taiji, DECIGO) orbit. Typical satellite spacing is $L=10^3 \dots 1.5 \times 10^5 \dots 10^6$ km. Target parameters of TianQin: position measurement noise $S_x^{1/2}=10^{-12} \text{ m Hz}^{-1/2}$, residual acceleration noise $S_a^{1/2}=10^{-15} \text{ m s}^{-2} \text{ Hz}^{-1/2}$ [1]. Main astrophysical problems — formation and growth of supermassive black holes (SMBHs), their relation to galaxies. Fundamental physics: verification of GR in the strong field regime. Cosmology: history of the expansion of the Universe, measurement of cosmological parameters. Possible new physics: GW from phase transitions of the 1st kind in the early Universe, checking of GR extensions and search for new fundamental fields [1].

Methods and Materials. The scientific tasks will be solved by measuring GWs from Galactic sources (ultrashort-period binary systems: double white dwarfs, AM CVn-type systems with orbital periods of tens of minutes), from merging binary BHs of stellar masses up to redshifts $z \sim 0$, from merging SMHDs with large mass ratios $q \sim 10^{-5}$ - 10^{-7} that go through many cycles before merging $\sim 1/q$, dramatically increasing the signal-to-noise ratio (recording horizon up to $z \sim 3$). There will also be measurements of SMBH mergers and the post-merger GW ring-down phases after the merger (up to $z \sim 10$). The task of measuring the stochastic GW background from astrophysical sources and the cosmological GW background is exciting. Currently, there are very many models available and the probability of detecting such a background is rather high.

Conclusion. Space laser interferometers (LISA, TianQin, Taiji, DECIGO) being developed today provide a unique opportunity to observe astrophysical GW sources and cosmological GW backgrounds in the milliHertz frequency range. Advances in space laser interferometry technologies make it possible to achieve the required accuracy by the target date (≥ 2034) [2]. The large signal-to-noise ratio for astrophysical sources in the mHz range allows us to test nonlinear GR effects and GR extensions, new physics, and to place independent constraints on cosmological parameters [3].

This work is supported by RSF grant 23-42-00055.

References

- [1] Mei Jianwei, Bai Yan-Zheng, Bao Jiahui et al. The TianQin project: Current progress on science and technology. *Progress of Theoretical and Experimental Physics*, 2021, vol. 2021, iss. 5, id.05A107. <https://doi.org/10.1093/ptep/ptaa114>
- [2] Luo Jun, Bai Shaojun, Bai Yan-Zheng et al. Progress in the TianQin project. *Eprint arXiv:2502.11328*. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2502.11328>
- [3] Luo Jun, An Haipeng, Bian Ligong et al. Fundamental Physics and Cosmology with TianQin. *eprint arXiv:2502.20138*. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2502.20138>