

УДК 52-337:629.785

Космический гравитационно-волновой детектор TianQin: концепция миссии и текущее состояние реализации проекта

Милюков Вадим Константинович^{1,2 (*)} vmilyukov@yandex.ru
SPIN-код: 3867-6342

¹Государственный астрономический институт им. П.К. Штернберга,
МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия

²Frontiers Science Center for TianQin, Sun Yat-sen University, Zhuhai Campus, China

Аннотация. TianQin — это космический детектор гравитационных волн, запуск которого ожидается около 2035 года. Он будет регистрировать гравитационные волны в диапазоне частот 0,1 мГц — 1 Гц, что даст возможность обнаружить гравитационные волны от большого количества источников, таких как слияние массивных черных дыр, галактические компактные двойные системы и другие. Миссия была официально предложена в 2014 году и уже прошла несколько важных этапов.

Ключевые слова: гравитационные волны, космический гравитационно-волновой детектор, проект TianQin

Введение. TianQin — это китайский национальный проект космического детектора гравитационных волн с международным сотрудничеством. Штаб-квартира проекта, Исследовательский центр TianQin, находится в Университете Сунь Ят Сена (Гуанчжоу-Чжухай). Детектор ГВ будет построен на трех идентичных космических аппаратах, образующих гигантский лазерный интерферометр на высокой геоцентрической орбите, и нацелен на регистрацию ГВ-излучения в диапазоне частот 0,1 МГц — 1 Гц [1].

Реализация проекта включает в себя разработку новых высокоточных методов измерения межспутниковой дальности (лазерная интерферометрия транспондерного типа) и компенсации негравитационных возмущений («спутник, свободный от сноса»), а также создание инновационных аналитических методов для моделирования орбит космических аппаратов, управления космической группировкой, обработки и анализа данных. Реализация миссии TianQin прошла несколько важных этапов.

Методы и материалы; результаты. Этапы реализации проекта; текущий прогресс. Космический детектор ГВ TianQin, запуск которого ожидается около 2035 года, предназначен для обнаружения ГВ в диапазоне частот $10^{-4} \sim 1$ Гц. Детектор TianQin должен быть реализован на трех идентичных космических аппаратах, размещенных на почти идентичных геоцентрических орбитах с большой полуосью $\sim 10^5$ км и формирующих почти равносторонний треугольник. КА будут оснащены лазерными системами, образующими лазерный интерферометр с длинами плеч, порядка 10^5 км. Опорные точки ин-

терферометра совмещены с пробными массами (ПМ) системы редукиции негравитационных возмущений, таким образом, интерферометр будет измерять расстояние между этими ПМ, находящимися в свободном падении.

Плоскость детектора TianQin почти перпендикулярна плоскости эклиптики, и Солнце будет проходить через фиксированную орбитальную плоскость TianQin каждые полгода. Чтобы защитить чувствительные приборы от прямого освещения Солнцем, на TianQin будет использована схема последовательных трехмесячных окон наблюдений (непрерывные наблюдения в течение трех месяцев, затем переход в безопасный режим на три месяца до возобновления следующих наблюдений). При такой схеме общая продолжительность сбора данных составит 2,5 года в течение 5-летнего существования миссии. TianQin нацелен на обнаружение различных астрофизических и космологических источников ГВ, таких как сверхкомпактные галактические бинарные звезды, слияния массивных черных дыр, захват звездных объектов массивной черной дырой и других. В качестве калибровочного источника выбрана двойная звезда J0806 (кандидат в ультракомпактную двойную систему белых карликов). При достижении планируемой чувствительности основной измерительной аппаратуры, ГВ, излучаемые калибровочным источником, будут зарегистрированы в первый трехмесячный цикл наблюдений с отношением сигнал/шум (SNR) около 10 [1].

Для реализации проекта TianQin была составлена технологическая дорожная карта «0123», предполагающая 4 этапа реализации проекта, каждый из которых должен заканчиваться соответствующим научным и практическим выходом.

Этап «0»: строительство обсерватории лунной лазерной дальнометрии, с помощью которой можно будет получать высокоточную информацию об орбитах космических аппаратов TianQin.

Этап «1»: запуск одиночного КА (аналог LISA Pathfinder) на околоземную орбиту для проверки работы системы редукиции негравитационных возмущений (drag free control) и оптической системы регистрации.

Этап «2»: запуск двух КА на круговую орбиту высотой ~400...450 км (аналог GRACE-FO). Технологическая цель миссии — проверка лазерной системы активного типа для измерений межспутниковых расстояний. Научная цель миссии — создание глобальных и региональных моделей гравитационного поля Земли.

Этап «TQ-3»: запуск группировки из трех спутников для формирования космического детектора ГВ TianQin и проведение детектирования ГВ в космосе.

Этап «0» и этап «1» были успешно выполнены, что позволило подготовить TianQin к точному определению дальности до спутников TianQin с помощью лазерной локации и продемонстрировать принципиальную возможность компенсировать негравитационные возмущения для КА TianQin [2–4]. Этап «2» был официально утвержден в 2021 году, а запуск пары спутников

TianQin-2 ожидается примерно в 2026 году. Также были проведены различные подготовительные работы для этапа «3», включая научные исследования, изучение миссии и разработку технологий [5].

Заключение. Формально пройдено половина пути реализации проекта TianQin. Реализованы два этапа миссии. За прошедшие 10 лет достигнут значительный прогресс, как в разработке научных задач миссии, так и в создании необходимых технологий. Предстоит вторая половина работы по реализации миссии TianQin, которая может оказаться наиболее сложной. Однако уже выполненные работы, а также темпы их реализации дают уверенность в том, что миссия TianQin будет успешно реализована и научные цели миссии будут достигнуты.

Список источников

- [1] Luo Jun, Chen Li-Sheng, Duan Hui-Zong et al. TianQin: a space-borne gravitational wave detector. *Class. Quantum Grav.*, 2016, vol. 33, art. no. 035010. <https://doi.org/10.1088/0264-9381/33/3/035010>
- [2] Luo Jun, Bai Yan-Zheng, Cai Lin, Cao Bin, Wei-Ming et al. The first round result from the TianQin-1 satellite. *Class. Quant. Grav.*, 2020, vol. 37, art. no. 185013. <https://doi.org/10.1088/1361-6382/aba66a>
- [3] Mei Jianwei, Bai Yan-Zheng, Bao Jiahui et al. The TianQin project: Current progress on science and technology. *Prog. Theor. Exp. Phys.*, 2021, vol. 5, art. no. 05A107. <https://doi.org/10.1093/ptep/ptaa114>
- [4] Milyukov V.K. TianQin Space-Based Gravitational Wave Detector: Key Technologies and Current State of Implementation. *Astronomy Reports*, 2020, vol. 64, no. 12, pp. 1067–1077. <https://doi.org/10.1134/S1063772920120070>
- [5] Luo Jun, Bai Shaojun, Bai Yan-Zheng et al. Progress of the TianQin project. 2025. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2502.11328>

Space-Borne Gravitational Wave Detector TianQin: Mission Concept and Current Progress of Implementation

Milyukov Vadim Konstantinovich^{1,2 (*)}

vmilyukov@yandex.ru
SPIN-code: 3867-6342

¹Sternberg Astronomical Institute, Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia

²Frontiers Science Center for TianQin, Sun Yat-sen University, Zhuhai Campus, China

Abstract. TianQin is a space-based gravitational wave detector expected to launch around 2035. It will detect gravitational waves in the frequency band 0.1 mHz 1 Hz, offering the chance to detect gravitational waves from a large variety of sources, such as merging massive black holes, galactic compact binary systems, and so on. The mission was officially proposed in 2014 and has passed a couple of major milestones.

Keywords: gravitational waves, space-based gravitational wave detector, TianQin project

Introduction. TianQin is a Chinese national project of a space-based gravitational wave (GW) detector with international collaboration. The project headquarters, the TianQin Research Center, is located at Sun Yat Sen University (Guangzhou-Zhuhai). The GW detector will be constructed on three identical spacecraft, forming a giant laser interferometer in a high geocentric orbit, and aiming to record GW radiation in the 0.1 MHz — 1 Hz frequency band [1].

The project implementation involves the development of novel precision techniques for inter-satellite range measurements (transponder-type laser interferometry) and compensating non-gravitational disturbances ("drag-free satellite"), alongside the creation of innovative analytical methods for modeling spacecraft orbits, space constellation control, data processing and analysis. The TianQin mission implementation has passed a couple of major milestones.

Methods and materials; results. Stages of the project implementation; current progress. Expected to be launched around 2035, the space-based GW detector TianQin aims to detect GW in the frequency range $10^{-4} \sim 1$ Hz. TianQin will be an equilateral triangle constellation consists of three drag-free satellites, orbiting the Earth with orbital radii of about 10^5 km. The spacecraft will be equipped with laser systems forming a laser interferometer with arm lengths of the order of 10^5 km. The reference points of the interferometer are aligned with the test masses (TM) of the non-gravitational disturbance reduction system, so that the interferometer will measure the distance between these TMs in free fall. To protect the sensitive instruments from direct solar illumination, TianQin will use a scheme of consecutive three-month observation windows (continuous observations for three months, then a switch to safe mode for three months before resuming the next observations). With this scheme, the total duration of data collection will be 2.5 years during the 5-year mission lifetime. TianQin aims to detect various astrophysical and cosmological sources of GW, including ultracompact galactic binary stars, mergers of massive black holes, capture of stellar objects by a massive black hole, and others. The double star J0806 (a candidate for an ultracompact binary white dwarf system) is selected as a calibration source. When the planned sensitivity of the main instrumentation is reached, the GW emitted by the calibration source will be registered in the first three-month observation cycle with a signal-to-noise ratio (SNR) of about 10 [1].

In order to realize the TianQin project, a technological roadmap, entitled "0123", was drawn up. This roadmap envisages four stages of project realization, with each stage culminating in a corresponding scientific and practical output.

Phase "0": construction of a lunar laser ranging observatory that can be used to obtain high-precision orbital information of TianQin spacecraft.

Stage "1": launch of a single spacecraft (analog of LISA Pathfinder) into the Earth orbit to test the operation of non-gravitational disturbance reduction system (drag free control) and optical readout system.

Stage "2": launch of two satellites into the circular orbit of $\sim 400\div 450$ km altitude (analog of GRACE-FO). The technological goal of the mission is to test the

active type laser system for inter-satellite range measurements. The scientific goal of the mission is to create global and regional models of the Earth's gravity field.

Stage “3”: launch of a constellation of three satellites to form the TianQin space GW detector and conduct GW detection in space.

Both Stage “0” and Stage “1” have been successfully carried out, which have prepared TianQin to precisely range to the TianQin satellites with laser ranging and have demonstrated the principle capability of drag-free control for TianQin. Stage “2” has been officially approved in 2021 and a pair of TianQin-2 satellites are expected to be launched around 2026 to demonstrate the inter-satellite laser interferometry technology for TianQin. Various preparation work for Stage “3”, including science study, mission study and technology development, has also been carried out.

Conclusion. Formally, the first half of the TianQin project has been passed. Two phases of the mission have been realized. Over the past 10 years, significant progress has been made, both in developing the mission's science objectives and in developing the necessary technology. The second half of the work to realize the TianQin mission is forthcoming and may prove to be the most challenging. However, the work that has already been completed, along with the rate at which it has been implemented, provides assurance that the TianQin mission will be accomplished and that the scientific objectives of the mission will be achieved.

References

- [1] Luo Jun, Chen Li-Sheng, Duan Hui-Zong et al. TianQin: a space-borne gravitational wave detector. *Class. Quantum Grav.*, 2016, vol. 33, art. no. 035010. <https://doi.org/10.1088/0264-9381/33/3/035010>
- [2] Luo Jun, Bai Yan-Zheng, Cai Lin, Cao Bin, Wei-Ming, et al. The first round result from the TianQin-1 satellite. *Class. Quant. Grav.*, 2020, vol. 37, art. no. 185013. <https://doi.org/10.1088/1361-6382/aba66a>
- [3] Mei Jianwei, Bai Yan-Zheng, Bao Jiahui et al. The TianQin project: Current progress on science and technology. *Prog. Theor. Exp. Phys.*, 2021, vol. 5, art. no. 05A107. <https://doi.org/10.1093/ptep/ptaa114>
- [4] Milyukov V.K. TianQin Space-Based Gravitational Wave Detector: Key Technologies and Current State of Implementation. *Astronomy Reports*, 2020, vol. 64, no. 12, pp. 1067–1077. <https://doi.org/10.1134/S1063772920120070>
- [5] Luo Jun, Bai Shaojun, Bai Yan-Zheng, et al. Progress of the TianQin project. 2025. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2502.11328>