

Заключение диссертационного совета МГУ.013.1

по диссертации на соискание ученой степени кандидата наук

Решение диссертационного совета от «23» октября 2025 года № 56

О присуждении Белоненко Алексею Вячеславичу, гражданину Российской Федерации, ученой степени кандидата физико-математических наук.

Диссертация «Экспериментальное исследование релятивистских гравитационных эффектов на космических аппаратах с квантовыми стандартами времени и частоты» по специальности 1.3.1. Физика космоса, астрономия принята к защите диссертационным советом 04.09.2025, протокол № 53.

Соискатель А. В. Белоненко, 1995 года рождения, в период подготовки диссертации обучался в очной аспирантуре (01.10.2019-30.09.2023) на кафедре экспериментальной астрономии Физического факультета Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова».

Соискатель работает в должности младшего научного сотрудника отдела гравитационных измерений Государственного астрономического института имени П. К. Штернберга Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова».

Диссертация выполнена на кафедре экспериментальной астрономии Физического факультета Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова».

Научный руководитель:

— Руденко Валентин Николаевич, доктор физико-математических наук, профессор, главный научный сотрудник отдела гравитационных измерений Государственного астрономического института имени П. К. Штернберга МГУ имени М.В.Ломоносова.

Официальные оппоненты:

— Алексеев Станислав Олегович, доктор физико-математических наук, ведущий научный сотрудник отдела релятивистской астрофизики Государственного астрономического института имени П. К. Штернберга МГУ имени М.В.Ломоносова;

— Попов Михаил Васильевич, доктор физико-математических наук, главный научный

сотрудник лаборатории «Изучение быстропеременных процессов и спектроскопии» отдела космической радиоастрономии Астрокосмического центра Физического института имени П. Н. Лебедева Российской академии наук;

— Сушков Сергей Владимирович, доктор физико-математических наук, доцент, заведующий кафедрой теории относительности и гравитации Института физики Казанского (Приволжского) федерального университета;

дали положительные отзывы на диссертацию.

Выбор официальных оппонентов обосновывался их высокой квалификацией, опытом работы в области физики космоса и астрономии, а также значительным количеством публикаций по теме диссертации.

Дополнительных отзывов не поступало.

Соискатель имеет 6 опубликованных работ, в том числе по теме диссертации 6 работ, из них 5 статей, опубликованных в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных для защиты в диссертационном совете МГУ по специальности:

1. Litvinov D.A., Rudenko V.N., A.V. Belonenko, Filetkin A.I., Gusev A.V., Kulagin V.V., Porayko N.K., A.V.Alakoz, U.Bach, N.Bartel, K.G.Belousov, M.Bietenholz, A.V.Biriukov, R.Carman, G.Cimó, D.Dirkx, C.Courde, A.I.Filetkin, D.A.Duev, G.Granato, L.I.Gurvits, R.Haas, G.Herold, A.Kahlon, B.Z.Kanevsky, V.L.Kauts, G.D.Kopelyansky, G.Kronschnab, A.V.Kovalenko, A.M.Kutkin, M.Lindqvist, J.E.J.Lovell, H.Mariey, J.McCallum, G.Molera Calvés, C.Moore, K.Moore, A.Neidhardt, C.Plötz, S.V.Pogrebenko, A.Pollard, J.Quick, A.I.Smirnov, K.V.Sokolovsky, V.A.Stepanyants, J.Yang, J.-M.Torre, P.de Vicente, M.V.Zakhvatkin / Probing the gravitational RedShift with an earth-orbiting satellite // Physics Letters, Section A: General, Atomic and Solid State Physics. — 2018. — Vol. 382, no. 33. — P. 2192–2198. EDN: YENKYA. Импакт-фактор 0.69 (JCI). Личный вклад 25%. Объем 0.84 печатных листов.

2. Belonenko A. V., Popov S. M., Rudenko V. N. Compensation of atmospheric hindrances in measuring the gravitational RedShift using satellites on-board clocks // Gravitation and Cosmology. — 2020. — Vol. 26, no. 2. — P. 128–135. EDN: VRUSCN. Импакт-фактор 0.25 (JCI). Личный вклад 90%. Объем 0.96 печатных листов.

3. Belonenko A. V., Gusev A. V., Rudenko V. N. / Precision measurement of gravitational frequency shift of radio signals using rao-cramer estimates // Gravitation and Cosmology. — 2021. — Vol. 27, no. 4. — P. 383–391. EDN: RUCZSW. Импакт-фактор 0.25 (JCI). Личный вклад 75%. Объем 1.08 печатных листов.

4. N. V. Nunes, N. Bartel, A. V. Belonenko G. D. Manucharyan, S. M. Popov, V. N. Rudenko, L. I. Gurvits, G. Cimo, G. Molera Calvés, M. V. Zakhvatkin, M. F. Bietenholz / Gravitational RedShift test of eep from near earth to the distance of the moon with radioastron // Classical and Quantum Gravity. — 2023. — Vol. 40, Issue 17, id. 175005. EDN: FRZLTM. Импакт-фактор 0.93 (JCI). Личный вклад 25%. Объем 2.4 печатных листов.

5. Руденко В.Н., Белоненко А.В., Гусев А.В., Гурин Ф.С., Кулагин В.В., Попов С.М., Манучарян Г.Д., Захваткин М.В., Коваленко А.В. Прецизионное измерение гравитационного смещения частоты электромагнитных сигналов // Журнал экспериментальной и теоретической физики. - 2024. - Т. 166. - №5. - С. 632-640. EDN: GUEJRO. Импакт-фактор 1.31 (РИНЦ). Личный вклад 50%. Объем 1.08 печатных листов.

Диссертационный совет отмечает, что диссертация посвящена высокоточному экспериментальному тестированию принципа эквивалентности Эйнштейна посредством исследования гравитационного смещения частоты электромагнитных волн. Эффект проявляется при распространении излучения между пространственно разнесёнными точками с различными гравитационными потенциалами. Разработана оригинальная методика измерений с использованием высокостабильных водородных стандартов частоты, установленных на наземной станции слежения и борту космического аппарата “РадиоАстрон”. Предложен метод компенсации доминирующего доплеровского сдвига посредством чередования однопутевой (спутник-Земля) и двухпутевой (Земля-спутник-Земля) линий связи с последующей коррекцией остаточного релятивистского эффекта Доплера. Проведен анализ влияния атмосферных помех. По результатам обработки данных за 2017-2019 гг. получена оценка параметра нарушения принципа эквивалентности: $(1.57 \pm 3.96) \times 10^{-5}$. Это первый эксперимент на расстояниях от 7 до 350 тыс. км от центра Земли, который устанавливает новые ограничения на возможные отклонения от принципа эквивалентности Эйнштейна в аспекте однородности релятивистского пространства-времени.

Диссертация представляет собой самостоятельное законченное исследование,

обладающее внутренним единством. Положения, выносимые на защиту, содержат новые научные результаты и свидетельствуют о личном вкладе автора в науку:

1. Теоретический прогноз общей теории относительности для гравитационного смещения частоты соответствует экспериментальным данным с точностью $(1.57 \pm 3.96) \times 10^{-5}$ по параметру отклонения ε , который в случае подтверждения теории должен быть равен нулю, и в этом случае значимой величиной является только ошибка, с которой получено ε . Данный результат устанавливает новые ограничения для модифицированных теорий гравитации.
2. Разработанная методика онлайн подавления доминирующих помех за счет смены режимов синхронизации коммуникационных сигналов по наземному и бортовому стандартам частоты позволяет на порядок повысить точность измерения гравитационного сдвига частоты, также может быть применена для последующих прецизионных проверок общей теории относительности.
3. Разработанная и реализованная методика измерения гравитационного смещения частоты радиосигналов впервые была применена в условиях орбитального эксперимента для масштабов, сравнимых с расстоянием до Луны, и установила новые ограничения на возможные отклонения от принципа эквивалентности Эйнштейна в аспекте однородности релятивистского пространства-времени.

На заседании 23 октября 2025 года диссертационный совет принял решение присудить Белоненко Алексею Вячеславичу ученую степень кандидата физико-математических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 23 человек, из них 23 докторов наук по специальности 1.3.1. Физика космоса, астрономия (отрасль наук — физико-математические), участвовавших в заседании, из 30 человек, входящих в состав совета по специальности 1.3.1. Физика космоса, астрономия, проголосовали: за – 23, против – 0, недействительных бюллетеней – 0.

Председатель диссертационного совета

К. А. Постнов

Ученый секретарь диссертационного совета

А. И. Богомазов

23 октября 2025 года