

УДК 530.12

© Гордин М. В., Базлев Д. А., Гладышев В. О., Кауц В. Л., Каютенко А. В., Николаев П. П., Фомин И. В., Шарандин Е. А., 2023

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РЕЛИКТОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ДЛЯ ПОСТРОЕНИЯ НОВОЙ СИСТЕМЫ НАВИГАЦИИ

Гордин М. В.^{а,1}, Базлев Д. А.^{а,2}, Гладышев В. О.^{а,3}, Кауц В. Л.^{а,4}, Каютенко А. В.^{а,5}, Николаев П. П.^{а,6}, Фомин И. В.^{а,7}, Шарандин Е. А.^{а,8}

^а МГТУ им. Н.Э. Баумана, г. Москва, 105005, Россия.

Рассматривается метод ориентации и навигации космической техники на основе кинетической дипольной компоненты анизотропии космического микроволнового фона. Приводится анализ и оценки локальной анизотропии пространства-времени. Производится оценка точности предложенного метода навигации.

Ключевые слова: Реликтовое излучение, системы навигации, космический микроволновой фон.

USING RELIC RADIATION TO CONSTRUCT NEW NAVIGATION SYSTEM

Gordin M. V.^{а,1}, Petrov P. P.^{а,2}, Petrov P. P.^{а,3}, Kauts V. L.^{а,4}, Kayutenko A. V.^{а,5}, Nikolaev P. P.^{а,6}, Fomin I. V.^{а,7}, Sharandin E. A.^{а,8}

^а Bauman Moscow State Technical University, Moscow, 105005, Russia.

The method of orientation and navigation of space technology based on the kinetic dipole component of the anisotropy of the space microwave background is considered. The analysis and estimations of local space-time anisotropy are given. The accuracy of the proposed navigation method is evaluated..

Keywords: Relic radiation, navigation systems, cosmic microwave background.

PACS: 04.20.-q

DOI: 10.17238/issn2226-8812.2023.3-4.108-116

Введение

Совершенствование и создание новых систем ориентации и навигации космической техники предполагает увеличение сроков активного существования ЛА, снижение массогабаритных характеристик и энергопотребления, наращивание числа решаемых функциональных задач.

За последние десятилетия в РФ и за рубежом в теоретической физике получен ряд новых фундаментальных результатов. В их числе открытие анизотропии реликтового микроволнового излучения [1, 2]. Спектр реликтового излучения соответствует спектру излучения абсолютно черного тела с температурой 2,725 К [3]. Его максимум приходится на частоту 160,2 ГГц, что соответствует длине волны 1,9 мм. Распределение температуры на небесной сфере постоянно во времени и представляет собой стабильное навигационное поле, которое можно использовать при решении навигационных задач.

Подобно существующим звездным датчикам, использующим в качестве эталона карту звездного неба, карта реликтового излучения могла бы стать эталоном на устройствах автономной

¹E-mail: gordinmv@bmstu.ru

²E-mail: email2@inbox.ru

³E-mail: email2@inbox.ru

⁴E-mail: kauts@bmstu.ru

⁵E-mail: akayutenko@bmstu.ru

⁶E-mail: ppn@bmstu.ru

⁷E-mail: ingvor@inbox.ru

⁸E-mail: shar@bmstu.ru

навигации космических аппаратов. Важной отличительной особенностью такой системы является потенциально высокая помехозащищенность и стабильность измеряемых параметров во времени.

Кроме потенциальных мультипольных компонент анизотропии реликтового излучения, связанных с эффектами в гравитационных полях очень больших масштабов [4], существует также и кинетическая дипольная составляющая, которая обусловлена движением наблюдателя относительно реликтового излучения [5].

Наличие данного эффекта позволяет использовать кинетическую дипольную компоненту анизотропии космического микроволнового фона для целей ориентации и навигации космической техники.

1. Оценки локальной анизотропии пространства

В работах [6-8] рассматривалась локальная анизотропия пространства, определенная малыми возмущениями метрики. Локальная анизотропия определяется волновыми решениями уравнений Эйнштейна для слабых возмущений метрики Минковского со специальными условиями, наложенными на тензор возмущений. Следствием является зависимость скорости света от направления наблюдения.

В работе [8] было показано, что экспериментальная регистрация представленной зависимости позволяет определить компоненты тензора метрических возмущений и, таким образом, определить метрику анизотропного пространства-времени.

Запишем метрику Минковского с малыми анизотропными возмущениями

$$ds^2 = g_{\mu\nu} dx^\mu dx^\nu = (\eta_{\mu\nu} + h_{\mu\nu}) dx^\mu dx^\nu, \quad |h_{\mu\nu}| \ll 1, \quad (1.1)$$

где метрический тензор невозмущенного пространства Минковского определяется следующим образом $\eta_{\mu\nu} = (1, -1, -1, -1)$ и малые анизотропные возмущения метрики запишем как

$$h_{\mu\nu} = \begin{pmatrix} h_{tt} & h_{tb} \\ h_{at} & h_{ab} \end{pmatrix}, \quad (1.2)$$

где $h_{tb} = h_{bt}$, греческие индексы пробегает значения

$$0, 1, 2, 3$$

и латинские индексы пробегает значения 1, 2, 3, $x^0 = ct$, $x^a = (x, y, z)$.

Решения уравнений Эйнштейна в вакууме,

$$R_{\mu\nu} - \frac{1}{2} g_{\mu\nu} R = 0, \quad (1.3)$$

для данного случая, записываются в виде плоских волн следующего вида

$$h_{\mu\nu} = \sum_{s=+, \times} A_{\mu\nu}^{(s)} e^{ik_\mu x^\mu}, \quad (1.4)$$

где $A_{\mu\nu}^{(s)}$ - тензоры поляризации, $\mathbf{k} = k(\cos \theta, \sin \theta, 0)$ - пространственная компонента четырехвектора k_μ , θ - угол между выбранным направлением и волновым вектором \mathbf{k} , и скорость света в пространстве Минковского с малыми анизотропными возмущениями определяется как

$$c(\theta) = c - \frac{c}{2} (h_{tt} + 2h_{tb}k^b + h_{ab}k^a k^b) + O(h^2), \quad (1.5)$$

или

$$\frac{\delta c(\theta)}{c} \approx -\frac{1}{2} (h_{tt} + 2h_{t1} \cos \theta + 2h_{t2} \sin \theta + h_{11} \cos^2 \theta + h_{22} \sin^2 \theta + h_{12} \sin 2\theta), \quad (1.6)$$

где $\delta c(\theta) = c(\theta) - c$.

Для невозмущенной метрики $h_{\mu\nu} = 0$, и скорость света не зависит от направления $c(\theta) = c$.

Вначале рассмотрим метрику вращающейся оптически прозрачной среды (диска) в цилиндрических координатах [8]

$$g_{\mu\nu} = \begin{pmatrix} 1 + \frac{\omega^2 r^2 n^2}{c^2} & 0 & \frac{\omega^2 r^2 n^2}{c^2} & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 0 \\ \frac{\omega^2 r^2 n^2}{c^2} & 0 & -r^2 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -1 \end{pmatrix}, \quad (1.7)$$

с учетом показателя преломления n .

В таких средах фазовая скорость распространения света нелинейно зависит от векторного поля скоростей движения вследствие анизотропных свойств сил, связывающих атомы решетки.

Для метрики (1) ненулевые компоненты тензора метрических возмущений

$$h_{tt} = h_{t2} = h_{2t} = \frac{\omega^2 r^2 n^2}{c^2}, \quad (1.8)$$

и, таким образом, из выражения (6) получим

$$\frac{\delta c(\theta)}{c} = \frac{\omega^2 r^2 n^2}{c^2} (\sin \theta - 1/2). \quad (1.9)$$

В работе [9] рассматривается возможность использования двухлучевого интерферометра для лабораторного обнаружения пространственной анизотропии и представлен эксперимент по наблюдению оптической анизотропии света во вращающемся оптически прозрачном диске. В интерферометре свет от лазера с длиной волны $\lambda = 0.632991 \pm 1 \times 10^{-7} \mu\text{m}$ проходил через вращающийся оптический диск диаметром $D = 62\text{mm}$.

Достигнутая в экспериментах точность позволила зарегистрировать угловые вариации в положении интерференционных полос при фиксированной скорости вращения оптического диска. Оптический путь в проекции на вектор скорости среды равнялся $4.1 \times 10^{-2} m$. Отношение измененной вариации интерференционной полосы к оптическому пути соответствует верхнему пределу на анизотропию скорости света $\delta c(\theta)/c < 2.3 \times 10^{-10}$.

Для рассмотрения дипольной и квадрупольной компонент анизотропии пространства Минковского на тензор метрических возмущений $h_{\mu\nu}$ накладываются следующие условия

$$h_{tt} = h_{t2} = h_{12} = 0, h_{11} = -h_{22}. \quad (1.10)$$

В результате, выражение (6) записывается в следующем виде

$$\frac{\delta c(\theta)}{c} = h_{t1} \cos \theta + \frac{1}{2} h_{11} \cos 2\theta = (v/c) \cos \theta + (v^2/2c^2) \cos 2\theta, \quad (1.11)$$

где $h_{t1} = v/c$ и $h_{11} = -h_{22} = v^2/c^2$, где v - скорость движения наблюдателя относительно некоторой неподвижной системы отсчета.

Первое слагаемое в выражении (11) соответствует дипольной компоненте анизотропии, второе - квадрупольной.

Таким образом, метрику анизотропного пространства-времени без учета источников гравитационных полей можно определить как

$$ds^2 = c^2 dt^2 + 2 \frac{v}{c} dx dy - \left(1 - \frac{v^2}{c^2}\right) dx^2 - \left(1 + \frac{v^2}{c^2}\right) dy^2 - dz^2. \quad (1.12)$$

Также отметим, что гравитирующие объекты с симметричным распределением массы не влияют на анизотропию скорости света [8].

В работе [10] представлены результаты эксперимента по поиску дипольной анизотропии скорости света, определяемой движением Земли относительно реликтового излучения $v/c = 0.000122$.

Верхняя граница локальной анизотропии пространства оценена следующим образом $\delta c(\theta)/c < 1 \times 10^{-14}$.

Таким образом, пространство-время на Земле и в околоземном пространстве можно рассматривать как изотропное с высокой степенью точности, что соответствует случаю $h_{\mu\nu} = 0$ для метрики (1).

2. Дипольная анизотропия космического микроволнового фона

Выражение (11) совпадает с выражением для экспериментально наблюдаемой анизотропии температуры космического микроволнового фона

$$\frac{\delta T(\theta)}{T} = (v/c) \cos \theta + (v^2/2c^2) \cos 2\theta + O(v^3/c^3), \quad (2.1)$$

где v - скорость движения наблюдателя относительно реликтового излучения, и дипольная компонента анизотропии определяется первым слагаемым.

Дипольная анизотропия реликтового излучения проявляется в том, что яркостная температура изменяется вдоль выделенного направления относительно своего среднего значения, достигая максимального значения в направлении созвездия Льва (экваториальные координаты $\alpha = 11^h 12^m$ и $\delta = -7,1^\circ$ (epoch J2000); галактические координаты $l = 264,26^\circ$ и $b = 48,22^\circ$). Разница между наиболее холодной и горячей областью составляет 6,706 мК и вызвана доплеровским смещением частоты излучения из-за движения Солнечной системы относительно реликтового фона со скоростью примерно 370 км/с в сторону созвездия Льва.

В работе [11] приведены оценки погрешностей определения угловой координаты и скорости от направления, в котором производится измерение спектральной плотности мощности реликтового излучения. Погрешность определения угла $d\theta$

$$d\theta = -\frac{dT(1 - \beta \cos \theta)^2}{T_0 \beta \sqrt{1 - \beta^2} \sin \theta}, \quad (2.2)$$

где θ - угол между вектором движения v и направлением наблюдения, T_0 - температура реликтового излучения в системе координат, которая покоится относительно излучения, dT - точность измерения температуры реликтового излучения, β - модуль отношения скорости к скорости света v/c .

Скорость движения Солнца в направлении созвездия Льва составляет $v = 370$ км/с, т.е. $\beta \sim 10^{-3} \ll 1$. Тогда

$$d\theta \approx \frac{dT}{T_0 \beta \sin \theta}. \quad (2.3)$$

Минимальная погрешность $d\theta$ при предельно достижимой современными приборами точности измерения температуры $\sim 10^{-7}$ К [2,12] составит около 3×10^{-3} радиан (6 угловых секунд). При этом точность измерения будет оставаться высокой в широком диапазоне углов. За исключением диапазона углов $\theta = 0^\circ \pm 6^\circ$ и $\theta = 180^\circ \pm 6^\circ$ будет наблюдаться увеличение погрешности не более чем на порядок.

Ошибка вычисления скорости летательного аппарата

$$dv = \frac{c\sqrt{1 - \beta^2} (1 - \beta \cos \theta)^2 dT}{T_0 [(1 - \beta^2) \cos \theta - \beta (1 - \beta \cos \theta)]}. \quad (2.4)$$

Учитывая, что $\beta \ll 1$

$$dv \sim \frac{cdT}{T_0 \cos \theta}. \quad (2.5)$$

При точности измерения температуры $\sim 10^{-7}$ К минимальная ошибка определения скорости составит около 11 м/с и не превысит десятикратной минимальной величины во всем диапазоне углов, за исключением $\theta = 90^\circ \pm 6^\circ$ и $\theta = 270^\circ \pm 6^\circ$.

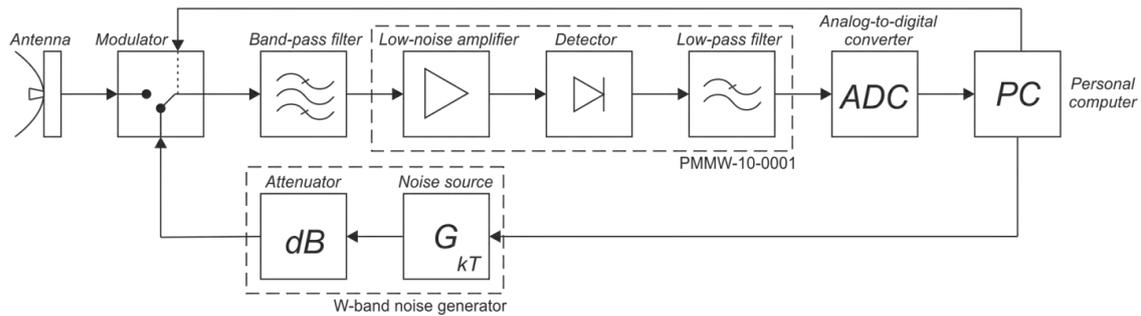


Рис. 1. Структурная схема радиометра.

Сделанные оценки точности определения угловых координат и скорости движения позволяют утверждать о принципиальной возможности и перспективности создания систем ориентации и навигации по карте реликтового излучения.

3. Схема экспериментальной установки

Для экспериментального исследования возможности создания систем ориентации по карте реликтового фона был разработан макет мобильного полноповоротного радиометра, структурная схема которого приведена на рисунке 1, а также программное обеспечение для работы с ним.

Радиометр собран по модуляционной схеме с оптико-механическим обтюратором в квазиоптическом тракте и встроенным опорным генератором шума для проведения самокалибровки. Его антенная система с шириной диаграммы направленности $1,2^\circ$ реализована по классической схеме Кассегрена. Основное параболическое зеркало антенны имеет диаметр 200 мм, гиперболический контррефлектор – диаметр 16 мм. В качестве облучателя используется пирамидальный рупор. Ширина диаграммы направленности была выбрана, с одной стороны, исходя из необходимости эффективного усреднения излучения точечных источников на небесной сфере, а с другой – исходя из условия обеспечения разрешающей способности по углу места и азимуту.

Квазиоптический тракт модулятора имеет в своем составе два скрещенных металлических волновода квадратного сечения 14×14 мм длиной 50 мм с расположенным в точке пересечения под углом 45° к апертуре вращающимся металлическим диском, имеющим два четвертных секторальных выреза. Одну половину времени приемный тракт нагружен на прямой (антенный) канал, другую – на боковой (нагружен на генератор шума), посредством зеркального отражения. Частота модуляции равна 30 Гц. Временные отрезки длительностью 3,2 мс, соответствующие области частичного перекрытия квазиоптического сечения при вращении диска, из обработки исключаются.

Усилительно-детекторный тракт радиометра был основан на использовании модуля Fagran PMMW-10-0001, который имеет на входе малошумящий широкополосный усилитель. Эквивалентная шумовая температура в рабочей полосе частот (от 75 до 110 ГГц) этого модуля не превышает 450 К, а постоянная времени его фильтра нижних частот равна 1 мкс. Оцифровка выходного сигнала производится с помощью дифференциального 24-битного АЦП, выполненного на микросхеме Analog Devices AD7766.

В качестве высокостабильного опорного источника яркостной температуры используется широкополосный полупроводниковый генератор шума разработки НИФТИ ННГУ, сигнал которого ослабляется аттенуатором до уровня, соответствующего эквивалентной шумовой температуре 350 К, приведенной к входу приемного модуля.

Для исключения систематической ошибки измерений за счет теплового излучения полос поглощения молекулярного кислорода с максимумами поглощения вблизи частот 60 и 120 ГГц в волноводный тракт радиометра может быть установлен полосовой фильтр.

С целью повышения стабильности измерений при длительных наблюдениях в радиометре ре-

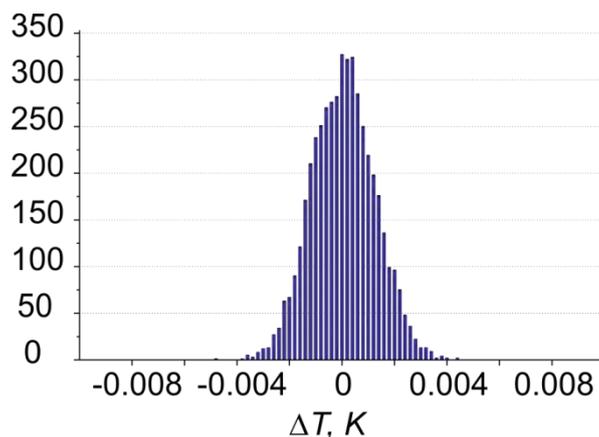


Рис. 2. Гистограмма распределения измерений яркостной температуры при времени накопления 60 секунд.

ализована система термостабилизации приемно-усилительного модуля и генератора шума. Дополнительно имеется общая термостабилизация радиометра с принудительной циркуляцией воздуха внутри всего объема.

Для наблюдения в выделенной области небесной сферы радиометр установлен на опорно-поворотном устройстве Радант AZ1000VX, позволяющем проводить сканирование и сопровождение по азимутальной координате в диапазоне от 0° до 360° и угломестной координате в диапазоне 0° до 90° .

Для определения потенциальной разрешающей способности радиометра при времени накопления 60 секунд были произведены длительные измерения уровня сигнала с опорного источника яркостной температуры. Гистограмма для распределения нестабильности регистрируемой яркостной температуры приведена на рисунке 2. Разрешающая способность разработанного радиометра составила величину порядка 1 мК при времени накопления сигнала 1 мин. На этом основании можно предположить, что при установке в точке с хорошим астроклиматом, радиометрический комплекс потенциально способен зарегистрировать дипольную составляющую яркостной температуры реликтового излучения и обеспечить точность определения угловых координат $\sim 15^\circ$. Увеличение точности в данной реализации радиометра возможно посредством увеличения времени накопления.

Разработанное программное обеспечение позволяет осуществлять удаленное управление радиометром, сбор и обработку экспериментальных данных. Программа управления опорно-поворотным устройством поддерживает работу в горизонтальной, экваториальной и галактической системах координат. Помимо наведения радиометра на заданное направление имеется возможность проведения сканирования в произвольном диапазоне углов и слежение за выбранными небесным объектом.

Созданный радиометр может быть использован в длительном цикле измерений для исследования микроволнового астроклимата в области высокоточных радиометрических измерений. Также в дальнейшем планируется проведение экспериментальных исследований зависимости шумовой температуры от высоты в горных районах и на летающих лабораториях.

4. Заключение

В статье рассматривался метод определения ориентации по измерению спектральной плотности мощности на фоне дипольной анизотропии реликтового микроволнового излучения и решения задачи навигации по кинетической дипольной компоненте анизотропии реликтового излучения, возникающей в результате движения детектора относительно данного излучения. Данный метод

основан на измерении температурного поля микроволнового космического излучения движущимся объектом.

Для экспериментального исследования влияния атмосферы на точность измерения температуры космического излучения создан макет мобильного радиометра с возможностью удаленного управления. Макет имеет временную стабильность и точностные характеристики, достаточные для выделения дипольной составляющей реликтового излучения и, тем самым, позволяет решать задачи автономной ориентации. Сделанные оценки точности предложенного метода навигации и проведенные экспериментальные исследования показали принципиальную возможность создания перспективных систем автономной ориентации и навигации по карте реликтового излучения.

Список литературы/References

1. Струков И.А., Брюханов А.А., Скулачев Д.П., Сажин М.В. Анизотропия фонового радиоизлучения. *Письма в Астрономический журнал*. 1992. Т. 18, № 5. С. 387–395.
2. Inoue, K.T. Local Voids as the Origin of Large-Angle Cosmic Microwave Background Anomalies: The Effect of a Cosmological Constant. *Astrophysical Journal*, 2007, 664 (2): 650–659.
3. Чернин А.Д. Как Гамов вычислил температуру реликтового излучения, или немного об искусстве теоретической физики. *Успехи физических наук*, 1994, Т. 164, №8, С.889-896.
4. Насельский П. Д., Новиков Д. И., Новиков И. Д. *Реликтовое излучение Вселенной*. М.: Наука, 2003. — 390 с.
5. Y. Akrami et al. [Planck], Planck intermediate results. LVI. Detection of the CMB dipole through modulation of the thermal Sunyaev-Zeldovich effect: Eppure si muove II. *Astron. Astrophys.* Vol. 644, (2020). A100.
6. Mansouri R. and Sexl S.U. A Test Theory of Special Relativity: I. Simultaneity and Clock Synchronization. *Gen. Rel. Grav.* 8 – 1977. – P.497.
7. Sfarti A. Light Speed Anisotropy Constraints via Measurement of Relativistic Light Aberration. *ARPN Journal of Science and Technology*, Vol. 4, No. 6 – 2014.
8. Фомин И.В. Скорость света в анизотропном пространстве-времени. *Известия вузов. Физика*. 2016.Т. 59 , № 1. С. 36 – 40.
9. Гладышев В.О., Тиунов П.С., Леонтьев А.Д., Гладышева Т.М., Шарандин Е.А. Исследование анизотропии пространства скоростей электромагнитного излучения в движущейся среде. *Журнал технической физики*, Т.82, №11, – 2012. – с.54-63.
10. Gurzadyan V.G., et.al A new limit on the light speed isotropy from the GRAAL experiment at ESRF. *Proc.12th M.Grossmann Meeting on General Relativity*, v. B, World Sci., – 2012. – P.1495.
11. Гладышев В.О.*, Портнов Д.И.*, Базлев Д.А.***, Скобелев М.М. Метод ориентации летательного аппарата в космическом пространстве на основе измерения пространственных вариаций спектральной плотности мощности реликтового излучения. *Вестник Московского государственного технического университета им. Н.Э. Баумана. Серия Естественные науки*, 2017. № 5 (74). С. 49-56.
12. Strukov I. A. et al. The Relikt-1 experiment - New results. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*. 1992. V. 258. P. 37-40. (Bibcode: 1992MNRAS.258P..37S.)

Авторы

Гордин Михаил Валерьевич, кандидат технических наук, ректор, МГТУ им. Н.Э. Баумана, ул. 2-я Бауманская, д. 5, с. 1, г. Москва, 105005, Россия.

E-mail: gordinmv@bmmstu.ru

Базлев Д А, к.ф.-м.н., профессор, второй университет, ул. Другая, д. 01, г. Новый, 012340, Россия; доцент, первый университет, ул. Такаяя, д. 00, г. Первый, 000000, Россия.

E-mail: email2@inbox.ru

Гладышев Владимир Олегович, д.ф.-м.н., декан факультета “Фундаментальные науки”, профессор кафедры “Физика”, Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана, ул. 2-я Бауманская, д. 5, с. 1, г. Москва, 105005, Россия.

E-mail: email2@inbox.ru

Кауц Владимир Леонидович, к. ф.-м. н., доцент кафедры физики, Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана, 2-я Бауманская ул., д. 5, г. Москва, 105005, Россия.

E-mail: kauts@bmstu.ru

Каютенко Александр Викторович, начальник ОТЭ НУК «Фундаментальные науки», МГТУ им. Н.Э. Баумана, ул. 2-я Бауманская, д. 5, стр. 1, г. Москва, 105005, Россия.

E-mail: akayutenko@bmstu.ru

Николаев Павел Петрович, к. ф.-м. н., доцент кафедры физики, Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана, 2-я Бауманская ул., д. 5, г. Москва, 105005, Россия.

E-mail: prn@bmstu.ru

Фомин Игорь Владимирович, д. ф.-м. н., профессор кафедры физики, Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана, 2-я Бауманская ул., д. 5, г. Москва, 105005, Россия.

E-mail: ingvor@inbox.ru

Шарандин Евгений Анатольевич, к. ф.-м. н., доцент кафедры физики, Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана, 2-я Бауманская ул., д. 5, г. Москва, 105005, Россия.

E-mail: shar@bmstu.ru

Просьба ссылаться на эту статью следующим образом:

Гордин М. В., Базлев Д. А., Гладышев В. О., Кауц В. Л., Каютенко А. В., Николаев П. П., Фомин И. В., Шарандин Е. А. Использование реликтового излучения для построения новой системы навигации. *Пространство, время и фундаментальные взаимодействия*. 2023. № 3-4. С. 108–116.

Authors

Gordin Mikhail Valerievich, PhD, rector of Bauman Moscow State Technical University, 2nd Baumanskaya st., 5 build. 1, Moscow, 105005, Russia.

E-mail: gordinmv@bmstu.ru

Petrov Petr Petrovich, Ph.D., Professor, Second University, Another st., 01, New-City, 012340, Russia; Associate Professor, First University, Takaya st., 00, First-City, 000000, Russia.

E-mail: email2@inbox.ru

Gladyshev Vladimir Olegovich, Ph.D., Head of the Fundamental Sciences faculty, Professor of Physics department, Bauman Moscow State Technical University, 2nd Baumanskaya st., 5c1, Moscow, 105005, Russia.

E-mail: email2@inbox.ru

Kauts Vladimir Leonidovich, Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor of Physics Department of Bauman Moscow State Technical University, 2-nd Baumanskaya street, 5, Moscow, 105005, Russia.

E-mail: kauts@bmstu.ru

Kayutenko Alexander Victirovich, Head of OTE Scientific Educational Complex «Fundamental Sciences», Bauman Moscow State Technical University, 2-nd Baumanskaya st., 5/1, Moscow, 105005, Russia.

E-mail: akayutenko@bmstu.ru

Nikolaev Pavel Petrovich, Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor of Physics Department of Bauman Moscow State Technical University, 2-nd Baumanskaya street, 5, Moscow, 105005, Russia.

E-mail: ppn@bmstu.ru

Fomin Igor Vladimirovich, Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor of Physics Department of Bauman Moscow State Technical University, 2-nd Baumanskaya street, 5, Moscow, 105005, Russia.

E-mail: ingvor@inbox.ru

Sharandin Eugenyi Anatolievich, Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor of Physics Department of Bauman Moscow State Technical University, 2-nd Baumanskaya street, 5, Moscow, 105005, Russia.

E-mail: shar@bmstu.ru

Please cite this article in English as:

Gordin M. V., Petrov P. P., Petrov P. P., Kauts V. L., Kayutenko A. V., Nikolaev P. P., Fomin I. V., Sharandin E. A. Using relic radiation to construct new navigation system. *Space, Time and Fundamental Interactions*, 2023, no. 3-4, pp. 108–116.