DOI: 10.22363/2224-7580-2022-2-62-71

О ВОЗМОЖНОМ ВОЗДЕЙСТВИИ ПРОСТРАНСТВА ОДНОРОДНОЙ ВСЕЛЕННОЙ НА ДВИЖЕНИЕ ЛОКАЛЬНЫХ МАТЕРИАЛЬНЫХ ОБЪЕКТОВ И КОЛИЧЕСТВЕННЫЕ ЗНАЧЕНИЯ ИХ ХАРАКТЕРИСТИК

В.Г. Кречет[1], В.Б. Ошурко[1,2]

[1]Московский государственный технологический университет «СТАНКИН»
Российская Федерация, 127994, Москва, ГСП-4, Вадковский пер., д. 1
[2]Федеральный исследовательский центр «Институт общей физики имени А.М. Прохорова Российской академии наук» (ИОФ РАН)
Российская Федерация, 119991, Москва, ГСП-1, ул. Вавилова, д. 38

Аннотация. Исследуется влияние пространства однородной медленно вращающейся Вселенной на свойства локальных материальных объектов, описываемых уравнением Дирака. Показано, что в результате существенно проявляются особенности местного движения спинорных частиц, и может индуцироваться возникновение их массы, что может рассматриваться как явное проявление действия принципа Маха, являющегося одной из составляющих реляционной парадигмы.

Ключевые слова: реляционная парадигма, однородная Вселенная, медленное вращение, спинорные частицы, индуцирование массы, принцип Маха

Известно, что в настоящее время физические исследования проводятся обычно в рамках квантово-полевой парадигмы, а также в рамках геометрической парадигмы и реже в рамках третьей парадигмы – реляционной парадигмы, то есть в общем случае имеются три физические парадигмы.

Реляционная физическая парадигма, которая в настоящее время интенсивно разрабатывается в работах Ю.С. Владимирова [1] и его научной группы, основывается на трёх составляющих.

1. *Реляционная концепция о природе пространства и времени.*

Здесь следует напомнить, что существует ещё и субстанциональная концепция о природе пространства и времени, в которой пространство и время рассматриваются как самостоятельные сущности. Эта концепция начала формулироваться ещё в работах И. Ньютона и с различными уточнениями стала господствующей в современной физике. Субстанциональная концепция о природе пространства и времени лежит в основе квантово-полевой парадигмы и геометрической парадигмы физики.

Реляционная концепция о природе пространства и времени начала развиваться, пожалуй, Г. Лейбницем, хотя некоторые намётки её содержатся ещё в работах Аристотеля. Сам Г. Лейбниц неоднократно подчёркивал, что он считает пространство, как и время, чисто относительным: пространство – порядком существования, а время – порядком последовательностей.

Позиция Лейбница разделялась Э. Махом [2], считавшим категории абсолютного пространства и времени «бессмысленными».

Здесь следует подчеркнуть, что выбор между субстанциональным и реляционным подходами к пространству и времени касается понимания самых глубинных оснований физики.

2. *Второй составляющей реляционной парадигмы* является концепция дальнодействия. Данное понятие – понятие дальнодействия означает взаимодействие между объектами, передающееся на расстоянии без посредников, то есть без всяких промежуточных полей и субстанций (электромагнитное и гравитационное поля, эфир и т.д.).

Концепцию дальнодействия выдвигал ещё И. Ньютон, но в этом вопросе он не был до конца последовательным. В своих работах он то вводил эфир как промежуточную субстанцию, то исключал его. Судя по его высказываниям, он склонялся к мистико-религиозному решению этого вопроса.

В начале и середине XIX в. сторонниками концепции дальнодействия выступали представители немецкой научной школы: В. Вебер, Л. Лоренц, Ф. Нейман, К.Ф. Цёльнер и др. Идеи концепции дальнодействия получили своё развитие в работах Э. Маха. В нашей стране концепция дальнодействия активно отстаивалась Я.И. Френкелем. В настоящее время концепция дальнодействия активно развивается в работах Ю.С. Владимирова и его научной группы ещё с начала 80-х гг. XX в. [3].

3. *Третьей составляющей реляционной парадигмы* является принцип Маха, понимаемый в самом широком смысле в том, что свойства локальных материальных объектов и их фундаментальные физические характеристики, такие как масса, собственный момент импульса и др., а также характер их местного движения, зависят от глобальных свойств пространства и времени и воздействия всех остальных окружающих их даже самых отдалённых материальных объектов.

Математическим аппаратом реляционной парадигмы является теория физических структур и бинарной геометрофизики, развитая в работах Ю.И. Кулакова, Г.Г. Михайличенко и Ю.С. Владимирова [4].

В данной работе мы приводим конкретные физические примеры проявления принципа дальнодействия и принципа Маха, в качестве местных локальных материальных объектов выбираются частицы с собственным моментом импульса.

Рассматриваются особенности динамики спинорных частиц, описываемых уравнением Дирака, при учёте возможного вращения Вселенной и его влияния на количественные значения их характеристик, таких как масса и спин, которое даже может индуцировать появление такой массы, что можно объяснить как одно из проявлений принципа Маха о влиянии глобальных характеристик Вселенной на свойства локальных материальных объектов.

Вопрос о возможном вращении Вселенной начал обсуждаться достаточно давно и обсуждается до сих пор.

Мощный стимул к обсуждению этой проблемы дала публикация Берча [5] об обнаружении глобальной анизотропии поляризации радиоизлучения внегалактических источников, которая объяснялась в этой публикации возможным медленным вращением Вселенной.

Публикация Берча дала толчок теоретическим исследованиям по космологии с вращением. Среди публикаций по этой теме можно отметить работы [6; 7]. И интерес к этой теме не утихает. Однако результаты Берча по наблюдению глобальной анизотропии поляризации излучения внегалактических радиоисточников и аналогичные результаты в других исследованиях никто ещё не опроверг, и в настоящее время не исключается возможное малое вращение Вселенной. Современные оценки угловой скорости ω вращения Вселенной дают для её значения $\sim 10^{-11}$ рад/год, что совпадает с соответствующими оценками в других работах [8].

Одной из простейших метрик, соответствующей пространству однородной стационарной вращающейся космологической модели, является следующая метрика [6] (в сигнатуре + + + –):

$$ds^2 = dx^2 + ke^{2\lambda x}dy^2 + dz^2 + 2e^{\lambda x}dtdy - dt^2\,;\; k,\ \lambda = \mathrm{const}\,. \qquad (1)$$

Здесь время t имеет размерность длины (см) и связано с мировым космологическим временем t_k (с) соотношением $t = ct_k$, а параметр λ определяет угловую скорость ω^i данной вращающейся стационарной космологической модели, коэффициент k – есть параметр причинности ($k > -1$): когда $k < 0$, то через каждую точку пространства проходит хотя бы одна замкнутая времениподобная кривая линия, то есть отсутствует причинная структура в пространстве-времени (1), а когда $k > 0$, замкнутые времениподобные кривые отсутствуют и причинность восстанавливается.

Такая ситуация иллюстрируется на рис. 1 на примере поведения времениподобных геодезических при различных значениях k, полученных как результат компьютерного моделирования.

Метрика (1) является ближайшим обобщением метрики Гёделя [9] для однородной стационарной вращающейся космологической модели

$$ds^2 = dx^2 - \frac{1}{2}e^{2\lambda x}dy^2 + dz^2 + 2e^{\lambda x}dtdy - dt^2\,. \qquad (2)$$

Как видно, метрика Гёделя получается из нашей метрики при $k = -1/2$, и в пространстве-времени Гёделя через каждую точку проходит замкнутая времениподобная линия.

Вариант, когда в метрике (1) параметр причинности $k > 0$, с физической точки зрения является намного более предпочтительным.

Во-первых, как показывают компьютерные исследования (см. рис. 1), времениподобные геодезические при $k > 0$ не являются замкнутыми, в то время как при $k < 0$ такие геодезические являются замкнутыми. У таких кривых есть участки, где происходит движение вспять по времени.

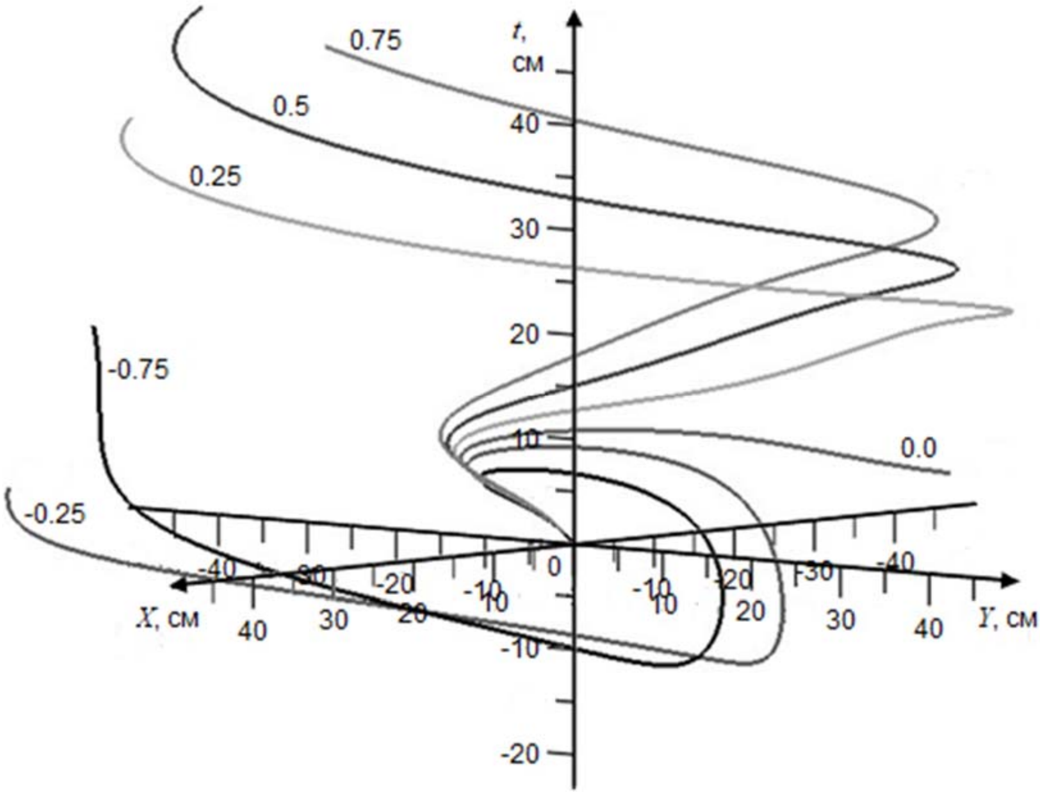

Рис. 1. Мировые линии частицы в декартовых координатах *x* и *y*
(*ось времени вертикальна*)

Во-вторых, как показано в работе [10], спектр решений для волновых физических полей в пространстве-времени с метрикой (1) при $k < 0$ является неполным, а при $k > 0$ спектр этих решений является полным.

Мы используем сопутствующую систему отсчёта для спинорных частиц и наблюдателя с единичным направляющим времениподобным вектором τ_i, касательным к координатным линиям времени, то есть τ^i – есть 4-скорость V^k, нормированная на единицу

$$V^i = \tau^i = (0,0,0,1)\,;\ \tau_i = (0, e^{\lambda x}, 0, -1)\,;\ \tau_i \tau^i = -1\,;\ i = 1,\ 2,\ 3,\ 4. \qquad (3)$$

В этой системе отсчёта угловая скорость вращения ω^i космологической модели, определяемая формулой

$$\omega^i = \frac{1}{2}\varepsilon^{iklm}\tau_k \tau_{l,m}, \qquad (4)$$

будет описываться выражением

$$\omega^i = \frac{\lambda}{2\sqrt{k+1}}\delta_3^i\,;\ \omega = \sqrt{\omega_i \omega^i} = \frac{\lambda}{2\sqrt{k+1}}. \qquad (5)$$

Как видно, вектор угловой скорости направлен вдоль оси OZ, то есть ось OZ есть ось вращения.

Как сказано выше, спинирующую частицу, движущуюся во внешнем гравитационном поле вращающейся стационарной космологической модели (1), будем описывать уравнением Дирака, которое в общековариантном виде имеет вид

$$\gamma^k \nabla_k \psi + \mu\psi = 0\,;\ \nabla_k \overline{\psi}\gamma^k - \mu\overline{\psi} = 0\,. \qquad (6)$$

Здесь $\psi(x^i)$ – дираковская спинорная функция (биспинор), а $\overline{\psi}$ – дираковски сопряжённая спинорная функция, γ_i – матрицы Дирака риманова пространства, удовлетворяющие условию фундаментальной связи пространства и спина

$$\gamma_i\gamma_k + \gamma_k\gamma_i = 2g_{ik}I\,, \qquad (7)$$

где g_{ik} – компоненты метрического тензора риманова пространства, а I – единичная матрица.

Используя метрические коэффициенты в метрике (1), из соотношений (7) находим матрицы Дирака γ_i пространства вращающейся космологической модели:

$$\gamma_1 = \overset{0}{\gamma}_1\,;\ \gamma_2 = \sqrt{k+1}e^{\lambda x}\overset{0}{\gamma}_2 - e^{\lambda x}\overset{0}{\gamma}_4\,;\ \gamma_3 = \overset{0}{\gamma}_3\,;$$

$$\gamma^1 = \overset{0}{\gamma}_1\,;\ \gamma^2 = \frac{e^{-\lambda x}}{\sqrt{k+1}}\overset{0}{\gamma}_2\,;\ \gamma^3 = \overset{0}{\gamma}_3\,;\ \gamma^4 = \frac{1}{\sqrt{k+1}}\overset{0}{\gamma}_2 - \overset{0}{\gamma}_4\,. \qquad (8)$$

Здесь $\overset{0}{\gamma}_i$ – матрицы Дирака пространства Минковского.

В общековариантном уравнении Дирака (6) $\nabla_k\psi$ и $\nabla_k\overline{\psi}$ – есть ковариантные производные спинорных функций $\psi(x^i)$ и $\overline{\psi}(x^i)$, которые в общем случае имеют вид

$$\nabla_k\psi = \partial_k\psi - \Gamma_k\psi\,;\ \nabla_k\overline{\psi} = \partial_k\overline{\psi} + \overline{\psi}\Gamma_k\,. \qquad (9)$$

Здесь Γ_k – коэффициенты спинорной связности, которые вычисляются по известной формуле:

$$\Gamma_k = -\frac{1}{4}\gamma^m\left(\partial_k\gamma_m - \Gamma^i_{km}\gamma_i\right), \qquad (10)$$

где Γ^i_{km} – коэффициенты связности аффинно-метрического пространства.

Поскольку рассматриваемые спинирующие частицы находятся в однородном пространстве-времени, будем считать, что их спинорные функции ψ, $\overline{\psi}$ не зависят от пространственных координат (x, y, z), а зависят лишь от времени t, то есть $\psi = \psi(t)$.

С учётом указанного замечания, используя формулы (8, 9), уравнения Дирака (6) окончательно запишем в виде

$$\left(\frac{1}{\sqrt{k+1}}\overset{0}{\gamma}_2-\overset{0}{\gamma}_4\right)\frac{d\psi}{dt}-\frac{\omega}{2}\left(\overset{0}{\gamma}_3\gamma_5\psi\right)+\frac{\lambda}{2}\overset{0}{\gamma}_1\psi+\mu\psi=0;$$

$$\frac{d\overline{\psi}}{dt}\left(\frac{1}{\sqrt{k+1}}\overset{0}{\gamma}_2-\overset{0}{\gamma}_4\right)+\frac{\omega}{2}\left(\overline{\psi}\overset{0}{\gamma}_3\gamma_5\right)+\frac{\lambda}{2}\overline{\psi}\overset{0}{\gamma}_1-\mu\overline{\psi}=0. \qquad (11)$$

Здесь матрица Дирака $\gamma_5=\overset{0}{\gamma}_1\overset{0}{\gamma}_2\overset{0}{\gamma}_3\overset{0}{\gamma}_4$; $\gamma_5^2=-1$.

Плотность потока момента импульса (спина) S_i дираковской спинорной частицы описывается аксиальным пространственно-подобным вектором

$$S_i=\frac{\hbar c}{2}\left(\overline{\psi}\overset{0}{\gamma}_i\gamma_5\psi\right). \qquad (12)$$

Учитывая эту формулу для S_i и образуя различные линейные комбинации из уравнений (11) для спинора ψ и сопряжённого спинора $\overline{\psi}$ между собой, получим систему дифференциальных уравнений для аксиального вектора спина S_i и псевдоскаляра $\left(\overline{\psi}\gamma_5\psi\right)$:

$$
\begin{aligned}
&1)\ \frac{d}{dt}\left(S_z\right)=0,\ \text{то есть } S_z=\text{const};\\
&2)\ k\frac{d}{dt}\left(S_x\right)+3(k+1)\omega\left(S_y\right)=0;\\
&3)\ \frac{d}{dt}\left(S_y\right)-\omega\left(S_x\right)=0;\ \omega=\frac{\lambda}{2\sqrt{k+1}};\\
&4)\ \frac{1}{\sqrt{k+1}}\frac{d}{dt}\left(S_y\right)+\lambda\left(S_x\right)-2\mu\left(\overline{\psi}\gamma_5\psi\right)=0;\\
&5)\ k\frac{d}{dt}\left(\overline{\psi}\gamma_5\psi\right)+2\mu\sqrt{k+1}\left(S_y\right)=0.
\end{aligned}
\qquad (13)
$$

Из системы (13) сразу следует, что параметр причинности k не может быть равен нулю, так как в противном случае при $k=0$ все компоненты вектора $\overline{\psi}\overset{0}{\gamma}_i\gamma_5\psi=0$ и $\overline{\psi}\gamma_5\psi=0$, то есть все физические характеристики спинорной частицы обращаются в нуль. Поэтому для параметра k возможны две области изменения: $-1<k<0$, $k>0$.

Далее из первого уравнения системы (13) сразу следует, что проекция вектора спина $S_i=\frac{\hbar c}{2}\left(\overline{\psi}\overset{0}{\gamma}_i\gamma_5\psi\right)$ на ось вращения OZ постоянна:

$$S_z = \frac{\hbar c}{2}\left(\overset{-}{\psi}\overset{0}{\gamma}_3\gamma_5\psi\right) = \mathrm{const}\,, \tag{14}$$

а 2-е и 3-е уравнения этой системы при $k > 0$ с учётом соотношения (14) описывают процесс прецессии спина дираковской спинорной частицы вокруг оси OZ с угловой скоростью

$$\Omega = \omega\sqrt{\frac{3(k+1)}{k}}\,, \tag{15}$$

где $\omega = \dfrac{\lambda}{2\sqrt{k+1}}$ – угловая скорость вращения космологической модели с метрикой (1). При этом угловая скорость прецессии при всех допустимых значениях параметра k больше угловой скорости вращения ω космологической модели, а каждая из компонент вектора спина S_x и S_y удовлетворяет одному и тому же уравнению свободных гармонических колебаний с частотой Ω:

$$\frac{d^2S_x}{dt^2} + \Omega^2 S_x = 0\,;\ \frac{d^2S_y}{dt^2} + \Omega^2 S_y = 0\,. \tag{16}$$

Выберем в качестве одного из начальных условий для компоненты вектора $S_3 = S_z$ значение, равное нулю, то есть $S_z(0) = 0$, что соответствует одному из значений константы интегрирования в первом уравнении системы уравнений (13) $S_z = \mathrm{const}$, следовательно, вектор $\vec{S}$ будет всё время находиться в плоскости XOY, где и будет прецессировать вокруг оси OZ, то есть вокруг начала координат – точки O, как часовая стрелка на циферблате часов, а в начальном положении вектор $\vec{S}$ будем считать расположенным вдоль оси OX. Поэтому координаты конца вращающегося вектора $\vec{S}$ будут принимать значения $x(t)$ и $y(t)$ при их начальных значениях $x(0) = x_0$, $y(0) = 0$.

Тогда из решения уравнений (16) для функций $x(t)$ и $y(t)$ получаем формулы

$$x(t) = x_0\cos(\Omega t)\,;\ y(t) = \frac{V_0}{\Omega}\sin(\Omega t)\,, \tag{17}$$

где $V_0 = \dfrac{dy}{dt}$ при $t = 0$.

Исключая время из уравнений (17), получаем уравнение кривой, которую описывает конец вектора $\vec{S}$:

$$\frac{x^2}{x_0^2} + \frac{y^2}{\left(V_0/\Omega\right)^2} = 1\,. \tag{18}$$

В общем случае, когда $x_0 \neq V_0/\Omega$, уравнение (18) есть уравнение эллипса, то есть будет иметь место эллиптическая прецессия спина $\vec{S}$, но в частном случае при $x_0 = V_0/\Omega$ будем иметь круговую прецессию.

Для противоположного случая ($k < 0$) при том же подходе к описанию процесса движения вектора $\vec{S}$, как и сделанном выше, когда $k > 0$, и при тех же начальных условиях для координат конца вектора $\vec{S}$ $x(t)$ и $y(t)$ получаем решения

$$x(t) = x_0\,\mathrm{ch}(\Omega t);\ y(t) = \frac{V_0}{\Omega}\mathrm{sh}(\Omega t);\ \Omega = \sqrt{\frac{3(k+1)}{|k|}}\omega. \tag{19}$$

Откуда имеем

$$\frac{x^2}{x_0^2} - \frac{y^2}{\left(V_0/\Omega\right)^2} = 1. \tag{20}$$

То есть получилось уравнение гиперболы. Такой вид движения вектора $\vec{S}$ можно назвать “гиперболической прецессией”.

Рассматривая систему уравнений (13) в целом, видно, что мы имеем 5 уравнений для четырёх неизвестных: S_x, S_y, S_z и $\overline{\psi}\gamma_5\psi$, то есть имеем переопределённую систему уравнений.

Из этой системы уравнений можно получить условие совместности для неё, которое определяется соотношением между параметрами космологической модели λ, k, ω и спинорных частиц μ, m, где $\mu = mc/\hbar$, m – масса:

$$3(2k+3)\omega^2 = 4\mu^2. \tag{21}$$

Здесь угловая скорость ω имеет размерность 1/см и связана с настоящей угловой скоростью вращения ω_0 размерностью 1/с соотношением $\omega = \omega_0/c$. С учётом этого соотношение (21) можно привести к виду

$$\hbar\omega = \frac{mc^2}{\sqrt{\frac{3}{4}(2k+3)}}. \tag{22}$$

По своей форме формула (22) похожа на связь между волновыми и корпускулярными свойствами релятивистской частицы, где mc^2 – энергия релятивистской частицы, а $\hbar\omega$ – энергия частицы как кванта с собственной частотой ω.

Знаменатель $\sqrt{\frac{3}{4}(2k+3)}$ при $k > -5/6$ в правой части формулы (22) больше единицы. В этом случае $m\Big/\sqrt{\frac{3}{4}(2k+3)} < m$, то есть получается эффективное уменьшение массы частицы.

Однако при $-1 < k < -5/6$ этот знаменатель меньше единицы, что ведёт к увеличению эффективной массы частицы.

Вместе с тем, поскольку ω в формуле (22) есть угловая скорость вращения рассматриваемой космологической модели, эту формулу можно трактовать как эффект индуцирования массы у спинорных частиц космологическим вращением.

Получается, что глобальные свойства Вселенной влияют на локальные свойства объектов, в данном случае вращение Вселенной оказывает воздействие на местное движение локальных материальных объектов (индуцирует эффект прецессии спина), а также индуцирует возникновение массы частиц, а космологический параметр *k* – параметр причинности, как показано выше, влияет на величину индуцированной массы. Таким образом, здесь в явном виде проявляется действие принципа Маха, который выступает одной из составляющих реляционной парадигмы [1].

Литература

1. *Владимиров Ю. С.* Реляционная картина мира. М.: URSS, 2021.
2. *Мах Э.* Познание и заблуждение. М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2003.
3. *Владимиров Ю. С.* Реляционная теория пространства-времени и взаимодействий. М.: Изд-во МГУ, 1996.
4. *Владимиров Ю. С.* Основания физики. М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2008.
5. *Birch P.* Is the Universe rotating? // Nature. 1982. Vol. 298. P. 451–454.
6. *Krechet V. G.* Dynamics of continuous medium in space with torsion // Sov. Phys. J. 1985. Vol. 28. P. 957–961.
7. *Pavelkin V. N., Panov V. F.* A nonstationary cosmological model with rotation in the Einstein-Cartan theory // Russ. Phys. J. 1993. Vol. 36. P. 784–788.
8. *Янишевский Д. М.* Космологические модели с вращением типа VIII по Бьянки с источниками-жидкостями // Вестник РУДН. Серия: Математика. Информатика. Физика. 2017. Т. 25. № 4. С. 380–389.
9. *Gödel K.* An example of a new type of cosmological solutions of Einstein’s field equations of gravitation // Rev. Mod. Phys. 1949. Vol. 21. P. 447–450.
10. *Krechet V. G.* Gravitational and quantum effects in rotating cosmological models // Russ. Phys. J. 1992. Vol. 35. P. 521–524.

ON THE POSSIBLE IMPACT OF THE SPACE OF A HOMOGENEOUS UNIVERSE ON THE MOVEMENT OF LOCAL MATERIAL OBJECTS AND THE QUANTITATIVE VALUES OF THEIR CHARACTERISTICS

V.G. Krechet[1], V.B. Oshurko[1,2]

[1]Moscow State Technological University "STANKIN"
1 Vadkovsky per., Moscow, GSP-4, 127994, Russian Federation
[2]Federal Research Center "Institute of General Physics named after A.M. Prokhorov" of the Russian Academy of Sciences (IOF RAS)
38 Vavilova St, Moscow, GSP-1, 119991, Russian Federation

Abstract. The influence of the space of a homogeneous slowly rotating Universe on the properties of local material objects described by the Dirac equation is studied. It is shown that as a result, the features of the local motion of spinor particles are significantly manifested, and the appearance of their mass can be induced, which can be considered as a clear manifestation of the operation of the Mach principle, which is one of the components of the relational paradigm.

Keywords: relational paradigm, homogeneous Universe, slow rotation, spinor particles, mass induction, Mach principle