

УТОЧНЕНИЕ ЗАКОНА ТЯГОТЕНИЯ НЬЮТОНА

Опубликована 12.03.2003, № 4780

© Воронков С.С.

доцент, к.т.н

Контакт с автором: vorss60@yandex.ru

Аннотация

Приводится уточненный закон тяготения Ньютона, в котором гравитационная постоянная зависит от скорости тела и появляется малый дополнительный член, обратно пропорциональный кубу расстояния. Причиной тяготения являются непрерывные пульсации мировой среды. При "погружении" тел в мировую среду они искажают эти равномерные пульсации, что приводит к возникновению осредненной силы притяжения.

В конце XX века произошло осознание сложности, непредсказуемости реального мира, его нелинейности. Произошла смена научной парадигмы науки. Новая парадигма – есть парадигма нелинейности.

В работах [1,2,3,4] были уточнены физические свойства мировой среды и получены уравнения, представляющие собой нелинейное обобщение уравнений Максвелла для вакуума с учетом возможности перемещения мировой среды, дополненные уравнением непрерывности и формулой для скорости света. В работе [4] эти уравнения я назвал уравнениями единой теории поля, хотя в настоящее время, больше склоняюсь к названию – уравнения динамики вакуума.

Приведем уравнения динамики вакуума, полученные в [1,2,3,4]

$$\left. \begin{aligned} \frac{d^2 \eta \mathbf{V}}{dt^2} &= c^2 \nabla^2 \eta \mathbf{V}, \\ \frac{d^2 \phi}{dt^2} &= c^2 \nabla^2 \phi, \\ \frac{d\eta}{dt} + \eta \operatorname{div} \mathbf{V} &= 0, \\ c^2 &= \frac{\partial \phi}{\partial \eta}. \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

Здесь \mathbf{V} – вектор скорости движения физического вакуума с проекциями – V_x, V_y, V_z ; η – плотность физического вакуума, ϕ – скалярный потенциал, c – скорость света, $\nabla^2 = \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} + \frac{\partial^2}{\partial z^2}$ – дифференциальный оператор Лапласа.

В этой системе из шести дифференциальных уравнений (первое векторное уравнение представляет собой три скалярных), неизвестных 6 величин – $V_x, V_y, V_z, \phi, \eta, c$.

Полные производные в (1) содержат нелинейные члены и расписываются

$$\frac{d^2 \eta \mathbf{V}}{dt^2} = \frac{\partial^2 \eta \mathbf{V}}{\partial t^2} + 2(\mathbf{V} \cdot \nabla) \frac{\partial \eta \mathbf{V}}{\partial t} + \left(\frac{\partial \mathbf{V}}{\partial t} \cdot \nabla \right) \eta \mathbf{V} + (\mathbf{V} \cdot \nabla)(\mathbf{V} \cdot \nabla) \eta \mathbf{V}, \quad (2)$$

$$\frac{d^2 \varphi}{dt^2} = \frac{\partial^2 \varphi}{\partial t^2} + 2(\mathbf{V} \cdot \nabla) \frac{\partial \varphi}{\partial t} + \left(\frac{\partial \mathbf{V}}{\partial t} \cdot \nabla \right) \varphi + (\mathbf{V} \cdot \nabla)(\mathbf{V} \cdot \nabla) \varphi, \quad (3)$$

$$\frac{d\eta}{dt} = \frac{\partial \eta}{\partial t} + (\mathbf{V} \cdot \nabla) \eta, \quad (4)$$

где $\nabla = i \frac{\partial}{\partial x} + j \frac{\partial}{\partial y} + k \frac{\partial}{\partial z}$ – дифференциальный оператор набла.

Первое уравнение системы (1) описывает распространение поперечных волн в мировой среде. Второе уравнение описывает продольные волны напряжения. Третье уравнение системы (1) представляет собой уравнение непрерывности мировой среды. Четвертое уравнение определяет скорость света в мировой среде – вакууме как скорость распространения возмущений.

При преобразованиях будем использовать в дальнейшем вспомогательное уравнение, полученное в процессе вывода основной системы уравнений (1)

$$\frac{d\eta \mathbf{V}}{dt} = -\text{grad} \varphi. \quad (5)$$

Мировая среда – физический вакуум, состоит из электронов, которые сохраняют ближний порядок, т.е. это действительно сплошная непрерывная среда. Следовательно, плотность мировой среды равняется плотности электрона. В работах [1,2,3,4] показано, что плотность электрона и, соответственно, мировой среды следующим образом соотносится с плотностью протона и равна

$$\eta = \frac{1}{6} \eta_p = 2,42 \cdot 10^{16} \text{ кг / м}^3, \quad (6)$$

где η_p – плотность протона.

Особенность мировой среды заключается в том, что на макроуровне она подвижна, в то время как на микроуровне она представляет собой диэлектрик. В этом проявляются ее нелинейные свойства.

Мировая среда – сжимаема. Найдём, по аналогии с гидродинамикой, коэффициент сжимаемости β_φ и модуль упругости G мировой среды

$$\beta_\varphi = \frac{1}{\eta} \frac{d\eta}{d\varphi} = \frac{1}{\eta c^2} = \frac{1}{2,42 \cdot 10^{16} \cdot (3 \cdot 10^8)^2} = 4,6 \cdot 10^{-34} \text{ м}^2 / \text{Н}, \quad (7)$$

$$G = \frac{1}{\beta_\varphi} = \eta c^2 = 2,42 \cdot 10^{16} \cdot (3 \cdot 10^8)^2 = 2,18 \cdot 10^{33} \text{ Н/м}^2. \quad (8)$$

Для сравнения приведём коэффициент сжимаемости $4,7 \cdot 10^{-10} \text{ м}^2 / \text{Н}$ и модуль упругости $2,13 \cdot 10^9 \text{ Н/м}^2$ воды. Таким образом, сжимаемость мировой среды значительно меньше сжи-

маемости воды и в некоторых случаях ее допустимо приближенно рассматривать как несжимаемую.

В работе [4] показано, что уравнения (1) являются исходными и включают в себя уравнения электродинамики Максвелла и законы механики Ньютона, релятивистские эффекты, закон всемирного тяготения, основное уравнение квантовой механики – уравнение Шредингера и др. В качестве примера приведем вывод закона всемирного тяготения из уравнений динамики вакуума (1).

Выпишем второе уравнение системы (1) для скалярного потенциала, подставив $\text{grad } \phi$ из (5) в предположении $\eta = \text{const}$, и разделив левую и правую части уравнения на c^2

$$\begin{aligned} \nabla^2 \phi = & \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 \phi}{\partial t^2} + \frac{2\mathbf{V}}{c^2} \cdot \text{grad} \frac{\partial \phi}{\partial t} - \frac{\eta}{c^2} \left(\frac{\partial \mathbf{V}}{\partial t} \right)^2 - \frac{\eta}{c^2} \frac{\partial \mathbf{V}}{\partial t} \cdot (\text{rot} \mathbf{V} \times \mathbf{V}) - \\ & - \frac{\eta}{c^2} \frac{\partial \mathbf{V}}{\partial t} \cdot \text{grad} \left(\frac{V^2}{2} \right) + \frac{1}{c^2} \mathbf{V} \cdot \text{grad} (\mathbf{V} \cdot \text{grad} \phi). \end{aligned} \quad (9)$$

Мировая среда находится в непрерывном движении. Каждой точке мировой среды соответствуют какие-то значения пульсационных составляющих скорости, потенциала, скорости света. Представим скорость, потенциал, скорость света как сумму средних и пульсационных составляющих

$$\mathbf{V} = \bar{\mathbf{V}} + \mathbf{V}', \quad \phi = \bar{\phi} + \phi', \quad c = \bar{c} + c'. \quad (10)$$

Проведем осреднение по времени уравнения (9) на интервале T , значительно превышающем период пульсационных составляющих. В правой части уравнения (9) достоверно будет отличен от нуля член

$$\frac{\eta}{\bar{c}^2} \frac{1}{T} \int_t^{t+T} \left(\frac{\partial \mathbf{V}'}{\partial t} \right)^2 dt. \quad (11)$$

Принимая его во внимание, пренебрегая величинами более высокого порядка малости, осредненное по времени уравнение (9) запишется

$$\nabla^2 \bar{\phi} = - \frac{\eta}{\bar{c}^2} \frac{1}{T} \int_t^{t+T} \left(\frac{\partial \mathbf{V}'}{\partial t} \right)^2 dt. \quad (12)$$

В дальнейшем черту над переменной опустим, понимая под переменной ее осредненное значение.

Предположим, что правая часть уравнения (12) остается постоянной. Обозначим через C_0

$$\frac{1}{c^2} \frac{1}{T} \int_t^{t+T} \left(\frac{\partial \mathbf{V}'}{\partial t} \right)^2 dt \equiv C_0. \quad (13)$$

Тогда уравнение (12) запишется

$$\nabla^2 \phi = -\eta C_0. \quad (14)$$

Рассмотрим взаимодействие между двумя протонами в мировой среде, расположенными на расстоянии r . Найдем потенциал, создаваемый одним из протонов на расстоянии r . Потенциал, согласно (14), определится [5]

$$\varphi = -C_0 \int_{V_p} \frac{\eta dV}{r}, \quad (15)$$

где $V_p = 4\pi r_0^3 / 3$ – объем протона, r_0 – радиус протона.

С учетом (6) получим

$$\varphi = -\frac{C_0}{6} \frac{m_p}{r}. \quad (16)$$

Найдем $\text{grad}_r \varphi$ в сферических координатах при центральной симметрии

$$\text{grad}_r \varphi = \frac{\partial \varphi}{\partial r} = \frac{C_0 m_p}{6r^2}. \quad (17)$$

Найдем силу, действующую на второй протон в поле потенциала φ , при условии, что $r_0 \ll r$

$$F = - \int_{r-r_0}^{r+r_0} S \cdot \text{grad}_r \varphi \cdot dr = \frac{C_0 m_p}{6} 4\pi r_0^2 \left(\frac{1}{r} \Big|_{r-r_0}^{r+r_0} \right) = -\frac{C_0}{6\eta} \frac{m_p m_p}{r^2}, \quad (18)$$

где $S = 4\pi r_0^2$ – площадь поверхности протона.

Окончательно для силы F взаимодействия между двумя протонами получим

$$F = -\gamma_0 \frac{m_p m_p}{r^2}. \quad (19)$$

где γ_0 – есть гравитационная постоянная

$$\gamma_0 = \frac{C_0}{6\eta} = \frac{1}{6\eta c^2} \frac{1}{T} \int_t^{t+T} \left(\frac{\partial \mathbf{V}'}{\partial t} \right)^2 dt. \quad (20)$$

Знак минус в (19) означает, что эта сила – сила притяжения. Этот закон есть не что иное, как закон тяготения Ньютона.

Анализ выражений (19) и (20) показывает, что причиной тяготения являются непрерывные пульсации мировой среды. При "погружении" тел в мировую среду они искажают эти равномерные пульсации, что приводит к возникновению осредненной силы притяжения.

Полученный закон тяготения Ньютона (19) из уравнений динамики вакуума (1) является первым приближением. Найдем следующее приближение и посмотрим, что нового оно вносит в закон тяготения.

Рассмотрим, как и прежде, взаимодействие между двумя протонами в мировой среде, расположенными на расстоянии r . Пусть при этом один из протонов движется с постоянной скоростью \bar{V} . Тогда, проведя осреднение по времени уравнения (9), получим

$$(1 - \beta^2) \nabla^2 \bar{\phi} = -\frac{\eta}{\bar{c}^2} \frac{1}{T} \int_t^{t+T} \left(\frac{\partial \mathbf{V}'}{\partial t} \right)^2 dt, \quad (21)$$

где $\beta = \bar{V}/\bar{c}$.

В дальнейшем черту над переменной опустим, понимая под переменной ее осредненное значение.

Проделав выкладки, аналогичные предыдущему выводу закона тяготения Ньютона, окончательно для силы F взаимодействия между двумя протонами получим

$$F = -\frac{\gamma_0}{1 - \beta^2} \frac{m_p m_p}{r^2}, \quad (22)$$

где γ_0 – гравитационная постоянная при скорости протона, равной нулю.

Обозначим коэффициент в формуле (22), который является гравитационной постоянной, γ

$$\gamma = \frac{\gamma_0}{1 - \beta^2}. \quad (23)$$

Тогда полученный результат свидетельствует о зависимости гравитационной постоянной от скорости движения протона.

Относительное изменение гравитационной постоянной определится

$$\frac{\Delta\gamma}{\gamma_0} = \frac{\gamma - \gamma_0}{\gamma_0} = \frac{\gamma_0 \left(\frac{1}{1 - \beta^2} - 1 \right)}{\gamma_0} \approx \beta^2. \quad (24)$$

Найденное соотношение (24) совпадает с результатом, полученным Р.Дике [6] из других соображений.

Оценим вариации гравитационной постоянной для планет солнечной системы. Средняя орбитальная скорость для Меркурия составляет [7] – 47,86 км/с, для Плутона – 4,74 км/с. Тогда

$$2,5 \cdot 10^{-10} < \frac{\Delta\gamma}{\gamma_0} < 2,5 \cdot 10^{-8}. \quad (25)$$

Гипотезы об изменении гравитационной постоянной обсуждаются давно [6,8]. Это предположение впервые было высказано А. Эйнштейном [6] и позже активно развивалось П.Дираком [9]. Проводились попытки экспериментального обнаружения изменения гравитационной постоянной. Так, Д. Миккельсон и М. Ньюмен показали [8], что с относительной точностью 10^{-8} гравитационная постоянная не меняется с расстоянием в интервале $0,3 \cdot 10^8 \text{ км} < r < 3 \cdot 10^8 \text{ км}$. Найденный нами диапазон изменения гравитационной постоянной (25) лежит за пределами точности наблюдений Д. Миккельсона и М. Ньюмена.

Применим полученную формулу (22) к анализу гравитационных сил при переменной скорости тела. Такой подход допустим при незначительных изменениях скоростей.

Определим изменение гравитационной постоянной для Земли в течение года при ее движении по орбите. В любой точке эллиптической орбиты на расстоянии r от центрального тела скорость планеты равна [7]

$$V = V_a \sqrt{\frac{2a}{r} - 1}, \quad (26)$$

где V_a – средняя орбитальная скорость, a – большая полуось орбиты.

Максимальная скорость движения Земли по орбите – в перигелии $r = q = a(1 - e)$, где e – эксцентриситет эллиптической орбиты (для Земли $e=0,0167$)

$$V_q = V_a \sqrt{\frac{2a}{a(1-e)} - 1} = V_a \cdot 1,017. \quad (27)$$

Минимальная скорость – в афелии $r = Q = a(1 + e)$

$$V_Q = V_a \sqrt{\frac{2a}{a(1+e)} - 1} = V_a \cdot 0,983. \quad (28)$$

Учитывая, что средняя орбитальная скорость Земли составляет [7] 29,78 км/с, относительное изменение гравитационной постоянной для Земли в течение года определится

$$0,95 \cdot 10^{-8} < \frac{\Delta\gamma}{\gamma_0} < 1,02 \cdot 10^{-8}. \quad (29)$$

Вариации гравитационной постоянной, как отмечается в [6], могут существенно влиять на сейсмическую активность.

Рассмотрим, учитывает ли полученное приближение закона тяготения Ньютона (22) смещение перигелия Меркурия. Для этого преобразуем выражение (23), подставив в него скорость из (26)

$$\gamma = \frac{\gamma_0}{1 - \frac{V_a^2 \left(\frac{2a}{r} - 1 \right)}{c^2}} \approx \gamma_0 \left(1 + \beta_a^2 \left(\frac{2a}{r} - 1 \right) \right) = \gamma_0 (1 - \beta_a^2) \left(1 + \frac{2a\beta_a^2}{(1 - \beta_a^2)r} \right), \quad (30)$$

где $\beta_a^2 = V_a^2 / c^2$.

С учетом (30) закон тяготения Ньютона (22) переписывается

$$F = -\gamma_0 (1 - \beta_a^2) Mm \left(\frac{1}{r^2} + \frac{2a\beta_a^2}{(1 - \beta_a^2)r^3} \right). \quad (31)$$

Здесь M – масса Солнца, m – масса планеты.

Помимо члена, обратно пропорционального квадрату расстояния, в законе тяготения Ньютона в этом приближении (31) появляется малый член, обратно пропорциональный кубу расстояния. Как известно [10,11], в таком виде записывал видоизмененный закон Ньютона Клеро для объяснения движения лунного перигея. Впоследствии Клеро от этого закона отказался [11].

Рассмотрим, к какому смещению перигелия Меркурия приведет малый добавочный кубический член в законе тяготения Ньютона (31). Ньютон показал [12], что при силе притяжения F , пропорциональной

$$\frac{b \cdot \bar{r}^m + d \cdot \bar{r}^n}{\bar{r}^3}, \quad (32)$$

где b, d, m, n – константы, смещение перигелия определится

$$\delta\varphi = 360^0 \left(\sqrt{\frac{b+d}{mb+nd}} - 1 \right). \quad (33)$$

Единицы измерения у Ньютона [12] выбраны таким образом, что максимальному расстоянию между телом и силовым центром соответствует $\bar{r} = 1$. С учетом этого перепишем (31) в виде

$$F = -\frac{\gamma_0(1-\beta_a^2)Mm}{a^2(1+e)^2} \left(\frac{1}{\bar{r}^2} + \frac{2\beta_a^2}{(1-\beta_a^2)(1+e)} \frac{1}{\bar{r}^3} \right), \quad (34)$$

где $\bar{r} = r/(a(1+e))$.

В нашем случае

$$b = 1; m = 1; n = 0; d = \frac{2\beta_a^2}{(1-\beta_a^2)(1+e)}.$$

Смещение перигелия Меркурия за один оборот, учитывая, что $e=0,2056$, согласно закону (34) и (33), определится

$$\delta\varphi = 360^0 \left(\sqrt{1 + \frac{2\beta_a^2}{(1-\beta_a^2)(1+e)}} - 1 \right) \approx 360^0 \frac{\beta_a^2}{(1-\beta_a^2)(1+e)} = (7,614 \cdot 10^{-6})^0 = (2,74 \cdot 10^{-2})''. \quad (35)$$

Смещение перигелия Меркурия за один земной год составит

$$\delta\varphi_1 = 4\delta\varphi \approx 0,11'' \quad (36)$$

Смещение перигелия Меркурия за столетие будет

$$\delta\varphi_{100} = 100\delta\varphi_1 = 11''. \quad (37)$$

На движение перигелия Меркурия существенное влияние оказывают планеты солнечной системы, но в "1859г., – как отмечается в [10], – Лаверье обнаружил, что наблюдаемое смещение перигелия примерно на $39''$ в столетие больше теоретической величины, равной $527''$ ". Теоретически определенная величина в $527''$ складывается из возмущений планет солнечной системы на движение перигелия Меркурия [10]

Планета	Вклад в смещение перигелия
Венера	280,6''
Земля	83,6''
Марс	2,6''
Юпитер	152,6''
Сатурн	7,2''
Уран	0,1''
Всего в столетие	526,7''

Уточненное неучтенное смещение перигелия Меркурия составляет [13] $43''$. Следовательно, полученный нами результат (37) примерно в 4 раза меньше наблюдаемого.

Но здесь следует отметить, что влияние планет на движение перигелия Меркурия, приведенное в таблице, рассчитывалось без учета скорости их движения и само требует уточнений.

Выводы

1. Причиной тяготения являются непрерывные пульсации мировой среды. При "погружении" тел в мировую среду они искажают эти равномерные пульсации, что приводит к возникновению осредненной силы притяжения.
2. Уточнен закон тяготения Ньютона, в котором гравитационная постоянная зависит от скорости тела и появляется малый дополнительный член, обратно пропорциональный кубу расстояния.

Литература

1. Воронков С.С. К электрогидродинамической аналогии. Пск. фил. С.-Петербург. госуд. технич. ун-та. – Псков, 1993. 25 с., Рукопись деп. в ВИНТИ 10.08.93., №2237 – В93.
2. Воронков С.С. Нелинейный мир. – Псков: Пск. политехн. ин-т, 1994. – 59 с.
3. Воронков С.С. Эфир и теория относительности. – Псков: Пск. политехн. ин-т, 1996. – 42 с.
4. Воронков С.С. Электродинамика Максвелла как единая теория поля. – Псков: Пск. политехн. ин-т, 1999. – 100 с. Электронный вариант работы представлен на сайте: <http://vorss60.narod.ru>
5. Кошляков Н.С. и др. Уравнения в частных производных математической физики. – М.: Высшая школа, 1970. – 712 с.
6. Кропоткин П. Н. Теория тяготения К. А. Путилова и кинетическая теория Лоренца. С. 16-147. – В сборнике: Поле и материя. – М.: Изд-во МГУ, 1971. – 164 с.
7. Астрономия: Учеб. пособие / М. М. Дагаев, В. Г. Демин, И. А. Климишин, В. М. Чаругин. – М.: Просвещение, 1983. – 384 с.
8. Милуков В. К., Сагитов М. У. Гравитационная постоянная в астрономии. – М.: Знание, 1985. – 64 с.
9. Дирак П. Пути физики. – М.: Энергоатомиздат, 1983. – 88 с.
10. Роузвер Н. Перигелий Меркурия от Лаверье до Эйнштейна. – М.: Мир, 1985. – 244 с.
11. Идельсон Н. И. Этюды по истории небесной механики. – М.: Наука, 1975. – 495 с.
12. Ньютон И. Математические начала натуральной философии. – М.: Наука, 1989. – 688 с.
13. Эйнштейн А. Объяснение движения перигелия Меркурия в общей теории относительности. – Собрание научных трудов, т. 1. – М.: Наука, 1965, с. 439-447.