УДК 629.78, 530.3.

Теория относительности и эфиродинамика применительно к ГЛОНАСС и GPS

Вовасов В. Е.

Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет), МАИ, Волоколамское шоссе, 4, Москва, А-80, ГСП-3, 125993, Россия

e-mail: vovasov@list.ru

Аннотация

Получены выражения для высокоточного определения смещения частоты сигнала, принимаемого навигационным приемником ГЛОНАСС+GPS на основе теории запаздывания сигнала и эфиродинамики. Проанализированы практически все наиболее существенные эффекты подтверждающие теорию относительности и показано, что все эффекты связанные с выводами специальной теории относительности следует заменить эффектами теории запаздывания сигналов, а эффекты общей теории относительности следует дополнить эффектами эфиродинамики. Так как эти выводы требуют экспериментальной проверки, то для этого предлагаются алгоритмы определения относительного смещения частоты сигнала за единицу расстояния вызванное вязкостью эфира. Попутно, предлагается объяснение “красного“ смещения спектров галактик и звезд, а так же так называемой “темной“ материи.

Ключевые слова: теория запаздывания сигналов, специальная и общая теория относительности, ГЛОНАСС и GPS.

Введение

О том, что теория запаздывания электромагнитных сигналов и гравитационных взаимодействий может быть альтернативой специальной теории относительности автор описал в статье [3]. Остановимся кратко на ее выводах. Основываясь на классическом представлении о пространстве и времени, учет запаздывания сигнала от источника до приемника, приводит к преобразованиям координат и времени, похожим на преобразования Лоренца. Таким образом, для объяснения релятивистских эффектов не требуется введение постулатов Эйнштейна, а достаточно ввести среду распространения сигналов – эфир. Будем считать, что Земной шар движется в потоке эфира. Однако как показали эксперименты [10], скорость эфира у поверхности Земли близка к нулю. Это явление названо увлекаемостью эфира Землей и не противоречит физике. Оказывается, хотя это далеко не очевидно, что во всех случаях, где это было проверено экспериментально, скорость жидкости на поверхности твердого тела в точности равна нулю [11]. В газовой динамике такая же закономерность присутствует в пограничном слое и при обтекании шара газовым потоком [10]. Таким образом, для подтверждения предположения об увлекаемости эфира Землей, достаточно предположить, что эфир имеет некоторые свойства жидкости или газа. В предположении о наличии эфира было получено выражение для частоты Доплера [4], в котором появляется член, зависящий от ускорения навигационного приемника, а в [5] приводится экспериментальное подтверждение этого эффекта. В связи с приведенными данными теория запаздывания сигналов (ТЗС) имеет большую вероятность существования нежели специальная теория относительности.

Рассмотрим теперь проявления общей теории относительности, такие как гравитационное красное смещение, скорость поворота перигелия орбит спутников ГЛОНАСС и планет, отклонение света в гравитационном поле, т.е. те эксперименты которые составляют весь материал по экспериментальной проверке общей теории относительности [8], а так же отличие силы гравитации, от ньютоновской. Целью настоящей статьи является объяснение этих эффектов на основе ТЗС и эфиродинамики, а так же определение величины их влияния на примере ГЛОНАСС и GPS. Как известно [6], среднеорбитальные глобальные навигационные спутниковые системы (ГНСС) являются примерами технических систем, на характеристики которых оказывают заметное влияние учет законов общей и специальной теории относительности Эйнштейна (ОТО и СТО). Связано это с тем, что, во-первых, навигационные спутники (НС) движутся по орбитам с достаточно высокими скоростями, во-вторых, разность гравитационных потенциалов в точках нахождения НС и потребителя такова, что ею нельзя пренебречь.

Начнем с красного смещения. Наиболее полно этот эффект описан в [2] и [6], так как полученные выражения проверялись на практике при работе ГНСС GPS и ГЛОНАСС. Здесь приводится только релятивистская и гравитационная поправка

$$\frac{f - f_0}{f_0} = -\frac{v^2}{2 \cdot c^2} - \frac{G \cdot M_E}{r \cdot c^2} - \frac{\Phi_0}{c^2} \tag{1}$$

Δf -смещение несущей частоты f;

v -модуль скорости спутника;

G -универсальная гравитационная постоянная;

$M_E = 5{,}974242 \cdot 10^{24}$ кг-масса Земли;

Φ_0 - гравитационный потенциал в точке приема сигнала;

r -расстояние от центра Земли до спутника;

с- скорость света.

Рассматривая вопрос о причине спектрального смещения, следует отметить, что оно обусловлено относительной скоростью наблюдателя. По существу это и есть эффект Доплера в первоначальном смысле этого слова. Этот эффект не имеет никакого отношения к гравитации [7]. Релятивистская поправка выражения (1) характеризует поправку к эффекту Доплера и равна $-\frac{v^2}{2 \cdot c^2}$.

Компенсация данного релятивистского эффекта осуществляется соответствующим смещением частоты опорного генератора при его настройке на Земле [6]. Если учесть, что частота опорного генератора для ГНСС ГЛОНАСС соответствует 5,0 МГц, то реальная частота этого генератора должна быть равна 4,99999999782 МГц.

В [4] получено выражение частоты Доплера, соответствующее теории запаздывания сигналов (ТЗС). Однако получено оно не совсем корректно. Исправляя этот недостаток, приведем его целиком.

Пусть электромагнитные колебания распространяются со скоростью света относительно некоторой неподвижной среды, которую принято называть эфиром. Воспользуемся инерциальной геоцентрической экваториальной системы координат, центр координат которой находится в центре Земли.

Введем в рассмотрение текущий момент времени t и будем говорить, что в каждый текущий момент времени t осуществляется наблюдение за сигналом в точке его приема.

Введем в рассмотрение момент времени предшествия

$$t_{пр}(t) = t - \tau\left(t_{пр}(t)\right) \tag{2}$$

текущему моменту наблюдения t на время задержки $t\left(t_{пр}(t)\right)$ излучаемых колебаний в пространстве. В принятой инерциальной системе координат координату источника обозначим как $\overline{X}_{И}\left(t_{пр}(t)\right)$, а координату приемника как $\bar{X}_{П}(t)$, аналогично скорость источника в этой системе координат $\dot{\bar{X}}_{И}\left(t_{пр}(t)\right)$, а скорость приемника $\dot{\bar{X}}_{П}(t)$. Скорость волны относительно эфира можно обозначить следующим образом $\bar{V}\left(t_{пр}(t)\right)$, где модуль этого вектора равен скорости света -c. Считаем, что вектор скорости эфира относительно нашей принятой системы координат равен $\bar{V}_{э}\left(t_{пр}(t)\right)$.

Тогда расстояние между приемником и источником сигнала равно

$$\rho_{ИП}\left(t_{пр}(t)\right)=\sqrt{\left[\bar{X}_{И}\left(t_{пр}(t)\right)-\bar{X}_{П}(t)\right]^{T}\left[\bar{X}_{И}\left(t_{пр}(t)\right)-\bar{X}_{П}(t)\right]} \tag{3}$$

Дифференцируя (3), получим радиальную скорость сближения передатчика и приемника в виде

$$\begin{gathered}\dot{\rho}_{ИП}\left(t_{пр}(t)\right)=\frac{\left[\bar{X}_{И}\left(t_{пр}(t)\right)-\bar{X}_{П}(t)\right]^{T}\cdot\frac{d}{dt}\left[\bar{X}_{И}\left(t_{пр}(t)\right)-\bar{X}_{П}(t)\right]}{\rho_{ИП}\left(t_{пр}(t)\right)}= \\ \bar{e}^{T}\left(t_{пр}(t)\right)\cdot\left[\dot{\bar{X}}_{И}\left(t_{пр}(t)\right)\cdot(1-\frac{d\tau\left(t_{пр}(t)\right)}{dt})-\dot{\bar{X}}_{П}(t)\right]= \\ \dot{\rho}_{И}\left(t_{пр}(t)\right)\cdot(1-\frac{d\tau\left(t_{пр}(t)\right)}{dt})-\dot{\rho}_{П}\left(t_{пр}(t)\right)\end{gathered} \tag{4}$$

Здесь

$\dot{\rho}_{И}\left(t_{пр}(t)\right)=\bar{e}^{T}\left(t_{пр}(t)\right)\cdot\dot{\bar{X}}_{И}\left(t_{пр}(t)\right)$ радиальная скорость источника сигнала,

$\dot{\rho}_{П}\left(t_{пр}(t)\right)=\bar{e}^{T}\left(t_{пр}(t)\right)\cdot\dot{\bar{X}}_{П}(t)$радиальная скорость приемника сигнала,

$\bar{e}^{T}\left(t_{пр}(t)\right)=\dfrac{\left[\bar{X}_{И}\left(t_{пр}(t)\right)-\bar{X}_{П}(t)\right]^{T}}{\rho_{ИП}\left(t_{пр}(t)\right)}$ так называемые направляющие косинусы.

Так как обычно величина $\dfrac{d\tau\left(t_{пр}(t)\right)}{dt}<<1$, то считают, что

$$\dot{\rho}_{ИП}\left(t_{пр}(t)\right)\approx\dot{\rho}_{И}\left(t_{пр}(t)\right)-\dot{\rho}_{П}\left(t_{пр}(t)\right)$$

По аналогии с этим выражением запишем выражение для радиальной скорости сближения волны и приемника, учитывая тот факт, что волна приближается к приемнику

$$\dot{\rho}_{ВП}\left(t_{пр}(t)\right)=-c-\bar{e}^{T}\left(t_{пр}(t)\right)\cdot\bar{V}_{э}\left(t_{пр}(t)\right)-\dot{\rho}_{П}\left(t_{пр}(t)\right) \tag{5}$$

Тогда с учетом того, что в реальной действительности, знак задержки $\tau(t_{пр}(t))$ всегда положительный, запишем ее значение в виде

$$\tau(t_{пр}(t)) = -\frac{\rho_{ИП}(t_{пр}(t))}{\dot{\rho}_{ВП}(t_{пр}(t))} = \frac{\sqrt{\left[\overline{X}_И(t_{пр}(t)) - \overline{X}_П(t)\right]^T \cdot \left[\overline{X}_И(t_{пр}(t)) - \overline{X}_П(t)\right]}}{c + \dot{\rho}_П(t_{пр}(t)) + \bar{e}^T(t_{пр}(t)) \cdot \overline{V}_э(t_{пр}(t))} \tag{6}$$

Дифференцируя левую и правую части (6) получаем уравнение для вычисления производной $\dfrac{d\tau(t_{пр}(t))}{dt}$

$$\begin{gathered}\frac{d\tau(t_{пр}(t))}{dt} = \frac{\left[\overline{X}_И(t_{пр}(t)) - \overline{X}_П(t)\right]^T \left[\dot{\overline{X}}_И(t_{пр}(t))\left(1 - \frac{d\tau(t_{пр}(t))}{dt}\right) - \dot{\overline{X}}_П(t)\right]}{\left(c + \dot{\rho}_П(t_{пр}(t)) + \bar{e}^T(t_{пр}(t)) \cdot \overline{V}_э(t_{пр}(t))\right) \cdot \rho_{ИП}(t_{пр}(t))} - \\ \frac{\rho_{ИП}(t_{пр}(t)) \cdot \ddot{\rho}_П(t_{пр}(t))}{\left(c + \dot{\rho}_П(t_{пр}(t)) + \bar{e}^T(t_{пр}(t)) \cdot \overline{V}_э(t_{пр}(t))\right)^2} = \\ \frac{\bar{e}^T(t_{пр}(t))\dot{\overline{X}}_И(t_{пр}(t)) - \bar{e}^T(t_{пр}(t))\dot{\overline{X}}_И(t_{пр}(t))\frac{d\tau(t_{пр}(t))}{dt} - \bar{e}^T(t_{пр}(t))\dot{\overline{X}}_П(t)}{\left(c + \dot{\rho}_П(t_{пр}(t)) + \bar{e}^T(t_{пр}(t)) \cdot \overline{V}_э(t_{пр}(t))\right)} - \\ \frac{\rho_{ИП}(t_{пр}(t)) \cdot \ddot{\rho}_П(t_{пр}(t))}{\left(c + \dot{\rho}_П(t_{пр}(t) + \bar{e}^T(t_{пр}(t)) \cdot \overline{V}_э(t_{пр}(t))\right))^2}\end{gathered} \tag{7}$$

Решая уравнение (7), получаем выражение для производной $\dfrac{d\tau(t_{пр}(t))}{dt}$ в виде

$$\frac{d\tau(t_{пр}(t))}{dt} = \frac{\dot{\rho}_И(t_{пр}(t)) - \dot{\rho}_П(t_{пр}(t)) - \dfrac{\rho_{ИП}(t_{пр}(t)) \cdot \ddot{\rho}_П(t_{пр}(t))}{\left(c + \dot{\rho}_П(t_{пр}(t)) + \bar{e}^T(t_{пр}(t)) \cdot \overline{V}_э(t_{пр}(t))\right)}}{c + \dot{\rho}_П(t_{пр}(t)) + \dot{\rho}_И(t_{пр}(t)) + \bar{e}^T(t_{пр}(t)) \cdot \overline{V}_э(t_{пр}(t))} \tag{8}$$

Пусть излучается сигнал $S_И(t) = A\cos\omega_0 t$. Тогда в точке приема будет наблюдаться сигнал $S_И(t) = A \cdot \cos[\omega_0 \cdot (t - \tau(t_{пр}(t)))] = A \cdot \cos(\omega_0 \cdot t_{пр}(t))$ (изменением амплитуды сигнала мы пренебрегаем). Фаза сигнала в точке наблюдения (приема), очевидно, будет равна $\varphi(t) = \omega_0 \cdot (t - \tau(t_{пр}(t))) = \omega_0 \cdot t_{пр}(t)$, а частота наблюдаемого сигнала будет равна производной от фазы

$$\omega_{набл} = \frac{d\varphi(t)}{dt} = \omega_0\left(1 - \frac{d\tau(t_{пр}(t))}{dt}\right) = 2\pi \cdot f_0 \cdot \left(1 - \frac{d\tau(t_{пр}(t))}{dt}\right) \tag{9}$$

Подставляя (8) в (9), получаем выражение для круговой частоты сигнала, наблюдаемого в точке приема

$$\omega_{набл}=\omega_0\left(1-\frac{\dot{\rho}_И\left(t_{пр}(t)\right)-\dot{\rho}_П\left(t_{пр}(t)\right)-\dfrac{\rho_{ИП}\left(t_{пр}(t)\right)\cdot\ddot{\rho}_П\left(t_{пр}(t)\right)}{\left(c+\dot{\rho}_П\left(t_{пр}(t)\right)+\bar{e}^T\left(t_{пр}(t)\right)\cdot\bar{V}_э\left(t_{пр}(t)\right)\right)}}{c+\dot{\rho}_П\left(t_{пр}(t)\right)+\dot{\rho}_И\left(t_{пр}(t)\right)+\bar{e}^T\left(t_{пр}(t)\right)\cdot\bar{V}_э\left(t_{пр}(t)\right)}\right) \qquad (10)$$

Выражение для относительного смещения частоты можно записать в виде

$$\frac{f-f_0}{f_0}=-\frac{\dot{\rho}_И\left(t_{пр}(t)\right)-\dot{\rho}_П\left(t_{пр}(t)\right)-\dfrac{\rho_{ИП}\left(t_{пр}(t)\right)\cdot\ddot{\rho}_П\left(t_{пр}(t)\right)}{\left(c+\dot{\rho}_П\left(t_{пр}(t)\right)+\bar{e}^T\left(t_{пр}(t)\right)\cdot\bar{V}_э\left(t_{пр}(t)\right)\right)}}{c+\dot{\rho}_П\left(t_{пр}(t)\right)+\dot{\rho}_И\left(t_{пр}(t)\right)+\bar{e}^T\left(t_{пр}(t)\right)\cdot\bar{V}_э\left(t_{пр}(t)\right)} \qquad (11)$$

Считаем, что величины $\dfrac{\dot{\rho}_П\left(t_{пр}(t)\right)}{c}<<1$, $\dfrac{\dot{\rho}_И\left(t_{пр}(t)\right)}{c}<<1$ и $\bar{e}^T\left(t_{пр}(t)\right)\cdot\bar{V}_э\left(t_{пр}(t)\right)<<1$, тогда выражение (11) можно разложить в ряд Тейлора и отбрасывая члены, имеющие в знаменателе значение скорости света выше второй степени, получаем

$$\begin{aligned}\frac{f-f_0}{f_0}=&-\{\frac{\dot{\rho}_И\left(t_{пр}(t)\right)-\dot{\rho}_П\left(t_{пр}(t)\right)}{c}-[\frac{\dot{\rho}^2_И\left(t_{пр}(t)\right)-\dot{\rho}^2_П\left(t_{пр}(t)\right)}{c^2}]\\&-[\frac{\dot{\rho}_И\left(t_{пр}(t)\right)-\dot{\rho}_П\left(t_{пр}(t)\right)}{c^2}]\cdot\bar{e}^T\left(t_{пр}(t)\right)\cdot\bar{V}_э\left(t_{пр}(t)\right)-\frac{\rho_{ИП}\left(t_{пр}(t)\right)\cdot\ddot{\rho}_П\left(t_{пр}(t)\right)}{c^2}\}\end{aligned} \qquad (12)$$

Первое слагаемое выражения (12) обычно учитывается в процессе вычисления частоты Доплера. Остальные следует расценивать как релятивистские поправки. Так как уход частоты, полученный из ТЗС (12) вовсе не зависит от модуля вектора скорости источника сигнала, то и не требуется смещение номинала частоты генератора для компенсации релятивистского эффекта на спутнике. Веденная таким образом ошибка вследствие компенсации релятивистской поправки для частоты Доплера при модуле скорости $v=3000$ м/с, будет равна $f_0\cdot\dfrac{v^2}{2\cdot c^2}=0{,}08$ Гц.

В соответствии с ОТО гравитационное поле так же приводит к красному смещению спектральных линий и это смещение можно выразить следующим образом [8]

$$\frac{f - f_0}{f_0} = -\frac{1}{c^2}[\frac{\mu}{r} - \frac{\mu_\beta}{r_\beta}] \qquad (13)$$

μ - геоцентрическая константа гравитационного поля источника излучения;

μ_β - геоцентрическая константа гравитационного поля приемника излучения;

r -расстояние от центра масс до источника излучения;

r_β - расстояние от центра масс до приемника излучения сигнала.

Для спутников ГЛОНАСС, GPS и навигационных приемников выражение (13) может быть записано в виде, соответствующем (1)

$$\frac{f - f_0}{f_0} = -\frac{G \cdot M_E}{r \cdot c^2} - \frac{\Phi_0}{c^2} = -\frac{G \cdot M_E}{c^2}[\frac{1}{r} - \frac{1}{r_\beta}]$$

Рассмотрим более подробно выражение (13). Вывод его можно представить следующим образом. Считается, что происходит потеря энергии фотоном в гравитационном поле. При этом

$$\frac{E_\beta - E_0}{E_0} = \frac{h \cdot f_\beta - h \cdot f_0}{h \cdot f_0} = \frac{f - f_0}{f_0} \qquad (14)$$

$h \cdot$ -постоянная Планка.

Изменение энергии фотона соответствует работе по изменению гравитационного потенциала, т.е. $E_\beta - E_0 = \varphi_0 - \varphi_\beta$. Далее представляют $-E_0 = \varphi_0 = -G \cdot \frac{M_E}{r}$, и используя эмпирическое соотношение [8] для плотности и тем самым общей массы Вселенной в известных ныне размерах - R

$$\frac{G \cdot M^2}{R} \approx M \cdot c^2$$

записывают

$$G \cdot \frac{M_E}{r} = c^2$$

Отсюда

$$\frac{f - f_0}{f_0} = \frac{\varphi_0 - \varphi_\beta}{E_0} = \frac{G \cdot \frac{M_E}{r_\beta} - G \cdot \frac{M_E}{r}}{G \cdot \frac{M_E}{r}} = -\frac{G \cdot M_E}{c^2} \cdot (\frac{1}{r} - \frac{1}{r_\beta})$$

Таким образом, выражение (13) получено из небесспорного эмпирического допущения.

Если опираться на прогнозы эфиродинамики [10], которая считает фотон света не плоской электромагнитной волной, а частицей с некоторой массой, то выражение (12) легко может быть получено из следующих выражений

$$\frac{-G \cdot \frac{M \cdot m}{r} + G \cdot \frac{M \cdot m}{r_\beta}}{m \cdot c^2} = \frac{E_\beta - E_0}{E_0} = \frac{f_\beta - f_0}{f_0}$$

Здесь m -масса фотона, а его энергия $E_0 = m \cdot c^2$.

Таким образом, эфиродинамика [10] подтверждает наличие гравитационной поправки для света и причем в приведенном в (13) виде.

Однако в соответствии с [10] необходимо учесть вязкость эфира, которая приводит к некоторой силе трения, которая выражается относительным смещением частоты сигнала за единицу расстояния $\frac{\Delta f_э}{f_0}$, причем скорее всего разным для фотонов $\frac{\Delta f_э^ф}{f_0}$ и электромагнитной волны $\frac{\Delta f_э^в}{f_0}$. В связи с выше изложенным, поправки к смещению частоты могут быть записаны с учетом выражения (12) в следующем виде для света

$$\frac{f-f_0}{f_0}=\{[\frac{\dot{\rho}_{И}^2\left(t_{пр}(t)\right)-\dot{\rho}_{П}^2\left(t_{пр}(t)\right)}{c^2}]+[\frac{\dot{\rho}_{И}\left(t_{пр}(t)\right)-\dot{\rho}_{П}\left(t_{пр}(t)\right)}{c^2}]\cdot\bar{e}^T\left(t_{пр}(t)\right)\cdot\bar{V}_э\left(t_{пр}(t)\right)$$
$$+\frac{\rho_{ИП}\left(t_{пр}(t)\right)\cdot\ddot{\rho}_{П}\left(t_{пр}(t)\right)}{c^2}-\frac{\Delta f_э^{ф}}{f_0}\cdot\rho_{ИП}\left(t_{пр}(t)\right)+\frac{1}{c^2}[\frac{\mu}{r}-\frac{\mu_\beta}{r_\beta}]\} \tag{15}$$

для электромагнитной волны

$$\frac{f-f_0}{f_0}=\{[\frac{\dot{\rho}_{И}^2\left(t_{пр}(t)\right)-\dot{\rho}_{П}^2\left(t_{пр}(t)\right)}{c^2}]+[\frac{\dot{\rho}_{И}\left(t_{пр}(t)\right)-\dot{\rho}_{П}\left(t_{пр}(t)\right)}{c^2}]\cdot\bar{e}^T\left(t_{пр}(t)\right)\cdot\bar{V}_э\left(t_{пр}(t)\right)$$
$$+\frac{\rho_{ИП}\left(t_{пр}(t)\right)\cdot\ddot{\rho}_{П}\left(t_{пр}(t)\right)}{c^2}-\frac{\Delta f_э^{в}}{f_0}\cdot\rho_{ИП}\left(t_{пр}(t)\right)\} \tag{16}$$

Оценим величины пяти составляющих поправки к смещению частоты (15) для света. Для этого будем использовать смещение спектральных линий в спектрах звезд и галактик для наблюдателя расположенного на поверхности Земли. Этот наблюдатель имеет радиальное ускорение относительно центра Земли приблизительно равное

$\ddot{\rho}_{П}=R_З\cdot\cos\varphi\cdot\Omega_З^2\cdot\sin\alpha$

Здесь $R_З=6371$км –радиус Земли,

φ-широта наблюдателя на поверхности Земли,

$\Omega=7292115\cdot10^{-11}$рад/с$^{-1}$ -угловая скорость вращения Земли,

α-угол визирования галактики над горизонтом. Если исследуемая галактика находится в зените по отношению к телескопу, используемому для получения спектра, то $\alpha=90^\circ$. Максимальная величина модуля радиального ускорения наблюдателя (приемника) в районе экватора Земли равна $3{,}4\cdot10^{-2}\ м/с^2$. Ускорение, связанное с движением самой планеты по орбите, а ее скорость $3\cdot10^4\ м/с$, меньше на порядок и его в первом приближении можно не учитывать. Будем считать, что скорость галактик друг относительно друга, а так же звезд не превышает 300 км/с.. Для расстояний соответствующих межзвездным, порядка ($4 \cdot 10^{16}$ $м$) величины составляющих поправок к смещению частоты (15) будут выглядеть следующим образом:

$$\frac{\dot{\rho}_И^2\left(t_{пр}(t)\right) - \dot{\rho}_П^2\left(t_{пр}(t)\right)}{c^2} < 10^{-6};$$

$$\frac{\dot{\rho}_И\left(t_{пр}(t)\right) - \dot{\rho}_П\left(t_{пр}(t)\right)}{c^2}] \cdot \bar{e}^T\left(t_{пр}(t)\right) \cdot \bar{V}_э\left(t_{пр}(t)\right) < 10^{-7};$$

$$\frac{\rho_{ИП}\left(t_{пр}(t)\right) \cdot \ddot{\rho}_П\left(t_{пр}(t)\right)}{c^2} \approx 1{,}5 \cdot 10^{-2};$$

$\dfrac{\Delta f_э^ф}{f_0} \cdot \rho_{ИП}\left(t_{пр}(t)\right)$- не определена;

$$\frac{\mu_з}{c^2} \cdot \frac{1}{r} \approx 0{,}04 \cdot 10^{-12},$$

$$\frac{\mu_E}{c^2} \cdot \frac{1}{r_\beta} \approx 7 \cdot 10^{-10},$$

здесь

$\mu_з = 1{,}33 \cdot 10^{20}$ м^{3}с$^{-2}$-геоцентрическая константа гравитационного поля звезд типа Солнца;

$\mu_E = 3{,}98 \cdot 10^{14}$ м^{3}с$^{-2}$-геоцентрическая константа гравитационного поля Земли.

Если учесть величину основной составляющей эффекта Доплера

$$\frac{\dot{\rho}_И\left(t_{пр}(t)\right) - \dot{\rho}_П\left(t_{пр}(t)\right)}{c} < 10^{-3},$$

то полное смещение частоты, для такого случая, может быть представлено в следующем приближенном виде

$$\frac{f - f_0}{f_0} \approx \{\frac{\rho_{ИП}\left(t_{пр}(t)\right) \cdot \ddot{\rho}_П\left(t_{пр}(t)\right)}{c^2} - \frac{\Delta f_э^ф}{f_0} \cdot \rho_{ИП}\left(t_{пр}(t)\right)\} \qquad (17)$$

Из [1] известно выражение для определения расстояний между галактиками, использующее постоянную Хаббла -Н

$$R = \frac{\Delta\lambda}{\lambda} \cdot \frac{1}{H} \qquad (18)$$

Так как $\lambda = \frac{c}{f_0}$, то $\Delta\lambda = -\frac{c}{f_0}\frac{\Delta f}{f_0}$. Отсюда

$$\frac{\Delta\lambda}{\lambda} = -\frac{\Delta f}{f_0} = -\frac{\rho_{ИП}\left(t_{пр}(t)\right)}{c} \cdot \frac{\ddot{\rho}_{П}\left(t_{пр}(t)\right)}{c} + \frac{\Delta f_{э}^{ф}}{f_0} \cdot \rho_{ИП}\left(t_{пр}(t)\right) \qquad (19)$$

Подставим полученное значение для $\frac{\Delta\lambda}{\lambda}$ в выражение (18) получим

$$R = \{-\frac{\rho_{ИП}\left(t_{пр}(t)\right)}{c} \cdot \frac{\ddot{\rho}_{П}\left(t_{пр}(t)\right)}{c} + \frac{\Delta f_{э}^{ф}}{f_0} \cdot \rho_{ИП}\left(t_{пр}(t)\right)\} \cdot \frac{1}{H} \qquad (20)$$

Так как $R = \rho_{ИП}\left(t_{пр}(t)\right)$ по определению, то из (20) получим постоянную Хаббла в виде

$$H = -\frac{1}{c} \cdot \frac{\ddot{\rho}_{П}\left(t_{пр}(t)\right)}{c} + \frac{\Delta f_{э}^{ф}}{f_0} \qquad (21)$$

Величина $-\frac{1}{c} \cdot \frac{\ddot{\rho}_{П}\left(t_{пр}(t)\right)}{c} = \frac{1}{3 \cdot 10^8} \cdot \frac{3{,}4 \cdot 10^{-2}}{3 \cdot 10^8} = 0{,}38 \cdot 10^{-18}$ с$^{-1}$

Справочная величина постоянной Хаббла равна $H = 1{,}84 \cdot 10^{-18}$ с$^{-1}$

Таким образом для света, можно считать относительное смещение частоты сигнала за единицу расстояния следующей величиной

$\frac{\Delta f_{э}^{ф}}{f_0} = 1{,}46 \cdot 10^{-18}$.

Однако в силу того, что справочная величина H определялась достаточно приближенным способом, полученная оценка $\frac{\Delta f_{э}^{ф}}{f_0}$ требует уточнения.

Подставляя значение H в (18) получим окончательное выражение для определения дальностей между Землей и галактиками в виде

$$R = \frac{\Delta\lambda}{\lambda} \cdot \frac{1}{-\frac{1}{c} \cdot \frac{\ddot{\rho}_{П}\left(t_{пр}(t)\right)}{c} + \frac{\Delta f_{э}^{ф}}{f_0}} \qquad (22)$$

Исходя из выражения (19), так называемое, “красное” смещение спектра галактик, измеренное в районе северного или южного полюсов Земли, должно уменьшаться на величину порядка 20% по сравнению с измерениями сделанными на экваторе. Эффект уменьшения смещения спектра должен наблюдаться и при сравнении спектральных линий полученных телескопом при наблюдении галактики над горизонтом и в зените. Для эксперимента необходимо брать очень далекие галактики, что бы атмосферные эффекты давали относительно не большой вклад. Пусть “красное” смещение спектра галактик, измеренное в районе северного полюса Земли равно $\frac{\Delta\lambda_п}{\lambda}$, а в районе экватора $\frac{\Delta\lambda_э}{\lambda}$, тогда используя выражение (22) получим следующую систему уравнений

$$\begin{aligned} &\frac{\Delta\lambda_э}{\lambda} = -\frac{1}{c}\cdot\frac{\ddot{\rho}_П\left(t_{пр}(t)\right)}{c}\cdot R + \frac{\Delta f_э^ф}{f_0}\cdot R \\ &\frac{\Delta\lambda_п}{\lambda} = \frac{\Delta f_э^ф}{f_0}\cdot R \end{aligned} \qquad (23)$$

Решая которую, получим

$$R = -\frac{\Delta\lambda_э - \Delta\lambda_п}{\lambda}\cdot\frac{c^2}{\ddot{\rho}_П\left(t_{пр}(t)\right)} \qquad (24)$$

$$\frac{\Delta f_э^ф}{f_0} = \frac{\Delta\lambda_п}{\lambda}\cdot\frac{1}{R} = -\frac{\Delta\lambda_п}{\Delta\lambda_э - \Delta\lambda_п}\cdot\frac{\ddot{\rho}_П\left(t_{пр}(t)\right)}{c^2} \qquad (25)$$

Вязкость эфира вблизи масс возрастает на несколько порядков, а значит, возрастает и величина относительного смещения частоты за единицу расстояния. Но так как расстояние где этот эффект заметен невелико, порядка 10 км [10], то им можно пренебречь.

В [8] приведены некоторые экспериментальные данные. Измерение красного смещения спектральных линий, излучаемых спутником Сириуса, дает величину, соответствующую доплеровскому смещению для скорости в 19 км/сек, в то время как теоретически вычисленная эквивалентная скорость равна 20 км/сек. Измерения красного смещения спектральных линий, излучаемых Солнцем, дают различные значения в зависимости от выбранной точки поверхности. Этот факт для автора [8] остается необъясненным. Если обратить внимание на первое слагаемое выражения (17), то становится очевидной зависимость частоты Доплера от радиального ускорения, а значит и от положения приемника на поверхности Земли. Что и объясняет приведенный в ОТО необъясненный факт.

Оценим величины четырех составляющих поправки к смещению частоты (16) для современных систем ГЛОНАСС, GPS [6]. Введем типичные величины для расчетов $\dot{\rho}_И(t_{пр}(t)) - \dot{\rho}_П(t_{пр}(t)) \approx 464$ м/с – максимальная относительная радиальная скорость навигационного спутника и источника сигнала. Пусть так же $f_0 = 1{,}6 \cdot 10^9$ Гц, $\rho_{ИП} = 2 \cdot 10^7$ м, а $\dot{\rho}_И(t_{пр}(t)) + \dot{\rho}_П(t_{пр}(t)) \approx 3000$ м/с. В эфиродинамике [10], считается, что $\bar{e}^T(t_{пр}(t)) \cdot \bar{V}_э(t_{пр}(t)) \approx 30000$ м/с.

Определим значение первой составляющей поправки (16)

$$f_0 \cdot [\frac{\dot{\rho}_И^2(t_{пр}(t)) - \dot{\rho}_П^2(t_{пр}(t))}{c^2}] \approx 0{,}025 \text{ Гц}. \tag{26}$$

Значение второй составляющей поправки (16) не превышает

$$f_0 \cdot [\frac{\dot{\rho}_И(t_{пр}(t)) - \dot{\rho}_П(t_{пр}(t))}{c^2}] \cdot \bar{e}^T(t_{пр}(t)) \cdot \bar{V}_э(t_{пр}(t)) \approx 0{,}25 \text{ Гц}. \qquad (27).$$

Значение третьей составляющей поправки (16) равно

$$f_0 \cdot \frac{\rho_{ИП}(t_{пр}(t))}{c} \cdot \frac{\ddot{\rho}_П(t_{пр}(t))}{c} \approx 0{,}36 \cdot \ddot{\rho}_П \text{ Гц}. \tag{28}$$

В [4,5] проведен эксперимент по определению третьей составляющей поправки радиотехническим методом с помощью навигационного приемника системы ГЛОНАСС. Показано, что даже при не очень больших радиальных ускорениях антенны приемника, порядка 8 м/с^2, этот эффект приводит к смещению оценки вектора скорости на 0,6 м/с. Это вполне осязаемая величина, если учесть, что точность современных приемников при хорошем соотношении сигнал/шум равна 0,02 м/с. Очевидно, что даже не для высокоточных измерений указанное смещение нужно учитывать. Таким образом у исследователей ТЗС должна вызывать гораздо большее доверие, чем СТО.

Значение четвертой составляющей поправки (16) на данный момент неопределенно, так как неизвестна величина $\frac{\Delta f_э^{в}}{f_0}$. Единственное, что можно сейчас сказать, это то, что ее величина не больше, чем $\frac{\Delta f_э^{ф}}{f_0} = 1{,}46 \cdot 10^{-18}$. Следовательно, значение четвертой составляющей поправки (16) не будет превышать величину $f_0 \cdot \frac{\Delta f_э^{ф}}{f_0} \cdot \rho_{ИП}\left(t_{пр}(t)\right) \le 4{,}7 \cdot 10^{-2}$ Гц, что соответствует смещению радиальной скорости на величину менее 0,01 м/с. Для оценки этой величины, а так же $\bar{V}_э\left(t_{пр}(t)\right)$ можно использовать существующие спутники систем ГЛОНАСС и GPS и разнесенные в пространстве высокостабильные навигационные приемники, имеющие вход опорной частоты от высокостабильного атомного термостабилизированного стандарта частоты. Обработка измерений частот Доплера при этом предполагается с использованием системы уравнений, соответствующих выражению (16).

Величина отклонения света в гравитационном поле в соответствии с ОТО равна

$$\delta\varphi = \frac{4 \cdot G \cdot M}{c^2 r_0} \qquad (29)$$

Для ГНСС ГЛОНАСС и GPS искривление будет равно 10^{-9} рад., что соответствует смещению спутника на 1 см по траектории движения. Очевидно, что такие точности в знании координат спутников на данный момент еще недостижимы. Однако отклонение света в гравитационном поле не противоречит эфиродинамике, так как траектория фотона, как тела имеющего массу, в поле тяготения должна искривляться. Однако, на ряду, с отклонением света в гравитационном поле может иметь место и преломление света в эфире различной плотности вблизи масс [10]. Так как этот слой достаточно тонок, то следует предположить о незначительной величине указанного эффекта.

Для светового луча звезды, проходящего вплотную к границе диска Солнца, формула (29) дает отклонение, равное $\delta\varphi = 1{,}75$ угловых секунд. Проведенные эксперименты подтвердили эту величину с точностью 90%.

Рассмотрим поправки к движению спутников Земли и планет. Из ОТО следует, что за период каждого оборота перигелий смещается вперед на величину Δ равную

$$\Delta = \frac{6 \cdot \pi \cdot G \cdot M_{\text{ц}}}{c_{\text{г}}^2 \cdot a \cdot (1-\varepsilon^2)} \qquad (30)$$

Зависимость поворота перигелия от эксцентриситета ε и от величины большой полуоси a очевидна. Величина $c_{\text{г}}$ представляет собой скорость распространения гравитационного взаимодействия, а $M_{\text{ц}}$ - массу центрального тела тяготения. Таким образом, согласие величины (30) с наблюдаемым значением поворота перигелия планеты Меркурия [астрономические наблюдения дают 42,6 угловых секунд за столетие, выражение же (30) предсказывает величину 43 угловых секунды за столетие] показывает, что общая теория относительности позволяет удовлетворительно описать явления гравитации и что гравитационные взаимодействия распространяются со скоростью света [8].

В тоже время *Пауль Гербер* [9] еще в 1898г. без введения ОТО и СТО показал, что влияние запаздывания сигнала гравитационного взаимодействия приводит к эффекту смещения перигея орбит и выражение для вычисления смещения перигея орбиты полностью совпадает с (30), полученным на основе ОТО в случае если скорость гравитационного взаимодействия близка к скорости света. К сожалению проверить этот эффект на НС ГЛОНАСС и GPS не представляется возможным, так как из-за близости Земли представляющей собой геоид, вековой уход аргумента перигея за один оборот спутника в основном зависит от конфигурации Земли и в первом приближении равен [6]

$$\Delta w = \frac{\pi \cdot \xi \cdot (5 \cdot \cos^2 i - 1)}{G \cdot M_E \cdot [a \cdot (1 - \varepsilon^2)]^2} \tag{31}$$

$\xi = 2{,}634 \cdot 10^{25}$ м^5/с коэффициент учитывающий конфигурацию Земли;

i -наклонение орбиты.

Как указывается в [8], отклонение орбит массивных тел от строго периодической формы оказывается исключительно чувствительным методом проверки отклонения от закона обратной квадратической зависимости силы, так как в соответствии с ОТО радиальное ускорение массивного тела под действием такой силы, равно

$$\ddot{r} = \frac{G \cdot M}{r^2} \cdot (1 - \frac{G \cdot M}{r \cdot c^2}) = \ddot{\rho} \cdot (1 - \frac{\ddot{\rho} \cdot r}{c^2}) \tag{32}$$

Здесь $\ddot{\rho} = \frac{G \cdot M}{r^2}$ радиальное ускорение некоторого тела в поле тяготения массы M, соответствующее закону Ньютона.

Для НС ГЛОНАСС и GPS величина $\frac{G \cdot M_E}{r \cdot c^2} \approx 2 \cdot 10^{-10}$. Поэтому определить эту величину не представляется возможным из-за наличия массы других более существенных эффектов. Для проявления этого эффекта необходимы гораздо большие массы. Пусть в качестве источника гравитационного взаимодействия выступает звездная система, расположенная на краю нашей галактики, а приемником является центр галактики. Выбираем систему координат с центром в центре галактики. Используя уравнения Ньютона, с учетом явления запаздывания сигнала, можно записать

$$\ddot{\rho}_И(t) = -\mu_г \frac{1}{[\rho_{ИП}(t_{пр})]^2} = -\mu_г \frac{1}{[\rho_{ИП}(t-\tau(t_{пр}(t)))]^2} \tag{33}$$

Здесь

$\mu_г = \mu_з \cdot 10^{12} = 1{,}33 \cdot 10^{32}$ м^{3}с$^{-2}$-геоцентрическая константа гравитационного поля галактики;

$\mu_з = 1{,}33 \cdot 10^{20}$ м^{3}с$^{-2}$-геоцентрическая константа гравитационного поля Солнца [1].

Разложим значение радиальной дальности от окраинного объекта до центра галактики в ряд Тейлора

$$\rho_{ИП}(t-\tau(t_{пр}(t))) \approx \rho_{ИП}(t) - \tau(t_{пр}(t)) \cdot \dot{\rho}_{ИП}(t) + \frac{[\tau(t_{пр}(t))]^2}{2} \ddot{\rho}_{ИП}(t) - \cdots \tag{34}$$

Задержку гравитационного воздействия приближенно можно представить в виде $\tau(t_{пр}(t)) \approx \frac{\rho_{ИП}(t)}{c_г}$, где $c_г$- скорость гравитационных взаимодействий. Тогда с учетом того, что скорость центра галактики $\dot{\rho}_П(t) = 0$ и ускорение $\ddot{\rho}_П(t) = 0$, получим $\dot{\rho}_{ИП}(t) \approx \dot{\rho}_И(t)$ и $\ddot{\rho}_{ИП}(t) \approx \ddot{\rho}_И(t)$ и подставляя в (34) значение задержки, запишем

$$\begin{gathered} \rho_{ИП}(t-\tau(t_{пр}(t))) \approx \rho_{ИП}(t) - \frac{\rho_{ИП}(t)}{c_г} \cdot \dot{\rho}_И(t) + \frac{[\rho_{ИП}(t)]^2}{2 \cdot c_г^2} \ddot{\rho}_И(t) = \\ \rho_{ИП}(t) \cdot \{1 - \frac{\dot{\rho}_И(t)}{c_г} + \frac{\rho_{ИП}(t) \cdot \ddot{\rho}_И(t)}{2 \cdot c_г^2}\} \end{gathered} \tag{35}$$

Здесь $\dot{\rho}_И(t)$, $\ddot{\rho}_И(t)$-радиальная скорость и ускорение источника гравитационных взаимодействий, т.е. окраинного объекта галактики.

Причем на дальностях соответствующих размеру Галактики и с учетом малости радиальных скоростей $\dot{\rho}_И(t) << c_г$, можно записать

$$\rho_{ИП}(t-\tau(t_{пр}(t))) \approx \rho_{ИП}(t) \cdot \{1 + \frac{\rho_И(t) \cdot \ddot{\rho}_И(t)}{2 \cdot c_г^2}\} = \rho_{ИП}(t) \cdot \{1 + k\} \tag{36}$$

где

$$k = \frac{1}{2} \frac{\rho_{ИП}(t)}{c_г^2} \cdot \ddot{\rho}_И(t)$$

Подставляя значение выражения (36) в (33), получим

$$\ddot{\rho}_{И}(t) = -\mu \frac{1}{[\rho_{ИП}(t_{пр})]^2} = -\mu \frac{1}{[\rho_{ИП}(t-\tau(t))]^2} = -\mu \frac{1}{[\rho_{ИП}(t)\cdot\{1+k\}]^2} \approx -\mu \frac{1}{[\rho_{ИП}(t)]^2}\cdot(1-2\cdot k+3\cdot k^2-4\cdot k^3+\cdots) \qquad (37)$$

Заметим, что при $k \to -1$ $\ddot{\rho}_{И}(t) \to \infty$.

"Темную материю" [1] были вынуждены ввести из-за того, что реальное ускорение окраинных областей галактики на порядок больше получаемого по формуле Ньютона. А нельзя ли объяснить эффект усиления гравитации для окраинных объектов запаздыванием гравитационного взаимодействия. Так если значение k равно $-0{,}7$, то становится очевидным, что явление запаздывания сигнала объясняет увеличение ускорения без введения "темной материи".

Если предположить, что коэффициент $|k| << 1$, то выражение (32), полученное на основе ОТО близко к (37), полученному на основе ТЗС, так как $\rho_{ИП}(t) = r$, в (32) $2\cdot k = \frac{\ddot{\rho}\cdot r}{c^2}$, а в (36) $2\cdot k = \frac{\ddot{\rho}_{И}(t)\cdot\rho_{ИП}(t)}{c_г^2}$, если скорость гравитационных взаимодействий равна скорости света. Однако $\ddot{\rho}_{И}(t)$-это радиальное ускорение источника гравитационного взаимодействия вызванное всеми телами включенными в массу M и не обязательно равное радиальному ускорению некоторого тела в поле тяготения массы M.

Полученное в [3] выражение для задержки сигнала (выражение (40)), указывает на две составляющие, связанные с распространением электромагнитного и гравитационного взаимодействия. Задержка связанная с электромагнитным взаимодействием составляет приблизительно половину от задержки полученной экспериментально в [2], что дает основания для утверждения, что задержка связанная с гравитационным взаимодействием так же составляет половину от задержки полученной экспериментально, а значит, как следует из указанного выражения, скорость гравитационных взаимодействий близка к скорости света. В [10] считается, что скорость распространения гравитации есть скорость распространения малого давления, т.е. скорость распространения звука в эфире. Скорость первого звука (скорость распространения продольного возмущения) считается равной $4{,}34 \cdot 10^{23}$ м/с, а скорость второго звука (скорость распространения температурных волн в эфире) равной скорости света. В [10] под скоростью гравитационных взаимодействий принята величина первого звука, хотя из физических соображений следовало бы взять величину второго звука, так как из эфиродинамики следует, что в результате охлаждения эфира поверхностями нуклонов в эфире возникает градиент температур и, как следствие, градиент давлений.

Если предполагать, что траектории звезд не являются круговыми относительно центра галактики, а в какой-то степени их движение, можно представить спиральным. При этом звездные системы могут подлетать близко друг к другу. Определим расстояние R, при котором, сила притяжения двух ближайших звезд становится сравнима с притяжением центра галактики, т.е. $F_г \approx F_з$.

$$\frac{G \cdot M_г \cdot m_з}{R_г^2} \approx \frac{G \cdot m_з \cdot m_з}{R^2} \qquad (38)$$

Здесь $R_г = 4{,}5 \cdot 10^{20}$м -радиус галактики; G- гравитационная постоянная, $M_г$ - масса галактики, $m_з$ - масса средней звездной системы, такой как солнечная. Эту величину R и будем считать радиусом кривизны, формирующим центростремительное ускорение звездных систем, а так же $\mu_г = G \cdot M_г$-геоцентрической константой гравитационного поля галактики, $\mu_з = G \cdot m_з$-геоцентрической константой гравитационного поля звездной системы, типа солнечной. Тогда из (38) получим

$$R \approx R_г \cdot \sqrt{\frac{\mu_з}{\mu_г}} = 4{,}5 \cdot 10^{14}\,\text{м}. \qquad (39)$$

Таким образом, если звездные системы сблизились до расстояния R и при этом находятся на расстоянии близком к $R_г$ от центра галактики, то эти звездные системы неминуемо отбросит обратно по направлению к центру галактики. Это явление подтверждается наблюдениями. Так практически все звезды входят в компактные образования – галактики, а между галактиками звезд практически нет.

В соответствии с (36), учитывая что скорость гравитационных взаимодействий равна скорости света, $\ddot{\rho}_И(t) = \frac{V^2}{R}$, где скорость вращения звездных систем V, а радиус кривизны R получим

$$k = \frac{V^2}{R} \frac{\cdot \rho_{ИП}(t)}{2 \cdot c^2}. \qquad (40)$$

Определим скорость вращения звездных систем для обеспечения $|k| = 0{,}7$

$$V = \sqrt{\frac{2 \cdot c^2 \cdot k \cdot R}{\rho_{ИП}(t)}} \approx 3{,}5 \cdot 10^5 \text{ м/с}. \qquad (41)$$

Это всего лишь в 1,5 раз больше, чем скорость вращения вокруг центра окраинных областей галактики, что вполне допустимо. Однако следует иметь в виду, что в выражении (41) значение $\rho_{ИП}(t)$ следует брать до центра превалирующей массы. Если спутник имеет ускорение $\ddot{\rho}_И(t)$ то под $\rho_{ИП}(t)$ в выражении (37) нужно брать сначала расстояние до Земли, по мере ослабления гравитации Земли расстояние до Солнца, а уж когда и гравитация Солнца станет меньше гравитации галактики, то расстояние до центра галактики.

Выводы

1. Результаты проведенного анализа показывают, что все эффекты связанные с выводами специальной теорией относительности

следует заменить эффектами ТЗС, а эффекты ОТО следует дополнить эффектами эфиродинамики.

2. Релятивистские и гравитационная поправки для смещения частоты излучения сигнала должны быть уточнены с учетом ТЗС и эфиродинамики.
3. Истинное значение постоянной Хаббла должно вычисляться с учетом вязкости эфира и радиального ускорения наблюдателя. Эти же параметры приводят к “красному” смещению спектра звезд и галактик.
4. Возможно определение относительного смещения частоты сигнала за единицу расстояния $\frac{\Delta f_э^{ф}}{f_0}$ вызванное вязкостью эфира для света при обработке измерений “красного” смещения спектра галактик полученных в районе северного или южного полюсов Земли и экватора.
5. Возможно определение относительного смещения частоты сигнала за единицу расстояния $\frac{\Delta f_э^{в}}{f_0}$ вызванное вязкостью эфира, а так же вектора скорости эфира относительно выбранной неподвижной системы координат $\bar{V}_э\left(t_{пр}(t)\right)$ для электромагнитных волн диапазона 1,6 ГГц при обработке измерений частоты Доплера разнесенными высокостабильными навигационными приемниками ГНСС ГЛОНАСС и GPS.
6. Применение ТЗС позволяет без введения понятия “Темной материи”, а только запаздыванием гравитационного сигнала, объяснить факт наличия большего радиального ускорения окраинных звезд галактики, нежели ускорение, вызванное притяжением центра галактики, вычисляемое по формуле Ньютона.

Библиографический список

1.Жданов Л.С., Учебник по физике для средних специальных учебных заведений. Изд. 2-е,стереотипное, М: Наука, 1977, 592 стр. с ил.

2.Relativity in the Global Positioning System, Neil Ashby, Dept. of Physics, University of Colorado Boulder, CO 80309–0390 U.S.A., 2003-01-28

3.Вовасов В.Е. - Теория запаздывания сигналов применительно к ГЛОНАСС и GPS. Электронный журнал “Труды МАИ”, №67, 2013 г.

4.Вовасов В.Е. - Доплеровское смещение частоты для навигационных приемников, установленных на высокодинамичных объектах. Журнал “Телекоммуникации ”, №11, 2012 г, стр.24-31.

5.Вовасов В.Е., Бетанов В.В.- Принципы определения составляющих вектора скорости приемника, установленного на высокодинамичном объекте. Журнал “Телекоммуникации ”, №2, 2013 г, стр.24-29.

6.ГЛОНАСС принципы построения и функционирования/ Под ред. Перова А.И. Харисова В.Н. Изд. 4-е, переработанное.- М: Радиотехника, 2010., 800 с., ил.

7.Дж. Л. Синг. Общая теория относительности, М: Издательство иностранная литература, 1963.,432 с., ил.

8.Дж. Вебер. Общая теория относительности и гравитационные волны, , М: Издательство иностранная литература, 1962.,271 с., ил.

9. Пауль Гербер. Пространственное и временное распространение гравитации, (Старгард, Померания, 1898), перевод на русский Йохана Керна (Johann Kern) , 2004.

10. Ацюковский В.А. Общая эфиродинамика. Моделирование структур вещества и полей на основе представлений о газоподобном эфире. Издание второе. М.: Энергоатомиздат, 2003. 584 с.

12. Р. Фейнман, Р. Лейтон, М. Сэндс, Фейнмановские лекции по физике, Физика сплошных сред, М.: Издательство Мир, 1977., 288 с.