

**АСТРОНОМИЯ, ГРАВИМЕТРИЯ И КОСМИЧЕСКАЯ
ГЕОДЕЗИЯ**

УДК 528.225 → 521.6

Главная астрономическая обсерватория РАН
(Пулковская обсерватория)

Кандидат физ.-мат. наук С.А.Толчельникова-Мурри

**РАДАРНЫЕ НАБЛЮДЕНИЯ ВЕНЕРЫ
КАК ПРАКТИЧЕСКАЯ ПРОВЕРКА
СПЕЦИАЛЬНОЙ ТЕОРИИ ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ**

Введение

Радарные наблюдения Венеры проводились в 1958—1962 гг. с целью уточнения астрономической единицы (а.е.) — значения большой полуоси орбиты Земли. Метод был косвенным, поскольку определялись расстояния не Земля—Солнце, а Земля—Венера. Существует возможность определения из радарных наблюдений расстояний Земля—Венера, а также относительных скоростей двух планет соответственно в км и км/с, т.е. в *земных* единицах. В *небесной* механике расстояния между телами Солнечной системы выражаются через их отношение к большой полуоси орбиты Земли, т.е. в а.е. Следовательно, если найти расстояние Земля—Венера (R) в километрах, то можно получить значение а.е. в километрах.

На практике надо получить из наблюдений ряд не зависящих от эфемерид (от динамической теории) значений R_{obs} для фиксированных моментов времени t_i , затем для этих моментов вычислить эфемеридные значения R_{cal} . Рассматривать способ определения значения а.е. на основе сравнения значений R_{obs} с R_{cal} мы не будем. Наша задача — ответить на вопрос, подтвердили ли наблюдения Венеры специальную теорию относительности. Для этого мы рассмотрим отдельно (в частях II и III) возможности двух методов: во-первых, измерений суммарного путевого времени света до Венеры и обратно, во-вторых, измерений раз-

ности частот сигналов, отправленного к Венере и вернувшегося к наблюдателю (эха).

Прежде всего мы остановимся на вопросах терминологии и тех сведениях из астрономии, которые необходимы физикам, чтобы разобраться в некоторых из тех нерешенных проблем, которые в начале века породили СТО.

I. Любая скорость, будь то скорость тела или света, равна пути, пройденному телом или световым сигналом, деленному на затраченное время. Пока наблюдения проводились на поверхности Земли, была уверенность, что расстояние между пунктами, откуда отправился и куда пришел «путешественник» (тело или сигнал), не изменилось за время эксперимента; пункты на земной поверхности служили реперами — телами отсчета. Если в земных условиях скорость объекта измерять не относительно неподвижных реперов, но относительно какого-либо движущегося тела N , то измеренная скорость будет характеризовать не только движение объекта, но и движение тела N . То же можно сказать и о движениях, происходящих в космическом пространстве: *прежде всего необходимо позаботиться о системе отсчета, или системе координат (СК), относительно которой будет изучаться движение.* В идеале (в математике) СК должна быть столь же жесткой, как твердое тело, на практике приходится довольствоваться наилучшим из найденных приближений к этому математическому идеалу [1, с. 116—119]. СК должна быть *неподвижной хотя бы в течение того времени, пока производятся наблюдения за изучаемым движением.*

В эпоху от Коперника до Ньютона система координат с началом в барицентре Солнечной системы, осями, направленными на «неподвижные звезды» и единицей расстояния — большой полуосью орбиты Земли, удовлетворяла всем требованиям практики — она была достаточно жесткой и считалась неподвижной. Поэтому скорость объекта N , отсчитанная в этой СК, характеризовала только скорость самого объекта N , а не некоторую комбинацию скорости N со скоростями одного или нескольких тел отсчета, как это было бы в случае подвижности последних. Хотя еще Николай Кузанский и Джордано Бруно полагали, что движение присуще всем небесным телам, Системой Мира (см. часть III, часть «Principia» Ньютона) была только Солнечная сис-

тема. За ее пределами располагалась неопределенно далекая сфера неподвижных звезд. Иначе и не могло быть, ведь расстояния до звезд, движения Солнца и звезд в пространстве тогда были неизвестны.

Только после открытия Э.Галлеем собственных движений звезд (1718 г.) астрономы стали изучать изменения взаимных положений звезд на небесной сфере (медленные изменения конфигураций звезд в созвездиях), а затем и лучевые скорости звезд. Отсюда удалось определить сначала движение Солнца по отношению к разным группам звезд (относительные движения), а затем из анализа последних вывести движение самого Солнца, его движение по отношению к центру Галактики. Следуя определению Ньютона, движение Солнца по отношению к центру Галактики — неподвижной точке в изолированной системе тел — надо назвать абсолютным. Аналогично в Солнечной системе абсолютными движениями являются орбитальные движения планет относительно барицентра Солнечной системы [2, с. 40—41]. Поскольку период обращения Солнца вокруг центра Галактики составляет примерно 210 млн. лет, в течение нескольких тысячелетий допустимо считать движение Солнечной системы равномерным и прямолинейным — инерциальным.

Не будем здесь вдаваться в детали построения СК астрономами; заметим, что и после обнаружения движений звезд по небесной сфере астрономы «поддерживают» постоянство направлений координатных осей в барицентрической СК, для чего в качестве реперов стали использовать средние места звезд и их изменения на определенную эпоху, далекие звезды с исчезающе малыми собственными движениями, внегалактические объекты и т.д. Иначе говоря, астрономы стремятся, чтобы барицентрическая СК была невращающейся, однако, теперь ее нельзя считать неподвижной. Эта система координат движется вместе с Солнечной системой с постоянной скоростью V_{Sol} , поэтому ее стали называть инерциальной системой.

Еще в 1879 г. Максвелл [3, с. 95—96] поставил вопрос о возможности изучения движения Солнечной системы по наблюдениям спутников Юпитера. В статьях [4, 5] развивается идея Максвелла и предложены астрономические наблюдения тел Солнечной системы, которые позволили бы уточнить направле-

ние и значение V_{Sol} . Сторонники Эйнштейна отвергают такие предложения, поскольку, согласно СТО, никакими наблюдениями *внутри* Солнечной системы это движение не может быть обнаружено. При этом они ссылаются на принцип Галилея, но не учитывают отличия данной задачи от тех, которые решал Галилей: *астрономы ранее изучили, используя внешние реперы, положения и движения всех тел в Солнечной системе на любой момент времени, поэтому современным астрономам a priori известны эти движения в предположении, что Солнечная система неподвижна* [6].

Поскольку установили, что Солнечная система движется, возникла задач — проверить, нет ли таких расхождений в *непосредственно наблюдаемых (obs)* и *предвычисленных видимых (cal)* положениях тел, которые зависели бы от ранее неизвестной скорости общего движения всех тел системы. Очевидно, такая проверка не обнаружила бы искомым расхождений, если бы свет распространялся мгновенно. Нельзя было бы обнаружить V_{Sol} и в том случае, если бы эта скорость, добавленная к скорости света c , оказалась практически неотличимой от c . Так оно было при точности измерений прошлого века, но в последнее время появились способы, где ошибки измерений на два порядка меньше прежних. Из сказанного, разумеется, не следует, что теперь любые измерения, производимые внутри Солнечной системы, позволят обнаружить ее движение. Нам необходимо понять, почему *на результаты радарных наблюдений Венеры скорость V_{Sol} не повлияла*.

На рис. 1 показаны разные конфигурации Земли, Венеры и Солнца. Положение EV_1 называется нижним соединением планет, положение EV_3 — их верхним соединением, положения EV_2 и EV_4 — элонгациями Венеры. Вся Солнечная система движется как единое целое в направлении, показанном стрелками (к северной части созвездия Лебедь) со скоростью $V_{\text{Sol}} = 300 \text{ км/с} \pm 50 \text{ км/с}$.

Поскольку наблюдателя на Венере нет и время прихода сигнала на Венеру (t_2) не фиксируется по часам, нет возможности *по отдельности* определить время $t_2 - t_1$, затраченное светом на путь в прямом, и $t_3 - t_2$ — в обратном направлениях. Большая часть радарных наблюдений проводилась вблизи нижних соединений и лишь некоторые — вблизи элонгаций. Время, кото-

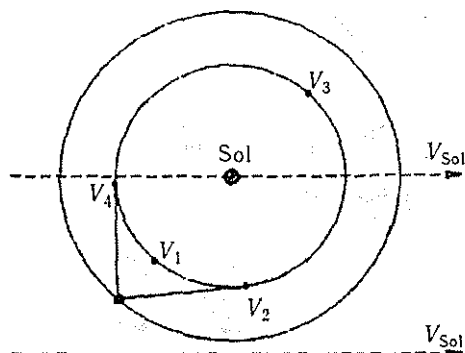


Рис. 1.

ное требуется свету для прохождения расстояния от наблюдателя к Венере и обратно, равно 4,6 мин для нижнего соединения и 11,6 мин для элонгаций. Угловое движение Земли за сутки составляет $0,9^\circ$, а Венеры — $1,6^\circ$, поэтому очевидно, что положение обеих планет по отношению к направлению инерциального движения Солнца за путевое время света практически остается постоянным. Следовательно, возможное влияние скорости V_{Sol} на промежутки времени $t_2 - t_1$ и $t_3 - t_2$ оказывается равным по величине и противоположным по знаку. Таким образом, на измеренную по часам сумму этих промежутков времени скорость инерциального движения V_{Sol} не повлияет. Все остальные движения, которые рассматриваются в задаче (Венеры и Земли вокруг Солнца и наблюдателя вокруг земной оси), являются вращениями, поэтому некоторые физики справедливо отрицают возможность проверки СТО с помощью радарных наблюдений Венеры. Тем не менее, распространилось мнение, будто эти наблюдения подтвердили СТО, будто классическая кинематика оказалась недостаточной и потребовался учет «релятивистских эффектов». Далее мы покажем необоснованность такого мнения.

II. Рассмотрим задачу, решаемую по измерениям путевого времени света. Пусть из точки E_1 на рис. 2 был послан сигнал в момент t_1 , отмеченный по часам; Венера при этом находилась в точке V_1 . Пока сигнал шел Венера переместилась в точку V_2 , где сигнал отразился от ее поверхности, затем он вернулся на Землю, занявшую в это время положение E_3 ; момент t_3 возвраще-

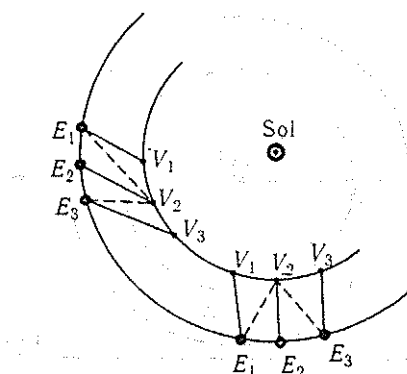


Рис. 2.

ния сигнала в точку E_3 был отмечен по часам. Сплошной линией соединены одновременные положения планет. Пунктирная линия соединяет разновременные положения, т.е. отмечает путь сигнала в принятой нами системе отсчета (напомним, что это бароцентрическая невращающаяся СК).

Прямые, представляющие собой расстояния между одновременными положениями тел, обозначим так: $E_1V_1 = R_1$, $E_2V_2 = R_2$, $E_3V_3 = R_3$.

Из очевидных соотношений

$$E_1V_2 = (t_2 - t_1)c \quad (1)$$

и

$$V_2E_3 = (t_3 - t_2)c \quad (1')$$

можно записать

$$E_1V_2 = R_1 + \epsilon,$$

где ϵ — увеличение или уменьшение светового пути за счет движения Венеры за время $t_2 - t_1$, следовательно:

$$E_1V_2 = R_1 \pm V_V(t_2 - t_1), \quad (2)$$

где знак перед V_V — радиальной составляющей скорости Венеры на отрезке времени $t_2 - t_1$, зависит от того, увеличивается или уменьшается за счет этой скорости путь света по сравнению с расстоянием R_1 .

Вторая часть пути света

$$V_2E_3 = R_3 \pm V'_V(t_3 - t_2), \quad (3)$$

где V'_V — радиальная составляющая скорости Венеры на отрезке времени $t_3 - t_2$, ее знак определяется аналогично, из сравне-

ния $V_2 E_3$ с R_3 . Очевидно, учитывая (1) и (1'), можно (2) и (3) переписать в виде

$$\frac{R_1}{c \pm V_V} = t_2 - t_1; \quad (2')$$

$$\frac{R_3}{c \pm V'_V} = t_3 - t_2. \quad (3')$$

На Венере нет наблюдателя, который отметил бы по часам время прихода сигнала, и *только разность $t_3 - t_1$ является измеренной величиной*, которая может быть использована для составлении уравнений наблюдений. Величины, достаточно хорошо известные, ошибки которых не могут повлиять на выводимые из наблюдений расстояния, можно заимствовать из эфемерид, т.е. считать известными *a priori*.

Складывая (2') и (3'), мы получаем возможность определить сумму расстояний $R_1 + R_3$, если известны V_V и V'_V и скорость света c . Определить по отдельности расстояния R_1 и R_3 можно в том случае, если провести замкнутый цикл перекрывающихся наблюдений, т.е. получить цепочку уравнений:

$$R_1 + R_3 = I_1, R_3 + R_5 = I_2, \dots, R_{2n+1} + R_1 = I_m,$$

но во время рассматриваемой кампании наблюдения велись лишь на части орбиты. В таком случае число неизвестных остается на единицу больше числа уравнений. Достаточно найти хотя бы одну из разностей $R_i - R_{i+n}$, чтобы, присоединив ее к измеренным суммам, найти все расстояния R_i .

Авторы обработки радарных наблюдений Венеры пошли по иному пути. Они оставили в качестве неизвестных в условных уравнениях расстояния R_2 , что позволяло отнести одно звено наблюдений к одной «неподвижной» точке, а именно, к положению Венеры в момент отражения от нее сигнала, t_2 . Тогда можно записать

$$R_2 + V_E(t_2 - t_1) = E_1 V_2, \quad R_2 - V'_E(t_3 - t_2) = V_2 E_3, \quad (4)$$

Здесь знаки перед V_E , расставленные в соответствии с прежним правилом, соответствуют расположению планет на рис. 2. Из (4), учитывая (1) и (1'), получим

$$\frac{R_2}{c - V_E} = t_2 - t_1, \quad \frac{R_2}{c + V'_E} = t_3 - t_2, \quad (4')$$

в этом случае радиальная составляющая скорости Земли займется из эфемерид.

Такой способ невыгоден потому, что *момент t_2 прихода сигнала на Венеру не отмечен по часам*. Приходится использовать эфемериды, чтобы решить вопрос, к какому моменту времени относится полученное из наблюдений расстояние R_2 . Между тем, для определения *а.е.* требуется вычислить расстояние R_{cal} , по моменту времени, не зависящему от эфемерид. Выгоднее определять расстояния в моменты, отмеченные по часам, тем более, что существует принципиальная возможность из наблюдений найти разности хотя бы для некоторых расстояний.

Отмеченный нами недостаток метода сохранился бы, даже если бы Солнечная система была неподвижна. Но она движется, и если постулат СТО о постоянстве скорости света, *в какой бы инерциальной СК она ни была измерена* [7, с. 387], неверен, то при определенных конфигурациях, как это видно из рис. 1, возникает опасность внести в вычисленное значение момента t_2 дополнительную ошибку.

Действительно, вычисления производятся с постоянной c , т.е. не допускается, чтобы при прочих одинаковых условиях, совпадение направления V_{Sol} с направлением от источника света к приемнику способствовало увеличению путевого времени света, а противоположность этих направлений — его уменьшению, или, как сказали бы современные физики, не допускается, чтобы «однонаправленная скорость света» была непостоянна (далее мы покажем, что термин взятый в кавычки неудачен).

Эфемеридные значения вычисляются без учета V_{Sol} , исходя из того, что барицентрическая СК неподвижна, а поэтому световой сигнал распространяется в ней с одинаковой скоростью во все стороны от той *точки* с постоянными координатами, *где он был испущен*. Поскольку барицентрическая СК в действительности движется, координаты названной точки окажутся не постоянными, но непрерывно изменяющимися в той искомой «неподвижной» СК, где свет распространяется с постоянной скоростью по всем направлениям. Скорость света, *измеренная по отноше-*

нию к любой движущейся точке, как уже было сказано, будет зависеть от движения последней. Поэтому не *измеренное* значение скорости света, но *выведенное из анализа многих измерений*, принимается астрономами за постоянное. В вакууме $c = \text{const}$ в воздухе $c' = \text{const}$ и т.д. в других средах, все эти значения *выведены из анализа многих измерений*.

В искомой СК, которую выше мы обозначили как «неподвижную», Солнце движется равномерно и прямолинейно в течение всех опытов. Следовательно, таковой может быть, например, СК с центром в центре масс нашей Галактики (строго говоря, движение Солнца в Галактике тоже является вращением, но с периодом в $2 \cdot 10^8$ раз большим, чем вращение Земли вокруг Солнца) либо СК с другим «аттрактором», нам пока неизвестным [4—6]. Во всяком случае, о равноправии систем координат говорить не приходится.

Таким образом, правила классической кинематики требуют перехода к новой, неподвижной СК после определения величины и направления V_{Sol} тогда как СТО запрещает пересмотр алгоритмов, предложенных в то время, когда о движении Солнца ничего не было известно.

Как упомянуто выше, из-за движения Солнца при некоторых положениях двух планет относительно направления скорости V_{Sol} интервалы времени $t_2 - t_1$ и $t_3 - t_2$ могут различаться больше, чем это допускают эфемериды, т.е. возникает дополнительная опасность отнести значения расстояний R_2 к неверным моментам времени. Тем не менее, вероятность привнесения этой дополнительной ошибки в значение *a.e.* невелика, если последнее выводить из многих сравнений R_{obs} с R_{cal} при *разных* конфигурациях планет и разной ориентации направления Земля—Венера по отношению к V_{Sol} .

Мы отвлеклись от темы. В нашу задачу не входит критика методики обработки наблюдений Венеры. В соответствии с нашей темой мы должны отметить, что авторы работ [8—11] не упоминают о движении Солнечной системы и о возможном влиянии V_{Sol} на измеренные или вычисленные по эфемеридам величины, т.е. *они не касаются тех проблем, которые обсуждались на рубеже веков и связаны с СТО, они не пользуются ни преобразованиями Лоренца, ни релятивистскими сокращениями*

пространства-времени, т.е. у них нет оснований говорить о проверке или использовании СТО.

Далее мы рассмотрим все случаи упоминания СТО в указанных работах.

В работе [8] теория относительности не упоминается, и нет вывода формулы, по которой проводилась редукция наблюдений. Уделяя достаточно внимания учету вращения Земли вокруг оси, влияющему на длину пути, авторы не пишут об учете орбитальных движений планет. На с. 184 написано: «Допускается приближение, заключающееся в том, что весь путь принимается равным удвоенному *нерелятивистскому* расстоянию в тот момент, когда сигнал прибывает на Венеру. Вериться, однако, что это упрощение приведет к пренебрежимо малым ошибкам, поскольку орбитальные скорости Земли и Венеры малы по сравнению со скоростью света». Это означает, что авторы использовали формулу

$$2R_2 = (t_3 - t_1)c \quad (5)$$

и что они считали ее *нерелятивистской*.

Очевидно, формула (5) приближенная, справедливая для $V \ll c$. В релятивистской литературе утверждается, что только формулы второго приближения различаются в классической механике и в СТО. Выше по правилам классической механики мы получили формулы, из которых следуют выражения более точные, чем (5). В качестве примера рассмотрим два случая, представленные на рис. 2.

При наблюдениях вблизи одной из элонгаций, как видно из рис. 2:

$$E_1 V_2 > R_2 > V_2 E_3.$$

Тогда, складывая (4), получаем

$$2R_2 + [V_E(t_2 - t_1) - V'_E(t_3 - t_2)] = c(t_3 - t_1).$$

В [9] на с. 193 отмечается, что обычно на практике выполнялось условие $V_E = V'_E$. Несмотря на это, мы не имеем права приравнять нулю выделенную квадратными скобками разность, поскольку нет измерений, свидетельствующих, что $t_2 - t_1 = t_3 - t_2$. Следует избежать вычитания неизвестных отрезков времени, складывая уравнения (4):

$$\frac{R_2(c - V'_E)}{c^2 - V_E^2} + \frac{R_2(c + V_E)}{c^2 - V_E'^2} = t_3 - t_1. \quad (6)$$

Отсюда при $V_E = V'_E$ получим формулу, более точную, чем (5):

$$2R_2 = \frac{(t_3 - t_1)(c^2 - V_E^2)}{c} = c(t_3 - t_1) - \frac{V_E^2}{c}(t_3 - t_1). \quad (6')$$

Для наблюдения в нижнем соединении, представленного на рис. 2,

$$E_1 V_2 > R_2, \quad R_2 < V_2 E_3.$$

Тогда вместо (4') получаем

$$\frac{R_2}{c - V_E} = t_2 - t_1, \quad \frac{R_2}{c - V'_E} = t_3 - t_2.$$

Сложив последние уравнения, получим

$$\frac{R_2(c - V_E) + R_2(c - V'_E)}{(c - V_E)(c - V'_E)} = t_3 - t_1. \quad (7)$$

откуда при $V_E = V'_E$ следует

$$2R_2 = (t_3 - t_1)(c - V_E). \quad (7')$$

Если бы свет распространялся медленно, рис. 2 отражал бы отношение между путями, пройденными в прямом и обратном направлениях, но в действительности цикл наблюдений короткий, и вблизи соединений расстояние между планетами практически не изменяется, т.е. относительная радиальная скорость планет $V = V' = 0$, тогда $t_2 - t_1 = t_3 - t_2$, и справедлива формула (5). Поскольку большая часть наблюдений во все годы проводилась вблизи нижних соединений, можно предположить, что использование формулы (5) не внесло существенных ошибок в значительную часть определявшихся расстояний.

И. Шапиро, так же как и авторы [8], удовлетворился формулами первого приближения. Он пишет: «Влияние релятивистских поправок на запаздывание эха незначительно» [9, с. 237]. При этом он называет релятивистскими поправками (sic!) члены второго порядка, которые, как мы видели, появляются благодаря сложению скоростей света и тел, против чего возражают сторонники СТО, так что точнее было бы назвать квадратичные члены «антирелятивистскими».

III. В анализируемой литературе только при обработке доплеровских наблюдений была сделана заявка на использование релятивистских формул. Авторы работы [10] посвящают раздел III «Relativistic Doppler equations and propagation time» выводу формулы для разностей частот сигнала и эха $\bar{\nu} - \nu$, которую они называют релятивистской и которая сначала была найдена ими эмпирическим путем, как решение, приводящее к наименьшим остаточным отклонениям между наблюдаемыми и эфемеридными значениями.

Мы не будем повторять здесь анализа, проведенного нами в [12—13], где показаны, во-первых, две ошибки, допущенные авторами работы [10] при выводе формулы, следующей далее под номером (14), которую авторы хотели выдать за релятивистскую; во-вторых, несовпадение исходной формулы, которой воспользовались авторы, с релятивистским выражением.

Формула (14), которую авторы использовали для обработки наблюдений, не может быть названа релятивистской, что мы докажем, выведя ее из известной классической формулы для разностей частот ν и ν' .

$$\nu' = \nu \frac{c - u}{c + w}, \quad (8)$$

где ν — частота сигнала, отправленного с источника, ν' — частота принятая, u — скорость приемника, w — скорость источника.

При радарных наблюдениях на первом этапе Венера являлась приемником излучения, на втором — источником. Поэтому следует записать в соответствии с (8) для сигнала, пришедшего на Венеру

$$\nu' = \nu \frac{c - V_V}{c + V_E}, \quad (9)$$

и для сигнала, вернувшегося на Землю (эха):

$$\bar{\nu} = \nu' \frac{c - V'_E}{c + V'_V}. \quad (10)$$

Здесь мы пользуемся теми же обозначениями, что и в предыдущем разделе.

Подставляя (9) в (10), получаем

$$\bar{v} = v \frac{c^2 - cV'_E - cV_V + V'_E V_V}{c + cV'_V + cV_E + V_E V'_V} \quad (11)$$

После деления на c^2 последние члены в числителе и знаменателе (11) окажутся членами второго порядка относительно V/c , ими можно пренебречь, но при высокой точности наблюдений можно воспользоваться эфемеридами для их учета без риска внести ошибку в искомые неизвестные. После этого уравнения (11) примут вид

$$\frac{\bar{v}}{v} = \frac{c - (V'_E + V_V)}{c + (V'_E + V_V)} \quad (12)$$

Допуская как и прежде, что за время путешествия сигнала в одну сторону влияние радиальной скорости каждой из планет на изменение расстояния между ними постоянно, можно перейти к *относительным* радиальным скоростям планет для промежутков времени $t_2 - t_1$ и $t_3 - t_2$ следующим образом:

$$V_E + V_V = \dot{R}_{12}, \quad V'_E + V'_V = \dot{R}_{23}, \quad (13)$$

где знак перед $\dot{R}$ положителен при удалении планет друг от друга и отрицателен — при их сближении. Выражения (13) не позволяют упростить формулу (12), поэтому авторы работы [10] использовали эфемериды для учета изменения радиальной скорости Земли относительно момента t_2 , что позволило им вместо (13) перейти к величинам

$$V_E + V_V = \dot{R}_{12}, \quad V_E + V'_V = \dot{R}_{23}, \quad (13')$$

Такие обозначения были приняты в работе [10]. Тогда уравнения (12) можно записать в виде

$$\frac{\bar{v}}{v} = \frac{c - \dot{R}_{12}}{c + \dot{R}_{23}}, \quad (12')$$

откуда, видоизменяя пропорцию, получаем формулу

$$\bar{v} - v = v \frac{-\dot{R}_{12} - \dot{R}_{23}}{c + \dot{R}_{23}} \approx -v \left[\frac{\dot{R}_{12} + \dot{R}_{23}}{c} - \frac{\dot{R}_{12} \dot{R}_{23} + \dot{R}_{23}^2}{c^2} \right], \quad (14)$$

которая совпадает с формулой, записанной в [10] на с. 193 и повторенной в [11, с. 186].

Добавим, что в [12] на основании известного релятивистского выражения

$$v' = v \sqrt{\frac{c - V}{c + V}}, \quad (15)$$

где V — относительная скорость приемника и источника излучения, мы, сохраняя члены второго порядка, вывели формулу

$$\bar{v} - v \approx -v \left[\frac{\dot{R}_{12} + \dot{R}_{23}}{c} - \frac{\dot{R}_{12} + 2\dot{R}_{12}\dot{R}_{23} + \dot{R}_{23}^2}{2c^2} \right], \quad (16)$$

которая *не совпадает* с формулой (14), что еще раз свидетельствует о нерелятивистском происхождении формулы (14).

Итак, при обработке доплеровских наблюдений теория относительности также не потребовалась. Через год после опубликования статьи [10] выступая с отчетным докладом о проведенной работе на симпозиуме № 21 Международного астрономического союза, Д.О. Мюльман — автор формулы (14) — уже не упоминал ни о теории относительности, ни о релятивистском происхождении формулы (14) [11, с. 186]. Замечание И.Шапиро на том же симпозиуме [9] об отсутствии необходимости использовать релятивистские поправки мы цитировали выше.

В Трудах симпозиума № 21 напечатана также дискуссия по радарным наблюдениям, содержащая следующее замечание Дж.М.Клеменса — директора Морской обсерватории США — о членах второго порядка в формуле (14): «Поскольку эти члены могут быть истолкованы вне рамок теории относительности, нельзя рассматривать их как новое подтверждение теории относительности» [9, с. 254].

IV. Остановимся на полемике между сторонниками и противниками СТО, поскольку она касается интерпретации радарных наблюдений Венеры.

Некоторые противники Эйнштейна, отстаивая гипотезу Ритца, противопоставляют второму постулату СТО тезис о зависимости скорости света от скорости источника. Это мнение обычно опровергают ссылкой на де-Ситтера и наблюдения двойных звезд, попутно тезис о постоянстве скорости света читателю представляют как откровение СТО. Между тем, *скоростью света в качестве постоянной*, астрономы пользовались уже в

XVIII в. Другая часть противников СТО утверждает, что скорость распространения света зависит от скорости наблюдателя — приемника излучения.

По-видимому, и сторонники, и противники СТО не проводят четких границ между относительной *скоростью*, измеряемой в конкретных опытах или наблюдениях, и выводимой на основе многих наблюдений *скоростью*, присущей только данному телу или только световому сигналу.

Мы писали выше о невозможности *измерить* скорость относительно к чему бы то ни было. Например, если скорость кометы измеряется относительно подвижной Земли (точнее, относительно земного наблюдателя), но записать уравнение, справедливое для *собственной* скорости кометы v (таковой будет ее орбитальная скорость, или скорость относительно барицентра Солнечной системы), а затем подставить вместо v ее измеренную скорость, тогда неизбежны ошибки — предвычисленное положение кометы окажется неверным. Аналогично, если в уравнении записана скорость *света*, то она не может быть относительной скоростью — $f(c, V)$, не должна зависеть от скоростей каких-либо других тел.

Утверждение о том, что скорость света зависит от направления, противоречит классической физике — свет в вакууме распространяется во все стороны с одинаковой скоростью. Вместе с тем, если речь идет об *измеренной* скорости, то она может быть функцией — $f(c, V)$. Нужно знать условия опыта, чтобы судить о том, чью скорость представляет V . Было бы нелепо приписать свету странное свойство — распространяться в однородной среде в разных направлениях с различными скоростями, и без этого на рассуждения о «загадочной природе света» физики и философы потратили слишком много времени.

Двусмысленность формулировок создает препятствия для конструктивной полемики. Например, утверждение Эйнштейна на с. 396 в [9], что «свет распространяется в пустоте с постоянной скоростью совершенно независимо от движения источника света», не входит в противоречие с характеристикой *собственной* скорости света, наряду со скоростями источника, приемника и других тел. Из утверждения на той же странице, что «один и тот же луч света имеет одну и ту же скорость света относитель-

но всех наблюдателей» уже не ясно, постоянство *относительной* скорости «луча» и наблюдателя или *собственной* скорости «луча» света имеет в виду автор. Пример с вагоном на с. 539—540 ($c + V = c$) и формулировка постулата на с. 387 рассеивают сомнения, убеждают, что именно относительную скорость Эйнштейн принимает за постоянную величину,

При обсуждении опытов с целью измерения скорости света возникают споры о том, в какой системе координат ее надо измерять: в СК, связанной с приемником или с источником излучения. Сторонники СТО полагают, что *измеренная* в любой инерциальной СК скорость света будет постоянной; некоторые из сторонников считают, что скорость света будет постоянной, относительно чего бы ее ни измеряли. Оба эти утверждения неверны.

Поскольку все тела подвижны, возникает вопрос, можно ли указать такую систему координат и времени, чтобы *отнесенная к ней* скорость света была постоянной.

До открытия движений Солнца и звезд астрономы ответили бы так: скорость света будет постоянной, если ее отсчитывать от той точки, где находился источник света в момент испускания сигнала, *при условии, что координаты точки выражены в общепринятой барицентрической СК, а время отсчитано в астрономической шкале.*

Астрономы XX в. не предлагают такой единственной универсальной «неподвижной» СК, которая удовлетворила бы специалистов всех областей. Но они могут указать наблюдения, которые помогли бы уточнить направление движения Солнца и этим внесли бы вклад в поиск СК, которая сегодня нужна уже многим специалистам [3, 4—6]. В настоящее время для решения разных задач приходится использовать разные СК; часто прибегают к методическим приемам для достижения «неподвижности» системы отсчета, например, усредняя результаты измерения путевого времени в прямом и обратном направлениях.

Некоторые противники СТО, не задумываясь о том, как можно отсчитать координаты тел относительно эфира, защищают эфир в качестве универсальной неподвижной системы отсчета, в которой свет распространяется с постоянной скоростью. Реакцией на эту точку зрения является Примечание И. Шапиро в

[9, с. 238]: «Классическое дифференцирование, в котором скорость света предполагается равной c по отношению к эфиру, приводит к тому же результату (имеется в виду результат СТО. — С.Т.), но без первого члена в скобках». Шапиро ошибается, полагая, что классическая система отсчета связана с эфиром. Таковой СК нет в астрономии. Дифференцирование относительно несуществующей СК не может быть доведено до числа, а следовательно, практическая проверка теории не может состояться.

Изначально отрицая существование эфира, Эйнштейн, как известно, был вынужден вернуться к его признанию — мысль релятивистов оказалась в порочном круге [14, с. 258—259]. Эйнштейн писал: «Давний опыт, не имеющий пока исключений, показывает, что физические явления зависят только от движений тел относительно друг друга, т.е. что с физической точки зрения абсолютного движения не существует» (разрядка Э.) [7, с. 412]. В рамках учений Эйнштейна *нет принципиальной возможности* решать задачи, связанные со скоростью света, ибо, с одной стороны, скорость света *всегда* постоянна, а с другой — только относительное движение сохраняет право на существование. Тогда на естественно возникающий вопрос, относительно чего постоянна скорость света, возможен один ответ — относительно любого тела.

Надо признать, что брешь между физиками и астрономами возникла еще до появления СТО из-за невнимания физиков к задачам построения систем координат и времени. Скорость света может быть найдена по известному расстоянию и времени его преодоления, т.е. по величинам, зависящим от координат и шкалы времени. Можно находить « c » также из сравнения скорости света со скоростями тел, предполагая последние известными. В этом случае возникает иллюзия независимости от координат, поскольку забывают, что скорости небесных тел были ранее определены астрономами посредством изучения их движений в конкретной системе координат и времени.

Теоретик может дать *любое имя* той СК, где свет распространяется с постоянной скоростью, но ни он, ни кто другой не сможет создать, «построить» систему отсчета, опираясь на эфир, космическое пространство, мировую линию фотона и т.п. Для *проверки* теоретических построений и эфира, и неэфира, и пустого

пространство в равной степени остаются пустым звуком. Системы отсчета «строятся» или пространство «математически организуется» с помощью тел отсчета либо их проекций.

Поскольку явно нецелесообразно пересчитывать скорости планет на СК, связанную с иным аттрактором, нежели центр масс тел Солнечной системы, в дальнейшем в случае необходимости «поправку за движение Солнечной системы» будут вводить либо в расстояния, либо в путевое время света, либо в его скорость, т.е. *будут* производить вычисления со скоростью света, приведенной к подвижной барицентрической СК; величина *приведенной скорости* окажется изменяющейся в зависимости от угла между направлением: наблюдатель-приемник и направлением на апекс Солнца. Так *будет лишь после того, когда из надежных опытов и наблюдений определят точное направление движения Солнечной системы*. Кроме наблюдений, рассмотренных в [4—6], можно предложить космический эксперимент для уточнения этого направления.

Заключение

Анализ статей по обработке радарных наблюдений Венеры свидетельствует о том, что формулы СТО не использовались при обработке наблюдений и задача проверки СТО не ставилась. Замечание Клеменса при подведении итогов работы на 21 симпозиуме МАС о том, что *нет оснований говорить о новом подтверждении СТО*, ни у кого из астрономов не вызвало возражения.

На вопрос, кем распушен слух «о новом подтверждении СТО», автор настоящей статьи не может ответить. Если в этом повинны средства массовой информации, то надо выяснить, с чьей подачи они действовали. Мнение о подтверждении СТО по наблюдениям Венеры широко распространилось также и в среде специалистов, до такой степени, что релятивистскими поправками стали называть члены второго порядка относительно V/c в *любых* формулах. В результате такой «терминологической диверсии» все наблюдения, для редукции которых используются ряды с указанными членами, стали подаваться как подтверждение или использование СТО на практике, даже если к проблеме инерциального движения эти наблюдения не имели никакого отношения.

На примере, приведенном в разделе II, читатель мог убедиться в абсурдности такой терминологии даже с формально-математической точки зрения, ведь сторонники Эйнштейна отвергают формулы, содержащие сложение скоростей c и V . С их точки зрения формулы (2')—(4') неверны. Между тем именно из них, равно как и из эквивалентных им формул (2)—(4), появляются члены второго порядка, тогда как релятивистский подход в данном случае может дать лишь формулу первого приближения (5).

В разделе III представлен случай, когда и классическая (14), и релятивистская формулы (16) содержат различные члены второго порядка, причем в релятивистской формуле эти члены появились благодаря тому, что уже в исходной формуле (15) был нарушен запрет СТО (требование $c + V = c$). Заметим также, что в теории звездной аберрации релятивистский подход приводит к квадратичным членам, отличным от тех, которые получаются, исходя из классической механики [14,15]. Так что *нет ни малейшего основания называть релятивистскими все поправки, являющиеся функциями V^2/c^2 .*

ЛИТЕРАТУРА

1. Мурри С.А. К вопросу о месте геометрии в естествознании. — В кн.: Проблемы пространства, времени, движения, т. I. СПб.: Искусство России, 1997, с. 115—131.
2. Толчельникова-Мурри С.А. Специфика подхода к понятиям пространство и время в математике и астрометрии. — В кн.: Проблемы пространства и времени в современном естествознании. Л.: ТНЦ СО АН СССР, 1991, с. 25—55.
3. Толчельникова-Мурри С.А. К проблеме обнаружения движения Солнечной системы относительно эфира. — В кн.: Проблемы пространства и времени в современном естествознании. СПб.: ТНЦ РАН, 1993, с. 95—105.
4. Tolchelnikova — Murri S.A. A New Way to Determine the Velocity of the Solar System. — In: Galilean Electrodynamics, 1992, v. 3, № 4, p. 72—75.
5. Смирнов Б.Н., Толчельникова-Мурри С.А. Задача Максвелла и хронометрические наблюдения спутников больших планет. — Геодезия и картография, 1996, № 10, с. 20—23.
6. Смирнов Б.Н., Толчельникова-Мурри С.А. Можно ли определить инерциальное движение Солнечной системы, опираясь на идею Максвелла. — В кн.: Проблемы пространства, времени, движения, т. I. СПб.: Искусство России, 1997, с. 191—195.
7. Эйнштейн А. Собрание научных трудов в 4-х томах. Т. I. М.: Наука, 1965.
8. Pettengill G.H., Briscoe H.W., et al. A Radar Investigation of Venus—Astron. J., 1962, 67, N 1299, p. 181—190.

9. Шапиро И. Радиолокационное определение астрономической единицы.— В кн.: Фундаментальные постоянные астрономии. М.: Мир, 1967, с. 209—254.

10. Muhleman D.O., Holdridge D.B., Block N. The Astronomical Unit Determined by Radar Reflections from Venus— Astron. J., 67, N 1299, p. 191—213.

11. Мюльман Д.О. Связь между системой астрономических постоянных и радиолокационными измерениями астрономической единицы.— В кн.: Фундаментальные постоянные астрономии. М.: Мир, 1967, с. 181—208.

12. Tolchelnikova-Murri S.A. The Doppler Observations of Venus Contradict the SRT.— In: Galilean Electrodynamics, v. 4, № 1, p. 3—6.

13. Tolchelnikova-Murri S.A. On the Derivation of Classical Formulae for the Longitudinal Doppler Effect.— In: Galilean Electrodynamics, v. 5, № 6, p. 116—117.

14. Толчельникова-Мурри С.А., Зинченко М.В. К проблеме учета абберации света.— В кн.: Проблемы пространства, времени, тяготения. СПб.: Политехника, с. 245—260.

15. Толчельникова-Мурри С.А., Чубей М.С. Звездная абберация при возросшей точности наблюдений и при больших скоростях движения наблюдателя.— В кн.: Проблемы пространства, времени. Движения, т. 1. СПб.: Искусство России, 1997, с. 92—100.

Поступила 28 июня 2001 г.

УДК 528.225 → 629.783

Московский государственный университет
геодезии и картографии
Инженер К.В.Петров

ИССЛЕДОВАНИЕ ТОЧНОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОРБИТ НИЗКООРБИТАЛЬНЫХ ИСЗ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ УРАВНЕНИЙ КОЛЛИНЕАРНОСТИ

Теория задачи

Для проведения исследований был составлен макет, представляющий собой компьютерную программу на языке Бейсик. В этом макете представлена орбита спутника, совершающего один виток вокруг Земли. Параметры орбиты следующие: большая полуось $a = 6\,650\,000$ м; эксцентриситет $e = 0,0005$; наклон орбиты $I = 75^{\circ}00'00''$, линия узлов совпадает с линией, соединяющей равноденственные точки, долгота восходящего узла $\Omega = 0^{\circ}$; аргумент перигея $\omega = 0^{\circ}$; в начальную эпоху $t = 0$; средняя аномалия $M = 0$.