

КЛАССИЧЕСКИЕ И СОВРЕМЕННЫЕ ОПЫТЫ И КРИТЕРИИ ПО ПРОВЕРКЕ БАЛЛИСТИЧЕСКОЙ ТЕОРИИ РИТЦА

С.А. Семиков

Нижегородский госуниверситет, 603950, Россия, Нижний Новгород, просп. Гагарина, д. 23

Дан обзор основных экспериментов и астрономических наблюдений, приводимых как критерии проверки баллистической теории Ритца и постоянства скорости света. Показано, что их результаты неоднозначны. Предложены новые эксперименты и критерии для однозначного решения вопроса о влиянии скорости источника на скорость света, в том числе, наблюдения экзопланет, космическая радио- и лазерная локация, GPS и ГЛОНАСС, опыты с синхротронным излучением.

Введение

Вальтер Ритц выдвинул в 1908 г. баллистическую теорию света [1] в качестве классической альтернативы специальной теории относительности (СТО). В 1909–1911 гг. баллистические гипотезы также выдвинули Д.Ф. Комсток, Дж. Кунц, Р. Толмен, О.М. Стюарт и Дж.Дж. Томсон [2]. Согласно баллистической теории, электромагнитные воздействия и свет распространяются, как в корпускулярной теории Ньютона, аналогично потоку частиц, испущенных относительно источника со стандартной скоростью света c . А при движении источника со скоростью v , скорость света c' в системе наблюдателя равна векторной сумме $c' = c + v$, как у снарядов из подвижного орудия (отсюда название теории). Эта механическая модель электромагнитных воздействий удовлетворяла принципу относительности Галилея, объясняя результат опытов Майкельсона, Трутона-Нобла и других попыток выявить инерциальное движение Земли [2]. В рамках теории Ритц объяснил и волновые свойства света [1], а Дж.Дж. Томсон вывел верные выражения полей \mathbf{E} и \mathbf{H} колеблющегося заряда [3]. Этот изящный вывод до сих пор применяют в курсах физики [4].

Основное содержание баллистической теории Ритца, как отметил академик М.А. Ельяшевич [5], составляет бесполовой домаксвеллов подход в электродинамике, восходящий к работам Вебера, Гаусса и Римана. В рамках этого подхода электрические воздействия рассматривались лишь как функции относительных положений, скоростей и ускорений зарядов, а не пустого пространства меж ними. Магнитные, индукционные и даже гравитационные силы в теории Ритца получались в качестве малых поправок к электрической силе от взаимного движения зарядов. Также Ритц описал все электродинамические эффекты и классически объяснил релятивистские эффекты, включая рост массы быстрых электронов и смещение перигелия Меркурия, ещё в 1908 г. верно предсказав смещения перигелиев других планет [1] и получив для них формулу, совпавшую с найденной спустя 7 лет Эйнштейном в рамках общей теории относительности [6].

Таким образом, теория Ритца – это фундаментальная теория, охватывающая широкий круг явлений и классически объясняющая ряд эффектов, открытых на рубеже XIX-XX вв. в форме противоречащих классической физике. Теория Ритца составляла серьёзную классическую альтернативу теории относительности, позволяя избежать ломки представлений. Однако век назад, в 1913–1914 гг., теорию Ритца отклонили. Но, как отмечено в [7–9], прежние критерии проверки оказались несостоятельными. Далее и рассмотрим классические и современные опыты и критерии по проверке теории Ритца и предложим новые.

1. Наблюдения внеземных источников света

Уже в 1909 г. Д.Ф. Комсток отметил эффекты двойных звёзд, возможные при добавлении их скорости к скорости света [10]. Одна звезда, облетая другую со скоростью v по круговой орбите, при сближении посылает к Земле свет со скоростью $c + v$, и он достигает Земли за меньшее время, чем свет, получивший скорость $c - v$ при удалении звезды (рис. 1). Её видимое движение исказится так, словно звезда летит быстрее, находясь дальше (за картинной плоскостью), и медленней, находясь ближе (перед картинной плоскостью). Равномерное движение звезды по круговой орбите покажется неравномерным, словно звезда летит по эллиптической орбите, вытянутой к Земле. В 1913 г. Де Ситтер рассмотрел ряд звёзд с почти круговыми орбитами в качестве аргумента против теории Ритца [11, 12].

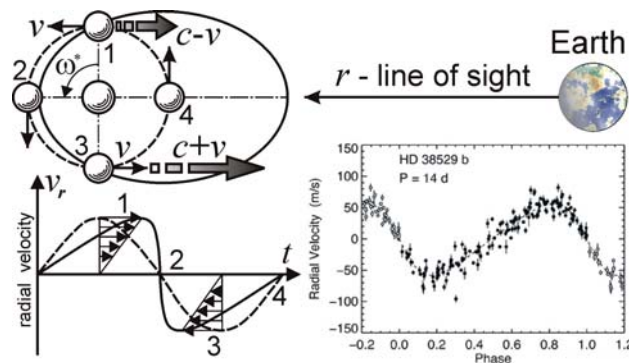


Рис. 1. Схема движения звезды по круговой орбите (пунктир) и кривая её лучевой скорости $v_r(t)$ (пунктир внизу). Добавление скорости v к скорости света искажает видимое движение и кривую лучевой скорости звезды (сплошная линия), так что те соответствуют орбите, вытянутой к Земле. Справа – типичная для экзопланет асимметричная кривая $v_r(t)$ ($e = 0.25$, $\omega^* = 95^\circ$).

Однако в том же 1913 г. астрономы П. Гутник [13] и Э. Фрейндлих [14] отметили спорность этого аргумента, поскольку по статистике спектрально-двойных звёзд расчётные орбиты чаще вытянуты в сторону Земли (долготы периастров ω^* группируются возле значения $\omega^* = 90^\circ$), в согласии с теорией Ритца [10]. Эффект избыточной вытянутости орбит звёзд к Земле, открытый в 1908 г. и названный эффектом Барра [6, 15], подтверждён современными астрономами [16, 17] и не нашёл надёжного объяснения. Выдвинутые гипотезы, объяснявшие эффект Барра наблюдательной селекцией и галактической ориентацией орбит, – противоречат наблюдениям. Различие элементов орбит, измеренных разными методами, означает, что эффект вызван именно искажением видимых движений [16].

Как показал Гутник [13], при малых искажениях видимое движение звезды почти не отклоняется от законов Кеплера, но звезда покажется летящей не по круговой, а по эллиптической орбите: у неё возникает кажущийся избыточный эксцентриситет. Для современной астрономии этот вывод интересен тем, что позволяет объяснить аномально высокие эксцентриситеты орбит экзопланет [18]. Возможно, истинные орбиты экзопланет, как у планет Солнечной системы, – почти круговые, а искажение их видимых движений порождает мнимые эксцентриситеты. Например, экзопланеты WASP-18b и WASP-33b столь близки к родительским звёздам, что скругление их орбит приливным трением исключает даже малые их эксцентриситеты. Поэтому считают, что кривые лучевых скоростей, найденные для этих систем и соответствующие эксцентриситетам 0.01 и 0.174, – именно искажены, например, приливными эффектами [19]. Проще объясняет искажения баллистическая теория, давно предсказавшая именно те эффекты звёздных систем [10, 13], какие отмечены у WASP-18b и WASP-33b, кривые лучевых скоростей которых соответствуют как раз $\omega^* \approx 90^\circ$ [19], а орбитальные скорости достаточны для создания искажений. Другие аномалии экзопланет тоже нашли простое объяснение в баллистической теории [20–22].

Кроме того, как отметил Фрейндлих [2, 14], искажения малы, если на пути света к Земле зависимость скорости света от скорости источника ослаблена и имеет вид

$$c' = c + kv, \quad (1)$$

где $k \ll 1$ и по оценкам Де Ситтера составляет $k < 0.002$ [2, 11].

Снижение влияния скорости источника на скорость света объяснил в 1965 г. Дж.Г. Фокс [7]. По данным спектрального анализа, тесные двойные звёзды окружены общими атмосферами из межзвёздного газа, в малой концентрации присутствующего и на всём пути света к Земле. По теореме погашения (экстинкции) Эвальда-Озеена [23] свет звезды постепенно гасится облаками газа и переизлучается ими со скоростью c относительно облаков, ведя к выравниванию скоростей света, испущенного в разные моменты, и основную часть пути лучи света идут с равной скоростью. Тогда c' в ф-ле (1) имеет смысл средней скорости света на пути r от звезды к Земле, а коэффициент k – общей доли $k = l/r$ пути l , на котором свет звезды, до переизлучения, имеет скорость $c + v$. На пути l лучи и набирают разность хода. Остальную часть пути $(1 - k)r$ переизлучённый свет имеет скорость c . По концентрации атомов ($N \sim 1 \text{ см}^{-3}$) и показателю преломления n межзвёздного газа в Галактике, Фокс оценил $l = \lambda/2\pi(n - 1)$ в световой год: на таком пути исходный свет с длиной волны λ почти полностью

переизлучается [7]. Расстояния r до исследуемых двойных звёзд – сотни световых лет, и отношение $k = l/r$ составит как раз порядка сотых или тысячных долей, а искажения – столь малы, что критерий де Ситтера не имеет силы.

То же верно для других астрономических тестов теории Ритца, включая поставленный Р. Томашеком опыт Майкельсона со светом звёзд [2]; опыт А.М. Бонч-Бруевича [24] со светом Солнца; анализ К. Брэчером рентгеновских пульсаров [25]. Во всех этих случаях изучали не первичный свет звёзд, а переизлучённый их атмосферой, межзвёздным газом, земной атмосферой, линзами телескопов, т.е. утративший лишнюю скорость. Как отметил Е.Б. Александров [9], это нейтрализует все астрономические опровержения теории Ритца.

2. Опыты с лабораторными источниками света

Если групповую скорость света, с которой движутся лучи, среда меняет как вторичный источник, переизлучающий свет со скоростью c , то на фазовую скорость света среда влияет сложнее, ввиду интерференции исходного и вторичного излучения. Так, по теории Ритца при отражении от движущегося зеркала фазовая скорость света сохраняется неизменной по величине относительно источника [2]. Результаты опытов с подвижными зеркалами, например опыты Майораны, согласуются с этим, как показал М.Ф. Мишо [2, 26].

Того же типа опыт Саньяка, где интерферируют световые лучи, идущие в противоположные стороны по контуру из зеркал (рис. 2). При вращении контура с угловой скоростью Ω лучи набирают разность хода, пропорциональную Ω и меняют интерференционную картину. Опыт Саньяка сочли противоречащим теории Ритца [8, 27], поскольку источник A неподвижен относительно контура из зеркал B, C, D и фотопластинки I на общей платформе: скорость лучей в его системе отсчёта не менялась бы и не создала бы разности хода. Но в теории Ритца свет сохраняет скорость лишь относительно источника, движущегося равномерно и прямолинейно [1], в инерциальной системе отсчёта. А вращающаяся система движется ускоренно. Поэтому инерциальное движение света позволяет выявить вращение в опыте Саньяка, равно как движущийся по инерции маятник выявляет вращение Земли в опыте Фуко. Аналогично работают лазерные гироскопы на эффекте Саньяка.

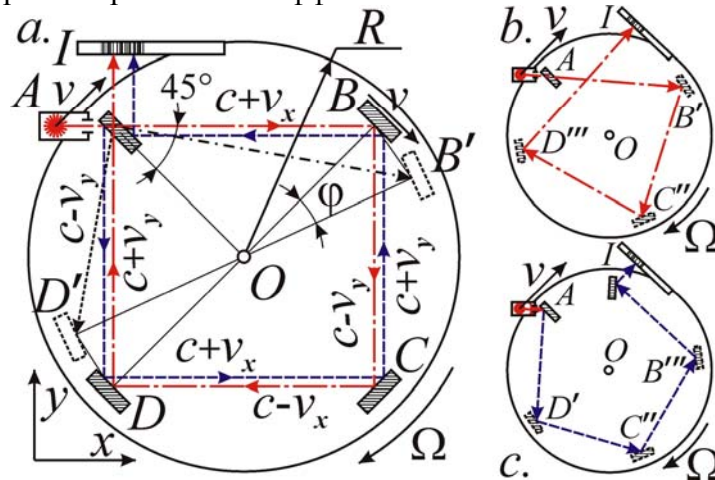


Рис. 2. Схема движения света в опыте Саньяка по баллистической теории (a). Справа – удлинение пути для луча света (*штрих-пунктир*), идущего в направлении вращения интерферометра (b), и сокращение пути для луча (*пунктир*), идущего против вращения (c).

Найдём из теории Ритца разность хода лучей в лабораторной инерциальной системе отсчёта (рис. 2.a). Каждый отрезок $L = AB = BC = CD = DA$ пути прямого луча, идущего в направлении вращения, удлинится до $L_1 = L(1 + \sin 45^\circ \Omega R/c)$, где R – расстояние источника и зеркал до центра O . Так, к моменту прихода луча к зеркалу B оно сместится в B' , удлинив путь AB до $AB' = L_1$ на расстояние $\varphi R \sin 45^\circ$, где $\varphi = \Omega L/c$ – угол поворота контура за время L/c движения света вдоль AB . Приобретая скорость v_x источника A , свет пойдёт вдоль AB со скоростью $c + v_x = c + v \sin 45^\circ$. После отражения зеркалом B вдоль BC , фазовая скорость света сохраняется относительно источника и равна $c - v_y = c - v \cos 45^\circ$. Фазовая скорость света, отражённого вдоль BC, CD и DA , тоже равна скорости параллельных лучей от первичного источника A [2, 24]. Время обхода светом контура $AB'C'D''I$ составит $T_1 = L_1/(c + v_x) + L_1/(c - v_y) + L_1/(c - v_x) + L_1/(c + v_y) \approx 4L_1/c$, если отбросить слагаемые высших порядков ма-

лости v/c . Для луча, идущего против направления вращения, отрезки пути $L = AD = DC = CB = BA$, напротив, сократятся до $L_2 = AD' = L(1 - \sin 45^\circ \Omega R/c)$, и аналогичный расчёт даст для времени обхода контура $AD'C''B''I$ величину $T_2 \approx 4L_2/c$.

Итак, для замкнутого пути влияние скорости источника на скорость света нейтрализуется, и времена T_1, T_2 отличны от номинального $T = 4L/c$ лишь за счёт изменения пути L . Тогда разность времён обхода $\Delta T = T_1 - T_2 = 8\Omega R^2/c^2$, а разница оптических путей есть

$$\Delta Tc = 4\Omega S/c, \quad (2)$$

где $S = 2R^2$ – площадь контура, обходимого лучом. Это совпадает с результатом опыта Саньяка и аналогичных опытов, где формула (2) обобщается на случай контура произвольной формы. То есть, теория Ритца согласуется с опытом Саньяка. Ещё раз отметим, что лишь ускоренное движение источника создаёт разность хода, а инерциальное движение – нет, согласно классическому принципу относительности. Поэтому опыт с поступательным движением интерферометра, предложенный Г.Б. Малыкиным [8] и аналогичный опыту Майкельсона, по теории Ритца не выявит движения [2]. Рассчитанная в [8] разность хода порядка $(v/c)^3$ – это, видимо, результат ошибки при разложении в ряд, так как эквивалентный расчёт в системе интерферометра даёт нулевой результат, не содержащий v .

Также в [8] оспаривалось утверждение Ритца о том, что фазовая скорость света, отражённого зеркалом, равна c относительно источника [2], а не зеркала, которое в качестве вторичного источника сообщало бы свою скорость свету. Последнее верно лишь для элементарного вторичного источника, а фазовая скорость света, отражённого зеркалом, задана интерференцией волн, переизлучённых ансамблем элементарных излучателей-электронов в толще зеркала, и заранее её результат неочевиден. Так, снижение скорости света в среде вызвано интерференцией падающей и вторичных волн, рассеянных электронами среды [28], хотя падающие и вторичные волны движутся в среде со скоростью c .

В баллистической теории этот результат можно обобщить на случай источника, движущегося относительно среды, проверив оспариваемое соответствие теории – опыту Физо [2, 12]. Скорость света c^* в среде от источника, движущегося к границе среды со скоростью v , найдём по примеру расчёта в молекулярной оптике для неподвижного источника [28, с. 425]. Тогда скорость света в среде с показателем преломления n при $v \ll c$ [18, 29]

$$c^* = \frac{c}{n - \frac{v}{c}} \approx \frac{c}{n - v/c} \approx \frac{c}{n} + \frac{v}{n^2} \quad (3)$$

Если источник неподвижен, а скорость среды – v , то по принципу относительности из (3) найдём скорость света в среде $c' = c^* - v = c/n - v(1 - 1/n^2)$ относительно источника. Опыт Физо выявил именно такую зависимость, где множитель $(1 - 1/n^2)$ – коэффициент увлечения Френеля [12]. Тем самым теория Ритца объяснила опыт Физо и другие опыты с движением источников и сред, где анализ следует вести на основе молекулярной оптики. Это устранило неоднозначности в трактовке опытов У. Кантора, М. Дуплищева, Т. Бергмана [12, 18, 30] и др. Учёт переизлучения элементами оптических систем ещё больше, чем в космосе, ставит под сомнение результаты земных опытов по проверке теории Ритца.

3. Опыты в области физики высоких энергий

Кроме проверок теории Ритца в мегамире (Космосе) и макромире (лабораторные источники), известны опыты с объектами микромира – замеры скорости света от элементарных частиц, летящих с околосветовыми скоростями [7, 12]. Основной недочёт таких опытов в том, что напрямую не измерена скорость частиц, и не учтён эффект переизлучения.

Так, в опыте Саде сравнили скорости гамма-квантов, возникших в акте аннигиляции электрона и позитрона [31]. Полагали, что аннигилирующая пара частиц сохраняла заметную часть энергии и скорости позитрона ($0.89c$), вылетая в том же направлении со скоростью $v \approx 0.6c$. Пары с такой скоростью выделяли детекторы гамма-квантов, расположенные под заданными углами к линии полёта позитрона и равноудалённые от мишени. Они выявили синхронный приход гамма-квантов. По теории Ритца гамма-кванты, вылетавшие под разными углами, получив разные скорости, не могли регистрироваться синхронно.

Однако нет уверенности, что скорость v аннигилирующих пар достигала $0.6c$, т.к. позитрон в ходе столкновений с электронами мишени меняет направление движения и теряет почти всю скорость (термализуется) до аннигиляции [32, 33]. На гипотезе о малой скорости

$v \ll c$ аннигилирующих пар основана позитронно-эмиссионная томография (ПЭТ), где регистрируют гамма-кванты, разлетающиеся от аннигилирующих частиц под углом 180° . То есть, в опыте Саде не известны ни скорости аннигилирующих частиц, ни их направления, даже при известных углах разлёта гамма-квантов. Если аннигилирующие пары летели вдоль биссектрисы угла между детекторами (155°), судя по энергии гамма-квантов [33], то и баллистическая теория предсказывала синхронную регистрацию гамма-лучей, одинаково увеличивших скорость, измерить которую можно, поместив детекторы на разном удалении. Если же скорость v сохраняла прежнее направление, то регистрируемые гамма-кванты не могли возникать в одном акте аннигиляции, судя по их энергии, как показал А.Г. Баранов [34, с. 284]. А при рождении в разное время, гамма-кванты могут регистрироваться синхронно даже при неравных скоростях под произвольными углами [34].

В опытах не учли и переизлучение средой. Полагали, что среда мишени не меняет скорость рентгеновских и гамма-лучей, ввиду их слабого рассеяния электронами среды [7]. Поэтому показатель преломления n для таких излучений считают близким к единице, а длину экстинкции $l = \lambda/2\pi(n - 1)$ – столь большой, что переизлучением пренебрегают. Но, как отметил У. Кантор [35], нет прямых оценок n и l . Кроме того, излучение рассеивают не только свободные и внешние электроны атомов, но и электроны внутренних оболочек, и ядра, у которых резонансные частоты лежат в рентгеновском и гамма-диапазонах и которые эффективно взаимодействуют с излучением, обеспечивая $n \neq 1$ и малые l , ввиду малой длины волны λ рентгеновских и гамма-лучей. Тогда переизлучение возможно и на длинах l менее миллиметра – для гамма-лучей в земных средах, и менее астрономической единицы – для рентгеновских и гамма-лучей в межзвёздной среде. То есть опыты, где эти излучения шли сквозь мишени [7, 12], или межзвёздную среду (см. раздел 1 [25]), не противоречат теории Ритца. Наконец, как отметил Фокс [7], данная им оценка длины l экстинкции (погашения первичной волны) справедлива лишь для скоростей источника $v \ll c$ и неприменима к излучению релятивистских частиц. Оценить l можно эмпирически, варьируя толщину мишени (скажем, из двух сдвигаемых клиньев) и оценивая вариации скорости света. Пока таких оценок нет, говорить о прямой проверке теории Ритца не следует.

В этом отношении выгодно отличается опыт Е. Александрова [9] по замеру скорости синхротронного излучения от электронов, летящих с околосветовыми скоростями $v \sim c$ (рис. 3). Излучение в камере синхротрона и канале вывода шло в вакууме, и скорость света по теории Ритца на всём пути сохраняла бы значение $c + v$. Опыт ставился в двух вариантах. В первом измеряли время пролёта излучения в канале вывода – по моменту его регистрации фотодетектором относительно момента прихода электронов к резонатору. Во втором варианте сравнили время регистрации излучения фотодетектором по сдвигу импульсов на осциллограмме в случае, когда канал вывода открыт, и когда перекрыт стеклянной пластинкой, снижающей скорость света от $c' = c + v$ до номинального значения c .

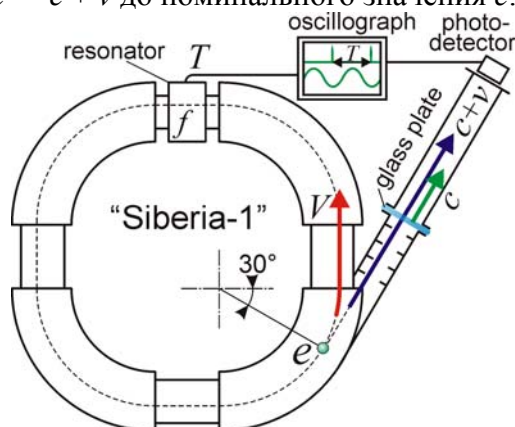


Рис. 3. Схема опыта Александрова [9] по измерению скорости синхротронного излучения от электронов в синхротроне «Сибирь-1».

В первом варианте скорость излучения оказалась равна c , а во втором – не наблюдалось сдвига импульсов на 9 ns, ожидаемого авторами по теории Ритца. Но и этот опыт в его нынешней постановке нельзя считать прямым, а вывод – однозначным. Во-первых, напрямую не измерена скорость электронов v и света c' . Оба значения рассчитаны теоретически по формулам СТО, ведущим к выводу, что «скорость электрона отличается от скорости света

меньше чем на одну миллионную долю», а найденная по ней скорость излучения – «лишь на 0.3 % ниже табличной скорости света в вакууме» [36]. В классической физике и теории Ритца скорость v электронов вычисляют иначе, и для скорости света c' получится иное значение. Ритц отмечал, что возможны и сверхсветовые электроны [1]. Поэтому поправки по его теории отличны от ожидаемых в [9], и требуется прямое измерение скорости электронов по времени пролёта ими базовой длины, измеренному установленными вдоль неё детекторами частиц. В ускорителе скорость электронов нельзя измерить, деля длину их орбиты на период ускоряющего поля или импульсов излучения, т.к. эта частота может отличаться от частоты обращения частиц в целое число раз, например, от разного числа ступок. Это создаёт неоднозначность, устраняемую теоретическим расчётом скорости по СТО, откуда находят, что ступок один. Опираясь на теорию относительности, получают цикличное обоснование её 2-го постулата. А для независимой проверки требуется прямое измерение скорости электронов и света, например, по разнице моментов регистрации излучения фотодетекторами в начале и в конце канала вывода.

Во-вторых, если реальный сдвиг не равен 9 ns, а кратен периоду повторения импульсов, то он не проявится: сдвинутые импульсы наложатся друг на друга (строб-эффект). Эффект можно исключить, варьируя смещение, путём плавного отдаления фотодетектора.

В-третьих, не исследована эффективность переизлучения стеклянной пластинкой и остаточным газом в вакуумной камере. Дж. Фокс показал, что среда переизлучает лишь часть света [7]. Чем среда толще и плотнее, тем выше доля вторичного излучения, идущего от среды со скоростью c , и ниже доля первичного, посланного источником со скоростью $c + v$. Для $v \sim c$ нет оценок длины экстинкции l [7], и та может быть много меньше или больше ожидаемой: тогда эффективное переизлучение остаточным газом сразу снизит скорость света до c , а при неэффективном переизлучении пластинка замедлит малую долю света, и основная его часть сохранит скорость $c + v$, не изменив осциллограмму.

Согласно (3), в среде $c^* = c/n^* = c/[n - v/(c + v)]$, и для излучения источника $c \approx c + v$ [9] показатель преломления стекла $n = 1.5$ равен уже $n^* = n - v/(c + v) \approx 1$. Это на порядки удлиняет $l = \lambda/2\pi(n^* - 1)$, и на толщине пластинки свет почти не переизлучается, сохраняя скорость $c + v$: лишь малая часть света переизлучится со скоростью c . На осциллограмме [36] видно, что после ввода пластинки высота импульсов снизилась: первичное излучение со скоростью $c + v$ ослабло, и возникли слабые импульсы (равные по высоте снижению первичных), запаздывающие на $\Delta t = 17$ ns (рис. 4). Эти импульсы не могут быть результатом отражений (для которых $\Delta t = 36$ ns), но соответствуют вторичному излучению пластинки со скоростью c , судя по их задержке Δt , следующей из теории Ритца при классической оценке v . Вторичные импульсы малы от слабого переизлучения и, возможно, от LC-фильтра, сгладившего сигнал детектора и «звон», заметный на осциллограммах из [9].

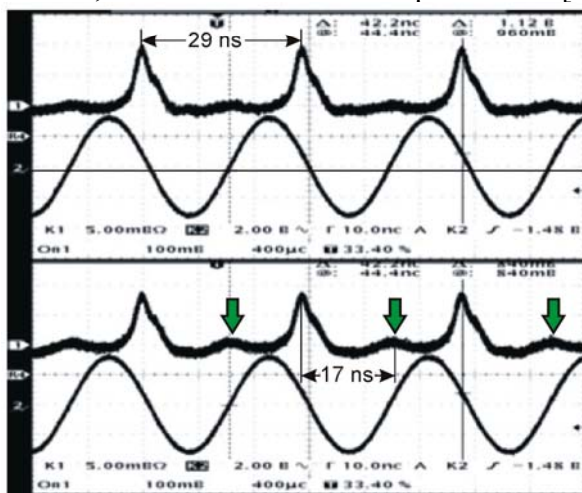


Рис. 4. Экспериментальные осциллограммы импульсов синхротронного излучения в опыте Александрова [36] до внесения стеклянной пластинки (вверху) и после внесения (внизу). Стрелками отмечены импульсы вторичного излучения.

Итак, опыт следует дополнить: во-первых, напрямую измерить скорость электронов; во-вторых, исключить строб-эффект, варьируя пролётные дистанции света и электронов; в-

третьих, оценить вклад переизлучения при утолщении пластинки. В таком виде опыт может стать решающим и войти в учебники. А в нынешнем виде он неоднозначен и, как отметил его автор [36], не нов, повторяя схему и недочёты опыта А.С. Мазманишвили [37]. Итак, в физике высоких энергий тоже нет свидетельств против теории Ритца. Поэтому рассмотрим опыты и эффекты, которые можно положить в основу её проверки.

4. Эксперименты с применением радиолокации и лазерной локации

При проверке теории Ритца стремление исключить переизлучение среды снова приводит к идее экспериментов в космосе. Космический вакуум на дистанциях $r \sim 1$ AU почти исключает переизлучение, позволяя поставить прямой опыт с применением спутников, космической радио- и лазерной локации. В космосе большие скорости v и дистанции r позволяют точнее проверить влияние скорости v на скорость света. Не зря П.И. Филиппов, предложил, наравне с опытом на синхротроне [37], космический опыт со спутниками.

В сеансах космической радиолокации, действительно, открыт ряд аномалий, вероятная причина которых, по мнению астрономов [38, с. 181], космических навигаторов [39, 40] и физиков [41], состоит в неточности значения скорости света. Уже в 1960-х гг. при радиолокации Венеры были открыты расхождения между измеренными радарными положениями Венеры и её положениями, найденными из астрономических наблюдений и эфемерид (расчитанных по небесной механике). Расхождения носили систематический характер и намного превышали возможные ошибки радарного метода и эфемерид. Как показал Б. Уоллес [41], отклонения снизятся в разы при учёте зависимости скорости света и радиоизлучения от скорости источника – радиоизлучающей антенны на Земле, движущейся со скоростью v , ввиду осевого вращения Земли, вращения в системе Земля-Луна и обращения вокруг Солнца. При сообщении радиолучу скорости v , меняется его скорость $c' = c + v$ и время τ запаздывания отражённого сигнала, по которому искали расстояние Земля-Венера. Тогда расчётное расстояние $c\tau$ (или $c\tau/2$, с учётом обратного пути радиолуча), найденное из постоянства скорости света, отлично от истинного расстояния $|c + v|\tau$.

Одной из целей радарных замеров Венеры в 1960-х гг. было уточнение астрономической единицы (AU) – радиуса земной орбиты R_2 (рис. 5). Измерив радаром расстояние r Земля-Венера, вычисляли, по известным из астрономии углам в треугольнике SVE , расстояние R_2 Земля-Солнце, пропорциональное r . Вопреки прогнозам, найденная этим способом астрономическая единица регулярно менялась [38]. Были выявлены изменения с периодом равным суткам, месяцу и синодическому году, т.е. периодами вариаций скорости v , вносящей, согласно Уоллесу, отклонения в расчётные дистанции r и в астрономическую единицу [41]. Учёт вариаций c' снижал отклонения в разы. Значения астрономической единицы, найденные радарным и астрономическим методами, тоже не совпадали, даже в пределах ошибок [38], что не нашло объяснений, но ожидалось по теории Ритца.

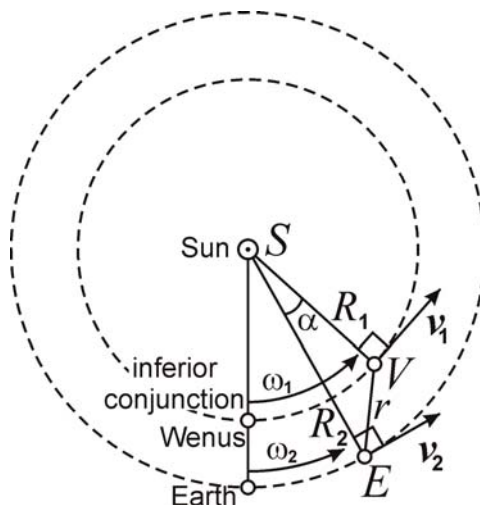


Рис. 5. Схема движения Венеры и Земли возле нижнего соединения.

Венера при сближении с Землёй тоже сообщает свою скорость отражённому сигналу, наращивая его скорость, и он достигает Земли за меньшее время τ , занижая расчётное расстояние Венеры. После нижнего соединения и предельного сближения с Землёй, Венера уда-

ляется, скорость отражённого сигнала становится ниже c , и он достигает Земли за большее время τ , завывая расстояние Венеры. Поэтому до соединения расчётное значение дистанции Земля-Венера $c\tau/2$ и астрономической единицы выходило ниже реального, а после соединения – выше, нарастая по мере роста лучевой скорости Венеры [38].

Итак, согласно баллистической теории, расстояние r Венеры отличается от $r' = c\tau/2$, рассчитанного из условия постоянства скорости света, где τ – время задержки сигнала на пути к Венере и обратно. По теории Ритца радиосигнал летит в сторону Венеры со скоростью c относительно Земли, проходя путь r за время $\tau_1 = r/c$. При отражении (переизлучении) лучевая скорость Венеры v_r придаёт сигналу скорость $c' = c - v_r$, и он проходит обратный путь за время $\tau_2 = r/c'$, затрачивая в сумме время $\tau = \tau_1 + \tau_2 = r/c + r/c'$. Найденное из номинальной скорости света c расстояние $r' = c\tau/2 \approx r + rv_r/2c$ превысит реальное r на $\Delta r = rv_r/2c$. Приняв за $t = 0$ – момент нижнего соединения Венеры, найдём в приближении круговых орбит из треугольника SVE (рис. 5) её лучевую скорость относительно Земли $v_r = (\omega_1 - \omega_2)R_1R_2 \sin(\alpha)/r$. Здесь ω_1 и ω_2 – гелиоцентрические угловые скорости Венеры и Земли, R_1 и R_2 – радиусы их орбит, $\alpha = (\omega_1 - \omega_2)t$ – угол VSE между ними, а t выражено в сутках, истёкших с момента соединения. Тогда систематическое отклонение r составит

$$\Delta r = r' - r = (\omega_1 - \omega_2)R_1R_2 \sin[(\omega_1 - \omega_2)t]/2c \approx 3350 \sin(0.011 t) \text{ km.} \quad (4)$$

То же отклонение, выраженное в световых секундах (по времени запаздывания), есть

$$\Delta \tau = \Delta r/c = (\omega_1 - \omega_2)R_1R_2 \sin[(\omega_1 - \omega_2)t]/2c^2 \approx 0.011 \sin(0.011 t) \text{ s.} \quad (5)$$

Наблюдаются именно такие вариации систематических ошибок-невязок расстояний Δr (*пунктир* на рис. 6.a) или времён $\Delta \tau$ (*пунктир* на рис. 6.b), т.е. разностей измеренных τ_o и предвычисленных τ_c по таблицам Ньюкома. Учёт вариаций скорости радиосигнала снижает систематические невязки. Остаются лишь малые случайные ошибки, которые, как показал Уоллес [41], можно снизить, учтя влияние осевого вращения Земли на скорость радиосигналов. Следует учесть и переизлучение межпланетной средой (её концентрация выше, чем у межзвёздной), отчего ошибки чуть ниже предсказанных баллистической теорией (рис. 6). Отклонения от теоретических зависимостей (4) и (5) растут с отходом от соединения, ввиду роста r и слоя межпланетной плазмы, переизлучающей радиоволны, так как растёт путь, пройденный сигналом со стандартной скоростью c , и ошибки снижаются.

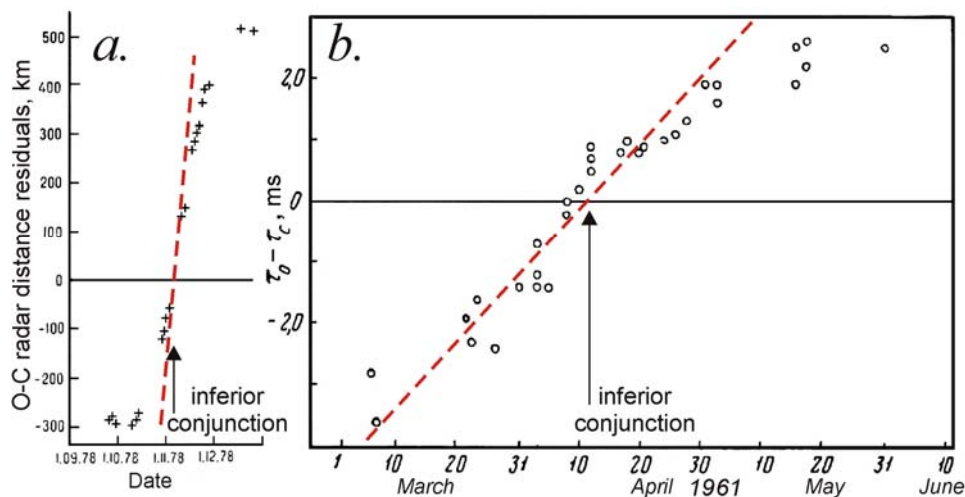


Рис. 6. Отклонения радарных расстояний Венеры от эфемеридных, измеренные в километрах (a, кресты) [43] и световых миллисекундах (b, кружки) [38, с. 242], по сравнению с их оценками (4) и (5) по теории Ритца (*пунктир*).

В рамках гипотезы постоянства скорости света эти аномалии не удалось объяснить, и расхождения устранили, внося в эфемериды планет поправки, например, поправки Данкомба, в виде сдвига Венеры вперёд по орбите на 290 km – прироста её гелиоцентрической долготы на $0''.55$ [38]. Поскольку, даже с учётом поправок Данкомба, остались расхождения эфемеридных и радарных положений Венеры, Венеру условно сдвинули ещё на 270 km по орбите, увеличив её гелиоцентрическую долготу ещё на $0''.52$ [42] и построив численную теорию её движения по данным радаров [43]. Но причина расхождений этих данных с таблицами Ньюкома-Данкомба и визуальными измерениями до сих пор не установлена. Расхождения ~ 100

km остались и десятилетия спустя, хотя точность замеров выросла [44], и ярко проявились при прохождении Венеры по диску Солнца в 2004 и 2012 гг. Моменты контакта Венеры запаздывали на срок порядка минуты (это соответствует сдвигу планеты как раз на сотни km) относительно эфемерид, содержащих радарные поправки.

Для однозначного вывода о степени отличия скорости света от стандарта c необходимы новые астрономические измерения положений Венеры на орбите, например, радиоинтерферометрами по радиоизлучению горячей поверхности Венеры. На необоснованный сдвиг Венеры по орбите впервые обратил внимание специалист по космической навигации д. т. н. В.П. Селезнёв [39], сотрудник С.П. Королёва и автор монографии [45], разработавший навигационные системы первых космических кораблей [40]. При анализе ошибок космической навигации, Селезнёв пришёл к выводу, что "на основе научных сведений о свете астронавигация в принципе невозможна", и в расчётах следует учесть баллистическую зависимость скорости света от скорости источника [40, с. 308]. Селезнёв отметил, что проверка баллистического принципа в космосе особенно актуальна для космической навигации, успешного запуска и управления космическими аппаратами [39].

Рассмотрим в этом ключе эффект «Пионеров» [18, 46]. Скорости и расстояния автоматических межпланетных станций (АМС) «Пионер-10» и «Пионер-11», измеренные радаром (по доплер-сдвигу частоты сигнала, транслируемого АМС), отличались от расчётных на величину, превысившую возможные ошибки. Это интерпретируют как наличие у «Пионеров» избыточного ускорения $\Delta a_o = (8.74 \pm 1.33) \cdot 10^{-10} \text{ m/s}^2$ (на расстоянии r порядка дистанции Урана [46]), по сравнению с расчётным ускорением $a = GM/r^2$ в поле тяготения Солнца массы M . С позиций теории Ритца причина невязок – в изменении скорости радиосигнала, посланного аппаратами [47]. «Пионеры», удаляясь от Солнца (и Земли) со скоростью $v \approx 10 \text{ km/s}$, снижают скорость посланного сигнала до $c - v$, вызывая его лишнее запаздывание. Полагая скорость сигнала равной c , считают, что кинематические параметры «Пионеров» измерены не в реальном их положении $r = (c - v)t$, а в точке, удалённой от Земли и Солнца на большее расстояние $r' = ct \approx r + rv/c$. Это создаёт иллюзию того, что на r' тяготение Солнца и вызванное им ускорение $a = GM/r^2$ выше ожидаемого $a' = GM/r'^2$ на $\Delta a_c = a - a' \approx 2av/c = 2vGM/cr^2$. На дистанции Урана $r \approx 3 \cdot 10^{12} \text{ m}$ при $v \approx 10 \text{ km/s}$ это составит расчётную величину $\Delta a_c \approx 9.9 \cdot 10^{-10} \text{ m/s}^2$, близкую к измеренной $\Delta a_o \approx 9 \cdot 10^{-10} \text{ m/s}^2$ [46]. Сходные аномалии выявлены у АМС «Галилео», «NEAR», «Улисс» [48], а также у «Кассини», у которого на расстоянии Сатурна ($r \approx 1.5 \cdot 10^{12} \text{ m}$) избыток ускорения $\Delta a_o \approx 3 \cdot 10^{-9} \text{ m/s}^2$ [49] близок к расчётному по Ритцу $\Delta a_c = 2vGM/cr^2 \approx 4 \cdot 10^{-9} \text{ m/s}^2$.

Тем же объяснима Flyby-аномалия [46], т.е. систематические невязки теоретических скоростей и измеренных методом радиолокации у АМС, пролетающих мимо планет по гиперболической траектории. Отметим, что основная гипотеза, объясняющая аномальное ускорение «Пионеров» радиационными силами от неравномерного нагрева корпуса изотопным источником [50], вызывает сомнения, поскольку аномальное ускорение характерной величины и направления обнаружено у ряда АМС, имеющих разные конструкции и источники питания [46]. Поэтому маловероятно, что всегда возникает одна и та же сила, направленная к Солнцу. Кроме того, корпус «Пионеров» в целях термоизоляции закрыт отражающей плёнкой, плохо излучающей тепло. Отражение и переизлучение плёнкой неопределённой сложной формы, – это задача, не поддающаяся численному моделированию. От размещения плёнки на стороне аппарата, обращённой от Солнца, излучение тепла там может быть не выше, а ниже, чем со стороны антенны, где радиационная сила обратная. То есть, радиационные силы не только ниже расчётных в [50], но и могут иметь обратное направление. Согласие величины радиационного ускорения с измеренным Δa_o обусловлено выбором коэффициентов, характеризующих связь нагрева и радиационной силы [50].

Малость радиационных сил следует также из того, что неравномерный нагрев корпуса «Пионеров» (показывающий смещение точки максимального нагрева на $h \sim 1 \text{ m}$ от оси аппарата [50]), создав радиационную силу F и ускорение $\Delta a_o = F/m \sim 10^{-9} \text{ m/s}^2$, создал бы и момент силы $M = Fh$ (рис. 7), который за двадцатилетний срок t неуправляемого полёта отклонил бы ось «Пионера» и его параболической антенны на угол α , исключая обмен сигналами с Землёй. Поскольку у «Пионеров» не действуют реактивные системы стабилизации, и направление оси стабилизировано вращением с угловой скоростью $\omega = 4.8 \text{ r/min} \approx 0.5 \text{ rad/s}$ и моментом импульса $I\omega \sim ma^2\omega/8 \sim mh^2\omega$ вдоль оси аппарата, то поперечный к ней момент M

за время t развернул бы АМС на угол $\alpha = \arctg(Mt/I\omega) \sim \arctg(\Delta a_o t / \omega h) \sim 50^\circ$, лишив связи. А при рабочей частоте 2292 МГц ($\lambda = 0.13$ m) и диаметре антенны $d = 2.7$ m, главный лепесток её диаграммы направленности намного более узок: $\varphi_a \approx \lambda/d = 0.048$ rad $\approx 3^\circ$. Если исходно антенна была направлена к Земле, связь пропала бы от разворота аппаратов на угол $\arctg(\Delta a_o t_0 / \omega h) \sim \varphi_a/2$ уже через время $t_0 \sim \omega h \cdot \tg(\varphi_a/2) / \Delta a_o \approx 0.4$ года их свободного полёта, задолго до пересечения орбиты Урана. Тот факт, что связь сохранялась десятилетиями, до орбиты Плутона и далее, свидетельствует о сохранении направления оси «Пионеров» и отсутствии заметных радиационных и иных неучтённых сил.

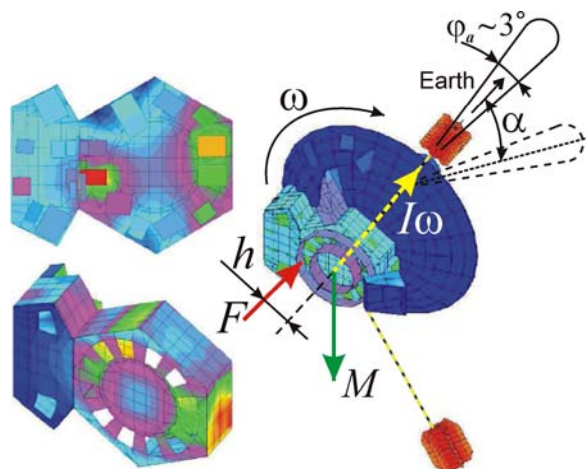


Рис. 7. Асимметричное распределение температуры по корпусу «Пионеров» [50], создавая радиационную силу F и аномальное ускорение, вело бы к появлению момента M , отклоняющего антенну АМС в сторону от Земли.

Широкие возможности в плане проверки баллистической теории в космосе открывает сеть спутников GPS и ГЛОНАСС, определяющих положение приёмника на Земле по задержке посланных ими радиосигналов [51]. Эти спутники летят со скоростью $v \sim 4$ km/s, которая по теории Ритца, меняя скорость радиосигнала, внесёт ошибки в измерение координат, достигающие нескольких метров [47]. В отсутствие корректирующих процедур, усреднений и дифференциальных измерений, невязки как раз достигают нескольких метров. Поэтому следует проверить их связь с влиянием скорости спутников на скорость света, параллельно измеряя положения спутника на орбите разными методами (РСДБ, радары, лидары, визуальные наблюдения), так как измерение положений по радиосигналам спутника тоже содержало бы ошибки. То есть эксперименты по проверке теории Ритца в космосе будут не только наиболее убедительными, но и наиболее актуальными, поскольку ошибки измерения координат радарным методом снижают точность и эффективность космических программ и ведут к авариям. Пока же теория Ритца и 2-й постулат СТО не проверены в космосе (с помощью спутников и радаров), хотя вопрос о целесообразности проверки не раз поднимался [37]. Когда в 1961 г. на конференции NASA в США этот вопрос был поставлен, проверку вообще сочли излишней [30], хотя в том же году неточности значения скорости света дали о себе знать при радиолокации Венеры [38, 41].

Для проверки теории Ритца предлагали применить и лазерную локацию [52], и фемтосекундные лазеры [53], – для замеров разности времён хода лучей $\Delta t \sim 10^{-14}$ s [51]. На пути $r \sim 10$ m эта разность $\Delta t = r/c - r/(c + v) = rv/c^2$ наберётся уже при разнице скоростей источников $v \sim 100$ m/s. Такой опыт можно поставить на МКС [53] или в вакууме на Земле. Можно применить и неподвижный импульсный лазер, навстречу которому со скоростью v движутся два приёмника, отделённых дистанцией r , скажем, на ободу ультрацентрифуг. По измеренной автокоррелятором задержке импульсов, дающей их скорость в системе приёмников, легко оценить влияние на неё скорости источника относительно приёмников.

Для проверки предлагали применить и лазерную локацию Луны, на поверхности которой установлены уголкового отражатели [52]. При скорости лазерного радара (лидара) порядка $v_r \approx 460$ m/s (экваториальная скорость Земли), его луч пройдёт путь $r \approx 3.84 \cdot 10^8$ m до Луны раньше, чем по СТО, на время $\Delta t = r/c - r/(c + v_r) = rv_r/c^2 \approx 2 \cdot 10^{-6}$ s. Эта задержка соответствует разнице путей в 600 m, а с учётом отражения на скорости c от Луны поправка расстоя-

ния до неё составит $\Delta r \approx 300$ m, что много выше ошибок лазерной локации ($\sim 1-10$ cm). Синхронное измерение расстояния Земля-Луна двумя станциями в противоположных точках Земли, когда один лазерный источник движется к Луне, а другой удаляется (рис. 8), подтвердит теорию Ритца, если выявит разницу $\Delta r \sim 300$ m.

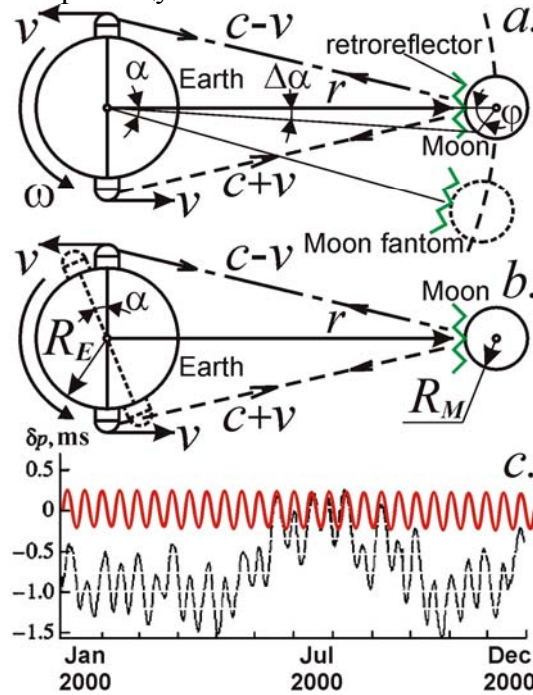


Рис. 8. Схема лазерной локации Луны. Неучтённая вариация скорости света создаёт иллюзию сдвига или поворота Луны (a), Земли (b) и вариации суток (c) [54].

При лазерной локации с одной станции, измеренное расстояние Земля-Луна будет меняться с периодом в сутки, а невязка с данными астрономии достигнет $\Delta r \sim 0.5$ km. Такие систематические невязки, предсказанные теорией Ритца и отвергающие постоянство скорости света, обнаружены сотрудником NASA, астрономом Д. Джемари при анализе данных лазерной локации Луны [52]. Учёт баллистического принципа устраняет эти ошибки.

Из гипотезы постоянства скорости света измеренное лидаром расстояние на восходе Луны получалось систематически меньше (на ~ 0.5 km) расстояния, измеренного спустя половину суток, на её закате. Считая это неравенство реальным, его интерпретируют как поворот Земли (радиуса R_E) в сторону вращения на лишний угол $\alpha = \Delta r/R_E = 4.5 \cdot 10^{-5} = 9''.4$ или в виде смещения уголкового отражателя на расстояние $r\alpha = 17$ km (рис. 8). От наклона орбиты Луны к плоскости земного экватора (на угол $\sim 23.5^\circ$) расстояние r Луны в кульминации меняется на $\Delta r = R_E(1 - \cos 23.5^\circ) = 530$ km с периодом в полмесяца (13.7 day), а «угол поворота» α – на $\Delta\alpha = \alpha\Delta r/r = 0''.013$. Это расценят как покачивание Земли вокруг оси с угловой амплитудой $\Delta\alpha/2 = 0''.0066$ и периодом $T \approx 14$ day по закону

$$\delta\alpha = -0''.0066 \cos(2\pi t/T) = -3.2 \cdot 10^{-8} \cos(2\pi t/T) \text{ rad}, \quad (6)$$

где t отсчитывают от момента пересечения Луной экваториальной плоскости Земли (от восходящего лунного узла). Это покачивание воспримется как неравномерность вращения Земли ($\omega = 2\pi$ rad/day), словно у той есть добавочная переменная угловая скорость

$$\delta\omega = \delta\dot{\alpha} = 1.4 \cdot 10^{-8} \sin(2\pi t/T) \text{ rad/day}, \quad (7)$$

что соответствует колебанию δp периода земных суток p . Из условия $\delta p/p = -\delta\omega/\omega$ найдём, что длина суток будет то расти, то уменьшаться на 0.2 ms каждые 14 дней по закону $\delta p = -0.0002 \sin(2\pi t/T)$ s (рис. 8.c, сплошная линия). Лазерная локация Луны выявила именно такие вариации скорости вращения Земли: их период – 14 суток (рис. 8.c, пунктир), а амплитуда колебаний – доли миллисекунды [54]. То есть, эта неравномерность вращения Земли может отчасти оказаться мнимой, вызванной неучтённой вариацией скорости света.

Регулярные колебания дистанции r и скорости v_r объяснят и другие «вариации» вращения Земли и Луны, выявленные лидарами и имеющие характерные периоды колебаний r и v_r . Так, от полёта по эллиптической орбите расстояние r Луны меняется от $3.6 \cdot 10^8$ до $4.1 \cdot 10^8$ m ($\Delta r \sim 5 \cdot 10^7$ m). Соответственно колеблется угол α (направления на мнимую Луну) на $\Delta\alpha = \alpha\Delta r/r \sim 1''$. Это колебание, синхронное с орбитальным движением, воспримут как

«сдвиг» Луны по орбите (как у Венеры), меняющийся в такт её сближению-отдалению. Эти смещения не вполне отвечают законам Кеплера, так как форма и наклон лунной орбиты регулярно меняются [55, с. 63], внося лишнюю вариацию $\Delta r \sim 2 \cdot 10^7$ m и $\Delta \alpha = \alpha \Delta r / r \sim 0''.5$. Её расценят в форме колебаний уголкового отражателя на $\Delta \alpha r \sim 1$ km в ходе покачиваний Луны (радиуса R_M) на угол $\varphi = \Delta \alpha r / R_M \sim 2'$. Действительно, лидары выявили у Луны регулярные повороты на $2'$, в отличие от видимых качаний Луны (оптической либрации), расцененные как реальные (физическая либрация).

«Покачивания» Луны и Земли открыты и визуально [55], но если «лидарные качания» отчасти вызваны неучётом вариаций скорости света, то это можно проверить, сравнив амплитуду «качаний» Луны и Земли, измеренную лидарами, телескопами и радиоинтерферометрами. По теории Ритца их данные разойдутся на величину, меняющуюся по законам (6) и (7). Разойдутся и данные станций разных широт: у экватора максимумы δp – равные (7), а вдали от него – нет, как на рис. 8.с. Лидары ведут и к ошибкам координат аппаратов на Луне. Возможно, это и стало причиной потери лидарами отражателя «Лунохода-1», от его «сдвига» на $\Delta \alpha r \sim 1$ km и на $\alpha r \sim 17$ km в ходе коррекции эфемерид Луны.

Итак, анализ данных космической радио- и лазерной локации, сопоставление их с данными других методов позволит повысить их точность, проверить теорию Ритца и уточнить характеристики осевого и орбитального вращения Земли, Луны и планет. При этом следует оценивать переизлучение ионосферой Земли и межпланетной средой [7].

Заключение

Современный анализ проведённых за век наблюдений и экспериментов показывает, что пока нет прямых и однозначных свидетельств против баллистической теории Ритца и в пользу второго постулата СТО. А ряд данных косвенно подтверждает баллистическую теорию. Всё это приводит к выводу о необходимости новых опытов. Рассмотрен ряд уточнённых вариантов проверки баллистического принципа, предложены дополнения известных экспериментов и критерии для прямой однозначной проверки. В том числе это:

- 1) статистический и сравнительный анализ движений двойных звёзд, экзопланет;
- 2) усовершенствованные эксперименты с синхротронным излучением;
- 3) эксперименты на базе космических аппаратов и станций (спутники, АМС, МКС);
- 4) эксперименты с использованием фемтосекундных лазерных импульсов;
- 5) эксперименты с использованием космических радаров и лидаров.

Проведение экспериментов по предложенным схемам позволит не только проверить баллистический принцип, но и уточнить методы радиолокации и космической навигации.

Благодарю за дискуссии профессоров ННГУ М.И. Бакунова, Н.С. Степанова, и сотрудников ИПФ РАН В.В. Кочаровского, Г.Б. Малыкина, Н.Ф. Андреева и А.М. Сергеева. Работа выполнена в рамках программы развития «ННГУ – НИУ».

Список литературы

- [1] Ritz W. // Ann. Chim. Phys. 1908. V. 13. P. 145–275.
- [2] Паули В. Теория относительности. М. Наука, 1991. 328 с.
- [3] Томсон Дж. Дж. Электричество и материя. М.-Л.: ОГИЗ, 1928. 264 с.
- [4] Ахманов С.А., Никитин С.Ю. Физическая оптика. М.: МГУ, 2004. 654 с.
- [5] Ельяшевич М.А., Кембровская Н.Г., Томильчик Л.М. // УФН. 1995. Т. 165. С. 457–480.
- [6] Роузвер Н.Т. Перигелий Меркурия от Лаверьё до Эйнштейна. М.: Мир, 1985. 246 с.
- [7] Fox J.G. // Am. J. Phys. 1965. V. 33. P. 1–17.
- [8] Малыкин Г.Б. // Оптика и спектроск. 2010. Т. 109. № 6. С. 1018–1034.
- [9] Александров Е.Б., Александров П.А. и др. // УФН. 2011. Т. 181. С. 1345–1351.
- [10] Comstock D.F. // Phys. Rev. 1910. V. 30. P. 267.
- [11] De Sitter W. // Phys. Z. 1913. Bd. 14. S. 429, 1267.
- [12] Франкфурт У.И., Френк А.М. Оптика движущихся тел. М.: Наука, 1972. 212 с.
- [13] Guthnick P. // Astr. Nachr. 1913. Bd. 195. S. 265–270.
- [14] Freundlich E. // Phys. Z. 1913. Bd. 14. S. 835–838.
- [15] Barr J.M. // J. Roy. Astron. Soc. of Canada. 1908. V. 2. P. 70–75.
- [16] Бэттен А. Двойные и кратные звёзды. М.: Мир, 1976. 323 с.
- [17] Бражникова Э.Ф., Бабинчук С.В. // Астрон. журн. 1965. Т. 42. С. 678–679.

- [18] Семиков С.А. Баллистическая теория Ритца. Н. Новгород: Стимул-СТ, 2010. 612 с.
- [19] Arras P., Burkart J., Quataert E., et al. // MNRAS. 2012. V. 422. Is. 2. P. 1761–1766.
- [20] Мушаилов Б.Р., Теплицкая В.С. // Космич. исследования. 2012. Т. 50. №6. С. 452–461.
- [21] Мушаилов Б.Р., Теплицкая В.С. // Вестник МГУ. Серия 3. 2011. №6. С. 99–103.
- [22] Семиков С.А. // Техника-молодёжи. 2013. №1. С. 24–26.
- [23] Борн М., Вольф Э. Основы оптики. М.: Наука, 1973. 720 с.
- [24] Бонч-Бруевич А.М., Молчанов В.А. // Оптика и спектроск. 1956. Т. 1. № 2. С. 113–124.
- [25] Brecher K. // Phys. Rev. Lett. 1977. V. 39. P. 1051–1054.
- [26] Michaud M.F. // Compt. Rend. 1919. V. 168. P. 507–509.
- [27] Wesley J.P. // Physics Essays. 2003. V. 16. №3. P. 385–389.
- [28] Сивухин Д.В. Оптика. М.: Наука, 1980. 752 с.
- [29] Семиков С.А. // Вестник ННГУ. 2013. №4. С. 56–63.
- [30] Франкфурт У.И. Специальная и общая теория относительности. М.: Наука, 1968. 332 с.
- [31] Sadeh D. // Phys. Rev. Lett. 1963. V. 10. P. 271–273.
- [32] Седов В.Л. // УФН. 1968. Т. 94. №3. С. 417–438.
- [33] Lo Savio M. // Phys. Lett. A. 1988. V. 133. P. 176–178.
- [34] Эйнштейновский сборник-66. М.: Наука, 1966. 376 с.
- [35] Kantor W. // Spectr. Lett. 1971. V. 4. P. 245–253.
- [36] Александров Е.Б. // Химия и жизнь. 2012. № 3. С. 16–20.
- [37] Мазманишвили А.С. // Электромагнитные явления. 2001. Т. 2. № 1. С. 124–130.
- [38] Фундаментальные постоянные астрономии. М.: Мир, 1967. 382 с.
- [39] Дёмин В.Н., Селезнёв В.П. Мироздание постигая. М.: Молодая гвардия, 1989. 267 с.
- [40] Селезнёва Н.В. Покорение космического пространства. М.: Либроком, 2013. 360 с.
- [41] Wallace V.G. // Spectr. Lett. 1969. V. 2. No. 12. P. 361–367.
- [42] Котельников В.А., Александров Ю.Н. и др. // ДАН СССР. 1965. Т. 163. № 1. С. 50–53.
- [43] Петров Г.М. // Земля и Вселенная. 1982. № 1. С. 8–16.
- [44] Кислик М.Д., Колюка Ю.Ф. и др. // ДАН СССР. Т. 241. 1978. №5. С. 1046–1049.
- [45] Селезнёв В.П. Навигационные устройства. М.: Оборонгиз, 1961. 615 с.
- [46] Anderson J.D., Nieto M.M.; <http://arxiv.org/pdf/0907.2469v2.pdf>.
- [47] Семиков С.А. // Инженер. 2010. № 10. С. 6–8.
- [48] Anderson J.D., Laing P.A., Lau E.L., et al. // Phys. Rev. Lett. 1998. V. 81. P. 2858–2861.
- [49] Anderson J.D., Lau E.L., Giampieri G.; <http://arxiv.org/abs/gr-qc/0308010v1.pdf>.
- [50] Turyshev S.G., Toth V.T., et al. // Phys. Rev. Lett. 2012. V. 108. P. 241101–241105.
- [51] Крюков П.Г. Фемтосекундные импульсы. М.: Физматлит, 2008. 208 с.
- [52] Gezari D.Y.; <http://arxiv.org/abs/0912.3934>.
- [53] Соколов В.Г., Соколов Г.Г.; <http://gsjournal.net/old/sokolov/sokolov12r.pdf>.
- [54] Сидоренков Н.С. // Вестник РАН. 2004. Т. 74. № 8. С. 701–715.
- [55] Бронштэн В.А. Как движется Луна? М.: Наука, 1990. 208 с.

CLASSICAL AND MODERN EXPERIMENTS AND CRITERIA FOR TESTING RITZ BALLISTIC THEORY

S. A. Semikov

N.I. Lobachevsky Nizhniy Novgorod State University, N. Novgorod, Russia.

Review of the main experiments and astronomical observations proposed as criteria for testing Ritz ballistic theory and constancy of light velocity has been done. It has been shown that the results of classical and modern experiments on testing Ritz theory and the second postulate of relativity are not unambiguous. New experiments and criteria for unambiguous checking of light velocity dependence on source speed have been proposed, including observations of exoplanets, space radar and lidar, GPS and GLONASS, experiments with synchrotron radiation.

Дата установки: 01.12.2014

[\[вернуться к содержанию сайта\]](#)