

## ПИСЬМА В РЕДАКЦИЮ

## Возражения к комментарию П. Маранера

(Ответ на комментарий П. Маранера [УФН 186 793 (2016)] к статье

"Квадратичный эффект Саньяка: влияние гравитационного потенциала силы Кориолиса на разность фаз в плечах вращающегося интерферометра Майкельсона (объяснение результатов экспериментов Д.К. Миллера 1921 – 1926 гг.)"  
[УФН 185 431 (2015)]

Г.Б. Малыкин, В.И. Позднякова

*Рассмотрены распределения величин скалярного гравитационного потенциала сил Кориолиса на различных участках плеч вращающегося равноплечного интерферометра Майкельсона. Это приводит к учёту весьма незначительной разности фаз света в плечах интерферометра Майкельсона по сравнению с разностью фаз, обусловленной квадратичным эффектом Саньяка. Показано, что это есть эффект, рассмотренный ранее П. Маранером, который является более высоким приближением квадратичного эффекта Саньяка.*

**Ключевые слова:** интерферометр Майкельсона, сила Кориолиса, гравитационный потенциал, орбитальное вращение Земли

PACS number: 03.30.+p

DOI: 10.3367/UFNr.2016.02.037737

В работе П. Маранера [1] было показано, что, вращение вызывает некоторую, довольно незначительную, разность фаз света в плечах интерферометра Майкельсона (ИМ). В работе [2] мы показали, что во вращающемся ИМ существует другой, существенно более сильный, эффект, названный квадратичным эффектом Саньяка (КЭС), который может объяснить ненулевые результаты экспериментов Майкельсона – Морли (ММ) [3, 4] и их классических повторений. В данном номере журнала *УФН* опубликована работа П. Маранера [5], содержащая ряд критических замечаний по поводу [2], а также утверждения о приоритете [1] над [2].

Цель настоящего сообщения: 1) указать на конкретную ошибку, допущенную в [1], которая не позволила её автору вычислить КЭС; 2) показать, что рассчитанный в [1] эффект есть второе приближение от КЭС по эффективным значениям радиусов вращения каждого из плеч ИМ; 3) ответить на критические замечания [5].

**Г.Б. Малыкин.** Федеральный исследовательский центр Институт прикладной физики РАН, ул. Ульянова 46, ГСП, 603950 Нижний Новгород, Российская Федерация  
E-mail: malykin@ufp.appl.sci-nnov.ru

**В.И. Позднякова.** Институт физики микроструктур РАН, филиал Федерального исследовательского центра Институт прикладной физики РАН, ГСП, 603950 Нижний Новгород, Российская Федерация  
E-mail: vera@ipmras.ru

Статья поступила 3 февраля 2016 г.

**П.1.** Основная ошибка [1], не позволившая П. Маранеру получить выражение для КЭС, заключается в том, что, поскольку в [1] все вычисления проводятся в лабораторной ИСО, то требуется учитывать влияние движения зеркал в концах плеч вращающегося ИМ на отражение света, чего не сделал автор [1]. Отражение даже от линейно движущегося зеркала приводит к ряду специфических явлений: изменению частоты отражённого сигнала, неравенству углов падения и отражения и др. [6]. А. Эйнштейн в своей основополагающей работе [7], для того чтобы обойти эти проблемы, проводил основные вычисления в сопровождающей движение зеркала инерциальной системе координат (ИСО). В лабораторной ИСО эту задачу можно корректно решить, но не применявшимся в [1] методом геометрической оптики, а с помощью электродинамики Максвелла [6]. В нашей работе [2] все вычисления проводились в сопровождающей вращение ИМ неинерциальной системе отсчёта, где зеркала ИМ неподвижны.

**П.2.** Сравним результаты [2] и [1]. Выражение для КЭС имеет вид [2]:

$$\Delta\Phi = -\frac{L}{\lambda} \frac{\Omega^2 R^2}{c^2} [\cos^2 \phi \cos(2\psi) - \sin^2 \phi], \quad (1)$$

где  $\Delta\Phi$  — разность фаз в плечах вращающегося ИМ,  $L$  — длина плеча ИМ,  $R$  — радиус вращения ИМ — расстояние от центра вращения до делительного зеркала ИМ (например, радиус земной орбиты),  $\Omega$  — угловая скорость орбитального вращения Земли,  $c$  — скорость света в пустоте,  $\lambda$  — длина волны света,  $\psi$  — угол поворота

одного из плеч ИМ в собственной плоскости относительно прямой линии, которая лежит в этой плоскости,  $\phi$  — угол поворота плоскости, в которой расположен ИМ, относительно оси вращения. В [1] было получено другое выражение для разности фаз в плечах вращающегося ИМ:

$$\Delta\Phi = \Delta t \frac{c}{\lambda} = 2\sqrt{2}\pi \frac{L}{\lambda} \frac{\Omega^2 RL}{c^2} \sin(2\phi) \sin\left(\alpha + \frac{\pi}{4}\right). \quad (2)$$

Угол  $\alpha$  имеет тот же физический смысл, что и угол  $\psi$  в выражении (1) — это угол поворота ИМ, но в общем случае  $\alpha$  и  $\psi$  отсчитываются в разных плоскостях. Различия между (1) и (2) весьма существенны: описываемая (1) разность фаз в плечах ИМ (без учёта безразмерного коэффициента  $L/\lambda$ ) пропорциональна величине  $\Omega^2 R^2/c^2$ , а согласно (2) она пропорциональна величине  $\Omega^2 RL/c^2$ . Поскольку  $R \gg L$ , то очевидно, что КЭС существенно превосходит эффект (2). Далее мы будем рассматривать случай, когда  $\phi = \pi/2 = \text{const}$ , т.е. когда плоскость, в которой расположен ИМ, параллельна плоскости эклиптики и не меняет своей ориентации во времени. В этом случае, как следует из выражения (1), поворот ИМ на угол  $\psi$  не приводит к изменению разности фаз в плечах ИМ  $\Delta\Phi$ , поскольку  $\cos^2 \phi = 0$ . В этом случае проще выделить рассмотренный в [1] эффект.

Введём переменную координату длины плеча ИМ  $l$ , которая лежит в пределах  $0 \leq l \leq L$ , причём отсчёт  $l$  ведётся от точки, где находится делительное зеркало ИМ, а точка  $L$  совпадает с концом того или другого плеча ИМ, там, где находится отражающее зеркало. Длина эффективного радиуса  $R^{\text{eff}}$ , который соединяет центр вращения с точкой  $l$  на плече ИМ, составит:

$$R_1^{\text{eff}}(l) = \sqrt{R^2 + 2Rl \cos \alpha + l^2}, \\ R_2^{\text{eff}}(l) = \sqrt{R^2 + 2Rl \cos\left(\frac{\pi}{2} - \alpha\right) + l^2},$$

где нижние индексы "1" и "2" соответствуют первому и второму плечу ИМ,  $\alpha$  — угол поворота первого плеча ИМ относительно радиуса  $R$ . Среднее значение  $l$  равно  $L/2$ , следовательно, средние значения эффективных радиусов составят

$$R_1^{\text{mid}} = \sqrt{R^2 + RL \cos \alpha + \frac{L^2}{4}}, \\ R_2^{\text{mid}} = \sqrt{R^2 + RL \cos\left(\frac{\pi}{2} - \alpha\right) + \frac{L^2}{4}}, \quad R_{1,2}^{\text{min}} \equiv R.$$

Величины  $R_{1,2}^{\text{mid}}$  определяют среднее значение замедления времени в первом и втором плечах ИМ под влиянием гравитационного потенциала сил Кориолиса в сопроходящей вращению системе отсчёта, а времена распространения света в плечах ИМ в прямом (верхний индекс "+") и обратном (верхний индекс "-") направлениях для кругового движения с угловой скоростью  $\Omega$  составят [2]

$$t_{1,2}^{\pm} = t \sqrt{1 \mp \frac{2\Omega R_{1,2}^{\text{mid}}}{c}},$$

где  $t = L/c$  — время прохождения светом плеча ИМ в одном направлении при отсутствии вращения. Выражение для разности времён распространения света  $\Delta t$  в прямом и обратном направлении в первом и втором

плечах ИМ имеет вид  $\Delta t = t_2^+ + t_2^- - (t_1^+ + t_1^-) = (\sqrt{2} \Omega^2 RL^2/c^3) \sin(\alpha - \pi/4)$ . В этом случае оптическая разность фаз в плечах ИМ, измеренная в ширинах интерференционной полосы ( $2\pi$  рад), составит:

$$\Delta\Phi = \Delta t \frac{c}{\lambda} = \sqrt{2} \frac{L}{\lambda} \frac{\Omega^2 RL}{c^2} \sin\left(\alpha - \frac{\pi}{4}\right). \quad (3)$$

Выражение (3) отличается от (2) только множителем  $2\pi$ . Это связано с тем, что в [2] и данной работе выражения для  $\Delta\Phi$  приводятся в ширинах интерференционной полосы, а в [1] в радианах. Различие в знаке разности фаз объясняется различием нумерации плеч ИМ в (3) и (2). Таким образом, мы показали, что незначительное различие эффективных значений радиусов  $R^{\text{eff}}$ , которое не рассматривалось в [2], приводит к малой поправке в результатах [2] или, что то же самое, ко второму приближению по  $R^{\text{eff}}$ , которое и есть рассмотренный в [1] слабый эффект.

**П.3.** Теперь ответим на основные критические замечания и претензии [5] к нашей работе [2]. Ниже цитаты из [5] даются курсивом, а ссылки внутри цитат в соответствии с их нумерацией в [5].

**П.3.1.** [5]: *...сдвиг фаз, возникающий в равномерно вращающемся произвольно ориентированном равноплечном интерферометре Майкельсона уже был вычислен в самом общем случае в работе [5] (по каким-то причинам ошибочно процитированной лишь под номером [53] в [1]).*

Как показано в П.1, в [1] была допущена ошибка, а сами результаты [1], как показано в П.2, есть поправка более высокого порядка по длине эффективного радиуса вращения  $R^{\text{eff}}$  к результатам [2]. Что касается порядка следования ссылок, то это дело авторов. Тем более что, как показано в [8], работа П. Маранера [1] — это далеко не первая неудачная попытка объяснить ненулевые результаты экспериментов ММ и их классических повторений вращением ИМ.

**П.3.2.** [5]: *...в пределе очень больших радиусов вращения  $R$ , при сохранении постоянной скорости вращения  $V = \Omega R$ , равномерное вращение приближается к движению по инерции, и сдвиг фаз в равностороннем интерферометре Майкельсона должен, соответственно, стремиться к нулю. Это верно для выражения (2), которое приближается к нулю как  $1/R$ . Это не так для выражения (1), которое остаётся постоянным. Следовательно, результат Малыкина и Поздняковой представляется мне находящимся в противоречии со специальной теорией относительности.*

Утверждение о превращении неинерциальной вращающейся системы отсчёта в ИСО при  $\Omega R = \text{const}$  и  $R \rightarrow \infty$  довольно часто используется противниками СТО. Если бы оно было верно, то при этих условиях исчез бы, например, эффект Саньяка [9, 10], который имеет место только во вращающейся неинерциальной системе отсчёта.

**П.3.3.** [5]: *Силы Кориолиса являются взаимодействиями, зависящими от скорости... Как таковые, они не могут быть описаны на языке скалярного потенциала, а могут быть выведены только из векторного потенциала. Даже если в иных обстоятельствах авторы заявили, что "понятие скалярного потенциала может быть введено для таких сил с определёнными ограничениями и оговорками" [11], ни в каком случае силы Кориолиса не вызывают растяжение времени.*

Скалярный потенциал сил Кориолиса, как и скалярный потенциал любых других сил, приводит к замедлению времени и влияет на распространение света [11]. 02.02.1952 г. в беседе с Р.С. Шенкландом А. Эйнштейн указал [12]: "...Все ускорения такого типа, включая всё связанное с силами Кориолиса, совершенно неотличимы от тяготений". В частности, этот потенциал использовался для расчёта величины эффекта Саньяка в системе отсчёта, сопровождающей вращение кольцевого интерферометра [9, 10] и кольцевого лазера [13], что позволило получить корректный результат [9, 10, 13]. Ограничения накладываются на скалярный потенциал  $U$  сил любой природы и заключаются в выполнении условия  $U \ll c^2$  [11]. При рассмотрении вращения оптического интерферометра любого типа, в том числе и ИМ, это условие заведомо выполняется, поскольку при больших угловых скоростях основание интерферометра будет разорвано центробежными силами.

**П.3.4.** [5]: ... Что касается экспериментальных результатов Миллера, мы можем удовлетвориться общепринятым анализом Шенкланда с соавторами [4].

Эксперименты Д.К. Миллера [14] проводились на продуваемой ветрами горе в лёгком деревянном строении с брезентовой крышей и завешенными брезентом большими оконными проёмами — для лучшего прохождения "эфирного ветра" (надо полагать, и обычного ветра). Поэтому нельзя исключить, что на результаты измерений [14] влияли, как предполагается в [15], температурные эффекты. Но эксперименты ММ [3, 4] и ряда их классических повторений проводились в глубоких подвалах при постоянной температуре. Так, в экспериментах Г. Иооса в [16] основание ИМ было изготовлено из плавного кварца, обладающего очень малым КТР, а само основание с ИМ было помещено в герметический корпус из силумина, допускающий возможность откачки воздуха. Вся установка находилась в подвале. Тем не менее, как в [3, 4], так и в [16] наблюдалось периодическое изменение разности фаз в плечах ИМ при его повороте. По порядку величины результаты [3, 4, 16] хорошо согласуются с результатами [2].

Работа поддержана проектами по Государственному заданию 0035-2014-0018 (Биофотон-2) и 0036-2014-0002, а также частично грантом совета при Президенте РФ по поддержке ведущих научных школ НШ-8489.2016.2.2.

#### Примечание при корректуре

В своём примечании к работе [5] П. Маранер высказал два ошибочных, на наш взгляд, утверждения:

#### On inconsistencies in the work of P. Maraner

(reply to comment [*Usp. Fiz. Nauk* **186** 793 2016] to the paper "Quadratic Sagnac effect — the influence of gravitational potential of Coriolis force on the phase difference between the arms of a rotating Michelson interferometer (an explanation of D C Miller's experimental results, 1921–1926)" (*Usp. Fiz. Nauk* **185** 431 (2015) [*Phys. Usp.* **58** 398 (2015)])

G.B. Malykin<sup>(1)</sup>, V.I. Pozdnyakova<sup>(2)</sup>

<sup>(1)</sup> The Federal Research Center The Institute of Applied Physics Russian Academy of Sciences, ul. Ul'yanova 46, BOX, 603950 Nizhny Novgorod, Russian Federation

<sup>(2)</sup> Institute for Physics of Microstructure Russian Academy of Sciences, Branch of the Federal Research Center The Institute of Applied Physics of the Russian Academy of Sciences, BOX, 603950 Nizhny Novgorod, Russian Federation

E-mail: <sup>(1)</sup> malykin@ufp.appl.sci-nnov.ru, <sup>(2)</sup> vera@ipmras.ru

We consider the distributions of the scalar gravitational potential of Coriolis forces in different parts of the shoulder rotating equal-arms Michelson interferometer. It results in view of the very small difference between the phase of light in the shoulders of the Michelson interferometer, in comparison with the phase difference due to the quadratic Sagnac effect. It has been shown that it is there is an effect discussed earlier by P. Maraner, which is higher approximation quadratic Sagnac effect.

**Keywords:** Michelson interferometer, Coriolis force, gravitational potential, Earth orbital motion rotation

PACS number: **03.30.+p**

Bibliography — 19 references

*Uspekhi Fizicheskikh Nauk* **186** (7) 796–798 (2016)

DOI: 10.3367/UFNr.2016.02.037737

1. Квадратичный эффект Саньяка не существует, а имеет место только предсказанный им ранее [1] существенно более слабый эффект, причём для подтверждения этого им был произведён перерасчёт результатов [1] с помощью ОТО [17].

2. При больших значениях радиуса кольцевого интерферометра  $R$  и при  $\Omega R = \text{const}$ , где  $\Omega$  — угловая скорость вращения интерферометра, разность фаз встречных волн, обусловленная эффектом Саньяка, стремится к нулю.

Последнее утверждение направлено на отрицание справедливости СТО и было высказано им ранее в работе [18]. Объём данного примечания не позволяет провести анализ ошибок в примечании к [5]. Отметим только, что критический анализ 1-го ошибочного утверждения Маранера и, соответственно, его работы [1] проведён в данном сообщении и будет представлен более детально в [19]. Критический анализ 2-го утверждения Маранера и, соответственно, его работы [18] будет являться предметом отдельного рассмотрения в другой публикации, равно как и критический анализ его работы [17].

#### Список литературы

1. Maraner P *Ann. Physics* **350** 95 (2014)
2. Малькин Г Б, Позднякова В И *УФН* **185** 431 (2015); Malykin G B, Pozdnyakova V I *Phys. Usp.* **58** 398 (2015)
3. Michelson A A *Am. J. Sci.* **3** 22 120 (1881)
4. Michelson A A, Morley E W *Am. J. Sci.* **3** 34 333 (1887)
5. Маранер П *УФН* **186** 793 (2016); Maraner P *Phys. Usp.* **59** (7) (2016) DOI:10.3367/UFNe.2015.12.037675
6. Болотовский Б М, Столяров С Н *УФН* **159** 155 (1989); Bolotovskii B M, Stolyarov S N *Sov. Phys. Usp.* **32** 813 (1989)
7. Einstein A *Ann. Physik* **17** 891 (1905); Пер. на русск. яз.: Эйнштейн А *Собрание научных трудов* Т. 1 (М.: Наука, 1965) с. 7
8. Малькин Г Б, Позднякова В И *УФН* **185** 895 (2015); Malykin G B, Pozdnyakova V I *Phys. Usp.* **58** 828 (2015)
9. Малькин Г Б *УФН* **170** 1325 (2000); Malykin G B *Phys. Usp.* **43** 1229 (2000)
10. Малькин Г Б *УФН* **172** 969 (2002); Malykin G B *Phys. Usp.* **45** 907 (2002)
11. Einstein A *Jahrbuch Radioaktivität Elelektronik* **4** 411 (1907); Пер. на русск. яз.: Эйнштейн А *Собрание научных трудов* Т. 1 (М.: Наука, 1965) с. 165
12. Shankland R S *Am. J. Phys.* **31** 47 (1963); Пер. на русск. яз.: Шэнкленд Р *УФН* **87** 711 (1965)
13. Малькин Г Б *УФН* **184** 775 (2014); Malykin G B *Phys. Usp.* **57** 714 (2014)
14. Miller D C *Rev. Mod. Phys.* **5** 203 (1933)
15. Shankland R S et al. *Rev. Mod. Phys.* **27** 167 (1955)
16. Joos G *Naturwissenschaften* **19** 784 (1931); Пер. на русск. яз.: Иоос Г *УФН* **12** 136 (1932)
17. Maraner P *Gen. Relativ. Gravit.* **48**:82 (2016)
18. Maraner P, Zendri J-P *Gen. Relat. Grav.* **44** 1713 (2012)
19. Малькин Г Б, Позднякова В И *Оптика и спектрос.* **121** (2016) принята к печати; Malykin G B, Pozdnyakova V I *Opt. Spectrosc.* **121** (2016) in press

Received 3 February 2016

*Physik – Uspekhi* **59** (7) (2016)

DOI: 10.3367/UFNe.2016.02.037737