

ОЦЕНКА ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ МНОГОПРОХОДНОЙ СХЕМЫ ИНТЕРФЕРОМЕТРА ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ ЭФФЕКТА ФИЗО

Т.М. Гладышева

vgladyshhev@mail.ru

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация

Аннотация

Выполнены расчеты интенсивности излучения для двухлучевой многопроходной схемы лазерного интерферометра с вращающимся оптическим диском при вводе излучения через плоскую поверхность. Полученные выражения позволяют оценить чувствительность интерферометра к скорости движения диэлектрика, а также выбрать материал оптических элементов для обеспечения максимальной чувствительности. Результаты могут быть использованы при создании прецизионного лазерного интерферометра, предназначенного для изучения процессов взаимодействия электромагнитного излучения с движущейся оптической средой

Ключевые слова

Электромагнитное излучение, эффект Физо, лазерный интерферометр, интенсивность, движущаяся среда

Поступила в редакцию 10.02.2016

© МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2016

Введение. Современные системы координатного навигационного обеспечения используют лазерные дальномерные системы, которые в перспективе могут стать эталонным обеспечением точности глобальной координатной системы Земли [1]. Лазерное излучение проходит в движущейся атмосфере [2], а также взаимодействует с движущимися оптическими элементами (например, с микроспутником в виде линзы Люнеберга [3]), что приводит к необходимости учета эффектов оптики движущихся сред. В связи с этим исследование процессов взаимодействия электромагнитного излучения с движущейся средой представляет актуальную задачу, имеющую практические приложения. Подобные исследования также имеют фундаментальные приложения, в частности, результаты необходимы для определения влияния дисперсии материалов на увлечение света в движущейся среде, могут быть использованы в качестве трехмерного теста электродинамики движущихся сред, поиска анизотропии скорости света [4–7].

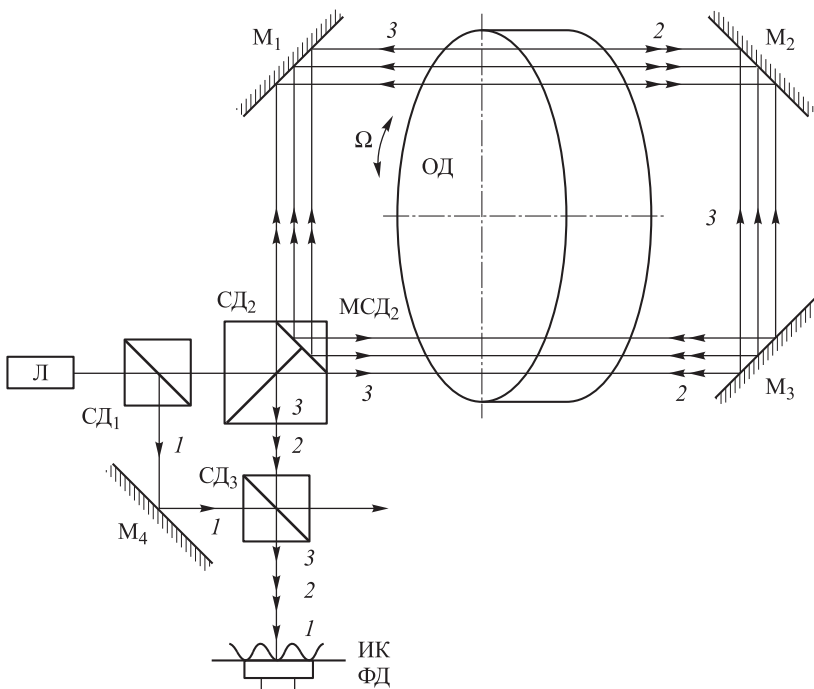
Для высокоточного исследования эффектов оптики движущихся сред созданы прецизионные интерферометры [8, 9], чувствительность которых зависит от оптического пути L электромагнитной волны в движущейся среде и скорости \vec{v} ее движения [10, 11]. Однако увеличение этих параметров ограничено по техническим причинам [12]. Один из способов повышения чувствительности интерферометра — увеличение числа проходов в движущейся среде, что подра-

зумекает создание новых оптических схем, обладающих резервами повышения чувствительности [13].

Аналитическое описание процессов распространения когерентного электромагнитного излучения в движущейся среде основано на расчете волнового вектора электромагнитной волны, трансформации фаз лучей при прохождении через движущуюся среду, углового отклонения лучей [14].

В настоящей работе для оценки чувствительности предлагаемой оптической схемы интерферометра в долях интерференционных полос выполнен расчет разности фаз когерентных лучей, прошедших среду в противоположных направлениях, а также получено выражение для интенсивности электромагнитного излучения в плоскости регистрации интерференционной картины. На основе указанного выражения проведены расчеты, позволяющие осуществить настройку интерферометра для обеспечения максимальной чувствительности к смещению полос, вызванному движением среды.

Интенсивность интерференционной картины для двухлучевой многопроходной схемы дискового интерферометра. Для увеличения оптического пути в движущейся среде предложена схема интерферометра, в которой число проходов луча через движущуюся среду переменное и зависит от юстировки интерферометра. Двухлучевая многопроходная схема лазерного интерферометра приведена на рисунке. Многопроходность обеспечивается отражением све-



Двухлучевая многопроходная схема дискового оптического интерферометра:

1–3 — лучи; СД₁– СД₃ — светоделители; М₁–М₄ — зеркала; ФД — фотодетектор; ОД — оптический датчик; МСД₂ — зеркальная поверхность второго светоделителя; ИК — интерференционная картина

товых лучей, проходящих оптический диск в противоположных направлениях, и специальной плоской гранью светоделительного куба.

Луч от лазера L делится на светоделителе $СД_1$ на два луча (первый луч — луч 1 , второй луч — лучи 2 и 3). Луч 1 отражается от зеркала $М_4$, смешивается на светоделителе $СД_3$ с лучами 2 и 3 , и попадает на чувствительную площадку фотодетектора $ФД$. Второй луч делится на светоделителе $СД_2$ на луч 2 и луч 3 , которые распространяются в интерферометре по часовой и против часовой стрелки соответственно. Лучи отражаются от зеркал $М_1$ – $М_3$ и проходят через оптический диск $ОД$, вращающийся с угловой скоростью Ω .

Далее лучи 2 и 3 попадают на внешнюю зеркальную поверхность $МСД_2$ второго светоделителя, отражаются, и снова повторяют цикл отражений на зеркалах $М_1$ – $М_3$, при этом дважды проходят оптический диск. После нескольких проходов зеркальной поверхности $МСД_2$ лучи, пройдя второй светоделитель $СД_2$, попадают на фотодетектор и смешиваются с лучом 1 . При прохождении оптического диска лучи 2 и 3 получают сдвиг фаз противоположных знаков, так как проекции векторов скорости среды на волновые векторы имеют разные знаки. В результате это приведет к смещению интерференционных полос. Луч 1 используют для настройки интерферометра на рабочую точку фазовой кривой в целях обеспечения максимальной чувствительности.

Используя обозначения для амплитудных коэффициентов отражения и пропускания $R_1, T_1, R_2, T_2, R_3, T_3$ для светоделителей $СД_1$ – $СД_3$ соответственно, а также принимая амплитудные коэффициенты отражения равными единице для остальных отражающих поверхностей, можно записать, что амплитуды лучей 1 – 3 после прохождения светоделителя $СД_3$ составят:

$$E_{ФД1} = R_1 R_3 E_0 \exp[-i(\omega_e t + \varphi_0 + k_e L_1)];$$

$$E_{ФД2} = T_1 R_2^2 T_3 E_0 \exp[-i(\omega_e t + \varphi_0 + k_e (L_1 + 2(k+1)\Delta L))];$$

$$E_{ФД3} = T_1 T_2^2 T_3 E_0 \exp[-i(\omega_e t + \varphi_0 + k_e (L_2 - 2(k+1)\Delta L))],$$

где L_1 — геометрический путь, образованный последовательным прохождением оптических элементов $СД_1$ – $М_3$ – $СД_2$; L_2 — геометрический путь, образованный прохождением элементов $СД_1$ – $М_3$ – $М_2$ – $М_1$ – $СД_2$ – ... – $СД_2$ – $СД_3$; k — число переотражений на внешней зеркальной поверхности $МСД_2$.

В многопроходной схеме смещение интерференционных полос увеличивается пропорционально числу проходов оптического диска. Для такой схемы выражение для разности оптического хода имеет вид

$$\Delta L = \frac{16\omega\sqrt{R^2 - r_0^2} (n_2^2 - 1)(k+1)}{c} (2r_0 - k\Delta r_0).$$

Здесь n_2 — показатель преломления материала оптического диска; Δr_0 — расстояние между соседними лучами, идущими в оптический датчик после

отражения от внешней зеркальной поверхности светоделителя СД₂. Отметим, что $\Delta L = \lambda \Delta$, где Δ — смещение интерференционных полос, выраженное в длинах волн излучения.

Если пренебречь сдвигом пучков лучей к центру диска, то должно выполняться равенство $\Delta r_0 = 0$. Тогда, используя условие эффективного ввода лучей в оптический диск $r_0 = R / \sqrt{2}$ можно записать

$$\Delta L_{\max} \approx \frac{4\Omega R^2 (n_2^2 - 1)(k+1)}{c}.$$

Выполним оценку смещения интерференционных полос для параметров существующего интерферометра [13]. Подставляя значения $\Omega = 630$ рад/с, $n_2 = 1,5$, $\lambda = 0,6328$ мкм, $R = 0,05$ м, получаем значения смещения полос $\Delta_{\max} = 0,0066; 0,0132; 0,0198; 0,0264$ при $k = 0,1,2,3$.

Согласно принципу суперпозиции, суммарная амплитуда на чувствительной площадке фотодетектора равна

$$E(t) = E_0(t) \exp(-i(\omega_e t + \varphi_0)) \{ R_1 R_3 \exp[-ik_e L_1] + T_1 R_2^2 T_3 \exp[-ik_e (L_2 + 2(k+1)\Delta L)] + T_1 T_2^2 T_3 \exp[-ik_e (L_2 - 2(k+1)\Delta L)] \}.$$

Интенсивность в плоскости анализа интерференционной картины для двухлучевой однопроходной схемы определяют по формуле

$$I_i(t) = \frac{1}{2} \varepsilon_0 c E_i(t) E_i^*(t),$$

где ε_0 — диэлектрическая постоянная; c — скорость света в вакууме; $E_i^*(t)$ — комплексно-сопряженная величина для амплитуды световой волны $E_i(t)$.

Интенсивность в плоскости анализа интерференционной картины для двухлучевой многопроходной схемы составит

$$I(t) = \frac{1}{2} \varepsilon_0 c E_0^2(t) \{ R_1 R_3 \exp[-ik_e L_1] + T_1 R_2^2 T_3 \exp[-ik_e (L_2 + 2(k+1)\Delta L)] + T_1 T_2^2 T_3 \exp[-ik_e (L_2 - 2(k+1)\Delta L)] \} \{ R_1 R_3 \exp[ik_e L_1] + T_1 R_2^2 T_3 \exp[ik_e (L_2 + 2(k+1)\Delta L)] + T_1 T_2^2 T_3 \exp[ik_e (L_2 - 2(k+1)\Delta L)] \}.$$

После преобразований приведенное выражение можно переписать в виде

$$I(t) = \frac{1}{2} \varepsilon_0 c E_0^2(t) \{ R_1^2 R_3^2 + T_1^2 R_2^4 T_3^2 + T_1^2 T_2^4 T_3^2 + R_1 R_2^2 R_3 T_1 T_3 [\exp[-ik_e (L_2 - L_1 + 2(k+1)\Delta L)] + \exp[ik_e (L_2 - L_1 + 2(k+1)\Delta L)]] + R_1 R_3 T_1 T_2^2 T_3 [\exp[-ik_e (L_2 - L_1 + 2(k+1)\Delta L)] + \exp[ik_e (L_2 - L_1 + 2(k+1)\Delta L)]] + T_1^2 T_2^2 T_3^2 R_2^2 [\exp[ik_e (L_2 + 2(k+1)\Delta L)] + \exp[ik_e (L_2 - 2(k+1)\Delta L)]] \}.$$

Используя формулы Эйлера, преобразуем это выражение к более компактной форме

$$\begin{aligned}
 I(t) = & \frac{1}{2} \varepsilon_0 c E_0^2(t) \{ R_1^2 R_3^2 + T_1^2 R_2^4 T_3^2 + T_1^2 T_2^4 T_3^2 + \\
 & + R_1 R_2^2 R_3 T_1 T_3 \cos k_e (L_2 - L_1 + 2(k+1)\Delta L) + \\
 & + R_1 R_3 T_1 T_2^2 T_3 \cos k_e (L_2 - L_1 - 2(k+1)\Delta L) + \\
 & + T_1^2 T_2^2 T_3^2 R_2^2 \cos 4k_e (k+1)\Delta L \}. \quad (1)
 \end{aligned}$$

С помощью юстировки можно управлять положением рабочей точки на фазовой кривой. Примем, что интерферометр удовлетворяет условию фазовой настройки $k_e L_1 - k_e L_2 = 2\pi n + \delta$, где n — натуральное число; δ — фазовая настройка интерферометра. Тогда уравнение (1) можно переписать в виде

$$\begin{aligned}
 I(t) = & \frac{1}{2} \varepsilon_0 c E_0^2(t) \{ R_1^2 R_3^2 + T_1^2 T_3^2 (R_2^4 + T_2^4) + \\
 & + 2R_1 R_3 T_1 T_3 (R_2^2 \cos(\delta + 2(k+1)k_e \Delta L) + \\
 & + T_2^2 \cos(\delta - 2(k+1)k_e \Delta L)) + 2R_2^2 T_1^2 T_2^2 T_3^2 \cos(4k_e (k+1)\Delta L) \}. \quad (2)
 \end{aligned}$$

Если оптический диск неподвижен, то зависимость интенсивности излучения на фотодетекторе приводится к виду

$$I(t) = \frac{1}{2} \varepsilon_0 c E_0^2(t) \{ R_1^2 R_3^2 + T_1^2 T_3^2 (R_2^2 + T_2^2)^2 + 2R_1 R_3 T_1 T_3 (R_2^2 + T_2^2) \cos \delta \}.$$

Полученные выражения достаточно точно позволяют оценить чувствительность интерферометра к движению оптической среды в виде вращающегося стеклянного диска.

Сравнение чувствительности различных схем дискового оптического интерферометра. Рассмотрим предложенную схему интерферометра и сравним ее чувствительность к движению оптической среды с чувствительностью однопроходного интерферометра [12].

Выполним сравнение выражения для интенсивностей, полагая, что основным параметром, характеризующим движение оптической среды, является разность хода интерферирующих лучей на фотодетекторе.

Для двухлучевой однопроходной схемы дискового интерферометра с вводом излучения в плоскую торцевую поверхность интенсивность составит $I_1(t) = I_0(t) \{ a_1 + \kappa_1 \cos \delta_+(0) \}$. Перепишем выражение (2):

$$I_k(t) = I_0(t) \{ a_2 + \kappa_2 (R_2^2 \cos \delta_+(k) + T_2^2 \cos \delta_-(k)) + \kappa_3 \cos(\delta_+(k) - \delta_-(k)) \}.$$

Здесь $a_1 = R_1^2 R_2^2 + T_1^2 T_2^2$; $a_2 = R_1^2 R_3^2 + T_1^2 T_3^2 (R_2^4 + T_2^4)$; $\kappa_1 = 2R_1 R_2 T_1 T_2$; $\kappa_2 = 2R_1 R_3 T_1 T_3$; $\kappa_3 = 2R_2^2 T_1^2 T_2^2 T_3^2$; $\delta_+(k) = \delta + 2(k+1)k_e \Delta L$; $\delta_-(k) = \delta - 2(k+1)k_e \Delta L$.

Чувствительность соответствующих схем к вариациям разности хода $d\Delta L$ будет характеризоваться частными дифференциалами:

$$dI_1(t) = -2I_0(t)k_e\kappa_1 \sin\delta_+(0)d\Delta L; \quad (3)$$

$$dI_k(t) = -2(k+1)I_0(t)k_e \left\{ \kappa_2 \left[R_2^2 \sin\delta_+(k) - T_2^2 \sin\delta_-(k) \right] + 2\kappa_3 \sin(\delta_+(k) - \delta_-(k)) \right\} d\Delta L. \quad (4)$$

Очевидно, что чувствительность выбранных схем будет различной в зависимости от фазовой настройки δ интерферометров, поэтому необходимо найти оптимальные значения фазовых настроек. Для этого получим вторые частные производные по переменной δ :

$$\frac{d^2 I_1}{d\delta^2} = -I_0(t)\kappa_1 \cos\delta_+(0);$$

$$\frac{d^2 I_k}{d\delta^2} = -I_0(t)\kappa_2 \left(R_2^2 \cos\delta_+(k) + T_2^2 \cos\delta_-(k) \right).$$

Приравняв частные производные нулю, найдем соотношения для оптимальных фазовых настроек интерферометров при $R_2 = T_2$:

$$\delta_{1\text{opt}} = \frac{\pi}{2} - 2k_e\Delta L + n\pi, \quad n \in Z; \quad (5)$$

$$\delta_{k\text{opt}} = \frac{\pi}{2} + n\pi, \quad n \in Z. \quad (6)$$

Подставив выражения (5), (6) в (3), (4), найдем отношение dI_k / dI_1 в приближении $k_e\Delta L \ll 1$ и при условии $R_i^2 = T_k^2 = R^2$:

$$\frac{dI_k}{dI_1} = 8(k+1)R^4 k_e \Delta L. \quad (7)$$

После подстановки в (7) конкретных значений коэффициентов $\Delta L \approx 10^{-2}\lambda$, $k_e = 2\pi/\lambda$ можно получить, что искомое отношение равно $4\pi(k+1)^2 \cdot 10^{-2}$, которое при $k \geq 2$ больше единицы, а, следовательно, чувствительность многопроходной схемы выше чувствительности однопроходной схемы.

Используя в качестве оценки параметры $k = 0$, $k_e = 10^7 \text{ м}^{-1}$, $R^2 = 0,5$, можно получить, что зависимость dI_k / I_k имеет экстремум в области $2 \cdot 10^{-4}\lambda$, в которой достигает значения $2 \cdot 10^6$.

Выполненные оценки указывают на большое относительное изменение интенсивности вследствие вращения диска в плоскости анализа интерференционной картины для многопроходной схемы.

Отметим, что для различных схем интерферометров одна и та же скорость вращения оптического диска будет приводить к различным значениям разности хода $d\Delta L$. Это должно быть учтено при расчете значения dI_k . Кроме того, на значение dI_k будет влиять деформация вращающегося диска [15, 16].

В общем случае расчет интенсивностей в плоскости анализа интерференционной картины связан с выбором параметров оптического излучения, параметров диска, скорости его вращения, особенностей системы регистрации.

Заключение. Полученные выражения для расчета интенсивностей в плоскости анализа интерференционной картины, а также для расчета приращений интенсивности при вариациях разности хода интерферирующих лучей, прошедших вращающийся оптический диск, могут быть использованы при создании многопроходного дискового оптического интерферометра.

Уравнения для интенсивностей и фаз электромагнитных волн позволяют осуществлять выбор параметров оптических элементов, обеспечивая максимальную чувствительность интерферометра.

В заключение следует отметить, что исследование эффектов оптики движущихся сред имеет значение в экспериментах, где электромагнитная волна взаимодействует с движущейся средой. Например, в современных гравитационных антеннах гравитационно-волновые всплески приводят к смещению оптических элементов интерферометра, включая светоделительные элементы. Это должно приводить к влиянию эффектов Доплера и Физо на фазу когерентного излучения [17], а также к влиянию дисперсии оптического материала. Возможно, что влияние этих эффектов окажется сравнительно малым, однако, учитывая то, что гравитационные волны приводят к очень слабым возмущениям метрики пространства, указанные эффекты могут оказаться существенными.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Серापинас Б.Б.* Глобальные системы позиционирования. М.: ИКФ «Каталог», 2002. 106 с.
2. *Гладышев В.О., Кауц В.Л., Тиунов П.С., Челноков М.Б.* Влияние движения атмосферы Земли на точность координатно-временного обеспечения // Труды ИПА РАН. 2013. № 27. С. 156–160.
3. *Gladyshev V.O., Tereshin A.A., Yavorskiy A.V., Bazleva D.D.* The propagation of monochromatic electromagnetic radiation inside of Luneburg lens in relative coordinate frame of reference // In bk.: 2015 5th International workshop on computer science and engineering: information processing and control engineering, WCSE 2015–IPCE, 15–17 April, Science and Engineering Institute, USA, 2015. P. 213–219.
4. *De Haan V.* Asymmetric Mach — Zehnder fiber interferometer test of the anisotropy of the speed of light // Can. J. Phys. 2009. Vol. 87. P. 1073–1078.
5. *Trimmer W.S.N., Baierlein R.F., Faller J.E., Hill H.A.* Experimental search for anisotropy in the speed of light // Phys. Rev. D: Part. Fields. 1973. Vol. 8. P. 3321–3326.
6. *Анизотропия пространства скоростей электромагнитного излучения в движущихся средах / В.О. Гладышев, Т.М. Гладышева, М. Дашко, Г.В. Подгузов, Н. Трофимов, Е.А. Шарандин // Гиперкомплексные числа в геометрии и физике. 2006. Т. 3. № 6-2. С. 175–189.*
7. *Исследование анизотропии пространства скоростей электромагнитного излучения в движущейся среде / В.О. Гладышев, П.С. Тиунов, А.Д. Леонтьев, Т.М. Гладышева, Е.А. Шарандин // ЖТФ. 2012. Т. 82. № 11. С. 54–63.*
8. *Bilger H.R., Storvell W.K.* Light drag in a ring laser: An improved determination of the drag coefficient // Phys. Rev. A. 1977. Vol. 16. No. 1. P. 313–319.
9. *Sanders G.A., Ezekiel S.* Measurement of Fresnel drag in moving media using a ring-resonator technique // J. Opt. Soc. Am. B. 1988. Vol. 5. No. 3. P. 674–678.

10. Gladyshev V., Gladysheva T., Zubarev V. Propagation of electromagnetic waves in complex motion media // Journal of Engineering Mathematics. 2006. Vol. 55. No. 1–4. P. 235–250.
11. Гладышев В.О. Распространение плоской монохроматической электромагнитной волны в среде со сложным движением // ЖТФ. 1999. Т. 69. № 5. С. 97–100.
12. Первые результаты измерения зависимости пространственного увлечения света во вращающейся среде от скорости вращения / В.О. Гладышев, Т.М. Гладышева, М.И. Дашко, Н.Е. Трофимов, Е.А. Шарандин // Письма в ЖТФ. 2007. Т. 33. № 21. С. 17–24.
13. Гладышев В.О., Гладышева Т.М., Зубарев В.Е. Регистрация эффекта увлечения света в дисковом оптическом интерферометре // Письма в ЖТФ. 2002. Т. 28. № 3. С. 88–94.
14. Болотовский Б.М., Столяров С.Н. Отражение света от движущегося зеркала и родственные задачи // УФН. 1989. Т. 159. Вып. 1. С. 155–180.
DOI: 10.3367/UFNr.0159.198909f.0155

Гладышева Татьяна Михайловна — канд. техн. наук, доцент кафедры «Физика» МГТУ им. Н.Э. Баумана (Российская Федерация, 105005, Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5).

Просьба ссылаться на эту статью следующим образом:

Гладышева Т.М. Оценка чувствительности многопроходной схемы интерферометра для изучения эффекта Физо // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. Естественные науки. 2016. № 4. С. 88–96. DOI: 10.18698/1812-3368-2016-4-88-96

ESTIMATION OF SENSIBILITY OF A TWO-BEAM MULTI-WAY SCHEME OF AN INTERFEROMETER FOR FIZEAU EFFECT INVESTIGATION

T.M. Gladysheva

vgladyshev@mail.ru

Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation

Abstract

The work is devoted to research of a precision laser interferometer intended to study the spatial effect of dragging of light by a rotating optical medium. The expression for calculating the intensity of the radiation on the plane of the localization of the interference picture for a two-beam multi-way scheme of the interferometer with the introduction of radiation into the butt-end surface of the optical disc have been obtained. Expressions for calculating the intensity and phases of electromagnetic waves allow to select such optical elements for the interferometer which provide the interferometer with maximal sensibility. The expression obtained side by side with the solution of wave equations for a rotating medium allowing to calculate the shift of the beam phases going through the medium constitute the basis of the mathematical model of a laser disc optical interferometer

Keywords

Electromagnetic radiation, Fizeau effect, laser interferometer, intensity, moving medium

REFERENCES

- [1] Serapinas B.B. Global'nye sistemy pozitsionirovaniya [Global positioning systems]. Moscow, IKF Katalog Publ., 2002. 106 p.
- [2] Gladyshev V.O., Kauts V.L., Tiunov P.S., Chelnokov M.B. Effect of the Earth's atmosphere movement on the precision of coordinate and time support. *Tr. Inst. Prikl. Astr. RAN* [Proc. Inst. Appl. Astr., Russ. Acad. Sci.], 2013, no. 27, pp. 156–160 (in Russ.).

- [3] Gladyshev V.O., Tereshin A.A., Yavorskiy A.V., Bazleva D.D. The propagation of monochromatic electromagnetic radiation inside of Luneburg lens in relative coordinate frame of reference. In *bk.: 2015 5th International workshop on computer science and engineering: information processing and control engineering, WCSE 2015-IPCE, 15-17 April*. Science and Engineering Institute, USA, 2015, pp. 213–219.
- [4] De Haan V. Asymmetric Mach — Zehnder fiber interferometer test of the anisotropy of the speed of light. *Can. J. Phys.*, 2009, vol. 87, pp. 1073–1078.
- [5] Trimmer W.S.N., Baierlein R.F., Faller J.E., Hill H.A. Experimental search for anisotropy in the speed of light. *Phys. Rev. D: Part. Fields*, 1973, vol. 8, pp. 3321–3326.
- [6] Gladyshev V.O., Gladysheva T.M., Dashko M., Podguzov G.V., Trofimov N., Sharandin E.A. The anisotropy of the space of velocities of the electromagnetic radiation in moving media. *Giperkompleksnye chisla v geometrii i fizike* [Hypercomplex Numbers in Geometry and Physics], 2006, vol. 3, no. 6-2, pp. 175–189 (in Russ.).
- [7] Gladyshev V.O., Tiunov P.S., Leont'ev A.D., Gladysheva T.M., Sharandin E.A. Anisotropy of the velocity space of electromagnetic radiation in a moving medium. *Technical Physics*, 2012, vol. 57, no. 11, pp. 1519–1528.
- [8] Bilger H.R., Storvell W.K. Light drag in a ring laser: An improved determination of the drag coefficient. *Phys. Rev. A*, 1977, vol. 16, no. 1, pp. 313–319.
- [9] Sanders G.A., Ezekiel S. Measurement of Fresnel drag in moving media using a ring-resonator technique. *J. Opt. Soc. Am. B*, 1988, vol. 5, no. 3, pp. 674–678.
- [10] Gladyshev V., Gladysheva T., Zubarev V. Propagation of electromagnetic waves in complex motion media. *Journal of Engineering Mathematics*, 2006, vol. 55, no. 1–4, pp. 235–250.
- [11] Gladyshev V.O. Propagation of a monochromatic electromagnetic plane wave in a medium with nonsimple motion. *Tech. Phys.*, 1999, vol. 44, no. 5, pp. 566–569.
- [12] Gladyshev V.O., Gladysheva T.M., Dashko M., Trofimov N., Sharandin E.A. First results of measurements of the rotation speed effect on the spatial entrainment of light in a rotating medium. *Tech. Phys. Lett.*, 2007, vol. 33, no.11, pp. 905–908.
- [13] Gladyshev V.O., Gladysheva T.M., Zubarev V.E. The effect of light entrainment observed in an optical disk interferometer. *Thech. Phys. Lett.*, 2002, vol. 28, no. 2, pp. 123–125.
- [14] Bolotovskiy B.M., Stolyarov S.N. Reflection of light from a moving mirror and related problems. *Sov. Phys. Usp.*, 1989, vol. 32, pp. 813–827.
DOI: 10.1070/PU1989v032n09ABEH002759

Gladysheva T.M. — Cand. Sci. (Eng.), Assoc. Professor of Physics Department, Bauman Moscow State Technical University (2-ya Baumanskaya ul. 5, Moscow, 105005 Russian Federation).

Please cite this article in English as:

Gladysheva T.M. Estimation of Sensibility of a Two-Beam Multi-Way Scheme of an Interferometer for Fizeau Effect Investigation. *Vestn. Mosk. Gos. Tekh. Univ. im. N.E. Baumana, Estestv. Nauki* [Herald of the Bauman Moscow State Tech. Univ., Nat. Sci.], 2016, no. 4, pp. 88–96. DOI: 10.18698/1812-3368-2016-4-88-96