

Проведение и обработка результатов эксперимента по исследованию 3-х мерного эффекта Физо

77-30569/324148

04, апрель 2012

Тиунов П. С.

УДК 530

Россия, МГТУ им. Н.Э. Баумана
pavel.tiunov@gmail.com

Введение

Экспериментальные исследования в области оптики движущихся сред берут свое начало в исследованиях Ипполита Физо 1851 г. [1]. Он впервые показал, что свет, проходя через движущуюся среду, получает дополнительный сдвиг фазы. Данные экспериментальные результаты также были подтверждены в работах [2, 3, 4]. В работе [5] показано, что эффект измеряемый в опыте Физо, может быть предсказан в рамках специальной теории относительности. Считается, что аппараты специальной теории относительности и электродинамики движущихся сред удовлетворительно описывают эффект увлечения электромагнитного излучения движущейся средой. В действительности эффекты увлечения электромагнитного излучения движущейся средой слабо изучены. На данный момент достоверно подтверждены факты наличия эффекта увлечения, а также его линейной зависимости от скорости движения среды. В настоящее время с развитием лазерных технологий, прецизионных измерительных инструментов и информационных технологий представляется возможным изучить эффекты увлечения электромагнитного излучения движущейся средой с большей точностью.

Целью данной работы является разработка методики проведения эксперимента по исследованию трехмерного эффекта Физо и разработка программного обеспечения для обработки полученных экспериментальных данных. В результате выполненной работы стало возможным выполнять эксперименты по исследованию трехмерного эффекта Физо сериями в автоматизированном режиме. Известно, что эффект Саньяка зависит от суточного вращения Земли, что проявляется в зависимости положения интерференционной картины от пространственной ориентации интерферометра. Для определения зависимости эффекта Физо от ориентации экспериментальной установки в пространстве необходим предельно достижимый уровень отношения S/N и накопление больших массивов данных.

1. Обработка интерферограмм методом Якоби — Энджера

Схема установки, на которой проводятся данные эксперименты, показана на рис. 1. Каждый из таких экспериментов длится не менее суток. Сигнал с фотодетектора экспериментальной установки подключен к АЦП, который оцифровывает его на частоте 100 кГц. Сигнал представляет собой временную развертку интерференционной картины или интерферограмму. Примерный вид сигнала можно видеть на рис. 2. Характер сигнала вызван тем, что диск имеет клин и при его вращении угол падения лазерного излучения на поверхность диска меняется. Вследствие этого интерференционная картина движется в плоскости фотодетектора, создавая периодический сигнал.

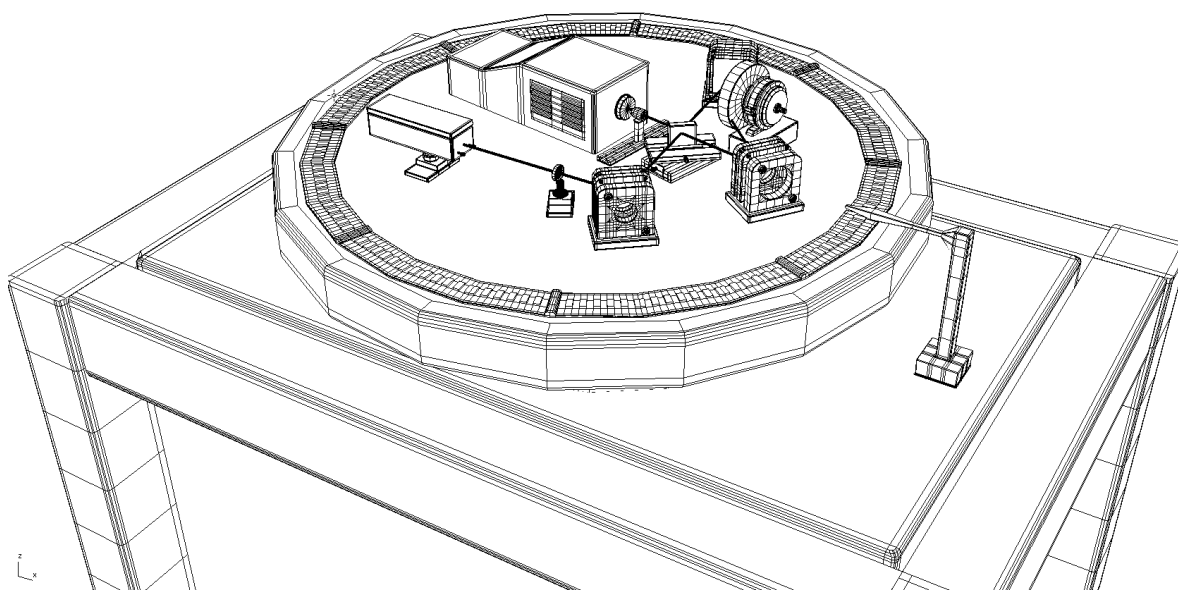


Рис. 1. Схема экспериментальной установки

Каждые 15 секунд компьютер записывает 13,5 секунд или 5 мегабайт необработанного сигнала. В итоге за сутки получается 25 гигабайт экспериментальных данных. При этом на обработку одного эксперимента тратится около 80 часов машинного времени. Таким образом, появилась задача хранения большого количества экспериментальных данных, а также задача быстрой обработки экспериментальных данных. Вторая из них особенно актуальна потому, как результат обработки во многом зависит от параметров обработки. И нередко, чтобы получить удовлетворительный результат, необходимо несколько раз обработать эксперимент с различными параметрами обработки.

Для решения задачи быстрой обработки и хранения используется кросс-платформенная технология разработки приложений Java EE. Данная технология позволяет утилизировать различные вычислительные ресурсы для задачи обработки данных начиная от обычных персональных компьютеров заканчивая вычислительными кластерами. Используя облачный подход синхронизации различных вычислительных узлов, представляется возможным в реальном времени подключать и отключать вычислительные ресурсы без потери целостности исходных и обработанных данных. Встроенные технологии параллельных вычислений

Java позволяют получить линейную зависимость скорости обработки экспериментальных данных от числа одновременно используемых процессорных ядер.

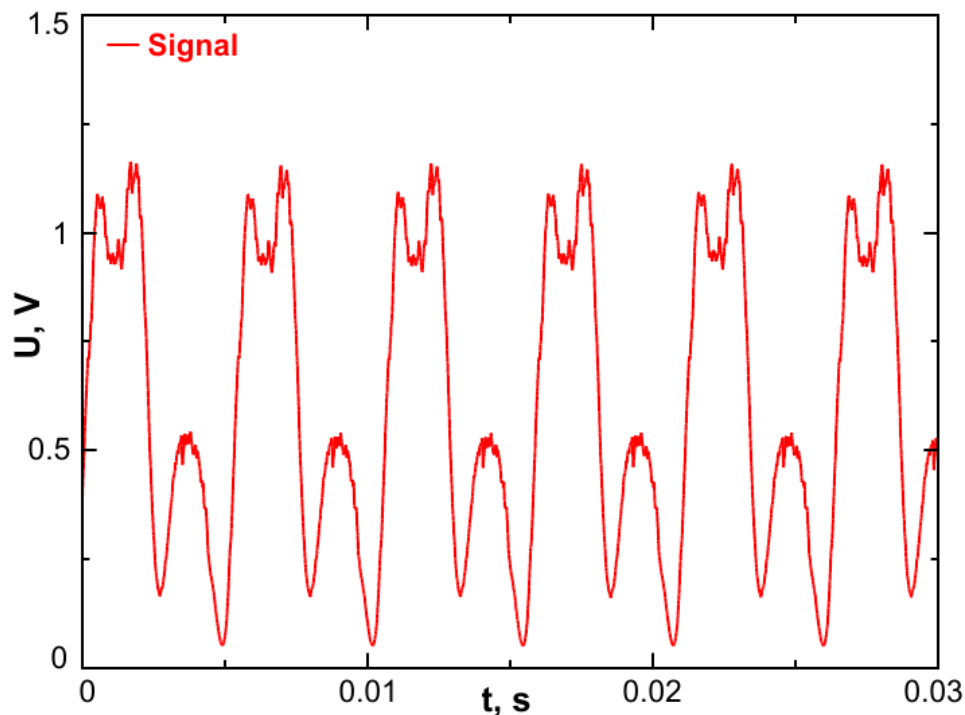


Рис. 2. Экспериментально полученная зависимость напряжения на фотодетекторе от времени

Для обработки интерферограмм используется предположение о том, что каждый из периодов экспериментальной зависимости, представленной на рис. 2, с большой точностью может быть описан аналитическим соотношением (1).

$$f(t) = \cos(\Omega \cos(\omega t + \phi) + \delta) \quad (1)$$

Вид данной аналитической функции можно видеть на рис. 3. Из вида аналитической зависимости напряжения на фотодетекторе и соотношения (1) видно, что параметр δ отвечает за сдвиг интерференционных полос. Таким образом, представляется возможным найти сдвиг интерференционных полос для каждого из периодов решив задачу оптимизации. К сожалению решить задачу оптимизации общими методами (такими как метод наименьших квадратов и т.п.) представляется практически невозможным вследствие зашумленности сигнала и чрезвычайной нелинейности функции ошибки, получаемой при использовании данных методов. Тем не менее, данная задача может быть решена, если проводить оптимизацию не в пространстве времен, а в пространстве частот.

Таким образом, был разработан метод обработки интерферограмм, который основывается на разложении Якоби — Энджера. Данное разложение позволяет разложить соотношение (1) в ряд Фурье, тем самым давая возможность проводить оптимизацию в частотном пространстве вместо временного. Данное разложение может быть описано соотношениями

$$e^{iz \cos \vartheta} = \sum_{n=-\infty}^{\infty} i^n J_n(z) e^{in\vartheta}, \quad (2)$$

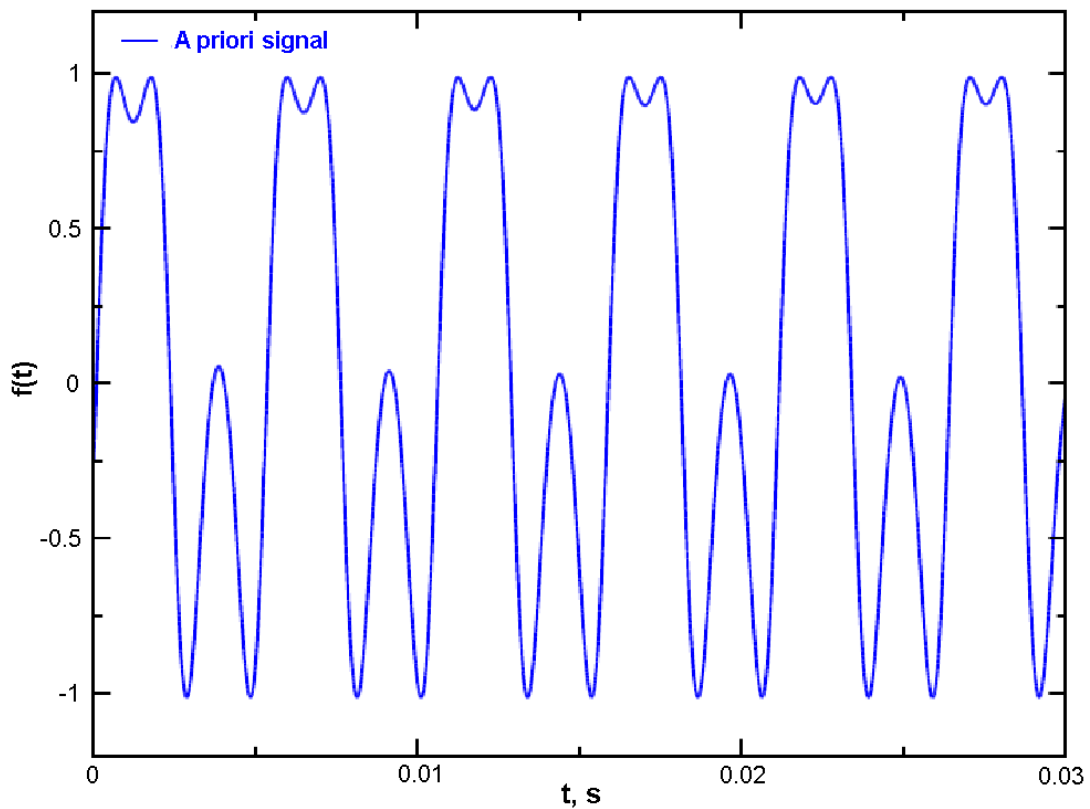


Рис. 3. Вид аналитической зависимости напряжения на фотодетекторе от времени

$$e^{iz \sin \vartheta} = \sum_{n=-\infty}^{\infty} J_n(z) e^{in\vartheta} \quad (3)$$

Для того чтобы воспользоваться соотношениями (2) и (3), необходимо выполнить подстановку $\omega t = x$. После подстановки $\omega t = x$ в выражение (1), получим

$$f(x) = \cos(\Omega \cos(x + \phi) + \delta). \quad (4)$$

Подставляя соотношения (2) и (3) в (4), получаем

$$f(x) = \frac{1}{2} e^{i\delta} \sum_{n=-\infty}^{\infty} i^n J_n(\Omega \cos \phi) e^{inx} \sum_{n=-\infty}^{\infty} J_n(-\Omega \sin \phi) e^{inx} + \\ + \frac{1}{2} e^{-i\delta} \sum_{n=-\infty}^{\infty} i^n J_n(-\Omega \cos \phi) e^{inx} \sum_{n=-\infty}^{\infty} J_n(\Omega \sin \phi) e^{inx}. \quad (5)$$

Выполнив преобразование Фурье над экспериментальным сигналом представляется возможным решить задачу оптимизации и найти значение параметров δ, Ω и ϕ с помощью выражения (5) для конкретного периода. Пример результата решения задачи оптимизации можно видеть на рис. 4.

2. Заключение

Таким образом, был разработан метод обработки интерферограмм на основе разложения Якоби-Энджера. Разработанный метод может быть применен к любым оптическим

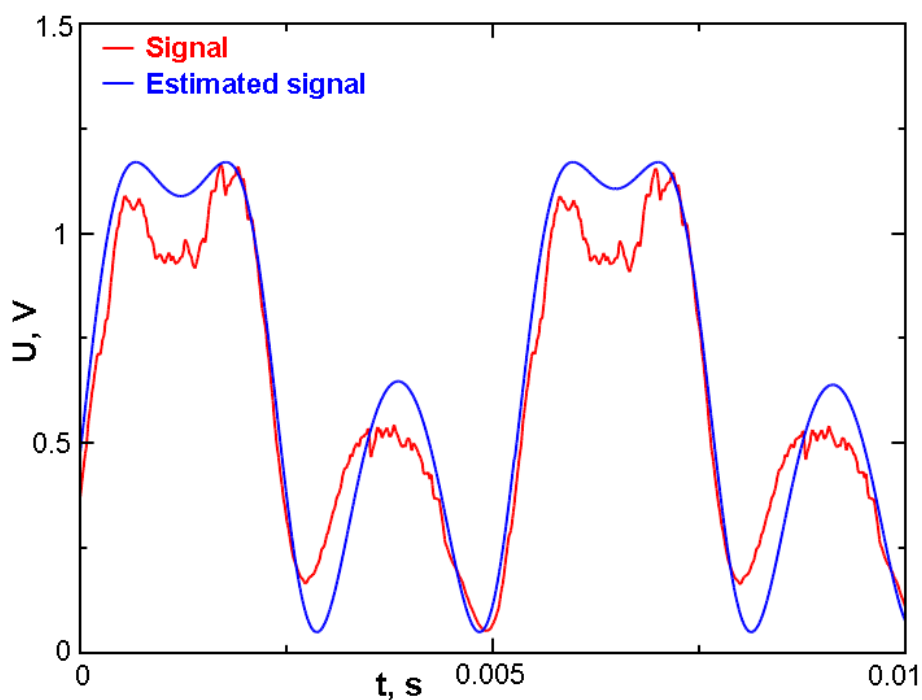


Рис. 4. Пример результата решения задачи оптимизации методом Якоби — Энджера

системам, в которых есть движущиеся по гармоническому закону элементы. Данный метод позволяет заменить пространственные измерения сдвига интерференционных полос на временные. Вследствие того, что разрешение временных измерений современных измерительных инструментов на данный момент сильно превышает пространственные, измерения с помощью данного метода могут оказаться более экономически выгодными чем классические пространственные измерения. Также в случае наличия движущихся элементов в оптической системе, данный метод может являться единственным практически применимым методом.

Разработанный метод обработки позволил увеличить соотношение S/N до уровня порядка 10^5 . По сравнению с известными методами временного измерения сдвига интерференционных полос основывающихся на измерении временных интервалов [6], разработанный метод практически не зависит от амплитуды модулирующих колебаний. Также данный метод в отличие от метода измерения временного интервала использует информацию о форме сигнала, а также не опирается на ошибочное предположение о том что величина интервала линейно связана со сдвигом интерференционных полос, что позволяет увеличить точность измерений на порядок.

На основе разработанного метода была выполнена обработка интерферограмм полученных на экспериментальной установке SADE. Данный набор интерферограмм был записан при различных значениях скорости и направления вращения оптического диска. Результат обработки представлен на рис. 5. Разработанный метод позволил получить отчетливую линейную зависимость эффекта Физо от скорости вращения диска как предсказывает современный аппарат электродинамики.

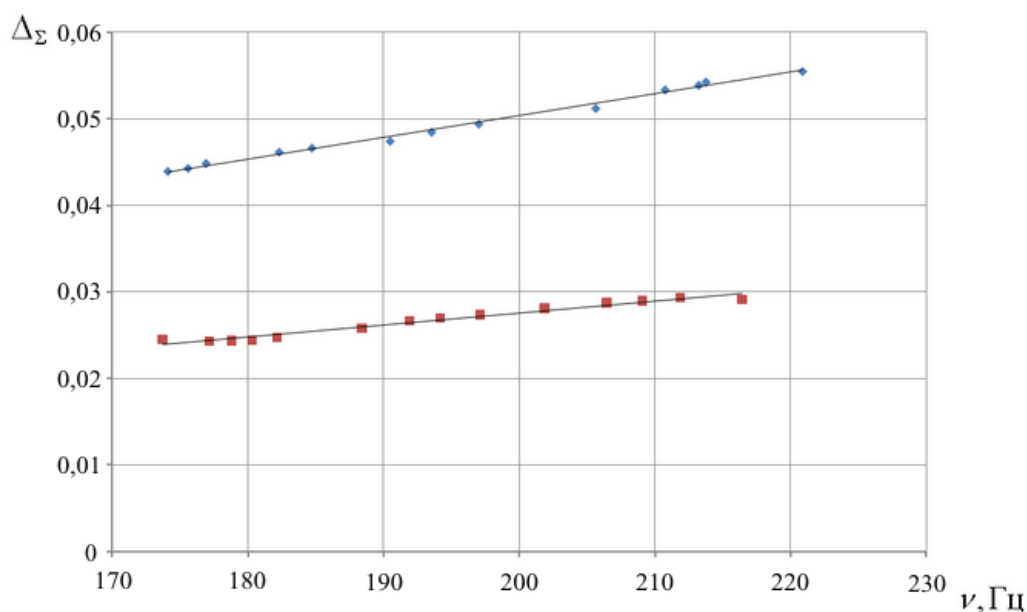


Рис. 5. Зависимость сдвига интерференционных полос для прямого и обратного направления вращения в зависимости от частоты вращения диска

Список литературы

1. *Fizeau H.* Hypotheses on luminous ether // *Ann. de Chim. et de Phys.* 1971. V.57 (1859). Pp. 385–404. [NASA technical translation, April 1, 1971, http://www.archive.org/details/nasa_techdoc_19710013910]
2. *Michelson A.A., Morley E.W.* Influence of Motion of the Medium on the Velocity of Light // *Am. J. Science.* 1886. V. 31. Pp. 377–386.
3. *Zeeman P.* Fresnel's coefficient for light of different colours. (First part) // *Proc. Kon. Acad. Van Weten.* 1914. V. 17. Pp. 445–451.
4. *Zeeman P.* Fresnel's coefficient for light of different colours. (Second part) // *Proc. Kon. Acad. Van Weten.* 1915. V. 18. Pp. 398–408.
5. *Laue M* The Entrainment of Light by Moving Bodies According to the Principle of Relativity // *Annalen der Physik.* 1907. V. 23. Pp. 989–990.
6. *Гоняев В.С., Фроленко В.А., Шестаков Н.П., Шешуков Н.П.* Бесконтактный интерференционный профилограф // *Автометрия.* 1987. № 5. С.50–56.

Conducting an experiment and processing its results in order to investigate 3D Fizeau effect

77-30569/324148

04, April 2012

Tiunov P. S.

Russia, Bauman Moscow State Technical University
pavel.tiunov@gmail.com

Methods of conducting an experiment to investigate 3D Fizeau effect and processing its results were developed. Proposed processing method allowed us to increase S/N ratio up to approximately 105. Developed method of conducting an experiment allowed us to carry out an experiment and process experimental data by series automatically.

References

1. *Fizeau H.* Hypotheses on luminous ether // *Ann. de Chim. et de Phys.* 1971. V. 57 (1859). Pp. 385–404. (NASA technical translation, April 1, 1971, http://www.archive.org/details/nasa_techdoc_19710013910)
2. *Michelson A.A., Morley E.W.* Influence of Motion of the Medium on the Velocity of Light // *Am. J. Science.* 1886. V. 31. Pp. 377–386.
3. *Zeeman P.* Fresnel's coefficient for light of different colours. (First part) // *Proc. Kon. Acad. Van Weten.* 1914. V. 17. Pp. 445–451.
4. *Zeeman P.* Fresnel's coefficient for light of different colours. (Second part) // *Proc. Kon. Acad. Van Weten.* 1915. V. 18. Pp. 398–408.
5. *Laue M* The Entrainment of Light by Moving Bodies According to the Principle of Relativity // *Annalen der Physik.* 1907. V. 23. Pp. 989–990.
6. *Goniaev V.S., Frolenko V.A., Shestakov N.P., Sheshukov A.P.* Non-contact interferometric profilograph // *Avtometriia.* 1987. № 5. Pp. 50–56.