

ЛАБОРАТОРНЫЙ ЭКСПЕРИМЕНТ ПО ПРОВЕРКЕ АНИЗОТРОПИИ СКОРОСТИ СВЕТА

Г. Н. Измайлов,¹ В. В. Озолин

Московский государственный авиационный институт

Предложено провести измерение анизотропии скорости света в лабораторных условиях с помощью волоконно-оптического интерферометра Майкельсона (Маха - Цендера). Описана схема проведения теста на экспериментальной установке. Расчетная точность эксперимента – 10^{-17} .

Из некоторых общих теоретических положений следует, что Вселенная изотропна и однородна, т.е. в ней отсутствуют какие-либо выделенные направления, и материя распределена равномерно. Однако, начиная с определенной (критической) плотности вещества во Вселенной, подобное утверждение может быть нарушено, поскольку флуктуации плотности вещества будут приводить к возникновению “островов” материи и к отклонению от равномерного и изотропного ее распределения. Можно ли наблюдать подобное отклонение? Вопрос становится еще более интригующим, если учесть, что более половины (а по некоторым оценкам около 90 %) вещества не излучает электромагнитных волн и поэтому не видимо (т. наз. “темная материя”). Неравномерность распределения материи должна сказываться на зависимости мировых констант, к числу которых относится и скорость света c , от выбранного направления, вдоль которого производится измерение. Одно из наиболее точных измерений анизотропии скорости света было осуществлено в эксперименте А.Брилле и Дж. Л. Холла в 1979 г. [1]. В эксперименте измерялось биение частот излучений двух лазеров, пространственное положение которых изменялось. Точность измерения анизотропии скорости света в эксперименте составила $\Delta c/c \approx 10^{-14}$.

Предлагается провести подобный эксперимент, но с одним лазером и с использованием оптоволоконных световодов.

Для этого на кафедре физики МАИ ведутся работы по созданию лазерного волоконно-оптического интерферометрического комплекса. Он включает в себя частотно - стабилизированный гелий-неоновый лазер с кратковременной относительной

нестабильностью частоты $\sim 10^{-11}$ и мощностью излучения 1 мВт, микрообъектив для ввода излучения в световод, одномодовый х-образный разветвитель, две волоконно-оптические линии задержки длиной по 1500 м, приваренные к выходным плечам разветвителя, фотоэлектрическое устройство для регистрации сдвига интерференционных полос. В состав комплекса входит также однокристалльная ЭВМ для первичной обработки данных и объединенный с ней в локальную сеть персональный компьютер. Передача данных с однокристалльной ЭВМ в компьютер осуществляется через оптоэлектронную линию связи. Последняя обеспечивает акустическую развязку элементов комплекса. Волоконно-оптические линии задержки укладываются в углубления дюралюминиевого г-образного каркаса, который помещается в герметичную камеру с прозрачными окнами для вывода излучения. Камера подключена к вакуумной системе, имеется возможность проведения измерений при давлении 10^{-5} Па. Интерферометр в герметичной камере устанавливается на поворотную платформу с виброизолирующим слоями. Наличие анизотропии скорости света должно привести к сдвигу интерференционных полос при повороте платформы.

Поскольку оптическая длина волокна зависит от деформаций каркаса вследствие возможных изменений наклона при вращении, могут появиться связанные с этим систематические погрешности. Для их исключения необходимо контролировать наклон платформы. Это достигается использованием кварцевого емкостного наклономера с разрешающей способностью 10^{-10} рад.

Предельная чувствительность фотоэлектрического измерителя сдвига полос определяется дробовым шумом фотоприемника и рассчитывается по

¹e-mail: izmailov@k804.mainet.msk.su

формуле

$$\delta N_{min} = \frac{1}{4\pi^2\alpha} \frac{2E_f\Delta\Omega}{qP} \text{ (полос)}.$$

Здесь E_f – энергия фотона, $\Delta\Omega$ – полоса частот ожидаемых внешних воздействий, P – мощность излучения, попадающего на фотоприемник, q – его квантовая эффективность, $\alpha \approx 1$ – коэффициент преобразования фототока в фазовый сдвиг. При мощности излучения 10 мВт, $\lambda = 0.63$ мкм, $q = 1$, $\Delta\Omega = 0.01$ Гц, получаем $\delta N_{min} = 2 \cdot 10^{-9}$ полос. Это соответствует минимальной измеримой анизотропии скорости света

$$\frac{\Delta c}{c} = \frac{\Delta l}{2nl} = \frac{\lambda \Delta N_{min}}{nl}.$$

Здесь l – длина линии задержки, $n = 1.46$ – показатель преломления плавленого кварца. При $l = 1500$ м $\Delta c/c = 2.8 \cdot 10^{-19}$. Эта величина на 4 порядка меньше, чем в опыте Брилле и Холла, упомянутом вначале.

Инструментальная чувствительность интерферометра ограничивается также колебаниями разности температур плеч. Для уменьшения их влияния применяется тщательная теплоизоляция интерферометра, его вакуумирование, использование термокомпенсированных световодов или каркасов со специально подобранными температурными коэффициентами линейного расширения, активная стабилизация температуры кожуха.

Пусть температурно-фазовый коэффициент световода $k_T = \delta L / (L\delta T)$ составляет 10^{-7} К⁻¹, а нестабильность температуры стенок герметичной камеры не превышает 0.01 К за 10 мин. Считая продолжительность цикла измерений 10 с, а нестабильность разности температур за это время 10^{-9} К (при этом $\delta L/L \sim 10^{-16}$), получаем постоянную времени требуемого пассивного термостата $\sim 10^7$ с. Для сравнения: медный шар радиуса 10 см в воздухе при отсутствии конвекции имеет постоянную времени 10^6 с, т.е. требуемая величина представляется достижимой.

В лаборатории интерферометрических измерений МАИ разработан и испытан макет измерительного комплекса. Он включает в себя неподвижный волоконный интерферометр Маха-Цандера с длиной световодов в плечах по 180 м, фотозлектрический измеритель сдвига полос, наклономер, датчик разности температур, микро ЭВМ для первичной обработки сигналов датчиков и персональный компьютер для их последующей совместной статистической обработки. Персональный компьютер объединен с микроЭВМ в локальную сеть. Результаты

исследования макета позволяют надеяться на успех в проведении эксперимента по измерению анизотропии скорости света.

Изготовлены и испытаны некоторые узлы создаваемого измерительного комплекса: вакуумная камера и вакуумная система, поворотная платформа, г-образный каркас для укладки световодов, наклономер, интерфейс RS-232 для связи блоков автономного устройства считывания и предварительной обработки данных с персональным компьютером. Разработан пакет программного обеспечения для статистической обработки базы данных.

References

- [1] A. Brilliet, J. L. Hall, *Phys. Rev. Lettr.*, **42**, No. 9, 546 (1979)

LABORATORY EXPERIMENT ON CHECK OF SPEED LIGHT ANISOTROPY

G. N. Izmailov and V. V. Ozolin

A laboratory test on check of anisotropy of the speed of light is described. The fiber optic Michelson (Mach - Zender) interferometer will be used. An expected accuracy of the test is 10^{-17} .

ЛАБОРАТОРНИЙ ЕКСПЕРИМЕНТ ПО ПЕРЕВІРЦІ АНІЗОТРОПІЇ ШВИДКОСТІ СВІТЛА

Г. Н. Ізмайлов, В. В. Озолін

Запропоновано провести вимірювання анізотропії швидкості світла в лабораторних умовах за допомогою волоконно-оптичного інтерферометра Майкельсона (Маха-Цандера). Описана схема проведення тесту на експериментальній установці. Розрахована точність експерименту – 10^{-17} .