

Как создавался первый в мире интерферометр с механическим делением луча

Специальная теория относительности (СТО) была разработана Альбертом Эйнштейном в 1905 г. Её основой являются постулаты (постулат это утверждение, которое принимается без доказательства), один из которых (так называемый второй постулат) гласит, что скорость света является инвариантом, т.е. не зависит от системы наблюдения. Это означает, что ни при каких обстоятельствах скорость света не может превысить её стандартного значения C , которое в вакууме равно $299\,792\,458 \pm 1,2$ м/с (округлённо 300000 км/с). Вторым постулатом СТО противоречит здравому смыслу, поскольку скорость есть величина относительная. Тот же снаряд, выпущенный из пушки, по отношению к ней имеет одну скорость, а по отношению к самолёту, который улетает от пушки, имеет другую скорость. Пассажир, едущий в вагоне поезда, по отношению к вагону неподвижен, по отношению же к станционным постройкам движется со скоростью поезда. В СТО всё это не так. Если внутри вагона луч света движется со скоростью C , то и по отношению к станционным постройкам он движется с той же скоростью.

С момента создания СТО были проведены многочисленные эксперименты, в которых экспериментаторы пытались доказать ошибочность второго постулата. Для этого они использовали источники излучения, которые двигались по отношению к системе наблюдения с заданной скоростью, но все их попытки оказались не удачными. Полученные в таких экспериментах значения скорости света в системе наблюдения оказывались равными стандартному значению скорости света C [1-9].

Такие эксперименты в различных вариантах проводил и выдающийся учёный Майкельсон, при помощи изобретённого им интерферометра, но и эти эксперименты также закончились неудачей.

Интерферометр Майкельсона был изобретён американским физиком Альбертом Абрахамом Майкельсоном в начале прошлого века. При помощи этого интерферометра был решен ряд важных научных и прикладных задач, в частности была с высокой точностью измерена скорость света. Однако в экспериментах, проводимых Майкельсоном, касающихся проверки второго постулата СТО, были существенные ошибки. Эти ошибки он совершил, когда пытался доказать, что скорость электромагнитной (ЭМ) волны

складывается со скоростью её источника, что противоречило второму постулату. До конца своей жизни Майкельсон считал, что существует упругая среда, в которой и распространяются ЭМ волны. Поэтому результаты экспериментов, которые он провёл вместе с Морли [10] по обнаружению такой среды, были для него большой неожиданностью. Пытаясь усовершенствовать эксперимент, он попытался в качестве источника излучения использовать свет звезды, но здесь его ждало ещё большая неудача. Исследования показали, что измеренная скорость света, не зависит от скорости звезды и равна ранее измеренному им же значению, что соответствовало специальной теории относительности, которую до конца жизни он так и не признал.

Чтобы понять, в чём заключалась ошибка Майкельсона, рассмотрим принцип работы его интерферометра, схема которого приведена на рис. 1

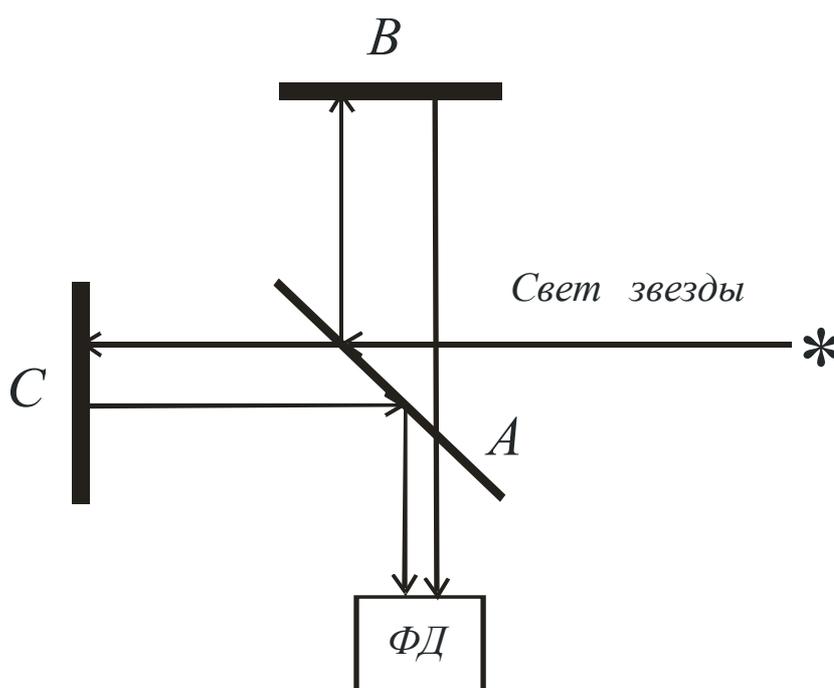


Рис. 1. Схема интерферометра Майкельсона.

Электромагнитная (ЭМ) волна, пришедшая от звезды и отраженный от делительного зеркала А попадает на отражающее зеркало В и, будучи отраженным от него, попадает на фотодетектор. Особенностью такого процесса является то, что зеркало В находится в той же инерциальной системе отсчёта (ИСО), в которой находится и сам интерферометр. Это означает, что, какая бы не была скорость ЭМ волны, пришедшей от звезды,

её скорость, после отражения от зеркала В, будет равна скорости света в ИСО интерферометра.

Вторая часть ЭМ волны, пришедшей от звезды, проходя через делительное зеркало А, также попадает на отражательное зеркало С. После отражения от этого зеркала волна также будет иметь скорость равную скорости света в системе интерферометра. Но вопрос заключается в том, какую скорость будет иметь указанная электромагнитная волна после прохождения делительного зеркала. Отражающее покрытие, при помощи которого происходит деление луча, нанесено на прозрачную стеклянную пластинку.

Рассмотрим схему движения луча через делительное зеркало, учитывая то, что отражающий слой на нём нанесён на прозрачное стекло определённой толщины. Поскольку стекло является диэлектриком, обладающим диэлектрической проницаемостью, отличной от воздуха, то траектория движения луча будет зависеть от показателя преломления стекла. Эта траектория показана на рис. 2.

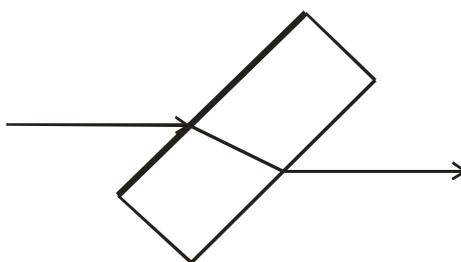


Рис. 2. Распространение луча света через стеклянную пластинку

Луч света падает на стеклянную пластинку и, преломляясь дважды, выходит из неё в том же направлении. При обратном движении луча его траектория остаётся неизменной, меняется лишь направление его движения. При этом луч движется в соответствии с законом Снелиуса [11] и резко меняет своё направление после входа и выхода из пластинки. Но такое преломление связано с тем, что электрические поля волны, проходящей через пластинку, заставляют колебаться связанные заряды в диэлектрике, которые переизлучают эти поля. И если до входа в пластинку волна и имела скорость отличную от скорости света в системе отсчёта интерферометра, то после прохождения волны через пластинку её скорость будет равна скорости света в системе его отсчёта. Эти особенности работы интерферометра Майкельсона указывают на то, что при его помощи нельзя измерить скорость ЭМ волны до её попадания на делительное зеркало. Майкельсон не учёл эти обстоятельства, в чём и состояла его ошибка.

В последствии были изобретены различные модификации интерферометра Майкельсона [11], такие как интерферометр Рождественского, Фабри-Перо и другие приборы с многократно разделёнными световыми пучками. Но во всех этих приборах для деления и разделения световых лучей используются полупрозрачные слои металлов, нанесённые на стеклянные пластинки, или границы раздела между диэлектриками с различной диэлектрической проницаемостью. Поэтому все указанные интерферометры страдают теми же недостатками, что и интерферометр Майкельсона.

Выход из сложившейся ситуации следовало искать на пути создания интерферометра, в котором бы отсутствовали делительные зеркала, а деление луча осуществлялось бы другим способом, при котором бы не терялась информация о скорости луча, попавшего в интерферометр. И такой выход был найден в работе [12], где деление луча осуществлялось механическим способом. Принцип действия интерферометра можно понять из схемы, представленной на Рис. 3.

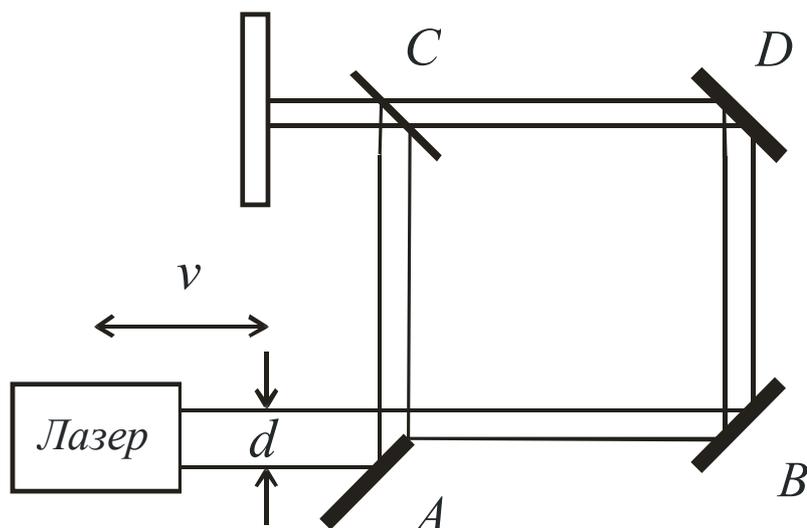


Рис. 3. Схема интерферометра с механическим делением луча лазера

Луч лазера, диаметр которого равен d , частично перекрывает отражающее зеркало А. Это зеркало расположено так, что часть луча оно отражает в нормальном направлении по отношению к первичному направлению движения луча. Вторая часть луча продолжает двигаться в прежнем направлении с прежней скоростью и, попадая на отражающее зеркало В, отражается в нормальном направлении по отношению к первоначальному направлению движения. Далее лучи, пройдя пути указанные на схеме, где D - отражающее зеркало, а C – делительное зеркало, попадают на экран, где и воспроизводится картина их интерференции. В рассмотренной схеме лазер,

который является источником излучения, может быть неподвижным или двигаться с заданной скоростью. На месте лазера также может находиться зеркало, которое отражает луч неподвижного лазера, при этом зеркало также может быть неподвижным или двигаться по заданному закону.

Схема интерферометра с механическим делением луча, в котором используется неподвижный лазер, луч которого отражается от неподвижного или движущегося зеркала, изображена на рис. 4. На этой схеме луч лазера имеет заданный диаметр, который равен расстоянию между линиями, выходящими из лазера.

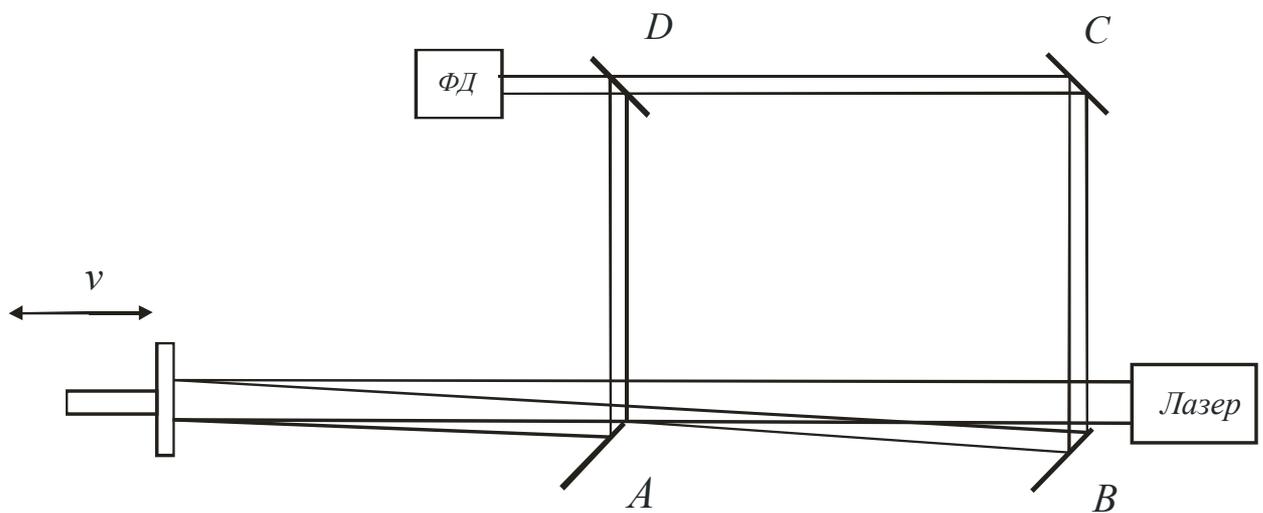


Рис. 4. Схема интерферометра с отражательным зеркалом.

Этот случай эквивалентен рассмотренному случаю с той лишь разницей, что используется луч, отраженный от движущегося отражательного зеркала. Преимуществом интерферометра с механическим делением луча является то, что в нём для разделения луча не используются делительные зеркала, а деление луча производится методом его перекрытия. Такой метод позволяет путём механического перемещения первого зеркала расщеплять луч в любых пропорциях, не требуя при этом замены делительного зеркала.

Но предложить новую идею это ещё не всё, требовалось изготовить макет интерферометра, и с его помощью доказать ошибочность второго постулата.

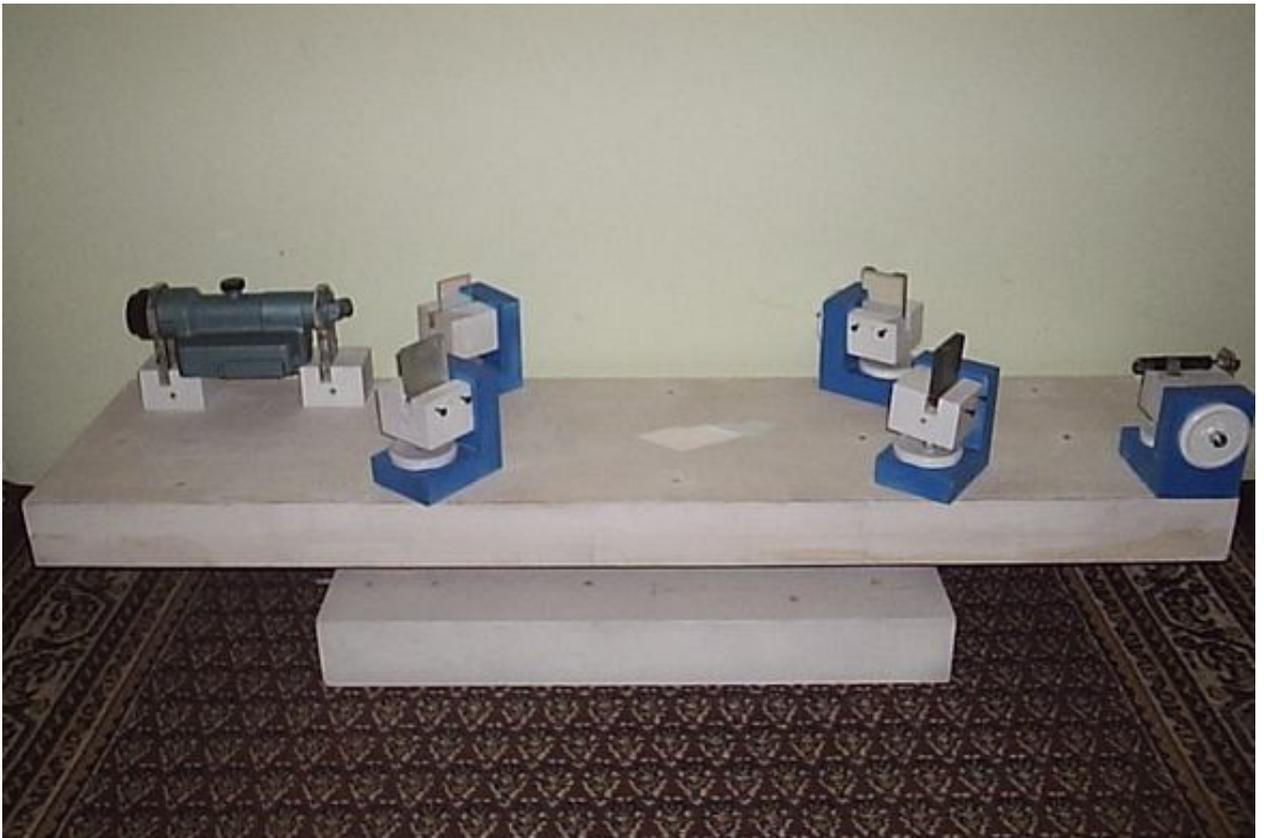
Тот кто имел дело с интерферометрами, знает сколь не простая эта задача. Стандартные интерферометры используют массивную стальную станину, где прорезаны T – образные пазы, по которым могут перемещаться зажимы с делительными и отражающими зеркалами, лазер и фотодетектор. Крепление

зеркал на этих зажимах должно допускать их фиксированный поворот в двух плоскостях на заданный угол с точностью нескольких десятков секунд. Все эти сложные технические задачи под силу только крупному НИИ, имеющему соответствующую производственную базу.

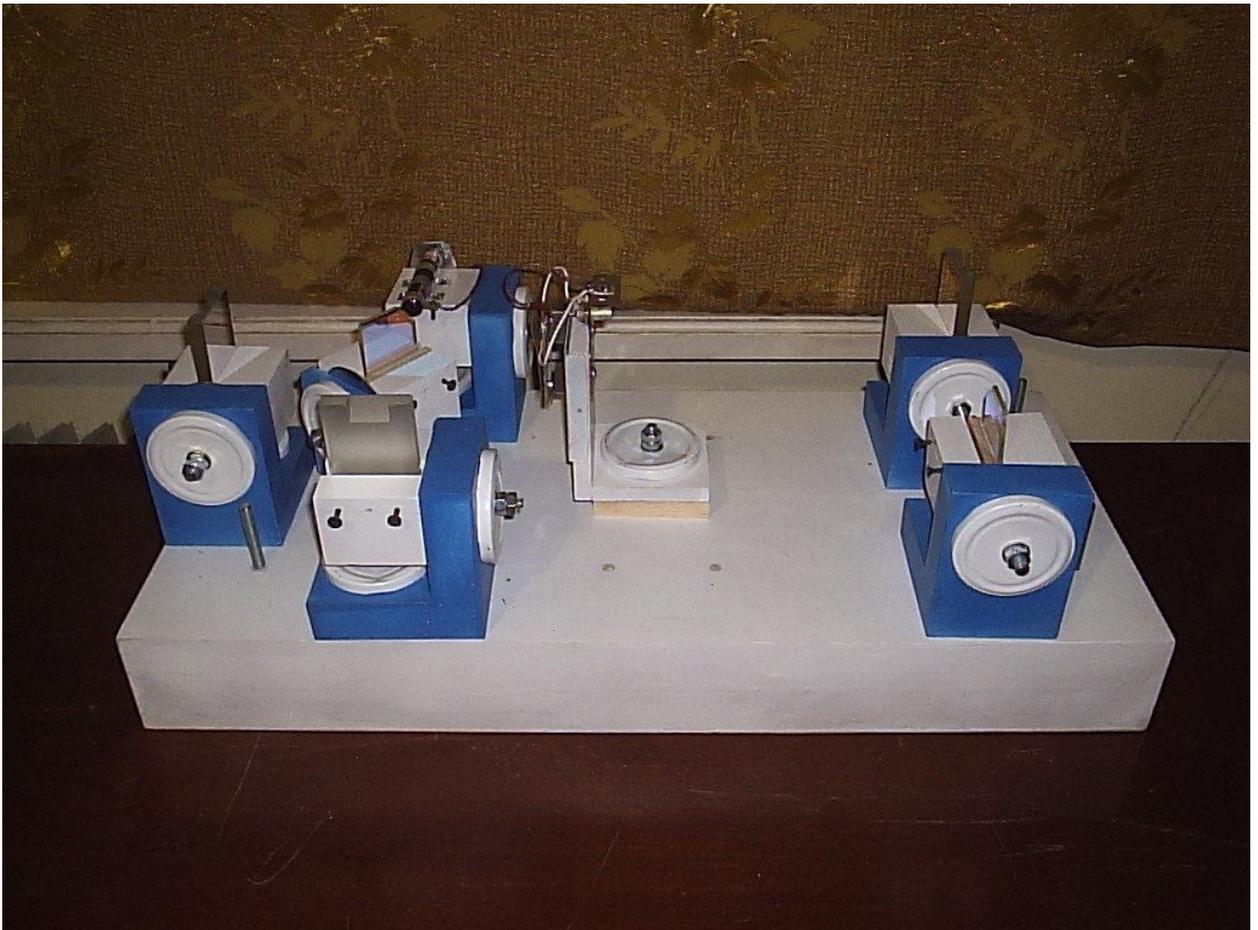
Но я такой базы не имел, жил в двухкомнатной квартире и кроме ручного инструмента у меня ничего не было. И всё же, чем же закончилась эта история, и удалось ли изготовить интерферометр с необходимыми параметрами и провести так долгожданный эксперимент. Да удалось, и в этом мне помогла искренняя и честная дружба.

Ранее я работал в Физико-техническом институте низких температур АН УССР (ФТИНТ АН УССР) и прошел там путь от молодого специалиста до заместителя директора по научной работе СКТБ ФТИНТ. Это было крупное НИИ со своим опытным производством и опытным заводом, в котором работало более 3000 сотрудников. Поскольку основной объём работ, выполняемых СКТБ, касался оборонных заказов, то после развала СССР и исчезновением таких заказов весь коллектив остался без работы. Без работы остался и я. Чтобы прокормить семью пришлось бросить науку и на протяжении более 10-ти лет заниматься вопросами сушки древесины. Это отдельный вопрос, и на нём останавливаться я не будем. Но с тех времён остались знакомые и друзья, судьбы которых были очень похожими на мою. Одним из таких оказался Валерий Александрович Невольниченко, который к настоящему времени дорос до начальника столярного производства фирмы Лана в Харькове. Но при чём здесь столярное производство и интерферометр, ведь в столярных мастерских стальные станины и детали интерферометров не фрезеруют. И здесь был брошен вызов всей истории создания интерферометров, и решено было все детали интерферометра изготовить из твёрдых пород древесины дуба или ясеня. И Валерий Александрович с этой задачей блестяще справился, и делал он это с большим энтузиазмом и совершенно бескорыстно. И если бы не его дружеская помощь, то не родился бы этот необычный интерферометр.

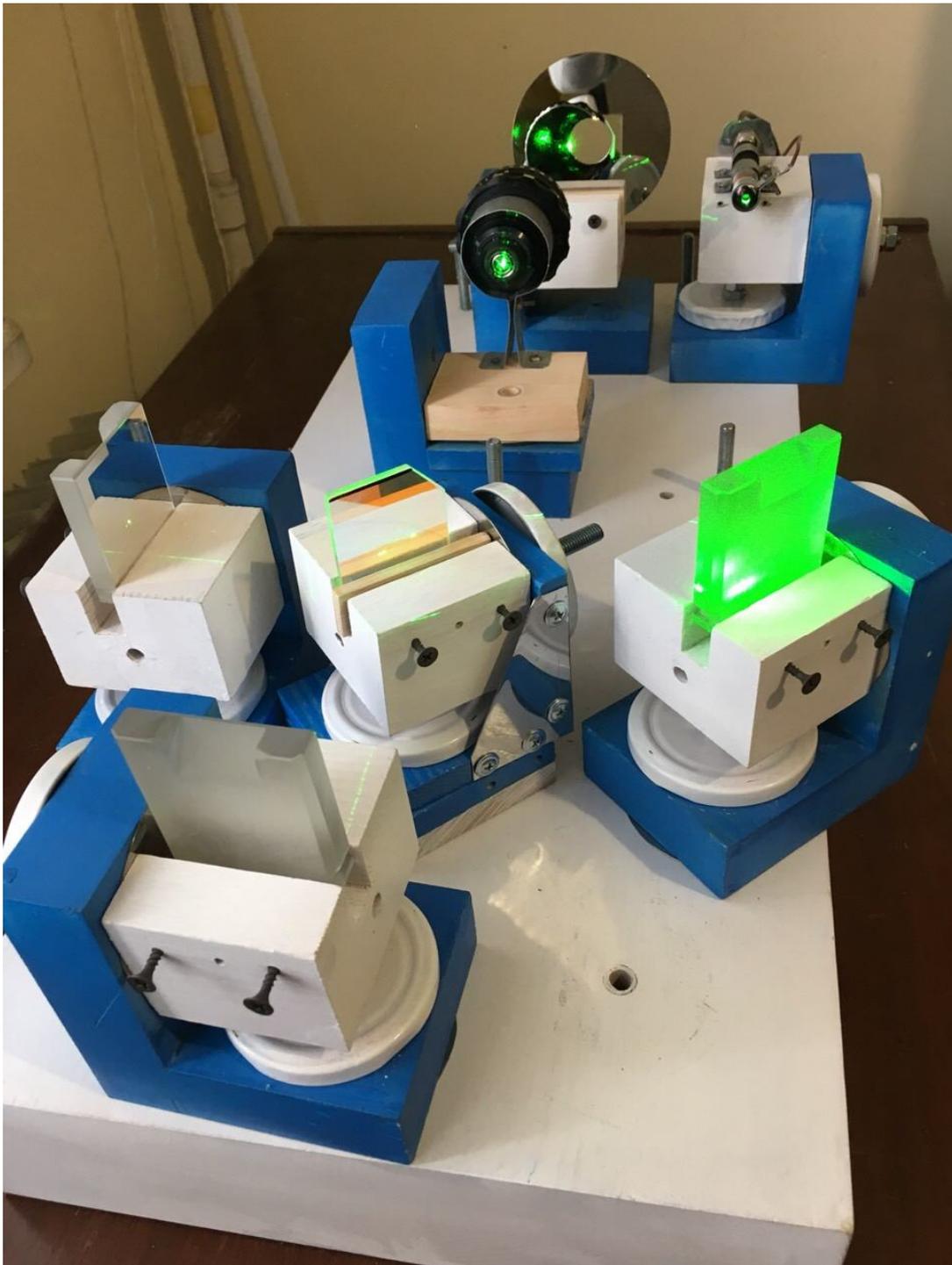
А сейчас я покажу общий вид интерферометра, а также отдельные его узлы, а потом расскажу об очень показательной истории, которой закончились исследования, проведенные на интерферометре.



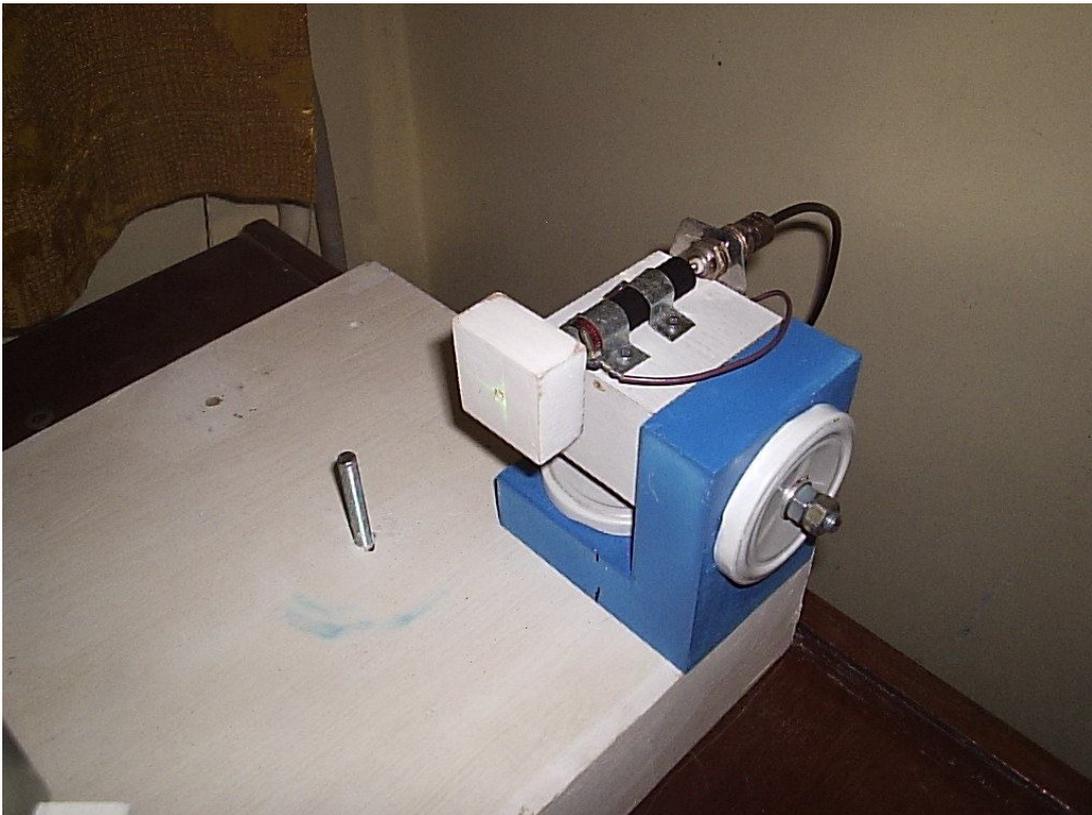
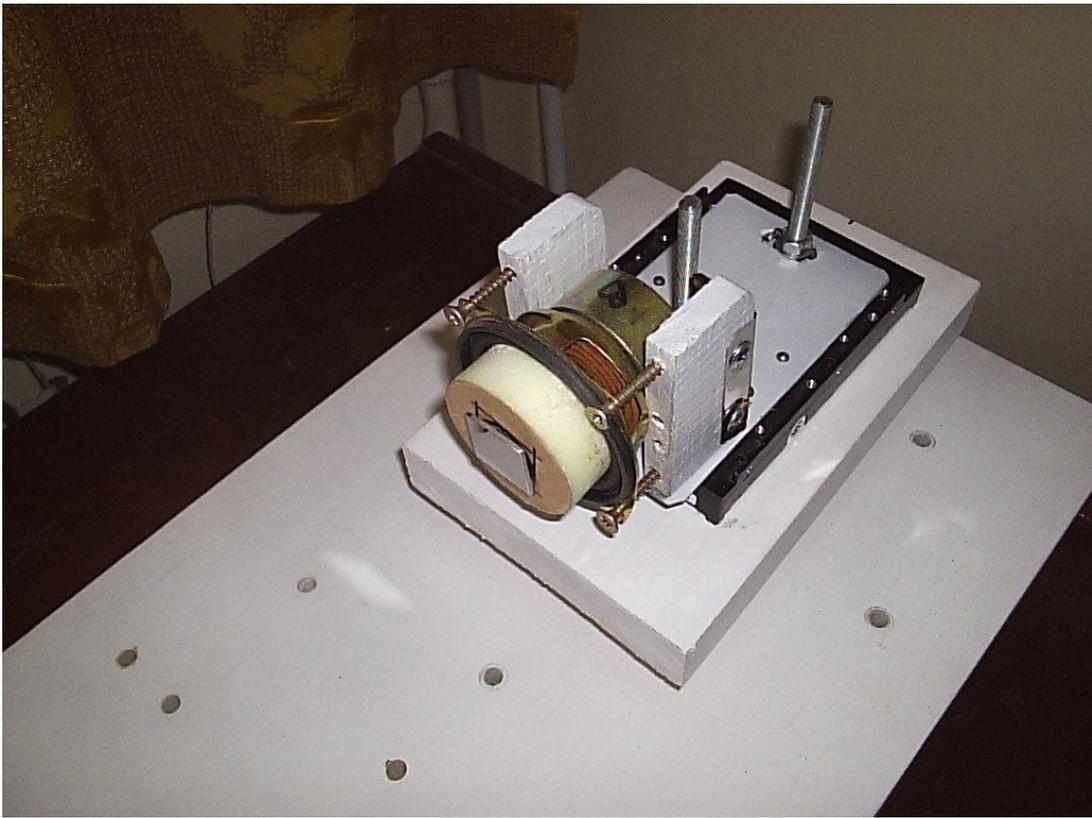
На этой фотографии изображен общий вид интерферометра с механическим делением луча, на снимке не показан вибратор, на котором расположено отражательное зеркало. Вибратор и располагается на отдельной плите, которая размещена на отдельном столе.



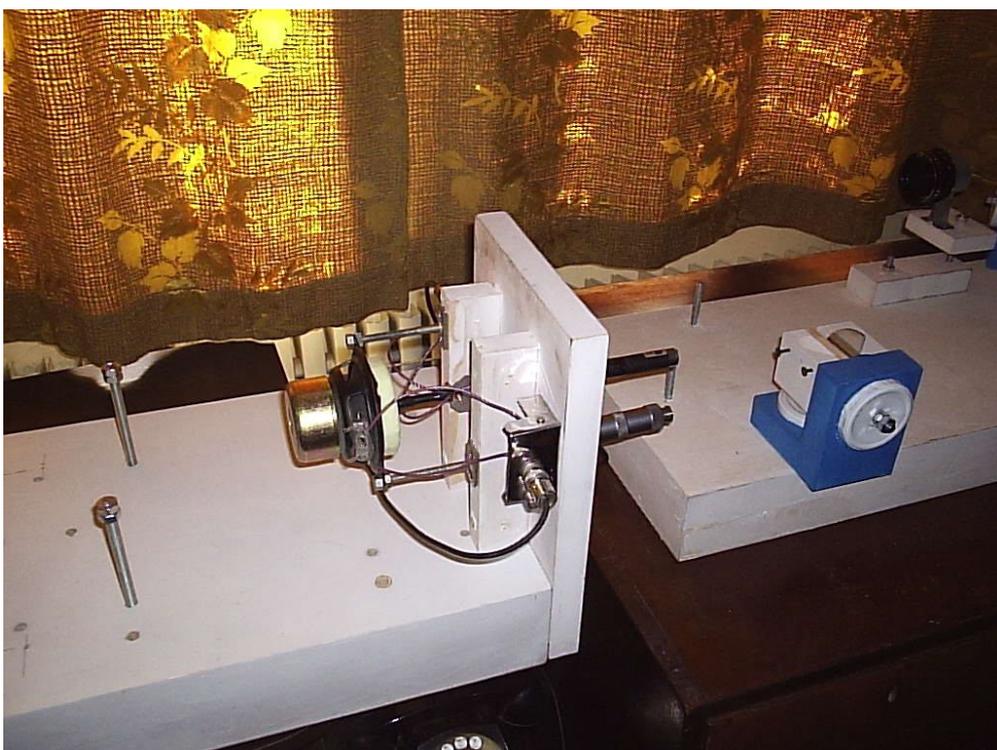
На этой фотографии изображен интерферометр Майкельсона собранный на монтажной плите. Слева на переднем плане видны два отражающих зеркала, между ними расположено делительное зеркало. За делительным зеркалом виден лазер, справа от делительного зеркала расположен фотодетектор. На правом краю расположены два запасных зеркала. Зеркала расположены на шарнирах, позволяющих вращать зеркала в ортогональных направлениях. Шарниры обеспечивают возможность осуществлять угловой поворот зеркал с точностью порядка нескольких десятков секунд. На платформе может быть собрана любая желаемая конфигурация интерферометра.



На этой фотографии изображен работающий интерферометр Майкельсона. Луч от лазера (справа на заднем плане) приходит на отражающее зеркало (светится зелёным цветом) и, отразившись от него, поступает на делительное зеркало (в центре на переднем плане). Затем, отразившись от двух зеркал, через делительное зеркало, а затем объектив попадает на отражающее зеркало (на заднем плане круглое зеркало с отверстием). Отразившись от него, лучи проецируются на противоположно расположенный экран, где и образуют интерференционную картинку.



На этих фотографиях изображены вибратор и лазер.



На этих фотографиях в двух ракурсах изображен вибратор, обеспечивающий вибрацию лазера.

Эпилог

Когда в начале ноября этого года я отправил статью по интерферометру главному редактору журнала Инженерная физика А. А. Рухадзе, он в тот же день написал мне, что статья ему очень понравилась и будет опубликована вне очереди в 12-том номере журнала. Но вскоре после этого со стороны преподавателей Московского физико-технического института (МФТИ) Жотикова и Миланича началась ожесточённая кампания по дискредитации статьи и меня как её автора. У них не было претензий к её содержанию, а обвинили они меня в плагиате, ссылаясь на то, что, якобы, ещё в 80-десятые годы прошлого столетия, такой интерферометр был создан в ленинградском ГОИ, и эти данные содержатся в отчётах института. Но когда я потребовал дать ссылки на такие отчёты, сделать это они наотрез отказались. Через некоторое время начал врать и Рухадзе, утверждая, что видел такой интерферометр в Институте физических проблем, но ссылки тоже дать отказался. Действия Жотикова и Миланича понятны. Какой-то пенсионер изобрёл новый тип интерферометра, дома, буквально на колене, изготовил его и получил важные результаты, а целый институт, где читают курс по интерферометрам и ведутся лабораторные работы по этой тематике, сделать этого не смог. Конечно позор, тут и волком завоешь. Почему в этой ситуации Рухадзе тоже присоединился к клеветнической кампании тоже ясно. Он не захотел ссориться с этим бонзами. Вот такая не красивая история. 4 ноября я получил из редакции журнала отказ в публикации статьи.

В этой ситуации мне ничего не оставалось сделать, как опубликовать статью с описанием конструкции интерферометра в международном журнале, что я и сделал. С содержанием статьи можно познакомиться по ссылке http://fmnauka.narod.ru/Mende_Interferometer.pdf.

Доктор технических наук Ф. Ф. Менде.

Литература

1. Petr Beckmann, Peter Mendics. Test of the Constancy of the Velocity of Electromagnetic Radiation in High Vacuum. RADIO SCIENCE Journal of Research NBS/USNC-URSI, v. 69D, No.4, April 1965.
2. De-Sitter W. Ein astronomischer Beweis fur die Konstanz der Lichtgeschwindigkeit // Physikalisch Zeitschrift.-1913. B.14. S.429; S. 1267-1268.
3. Majorana Q. Experimental demonstration of the constancy of velocity of light emitted by a moving source // Lincei Rendues. 1918, v.27, pp. 402 - 406; Physical Review. 1918. v. 11, pp. 411 - 420; Philosophical Magazine. 1919, v. 37, pp. 145 - 150.
4. Wallace Kantor . Direct First-Order Experiment on the Propagation of Light from a Moving Source . Journal of the Optical Society of America, 1962, v.52, Issue 9, pp. 978-984.
5. Ray O. Waddoups, W. Farrell Edwards, and John J. Merrill. Experimental Investigation of the Second Postulate of Special Relativity. Journal of the Optical Society of America, 1965, v.55, Issue 2, pp. 142-143.
6. Farley F., Kjellman J., Wallin J. Test of the second postulate relativity in the GeV region, Physical Letters, 1964, v. 12, No. 3, pp. 260 -262.
7. Fillipas T. A., Fox J. G. Velocity of gamma rays from a moving source, Physical Review. 1964, v. 135, pp. 1071 - 1075.
8. Babcock G. C., Bergman T. G. Determination of the constancy of the speed of light // Journal of Optical Society of America. - 1964. - v. 54. No. 2. – pp. 147 - 151.
9. Fox J. G. Experimental Evidence for the Second Postulate of Special Relativity. American Journal of Physics, v. 30, 297 (1962).
10. Albert A. Michelson, Edward W. Morley. On the Relative Motion of the Earth and the Luminiferous Ether. The American Journal of Science. III series. Vol. XXII, No. 128, p.120 - 129.
11. Lansberg G. S. Optics. Teaching Benefit. For universities. - 6 th ed. Stereotype. - M ,: FIZMATLIT, 2003, - 848 p.

12. F. F. Mende, Mende Interferometer with the Mechanical Division of the Ray. International Journal of Physics, vol. 5, no. 6 (2017): 197-200. doi: 10.12691/ijp-5-6-1.