

К.Миллер. Эксперимент по эфирному ветру и
определение абсолютного движения Земли,
1933 г.

Дейтон Кларенс Миллер,
Кейсовская школа прикладной науки.

История эксперимента дрейфа Земли 1878 –1881 гг

В обычно принятой теории свет рассматривается как волновое движение светоносного эфира, и это сделало необходимым определение основных свойств эфира, которые дают ему возможность передавать волны света и обеспечивать в целом оптические явления. Теории эфира подразумевают тесную связь с теориями структуры вещества и находятся в числе наиболее фундаментальных во всей области физической науки. Предположительно эфир заполняет все пространство, даже то, которое занято материальными телами, и еще он позволяет всем телам двигаться сквозь него совершенно свободно, это очевидно. Вопрос о том, каким образом эфир переносится такими телами, как Земля, вдоль направления и движения, рассматривался наукой еще на ранней стадии развития волновой теории. Открытие аберрации света в 1728 г. было вскоре объявлено общепринятой корпускулярной теорией света. Эффект был определен как простое сложение скорости света со скоростью орбитального движения Земли. Френель предложил объяснение, которое было принято благосклонно, основанное на волновой теории и предполагавшее, во-первых, что эфир покоится в свободном пространстве, а во-вторых, что «плотность эфира» различна в различном веществе и что скорость распространения света в любых веществах обратно пропорциональна квадрату плотности эфира. Эти две гипотезы дали полное и достаточное объяснение аберрации; вторая обсуждалась для того, чтобы проверить ее в эксперименте Физо, а также Майкельсона и Морли; первая гипотеза о том, что эфир неподвижен в пространстве, всегда вызывали сомнение.

Первое предложение метода измерения относительного движения Земли и эфира с помощью оптического эксперимента было сделано Джеймсом Клерком Максвеллом в его статье «Эфир», которая была опубликована в VIII томе 9 издания Британской энциклопедии в 1878 г. Предполагалось что эфир находится в покое, что световые волны распространяются в свободном эфире в некотором направлении и всегда с одинаковой скоростью по отношению к эфиру и что Земля в своем движении в пространстве свободно проходит сквозь эфир, не захватывая его. Эксперимент основывался на том соображении, что кажущаяся скорость света должна быть различна в зависимости от того, переносится ли наблюдатель Землей вдоль линии распространения света или под прямым углом к этой линии. Таким образом, появляется возможность

определить скорость относительного движения между движущейся Землей и неподвижным эфиром, что должно наблюдаться как «эфирный ветер» или «эфирный дрейф». Орбитальное движение Земли имеет скорость 30 км/с, в то время как скорость света в десять тысяч раз больше и составляет 300.000 км/с. Если бы было возможно измерить прямое влияние орбитального движения Земли на кажущуюся скорость света, то скорость, измеренная вдоль линии движения, отличалась бы от скорости света, распространяемого под прямым углом к этой линии, на 30 км/с или на 1/10.000. Это был бы «эффект первого порядка». Максвелл объяснил, что поскольку все практические методы требуют, чтобы свет распространялся от одного пункта к другому и возвращался назад к первому пункту, положительный эффект от движения Земли будет нейтрализован негативным эффектом от возвращения луча, однако благодаря движению наблюдателя во время перемещения света нейтрализация не будет совершенно полной, и можно наблюдать «эффект второго порядка», пропорциональный квадрату отношения скорости Земли к скорости света. Максвелл сделал в статье следующее заключение: «Изменение во времени распространения света из-за наличия относительной скорости эфира таково, что движение Земли по своей орбите создаст только одну стомиллионную долю полного времени распространения и поэтому будет совершенно незаметно».

Покойный проф. Альберт А. Майкельсон принял максвелловский вызов, и когда он находился в Берлинском университете в 1880–1881 гг., он придумал замечательный инструмент, повсеместно известный как интерферометр Майкельсона, который был специально приспособлен для экспериментов с эфирным ветром¹⁾. В интерферометре луч света буквально расщеплялся на два посеребренным полупрозрачным зеркалом, и оба луча могут быть пропущены под прямым углом друг к другу. В конце заданного пути каждый луч отражается назад, и оба идут к тому месту, где они были разделены. Если два пути, лежащих под прямым углом, были оптически эквивалентны, воссоединенные лучи света согласованно сложат свои волны. Если, однако, пути света в интерферометре различны по своим длинам или по оптическим свойствам среды, через которую свет пропускается, различие в фазе приведет к результату, который может наблюдаться как смещение «интерференционных полос». Наблюдение эти полос дает возможность обнаружить чрезвычайно малые изменения относительной скорости света в двух частях интерферометра; измерения проводятся в доля длин волн света.

Майкельсон сам применил свой интерферометр для отыскания относительного движения Земли и эфира, как предлагал Максвелл.

1) A. A. Michelson, *Phil. Mag.* [5] 13, 236 (1882); *Am. J. Sci.* 23, 395 (1882); H. A. Lorentz, *Astrophys. J.* 68, 345, (1928); Thos. Preston, *Theory of Light*, 5th ed. 229, 556 (1928); R. W. Wood, *Physical Optics*. 2nd ed. 265, 672 (1911).

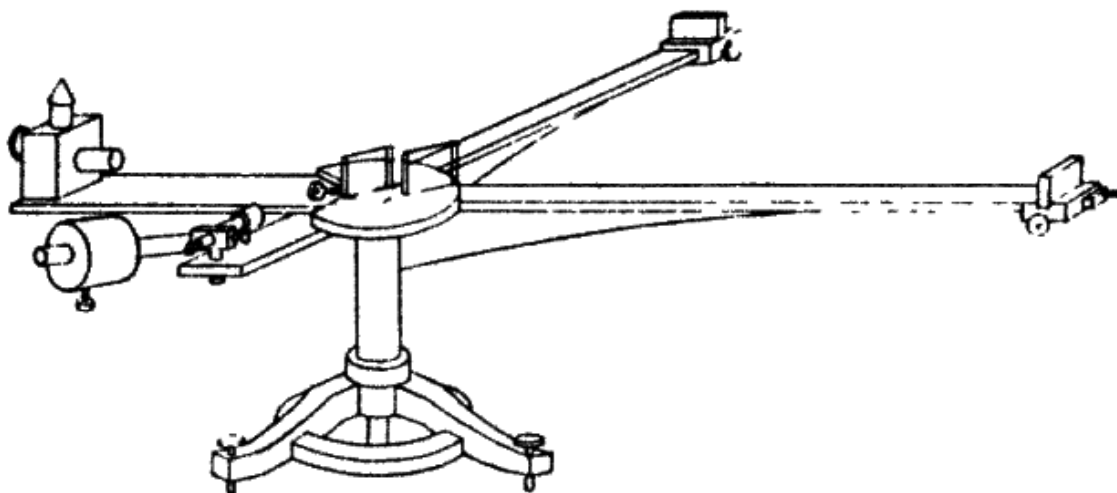


Рис. 1 Интерферометр Майкельсона 1881 года

Александр Грэхэм Белл разработал конструкцию нового прибора (рис. 1), который был изготовлен Шмидтом и Ханшеном в Берлине.

Полупрозрачное зеркало было помещено над центральной осью, а два плеча, образующие прямой угол, длиной каждое по 120 см несли на свои конца зеркала. Аппаратура была снабжена телескопическим плечом; наведение его в различные азимуты давало возможность определять эффект орбитального движения Земли, когда свет пропускается в направлении движения и под прямым углом к нему.

Первые попытки проведения экспериментов по эфирному ветру были предприняты в Физическом институте университета в Берлине, но наводки от уличного движения делали невозможным наблюдения полос, кроме как среди ночи. Эксперимент был перенесен в обсерваторию в Потсдам, интерферометр был смонтирован в пустом внутреннем пространстве в нижней части кирпичного фундамента, поддерживающего большой телескоп. В отчете об эксперименте, опубликованном в 1881 г.³⁾ с уточненным объяснением в статье 1887 г.,⁴⁾ установлено, что с учетом только орбитального движения Земли смещение интерференционных полос ожидалось 0,04 ширины полосы; реально же наблюдаемые смещения варьировались от 0,004 до 0,015 ширины полосы и являются просто погрешностью эксперимента. Было сделано заключение, что гипотеза стационарного эфира не подтвердилась.

2) A. A. Michelson, Am. J. Sci. [3] 22 120 (1881).

3) A. A. Michelson and E. W. Morley, Am. J. Sci. [3] 34, 333 (1887); Phil. Mag. [5] 24, 449 (1884); J. de Physique [2] 7, 444 (1886)444.

Эксперименты Майкельсона–Морли, Кливленд, 1887 г

В 1881 г., когда он находился в Европе, Майкельсон был приглашен в профессуру физики во вновь организованную Кейсовскую школу прикладной науки в Кливленде и таким образом познакомился с покойным Эдвардом В.Морли, проф. химии в Западном резервном университете; эти два института располагались напротив друг друга. Проф. Морли предложил некоторые важные усовершенствования интерферометра и методики его применения с тем, чтобы можно было адекватно измерять ожидавшийся тогда эффект в эксперименте по эфирному ветру. За счет ассигнований со стороны фонда Баха Национальной академии наук был сконструирован новый интерферометр, в который вошли эти усовершенствования; оптические части были сделаны покойным Джоном А.Браширом из Питсбурга (рис. 2).

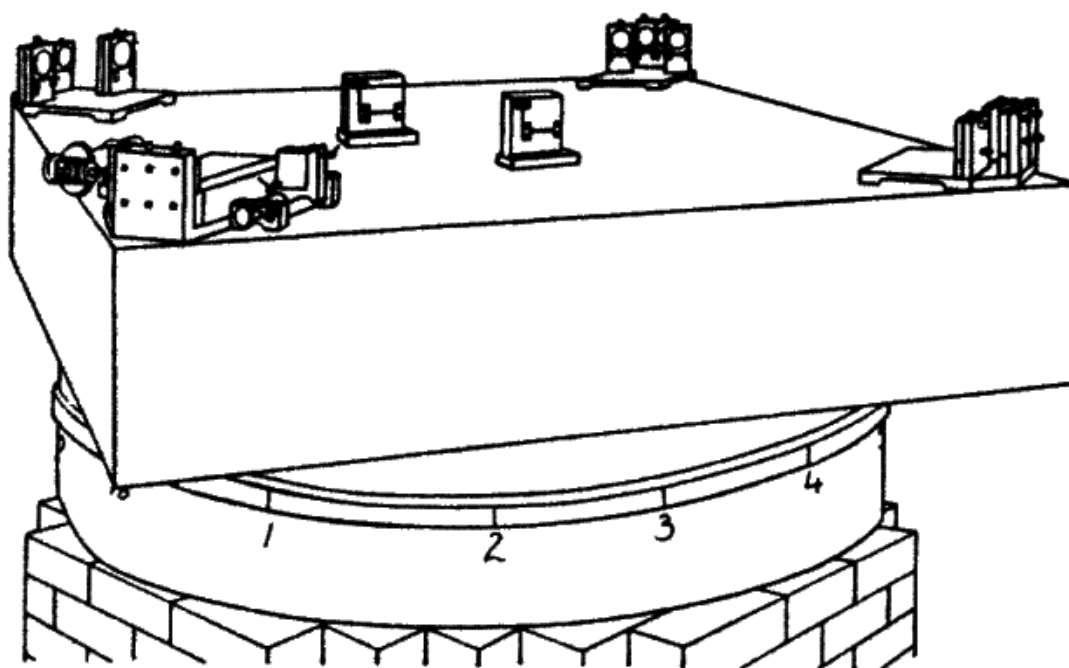


Рис. 2. Интерферометр Майкельсона - Морли 1887 года.

Для того чтобы избежать возмущений от вибраций и деформаций, оптические части были смонтированы на твердом блоке из песчаника (рис.2), который плавал в ртути, содержащийся в круглом чугунном баке. Эта плавающая опора дала возможность поворачивать интерферометр на различные азимуты во время наблюдений. Каменная квадратная плита имела сторону 150 см и толщину 30 см. Чтобы получить необходимую чувствительность, эффективный световой путь был увеличен с помощью отражения света назад и вперед так, что он проходил диагональ квадратного камня восемь раз, давая эффект интерферометра с плечом около 1100 см длиной. Ожидаемое смещение полос, соответствующее скорости Земли на ее орбите,

составляет 0,4 ширины полосы. Майкельсон и Морли выполнили свой исторический эксперимент в северо-западной комнате подвального этажа главного здания Колледжа Адельберта в Кливленде в 1887 г.; их полная серия наблюдений имела продолжительность 6 ч, по одному часу в полдень 8, 9 и 11 июля и по одному часу вечером 8, 9 и 12 июля и состояла из 36 оборотов интерферометра; считывания проводились на каждом из 16 равноотстоящих положений в каждом обороте. Методы наблюдения были ориентированы на то, чтобы найти предполагаемое движение Земли по направлению к известной точке пространства с заданной скоростью, и поэтому не были сделаны главные серии наблюдений. Кратких серий наблюдений было достаточно, чтобы ясно показать, что полученный эффект не имеет ожидаемого значения. Однако, и это следует подчеркнуть, что полученный эффект не был нулевым; чувствительность аппарата.

В первоначальной оценке своего эксперимента Майкельсон и Морли привели реальные отсчеты положений интерференционных полос в шести сериях наблюдений. Верхняя длинная кривая на рис. 3 показывает среднее из трех серий отсчетов, сделанных в полдень, а нижняя длинная кривая – среднее для трех серий, сделанных вечером. Эти кривые показывают смещение полос для полного оборота интерферометра, в это время смещение полос в результате действия эфирного ветра было периодическим в каждой половине оборота. Упомянутый эффект отсутствовал потому, что вторую половину длинной

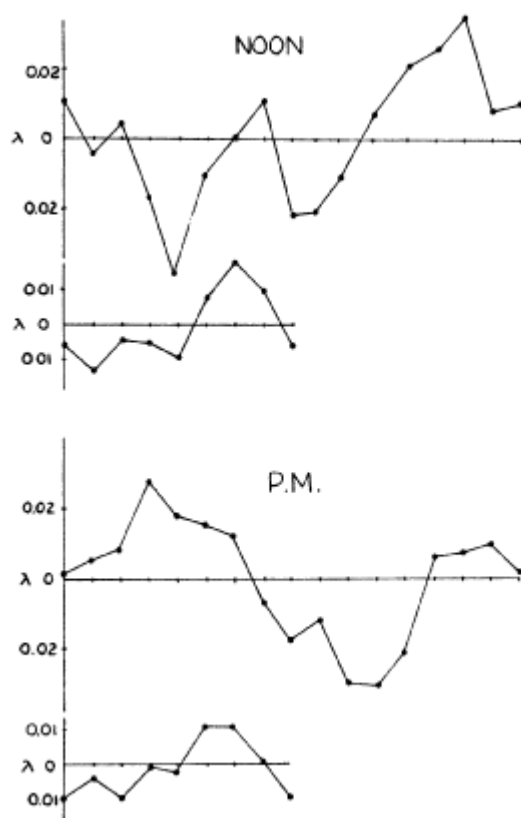


Рис. 3. Смещение интерференционных полос в эксперименте Майкельсона – Морли в 1887 г.

кривой суммировали с первой половиной, чем погашался полнопериодический эффект и все нечетные гармоники, показанные на короткой кривой, изображающей желаемый полупериодический эффект, вместе с высшими гармониками, которые также могут быть. Рассмотрение кривых ясно показывает, что они вовсе не дают нулевого значения; они не являются результатом случайного разброса и дают продолжительный систематический эффект.

Полнопериодические кривые были подвергнуты анализу с помощью механического гармонического анализатора, который определил истинное значение полупериодического эффекта; он, будучи сопоставлен с соответствующей скоростью относительного движения Земли и эфира, показал скорость 8,8 км/с для полуденных наблюдений и 8,0 км/с для вечерних наблюдений. На рис. 4 плавная кривая показывает значения скорости эфирного ветра в течение суток для широты Кливленда, которые определены детально для дрейфа и которые описаны ниже в настоящей статье по данным наблюдений, сделанных на Маунт Вилсон. Два кружка на этом графике соответствуют скорости дрейфа, реально полученной Майкельсоном и Морли для полуденных и вечерних наблюдений, и показавших полное соответствие с результатами более поздней работы, описанной здесь.



Рис. 4. Скорость эфирного ветра, наблюдаемого Майкельсоном и Морли в 1887 г. и Морли и Миллером в 1902, 1904 и 1905 гг., в сравнении со скоростью, полученной Миллером в 1925 г.

Тот факт, что результат, полученный Майкельсоном и Морли, не был пренебрежимо мал, был очень полно установлен ранее профессором Хиксом из Университетского колледжа Шеффилда в 1902 г. в его важном

теоретическом исследовании первоначального эксперимента⁴⁾. Хикс также обратил внимание на присутствие полнопериодического эффекта первого порядка, который никогда не был исследован в достаточной степени; этот эффект первого порядка будет обсужден ниже.

Гипотеза Лоренца– Фицджеральда

Эксперимент Майкельсона – Морли, который показал, что теория эфира была или неполной, или неправильной, привлек широко внимание мира, потому что он имел фундаментальный характер, а также потому, что результат оказался совершенно неожиданным. Проф. Фицджеральд из Дублина в 1891 г. выдвинул объяснение малого эффекта на основе гипотезы о том, что силы, связывающие молекулы в твердом теле, могут изменяться при движении тела сквозь эфир и таким образом, что размеры каменного основания интерферометра должны укорачиваться в направлении движения и это сокращение может быть таким, что оно нейтрализует оптический эффект, отыскиваемый в эксперименте Майкельсона – Морли. Фицджеральд не опубликовал своей теории в научных журналах, но он изложил ее в своих лекциях. Эта теория была представлена к публикации сэром Оливером Лоджем в его речи «Проблемы аберрации и новые эфирные эксперименты», представленной 31 марта 1892г. в Королевское общество, эта речь была опубликована в *Philosophical Transactions* в 1893 г.⁵⁾ Лодж изложил дополнительные детали этой гипотезы в своей недавно изданной автобиографии⁶⁾. В 1895 г. проф. Лоренц из Лейдена развил теорию, придав ей системный характер, имея в виду, что частицы все твердые тел удерживаются вместе электрическими силами и что движение тела как целого должно изменять электрические силы между атомами за счет появления магнитных эффектов, вызванных движением. Результатом этого должно быть сокращение размера тела в направлении движения, и это сокращение пропорционально квадрату отношения скоростей перемещения и света, оно должно иметь такое значение, чтобы полностью аннулировать эффект эфирного ветра в интерферометре Майкельсона–Морли⁷⁾. Если сокращение зависит от физических свойств твердого тела, то можно предположить, с другой стороны, что полный ожидаемый эффект, аннулируемый в одном аппарате, может в аппарате из другого материала дать эффект, отличный от нуля, возможно, противоположного знака.

4) W. M. Hicks, *Phil. Mag.* [6] 3, 256, 555 (1902); *Nature* 65, 343, (1902); E. W. Morley and D. C. Miller, *Phil. Mag.* [6], 9 669 (1905); A. Righi, *Comptes Rendus* 168, 837 (1919); 170, 497, 1550 (1920); 171, 22 (1920). E. R. Hedrick, *Astrophys. J.* 68, 374 (1928).

5) G. F. Fitzgerald, see O. J. Lodge. *Aberration Problems* *Phil. Trans. Roy. Soc.* 184, 749 (1894).

6) Sir Oliver Lodge. *Past Years*.. 204 (1932).

7) H.A.Lorentz. *Versuch einer Theorie der electrischen und optischen Erscheinungen in bewegten Korpern*. Leyden. (1895); *Theory of the Electron*, 195 (1909).

Эксперименты Морли – Миллера, Кливленд, 1902—1906 гг. Интерферометр из дерева, 1902 г.

На Международном конгрессе по физике, состоявшемся в Париже в 1900 г. во время Международной выставки, Лорд Кельвин произнес речь, в которой он изложил основные теории эфира и подчеркнул значение результатов экспериментов Майкельсона – Морли для этих теорий.⁸⁾

проф. Морли и автор присутствовали, и в разговоре с Лордом Кельвином последний решительно настаивал на повторении эксперимента по эфирному ветру с более совершенной аппаратурой. Морли и Миллер затем сконструировали интерферометр, специально рассчитанный на проверку гипотезы Лоренца–Фицджеральда. База этого интерферометра была выполнена в форме креста, сделанного из белых сосновых досок длиной около 430 см, световой путь был в 3 раза длиннее использованного Майкельсоном и Морли в 1887 г. Основные размеры, оптические части и методы наблюдений с использованием этой аппаратуры были теми же, что и для стального интерферометра, детально описанного в последующих разделах настоящей статьи. Прибор был смонтирован в северо-западной угловой комнате в подвале главного здания Кейсовской школы прикладной науки; в августе 1902 г. и в июне 1903 г. были проведены три серии наблюдений, состоящие из 505 поворотов интерферометра. Был обнаружен небольшой положительный эффект, показанный квадратиком на рис. 4, который, хотя и был несколько больше, чем в предшествующем эксперименте, был еще слишком мал, что указывало на то, что если уменьшение наблюдаемой скорости отнести за счет гипотетического сокращения размеров, то сосна подвержена ему в той же степени, что и песчаник. Изменения в деревянных опорах из-за вариаций влажности и температуры затрудняли получение точных наблюдений, и было решено отказаться от сосновой базы аппаратуры и сконструировать прибор с базой из металла для закрепления тяжелых частей, причем такой, чтобы в ней длина оптического пути определялась различным материалом – деревом или металлом – по желанию.

При разработке новой аппаратуры были проведены эксперименты для выявления влияния магнитного поля на железные части прибора; такое влияние на результаты следовало исключить. На противоположных концах одного из длинных плеч крестовины были подвешены массивные бруски железа, причем один брусок размещался параллельно земному магнитному полю, а другой – поперек него; и влияние менялось на противоположное при изменении азимута аппарата на противоположный. Наблюдения с нагрузкой дали те же самые результаты, что и ранее. В дальнейшем эксперименте на одном плече были размещены аналитические балансиры, вместе с

8) Lord Kelvin. *Rapports presetes au Congres International de Physique*. 2, 1 (1900).

которыми железный брусок весил 1200 г. Брусок был ориентирован так, чтобы при одном азимуте аппарата он был параллелен направлению земного магнитного поля, в то время как второй располагался поперек направления поля. При этом могла быть определена разница в полмиллиграмма, но такой разницы не было. Наблюдение за эффектом проводилось с помощью размещения груза с известной массой на одном плече интерферометра; было показано, что земной магнетизм не может являться возмущающим фактором.

Описание нового стального интерферометра

Ассигнования, выделенные фондом Румфорда Американской академии искусств и наук, сделали возможным разработку в 1904 г. совершенно нового стального аппарата. Расчет основы интерферометра, выполненный проф. Ф. Х. Неффом из отдела гражданской техники Кейсовской школы прикладной науки, был проведен с учетом того, что все оптические части и принадлежности должны быть размещены на двух балках из конструкционной стали (рис. 5, 10 и 14), каждая около 430 см длины, пересекающихся в форме креста. Цель этого расчета была гарантировать структурную симметрию и наивысшую жесткость. Стальной крест крепился на круглом деревянном поплавке (рис. 5) диаметром 150 см; на нижней стороне размещалось деревянное кольцо, имеющее внешний диаметр 150 см, внутренний диаметр 80 см и толщину 20 см.

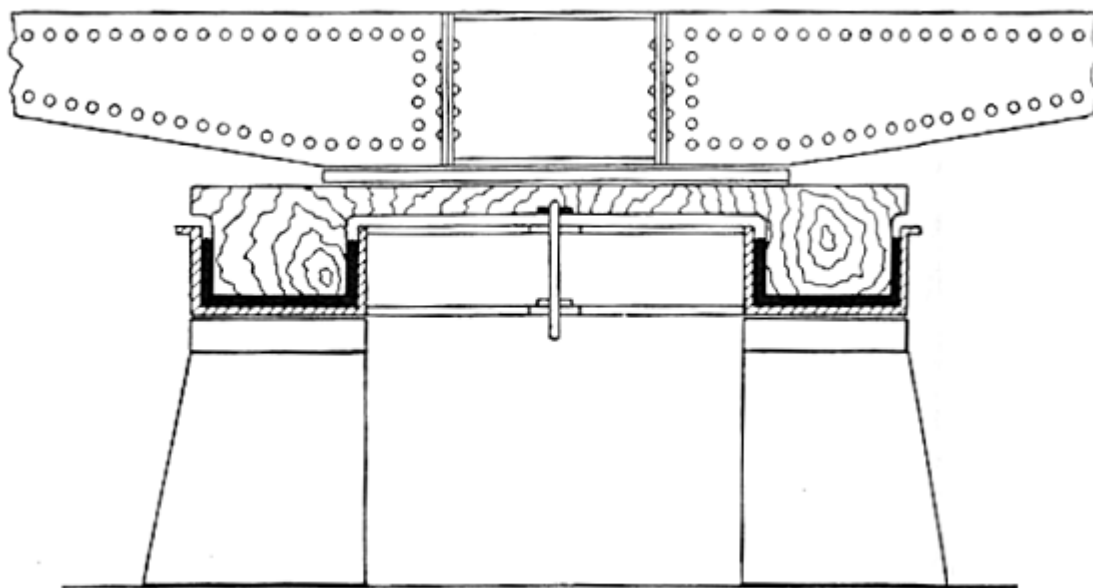


Рис. 5. Секция крестовины на ртутном поплавке для интерферометра

Деревянный поплавок покоился на ртути, налитой в кольцевой желоб из чугуна, размеры которого оставляли зазор около 1 см вокруг дерева; этот зазор заполнялся ртутью. Потребовалось около 275 кг ртути, чтобы обеспечить плавучесть всего аппарата, масса которого составила

около 1200 кг. Поплавки сохраняли центральное положение благодаря центральной шпильке, которая удерживалась без давления. Кольцевой железный бак поддерживался опорами из кирпича или бетона такой высоты, которая требовалась для того, чтобы окуляр наблюдательного телескопа находился на уровне глаз наблюдателя, соответственно его позы во время хождения вокруг интерферометра, плавно поворачивающегося на ртути. Чугунный желоб для ртути вместе с круглым деревянным поплавком являются теми же самыми частями, которые были использованы в первоначальном интерферометре Майкельсона и Морли в 1887 г., и эти две части продолжают использоваться автором до настоящего времени. Остальные части аппарата 1887 г. были выброшены, исключая только три чугунных держателя для зеркал.

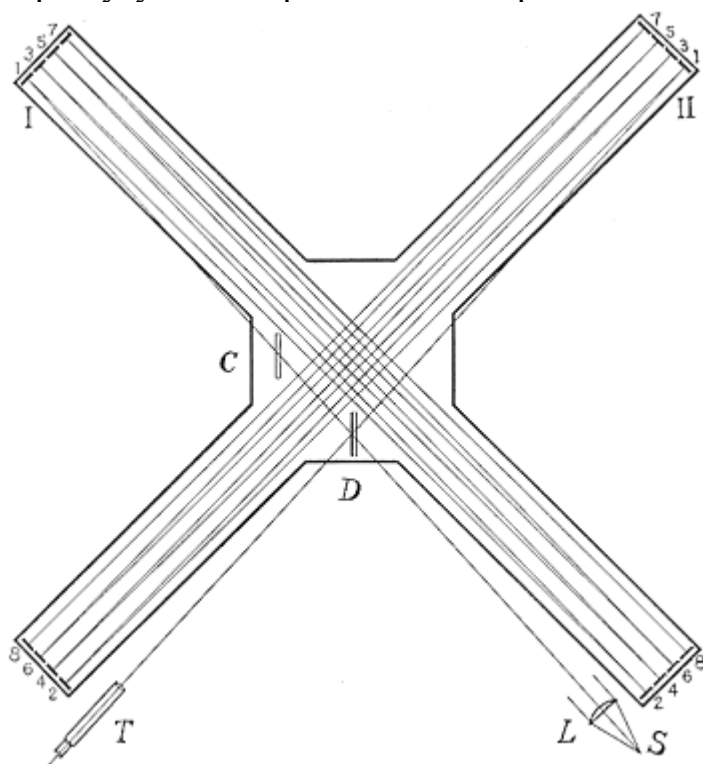


Рис. 6. План оптических путей в интерферометре

Все плоские оптические поверхности были сделаны в 1902 г. оптическим мастером О. Л. Петитдидером из Чикаго, и качество было совершенным; они состояли из двух плоскопараллельных пластин, каждая размером 10,5 x 17,5 см, и 16 плоских зеркал круглой формы диаметром 10,25 см. Общий план интерферометра показан на рис 6, который выполнен не в точном масштабе. На центральной пластине на пересечении плеч крестовины смонтированы полупрозрачное посеребренное диагональное зеркало D, и его компенсационная пластина C, изготовленные из одной плоскопараллельной пластины. На внешнем конце каждого плеча крестовины смонтировано по четыре круглых зеркала на металлической пластине, которая удерживается в вертикальном положении. Каждое из 18 зеркал удерживается пружинами против точек

трех регулировочных винтов, чтобы иметь возможность осуществить необходимую регулировку для обеспечения надежной интерференции. Для того чтобы обеспечить возможно более точную симметрию двух плеч, не используется микрометрический винт для перемещения концевого зеркала параллельно самому себе, а все регулировки обеспечены с помощью трех простых винтов, так же, как и для других зеркал. Свет от источника S выпускается параллельно конденсирующей системой L, состоящей из трех линз диаметром 15 см, и достигает полупрозрачного зеркала D. Часть этого света передается к зеркалу I—1; он последовательно отражается от зеркал 2, 3, 4, 5, 6, 7 и 8, пройдя расстояние, примерно равное 7,5 длин плеча крестовины. От зеркала 8 свет возвращается обратно к D, где он частично отражается к наблюдательному телескопу T. Второй луч света падает на D и отражается вдоль второго плеча крестовины к II—1, отражается вперед и назад, возвращается к D и частично пропускается к наблюдательному телескопу. В реальном аппарате (рис. 10) зеркала 5 и 7 размещены выше зеркал 3 и 1, а зеркала 6 и 8 выше зеркал 4 и 2. С помощью этой системы зеркал эффективная длина плеча интерферометра значительно возрастает и в данном аппарате составляет 3203 см, обеспечивая полную длину пути, прямого и обратного, 6406 см, что составляет около 112.000.000 длин волн ацетиленового света, примененного в эксперименте. Телескоп имел апертуру 3,3 см, длину фокусного расстояния 35 см, и увеличение 35 раз. Телескоп сфокусирован на поверхности зеркала 8, где, после того как регулировка завершена, должны появиться интерференционные полосы.

Такой аппарат, состоящий из оптически плоских поверхностей, стальной крестовины и ртутного бака с поплавком, был применен автором во все эксперименты с 1904 г. до настоящего времени, исключая то, что для эксперимента декабря 1921 г. стальная крестовина была размещена на основании из бетона. В 1923 г. малый считывающий телескоп был заменен на астрономический телескоп с 13-сантиметровой апертурой, имеющий увеличение в 50 раз. Весь путь света в аппарате закрыт, покрытие было выполнено из соснового дерева, но только для экспериментов 1904 г.; в 1905 г. покрытие было для всех плеч выполнено из стекла, это сделало аппарат полностью прозрачным в горизонтальной плоскости; это устройство, показанное на рис. 13 и 16, применяется до настоящего времени.

Регулировка интерферометра

Когда зеркала установлены, расстояния между ними, равные примерно 425 см, выравнивались с помощью легкой деревянной линейки, и зеркала регулировались так, что два световых луча, каждый состоящий из восьми различных частей, были примерно одинаковыми. Для установления интерференции применялся натриевый свет от обычной натриевой лампы лабораторного типа; наблюдая визуально максимум

системы натриевых интерференционных полос, регулировки осуществлялась по центру этой системы, где полосы белого света могли быть замечены. Когда аппарат был впервые собран на Маунт Вилсон, время, потребовавшееся для приближенной регулировки расстояния между зеркалами с помощью деревянной линейки, составило около 1 ч, для средних зеркал – 15 мин, для нахождения полос с белым светом – 45 мин или 2,5 ч для всей операции. В другом случае полосы для натриевого света были найдены за 10 мин тщательной работы, а полосы белого света — за 45 мин. Для предварительной регулировки пытались применить ртутную дугу и другие монохроматические источники, но натриевый источник оказался предпочтительнее, потому что средняя часть интерференционной системы полос, которая соответствует равным световым путям в двух плечах интерферометра, может быть легко установлена. Полосы белого света были выбраны для наблюдений потому, что они состоят из небольших групп полос, имеющих центральную отчетливую черную линию с резкими краями, которая формирует нулевую отметку для последующих отсчетов. До 1924 г. в качестве источника света применялась маленькая ацетиленовая лампа типа тех, которые используются для велосипедов; лампа была закреплена на кронштейне, установленном на конце одного из плеч интерферометра, как показано на рис. 10 и 13. Такая лампа дает концентрированный, яркий и очень устойчивый свет с минимальным выделением тепла; сама лампа очень проста, имеет малую массу, а горит несколько часов, почти не требуя внимания. Для наблюдений 1924 г. и для части наблюдений апреля 1925 г. источник был размещен вне комнаты интерферометра, как объяснено позже, и была применена большая лампа типа автомобильной фары, показанная на рис. 14. В апреле 1925 г. была вновь выбрана маленькая ацетиленовая лампа, теперь она была помещена на потолке покрытия интерферометра по центральной оси, как показано на рис. 16, свет передавался в оптические пути с помощью двух зеркал на конце одного из плеч. Устройство это действует и сейчас. Монохроматические полосы в наблюдениях эфирного ветра никогда не применялись, хотя экспериментальные попытки и делались, как будет описано ниже.

Интерференционные полосы появляются на поверхности наиболее удаленного зеркала № 8 на показанной выше схеме. К несущей раме этого зеркала прикреплен маленький кончик стрелки из латуни, который находится почти в контакте с зеркалом и проектируется в поле зрения, формируя фиксированную позицию отсчета для определения положения системы полос. Прежде чем начать наблюдения, концевое зеркало № 8 на телескопическом плече очень тщательно регулируется, чтобы подобрать подходящую ширину вертикальных линий. Имеются две регулировки углов этого зеркала, которые будут давать линии той же ширины, но которые производят противоположные смещения линий при одних и тех же изменениях в одном из световых путей. Всегда очень большое внимание требуется для того, чтобы отрегулировать этот

критический угол так, чтобы заставить точку указательной стрелки появляться справа от центральной черной полосы, когда световой путь телескопического плеча увеличивается в эффективной длине; отсчет для такого положения записывается со знаком плюс. Когда указатель появляется слева от центральной полосы, — отсчет отрицательный, соответствуя укорочению телескопического плеча.

Регулировка обычно такова, что от шести до десяти полос появляются в поле зрения, и центральная черная полоса находится не более чем на расстоянии двойной ширины полосы от указателя. На рис. 7 показано поле зрения с установленными узкими полосами и широкими полосами, последние соответствуют условиям реального наблюдения.

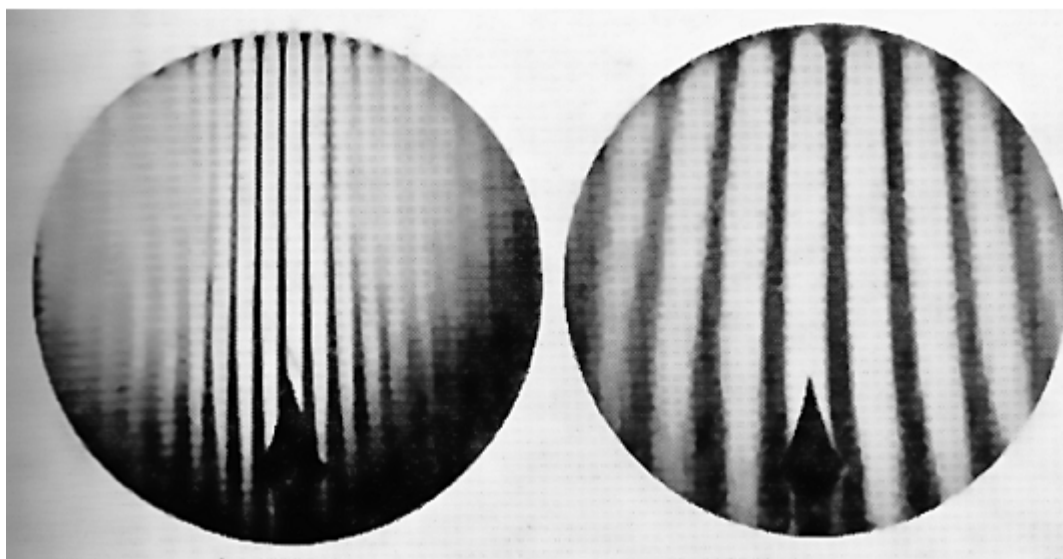


Рис. 7. Интерференционные полосы, наблюдаемые в интерферометре

Метод применения интерферометра

Метод применения интерферометра для определения эфирного ветра предполагает, что телескопическое плечо интерферометра будет находиться в линии движения Земли с учетом проекции движения эфира на плоскость интерферометра, поскольку второе плечо находится под прямым углом к этому движению. Интерференционные полосы будут показывать определенный отсчет по отношению к указателю в поле зрения. Аппарат затем поворачивается на угол 90° , так что влияние движения Земли на кажущуюся скорость света переносится с одного телескопического плеча на другое: в результате система интерференционных полос будет смещена на расстояние, зависящее от квадрата отношения скорости движения к скорости света. Однако направление абсолютного движения Земли неизвестно, поэтому невозможно установить интерферометр определенно в желаемое положение и его приходится медленно вращать на ртутном поплавке, так что телескоп проходит последовательно все азимуты.

Относительное движение Земли и эфира должно будет тогда вызывать периодическое смещение интерференционных полос, полосы двигаются сначала в одну сторону, а затем в другую по отношению к указателю в поле зрения, с двумя полными периодами в каждом обороте инструмента.

Неизменность температурных условий важна для постоянства размеров аппарата и рефракции воздуха в оптическом пути. Обычно аппарат приводится в движение за час или более до того, как начать отсчеты. Иногда для того, чтобы обеспечить постоянство распределения температуры применяется вентилятор, а окна обычно были открыты во все стороны. Однако когда наблюдения проводились в дневное время, окна должны были закрываться занавесями или темной бумагой. Аппарат приводится в движение тягой в несколько унций (унция – 28,3 г) посредством тонкой струны, прикрепленной к деревянному поплавку; струна смягчала усилие, и даже если бы она порвалась, не могло бы произойти заметного рывка стального интерферо-метра, который покоится на поплавке. Интерферометр поворачивается так легко, и он имеет такую инерцию, что если он начал вращение, то он будет продолжать вращение полтора часа или более без толчков и рывков. Он вращается совершенно свободно, так что это является «плаванием» без ускорений и возмущений.

Цель наблюдений заключается в определении смещения интерференционных полос и направления, в котором направлен телескоп, когда это смещение максимально. Наблюдатель ходит по кругу диаметром около 20 футов, удерживая свой глаз на движущемся окуляре телескопа, прикрепленного к интерферометру, который плавно поворачивается вокруг своей оси со скоростью 1 об. за 50 с. Наблюдатель не должен касаться интерферометра во время своего пути и в то же время он не должен терять из виду интерференционных полос, которые видны только через маленькую апертуру окуляра телескопа, имеющую диаметр около 0,25 дюйма. Струна, прикрепленная к поплавку и упомянутая выше, может быть использована как чувствительная направляющая, чтобы помочь наблюдателю в нахождении правильного закругленного пути. К деревянному поплавку прикреплена тонкая металлическая щетка, последовательно касающаяся 16 контактов, находящихся на равном расстоянии друг от друга на баке со ртутью, замыкая электрическую цепь, которая включает небольшой звуковой сигнализатор и указывает мгновение, в которое должен происходить отсчет.

Совершенно реально можно провести отсчеты положений интерференционных линий, соответствующих шестнадцати равноотстоящим азимутам на одном обороте интерферометра при скорости 1 об. за 50 с. «Серия» отсчетов, соответствующая «одиному наблюдению» и изображенная одной точкой на диаграммах первоначальных наблюдений, обычно состоит из 320 отсчетов, сделанных за 20 об. на протяжении 18 мин. Среднее время между началом и окончанием серии отсчетов принято за время наблюдения. Обычно 20 об.

наблюдаются в непрерывной последовательности, однако если один отсчет при каком-либо азимуте утрачен из-за вибрации держателя или по какой-нибудь иной причине, то аннулируется весь оборот. Регулировки сохраняются так, чтобы центральная линия в поле зрения (см. рис. 7) никогда не отклонялась от точки отсчета на расстояние большее, чем две ширины полосы. Часто температурный дрейф таков, что полосы перемещаются на большее расстояние, до завершения полной серии из 20 об. Когда это происходит, система полос восстанавливается в центральное положение простым перемещением малой массы 200 или 300 г на одном конце плеча или снятием массы с плеча. Все это делалось без остановки непрерывного вращения аппарата и обычно без перерыва отсчетов, а если отсчет не был зафиксирован, то этот оборот выбрасывался, и наблюдения продолжались до тех пор, пока не набиралась серия из 20 полных оборотов. Только изредка необходимо вновь подрегулировать положение полос с помощью винтов, на которые опираются зеркала. В некоторых случаях температурные условия оказывались столь стабильными, что не требовалось регулировать полосы в течение нескольких серий наблюдений, которые могут продолжаться час или более; такие серии наблюдений повторялись регулярно в течение нескольких часов рабочего времени.

Представляется очень важным, чтобы интерферометр не был закрыт ни металлическим экраном, ни другим непрозрачным покрытием, а также то, что аппарат не должен помещаться внутри комнаты с тяжелыми стенами, какие требуются для комнат с постоянной температурой. Насколько это возможно, аппарат должен быть открыт, чтобы не происходило захвата эфира окружающими прибор массивными материалами. Инструмент весьма чувствителен к изменению температуры и к вибрации опоры, а измеряемая величина чрезвычайно мала. Когда же аппарат использует минимальные покрытия, он подвержен в большей степени температурным возмущениям, чем когда он полностью защищен; тогда результаты в большей степени разбросаны среди отдельных отсчетов, поэтому необходимо собрать большое число отсчетов и так быстро, насколько это возможно при этих условиях. Усреднение отсчетов затем выявит присутствие эфирного дрейфа, потому что температурные изменения, которые происходят более медленно, будут отсутствовать в конечном усредненном результате. Так как отсчеты производятся с интервалом около 3 с, положение максимального смещения зависит от считываний, продолжающихся меньше 10 с. Полный период смещения происходит в интервале около 25 с. Любой температурный эффект или другая возмущающая причина, которая не строго периодична каждые 25 с в интервале 50 мин., будет гарантированно отброшена в процессе усреднения, в то время как останется реальный эффект. Таким образом, результаты наблюдений за направлением абсолютного движения в широком диапазоне не зависят от обычных температурных вариаций. Наблюдения являются дифференциальными и могут быть выполнены со

значительной уверенностью во всех условиях. Возмущения из-за температуры или других причин, длящиеся несколько секунд или несколько минут, могут влиять на реальные значения наблюдаемого смещения и делать менее уверенным значение скорости эфирного ветра; однако в то же время положение азимута смещения им не подвержены.

До 1925 г. интервал времени реальных считываний ограничивался одним или двумя часами определенного времени суток; время, требуемое для подготовки и предварительной регулировки, увеличивало этот интервал еще на два часа. Процедура, примененная в 1925 г., сделала необходимым распределение наблюдения равномерно по 24 часам суток для того, чтобы определить суточные изменения. Требуя несколько минут на считывание показаний термометров и для перенастройки полос, а также несколько минут на отдых, две серии отсчетов могут быть сделаны каждый час в течении рабочего дня, или ночи, в течение 8 часов. Собраны сотни серий отсчетов, распределенные по 24 часам суток, выполненных при удовлетворительных погодных условиях на протяжении шести–восьми дней. Такие серии наблюдений окончательно превращались в одну группу, соответствующую средней дате эпохи; некоторые серии из них изображены на рис. 22.

Единственное, что должен был делать наблюдатель, – это замечать и объявлять положение центральной черной полосы относительно начальной точки отсчета, в десятых долях ширины полосы, со знаком «+» или «-», в тот момент, когда прозвучит сигнал электрического зуммера.

Ассистент записывал эти показания в том же порядке, в подготовленную форму, начиная от отсчета, соответствующего северному или другому отмеченному азимуту, как показано на рис. 8, на котором записаны реальные наблюдения, проведенные на Маунт Вилсон 23 сентября 1925 г. Наблюдатель не обращал внимания на азимут. Отсчет определялся по мгновенной визуальной оценке; совершенно непрактично применять какие-либо шкалы в поле зрения, потому что ширина полос подвержена небольшим вариациям. То, что такой метод достаточен, показано с помощью постоянства и систематической периодичности кривых, изображающих результаты наблюдений. Числовое значение, использованное как результат «одинокое наблюдение», есть среднее для сорока таких отсчетов; функция периодична каждые пол оборота, и точность ее определения приближается к сотым долям полосы.

Когда проводились наблюдения, ни наблюдатель, ни тот, кто записывал отсчеты, не могли даже в самой малой степени так или иначе привнести какую-либо периодичность как в значения, так и в направление любого периодического эффекта; проведение наблюдений совершенно не зависит от чего бы то ни было и является простой механической операцией. То, что это так, станет очевидно из анализа данных, отражающих отсчеты, записанные в таблице на рис. 8 и на рис. 9.

Обработка интерферометрических наблюдений

Обработка серий отсчетов проводится обычным арифметическим способом. В записи на рис. 18.8 по горизонтальным линиям фиксируются шестнадцать отсчетов за один оборот интерферометра, первый отсчет соответствует направлению телескопа на север; в таблице показаны отсчеты для двадцати оборотов. Семнадцатое число в конце каждой строки соответствует первому отсчету следующей после нее строки или оборота; если проведена регулировка полос, то это число является началом отсчетов для последующего оборота до проведения регулировки. В каждой колонке 20 чисел суммируются соответственно с учетом знаков «+» или «-». При идеальных условиях все числа одной колонки, в том числе и в 17-й колонке, должны быть целыми числами, но в действительности всегда имеется сдвиг системы полос по отношению к начальной точке отсчета. Этот сдвиг принимается за стабильный линейный процесс на протяжении времени одного оборота или около двадцати пяти секунд, что эквивалентно представлению о том, что периодическое смещение полос вызвано наклоном оси. Компенсация сдвига осуществляется прибавлением к сумме чисел 17-й колонки такого числа, которое сделало бы ее равной сумме чисел первой колонки, а затем прибавлением к сумме первой колонки $1/16$ этого числа, к сумме второй колонки – $2/16$ и т. д., это исправляет наклон числовой оси. Эти исправленные суммы в 16 колонка отсчетов делятся на 20 – число записанных оборотов, давая усредненное положение центральной черной интерференционной линии для каждого из 16 азимутов полного оборота прибора. Далее средняя ордината вычитается из ординаты каждой точки, и теперь эти точки, будучи нанесены на график, дадут кривую смещения полос, приписываемую определенному времени.

Для того чтобы определенно выявить скорость эфирного ветра, эта серия из 16 усредненных отсчетов положений интерференционных полос подвергается механическому гармоническому анализу, будучи предварительно нанесенной на график с широкой шкалой, чтобы точнее выделить вторую гармоническую составляющую, которая отражает полупериодический эффект эфирного ветра второго порядка; этот процесс проиллюстрирован на рис 21 IV. В целях предварительного изучения результатов наблюдений удобно получить приблизительное графическое изображение эффекта с помощью следующей процедуры. Вторая половина строки шестнадцати усредненных отсчетов помещается под первой половиной и в каждой колонке получается среднее от двух чисел; таким сложением уничтожается любой полнопериодический эффект, а также эффект любых нечетных высших гармоник, которые могли присутствовать. Последняя строка из восьми членов, изображающая средние значения ординат полупериодического эффекта вместе с четными гармониками, которые могут присутствовать, получена из сорока серий отсчетов эффекта второго порядка. Вверху таблицы на рис 8

приведены отсчеты для полного оборота интерферометра, а внизу — для полупериодных эффектов.

Серии отсчетов, проиллюстрированные здесь, не исключение; это типичный пример значений и периодичности смещения полос из-за ветра. Это частичное смещение соответствует скорости эфирного ветра 9,3 км/с. Каждая серия отсчетов показывает вполне определенную периодичность, которая систематически изменяется как по значениям, так и по фазе.

Метод сокращения наблюдений далее проиллюстрирован графическим изображением на рис. 9, который показывает применение полного процесса к первым пяти оборотам, записи которых приведены на рис. 8. Отсчеты для пяти оборотов приведены к масштабу в верхней части рисунка. Ниже слева показано суммирование пяти оборотов для 16 азимутов одного полного оборота, в котором периодическое смещение ясно колеблется около снижающейся наклонной оси; еще ниже приведена линейная компенсация сдвига и еще ниже — суммы отсчетов с устраненным сдвигом. Среднее из 16 ординат вычтено из каждой ординаты, давая кривую, отнесенную к своей собственной оси, как показано справа. Ниже показаны две половины полнооборотной кривой, одна ниже другой; еще ниже — половина суммы двух кривых, из которой полнопериодический эффект теперь устранен. Это и есть средний эффект для половины периода, полученный из суммы пяти оборотов; для окончательной оценки ординаты должны быть разделены на пять, это показано изменением масштаба на рисунке. Интересно отметить, что кривые полного оборота и половины оборота получены идентично из соответствующих кривых, полученных из полной серии отсчетов для двадцати оборотов, показанных на рис. 8.

Стабильность интерферометра

Стальная крестовина, которая составляет основу интерферометра, обеспечивает замечательную стабильность и надежность. Длина светового пути, прямого и обратного, равна примерно 112.000.000 длинам волн и для получения интерференционных полос в белом свете два световых пути, находящихся под прямым углом друг к другу, состоят из шестнадцати отдельных путей и должны быть равны друг другу с точностью доли длины волны. Различие в длине от пяти до десяти длин волн смещает интерференционную систему полос белого света так сильно, что ее нельзя видеть в телескоп, когда регулировка выполнена для широких полос. Винты, используемые для регулировки концевое зеркало № 8, имеют шаг 0,635 мм и поворот винта на 16° создает изменение оптического пути в 100 волн. Эти винты поворачиваются с помощью шпилек, вставляемых в отверстия головок, чем обеспечивается тонкая регулировка. Обычно окончательная регулировка центральной линии к нулевой отметке проводится посредством смещения малого груза на конце плеча крестовины, вызывая изменения в длине за счет изгиба.

В различное время были проведены испытания для определения жесткости стальной крестовины; было показано, что четыре плеча имеют примерно одинаковую жесткость и что груз в 282 г, помещенный на конце одного из плеч, производит удлинение в многократном световом пути, достаточное, чтобы сместить систему полос на одну ширину полосы, меньшую, чем одна стомиллионная доля длины светового пути. Подобные же испытания были проведены и с бетонной базой, использованной для интерферометра в декабре 1924 г. Испытания показали, что 30 г, помещенные на конце плеча, производят смещение на ширину одной полосы; бетонная основа оказалась, таким образом, в десять раз чувствительнее к искривлениям, чем сталь. Изменение температуры аппарата является главной причиной небольших изменений относительных длин плеч. Полосы белого света, отрегулированные к центру поля зрения, при изменении температуры могут переместиться за пределы поля зрения; однако изменения эти полностью обратимы, и возврат температуры к первоначальному значению возвращает полосы вновь в поле зрения. Не раз бывало так, что в конце рабочего дня полосы находились в поле зрения, и на следующий день после прекращения работ и пребывания в ночной температуре полосы по-прежнему находились в поле зрения без какой-либо подрегулировки. Влияние температуры на прибор столь однозначно, что предусматривался температурный масштаб для положения регулировочных винтов. Изменение температуры на 10° требует изменения поворота винта на 18° , что соответствует изменению дублированного светового пути на 112 длин волн.

Когда аппарат впервые был собран для начала серий наблюдений, для регулировок аппарата применялся натриевый свет. Позже было установлено, что полосы белого света имеют малые потери и нет необходимости вновь обращаться к монохроматическому свету во время периода наблюдений, исключая случаи ремонта аппарата. Полосы белого света сохраняют свою регулировку в течение двух недель и более. При завершении наблюдений на Маунт Вилсон в сентябре 1925 г. зеркала и другие оптические части были сняты и упакованы для хранения. Когда наблюдения были возобновлены в феврале 1926 г., зеркала были подполированы и все части перемонтированы; полосы в белом свете были найдены менее чем за одну минуту без применения натриевого света.

С 1927 г. интерферометр был смонтирован на территории Кейсовской школы прикладной науки, около 330 футов (100 м) от проспекта Евклида; проезд уличного транспорта и движение городских автомобилей не мешал наблюдениям. Однако интересно отметить, что звук несовершенных глушителей грузовиков и мотоциклов, которые могли находиться на расстоянии тысячи футов и более, был причиной полного исчезновения полос без малейшей дрожи. За время наблюдений 4 июля 1904 г. выстрелы большого огненного фейерверка, производимые на расстоянии 1200 футов, вызывали тот же самый эффект. Это происходило

вследствие механической вибрации и прохождения звуковых волн через воздух в световой путь интерферометра. В некоторых случаях в наблюдения, проводимы на Маунт Вилсон, были минуты во время отчетливы сейсмически возмущений, когда на несколько секунд полосы полностью исчезали. После одного такого «землетрясения» или микросейсма оказалось необходимым подрегулировать концевое зеркало на расстояние 20 длин волн. Человек, рубивший деревянный пень в нескольких сотня футов в стороне, возмущал полосы так же, как и рабочие на высотной дороге, находящейся на расстоянии 3 мили; пролет самолета над нами приводил к исчезновению полос.

Наблюдения Морли и Миллера в 1904 г

Интерферометр с базой из стальных ферм был впервые применен Морли и Миллером в продолжительной проверке гипотезы сокращения длин Лоренца–Фицджеральда. Для этой цели зеркала были смонтированы так, что расстояние между ними зависело от длины стержней, сделанных из сосново-го дерева. На двух конца крестовины S и T (см. рис. 6) находятся две верти-кальные чугунные рамы, прикрепленные болтами; каждая рама несет на себе четыре зеркала. Напротив углов каждой из этих рам покоятся четыре сосновых стержня диаметром около 2 см и длиной 425 см. Каждый стержень поддерживается по всей длине латунной трубкой диаметром 2,5 см; каждая пара трубок связана друг с другом в виде вертикальной фермы (рис. 10).

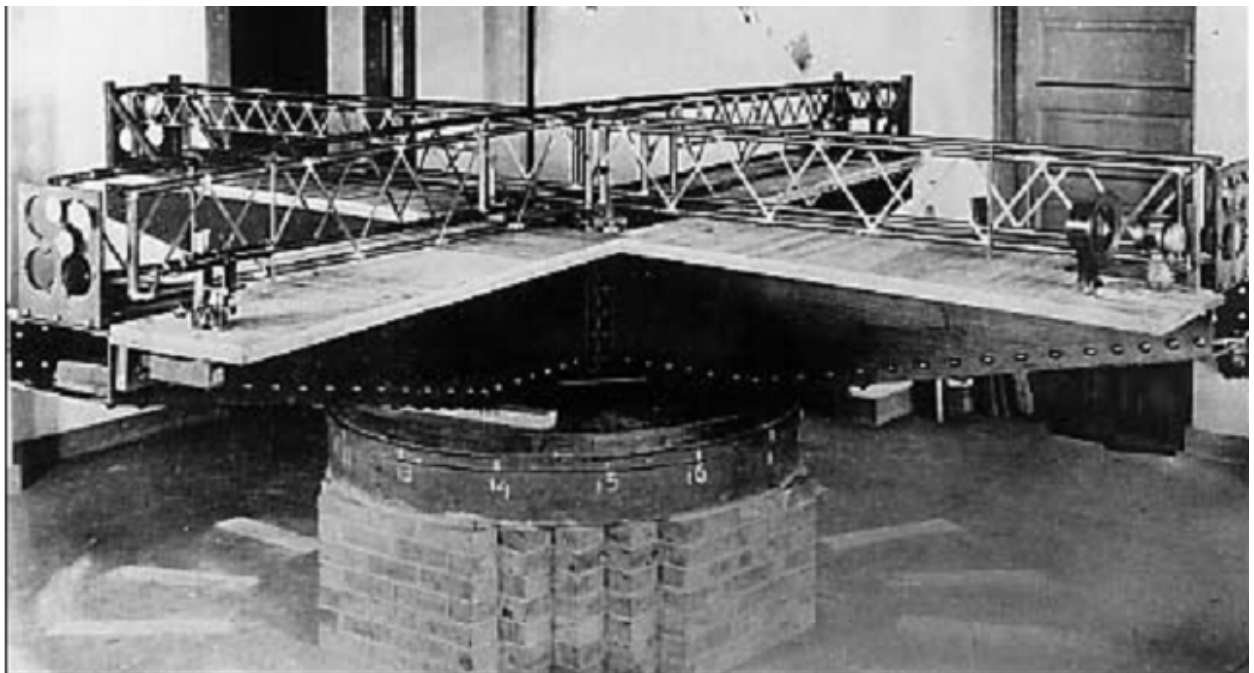


Рис. 10. Интерферометр Морли и Миллера, предназначенный для проверки гипотезы Лоренца–Фицджеральда, 1904 г.

Напротив дальних концов деревянных стержней находятся рамы, которые удерживают другие группы зеркал. Каждая из последних рам свободно подвешена на двух тонких стальных лентах и прочно удерживается напротив сосновых стержней и тем самым против одного из двух фиксированных зеркальных держателей; контакт поддерживается с помощью регулируемых спиральных пружин. Таким образом, расстояние между противоположными системами зеркал зависит только от длины сосновых стержней, тогда как вся оптическая система закреплена на стальной крестовине.

Первые наблюдения с этим аппаратом были проведены в июле 1904 г. и составили 260 об. интерферометра, сведенных в две серии. Процедура была основана на том, что ожидался эффект от комбинированного движения Земли – суточного и годового – вместе с предположительным движением Солнечной системы по направлению к созвездию Геркулеса. На дату, выбранную для наблюдений, приходилось два момента времени в сутки, когда результирующая этого движения – около 33,5 км/с – лежала в плоскости интерферометра: 11 ч. 30 мин. дня и 9.00 ч. вечера. Расчетные азимуты движения должны быть различны для этих двух моментов времени, но скорости и наблюдения в эти два момента времени должны быть одинаковы, поэтому они были скомбинированы таким образом, что ожидаемый азимут для дневного наблюдения был соединен с ожидаемым азимутом для вечернего наблюдения. Наблюдения для двух моментов времени дали смещение полос, имеющее положительное значение, но они находились почти в противофазе; когда же они были соединены, и полу-сумма была почти равна нулю. Этот малый результат был противоположен теоретическому и затем при обсуждении показалось невозможным увязать результаты наблюдений с известным орбитальным движением Земли. Доклад об этих экспериментах, опубликованный в *Philosophical Magazine* в мае 1905 г.⁹⁾, содержит следующее утверждение: «Если основа подвержена всем тем воздействиям, которые ожидалось, то и песчаник подвержен тем же воздействиям в той же степени.

Можно думать, что этот эксперимент показал, что эфир в капитальной подвальной комнате захватывается ею. Мы считаем поэтому, что аппарата-туру нужно поместить на холме, чтобы посмотреть не может ли эффект быть обнаружен там». Две кривые для эфирного ветра, полученные из утренних и вечерних наблюдений в июле 1904 г., показаны на рис. 11; они сложены так, как это объяснено выше; нижняя кривая изображает среднее смещение, полученное таким образом, что и является результатом, приведенным в опубликованном отчете по этим экспериментам.

9) E.W.Morley, D.C.Miller // *Phil. Mag.* 1905. Vol.9. № 6. P.680; *Proc. Am. Acad. Sci.* 1905. Vol.41. P.321.

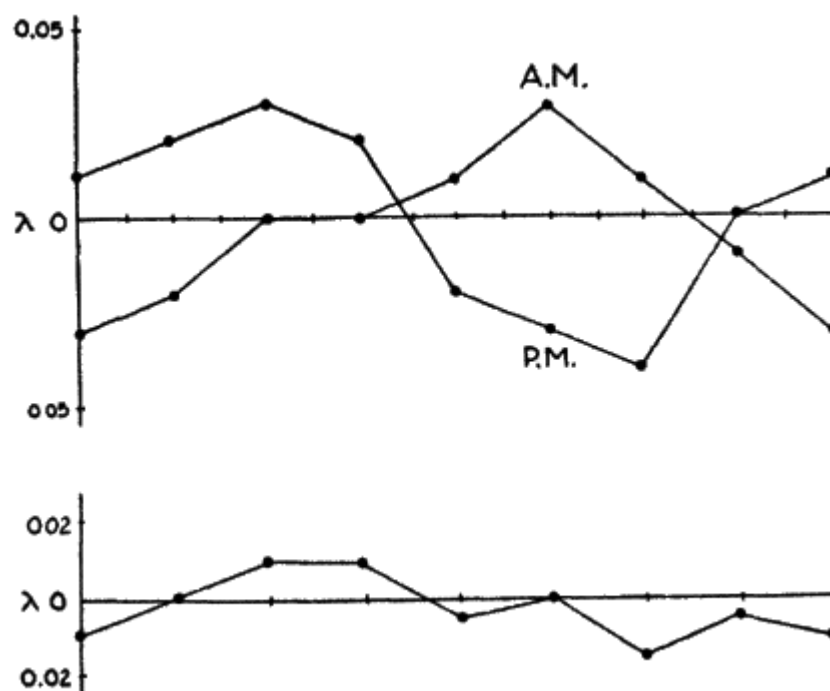


Рис. 11. Метод комбинирования наблюдений эфирного ветра в июле 1904 г., теперь признанный ошибочным.
По оси абсцисс — угол поворота интерферометра, одно деление равно 1/16 оборота

В соответствии с результатами, описанными в настоящей статье ниже, эта процедура 1904 г. оказалась неверной, она была основана на ошибочной гипотезе, исходящей из абсолютного движения Земли. И утренние, и вечерние наблюдения показали наличие эфирного ветра со скоростью около 7,5 км/с; эти смещения полос приведены на рис. 18.4 и сопоставлены со значением, предсказанным новой гипотезой, исходящей из представления о много большей космической скорости движения Солнечной системы.

Наблюдения Морли и Миллера в 1905 г

В 1905 г. интерферометр был смонтирован во временном строении на склоне Кливлендских Высот, свободном от помех со стороны зданий, на высоте около 285 м. Дом был снабжен стеклянными окнами на уровне интерферометра, чтобы в плоскости дрейфа не находились непрозрачные экраны. Испытания гипотезы сокращения были продолжены; деревянные стержни, которыми определялась длина оптического пути в эксперимента 1904 г., были выброшены, а все зеркальные рамы были прикреплены к стальной основе, так что теперь, наоборот, оптические расстояния определялись сталью. Программа включала также исследования эфирного ветра с аппаратурой на возвышенности и свободной от помех со стороны зданий. Наблюдения были проведены в июле, октябре и ноябре 1905 г.,

они состояли из 230 об. в трех сериях, показавши определенный положительный эффект, несколько больший, чем был получен ранее, но еще слишком малый, чтобы быть соответственным ожидаемому. Скорость относительного движения Земли и эфира, полученная из наблюдений, проведенных в октябре, составила 8,7 км/с, это показано на рис. 4; сравнение с результатами, которые должны ожидаться в соответствии с ныне существующей теорией, показывает почти превосходное согласие. Планировалось проверить различные модификации теорий, но прежде чем они были реализованы, обстоятельства потребовали, чтобы интерферометр был демонтирован. Проф. Морли отошел от активной деятельности, и такой поворот событий вынудил продолжить работы автора настоящей статьи. Показалось желательным перенести дальнейшие наблюдения на возможно большую высоту, но некоторые обстоятельства воспрепятствовали немедленному разворачиванию работы. Появились другие интересы, и хотя надежда на продолжение экспериментов сохранялась, произошла большая задержка.

Появление теории относительности, 1905 г

Теория относительности появилась в то время, когда Эйнштейн опубликовал свою статью «К электродинамике движущихся сред» в ноябре 1905 г.¹⁰⁾; эта теория была детально развита в последующие годы. Проверка теории относительности, выполненная во время солнечного затмения 1919 г., была широко воспринята как подтверждение теории. Поскольку теория относительности постулировала точно нулевой эффект эксперимента по эфирному ветру, чего на самом деле никогда не было, автор решил повторить эксперимент, чтобы обеспечить определенный результат. Была подготовлена детальная программа, а фонды, достаточные для того, чтобы покрыть весьма значительные расходы, были очень любезно предоставлены м-ром Экштейном Кейсом из Кливленда.

Эксперименты на Маунт Вилсон, 1921 г

Наблюдения в апреле 1921 г. Стальной интерферометр

Благодаря любезности Института Карнеги в Вашингтоне интерферометр для обнаружения эфирного ветра был установлен на Маунт Вилсон в марте 1921 г. на фундаменте обсерватории Маунт Вилсона на утесе «Смятый холм» («Rock Crusher Knoll») или «Эфирном утесе» («Ether Rock»), как он будет назван позднее, около участка 100-дюймового телескопа на высоте около 1750 м. Бетонный фундамент покоился на открытой скале холма, и четыре бетонные опоры были сформированы для поддержки железного бака со ртутью на подходящей высоте. Это сооружение было заключено в легкий квадратный домик (рис. 12) со

10) A.Einstein, Ann. d. Phys.. 17, 891 (1905).

стороной 20 футов и высотой до конька крыши около 12 футов. Стороны дома были огорожены листами из гофрированного железа, исключая высоту от четырех до семи футов над полом, на всех сторонах были непрерывные «окна» из белого брезента. Брезент был прикреплен к ряду рам так, что окна могли открываться на все стороны на уровне интерферометра на ширину 3 фута. В южном конце находилась небольшая дверь с железной и брезентовой вставками, чтобы уравнивать стороны дома. Неровный настил пола был помещен несколько выше скалы; на этом полу была уложена ровная кольцевая дорожка, по которой наблюдатель мог удобно ходить, следуя за интерферометром когда тот медленно поворачивается вокруг своей оси.



Рис. 12. Дом с интерферометром на «Эфирных скалах» («Ether Rocks»),
Маунт Вилсон

Конструкция дома предусматривала специальные широкие щели на различных стыках в стенах, в полу и под навесом крыши, так что воздух должен был циркулировать совершенно свободно, чтобы обеспечивать выравнивание температуры с внешним воздухом. Возможность открыть окна на все стороны значительно это облегчала. Для того чтобы обеспечить достаточную темноту при наблюдении полос в дневное время, использовали занавеси из тонкой черной бумаги, которые помещали над брезентовыми окнами и над такими отверстиями и щелями, которые добавляли слишком много света. В дом был проведен электрический свет и в наличии имелось несколько стационарных и переносных ламп. На каждой стене были размещены обычные и прецизионные термометры, и их

показания считывались перед началом и в конце каждой серии наблюдений. На самом интерферометре все время находились барограф и термограф. К крыше дома был прикреплен анемометр. На всем продолжении наблюдений были также получены метеорологические записи. Эти обычные вещи применялись во все последующих экспериментах.

Наблюдения были начаты 8 апреля и продолжались до 21 апреля 1921 г. с помощью аппарата и методов, примененных Морли и Миллером в 1904 и 1905 гг., с определенными модификациями и развитием деталей. Первые наблюдения из шестидесяти семи серий, включающих 350 об., дали поло-жительный эффект, такой, какой был бы вызван реальным эфирным ветром, соответствующим относительному движению Земли и эфира со скоростью около 10 км/с. Прежде чем объявить такой результат, показалось необходи-мым изучить каждую из возможных причин, которые могли бы произвести смещение полос подобно такому эфирному ветру; среди причин предпола-гались радиационный нагрев, воздействия центробежных и гироскопических сил, нерегулярные гравитационные эффекты, податливость фундамента, магнитная поляризация и магнитострикция. Чтобы проверить первую при-чину, металлические части интерферометра были полностью закрыты пробкой толщиной около дюйма; было проведено пятьдесят серий наблю-дений, состоящих из 273 об. Наблюдалось периодическое смещение полос, как в первых эксперимента, что показало, что радиационный нагрев не является причиной наблюдаемого эффекта.

Наблюдения в декабре 1921 г. Бетонный интерферометр

Летом 1921 г. стальные фермы интерферометра были демонтированы, и на место – на ртутный плот была установлена база из одного куска бетона (рис. 13), усиленная латунью. Все металлические части, закреплен-ные на бетонном основании, были сделаны из алюминия или латуни. Весь аппарат был свободен от магнитных эффектов, а возможные эффекты от тепла сильно уменьшены. В декабре 1921 г. с немагнитным интерферо-метром было проведено 42 серии наблюдений, состоящих из 422 об. Они показали положительный эффект как влияние эфирного ветра, что полностью соответствовало наблюдениям в апреле 1921 г.

В то время множество вариаций побочных условий было опробовано. Наблюдения были выполнены с центрирующей шпилькой, вставленной в ее гнездо и затем вынутой; с вращением интерферометра по часовой стрелке и против, при быстром вращении (1 об. за 40 с) и медленном вращении (1 об. за 85 с); с тяжелым грузом, добавленным к телескопическому плечу основной рамы и затем к ламповому плечу; с поплавком, чрезвычайно наклоненным благодаря нагрузке сначала на один, а затем на другой квадрант; с записывающим помощником,



Рис. 13. Интерферометр с базой из бетона, 1921 г.

ходящим кругами в различных квадранта и останавливающимся в различных частях дома, близко и далеко от аппарата. Результаты наблюдений не зависели от каких-либо из эти обстоятельств.

Было показано, что применение бетонной основы не изменило наблюдаемого для стальной базы эффекта ни по величине, ни по азимуту. Бетонная база была менее, чем стальная, подвержена изменениям размеров при изменениях температуры; но это небольшое преимущество было сбалансировано тем, что температура в бетоне устанавливается медленнее. Учитывая, что бетон был значительно тяжелее, чем стальные части, которые он замещал, он был значительно менее жесток. Испытания показали, что груз в 30 г, помещенный на конец плеча интерферометра, производит смещение полос на ширину одной полосы, в то время как в 10 раз больший груз требуется для возникновения того же эффекта в стальной базе. Бетонная база была отвергнута, и во все последующих наблюдениях применяли первоначальную стальную основу.

Лабораторные испытания интерферометра, Кливленд. 1922–1924 гг.

Весь аппарат был возвращен в лабораторию в Кливленд; в течение 1922 и 1923 гг. было сделано множество испытаний в различных условиях, которые можно было контролировать, и со множеством модификаций деталей аппарата. Устройство зеркал и призм было таким, что источник света мог быть помещен вне наблюдательной комнаты (рис. 14); свет передавался вращающемуся интерферометру вдоль оси вращения.

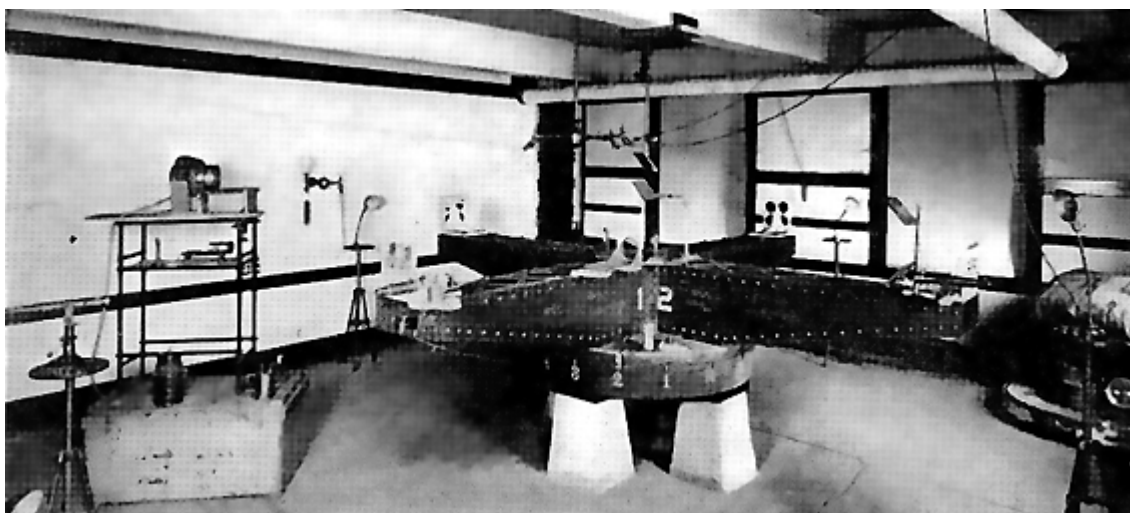


Рис. 14. Интерферометр в лаборатории, 1923 г.

Дальнейшие попытки усовершенствования зеркал для наблюдения полос неподвижным телескопом на практике ничего не дали; необходимость частого регулирования полос в поле зрения показала непрактичность этого метода. Были проведены эксперименты с фотографической регистрацией положений полос как со стационарным фотоаппаратом, так и с движущейся камерой, находящейся на интерферометре. Оказалось, что даже дуговой источник света не обеспечивает достаточного освещения для проведения удовлетворительных фотографических записей без замедления вращения аппарата, большего, чем это допускается нашей методикой всей процедуры, а необходимость частого подрегулирования полос сделала этот метод непригодным. После отказа от использования фотографии на интерферометре был смонтирован астрономический телескоп, имеющий объектив с 13сантиметровой апертурой и длиной фокусного расстояния 190 см. Объектив был закреплен на стальной базе около полупрозрачного посеребренного диагонального стекла, а окуляр укреплен на конце плеча без обычной трубы для телескопа. При увеличении в пятьдесят раз полосы наблюдались на широкой шкале и с приемлемой освещенностью, так что непосредственный отсчет глазом был вполне удовлетворительным; это устройство применялось во все последующих наблюдениях.

Были опробованы различные источники света: электрическая дуга и лампы накаливания, ртутная дуга, ацетиленовая лампа, а также солнечный свет. Замена солнечного света и лабораторных источников не изменяла результатов. Окончательно был выбран стационарный источник, помещенный вне комнаты интерферометра или дома, на горе. Это была большая ацетиленовая лампа того типа, который обычно применяют в качестве автомобильных фар. Устройство было использовано в Кливленде в 1924 г. и на Маунт Вилсон в сентябре 1924 и апреле 1925 г. Применение стационарного источника света со светом,

вносимым в интерферометр по оси его вращения, потребовал очень тщательной регулировки нескольких последовательно расположенных зеркал, чтобы избежать периодического смещения полос вследствие неаксиальности их выравнивания. Тщательные исследования показали, что лучше всего поместить источник на интерферометре, но вне покрытия и около оси; таким образом, относительное расположение источника и интерферометра сохраняется неизменным. Когда выбрали этот метод, применяли небольшую ацетиленовую лампу – такую, какая была использована в ранних экспериментах. С 9 апреля 1925 г. применялся только этот метод освещения.

Была проведена протяженная серия экспериментов для определения воздействия неравномерности температуры в комнате, где находился интерферометр, и влияние тепла, попадающего на интерферометр. Были использованы некоторые электрические нагреватели с нагревательными спиралями около фокуса вогнутого рефлектора. Неравномерность температуры комнаты является причиной медленного, но постоянного дрейфа системы полос в одну сторону, но она не является причиной периодического смещения. Даже когда два нагревателя были помещены на расстоянии 3 футов от интерферометра, когда он вращался, и отрегулированы так, чтобы тепло направлялось непосредственно на незакрытую стальную раму, периодический эффект отсутствовал, что было показано измерениями. Когда источники тепла были направлены на воздух оптических путей, закрытых стеклом, периодический эффект мог быть получен только тогда, когда стекло частично было закрыто непрозрачным материалом очень несимметрично, так, как если бы одно плечо интерферометра было полностью покрыто гофрированной бумагой, в то время как другое плечо полностью ничем не защищено. Эти эксперименты доказали, что в условиях реальных наблюдений периодические смещения не могут вызываться температурными эффектами.

Эксперименты в Маунт Вилсон, 1924 г.

Для завершения экспериментов, уже описанных в июле 1924 г. интерферометр был вновь перенесен в Маунт Вилсон. В 1921 г. аппарат был размещен на самой кромке глубокого каньона; опасались, что воздушные течения вверх и вниз по поверхности каньона смогут производить возмущения, и такие, что несимметричные возмущения горного хребта сами будут неблагоприятными. В августе 1924 г. было выбрано новое место на очень небольшом круглом бугорке, удаленном от каньона. В отличие от конструкции 1921 г. дом для интерферометра (рис. 15) был сооружен с ориентацией крыши и расположением двери относительно хребта на 90° .



Рис. 15. Дом с оборудованием для поиска эфирного ветра («Ether-drift house») на горе Маунт Вилсон, 1924—1926 гг.

Дом представлял собой квадрат со стороной около 22 футов с расположенными по периметру окнами, как и ранее; но вместо гофрированного железа стены были обшиты досками — материалом, менее усваивающим солнечное тепло. Широкие куски брезента были помещены над всем домом и у конца, чтобы защитить дом от прямых лучей солнца, чем сильно облегчалось проведение наблюдений в дневное время. Интерферометр (рис. 16) имел усовершенствованные крепления зеркал, защищенные от тепла, телескоп с широким полем зрения и другие устройства, которые были опробованы во время лабораторных испытаний в Кливленде в 1923 и 1924 гг.

Эта серия наблюдений в сентябре 1924 г. на Маунт Вилсон была предпринята без каких-либо предположений, но со всеми возможными предосторожностями. Длительные лабораторные испытания включали исследования всех возможных инструментальных и внешних возмущений, чтобы ничто не могло повлиять на эксперимент. Метод наблюдения был так отработан, что к тщательности наблюдений не было никаких претензий. Было установлено, что если какие-либо подозрительные возмущения оказывают влияние на предварительные наблюдения и их удалось устранить, то и далее их влияние будет отсутствовать. Такое заключение должно быть признано допустимым с полной уверенностью, и на самом деле почти всегда так оно и было. С другой стороны, если во время таких наблюдений влияние проявлялось, то с ним приходилось, конечно, считаться и в реальности.

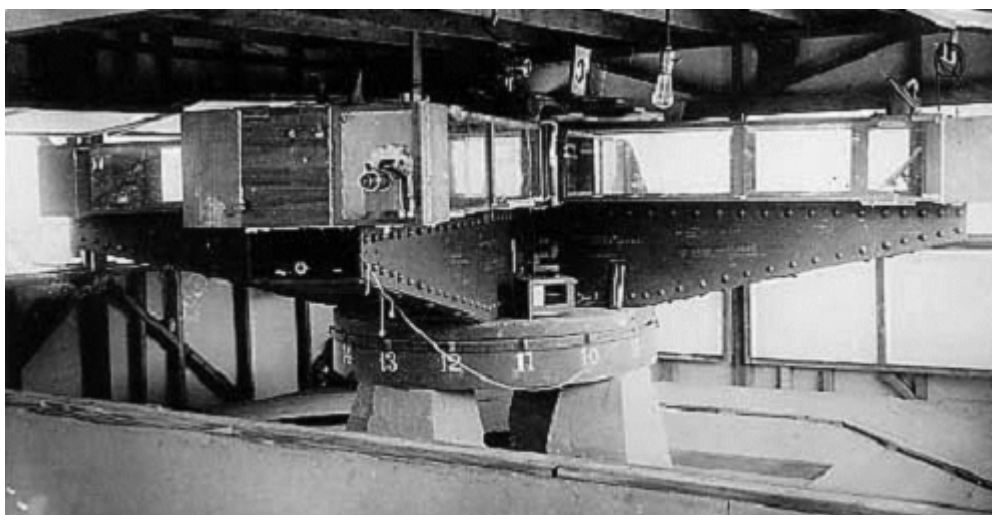


Рис. 16. Интерферометр для поиска эфирного ветра, использованный в Маунт Вилсон в 1924—1926 гг.

4, 5 и 6 сентября 1924 г. была выполнена серия отсчетов, состоящая из 136 об. интерферометра. Все эти наблюдения показали положительное периодическое смещение интерференционных полос, какое и должен производить эфирный ветер, скорость которого составляет около 10 км/с, как и получалось на предварительных испытаниях: Часть из этих наблюдений была проведена при использовании стеклянного ящика, закрывающего сверху оптические пути и с применением обшивки из гофрированной бумаги, которая, как было установлено в Кливлендских экспериментах, исключает влияние радиационного нагрева; при таком покрытии результаты неизменно сохранялись. Эффекты были реальными и систематическими, что исключало какие-либо дальнейшие проблемы.

Несмотря на длительные и непрерывные попытки, оказалось невозможным объяснить наблюдаемые в интерферометре эффекты земными причинами или экспериментальными погрешностями. Были проделаны обширные вычисления с целью примирить наблюдаемые эффекты с известными теориями эфира и предполагаемым движением Земли в пространстве. Наблюдения были повторены в различное время года с тем, чтобы одну за другой проверить различные предлагаемые гипотезы. В конце 1924 г., когда уже казалось, что решение найти невозможно, были проведены полные вычисления для двадцати четырех часов суток, для всех времен года применительно к ожидаемому влиянию орбитального движения Земли и видимому движению по направлению к созвездию Геркулеса. Они показали: эффект, который нужно было ожидать, был максимальным в апреле; минимум в апреле должен быть в 2,5 раза больше, чем эффект во время сентябрьских наблюдений; максимальный эффект в апреле должен быть в 4,5 раза больше. Кроме того, смещение было максимальным в

сентябре при северном направлении все время суток, в то время как в апреле азимут максимума должен поступательно перемещаться вокруг горизонта; максимальное значение достигается в полночь при направлении точно на восток, а затем в полдень при направлении точно на запад. Для подтверждения этих предсказаний были проведены наблюдения на Маунт Вилсон 17 марта и 10 апреля 1925 г. Смещение полос осталось постоянным по величине, но не большим, чем смещения, полученные в предварительных наблюдениях; направление, при котором смещение было максимальным, не проходило все компасные точки, за 6 ч также не менялось направление эффекта на 90° . Вместо этого направление только колебалось назад и вперед в пределах угла около 60° , имея, в общем, северное направление, как и раньше. Это доказывало, что предположения об абсолютном движении Земли, на которых базировались эти вычисления, были неправильными.

Общий анализ проблемы эфирного ветра Учет различных компонентов движения

Проведенный до 1925 г. эксперимент Майкельсона–Морли всегда применялся для проверки определенной гипотезы. Проверялась только теория абсолютно стационарного эфира, сквозь который Земля движется, не возмущая его никоим образом. Применительно к этой гипотезе эксперимент дал отрицательный результат. Эксперимент был применен лишь для ответа на вопрос в связи с предполагаемыми движениями Земли, а именно, осевым и орбитальным движениями, совместно с движением Солнечной системы по направлению к созвездию Геркулеса со скоростью около 19 км/с. Результаты эксперимента оказались не согласуемыми с предполагаемыми. Внимание было направлено почти полностью на эти составляющие скорости эфирного ветра, и не было предпринято попыток определить апекс иного выявления движения. Эксперимент был приспособлен для проверки гипотезы Лоренца–Фицджеральда, предполагавшей, что размеры тел изменяются при движении сквозь эфир: были проведены испытания влияния на эффект магнестрикции, радиационного нагрева и гравитационных деформаций рамы интерферометра. Всегда все эти наблюдения, охватывающие все периоды ряда лет, на различные вопросы отвечали «нет», а имеющийся упорно постоянный и относительно малый эффект не находил объяснения.

Эфирно–ветровой интерферометр является инструментом, обладающим достаточной чувствительностью для определения относительного движения Земли и эфира; таким образом, он способен показать направление и скорость абсолютного движения Земли и Солнечной системы в пространстве. Если наблюдения проведены для определения такого абсолютного движения, что же означает результат, независимый от «ожидаемого» результата? Для ответа на этот главный

вопрос было решено проделать более обширные наблюдения для некоторых эпох, когда Земля находится на противоположных положениях своей орбиты; это было сделано в апреле, августе и сентябре 1925 г. и в феврале 1926 г.

Можно спросить: почему это не было сделано раньше? Ответ, в частности, таков: действительной целью всегда была проверка конкретных предсказаний так называемой классической теории, и, в частности, совсем не легко создать новую гипотезу при отсутствии к тому прямых показаний. Вероятно, важная причина неудачи заключается в больших трудностях выполнения наблюдений во все времена суток в каждой из эпох. Очень немногие научные эксперименты требуют выполнения такого большого числа продолжительных наблюдений при таких экстремальных трудностях; здесь требуется большее сосредоточение, чем в любых других известных экспериментах. Половину времени, возможно, наблюдения шли непрерывно, прежде чем накопилось достаточно числовых значений для использования, потому что надо было отстроиться от чрезмерного смещения полос из-за изменений температуры или из-за земных или воздушных вибраций. Простое приспособление интерферометра для полос белого света и сохранение его, когда длина светового пути составляет 210 футов и включает в себя 16 различных участков и когда все это происходит на открытом воздухе, требует терпения, а также крепких нервов и твердой руки. Проф. Морли однажды сказал: «Терпение есть качество, без которого никто не должен начинать наблюдения такого рода».

Абсолютное движение Земли может быть представлено как результат сложения двух независимых составляющих движения. Одна составляющая — орбитальное движение вокруг Солнца, для которого известны как скорость, так и направление. Для целей настоящего исследования скорость орбитального движения принята равной 30 км/с, а направление непрерывно изменяется в течение года и все время является касательным к орбите. Вторая составляющая движения — это космическое движение Солнца и Солнечной системы. Предположительно оно постоянно как по направлению, так и по скорости, но значения как того, так и другого неизвестны. Хорошо известное движение Солнечной системы по направлению к созвездию Геркулеса со скоростью 19 км/с — это только относительное движение Солнца по отношению к группе ближайших звезд, а это может и не дать информации о движении группы звезд в целом. Действительно, предварительные эксперименты по эфирному ветру ясно показали, что движение по направлению к Геркулесу не является составляющей абсолютного движения Земли. Вращение Земли вокруг своей оси дает скорость на широте наблюдения меньшую, чем 0,4 км/с, и она пренебрежимо мала по сравнению со скоростью абсолютного движения, но это вращение оказывает слабое влияние на видимое направление движения и является неотъемлемой частью решаемой проблемы. Однако, поскольку направление орбитальной составляющей

непрерывно меняется, общее решение затруднительно, но при наблюдении результирующего движения, когда Земля находится на различных участках своей орбиты, найти решение реально. Для этой цели необходимо определить изменение скорости и направления эфирного ветра через период в 24 часа в трех или более различных моментах времени года.

Интерферометр непрерывно вращается в горизонтальной плоскости вокруг вертикальной оси на широте обсерватории. Поскольку Земля поворачивается вокруг своей оси, то продолжение оси интерферометра может быть рассмотрено как элемент, образующий конус, вершина которого находится в центре Земли. Земля в своем орбитальном движении держит этот конус вокруг орбиты, и ось конуса и земная ось сохраняют свое положение в пространстве. В то же время эта система с вращениями вокруг трех различных осей перемещается в пространстве неизвестным образом. Предполагается далее, что эфирно-ветровой интерферометр будет выделять только одну составляющую сложной комбинации перемещения и вращения, которая в каждое мгновение лежит в оптической плоскости интерферометра; это даст скорость и направление этой составляющей.

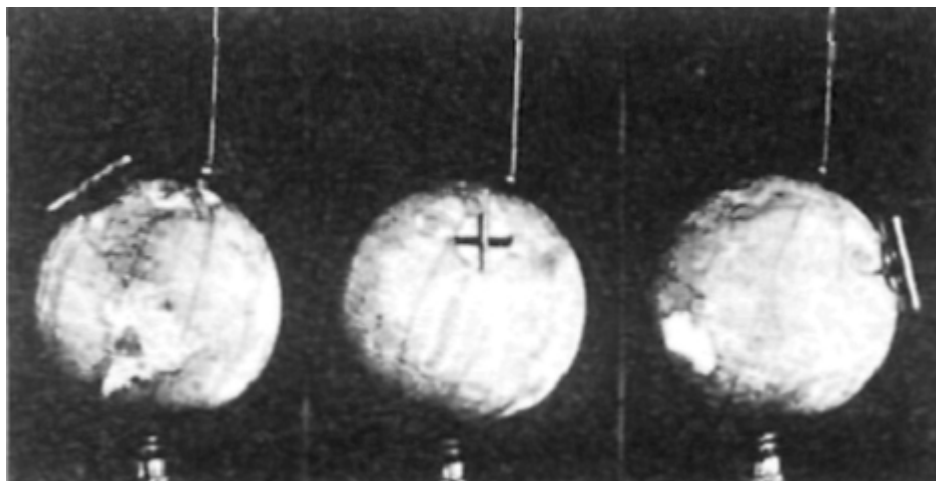


Рис. 17. Модели, иллюстрирующие суточную вариацию скорости и направления эфирного ветра.

На рис. 17 показан глобус с моделью, изображающей интерферометр, размещенный в точке, соответствующей расположению Маунт Вилсон. Проволока, торчащая из полюса глобуса, показывает направление предполагаемого результирующего абсолютного движения. Если Земля находится в положении, показанном в левой части рисунка, на плоскости интерферометра проекция скорости движения, изображенная проволокой, пропущенной через северную и южную точки, меньше, чем полная скорость движения. Когда Земля повернулась вокруг своей оси в положение, показанное в средней части рисунка, проекция абсолютного движения в плоскости интерферометра направлена на

северо-запад; если интерферометр поворачивается вокруг своей оси, телескоп будет отмечать максимальное значение составляющей, когда он направлен на северо-запад. Когда Земля повернулась в положение, показанное справа, проекция составляющей движения снова будет направлена с севера на юг и будет иметь максимальное значение, немного меньшее полного. Т.о., имеется суточная вариация в наблюдаемом азимуте эфирного ветра. Очевидно, что угол, который образует абсолютное движение с плоскостью интерферометра, изменяется в течение суток, так как интерферометр вращается вокруг оси, описывающей конус. На иллюстрации абсолютное движение наиболее близко совпадает с плоскостью интерферометра в правой части фигуры, которая соответствует максимуму наблюдаемого эффекта; в левой части фигуры движение наиболее близко к перпендикуляру к плоскости интерферометра, и эффект минимален. Отсюда следует, что имеются суточные вариации величины эффекта, и это совершенно не зависит от вариации азимута.

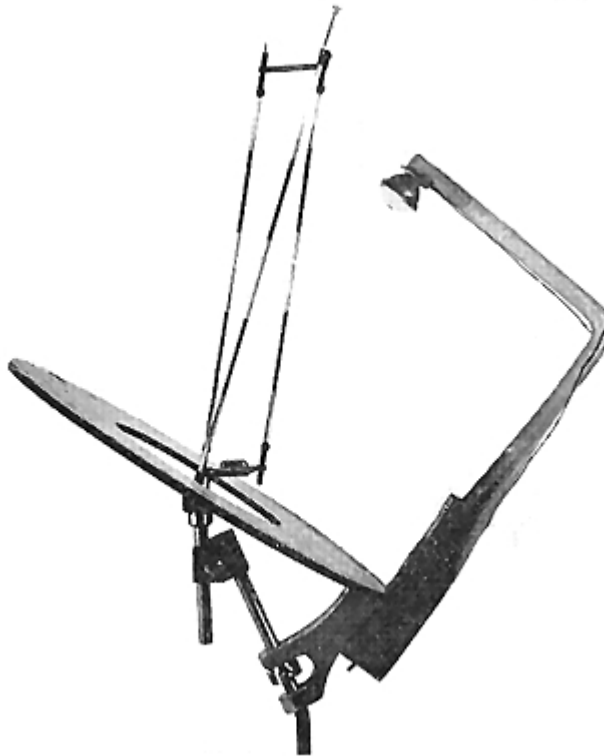


Рис. 18. Модель для изучения составляющих скорости эфирного ветра

Модель, показанная на рис. 18, была создана для облегчения изучения астрономического аспекта скорости эфирного ветра. Широкий круглый диск, изображающий плоскость интерферометра, может вращаться вокруг наклонной полюсной оси для установления этой плоскости во всех возможных суточных положениях, соответствующих расположению Маунт Вилсон.

В центре диска смонтирован параллелограмм, стороны которого могут быть подобраны так, чтобы изображать предполагаемые скорости двух составляющих абсолютного движения; эти направления могут устанавливаться по желанию, а соответствующая результирующая будет воспроизведена. Небольшая электрическая лампа укреплена так, что когда интерферометр поворачивается вокруг полюсной оси, то, поскольку параллелограмм остается неподвижным, лампа отбрасывает тень результирующей на плоскость интерферометра, показывая, как изменится азимут ветра в течение суток. Угол, который результирующая образует с плоскостью, можно наблюдать, и таким образом можно определить изменение скорости ветра для предполагавшегося движения. Была выбрана вероятная скорость космической составляющей движения, одиночная проволока, изображающая результирующую для некоторой эпохи, заменена параллелограммом, и были изучены суточные изменения в азимуте и скорости дрейфа. На трех видах модели (рис. 19) показано, как для предполагаемого движения азимут отклоняется к северо-западу и далее к востоку.

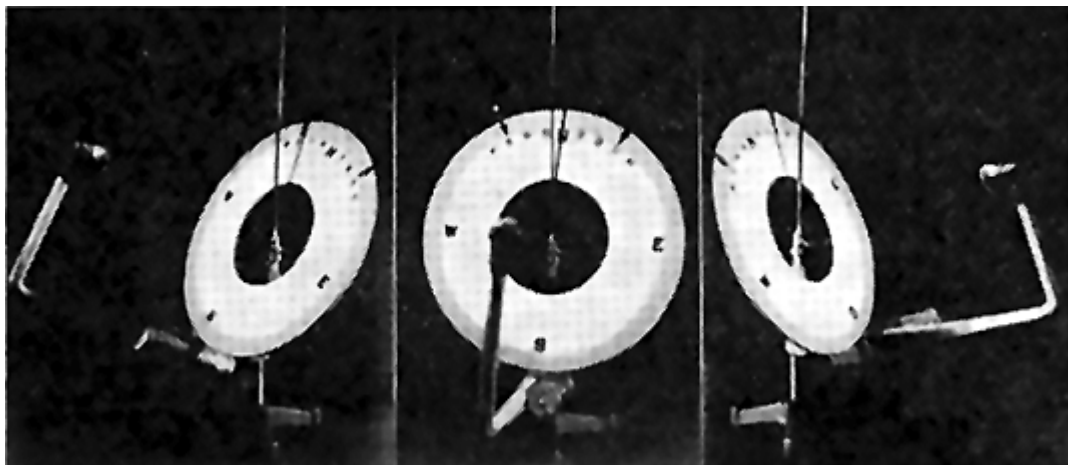


Рис. 19. Модель, иллюстрирующая суточную вариацию азимута эфирного ветра

Из этой модели видно, что наблюдаемая скорость эфирного ветра должна быть очень разной для различных результирующих движений и для разных времен года и что она должна меняться в широких пределах для различных широт. Условия, приблизительно соответствующие результатам, необходимо здесь рассмотреть.

Решение проблемы абсолютного движения Солнечной системы

Точка на небосводе, к которой направлено абсолютное движение Земли, названа апексом этого движения. Координаты этой точки определены как прямое восхождение и склонение, так же, как звезд, и формулы практической астрономии непосредственно пригодны для и определения на

основе интерферометрических наблюдений. Теоретическое рассмотрение определения апекса движения Земли дано в статье проф. Дж. Дж. Нассау и проф. П. М. Морзе, которая опубликована в *Astrophysical Journal* в марте 1927 г.¹¹⁾.

Зная широту обсерватории φ и звездное время наблюдения θ , можно получить два независимых определения прямого восхождения α и склонения δ апекса земного абсолютного движения, одно определяется из наблюдаемой скорости V , а второе — из азимута A эффекта эфирного ветра. Влияние эфирного ветра, будучи эффектом второго порядка, имеет период в каждой половине оборота аппарата, отсюда следует, что если основное смещение полос наблюдалось тогда, когда направление телескопа приняло некоторое значение, то точно такой же эффект будет получен, когда интерферометр повернется на 180° и направление телескопа станет противоположным. Интерферометрические наблюдения определяют линию, по которой происходит движение, но они не отличают положительного направления движения по этой линии от отрицательного. Выбор между знаком плюс по направлению к северу и знаком минус по направлению к югу должен быть определен из совмещения результата, когда это движение соединено с известным орбитальным движением Земли. Для упрощения представления формул они будут даны для апекса, имеющего северное склонение, и для обсерватории, помещенной в северном полушарии. Если окончательное решение потребует движения к югу, то новый апекс будет диаметрально противоположен первому определенному апексу, его прямое восхождение будет прямым восхождением первого апекса минус 12 часов и его склонение будет иметь то же самое числовое значение, что и для первого апекса, но со знаком минус. Для обсерватории, размещенной в южном полушарии, должны существовать определенные систематические отличия в формулах, которые нет необходимости излагать здесь.

Апекс абсолютного движения, определенный из направления и скорости эфирного ветра

В статье Нассау и Морзе показано, что, как это и вытекает с очевидностью из модели (рис. 17), звездное время полностью определяет прямое восхождение апекса, когда составляющая движения, лежащая в плоскости интерферометра, минимальна ($\theta_v = \min$); тогда

$$\alpha = \theta_v = \min.$$

Очевидно, что составляющая движения в плоскости интерферометра

$$v = V \sin z,$$

где V - скорость абсолютного движения, а z - зенитное расстояние апекса.

11) J. J. Nassau, P. M. Morse, *Astrophys. J.* 65, 73 (1927).

Если $\delta \geq 90^\circ - \varphi$, то, как можно видеть из модели, значение v минимально тогда, когда $z = \delta - \varphi$, а максимально тогда, когда $z = 180^\circ - (\delta + \varphi)$ и во времени максимум и минимум значений отличаются на 12 ч звездного времени. Если наблюдения занимают полные звездные сутки, максимум и минимум эффекта всегда могут быть получены.

Положим, что R есть отношение минимальной наблюдаемой скорости к максимальной; тогда

$$R = v_{\min} / v_{\max} = \sin(\delta - \varphi) / \sin(\delta + \varphi),$$

откуда склонение апекса абсолютного движения определится выражением

$$\operatorname{tg} \delta = [(1 + R) / (1 - R)] \operatorname{tg} \varphi$$

Если $\delta < 90^\circ - \varphi$, линия движения будет совпадать с плоскостью интерферометра дважды в сутки, и максимальное значение наблюдаемой скорости $v_{\max}$ будет равно действительной скорости V . Поскольку скорость будет иметь минимум тогда, когда апекс пересекается меридианом обсерватории, его зенитное расстояние составит $\varphi - \delta$, и тогда наблюдаемая скорость будет равна скорости V , умноженной на $\sin(\varphi - \delta)$. Следовательно,

$$v_{\min} / v_{\max} = V \sin(\varphi - \delta) / V = \sin(\varphi - \delta)$$

и $\delta = \varphi \pm \sin^{-1}(v_{\min} / v_{\max})$.

Если апекс находится ниже горизонта в течение звездных суток наблюдаемая скорость будет иметь два максимума, а также два минимума. Максимум будет тогда, когда апекс пересечет горизонт обсерватории, а минимум тогда, когда он пересечет меридиан. Максимумы сойдутся при $\delta = 90^\circ - \varphi$.

Апекс абсолютного движения, определенный из азимута направления
эфирного ветра

Для $\delta \geq \varphi$. Если движение Земли проектировать на плоскость интерферометра (рис. 17), то станет очевидным, что вращение Земли вокруг оси является причиной колебаний азимута апекса, пересекающего вперед и назад меридиан дважды в каждые звездные сутки с интервалом 12 ч. Звездное время θ_{E-W} , когда апекс пересекает меридиан с востока на запад, есть прямое восхождение апекса, так что

$$\alpha = \theta_{E-W}$$

Если время θ_{W-E} , когда апекс пересекает меридиан с запада на восток, также определено, тогда

$$\alpha = \frac{1}{2} (\theta_{E-W} + \theta_{W-E}) + 6 \text{ часов.}$$

Поскольку азимут направления ветра в интерферометре соответствует азимуту апекса, то, когда апекс пересекает меридиан, ветер создает максимальное смещение полос сначала к востоку, а затем к западу в каждые звездные сутки. Когда $\delta \geq \varphi$, этот максимум азимута может рассматриваться как азимут около полярной звезды на ее восточной или западной элонгации. В учебниках по сферической и

практической астрономии показано, что азимут элонгации простым образом зависит от склонения звезды и широты обсерватории.

Отношение таково:

$$\sin A_{\max} = \cos \delta / \cos \varphi,$$

соответственно

$$\cos \delta = \sin A_{\max} \cos \varphi$$

Когда $\delta \leq \varphi$, азимут апекса колеблется вокруг горизонта в течение звездных суток. Если θ_E есть звездное время, когда азимут приходится точно на восток, то

$$\operatorname{tg} \delta = \operatorname{tg} \varphi \cos(\theta_E - \alpha).$$

При условии, что орбитальная скорость Земли известна, этих формул в основном достаточно для определения апекса и скорости абсолютного движения Земли и эфира с помощью интерферометра. Эти наблюдения, давая просто азимут максимума смещения интерференционных полос при вращении аппарата вокруг оси, вместе с азимутом, при котором возникает максимальное смещение, должны соответственно покрывать период одних звездных суток для каждой эпохи. Полная серия таких наблюдений дает одно определение скорости абсолютного движения и два независимых определения апекса движения.

Определение направления абсолютного движения Земли зависит только от направления, в котором находится телескоп, когда наблюдаемое смещение полос максимально; причем это не зависит от величины самого смещения полос, а также от регулировки полос в части и ширины или отсчета нуля. Действительная скорость земного движения определена амплитудой периодического смещения, которое пропорционально квадрату относительной скорости Земли и эфира и длине светового пути в интерферометре. Два эффекта — скорость и азимут наблюдаемого относительного движения совершенно независимы один от другого.

Гармонический анализ смещения интерференционных полос

Записи действительных интерферометрических наблюдений маунт—вилсоновского цикла состоят из 316 страниц отсчетов положений интерференционных полос в форме, приведенной на рис. 8. Каждая серия содержит отсчеты на 20 и более оборотах интерферометра. 20 или более отсчетов для каждого из 16 наблюдаемых азимутов усредняются; в средних значениях скомпенсирован медленный линейный дрейф всей интерференционной системы за период наблюдения, как это объяснялось ранее применительно к рис. 9. Затем для целей гармонического анализа средние значения отсчетов для каждой серии наносятся на координатную бумагу в большом масштабе. Части I, II, III и IV на рис. 21 показывают отсчеты для четырех последовательных серий наблюдений, проведенных 2 апреля 1925 г.

Нанесенные точки соответствуют положениям центральной черной линии интерференционной картины по отношению к начальной точке отсчета после того, как интерферометр сделал один полный оборот. Единица масштаба ординат – 1/100 ширины полосы, в то время как абсцисса соответствует азимутальному интервалу $22,5^\circ$, считая от северного направления и далее вокруг горизонта по часовой стрелке. Графики подобного типа выполнены для каждой серии наблюдений. Эти графики кривых для действительных наблюдений содержат не только полупериодный эффект эфирного ветра второго порядка, но также полнопериодный эффект первого порядка и некоторые возможные эффекты высших порядков, включая все инструментальные и случайные погрешности наблюдений.

Настоящие исследования эфирного ветра основаны всецело на эффекте второго порядка, который периодичен в каждой половине оборота интерферометра. Этот эффект второго порядка полностью представлен вторым членом гармонического ряда Фурье данной кривой.

Чтобы точно оценить влияние эфирного ветра, каждая кривая наблюдений была подвергнута гармоническому анализу с помощью гармонического анализатора Хенрика по первым пяти членам ряда Фурье. Эффект первого порядка в наблюдении показан основной составляющей, которая проведена под соответствующей кривой и наблюдений на рис. 21; эффект второго порядка показан кривой, расположенной ниже; каждая четвертая кривая в каждом примере отражает сумму третьей, четвертой и пятой составляющих гармоник. Очевидно, что полученные кривые содержат очень малый след других эффектов любых высших гармоник. Остаточная кривая имеет очень малую амплитуду, и очевиден тот факт, что случайные и беспорядочные погрешности малы. Гармонический анализ и синтез являются методами, которые полностью описаны автором в другой работе¹²⁾.

Гармонический анализ наблюдений дает непосредственно амплитуду в сотых долях ширины полос и фазу, отсчитанную от северного направления для второй гармоники кривой, которой соответствует влияние скорости эфирного ветра. Наблюдаемая амплитуда движения полос еще раз пересчитывается в эквивалентную скорость относительного движения Земли и эфира, наблюдаемого в плоскости интерферометра, посредством некоторого развития элементарной теории эксперимента:

$$d = 2 D(v^2 / c^2) \quad \text{и} \quad v = (dc^2 / 2D)^{1/2}$$

где d — наблюдаемое полупериодическое смещение полос; D — длина плеча интерферометра, то есть расстояние от полупрозрачного посеребренного зеркала с добавлением умножающих отражений до концевого зеркала № 8, оба выражены в числах эффективных длин волн света, приме-

12) D. C. Miller. The Science of Musical Sounds. 123, (1916); J. Frank. Inst. 181, 51 (1916); 182, 51 (1916).

ненного для интерференции; v — относительная скорость Земли и эфира в плоскости интерферометра, км/с; c — скорость света, км/с. Номограмма на рис. 20 содержит параболическую кривую, которая показывает значение относительной скорости, соответствующей смещению полос, наблюдаемому в интерферометре, примененном в этом эксперименте.

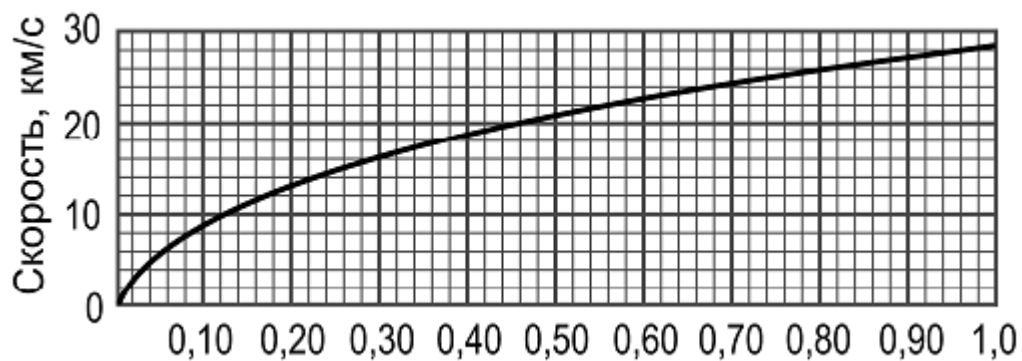


Рис. 20. Отношение смещения полос к скорости эфирного ветра для $2D = 112000000\lambda$ и $\lambda = 5700 \text{ \AA}$.

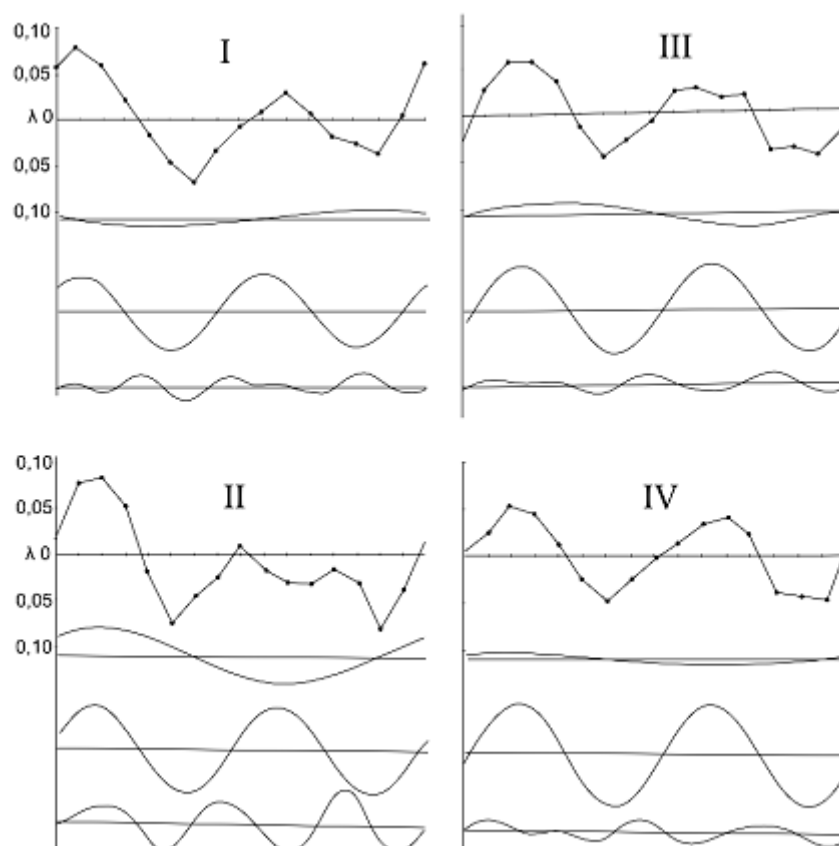


Рис. 21. Гармонический анализ наблюдений эфирного ветра. По оси абсцисс — угол поворота интерферометра, одно деление равно $1/16$ оборота.

Азимут эфирного ветра находится в направлении, в которое указывает телескоп, когда полупериодическое смещение положительно и максимально. Этот азимут A получается из фазы P второй гармонической составляющей наблюдений, как дает анализатор, из следующего соотношения:

$$A = (1/2)(P - 90^\circ)$$

Направление, полученное таким образом, соответствует вершине кривой, изображающей вторую гармонику, выраженную в градусах, измеряемых от северного направления; ось x кривой, показанной на рис. 21, начинается от северного направления и распространяется на один оборот в 360° через восток, юг и запад и снова на север. На рисунке в графике второй составляющей показано (и это всегда имеет значение), что в пределах изменения азимута на 360° имеются два максимума во второй составляющей, соответствующих двум азимутам, расположенным на расстоянии в 180° друг от друга, между которыми для интерферометра нет разницы. Разброс азимутальных отсчетов много меньше, чем 90° , но непрерывная последовательность наблюдений не устраняет двусмысленности в знаке направления линии движения.

Скорость и направление орбитального движения Земли известны; направление изменяется на противоположное через интервал в шесть месяцев, его сочетание с постоянным космическим движением дает результирующее движение, которое различно для двух эпох. Сочетание орбитального и космического движений приводит к результатам, согласующимся с наблюдаемыми эффектами, но только тогда, когда космическое движение дано с правильным знаком и, таким образом, двусмысленность устраняется.

Наблюдения эфирного ветра, выполненные на Маунт Вилсон
в 1925—1926 гг.

Общая программа наблюдений

Наблюдения эфирного ветра, выполненные автором до 1925 г., состояли из 25 серий, содержащих 995 оборотов и проведенных в содружестве с проф. Морли в 1902–1905 гг., 86 серий из 1146 об., проведенных в Кливленде в 1922–1924 гг. и 166 серий из 1181 об., проведенных на Маунт Вилсон в 1921 и 1924 гг. Эти эксперименты показали с полной очевидностью реальность эффекта, который был систематическим, но малым и неопределенным по азимуту. Программа была ориентирована на обширную серию наблюдений для решения общей проблемы эфирного ветра без каких-либо предположительных эффектов. Чтобы подтвердить основное заключение, необходимо иметь наблюдения, охватывающие 24 часа суток, чтобы выявить влияние вращения Земли вокруг своей оси и в различные времена года, а также влияние орбитального движения Земли. Поскольку орбитальное движение всегда направлено по касательной к орбите, в различные сезоны оно будет иметь

различное направление, производя в результирующей абсолютного движения характерные для каждой эпохи отличия. Такие наблюдения были выполнены на Маунт Вилсон для четырех эпох – 1 апреля, 1 августа, 15 сентября 1925 г. и 8 февраля 1926 г.; число серий для этих эпох составляло 36, 96, 83 и 101 соответственно, дав всего 6402 оборота. Модель, показанная на рис. 23, изображает относительное положение Земли на ее орбите для эти четырех эпох. Результаты, полученные из полного анализа обработки этих наблюдений, будут рассмотрены подробно.

Можно заметить, что эти наблюдения включали в себя свыше 200.000 отсчетов положений интерференционных полос, требуя при этом, чтобы наблюдатель ходил по небольшому кругу в темноте, проходя дистанцию около 160 миль и делая при этом отсчеты. Более чем половина этих отсчетов были сделаны на Маунт Вилсон в наблюдениях 1925 и 1926 гг. Последние наблюдения дали 12.800 отдельных измерений скорости эфирного ветра и 25.600 отдельных определений апекса движения.

Данные наблюдений

Описанным способом были получены из каждой серии наблюдений, соответствующих заданному звездному времени, во-первых, скорость относительного движения Земли и эфира как проекций скорости на плоскость интерферометра, выраженной в км/с; во-вторых, измеренный от северного направления азимут линии, отображающей это проектируемое на плоскость интерферометра движение. Эти наблюдаемые величины для каждой из четырех эпох показаны графически на четырех графиках рис. 22. Каждая точка на верхней кривой каждого графика отображает скорость, а непосредственно под ней нижняя кривая соответствует азимуту одиночного наблюдения. Решение базируется на усредненной кривой наблюдений; поскольку имеется значительный разброс среди отдельных наблюдений, то, чтобы уничтожить все смещения, строится усредненная кривая с помощью простого усреднения 20 эквивалентных значений в каждой точке кривой. Наблюдений в апреле, в первой серии из данных, не было достаточно для двух времен суток, и эти кривые располагают лишь небольшим числом точек. Средние точки отмечены большими кружками, восемь толстых кривых линий, одна — скорости и одна — азимута для каждой из четыре эпох, составляют материал для дальнейшего обсуждения.

Таким образом, имеются четыре кривые, показывающие среднюю наблюдаемую скорость эфирного ветра для звездных суток четыре моментов времени года; каждая из этих кривых позволяет определить скорость относительного движения Земли и эфира, а также прямое восхождение и склонение апекса земного абсолютного движения, характерное для каждой эпохи. Имеется четыре кривые, показывающие средний азимут скорости эфирного ветра на всем протяжении звездных

суток для четыре моментов времени года; каждая из этих кривых определяет прямое восхождение и склонение апекса абсолютного движения Земли. Всего имеется четыре определения скорости движения, спроектированного на плоскость интерферометра, по одной для каждого момента времени, и восемь независимы определений апекса движения, по два для каждого момента времени. Эти наблюдения должны быть обработаны в соответствии с принципами, объясненными в предыдущих раздела, чтобы определить положения апекса результирующего движения для четырех моментов времени. Из каждой кривой для скорости получают числовые значения максимальной и минимальной ординат и звездное время минимальной ординаты; из каждой кривой для азимута скорости должно быть получено максимальное колебание азимута и два звездных времени, когда кривая пересекает свою ось.

Обработка наблюдений учитывает широту расположения интерферометра. Наблюдения, описанные здесь, были сделаны в Обсерватории Маунт Вилсон на широте $+34^{\circ}13'$.

Совершенно очевидно из характера кривых наблюдения, рис.22, что склонение апекса больше, чем дополнение до широты обсерватории, это видно из того факта, что отклонение азимутальной кривой от ее оси всегда меньше, чем 90° , а также из того, что амплитуда кривой показывает только единственный максимум и единственный минимум. Это определяет выбор альтернативных формул вычислений. Изучение положений модели приводит к тому же выводу. Кроме того, ранняя обработка этих наблюдений включала рассмотрение апекса со склонением меньшим, чем широтное дополнение, это всегда приводило к несовместимым результатам. Таким образом, в астрономическом отношении апекс должен быть околополярным.

Можно заметить, что как направление, так и скорость эфирного ветра должны изменяться от одного момента времени к другому, потому что его влияние является результатом постоянного космического движения Земли и ее изменяющегося орбитального движения, а эти изменения должны быть систематическими и характеризовать каждый момент времени, как будет объяснено далее.

Окончательные результаты наблюдений

В табл. 1 и 2 даны прямые восхождения и склонения апексов наблюдаемого движения Земли для четырех эпох и для двух альтернативных направлений. В таблицах $\alpha_{амп}$ и $\delta_{амп}$ — значения, полученные из амплитуд-ных кривых; $\alpha_{аз}$ и $\delta_{аз}$ получены из азимутальных кривых. Кривые наблюдения (рис. 22) дают непосредственно значения максимума скорости относительного движения Земли и эфира, наблюдаемой в плоскости интерферометра для четырех эпох; эти скорости приведены в табл. 3. Табл. 3 также показывает смещения интерференционных полос в единица длин волн, которые были получены в

интерферометре, использованном для эксперимента при наблюдении эфирного ветра.

Эти три таблицы содержат все данные, полученные в 316 сериях наблюдений, выполненных на Маунт Вилсон в 1925 и 1926 гг. для решения проблемы эфирного ветра.

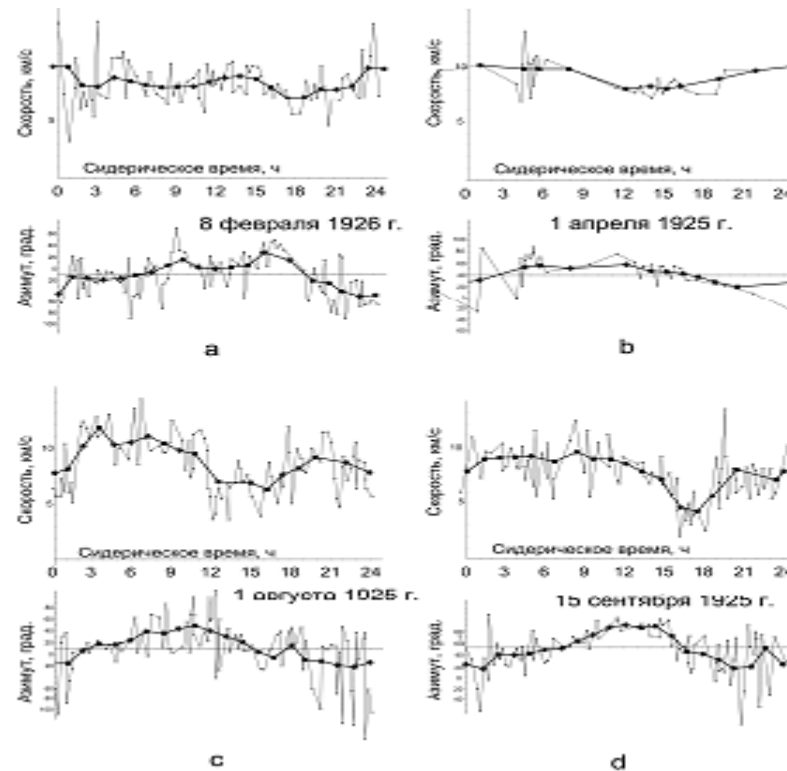


Рис. 22. Одиночные наблюдения и усредненные кривые эфирного ветра на Маунт Вилсон в 1925–1926 гг.

Таблица 1. Прямое восхождение апекса

Эпоха	$\alpha_{\text{амп}}$	$\alpha_{\text{аз}}$	Среднее	
			Север	Юг
8 февраля	18 ч. 00 мин.	18 ч. 00 мин	18 ч. 00 мин	6 ч. 00 мин
1 апреля	15:15	16:10	15:42	03:42
1 августа	15:45	16:10	15:57	03:57
15 сентября	17:05	17:00	17:03	05:05

Таблица 2. Склонение апекса

Эпоха	$\delta_{\text{амп}}$	$\delta_{\text{аз}}$	Среднее
8 февраля	$\pm 79^{\circ}35'$	$\pm 75^{\circ}19'$	$\pm 77^{\circ}27'$
1 апреля	$\pm 78^{\circ}25'$	$\pm 75^{\circ}12'$	$\pm 76^{\circ}48'$
1 августа	$\pm 67^{\circ}30'$	$\pm 62^{\circ}4'$	$\pm 64^{\circ}47'$
15 сентября	$\pm 61^{\circ}40'$	$\pm 62^{\circ}28'$	$\pm 62^{\circ}4'$

Таблица 3. Скорости и смещения полос

Эпоха	Скорость, км/с	Смещение ($\lambda = 5700\text{\AA}$)
8 февраля	9,3	0,104 λ
1 апреля	10,1	0,123 λ
1 августа	11,2	0,152 λ
15 сентября	9,6	0,110 λ

В этой работе вычисления выполнены непосредственно на основе реальных наблюдений без каких бы то ни было предположений о полученных результатах. Все первичные наблюдения включены в расчеты без исключений и без приписывания весовых коэффициентов. При использовании наблюдаемых величин не было применено никаких коррекций. Процедуры были лишь те, которые применяли в первых исследованиях и применялись до сих пор для неопознанных эффектов. Настоящие результаты наглядно проиллюстрировали корректность этого метода и, как теперь представляется, сорок шесть лет опоздания в установлении влияния орбитального движения Земли в наблюдения эфирного ветра произошло вследствие ошибок в подтверждении определенных предсказаний так называемых классических теорий и воздействий традиционных точек зрения.

Абсолютное движение Солнечной системы и определение орбитального движения Земли

Отказ от северного апекса движения Солнца

Как уже объяснялось, интерферометр определяет линию, в которой происходит движение Земли по отношению к эфиру, но не определяет направления движения по этой линии. Результаты наблюдений, данные в табл. 1 и 2, указывают как на то, что апекс размещен около северного полюса, так и на диаметрально противоположное направление около южного полюса эклиптики. Выбор между двумя возможными направлениями движения определен постоянством результатов, удовлетворяющих первичным наблюдениям, взятых как целое и в связи с известными явлениями. Изучение действительных движений и движений по отношению к видимым звездам в нашем скоплении показало, что Солнечная система движется по отношению к ближайшим звездам вперед к апексу, расположенному в созвездии Геркулеса около 42° от северного направления двух апексов, указанных интерферометрическими наблюдениями; скорость этого движения составляет около 19 км/с. Это обстоятельство как будто подкрепляет представление о северном направлении движения, и северный апекс был выбран для дальнейшего изучения проблемы. Кроме комплекта наблюдений для трех эпох на Маунт Вилсон, соответствующих 1 апреля, 1 августа и 15 сентября 1925 г., было проведено изучение результатов для уточнения предположения о

северном апексе. Для определения скорости космического движения были проверены различные варианты решений с помощью параллелограммного аппарата (рис. 18) с окончательной обработкой методом наименьших квадратов. Эффекты, которые должны были характеризовать различные эпохи вследствие изменения направления орбитального движения, не могли быть найдены из соответствующих кривых данных наблюдений, показывая, что орбитальная составляющая, вероятно, много меньше космической. Кривые для трех эпох были просто усреднены, и было установлено, что когда они изображены в отсчете по местному гражданскому времени, они имеют такие фазовые соотношения, что почти полностью нейтрализуют друг друга; средний эффект для трех эпох, изображенных таким образом, очень мал и не систематичен. Когда же кривые наблюдений были выполнены графически по отношению к звездному времени, выявилось поразительное соответствие и принципиальных характеристик, не только среди трех кривых для азимутов, но также и для амплитуд; кроме того, что производило большое впечатление, было согласование двух серий кривых, что явно говорило о наличии для этого общей причины. Усреднение кривых по звездному времени убедительно показало, что наблюдаемый эффект зависит от звездного времени и не зависит ни от суточных, ни от сезонных изменений температуры и других возмущающих причин и что это космический феномен. Результаты этого изучения были представлены как доклад президенту Американского физического общества на встрече в Канзас-Сити 29 декабря 1925 г.¹³⁾. Заключение гласило, что имеется систематическое положительное влияние эфирного ветра, соответствующее постоянному относительному движению Земли и эфира на Маунт Вилсон имеющее видимую скорость 10 км/с; что вариации в направлении и скорости найденного движения точно такие, какие должны быть произведены постоянным движением Солнечной системы в пространстве вперед к апексу около северного полюса эклиптики, имеющего прямое восхождение 17,5 ч. и склонение +65°. По гипотетической эфирной концепции Стокса эфир частично захватывается материей, движущейся сквозь него; это предполагает, что наблюдаемая скорость 10 км/с может являться лишь частью полной абсолютной скорости движения; если же орбитальная скорость Земли, составляющая 30 км/с, тоже уменьшена пропорционально, то в наблюдаемой скорости эта составляющая должна быть столь мала, что уже не воспринимается; поэтому можно полагать, что реальная скорость космического движения составляет двести километров в секунду или даже больше. Было также отмечено, что по неизвестным причинам все азимуты оказались смещенными к западу.

В четырех сериях наблюдений, которые были выполнены на Маунт Вилсон и соответствовали дате 8 февраля, были перепроверены все

13) D.C.Miller //Science. 63, 433 (1926).

наблюдения четыре момента времени, проведенные ранее, исходя из предположения о расположении апекса около северного полюса эклиптики, поскольку они не содержали эффекта орбитального движения Земли, которое не могло быть найдено; поэтому для определения космического движения Солнечной системы результаты четыре серий наблюдений были просто усреднены. Итоги такого детального исследования были доложены в Пасадене 4 и 5 февраля 1927 г.¹⁴⁾ на конференции по эфирному ветру; было показано, что существует постоянное космическое движение с теми же параметрами, что были доложены в Канзас-Сити для апекса, имеющего прямое восхождение в 17 ч. и склонение $+68^\circ$. В то же время стало понятно, что процесс усреднения наблюдений четыре дат уничтожает орбитальный эффект, поскольку два положения Земли на орбите почти диаметрально противоположны друг другу, как показано на рис. 24. На конференции в Пасадене было заявлено, что орбитальный эффект, если он существует, весьма мал, и хотя исследования оказались неудачными с точки зрения демонстрации этого воздействия, автор все же уверен, что он может быть найден и что дальнейшие исследования и наблюдения должны преследовать эту же цель. Можно добавить, что адекватные анализ и вычисления наблюдений для четырех эпох сверх обычных плановых исследований требуют длительного времени для проверки вычислений, возможно, целого года. Это и другие соображения, такие, как вытекающие из дальнейших наблюдений в Кливленде в 1927 и 1929 гг., задержали переосмысление наблюдений на Маунт Вилсон до осени 1932 г.

Как объяснено в последующем разделе, новое изучение проблемы основано на предположении о движении Солнечной системы в южном направлении, что дает согласующиеся результаты как для космического движения Солнечной системы, так и для орбитального движения Земли. По этой причине северный апекс солнечного движения был отвергнут и предпочтен южный апекс.

Выбор южного апекса движения Солнца

Начиная с осени 1932 г. была переосмыслена проблема эфирного ветра, а также закончен пересчет результатов наблюдений, выполненных на Маунт Вилсон в 1925 и 1926 гг. Использование альтернативной возможности — противоположного направления движения Солнечной системы по предварительно определенной траектории, то есть направления к апексу Южного полюса эклиптики, дало полное решение вопроса. На первое время это позволило определить числовое значение абсолютного движения Солнечной системы и положительно выделить эффект орбитального движения Земли с помощью эфирно-ветрового интерферометра.

14) D.C.Miller, *Astrophys. J.* 68, 341 (1928); *Contrib. Mt. Wilson Obs.*, № 373, 12 (1928)

Апексы, установленные на основании наблюдений четырех эпох, определены и прямым восхождением и склонением, приведенными в табл. 1 и 2, а также показаны на карте (рис. 23), которая изображает район

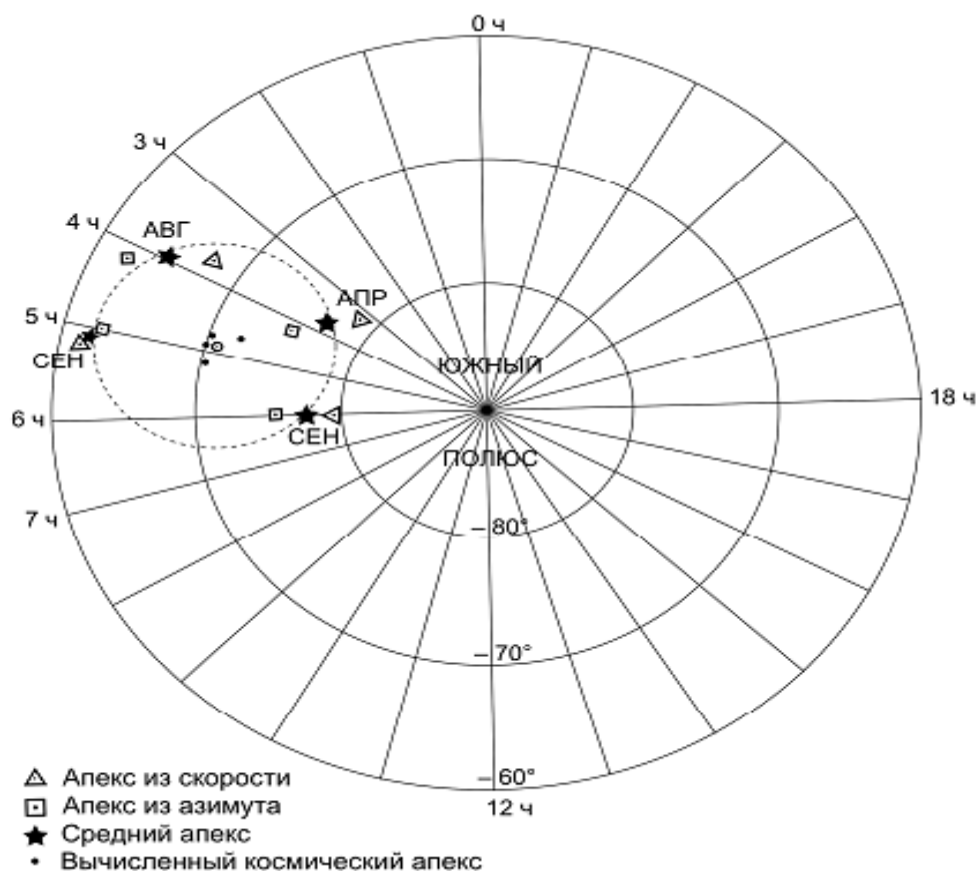


Рис. 23. Карта наблюденного апекса для результирующей абсолютного движения Земли

южного полушария небесной сферы. Наблюдаемые апексы получены из азимутальных кривых, они показаны квадратами, а полученные из амплитудных кривых отмечены треугольниками; средние для двух положений каждой эпохи указаны звездочками и представляют собой окончательные наблюдаемые положения апекса абсолютного движения Земли для прошлых эпох. Четыре апекса должны лежать на земной «отклоненной» орбите, центр которой есть апекс космической составляющей движения Земли. Эта отклоненная орбита есть проекция земной орбиты на небесную сферу и, поскольку центр ее смещен на 7° от полюса эклиптики, эта проекция есть окружность. Центр окружности, которая наиболее близко соответствует четырем наблюдаемым апексам, изображенным звездочками, найден графическим методом. Этот центр есть первое приближение к апексу космического движения Земли. Четыре апекса не только лежат замечательно близко к окружности, но они должным образом соответствуют и эпохам, как показано моделью орбиты на рис. 24.

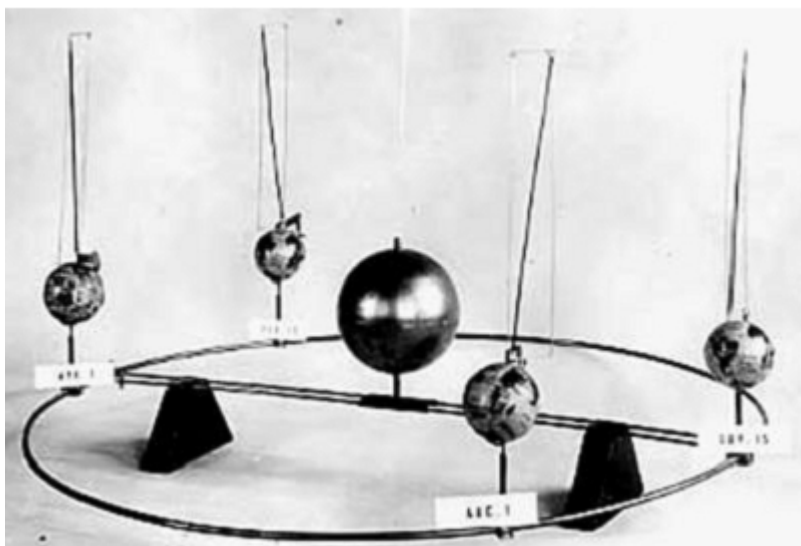


Рис. 24. Модель, иллюстрирующая положение Земли на ее орбите для четырех дат наблюдения

С помощью закона треугольника теперь можно найти приближенное решение для скорости космического движения Земли. Объяснение упростится, если воспользоваться моделью (рис. 24), показывающей относительные положения Земли на ее орбите для четырех эпох; над каждым из четырех глобусов помещен проволочный параллелограмм, который в примерном масштабе показывает отношение орбитальной и космической составляющих движения и их результирующую; космическая составляющая движения направлена вниз. Направление и скорость орбитальной составляющей движения известны, направление результирующего движения дано наблюдениями (его скорость не требовалась), космическая составляющая направлена к центру отклоненной орбиты именно так, как было найдено. Таким образом, имеются заданные направления трех сторон треугольника и длина одной стороны, что определяет длины других сторон. Таким же способом было найдено в первом приближении, что скорость космической составляющей движения должна составлять порядка 200 км/с.

Имея приблизительное значение скорости космического движения и используя законы сферической триангуляции, можно найти апекс космической составляющей; это сделано независимо для каждой из четырех эпох путем использования направлений результирующего движения, данных четырьмя наблюдаемыми результирующими апексами, а также скоростью и направлением орбитального движения Земли, соответствующим четырем датам времени. Таким образом, получены четыре приближенных местоположения апекса космического движения, основанных на предполагаемом значении скорости; они должны совпадать с центром отклоненной орбиты, но возможно, что они будут разбросаны вокруг этого центра.

Дальнейшие попытки были предприняты с предполагаемыми значениями скорости космической составляющей движения 205, 210 и 215 км/с, в результате чего было сделано заключение, что скорость 208 км/с космической составляющей дает наиболее плотное группирование четырех независимых локализаций космического апекса. В табл. 4 даны

Таблица 4. Центры наклоненной ной орбиты

Эпоха	α	β
8 февраля	5 ч 14 мин	- 69°54'
1 апреля	4 ч 46 мин	- 70° 4'
1 августа	4 ч 40 мин	-72°00'
15 сентября	4 ч 54 мин	-70°11'
Средний апекс	4 ч 54 мин	-70°33'

прямое восхождение и склонение указанных четыре точек и, таким образом, средние значения координат, которые приняты как местоположение апекса космического движения. Апексы, определенные из наблюдений каждой даты независимо друг от друга, показаны четырьмя точками около центра окружности на рис. 23; при этом среднее значение эти местоположений показано точкой вблизи центра окружности. Это и есть окончательное решение для космической составляющей движения Земли и направления абсолютного движения Солнечной системы как целого; это космическое движение Земли имеет скорость 208 км/с и направлено к апексу, имеющему прямое восхождение 4 ч. 54 мин. и склонение $-70^{\circ}33'.69$

Местоположение апекса, таким образом, определено в созвездии Золотой Рыбы и находится около 20° южнее звезды Канопус, второй ярчайшей звезды небосвода. Она находится в середине прекрасного Большого Магелланова скопления звезд. Апекс находится около 7° от полюса эклиптики и около 6° от полюса постоянной плоскости Солнечной системы, таким образом, видимое движение Солнечной системы почти перпендикулярно этой плоскости. Это означает, что Солнечная система может быть рассмотрена как динамический диск, который проходит через сопротивляющуюся среду и который поэтому сам устанавливает перпендикуляр к линии движения.

Тот факт, что Солнце движется по направлению к южному апексу со скоростью 208 км/с и в то же самое время существует несомненное движение по отношению к ближайшим звездам в противоположном направлении к созвездию Геркулеса со скоростью 19 км/с, означает, что группа звезд как целое движется вперед к южному апексу со скоростью 227 км/с.

Необъяснимое уменьшение скорости и смещение азимута

Направление движения Земли в пространстве определено из предположения, что движение спроектировано на плоскость интерферометра, и путем наблюдения различий, произведенных проекцией составляющей вращения Земли вокруг Солнца. Скорость движения определена путем сравнения со смещением полос, предположительно вызванным известной орбитальной скоростью Земли.

Оценка наблюдаемого эффекта основана на предположении, что это есть эффект второго порядка и что эфир полностью неподвижен и не завихрен движением Земли сквозь него. Наблюдения выявили два эффекта, которые никак не объясняются такой простой теорией. Смещение интерференционных полос, всегда меньшее ожидавшегося, показало уменьшение скорости относительного движения; значит, эфир, через который интерферометр переносится движением Земли, не находится в абсолютном покое. Когда скорость движения Земли, рассчитанная по результатам этих исследований, сравнивается со скоростями, наблюдаемыми с помощью интерферометра, полученное числовое значение коэффициента уменьшения скорости остается необъяснимым. В табл. 5 показан максимум наблюдаемой результирующей скорости, полученной пересчетом данных табл. 3, совместно с вычисленной результирующей скоростью в плоскости интерферометра, и коэффициент уменьшения «k» для каждой даты наблюдения. Значение «k», которое приводит к результирующей скорости, наиболее согласованной с реальными наблюдениями для всех дат наблюдений, равно 0,0514, и это единственное значение, которое использовано в вычислении теоретически кривых. Однако до сих пор физическая природа этого уменьшения коэффициента остается непонятной, и не нужно полагать, что этот коэффициент постоянен для всех дат наблюдений. Похоже, что космическая и орбитальная составляющие движения уменьшаются в одной и той же пропорции.

Таблица 5. Космические скорости

Эпоха	Скорость, км/с		k
	наблюдаемая	вычисленная	
8 февраля	9,3	195,2	0,048
1 апреля	10,1	198,2	0,051
1 августа	11,2	211,5	0,053
15 сентября	9,6	207,5	0,046

В соответствии с простой теорией направление космического движения должно колебаться назад и вперед через линию север-юг, пересекая ее и совершая одно колебание в звездные сутки вследствие вращения Земли вокруг ее оси. Когда наблюдаемый азимут нанесен на карту, результирующая кривая направления пересекает свою ось дважды в

каждые сутки, как показано на рис. 25, но эта ось изменяет свое положение относительно меридиана. Для эпохи февраля ось смещена на 10° к северо-западу, для апреля смещена на 40° к востоку, для августа – 10° к востоку, и для сентября – 55° к востоку.

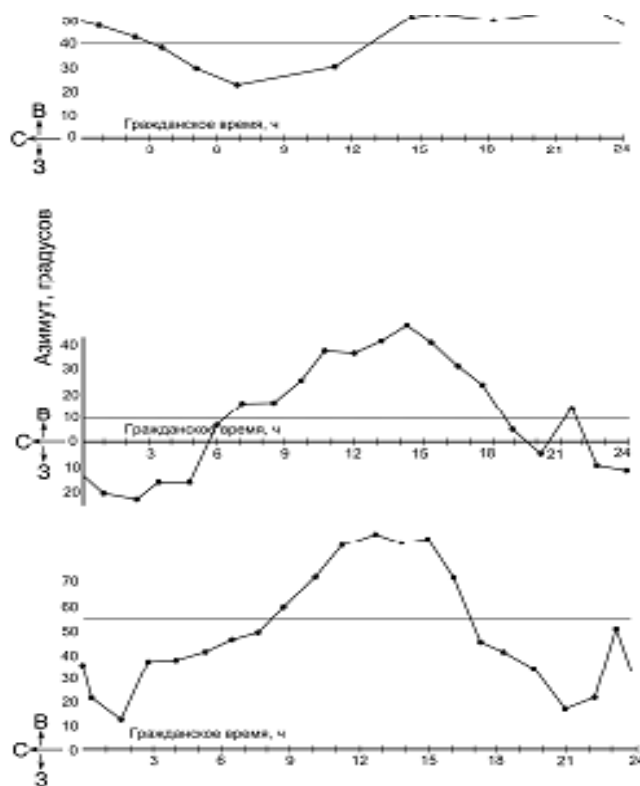


Рис. 25. График, показывающий наблюдаемое смещение оси азимута эфирного ветра

Обоснованность решения

Для каждой возможной причины возмущений, подлежащей упразднению, должен быть развит адекватный метод соответствующей процедуры, предполагающий, что устойчивые наблюдаемые эффекты хотя и малы, но систематичны и происходят вследствие реального эфирного ветра. Наблюдаемое смещение интерференционных полос по некоторым неизвестным причинам соответствует лишь составляющей скорости Земли в пространстве. Теоретическое решение проблемы абсолютного движения, которое рассматривалось, включает только относительные значения наблюдаемого эффекта и не требует знания ни причины уменьшения видимой скорости движения, ни размеров этого уменьшения. Обоснованность решения показана использованием недавно определенных скорости и направления космического движения вместе с известными скоростью и направлением орбитального движения Земли для вычисленного результирующего эффекта для каждой из четырех эпох.

Скорость и направление результирующего движения как проекции на плоскость интерферометра рассчитаны через интервал 2 ч звездных суток для каждой эпохи. Амплитуды, умноженные на

уменьшающий коэффициент k , показаны на рис. 26 с помощью широких линий кривых слева. Азимуты рассчитанных направлений по отношению к осям кривых показаны гладкими широкими линиями кривых справа. Сопоставление этих восьми кривых есть средние кривые действительных наблюдений, приведенных на рис. 12.

Рассчитанные кривые соответствуют наблюдениям особенно хорошо, отражая природу эксперимента. Поскольку космическая составляющая движения относительно велика, ее эффект превалирует так, что фазы кривой остаются почти постоянными, если они привязаны к звездному времени, так что минимум у все приходится на 17 часов. Это есть кривая орбитальной составляющей, которая вызывает колебания кривы в феврале и апреле и приводит к выраженному минимуму шесть месяцев спустя. Эффект орбитальной составляющей является причиной явного наклона вперед азимутальных кривых августа и сентября.

Близость критических параметров теоретических кривых для различных эпох наблюдений наиболее поразительна, когда кривые нанесены на карту относительно местного гражданского времени, как на рис. 27. Преобладающий эффект космической составляющей времени остается постоянным в звездном времени, создавая минимум, который имеется при восходе Солнца в феврале, прогрессивно смещаясь в гражданском времени каждые сутки, изменяясь сезонно, так что в сентябре он приходится близко к закату Солнца; время, когда азимутальная кривая пересекает свою ось подобным же образом, прогрессивно смещается в гражданском времени.

Продолжая астрономическое описание, следует сказать, что были найдены элементы отклоненной орбиты абсолютного движения Земли; они были использованы для вычисления видимого места наблюдений. Скорость и апекс постоянной космической составляющей движения Земли только что найдены из комбинации с известной орбитальной скоростью по данным четырех эпох наблюдений, чтобы найти четыре апекса результирующего движения четырех эпох. Наблюдаемые и вычисленные прямые восхождения и склонения апексов приведены в табл.6.

Таблица 6. Результирующие апексы, наблюдаемые и вычисленные

Дата наблюдения	α_H	α_B	δ_H	δ_B
8 февраля	6 ч 0 мин	5 ч 40 мин	$-77^{\circ}27'$	$-78^{\circ}25'$
1 апреля	3 ч 42 мин	4 ч 00 мин	$-76^{\circ}48'$	$-77^{\circ}50'$
1 августа	3 ч 57 мин	4 ч 10 мин	$-64^{\circ}47'$	$-63^{\circ}30'$
15 сентября	5 ч 5 мин	5 ч 00 мин	$-62^{\circ}4'$	$-62^{\circ}15'$

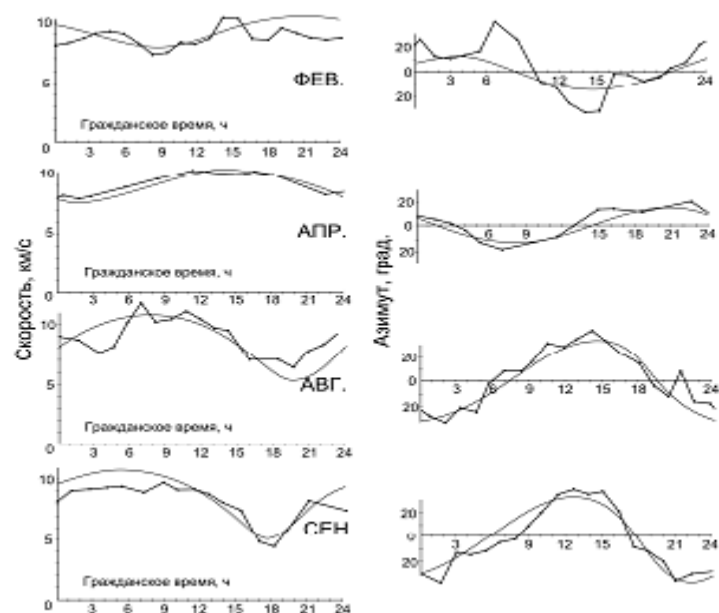


Рис. 26. Наблюдаемые и рассчитанные скорости и азимуты эфирного ветра для четырех периодов наблюдения, привязанные к звездному времени

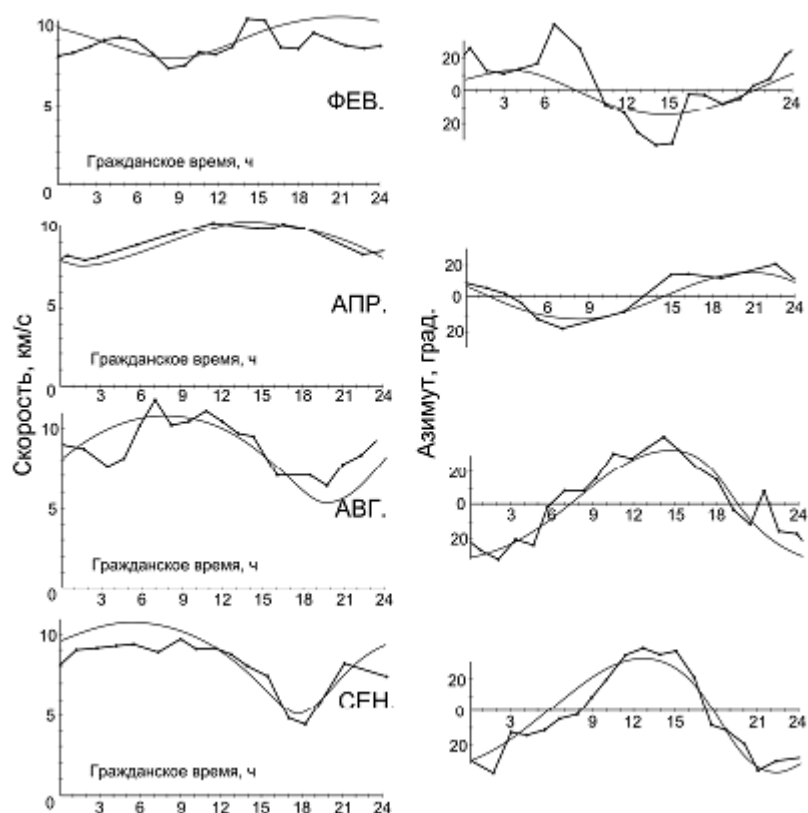


Рис. 27. Наблюдаемые и рассчитанные скорости и азимуты эфирного ветра для четырех периодов наблюдения, привязанные к гражданскому времени

Апексы космической составляющей, определенные предварительно и приведенные в табл.4, показаны большой звездочкой на рис. 28, а для четырех вычисленных апексов результирующего движения и для четырех эпох показаны маленькими кружочками, которые, как видно, лежат на окружности, изображающей вычисленную отклоненную орбиту. Наблюдаемые апексы для четыре эпох изображены маленькими звездочками. Местоположение полюса эклиптики также показано. Точное согласие между вычисленными и наблюдаемыми апексами должно приводить к очевидному заключению об обоснованности решения наблюдений эфирного ветра для абсолютного движения Земли и также для эффекта орбитального движения Земли, которые до настоящего времени не были доказаны.

Может показаться неожиданным, что такое полное согласие между наблюдаемыми и вычисленными местоположениями оказалось возможным получить из наблюдений таких минутных эффектов и эффектов, считающихся трудно определяемыми и неопределенными. Возможным объяснением является то, что звездочки, изображающие окончательный результат для февральской эпохи, есть эффект от усреднения 8080 отдельных определений этого местоположения; звездочка для августовской эпохи отображает 7680 отдельных определений, соответственно для сентябрьской – 6640 и для апрельской – 3208 определений.

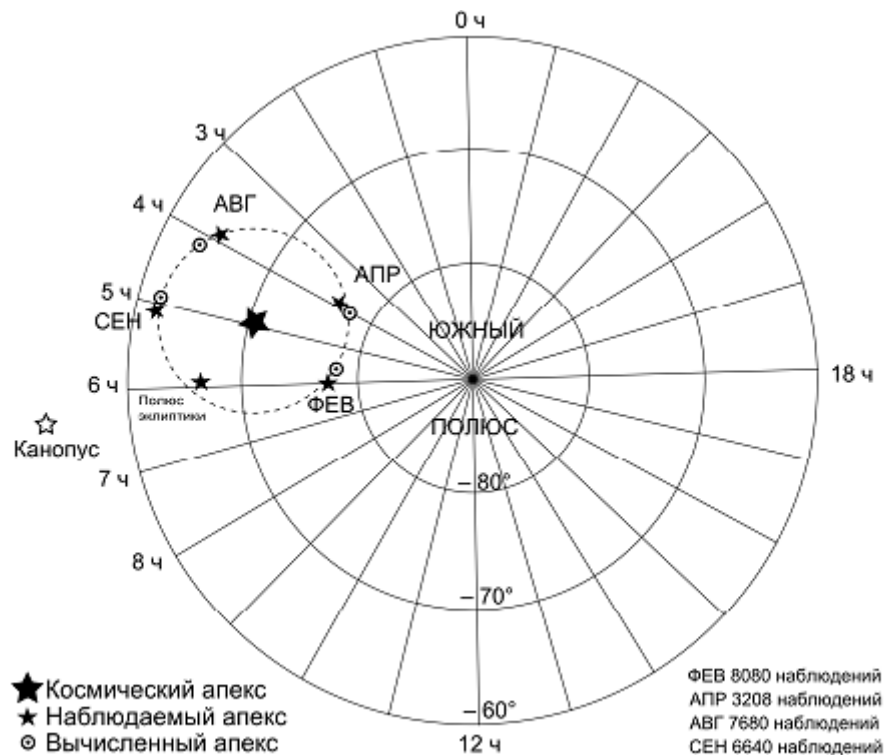


Рис. 18.28. Наблюдаемый и рассчитанный апексы абсолютного движения Солнечной системы

Обращает на себя внимание то, что результаты, полученные здесь, не противоречат первоначальным результатам, полученным Майкельсоном и Морли в 1887 г.; действительно, они согласуются с ними и подтверждают ранние результаты. С добавлением новых наблюдений интерпретация должна пересматриваться и расширяться.

Модель, приведенная на рис. 29, изображает в пропорциональном масштабе конструкцию для изучения абсолютного движения Земли. Земля изображена мячом, расположенным около вершины модели, а плоскость эклиптики — горизонтальной пластиной, проходящей через

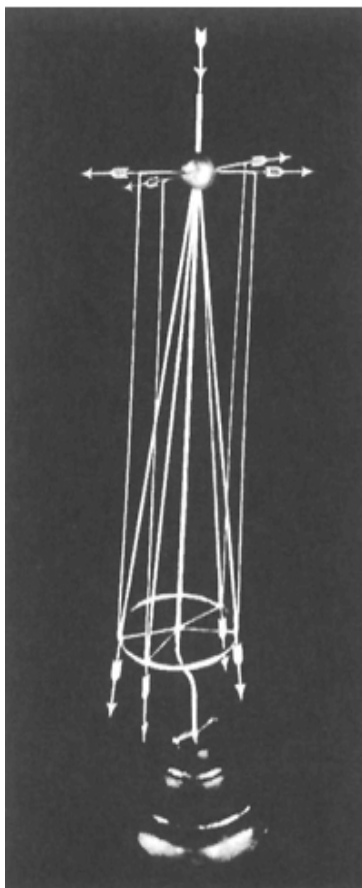


Рис. 29. Модель, иллюстрирующая составляющие эфирного ветра

центр Земли. Космическая составляющая движения Земли, являющаяся абсолютным движением Солнечной системы, направлена к апексу, расположенному около южного полюса эклиптики; она изображена стрелой, помещенной около вершины модели, и дорожкой, продлевающей ее ниже «Земли». Орбитальные составляющие движения для четырех дат этих наблюдений отображены стрелками, лежащими в горизонтальной плоскости. Четыре результирующих движения отображены диагоналями четырех параллелограммов, соответствующим отдельным датам. Результирующее движение в виде направленной годовой траектории на небесной сфере наклоненной орбиты Земли изображено кругом, расположенным в нижней части модели; четыре позиции, соответствующие датам наблюдений, промаркированы нижними стрелками. Эта часть модели соответствует орбитальной окружности на карте (рис. 28) и модели орбиты с четырьмя глобусами (рис. 24).

Вероятная погрешность

Изучение числовых результатов, приведенных на рис. 26, показывает, что вероятная погрешность определения наблюдаемой скорости, имеющей значение от 10 до 11 км/с, составляет $\pm 0,33$ км/с при вероятной погрешности определения азимута $\pm 2,5^\circ$. Вероятная погрешность определения прямых восхождений и склонений в полярных координатах (рис. 28) составляет $\pm 0,5^\circ$.

Полнопериодический эффект

Хотя внимание в этих экспериментах было сосредоточено на полупериодическом эффекте второго порядка, в них присутствует эффект первого порядка, сравнимый по величине. Теория эксперимента эфирного ветра, как она обычно дается, точна, но абстрактна, основана на допущении простейших условий работы аппаратуры, которых никогда не существует в реальном эксперименте. В действительности интерференционные линии зависят не только от скорости и направления эфирного ветра, но также и от геометрического расположения зеркал. Простая теория предполагает, что зеркала на концах двух плеч интерферометра перпендикулярны к лучам света; но это даст полосы бесконечно большой ширины, все поле зрения будет однообразно засвечено, критические условия не только не желательны, но и не применимы на практике. Чтобы создать серию прямых полос, пригодных для измерения смещений, как показано на рис. 7, необходимо, чтобы одно из концов зеркал было повернуто вокруг вертикальной оси на очень малый угол так, чтобы две действительных интерферирующих плоскости пересеклись. Ширина полос и число полос в поле зрения прямо зависят от отклонения концевых зеркал. Угол отклонения света на зеркале, как это было в данных эксперимента, составил от 0° до $\pm 4''$. Позже проф. В. М. Хикс из Университетского колледжа (Шеффилд) детально обсудил теорию¹⁵⁾, используя методы не только строгие, но и общие, применяя и к некоторым приспособлениям в оптически путях аппаратуры. В теории Хикса показано, что когда имеются периодические изменения относительной фазы двух лучей света в интерферометре с зеркалами, приспособленными к реальной практике, вносится дополнительный эффект смещения полос, период которого составляет полный оборот инструмента. Амплитуда этого полнопериодического смещения зависит от ширины полос, использованных во время наблюдений и примерно равна амплитуде смещения полос под давлением эфирного ветра, когда в поле зрения имеется восемь полос; с обычной надежной установкой шести полос в поле зрения полнопериодическое смещение полос меньше, чем полупериодический эффект, как показано на рис. 21.

Полнопериодическое смещение, которое обычно наблюдается, присутствует во всех наблюдениях, включая первоначальные наблюдения Майкельсона и Морли. Хикс обратил внимание на этот факт и вычислил смещение полос. К несчастью, ни в каких наблюдениях, сделанных до сих пор, не проводилось числовое измерение ширины полос, определяемой углом отклонения зеркала, и поэтому невозможно использовать полнопериодический эффект для решения проблемы эфирного ветра. Однако приближенное число полос, видимы в поле

15) W.M.Hicks // Phil.Mag. 1902. Vol.3. № 6. 9. P.256,555.

зрения, чаще всего записывалось. Сравнение ширины полос с полнопериодическим эффектом показывает прямо пропорциональное отношение, как этого и требует теория Хикса; это отношение показано на рис. 30.

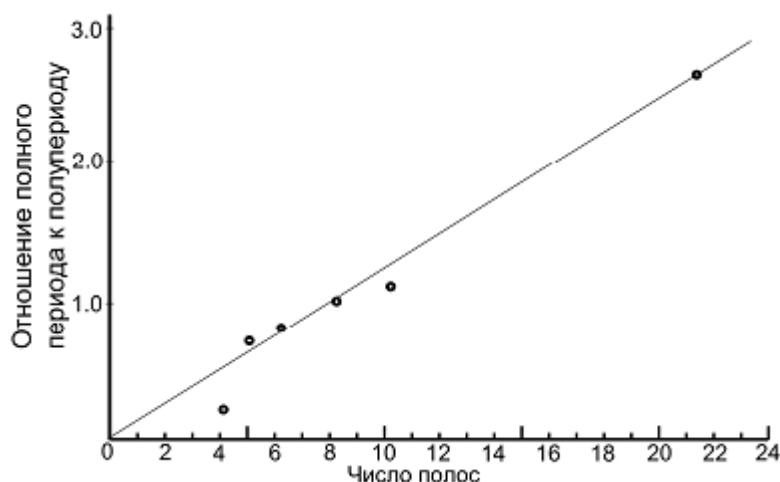


Рис. 30. Полнопериодический эффект: отношение смещения полос к их ширине

Гипотеза увеличения эфира

Чтобы объяснить приведенные здесь результаты, кажется необходимым признать реальность модифицированного сокращения Лоренца–Фицджеральда или постулировать вязкость захватывающего эфира. В комментарии по предварительному отчету о настоящей работе, представленному Национальной академии наук в апреле 1925 г. д-р Л.Зильберштейн сказал: «С точки зрения теории эфира здесь представлены результаты столь же хорошие, что и другие, предварительно открытые, легко объяснимые эфирной концепцией Стокса, модифицированной Планком и Лоренцем и обсужденной автором (Зильберштейном) в „Philosophical Magazine“¹⁶⁾».

Теория Стокса может быть описана посредством следующего изречения, заимствованного из трактата «Эфир и материя» сэра Джозефа Лармора (стр. 10, 13, 35 и 36):

«Поскольку сэр Джордж Стокс не был расположен допустить, что эфир может свободно проходить сквозь промежутки материальных тел в соответствии со взглядом Френеля, и поскольку некоторые другие теории его движения, которые могут быть согласованы с фактами астрономической аберрации, требуют независимых течений, объяснение ограничения таких течений, как он полагает, найдено. Эту цепь аргументов — что аберрация требует возмущений, которые должны быть

16) L.Silberstein // Phil.Mag. 1920. Vol.39. P.161.

незавихренными, что движение тел возмущает эфир, что это может быть объяснено только рассеиванием возникающих вихревых возмущений с помощью поперечных волн, и далее, что излучение само вовлекает поперечное волновое движение, – он считает взаимно согласующейся и самоподдерживающейся и, далее, формирующе совершенно очевидную, в соответствии с этим взглядом, конституцию эфира. Затем возникает вопрос, насколько далеко распространяется это объяснение применительно к случаю, в котором эфир увлекается материей, движущейся сквозь него».

Существуют систематические различия в так называемой константе аберрации и в стандартном расположении звезд, определенные различными наблюдениями, которые могут быть объяснены гипотезой различного эфирного ветра вследствие различий в местном коэффициенте увлечения. Увлечение эфира на любой данной станции может зависеть более или менее от высоты, местного контура и возмущений большими массами, расположенными на поверхности Земли, такими, как горные хребты. Эксперименты по эфирному ветру никогда не проводились на уровне моря, а также нигде, это факт, исключая Маунт Вилсон, с достаточно полными точными измерениями эффекта.

Теперь очевидно, что скорость ветра на Маунт Вилсон не сильно отличается от скорости ветра на Кливленде и что на уровне моря она будет, вероятно, той же. Уменьшение измеренной скорости 200 км/с или более до наблюдаемой 10 км/с может быть объяснено на основе теории сокращения Лоренца–Фицджеральда без привлечения представлений об увлечении эфира. Это сокращение может зависеть или не зависеть от физических свойств твердого тела и это может быть, а может и не быть точно пропорционально квадрату относительной скорости Земли и эфира. Очень небольшое отклонение сокращения от значения, вычисленного Лоренцем, должно объяснить наблюдаемый эффект. Сэр Оливер Лодж в автобиографии написал:

«Я еще упорно придерживаюсь идеи, что фицджеральдовское сокращение – реальность, которая должна быть учтена при рассмотрении физического устройства Вселенной»¹⁷⁾.

Поэтому необходимо обсудить, какие имеются возможности для уточнения теорий эфира, чтобы они были согласованы с фактом уменьшения наблюдаемой скорости абсолютного движения и со смещением азимута. Трудности, созданные этими аномалиями, конечно, не больше, чем подобные трудности, существующие во многих других областях экспериментальных исследований.

17) O. J. Lodge. Past Years. 1932. P.206.

Другие современные эксперименты по эфирному ветру

Поскольку сообщение об очевидности абсолютного движения Солнечной системы сделано в Канзас-Сити в 1925 г. были проведены некоторые другие эксперименты по обнаружению эфирного ветра интерферометром различными экспериментаторами в различных условиях, приведя к результатам, обычно рассматривающимся как отличные от выводов, сделанных в настоящей статье. Краткое изложение этих экспериментов будет сделано без детального анализа.

Д-р Рой Дж. Кеннеди из Пасадены применил интерферометр с оптическим устройством оригинальной конструкции, обеспечившим высокую чувствительность¹⁸⁾. Длина оптического пути до оконечного зеркала, обозначенная D в формуле, данной ранее, составляла 200 см. Аппарат был запечатан в металлическую коробку, заполненную гелием. Заключение гласило, что скорость индицированного эфирного ветра должна быть менее 2,5 км/с; этот предел был позднее уменьшен Иллингвортом до 1 км/с.

Проф. А.Пиккар и Е.Стаэль из Брюсселя, полагая, что высота над поверхностью Земли может иметь влияние на скорость эфирного ветра, разместили интерферометр в аэростате, который подняли на высоту 2500 м¹⁹⁾. Аэростат вращался вокруг вертикальной оси посредством пропеллера. Длина оптического пути интерферометра $D = 280$ см; он имел самозаписывающий прибор и термостат и был заключен в герметизированный металлический ящик. Индицированная скорость могла составить 7 км/с, что было ограничено точностью интерферометра. Этот интерферометр был позже перенесен на вершину Риги в Швейцарии, на высоту 1800 м, где наблюдения показали верхний предел возможной скорости эфирного ветра 1,5 км/с²⁰⁾.

Позже проф. Майкельсон, Ф. Г. Пис и Ф.Пирсон использовали интерферометр, смонтировав его в обсерватории Маунт Вилсон в Пасадене; длина оптического пути составляла 1616 см и позже была увеличена до 2592 см. Отсчеты делались по вертикальной оси интерферометра, наблюдатель помещался в комнате, расположенной над аппаратом. Результат не дал смещения больше, чем $1/50$ того, которое ожидалось из предположения эффекта, вызванного движением Солнечной системы со скоростью 300 км/с²¹⁾.

Проф. Георг Джус, работающий в Йене, использовал интерферометр, смонтированный на кварцевой основе, подвешенной в вакуумированном

18) R.J.Kennedy, Proc. Nat. Acad. Sci. 12, 621(1926); Astrophys. J. 68, 367 (1928).

19) A.Piccard, E.Stahel //Comptes Rendus. 1926. Vol.183. P.420; Naturwiss. 1928. B.16. S.935.

20) A.Piccard, E.Stahel //Comptes Rendus. 1927. Vol.185. P.1198; Naturwiss. 1928. B.16. S.25.

21) A.A.Michelson, F.G.Peas, F.Pirson // Nature. 1929. Vol.123. P.88; J.Opt. Soc. Am. 1929. Vol.18. P.181.

металлическом строении, и снабженный фотографической регистрацией. Интерферометр имел длину оптического пути $D=2099$ см. Результаты показали, что существующий эфирный ветер не мог превысить $1 \text{ км/с}^{22)}$.

В трех эксперимента из четырех интерферометр был заключен в массивный металлический корпус, размещенный в подвальной комнате фундаментального здания ниже уровня земной поверхности; в эксперименте Пиккара и Стаэля была использована металлическая герметизированная камера, а в эксперименте Майкельсона, Писа и Пирсона интерферометр находился в камере с постоянной температурой, но не вакуумированной. При исследовании вопроса увлечения эфира наличие массивных непрозрачных экранов нежелательно. Эксперимент, рассчитанный на обнаружение очень малых влияний на скорость света со стороны проходящего сквозь него эфира, должен быть построен так, чтобы не существовало экранов между свободным эфиром и световым путем в интерферометре. Запланировано непосредственно изучить эту сторону проблемы.

Ни в одном из других экспериментов не было проведено наблюдений такой длительности и такой непрерывности, какие требуются для выявления суточных и сезонных изменений.

Поскольку интерферометр, использованный Кеннеди, более чувствителен, чем приборы обычного типа, то вызывает сомнение, что точность результатов, полученных с его помощью, выше тех, которые были получены при очень большом числе отсчетов, сделанных при всех температурных условиях и сезона на интерферометра обычного типа, обладающие много меньшей чувствительностью к возмущающим факторам.

Ограниченность метода прямого отсчета была осознана, но он был принят потому, что он прост и позволяет набрать большое число отсчетов в кратчайшее время. Можно поверить, что некоторый недостаток в точности каждого отдельного отсчета полностью компенсируется большим числом отсчетов и использованием интерферометра с длинным оптическим путем, и поэтому высокой изначальной чувствительностью. Интерферометр, использованный в описанных здесь экспериментах, имеет длину оптического пути $D = 3203$ см.

Другие доказательства космического движения

Различные астрономические определения движения Солнечной системы в пространстве с помощью различных методов показали наличие относительного движения и дали некоторую косвенную информацию об абсолютном движении. Однако некоторые недавно проведенные важные эксперименты в различных областях с очевидностью указали на существование космического движения.

22) G. Joos, Ann. d. Phys. [5] 7, 385 (1930).

Д-р Эсклагон, Директор Парижской обсерватории, провел детальное изучение земных течений – деформации земной коры и океанских течений. В последней работе он рассмотрел 166.500 результатов наблюдений, охватывающих период в 19 лет²³⁾. Имеется составляющая эффектов, связанных с приливами и отливами, которая указывает на движение Солнечной системы в плоскости, в которой находится меридиан звездного времени 4,5 ч и 16,5 ч.

При изучении отражения света Эсклагон установил с полной очевидностью то, что он назвал «оптической диссимметрией пространства», ось симметрии которой лежит в меридиане 8 и 20 ч звездного времени. Этот эффект можно было бы объяснить наличием эфирного ветра; эти результаты находятся в строгом соответствии с наблюдениями эфирного ветра, описанными здесь²⁴⁾.

Множество недавних наблюдений космических лучей показало совершенно определенно максимум радиации в направлении, отмеченном меридианом в 5 и 17 ч звездного времени. Этот эффект показали весьма обширные наблюдения Кольхестера и фон Салиса, Бюттнера и Фельда, а также Стейнке²⁵⁾. Наблюдения, выполненные на немагнитном корабле «Карнеги» показали тот же эффект для наблюдений, выполненных между 30° северной и 30° южной широты²⁶⁾.

Свидетельства галактического движения, которое относится более или менее к абсолютному движению Солнечной системы, найдены Харловом Шаплеем, изучающим межзвездную среду, Дж. С.Пласкеттом из изучения движений звезд В-типа и Г.Штробергом из исследований звездных скоплений и туманностей²⁷⁾.

Курвуазье провел исследования некоторых типов открыты свидетельств абсолютного движения Земли. Его эксперименты относятся к области отражения света, деформации Земли, удлинению орбит спутников Юпитера и абберационной константы. Р.Томашек и В.Шиффернихт выполнили наблюдения на ряде связанных друг с другом явления²⁸⁾.

Имеются отдельные аномалии в астрономических наблюдениях менее определенного характера, которые, однако, могут быть объяснены наличием эфирного ветра. Такие аномалии имеются в наблюдениях констант абберации, стандартного расположения звезд и коррекции часов, определенных в различное время суток.

23) E. Esclagon, Comptes Rendus. 182, 921 (1926); 183, 116 (1926).

24) E. Esclagon, Comptes Rendus 185. 1593 (1927).

25) Kohlhorster, Steinke, Buttner, Zelts. f. Physik. 50, 808 (1928).

26) Report Carnegie Inst. 27, 255 (1928).

27) Harlow Shapley, Nature. 122, 482 (1928); J. S. Plaskett, Science 71, 152 (1930); G.Stromberg, Astrophys. J. 61, 353 (1925).

28) L.Courvoisier // Astronomische Nachrichten. Nos 5416, 5519, 5599, 5715, 5772, 5910; R.Tomaschek, W.Schaffernicht // Astronomische Nachrichten, Nos. 5844, 5929; Ann. d.Physik. 1932. B.15. S.787.

Карл Г. Джански из Телефонной лаборатории Белла нашел свидетельства существования специфического шипящего звука в коротковолновом радиодиапазоне, который приходит с определенного космического направления, лежащего в меридиане 18 ч звездного времени²⁹⁾.

Благодарности

Представленные здесь эксперименты включали овладение громадным количеством материала для наблюдений, большая часть которого предназначалась для регулировки и подготовительной проверки условий работы: только небольшая часть, которая все же очень велика, использована в окончательных вычислениях. Уменьшение этой массы материала оказалось чрезвычайно трудным делом. Не удастся припомнить каких-либо других экспериментов, которые включали бы такое количество деталей и такого продолжительного изучения. Это потребовало значительного внимания многих лиц. Автор особенно обязан проф. Дж. Дж. Нассау из отделения астрономии Кейсовской школы прикладной науки за очень большую помощь в проведении анализа и в математическом решении числовых и астрономических задач, возникших в работе с самого начала наблюдений на Маунт Вилсон в 1921 г. Д-р Г. Штрюмберг и другие члены персонала Обсерватории Маунт Вилсон помогли советами и консультацией высочайшей ценности. Некоторые помощники, каждый на значительный период, полностью отдавали себя работе, а также обработке наблюдений и вычислениям, среди них следующие должны быть названы персонально: Р. Ф. Ховей (1920–1923 гг.), Г. А. Притчард (1923 г.), Виллард Самуелсон (1924 г.), Г. Брукс Эрнест (1925 г.), Ф. В. Тэйлор (1925–1926 гг.), Дональд Х. Спикер (1926–1927 гг.) и Джеймс Р. Мак-Кинли (1932–1933 гг.). Д-р Р. М. Лагнер был наиболее действенным помощником во всех наблюдениях, выполненных на Маунт Вилсон в 1925 и в 1926 гг.; он подготовил принципиальный материал для окончания настоящего доклада. Проф. Филип М. Морзе очень эффективно помогал в первом анализе общей проблемы абсолютного движения Солнечной системы, он выполнил важную часть вычислений для первого решения проблемы в 1925–1926 гг. Коллеги автора по исследованиям – проф. Джон Р. Мартин (1927–1931 гг.) и м-р Роберт С. Шэнкланд (1932–1933 гг.) непосредственно участвовали в осмыслении проблемы, которое завершилось окончательным определением абсолютного движения Солнечной системы и орбитальным движением Земли так, как представлено в настоящей работе.

29) Karl G. Jansky // Electronics. 1933. Vol.6. P. 173.

Кейсовская школа прикладной науки сделала возможным продолжительное изучение проблемы эфирного ветра. Вашингтонский институт Карнеги и обсерватория Маунт Вилсон создали исключительно благоприятные условия в Маунт Вилсон для проведения наблюдательных работ с 1921 по 1926 гг. М-р Экштейн Кейс обеспечил фонды для очень значительны расходов, которые были вызваны проведением серий экспериментов и испытаний.