

Поплавной С.А.

К оптике движущихся тел.

Аннотация

Кратко изложен опыт Майкельсона по определению скорости движения Земли относительно эфира. Выполнен анализ работ, посвященных опыту Майкельсона, указана причина, не позволившая определять орбитальную скорость Земли. Записаны уравнения общего смещения полос интерференционной картины и дополнена таблица Р.С. Шенкланда.

Оглавление

1. Введение: опыты Майкельсона
 2. Новая интерпретация результатов опытов Майкельсона
 3. Заключение
- Литература

1. Введение: опыты Майкельсона

Известны опыты А.А. Майкельсона (1852–1931гг.), поставленные с использованием спроектированного им прибора, который носит название – интерферометр Майкельсона. Его схема представлена на рис. 1 [9].

Тонкий пучок максимально монохроматического света от источника света Q падает на плоскопараллельную полупрозрачную пластинку M . При этом часть света (примерно половина) отражается, направляясь к плоскому зеркалу S_1 , вторая часть проходит к такому же зеркалу S_2 . Отражаясь от зеркал, оба луча возвращаются к пластинке M , откуда по общему пути попадают в трубу F . Когерентность лучей обеспечивает образование интерференционной картины, вид которой зависит от разности оптических путей, приобретаемой лучами при прохождении плеч интерферометра MS_1M и, соответственно, MS_2M . Пластинка P , одинаковая с M , служит просто компенсатором (оба луча трижды проходят толщину пластинки). Зеркало S_1 установленное на салазках, может перемещаться параллельно самому себе по очень аккуратно сделанным рельсам. Движение осуществляется с помощью червячной передачи. Неподвижное зер-

кало S_2 снабжено винтами для установки относительно вертикальной и горизонтальной осей.

В методе, который он использовал, сравнивались времена, необходимые свету для того, чтобы пройти заданное расстояние сначала параллельно, а затем перпендикулярно к направлению движения Земли относительно эфира. Поскольку в формулы, определяющие ширину интерференционных полос и их смещение, входит длина волны желтого света ($\lambda=0,6 \cdot 10^6 \text{ м}$), можно было надеяться наблюдать даже очень тонкие эффекты порядка $\beta^2=(v/c)^2=(30/300000)^2=10^{-8}$, где: v – орбитальная скорость Земли относительно эфира, c – скорость света.

Идея Майкельсона заключалась в том, чтобы обнаружить смещение интерференционных полос, обусловленное движением Земли относительно эфира. Для этого прибор (рисунок 1) устанавливался таким образом, чтобы одно плечо (например, L_1) располагалось в момент опыта точно вдоль направления орбитального движения Земли, а второе – соответственно, перпендикулярно.

Запаздывание одного луча по сравнению с другим (вычисления производятся в системе, связанной с предполагаемым неподвижным эфиром) или разность времени:

$$\Delta_1 t = t_1 - t_2 = \frac{2}{c} \left(\frac{L_1}{1 - \beta^2} - \frac{L_2}{\sqrt{1 - \beta^2}} \right) \approx \frac{L_1 + L_2}{2c} \beta^2. \quad (1)$$

Но полученная вследствие этой разности интерференционная картина ни о чем не говорит, ибо ее нельзя сравнить с картиной, которая получилась бы при отсутствии эфирного ветра (если допустить, что последний действительно существует, – а именно из этого исходил Майкельсон, – то его никак нельзя устранить). Если теперь повернуть весь прибор на $\pi/2$, так что плечи поменяются местами, то разность будет наблюдаться в противоположном направлении. Поэтому во втором положении разность времен:

$$\Delta_2 t = \frac{2}{c} \left(\frac{L_2}{1 - \beta^2} - \frac{L_1}{\sqrt{1 - \beta^2}} \right) \approx \frac{L_2 + L_1}{2c} \beta^2, \quad (2)$$

следовательно, общее смещение полос, соответствующее разности времен, будет:

$$\Delta t = \Delta_1 t + \Delta_2 t = \frac{2}{c} (L_1 + L_2) \cdot \left(\frac{1}{1 - \beta^2} - \frac{1}{\sqrt{1 - \beta^2}} \right) \approx \frac{L_1 + L_2}{c} \cdot \beta^2 \quad (3)$$

(с точностью до членов второго порядка). Расстояние между двумя интерференционными полосами соответствует разности времен в один период $T=\lambda/c$, поэтому в долях ширины полосы смещение составит:

$$\Delta = \frac{\Delta t}{T} = \frac{L_1 + L_2}{\lambda} \cdot \beta^2. \quad (4)$$

Нетрудно оценить эту величину. В основных опытах Майкельсона длина плеч доходила до 11 м, а $\lambda=6 \cdot 10^5$ см. Значит,

$$\Delta = \frac{2 \cdot 11 \cdot 10^2}{6 \cdot 10^{-5}} \cdot 10^{-8} \approx 0,36.$$

Производя такой опыт впервые в 1881 г. Майкельсон не получил определенного результата. При выводе формулы для измеряемой величины тогда было упущено из виду влияние движения Земли через эфир на путь луча, перпендикулярного этому движению. Эта ошибка была указана зимой того же года А. Потье (Париж). Обсуждение этого упущения и всего эксперимента составляет предмет глубокого анализа Г.А. Лоренца (1853–1928 гг.), который выяснил, что данным эффектом ни в коем случае нельзя пренебрегать. Как следствие, в действительности величина, которая должна быть измерена, составляет только половину предполагавшейся величины, и поскольку последняя уже была едва за пределами ошибок эксперимента, выводы, сделанные из результатов опыта, могли вполне основательно подвергаться сомнению. Однако, поскольку основная часть теории сомнению не подлежит, было решено повторить эксперимент с такими изменениями, которые давали бы уверенность в том, что теоретический результат достаточно велик, чтобы не быть скрытым экспериментальными погрешностями.

Недоверие Лоренца и настоятельные призывы Дж.У. Рэлея заставили Майкельсона повторить свой опыт. В 1887 г., отчасти по настоянию У. Томсона (лорд Кельвин) и Рэлея, Майкельсон в сотрудничестве с Э.У. Морли (1838–1923 гг.) повторил опыт в Кливленде. Теперь результаты были более убедительными, они подтверждали отсутствие эфирного ветра со скоростью, превышающей 5–7 км/с. Вывод Майкельсона: «Итак, было продемонстрировано, что результат, предсказываемый гипотезой неподвижного эфира, не наблюдается, откуда с необходимостью следует вывод о том, что данная гипотеза ошибочна». Эфирный ветер на Земле не был обнаружен.

И все же, несмотря ни на что, этот экспериментальный результат был сочтен достоверным. Значит, ошибка кроется в теории. В 1892 г. Лоренц спрашивал у Рэлея: «Не могло ли случиться так, что какой-

то момент в теории опыта господина Майкельсона был упущен из вида?».

Исследователи неоднократно возвращались к фактическому повторению опыта. Время и результаты проведения опытов представлены в таблице №1 (столбцы 1–6, 9). Наибольший вклад в сбор статистических данных внес Р.С. Шенкланд [9].

2. Новая интерпретация результатов опытов Майкельсона

В теории метода Майкельсона, дающего обоснование для проведения опытов, обнаружены две математические ошибки, не позволившие рассчитать по смещению интерференционных полос скорость движения Земли относительно «эфира».

Дело в том, что для ликвидации разности длин двух путей света к зеркалам S_1 и S_2 , проводилась настройка интерферометра:

- приближенно – с помощью деревянного стержня с точностью до 10^{-4} м;
- «точно» – путем регулировки (передвижения) зеркала S_1 до получения ожидаемой интерференционной картины, рассчитанной по уравнению 1 при $\beta=10^{-4}$.

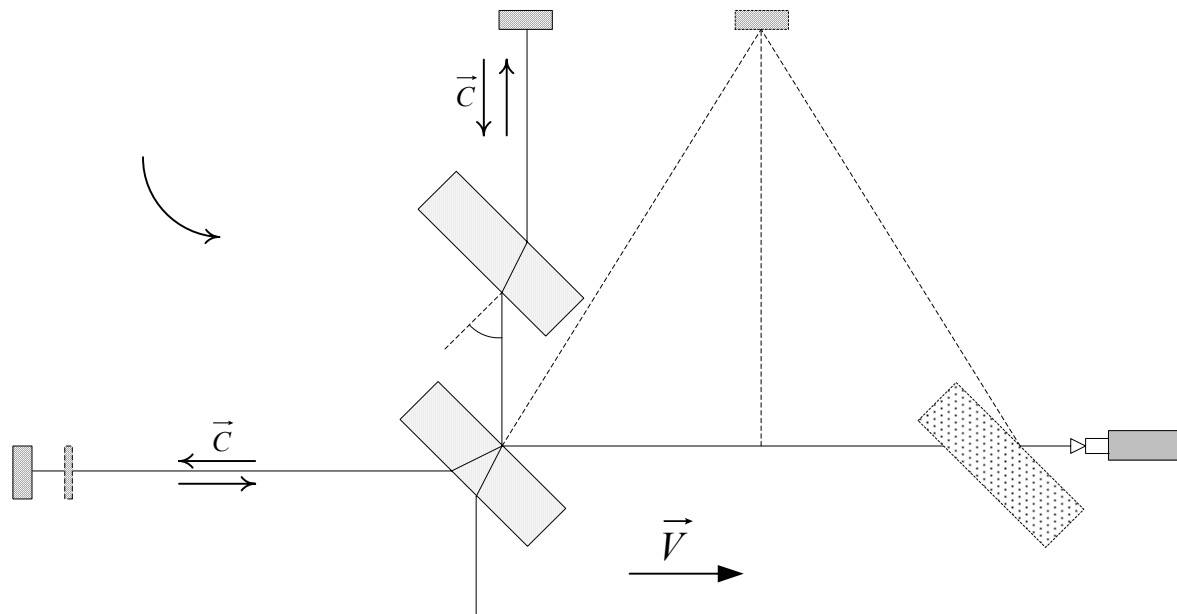
Поэтому первая ошибка заключалась в том, что значения величины β было разным в уравнении 4 (3), являющемся суммой уравнений 1 и 2. Тогда уравнение 3 (4) должно иметь вид отличный от уравнения, записанного Майкельсоном:

$$\Delta t = \frac{2}{c} \cdot \left(\frac{L_1}{1 - \beta_1^2} - \frac{L_1}{\sqrt{1 - \beta_2^2}} + \frac{L_2}{1 - \beta_2^2} - \frac{L_2}{\sqrt{1 - \beta_1^2}} \right) \neq \frac{L_1 + L_2}{c} \cdot \beta^2,$$

где

$\beta_1=10^{-4}$ – значение, назначаемое при настройке по уравнению 1;

β_2 – искомое при измерениях после поворота на $\pi/2$, уравнение 2.



Орбитальная скорость Земли, рассчитанная новым способом,
в опытах с интерферометром Майкельсона.

Исследова- тель	Год	Место	Длина пути, см, L_2	Смещение		разница длин плеч (7), нм, d	Скорость Земли, (8), км/с, v	Предел скорости эфирно- го ветра, км/с
				ожида- емое (4), Δ	наблюда- емое (8), Δ_v			
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Майкельсон	1881	Потсдам	120	0,04	0,01	1,475	26,035	10
Майкельсон и Морли	1887	Кливленд	1100	0,4	0,005	0,737	29,778	7
Морли и Мил- лер	1902-1906	Кливленд	3220	1,13	0,007	1,032	29,883	3,5
Миллер	1921	Маунт-Вильсон	3200	1,12	0,04	5,900	29,421	–
Он же	1922-1924	Кливленд	3200	1,12	0,015	2,213	29,771	–
Миллер (с сол- нечным светом)	1924	Кливленд	3200	1,12	0,007	1,032	29,882	3,5
Томашек (с вне- земным источ- ником)	1924	Гейдельберг	860	0,3	0,01	1,475	29,461	6
Миллер	1925-1926	Маунт-Вильсон	3200	1,12	0,044	6,490	29,365	–

Кеннеди и Торндайк	1926	Пассадена	200	0,07	0,001	0,148	29,757	2
Пикар и Стаэль	1926	Воздушный баллон	280	0,13	0,0034	0,501	29,437	9
Те же	1926-1927	Брюссель и Маунт-Риги	280	0,13	0,003	0,442	29,502	9
Иллингворт	1927	Пассадена	200	0,07	0,0002	0,030	29,935	1
Майкельсон, Пиз и Пирсон	1929	Маунт-Вильсон	2590	0,9	0,005	0,738	29,894	5
Иоос	1930	Иена	2100	0,75	0,001	0,147	29,958	1,5

Аналоги опыта Майкельсона

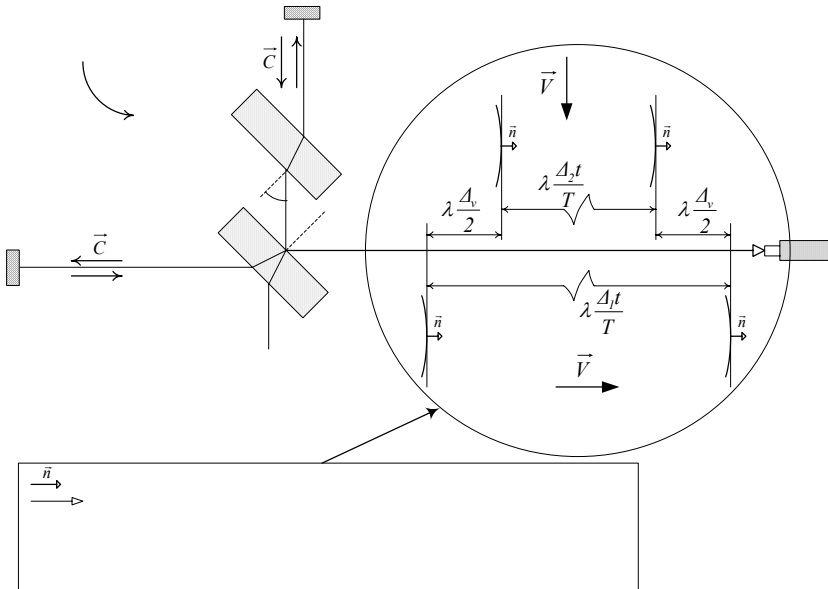
Эссен	1955	Тедингтон						0,24
Таунс и Сидерхольм	1958	Нью-Йорк						0,033
Чемпни и Мун	1961							0,017
Таунс с сотрудниками	1964	Массачузетский технологический институт						0,03
Чемпни, Изаак, Кан	1963							0,005

Примечание: в скобках указаны номера уравнений в статье.

Если по Майкельсону в уравнении 3 (4) $\beta_1 \neq \beta_2$, а $L_1 = L_2$, то для устранения этой ошибки необходимо чтобы $\beta_1 = \beta_2$, которое возможно только при условии: $L_1 \neq L_2$. И действительно ликвидировать разность длин двух путей света при таком способе настройки, в принципе, невозможно. Таким образом, требуется составить систему двух уравнений, вторым уравнением которой будет:

$$L_1 = L_2 + d, \tag{5}$$

где $d \neq 0$ – величина, выставляемая при настройке интерферометра и отличающая длины путей света в продольном и поперечном плечах.



Суть другой ошибки Майкельсона показана на рис. 2, где в круге изображен увеличенный в 10^7 раз мысленный мгновенный стоп-кадр взаимных положений двух точек лучей (фронтов) света, полученный спустя некоторое время после раздвоения лучей в точке O на взаимно перпендикулярные направления, отражения от зеркал S_1 и S_2 , возвращения в точку O и идущих совместно к зрительной трубе F . Нижняя часть изображения в круге – взаимное положение лучей при настройке прибора, верхняя – после поворота прибора на $\pi/2$. В табл. 2 представлен расчет длин путей света по рис. 2 в опыте 1887г.

Очевидно, что изменение интерференционной картины произойдет вследствие симметричного сближения фронтов и измене-

ния разности времен в один период с $\Delta_1 t/T$ на $\Delta_2 t/T$, при этом смена запаздывания одного луча по сравнению с другим на опережение значения не имеет. Тогда общее смещение полос (уравнение 3) не будет являться суммой уравнений 1 и 2, и соответствовать разности времен, наблюдаемой в «противоположных направлениях» при настройке и повороте интерферометра, как следует из теории Майкельсона.

Таблица 2

Параметр	Значения		Параметр
	в метрах		
$ct'_1 = \frac{2L_1}{1-\beta^2}$	22,000000218525	22,000000217050	$ct''_2 = \frac{2L_2}{1-\beta^2}$
$ct'_2 = \frac{2L_2}{\sqrt{1-\beta^2}}$	22,000000108525	22,000000110000	$ct''_1 = \frac{2L_1}{\sqrt{1-\beta^2}}$
$\lambda \frac{\Delta_1 t}{T} = ct'_1 - ct'_2$	0,000000110000	0,000000107050	$\lambda \frac{\Delta_2 t}{T} = ct''_2 - ct''_1$
$\lambda \frac{\Delta_v}{2} = ct'_1 - ct''_2$	0,000000001475	0,000000001475	$\lambda \frac{\Delta_v}{2} = ct''_1 - ct'_2$
в метрах на рисунке в масштабе $M 1:0,0000001$			
λ	5,90000		
$\lambda \frac{\Delta_1 t}{T}$	1,10000	1,07050	$\lambda \frac{\Delta_2 t}{T}$
$\lambda \frac{\Delta_v}{2} = ct'_1 - ct''_2$	0,01475	0,01475	$\lambda \frac{\Delta_v}{2} = ct''_1 - ct'_2$
в долях ширины полосы			
$\frac{\Delta_1 t}{T}$	0,186440675	0,181440682	$\frac{\Delta_2 t}{T}$
По Майкельсо- ну $\frac{\Delta_1 t}{T}$, где: $\beta=10^{-4}$, $L_1=L_2$	0,186440677	0,004999993	$\Delta_v = \frac{\Delta_1 t}{T} - \frac{\Delta_2 t}{T}$

Поэтому, после поворота интерферометра наблюдаемое общее смещение полос, соответствующее разности времен, по аналогии с уравнением 3, примет вид:

$$\Delta_v t = \Delta_1 t - \Delta_2 t = \frac{2}{c}(L_1 - L_2) \cdot \left(\frac{1}{1 - \beta^2} + \frac{1}{\sqrt{1 - \beta^2}} \right) \approx 4 \cdot \frac{L_1 - L_2}{c}, \quad (6)$$

или, в долях ширины полосы, смещение составит

$$\Delta_v = \frac{\Delta_v t}{T} = \frac{2}{\lambda}(L_1 - L_2) \cdot \left(\frac{1}{1 - \beta^2} + \frac{1}{\sqrt{1 - \beta^2}} \right) \approx 4 \cdot \frac{L_1 - L_2}{\lambda}.$$

Из уравнения видно, что отсутствие разности длин двух путей света в плечах интерферометра при настройке, не изменит интерференционную картину и после поворота, так как $\Delta_v = 0$, чего не наблюдается в опытах (столбец 6).

Составим систему двух уравнений 5, 6 и решим ее:

$$\begin{cases} \Delta_v = \frac{\Delta_1 t}{T} - \frac{\Delta_2 t}{T}, \\ L_1 = L_2 + d \end{cases}$$

$$\frac{\Delta_1 t}{T} = \frac{2L_2}{\lambda} \left(\frac{1}{1 - \beta^2} - \frac{1}{\sqrt{1 - \beta^2}} \right) + \frac{2d}{\lambda} \cdot \frac{1}{1 - \beta^2} \Rightarrow$$

$$\frac{2d}{\lambda} = \frac{\Delta_1 t}{T} (1 - \beta^2) + \frac{2L_2}{\lambda} (\sqrt{1 - \beta^2} - 1) \Rightarrow$$

$$d = \frac{\lambda}{2} (1 - \beta^2) \frac{\Delta_1 t}{T} + L_2 (\sqrt{1 - \beta^2} - 1) \approx \frac{\lambda}{4} \Delta_v. \quad (7)$$

В преобразованном уравнении 6, заменим $2d/\lambda$ (уравнение 7):

$$\Delta_v = \frac{2}{\lambda} (L_1 - L_2) \cdot \left(\frac{1}{1 - \beta^2} + \frac{1}{\sqrt{1 - \beta^2}} \right) = \frac{2d}{\lambda} \cdot \frac{1 + \sqrt{1 - \beta^2}}{1 - \beta^2} \Rightarrow$$

$$\Delta_v = \frac{\Delta_1 t}{T} (1 + \sqrt{1 - \beta^2}) - \frac{2L_2}{\lambda} \cdot \frac{\beta^2}{1 - \beta^2} \approx \frac{4d}{\lambda}. \quad (8)$$

Для расчета величин орбитальной скорости Земли во всех опытах найдем значения β методом последовательного приближения по уравнению 8, при длине волны желтого света, равной $\lambda = 0,59 \cdot 10^6 \text{ м}$ и $\Delta_1 t/T$, рассчитанной по уравнению 1, при $\beta = 10^4$ и $L_1 = L_2$. Наблюдаемое смещение интерференционных полос в долях ширины будет наблюдаться при $\beta \neq 10^4$. Из найденных значений β , при скорости света, равной $c = 2,99792458 \cdot 10^8 \text{ м/с}$, определим величины орбитальной скорости Земли (столбец 8), а по уравнению 7 – d – вели-

чины разницы длин плеч (столбец 7). Значения, представленные в табл. 1 (столбцы 7, 8), рассчитаны в табл. 3.

В опытах, рассчитанных указанным способом, величина орбитальной скорости Земли согласуется с результатами, полученными другими методами измерения.

Расчет предложенным способом объясняет неудачи попыток обнаружения движения Земли относительно «эфира» и указывает на функциональную связь величин разницы длин плеч d с наблюдаемыми общими смещениями полос в долях ширины Δ , (столбцы 6, 7) $d \approx f(\Delta_v)$, что не подтверждает известную «контракцию Фитцджеральда – Лоренца» – гипотезу о сокращении размеров тел в направлении движения, и служит теоретическим обоснованием создания микроинтерферометров.

3. Заключение

Подтверждено предположение Лоренца (1892г.) и указан упущенный из вида Майкельсоном в теории опыта «момент», который не позволил измеренную величину счесть за результат, предсказываемый гипотезой неподвижного «эфира», и таким образом сделать ошибочный вывод в ее отношении.

Отказ от ошибочной гипотезы сокращения размеров тел в направлении движения позволит использовать схему интерферометра Майкельсона для высокоточного сравнения длин образца и эталона с погрешностью измерения до $10^{-12} м$.

Для объяснения результатов опытов, поставленных Майкельсоном, а также других аналогичных опытов необходимо, вместо физического «эфира», ввести предположение о том, что процесс распространения света всегда связан с *Абсолютной* системой отсчета. К этому предположению (содержание которого в дальнейшем будет называться принципом «*абсолютности*») добавим уточнение, что системы отсчета, связанные с телами весомой материи, являются только относительными и в отношении друг друга, и в отношении Абсолютной системы отсчета. Обоснование необходимого введения такого предположения связано с сопоставимостью результатов опытов с интерферометром в приведенном расчете с результатами астрономических методов измерения.

Расчет орбитальной скорости Земли новым способом в опытах с интерферометром Майкельсона.

Параметр	Значения						
	Потсдам, 1881	Кливленд, 1887	Кливленд, 1902-1906	Маунт-Вильсон, 1921	Кливленд, 1922-1924	Кливленд, 1924	Гейдельберг, 1924
$L_1, \text{м}$	1,200000001475	11,000000000738	32,200000001033	32,000000005900	32,000000002213	32,000000001033	8,600000001475
$L_2, \text{м}$	1,200000000000	11,000000000000	32,200000000000	32,000000000000	32,000000000000	32,000000000000	8,600000000000
$\lambda, \text{м}$	0,00000059	0,00000059	0,00000059	0,00000059	0,00000059	0,00000059	0,00000059
$\Delta t/T, \beta=10', L=L_1$	0,020338983	0,186440677	0,545762709	0,542372878	0,542372878	0,542372878	0,145762711
Наблюдаемое, Δ	0,0100	0,0050	0,0070	0,0400	0,0150	0,0070	0,0100
$v_{p.8} \beta = v/c$	0,000086842769	0,000099327282	0,000099678831	0,000098138931	0,000099306186	0,000099676821	0,000098269917
$v_{p.8} \Delta$	0,010000000010	0,004999998457	0,007000003422	0,040000004834	0,014999998856	0,006999991431	0,009999999383
$v_{p.7} d, \text{м}$	0,000000001475	0,000000000737	0,000000001032	0,000000005900	0,000000002213	0,000000001032	0,000000001475
$v_{\text{земли}}, \text{км/с}$	26,034807	29,777570	29,882962	29,421311	29,771246	29,882359	29,460580

Параметр	Значения						
	Маунт-Вильсон, 1926	Пассадена, 1926	Воздушный шар, 1926	Брюссель, 1926-1927	Пассадена, 1927	Маунт-Вильсон, 1929	Иена, 1930
$L_1, \text{м}$	32,000000006490	2,000000000148	2,800000000502	2,800000000443	2,000000000030	25,900000000738	21,000000000148
$L_2, \text{м}$	32,000000000000	2,000000000000	2,800000000000	2,800000000000	2,000000000000	25,900000000000	21,000000000000
$\lambda, \text{м}$	0,00000059	0,00000059	0,00000059	0,00000059	0,00000059	0,00000059	0,00000059
$\Delta t/T, \beta=10', L=L_1$	0,542372878	0,033898305	0,047457627	0,047457627	0,033898305	0,438983048	0,355932201
Наблюдаемое, Δ	0,0440	0,0010	0,0034	0,0030	0,0002	0,0050	0,0010
$v_{p.8} \beta = v/c$	0,000097950880	0,000099259759	0,000098192594	0,000098406953	0,000099852390	0,000099714843	0,000099929736
$v_{p.8} \Delta$	0,043999992452	0,001000000412	0,003400000190	0,002999999942	0,000200000177	0,005000008256	0,001000004162
$v_{p.7} d, \text{м}$	0,000000006490	0,000000000148	0,000000000501	0,000000000442	0,000000000030	0,000000000738	0,000000000147
$v_{\text{земли}}, \text{км/с}$	29,364935	29,757327	29,437399	29,501662	29,934993	29,893758	29,958181

В результате такого введения всякую скорость тел весомой материи, определяемую перемещением в единицу времени, необходимо тогда представлять состоянием тел относительно Абсолютной системы отсчета, а изменение этого состояния будет являться ускорением относительно последней. Посредством введения Абсолютной системы отсчета становится возможным определение оптическим методом скоростей (ускорений) тел весомой материи и координатного их положения относительно друг друга. Поэтому перспективными в оптике могут стать разработка и создание микроинтерферометров – скоростемеров, применимых в беспутниковой навигации, для наведения и ориентирования ракет в полете.

Предложенный подход применим к получению уравнений, описывающих любые другие условия опытов, и к проектированию приборов различной конструкции, предназначенных для измерения относительных скоростей тел.

Исследования Абсолютной системы отсчета приведут к написанию второго уравнения гравитации и созданию новой (динамической) небесной механики, которая призвана изменить фундаментальные представления о происхождении Вселенной, звезд, Солнечной системы и Жизни на Земле, и которая откроет новые возможности в освоении ближнего космоса (Солнечной системы).

В заключение автор выражает благодарность А.И. Санину – инженеру из г. Новокузнецка, А.В. Лосеву – программисту из г. Санкт-Петербурга, которые своим творческим трудом в ходе многочисленных обсуждений и содействием оказали поддержку на различных этапах разработки данной концепции и при выполнении математических расчетов.

Литература

1. «Nature», 21, 1880.
2. Дюринг Е.К. Политическая история общих принципов механики. Сочинение, достойное философского факультета Геттингемского университета. I премия Бенеке. С 3^{го} нем. изд., М., «Переводчик», 1893.
3. Вейнберг Б.П., Вейнберг З.П. К истории определения скорости света. «Вестник опытной физики и элементарной математики». № 335, 1902.
4. Майкельсон А.А. Световые волны и их применение. М. – Л., 1934.
5. Френель О.Ж. Избранные труды по оптике. М., 1955.

6. Максвелл Д.К. Статьи и речи. М., «Наука», 1968.
7. Фриш С.Э. Современная оптика. М., «Знание», 1968.
8. Борн М., Вольф Э. Основы оптики. Пер. с англ. М., «Наука», 1970.
9. Франкфурт У.И., Френк А.М. Оптика движущихся тел. М., «Наука», 1972.
10. Ландсберг Г.С. Оптика. 5^е изд. М., «Наука», 1976.
11. Пайс А. Научная деятельность и жизнь Альберта Эйнштейна. Пер. с англ. М., «Наука», 1989.
12. Голин Г.М., Филонович С.Р. Классики физической науки. М., «Высшая школа», 1989.