

# Опыт Майкельсона – Морли и гипотеза Френеля

Валерий ПЕТРОВ

В статье рассматривается теория опыта Майкельсона – Морли. Показано, что при выводе формулы для определения времени движения импульса света в направлении, перпендикулярном направлению движения прибора, допущена ошибка, устранение которой может изменить существующие в настоящее время представления о пространстве и времени. Показывается также, что объяснение результатов опыта на основе Френелевской формулы частичного увлечения и сокращения длины одного из плеч прибора взаимно исключают друг друга, а поэтому не должны одновременно присутствовать в какой-либо теории.

## Введение

В своей работе «К электродинамике движущихся сред» А. Эйнштейн указал, что распространению принципа относительности на оптику и электродинамику содействовали и «неудавшиеся попытки обнаружить движение Земли относительно «светоносной среды». Эйнштейн никогда не указывал, какие именно опыты он имел в виду. Появление специальной теории относительности (СТО) многими физиками было расценено как попытка объяснения отрицательного результата именно опыта Майкельсона – Морли, в котором, как полагают, вопрос о движении Земли относительно эфира был поставлен в наиболее прямой форме. Эта версия укоренилась в литературе, в частности, в учебной: очень удобно методически выводить СТО из опыта Майкельсона – Морли.

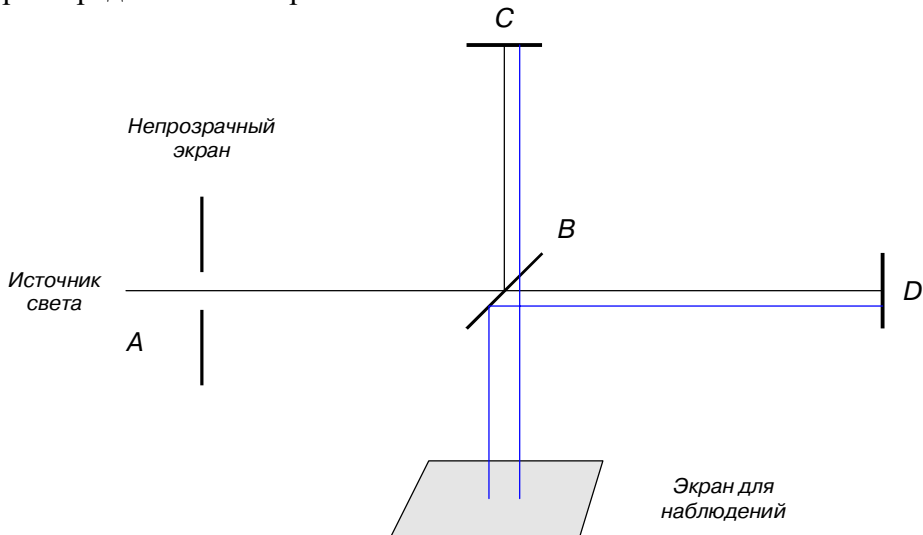
Известно, что при постановке своего опыта в 1881 г. Майкельсон полагал время  $T_{\perp}$  движения луча света от источника света (полупрозрачного зеркала) до отражателя и обратно в направлении, перпендикулярном движению прибора, равным  $2L/c$ . Однако при постановке этого же опыта в 1887 г. он принял:

$$T_{\perp} \frac{2L/c}{\sqrt{1-v^2/c^2}}.$$

Цель данной работы заключается в выяснении того, насколько обоснованным является принятое Майкельсоном решение.

## Исследование теории опыта Майкельсона – Морли

Как известно, цель опыта Майкельсона – Морли заключалась в определении скорости «эфирного ветра», обусловленного движением Земли относительно эфира – гипотетической среды, заполняющей, как считал Майкельсон, все мировое пространство. Схема опыта Майкельсона – Морли представлена на рис. 1.



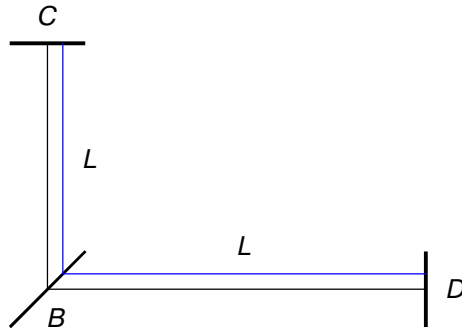
**Рис. 1.** Схема опыта Майкельсона-Морли

Монохроматический луч света, пройдя через узкую щель непрозрачного экрана, попадает на полупрозрачное зеркало  $B$ , наклоненное под углом  $45^\circ$ , где разделяется на два луча, один из которых движется перпендикулярно направлению предполагаемого движения прибора относительно эфира, другой – параллельно этому движению. На одинаковом расстоянии  $L$  от зеркала  $B$  установлены два плоских зеркала –  $C$  и  $D$ . Лучи света, отражаясь от этих зеркал, снова падают на зеркало  $B$ , частично отражаются, частично проникают сквозь него и попадают на экран (или в зрительную трубу)  $E$ .

Известно, что при постановке рассматриваемого опыта Майкельсон исходил из предположения о неподвижном эфире, не увлекаемом движением Земли. Тогда движение лучей в приборе можно рассматривать в двух различных системах координат, одна из которых связана с неподвижным

эфиром (назовем ее неподвижной), другая – с движущимся прибором (назовем ее движущейся). Очевидно, что и в том, и в другом случае должен быть получен один и тот же результат.

Рассмотрим ход лучей в приборе в неподвижной системе координат, относительно которой прибор движется со скоростью  $v$ , т.е. в системе координат, связанной с неподвижным эфиром. В этой системе координат скорость света есть величина постоянная и равная  $c$ . Пусть луч света движется от источника света к отражателю и обратно, как это изображено на рис. 2.

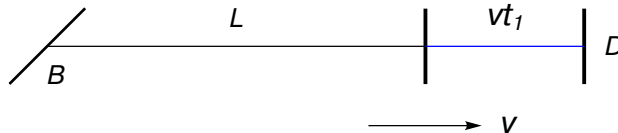


**Рис. 2.** Ход лучей в приборе при неподвижной системе

Когда прибор неподвижен относительно неподвижной системы координат, время движения луча света от зеркала  $B$  к зеркалу  $C$  и обратно будет равно:

$$T = 2L / c.$$

Предположим, что прибор движется со скоростью  $v$  в направлении, обозначенном стрелкой на рис. 3.

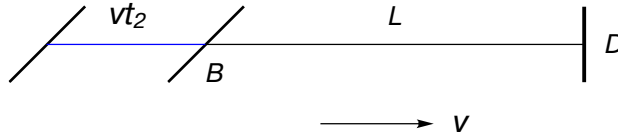


**Рис. 3.** Ход лучей в приборе при движении со скоростью  $v$

За время, в течение которого луч света пройдет путь  $L$ , зеркало  $D$  сместится на величину  $v \cdot t$ . Тогда путь, который проходит луч света до встречи с зеркалом  $B$ , оказывается равным  $ct_1 = L + vt_1$ , откуда следует:

$$t_1 = L / (c - v).$$

При обратном движении от зеркала  $D$  луч света движется навстречу зеркалу  $B$ , как это изображено на рис. 4.



**Рис. 4.** Ход лучей при обратном движении луча света от зеркала  $D$

Теперь до встречи с зеркалом  $B$  луч света проходит путь, равный

$$ct_2 = L - vt_2$$

откуда следует:

$$t_2 = L / (c + v)$$

Таким образом, время, в течение которого луч света проходит путь от зеркала  $B$  к зеркалу  $D$  и обратно, в неподвижной системе координат оказывается равным:

$$T_{\parallel} = t_1 + t_2 = L / (c - v) + L / (c + v) = 2Lc / (c^2 - v^2).$$

Разделив числитель и знаменатель на  $c^2$ , получим:

$$T_{\parallel} = \frac{2L/c}{1 - v^2/c^2}$$

В движущейся системе координат, т.е. в системе координат, связанной с движущимся прибором, эфир движется в направлении, обратном действительному движению прибора, поэтому скорость света в соответствии с дорелятивистскими представлениями оказывается равной  $c - v$  при движении луча света от источника к отражателю и  $c + v$  при движении луча света в обратном направлении, откуда следует:

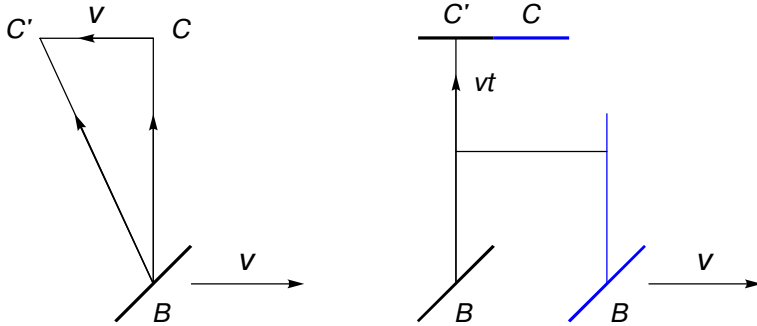
$$t_1 = L / (c - v); t_2 = L / (c + v)$$

$$T_{\parallel} = t_1 + t_2 = \frac{2L/c}{1 - v^2/c^2}.$$

Таким образом, и в одной, и в другой системе координат получим один и тот же результат.

Рассмотрим теперь движение луча света от зеркала  $B$  до зеркала  $C$  также в двух различных системах координат.

В системе координат, движущейся вместе с прибором, т.е. в системе координат, в которой прибор неподвижен, эфир движется в направлении, обратном действительному движению прибора, вследствие чего луч света отклоняется в том же направлении, в каком в этой системе координат движется «эфирный ветер», и проходит через точку  $C'$ , отстоящую от точки  $C$  на расстоянии  $vt$  (рис. 5).



**Рис. 5.** Ход лучей 1 в системе координат, движущейся вместе с прибором

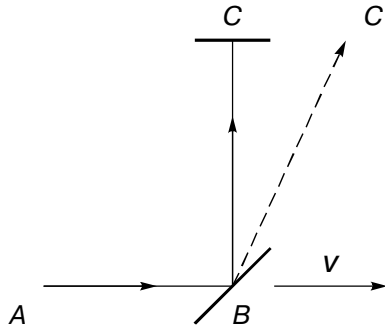
Тогда скорость луча света, движущегося в направлении  $BC'$ , измеряемая в системе координат, связанной с движущимся прибором, оказывается равной  $c^2 + v^2$ . За время  $t^2$  этот луч света проходит путь, равный  $L^2 + (vt)^2$ . Так как  $t^2(c^2 + v^2) = L^2 + (vt)^2$ , получим  $t = L / c$ , откуда

$$T_{\perp} = 2t = 2L / c.$$

Рассмотрим теперь ход лучей в приборе в неподвижной системе координат, т.е. в системе координат, связанной с неподвижным эфиром.

Пусть одиночный импульс света излучается в момент, когда полупрозрачное зеркало находится в некоторой точке  $B$  пространства. За время  $t$ , в течение которого луч света пройдет путь  $L$ , зеркало  $C$  сместится на некоторое расстояние  $vt$  в направлении движения прибора, вследствие чего луч света попадет в точку  $C'$ , отстоящую от точки  $C$  на расстоянии  $vt$  в направлении, *обратном* движению прибора (рис. 6). Тогда путь  $L$  от точки  $B$ , в которой находилось зеркало  $B$  в момент излучения (отражения) им импульса света, до точки  $C'$  будет равен:

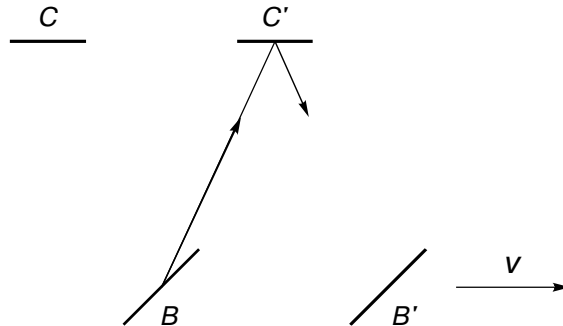
$$T_{\perp} = 2t = 2L / c.$$



**Рис. 6.** Ход лучей 2 в системе координат связанной с неподвижным эфиром

Таким образом, и в одной, и в другой системах координат получаем один и тот же результат. Именно так рассуждал Майкельсон при постановке своего опыта в 1881 г. Однако при постановке этого же опыта в 1887 г. Майкельсон, под влиянием Лоренца, рассуждал иначе, так, как это изложено, например, в [1]:

«...за время  $t_3$  зеркало  $C$  сдвинется вправо на расстояние  $ut_3$  (до положения  $C'$ ), а свет пройдет по гипотенузе  $BC'$  расстояние  $ct_3$  (рис. 7).



**Рис. 7.** Движение луча в системе координат, связанной с неподвижным эфиром

Из прямоугольного треугольника следует:

$$(ct_3)^2 = L^2 + (ut_3)^2.$$

или

$$L^2 = (ct_3)^2 - (ut_3)^2 = (c^2 - u^2)(t_3)^2.$$

откуда:

$$t_3 = L/(c^2 - u^2)^{1/2}.$$

При обратной прогулке от точки  $C'$  свету приходится пройти то же расстояние; это видно из симметрии рисунка. Значит, и время возвращения то же ( $t_3$ ), а общее время равно  $2t_3$ . Мы запишем его в виде:

$$2t_3 = 2L/(c^2 - u^2)^{1/2} = 2L/c(1 - u^2/c^2)^{1/2}.$$

Применяя ранее принятые обозначения, запишем этот результат в виде:

$$T_{\perp} = \frac{2L/c}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}.$$

Возникает, однако, вопрос, почему именно луч света должен отклониться вслед за смещением зеркала  $C$ ?

Предположим, что имеется прибор, включающий только источник света и непрозрачное зеркало, наклоненное под углом  $45^\circ$  к линии, соединяющий источник света и это зеркало (рис. 6). Предположим, что прибор неподвижен в неподвижной системе координат.

Пусть луч света падает на зеркало  $B$ , отражается от этого зеркала и движется к зеркалу  $C$  перпендикулярно линии  $AB$ , соединяющей источник света  $A$  и зеркало  $B$ , как это изображено на рис. 7.

Предположим теперь, что зеркало  $B$  движется с некоторой скоростью в направлении, обозначенном стрелкой  $v$  на рис. 7. Какие имеются основания утверждать, что в этом случае луч света, отражаясь от зеркала  $B$ , отклонится на некоторый угол от линии  $BC$  и пойдет по линии  $BC'$ ? Очевидно, никаких. Точно так же, нет никаких оснований утверждать, что луч света отклоняется вследствие движения зеркала  $C$ : каким образом луч света, движущийся к  $C$ , узнает о смещении этого зеркала и отклонится именно на угол, соответствующий величине этого смещения? Отклонение луча света возможно только в двух случаях:

- скорость света складывается со скоростью движения зеркала  $B$  в соответствии с традиционными правилами сложения скоростей;
- эфир полностью увлекается движением зеркала  $B$ .

Однако и в первом, и во втором случае время  $T_{\parallel}$  оказывается равным времени  $T_{\perp}$ , что лишает опыт Майкельсона – Морли какого-либо смысла. Майкельсон, как известно, исключал оба этих предположения. Таким образом, в системе координат, связанной с неподвижным эфиром, движе-

ние прибора (зеркала  $B$ ) не вызывает отклонения луча света, движущегося от зеркала  $B$  к зеркалу  $C$ , так как «эфирный ветер», обусловленный движением прибора, в этой системе не возникает. Как и при неподвижном приборе, луч света, отражаясь от зеркала  $B$ , будет двигаться перпендикулярно линии  $AB$ , соединяющей источник света и зеркало  $B$ . За время  $t$ , в течение которого луч света пройдет путь  $L$ , и зеркало  $B$ , и зеркало  $C$  сместятся в направлении движения прибора, вследствие чего луч света пройдет не через точку  $C$  как при неподвижном приборе, а через точку  $C'$ , отстоящую от точки  $C$  на расстоянии  $vt$  в направлении, *обратном* движению прибора, как это изображено на рис. 5. Тогда путь  $2L$  от зеркала  $B$  до зеркала  $C$  и обратно луч света пройдет за время  $T_{\perp} = 2L/c$ .

Предположим, что имеется прибор, включающий источник света  $A$  и отражатель  $B$ . Предположим, что источник света является точечным, т.е. таким, лучи света от которого распространяются во все стороны. Пусть один из лучей движется перпендикулярно направлению движения прибора, как это изображено на рис. 8. За время, в течение которого луч света пройдет путь  $L$ , равный расстоянию от источника до отражателя, последний сместится на некоторое расстояние, вследствие чего этот луч света не попадет в точку  $C$ . Однако в эту точку попадет другой луч, движущийся под некоторым углом к направлению движения прибора.

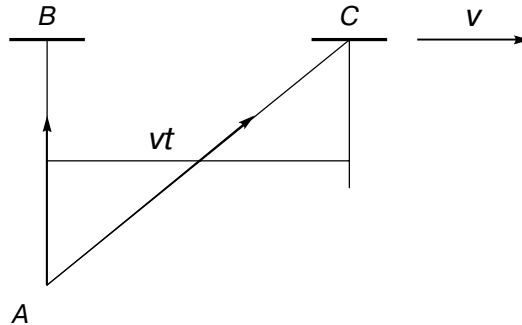


Рис. 8. Прибор с точечным источником света

Как следует из рис. 8, путь  $AC$ , который проходит этот луч света, оказывается равным  $(L^2 + v^2 t^2)^{1/2}$ , где  $t$  – время, в течение которого луч света проходит путь  $AC = ct$ .

Так как  $AC = ct = (L^2 + v^2 t^2)^{1/2}$ , получим:



$$c^2 t^2 = L^2 + v^2 t^2.$$

откуда следует:

$$t = L/(c^2 - v^2)^{1/2} = L/c(1 - v^2/c^2)^{1/2}.$$

$$T_{\perp} = 2t = \frac{2L / c}{\sqrt{1 - v^2/c^2}} \quad (1)$$

Таким образом, формула (1) имеет место, когда в опыте применяется точечный источник света, что не соответствует действительным условиям проведения опыта Майкельсона – Морли, так как между источником света и полупрозрачным зеркалом установлен непрозрачный экран с узкой щелью, пройдя которую лучи света становятся практически параллельны друг другу. Чтобы исключить возникающие на этот счет сомнения, предположим, что в опыте Майкельсона – Морли в качестве источника света применяется лазер.

Таким образом, нет никаких оснований считать, что луч света в опытах Майкельсона – Морли отклоняется вслед за смещением зеркала  $C$ , следовательно, формула для расчета времени  $T_{\perp}$  должна записываться именно в виде  $T_{\perp} = 2L/c$ . Тогда, если сокращение длины одного из плеч прибора действительно имеет место, коэффициент сокращения длины должен быть принят равным  $1 - v^2/c^2$ , а не  $\sqrt{1 - v^2/c^2}$  как считается в настоящее время.

Известно, что для объяснения результатов опытов Араго Френелем была предложена формула, согласно которой скорость эфира *внутри* движущейся среды – твердого тела, жидкости или газа – равна:

$$V_{\text{э}} = v(1 - 1/n^2).$$

где  $v$  – скорость движения среды относительно внешнего по отношению к этой среде эфира;  $n$  – коэффициент преломления данной среды.

Как считает У.И. Франкфурт [2] «В... теории Френеля можно выделить следующие основные положения: 1) внешний эфир совершенно не увлекается неподвижными телами; 2) внутренний эфир почти не увлекается непрозрачными телами; 3) внутренний эфир (т.е. эфир *внутри* движущихся тел или сред – *В.П.*) частично увлекается прозрачными телами (или средами – *В.П.*). Установив справедливость теории частичного ув-

лечения для жидких и *газообразных* (подчеркнуто мной – *В.П.*) сред, Физо решил проверить ее для твердых тел». Таким образом, признается, что газообразные среды увлекают эфир так же, как и жидкости, т.е. скорость эфира *внутри* газообразной среды определяется в соответствии с формулой Френеля. Однако мнение Майкельсона о физической сущности теории Френеля не отличается ясностью: «По волновой теории, согласно Френелю, эфир, во-первых, должен находиться в покое кроме как *внутри* (подчеркнуто мной – *В.П.*) прозрачной среды, а, во-вторых, он должен двигаться *в ней* (– *В.П.*) со скоростью, меньшей, чем скорость среды... Вторая гипотеза Френеля (– *В.П.*)... должна рассматриваться как полностью доказанная... известными экспериментами Физо... и... нашей собственной работой» писал Майкельсон. Таким образом, воздух должен рассматриваться как прозрачная среда, *внутри* которой эфир движется «...со скоростью, меньшей, чем скорость среды...» в соответствии с формулой Френеля  $V_3 = v(1 - 1/n^2)$ . Однако... «Если бы Земля была прозрачным телом, можно было бы допустить..., что межмолекулярный эфир находится в покое в пространстве, несмотря на движение Земли..., но мы не имеем права распространять этот вывод... на непрозрачные тела». Следовательно, возможность увлечения эфира воздухом, т.е. атмосферой Земли, даже не рассматривается, как будто бы воздух не является «...прозрачной средой», истинность теории Френеля для которой не доказана «...известными экспериментами Физо». В действительности, воздух есть среда, которая увлекает эфир так же, как и любая другая прозрачная среда (разумеется, если теория Френеля является истинной, в чем пока нет оснований сомневаться). Тогда, принимая для атмосферы Земли  $n = 1$ , скорость эфирного ветра в ней (т.е. *внутри нее*) согласно Френелю оказывается равной нулю. (Коэффициент преломления воздуха у поверхности Земли равен приблизительно 1,0003. В этом случае скорость эфирного ветра в атмосфере Земли оказывается меньше 18 м/с, тогда как Майкельсон в расчетах принимал  $v = 30$  км/с). Таким образом, не только в опыте Майкельсона – Морли, но и никакими другими опытами «эфирный ветер» в атмосфере Земли обнаружить невозможно по причине его отсутствия (или очень малой скорости), что и подтверждается в действительности. Следовательно, вследствие отсутствия «эфирного ветра» в атмосфере Земли,  $T_{\perp}$  в опыте Майкельсона – Морли оказывается равным

$T_{\parallel} = 2L / c$ . Тогда, если одновременно имеет место и сокращение длины одного из плеч прибора, получим:

$$T_{\perp} = 2L / c \neq T_{\parallel} = \frac{2L}{c} \sqrt{1 - v^2/c^2}$$

Таким образом, применительно к опыту Майкельсона – Морли формула Френеля исключает сокращение длины и наоборот. Одна из гипотез – либо гипотеза Френеля, либо гипотеза Лоренца о сокращении длины движущихся тел или расстояний в движущейся системе координат – является излишней.

Современная наука не отрицает истинности Френелевской формулы частичного увлечения эфира движущимися телами (средами) – «...и сейчас одного из наиболее важных явлений в движущихся телах. Всякая теория, в том числе и принцип (т.е. теория – *В.П.*) относительности должен объяснить это явление» [3]. Тогда гипотеза Лоренца о сокращении длины одного из плеч прибора, предложенная специально для объяснения результатов опытов Майкельсона – Морли, является излишней.

## Заключение

Анализ теории опыта Майкельсона – Морли и сопоставление результатов этого опыта с теорией Френеля позволяет заключить следующее:

1) мнение, что луч света, движущийся перпендикулярно направлению движения прибора в опыте Майкельсона – Морли, отклоняется вслед за смещением точки *C*, является ошибочным, вследствие чего время  $T_{\perp}$  в этом опыте равно  $2L / c$ , а не  $\frac{2L / c}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}$ , как считается в настоящее время.

Тогда коэффициент сокращения длины должен быть принят равным  $1 - v^2/c^2$ , а не  $\sqrt{1 - v^2/c^2}$ , как это следует из преобразований Лоренца-Эйнштейна. Таким образом, *преобразования Лоренца-Эйнштейна не соответствуют* теории опыта Майкельсона – Морли;

2) *формула Френеля*, или «релятивистская» формула сложения скоростей, и *гипотеза Лоренца* о сокращении длины движущихся тел или рас-

стояний в движущейся системе координат *взаимно исключают друг друга* и не должны одновременно присутствовать в какой-либо теории; теория, одновременно включающая и формулу Френеля, и сокращение Лоренца не может считаться истинной.

#### **Об авторе:**

Петров Валерий Владимирович  
пр-т Ленина, 30, кв. 9, 54029 г. Николаев, Украина  
e-mail: vvpetrov@mksat.net

#### **Источники информации:**

1. Р. Фейнман, Р. Лейтон, М. Сэндс. Фейнмановские лекции по физике. Том 1. – Москва, Мир, 1976.
2. У.И. Франкфурт. Оптика движущихся сред и специальная теория относительности. Эйнштейновский сборник 1977. – Москва, Наука, 1980.
3. Л.И. Мандельштам. Лекции по оптике, теории относительности и квантовой механике. – М. Наука, 1972.

#### **См. также:**

1. ЛОРЕНЦ (Lorentz), Хендрик. НиТ. Нобелевские лауреаты, 1998.  
<http://www.n-t.org/nl/fz/lorentz.htm>
2. ЭЙНШТЕЙН (Einstein), Альберт. НиТ. Нобелевские лауреаты, 1998.  
<http://www.n-t.org/nl/fz/einstein.htm>.
3. Об эфирном ветре. НиТ. Текущие публикации, 1999.  
<http://www.n-t.org/tp/iz/ev.htm>
4. МАЙКЕЛЬСОН (Michelson), Альберт. НиТ. Нобелевские лауреаты, 1998.  
<http://www.n-t.org/nl/fz/michelson.htm>.

#### **Дата публикации:**

2 ноября 2001 года

#### **Электронная версия:**

© «Наука и Техника», [www.n-t.org](http://www.n-t.org)