

# La pertinence continue de la théorie de Lorentz Ether à l'âge de la relativité

Doug Marett, M.Sc.

Toronto, Canada M4E 2T2

e-mail: [dm88dm@gmail.com](mailto:dm88dm@gmail.com)

Avec l'avènement de la relativité, la théorie de Lorentz Ether n'a été reléguée à rien de plus qu'une note historique. Ce qui est moins bien connu, c'est que pratiquement toutes les expériences optiques à ce jour pour tester la validité de la relativité restreinte ne peuvent pas distinguer les résultats prédits des deux théories. Nous passons en revue le développement historique de la théorie de Lorentz au fur et à mesure de son évolution pour aborder les résultats d'observations optiques clés du XIXe siècle. Nous examinons ensuite comment les expériences optiques modernes tentant de détecter le mouvement inertiel relatif d'un observateur par rapport à un cadre de référence préféré pour la lumière restent cohérentes avec les prédictions de Lorentz.

## 1. Introduction

L'une des premières explications théoriques de l'incapacité à découvrir une dérive de l'éther dans la fameuse expérience de Michelson et Morley a été développée par Lorentz dans son théorème des états correspondants. La théorie était sous une forme suffisamment complète en 1904 pour être considérée par certains comme n'étant qu'une autre façon de décrire la théorie de la relativité peu après, ne différant que par l'acceptation de la simultanéité des événements pour deux systèmes de référence dans un état relatif. mouvement. A. A. Tyapkin a déjà commenté: "Il est important de clarifier que l'approche de Lorentz ne devrait pas seulement être acceptable pour expliquer l'expérience de Michelson, mais devrait aussi être un système cohérent pour décrire les effets de la relativité pour toutes les expériences possibles. De nombreux scientifiques ont déclaré à juste titre l'absence d'un "experimentum crasis" pour la théorie de Lorentz et la relativité restreinte." [1]

C'est une idée fautive très répandue que la théorie de l'éther de la fin du 19ème et du début du 20ème siècle a été décisive par l'expérience de Michelson Morley et il n'est pas nécessaire de s'interroger sur la validité de son plus grand rival et successeur. Nous souhaitons ici passer en revue certaines des expériences optiques critiques qui ont conduit au développement de la théorie de l'éther de Lorentz, et montrer comment elle est restée cohérente avec les résultats d'un large éventail de tests optiques jusqu'à nos jours.

## 2. Théorie de la première vague et aberration stellaire

Après que l'expérience de Young à double fente de 1801 ait justifié la théorie de la vague de Huygens et renversé la précédente théorie corpusculaire de Newton, il a fallu développer une nouvelle compréhension du phénomène optique compatible avec l'idée d'un espace de l'espace. L'un des phénomènes les plus importants à expliquer était l'aberration stellaire, découverte au siècle précédent par Bradley et expliquée à l'origine en termes de théorie corpusculaire. Une explication de l'aberration lumineuse utilisant la théorie des ondes repose sur le principe de Huygens et suppose un éther immobile, comme l'a décrit Lorentz [2]. Sui-

vant ce principe, tout point sur le front d'onde peut être considéré comme l'origine d'un nouveau front d'onde sphérique. En raison du mouvement de la Terre à travers un cadre préféré pour la lumière, les ondes planes s'approchant de la Terre à partir d'une direction perpendiculaire passeront par une ligne courbée par l'angle d'aberration comme cela a été expliqué en détail par Janssen [3]. De tels modèles ont facilement expliqué l'aberration stellaire dans le contexte d'un éther stationnaire et ont ensuite été inclus dans le paradigme de la théorie des vagues.

## 3. Expériences d'Arago, Fizeau et Hoek

Un problème est apparu lorsqu'il s'agissait d'expliquer l'aberration attendue dans les télescopes ou les trajets lumineux avec un indice de réfraction différent de 1. Arago a constaté qu'il n'y avait aucun changement d'angle d'aberration lorsque la lumière d'une étoile traversait un prisme en verre [4]. Le problème a été abordé par Fresnel, qui a trouvé que l'angle d'aberration devrait être différent dans un télescope rempli de verre par rapport à un télescope vide [5]. La seule façon d'expliquer la différence était de supposer que le matériau réfractant dans le télescope a changé la vitesse de la lumière dans le verre par la fraction:  $f = 1 - 1/n^2$ . Ce facteur est devenu connu sous le nom de coefficient de Fresnel, et a réussi à expliquer le résultat nul de l'expérience Arago. Cela impliquait que le milieu pour la lumière était de l'éther stationnaire qui est partiellement entraîné par la matière en fonction de son indice de réfraction. Dans l'expérience de Fizeau de 1851, il a réussi à démontrer directement le coefficient de Fresnel dans un diélectrique en mouvement, en montrant que le faisceau de lumière est entraîné par la vitesse de l'eau en mouvement (résultat positif) [6]. Dans des expériences antérieures telles que celle d'Arago, le coefficient avait toujours été utilisé pour compenser un autre effet de la dérive de l'éther que l'on pouvait s'attendre à observer mais qui se révélait indétectable (c'est-à-dire un résultat nul). Les modèles d'éther entraîné comme le modèle de Stokes présentaient l'avantage d'expliquer le manque de dérive de l'éther dans diverses expériences, mais le résultat positif de l'expérience Fizeau a confirmé que le coefficient de traînée de Fresnel doit être pris en compte.

L'expérience de Hoek de 1868 aborde la question de la traînée d'éther dans un milieu diélectrique, mais diffère de l'expérience

de Fresnel en ce que le diélectrique co-déplace avec l'interféromètre dans l'espace. L'arrangement de Hoek était un simple carré fermé l'interféromètre à trajectoire, où la lumière se contracte dans des directions opposées le long des trajectoires pour interférer avec un détecteur proche de la source d'origine de la lumière [7]. La seule différence dans ce cas est que l'un des quatre faisceaux a traversé l'eau, ayant un IR de 1,333. En utilisant une simple addition galiléenne de vitesses, on pourrait s'attendre à trouver un décalage de frange dû à une traînée d'éther par rapport à la terre en mouvement, en raison de la différence de vitesse de propagation de la lumière dans l'eau. Ce n'est pas le cas, et le résultat nul a servi à souligner que dans les expériences optiques impliquant des milieux diélectriques avec un indice de réfraction supérieur à 1, l'addition galiléenne simple des vitesses ne donnera pas le résultat correct. Le résultat peut être expliqué en termes de théorie de l'éther, mais seulement si l'on suppose la validité du coefficient de traînée de Fresnel.

#### 4. Théorème de Lorentz des États correspondants

Une traînée partielle d'éther comme impliquée par le coefficient de Fresnel a posé un problème à la théorie, en exigeant notamment que la vitesse relative de l'éther et de la matière soit différente pour diverses couleurs, ce qui n'est évidemment pas le cas. En 1892, Lorentz a écrit un vaste traité sur l'électrodynamique des corps en mouvement, et a pu montrer que pour une onde se propageant dans le sens du mouvement d'un cadre se déplaçant avec la vitesse  $v$  doit avoir une vitesse

$$\frac{c}{n} - \frac{v}{n^2}$$

dans ce cadre (sur commande) [8]. Par conséquent, la vitesse de l'onde par rapport à l'éther selon le coefficient de Fresnel serait

$$\frac{c}{n} - \frac{v}{n^2} + v = \frac{c}{n} + v \left( 1 - \frac{1}{n^2} \right)$$

Cette nouvelle vision de Lorentz suggère que ce sont les ondes qui sont partiellement traînées et non l'éther. Le champ électrique de l'onde déplace les électrons dans le milieu réfractif créant un mouvement commun. Les électrons en mouvement sont ensuite soumis à une force de Lorentz supplémentaire du champ magnétique de l'onde. Ces deux effets réduisent la vitesse de l'onde en  $v/n^2$  de la valeur de  $c/n$  quand le milieu est au repos dans l'éther [3]. Ce nouveau traitement expliquait aisément les résultats des tests optiques de premier ordre d'Arago, Fizeau et Hoek, sous l'égide d'une seule théorie de l'éther puisque le coefficient de Fresnel pouvait résulter d'une modification de la propagation des ondes lumineuses. pas due à l'entraînement de l'éther. Lorentz a complété ce théorème pour contrer l'expérience proposée par Lienard avec un interféromètre avec un bras avec un indice de réfraction supérieur à 1. La théorie exacte de Lorentz des états correspondants note aussi explicitement (1899) que la fréquence des électrons oscillants générant les ondes lumineuses est plus faible. systèmes en mouvement que ceux en repos par [2]:

$$\gamma T = \frac{T}{\sqrt{1 - v^2/c^2}} \quad (1)$$

Cette idée a été également présentée par Larmor plus en détail en 1900, et est parfois appelée la dilatation du temps de Larmor [9]. Par conséquent, l'idée de dilatation temporelle est antérieure à l'œuvre d'Einstein - différant uniquement par l'interprétation - la dilatation temporelle pour Lorentz / Larmor est un effet mécanique sur la vitesse d'une horloge mobile due à la vitesse de la lumière par rapport au cadre préféré, et n'implique pas que le temps réel change réellement avec la vitesse. Cet aspect est particulièrement important à la lumière de l'interprétation de nombreuses expériences qui ont été présentées comme "experimentum crucis" en faveur de la relativité et contre la théorie de Lorentz Ether. Dans ces cas, le décalage de fréquence prédit par la théorie de Lorentz du laser et / ou du récepteur, du fait de son mouvement par rapport à l'éther de:

$$f = \frac{f_0}{\gamma} = f_0 \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} \quad (2)$$

est souvent exclue, conduisant à la suggestion que la théorie de Lorentz prédira un résultat positif alors qu'en fait elle prédit un nul.

#### 5. Michelson-Morley Expérience

À l'époque de Michelson, on savait déjà que dans de nombreuses expériences optiques tentant de détecter les translations dans l'espace, les différences de vitesse de premier ordre s'annuleront parfaitement dans les trajectoires de retour à l'intérieur d'un interféromètre. Cependant, Michelson chercha plutôt à rechercher un décalage de frange de second ordre dû au mouvement de son interféromètre par rapport à l'éther, et s'attendait à en trouver un basé sur la compréhension du jour [10]. Le résultat nul de cette expérience fut d'abord un puzzle majeur pour les Maxwelliens, jusqu'à ce que Fitzgerald propose l'idée que la matière se contracte dans le sens du mouvement [11]. Lorentz a ajouté cette idée dans sa théorie finale (1904) couvrant tous les effets du premier et du second ordre dans les interféromètres, dans ce qui fut connu sous le nom d'hypothèse de «contraction de Lorentz» [3]. Cette hypothèse a été adoptée plus tard, avec un sens légèrement différent, dans la théorie de la relativité restreinte. La théorie de l'éther de Lorentz de 1904 ressemblait étrangement à la théorie de la relativité restreinte d'Einstein de 1905. Les deux théories exigeaient que les sources ou les observateurs en mouvement subissent une dilatation du temps, mais pour Lorentz / Larmor, l'effet n'était pas supposé réel. le temps a été changé, contrairement à Einstein. Pour Lorentz, la constance apparente de la vitesse de la lumière dans les cadres inertiels a une explication sous la forme de notre mouvement par rapport à un éther indétectable. Einstein a plutôt assigné à toutes les images inertielles une vitesse constante de la lumière, sans proposer de mécanisme, avec la contraction de Lorentz et la dilatation en temps réel suivant comme conséquences. Le génie de la proposition d'Einstein n'était pas seulement son attrait pour préserver les lois physiques dans tous les cadres inertiels, mais encore plus, il profitait du fait que toute expérience optique pour distinguer ces deux idées concurrentes affirmerait la théorie de la relativité, même si Lorentz était droite!

Pour montrer comment cela est ainsi, nous allons maintenant examiner les résultats d'expériences optiques plus modernes pour voir comment ils se comportent sur le jugement de la théorie de l'éther de Lorentz. Ces expériences peuvent généralement être classées dans les groupes suivants, qui ont tous été cités comme preuves expérimentales validant la théorie de la relativité:

- Tests optiques de premier passage et de second ordre
- Vitesse unidirectionnelle des expériences de lumière (premier ordre)
- Tests pour les violations de Lorentz

Toutes ces expériences ont eu des résultats nuls (à l'exception de l'expérience de Fizeau) pour détecter la vitesse de l'expérience par rapport à l'espace. Comme on le verra plus loin, c'est le même résultat que celui prévu par la théorie de l'éther de Lorentz même si l'éther est présent.

## 6. Essais optiques de chemin fermé de 1er et 2e ordre

Les expériences de premier ordre comprennent les expériences de type Arago, Fizeau et Hoek, qui sont toutes expliquées de manière adéquate dans le théorème de Lorentz des états correspondants, comme discuté précédemment. Une analyse de ces expériences réalisées par le regretté H.E. Wilhelm utilisant un modèle électrodynamique covariant de Galilei arrive à des équations identiques à celles utilisées dans la théorie de l'éther de Lorentz [38]. Une expérience plus moderne dans ce sens était l'expérience Trimmer (1973) qui est simplement une forme triangulaire de l'interféromètre de Hoek et qui donne un résultat nul pour des raisons identiques [12]. Le coefficient de Fizeau a récemment été utilisé par Valil'ev pour mieux prédire l'aberration de la vitesse et l'entraînement de la lumière dans les catadioptrés à prisme à bord des engins spatiaux [13].

L'utilisation du théorème de Lorentz des états correspondants pour traiter les effets de premier ordre, combinée à l'hypothèse de contraction de Lorentz pour les effets de second ordre, suffit à expliquer l'impossibilité de détecter une dérive éther dans toutes les expériences interférométriques de type Michelson, y compris Morley, Miller, Illingworth et Joos [14]. La temporisation sur le chemin optique aller ou retour de chaque bras peut être calculée au moins au second ordre en utilisant l'équation:

$$\frac{\gamma L}{\frac{c}{n} \pm \frac{v}{n^2}} \quad (3)$$

où  $L$  est la longueur du bras,  $\gamma$  est la contraction de Lorentz basée sur l'angle du bras par rapport au mouvement,  $v$  est la vitesse du vent d'éther, et  $n$  est l'indice de réfraction du trajet du bras. Des considérations similaires peuvent également être appliquées à l'expérience Kennedy et Thorndike, qui sera discutée plus en détail sous peu. Ceci met en évidence l'inapplicabilité des interféromètres optiques à source unique à chemin fermé pour répondre à cette question. Sont inclus des interféromètres avec des longueurs de bras différentes, avec des bras ayant des indices de réfraction différents, ou même d'autres types d'interféromètres (configuration Mach-Zehnder, etc.). Un exemple est Shamir et Fox (1969) qui ont utilisé un interféromètre de Michelson avec un

bras dans Perspex ( $RI = 1.49$ ) [15]. En appliquant le délai ci-dessus dans chaque bras dans une feuille de calcul, il est immédiatement clair au deuxième ordre que l'ajout du bras Perspex ne fait aucune différence dans le résultat anticipé, qui est effectivement un décalage de frange zéro. Une opinion similaire a été avancée par Mansouri et Sexl [16] selon laquelle la prétendue distinction entre la relativité et la théorie de l'éther dans l'expérience Shamir et Fox est "impossible en principe".

## 7. Expériences de vitesse unidirectionnelle de la lumière

Des tests unidirectionnels de la vitesse de la lumière ont été traités en détail par Tyapkin [1], qui critiquait les expériences proposées par Moller [17] (faisceaux maser bidirectionnels contre-propagatifs) pour avoir mal interprété le résultat de l'expérience comme un moyen de distinction entre les théories d'Einstein et de Lorentz. Il a souligné que Moller n'avait pas pris en compte que la théorie de Lorentz de 1904 avait anticipé tous les effets relativistes du second ordre équivalents, y compris la dilatation du temps, les effets Doppler et même l'incrément de masse pour décrire les phénomènes physiques. identifié avec l'éther. Cet argument s'applique également à la non-pertinence des résultats nuls des expériences Mossbauer de Ruderfer [18], Turner et Hill [19], et Champeney et al. [20], puisqu'ils ne prennent pas en compte tous les effets de dilatation temporelle agissant sur la source rotative et le détecteur prédits par Lorentz, comme l'a souligné Ron Hatch [24]. Ruderfer, un an après avoir prétendu que son expérience Mossbauer avait réfuté la théorie de Lorentz, publia une errata à son article [25], dans laquelle il expliquait qu'après avoir reconsidéré la variation de fréquence avec le mouvement de l'éther prédit par Lorentz, la source tournante dans son Mossbauer l'expérience serait recalculée comme ayant une fréquence de:

$$f = \frac{f_0}{\gamma} = f_0 \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} \quad (4)$$

où  $v = \omega s$  pour un radiateur au centre d'une plaque tournante. Pour l'absorbteur rotatif,  $v_a = |\vec{v} + \vec{\omega} s|$ , entraînant une fréquence d'absorption:

$$f_a = f_0 \sqrt{1 - \frac{\omega^2 s^2 + v^2 - 2\omega s v \cdot \sin \theta}{c^2}} \quad (5)$$

Le décalage relatif de fréquence dû au mouvement d'horloge est, au premier ordre:

$$\frac{\Delta f}{f_{Cl}} = \frac{f_a - f}{f} = \frac{\omega s v \cdot \sin \theta}{c^2} \quad (6)$$

Ce décalage de fréquence annule exactement tout résultat positif anticipé à partir de la vitesse nette par rapport à une trame préférée pour la lumière. Cela se produirait même si le radiateur n'était pas au centre de la plaque tournante. Cela a incité Ruderfer à admettre de façon surprenante que «l'interprétation correcte du résultat nul prédit est que la détection d'un éther est exclue comme exigé par la théorie spéciale de la relativité et que l'existence d'un éther est permise comme exigé par la contraction (Lorentz) théorie». Cette appréciation est affirmée dans la thèse de

Preikschat (1968) sur l'effet Mossbauer [21]. L'expérience de Cialdea [22] qui prétendait tester une dérive de l'éther unidirectionnelle en utilisant l'interférence de deux lasers HeNe séparés, est en fait erronée à plusieurs niveaux. Cette expérience a été reproduite dans notre propre laboratoire [37], où il a été démontré que la sortie d'interférence est complètement insensible aux changements de longueur d'onde lorsque des contrôles positifs fiables sont utilisés. Il échoue également pour des raisons théoriques, comme l'a souligné Tyapkin [1], qui a noté que même si l'expérience fonctionnait comme prévu, le mouvement de la source laser en rotation de 180 degrés causerait un retard dans la sortie du laser. annuler exactement le changement de frange anticipé. C'est après avoir pris en considération tous les effets de second ordre prévus de la théorie de Lorentz.

De même, l'essai Gagnon Microwave Experiment [23] a été décrit par ses auteurs comme un test de vitesse unidirectionnelle, mais la configuration Mach-Zehnder à circuit fermé ne peut pas être traitée différemment d'un interféromètre de Michelson en termes d'expected résultat nul de la théorie de Lorentz, même avec deux bras guides d'ondes ayant des indices de réfraction <1. Les auteurs semblent également utiliser une formule d'addition de vitesse classique pour déterminer leurs résultats prédits. Les considérations précédentes concernant les effets de la dilatation du temps sur la source devraient également s'appliquer à d'autres expériences sur la vitesse de la lumière à sens unique telles que Ragulsky [26], et Krisher et al. [27], ce dernier étant limité en étant fixé à la terre.

## 8. Tests pour les violations de Lorentz

La théorie des tests de Mansouri et Sexl fournit une base pour l'analyse des expériences d'interférométrie examinant l'invariance locale de Lorentz [28]. En supposant l'existence d'une trame préférée (par exemple, au repos par rapport au rayonnement de fond diffus cosmologique), dans laquelle la vitesse de la lumière est isotrope, alors dans un laboratoire se déplaçant avec la vitesse  $v$  par rapport à ce La vitesse bidirectionnelle de la lumière se propageant à l'angle  $\theta$  de  $v$  est donnée par [29]:

$$\frac{c(\theta)}{c} = 1 + \left( \frac{1}{2} - \beta + \delta \right) \frac{v^2}{c^2} \sin^2 \theta + (\beta - \alpha - 1) \frac{v^2}{c^2} \quad (7)$$

Pour la théorie de la relativité, le facteur de dilatation temporelle  $\alpha = -1/2$ , le facteur de contraction de Lorentz  $\beta = +1/2$ , et la contraction perpendiculaire (normale)  $v$  au facteur  $\delta = 0$ . Dans le contexte de leur théorie de test, les tests de premier ordre sont équivalents aux mesures du facteur de dilatation temporelle. Ils déclarent explicitement que les tests de premier ordre ne peuvent pas être utilisés pour distinguer la théorie de la relativité restreinte et la théorie de l'éther, puisque les deux classes de théories peuvent être transformées les unes en les autres par un changement de conventions sur la synchronisation d'horloge. Les expériences conçues pour tester le facteur de contraction de Lorentz sont du type Michelson-Morley (M & M), où  $1/2 - \beta + \delta = 0$ , type Kennedy-Thorndike, où  $\beta - \alpha - 1 = 0$ , et Ives-Stillwell expérimentent des types où les effets Doppler de premier ordre sont éliminés révélant le second ordre effet de dilatation du temps. Comme on le sait, Ives était un partisan de la théorie de l'éther de Lorentz et a réalisé son expérience pour la

valider. Les expériences de type M & M déterminent uniquement  $\beta + \delta$ ; Mansouri et Sexl ont estimé que l'observation optique directe de la contraction de Lorentz est impossible. Ils soulignent également qu'un rayon lumineux allant dans les deux sens dans l'un des bras d'un interféromètre de Michelson peut être considéré comme une horloge, et donc les deux bras peuvent être considérés comme une comparaison de la fréquence de deux horloges - ce qui est similaire à l'expérience d'Essen [16] qui a effectivement comparé la fréquence de deux horloges en rotation. L'absence de changement des horloges ou des temps de propagation dans les étalons ou les deux en rotation peut être considérée comme une validation de la relativité ou de la théorie de l'éther de Lorentz. De nombreuses expériences ont maintenant été effectuées pour tester les violations de Lorentz et établir des degrés toujours plus élevés de certitude. Les exemples incluent Javan et Townes [30] utilisant des lasers à hyperfréquences HeNe, Brillet et Hall [31] utilisant des étalons et des lasers stabilisés CH4 HeNe, Hils et Hall [32], Mueller [33] utilisant des résonateurs cryogéniques non rotatifs, Schiller et al [34] et Antonini et al [35] utilisant des résonateurs cryogéniques rotatifs. La mission de recherche Space time Asymmetry (STAR) [36] (2010) cherche à étendre ces observations en utilisant des satellites à 10-12 pour le coefficient M & M,  $7 \times 10^{-10}$  pour le coefficient Kennedy-Thorndike, et pour mesurer l'anisotropie absolue de la vitesse de la lumière à  $10^{-18}$ .

## 1. Conclusion

La clé pour comprendre la pertinence persistante de la théorie de l'éther est de comprendre comment dans pratiquement chaque expérience optique concevable, les effets potentiellement mesurables dus au mouvement inertiel d'un système optique à travers un cadre préféré pour la lumière s'annulent toujours exactement, rendant ainsi trame préférée indétectable. Le succès de Lorentz à déduire directement le coefficient de Fresnel de sa théorie, en le réinterprétant comme une interaction entre l'éther et la matière, a permis de retirer complètement le concept de traînée d'éther. Einstein était parfaitement positionné pour passer à l'étape suivante prévisible - la non-détectabilité de l'éther devenait une puissante justification émotionnelle de l'idée centrale de la théorie de la relativité selon laquelle ce qui ne peut pas être mesuré n'existe pas. Cependant, cela n'a pas besoin d'être le cas - la preuve optique à ce jour, comme cela a été montré ici, continue à soutenir l'hypothèse alternative que l'éther de Lorentz existe, et cela est particulièrement souhaitable pour ceux qui cherchent une description plus rationnelle et cohérente. le monde physique. Les références.

## Les références

- [1] A. A. Tyapkin, *Lett. Nuovo Cimento* 7 (15): 760-764, (1973).
- [2] H. Lorentz, **Lectures on Theoretical Physics**, V.1 pp. 14-19 (1927).
- [3] M. Janssen, J. Stahl, *Max Planck Inst. His. Sci.*, Pre-print 265 (2004).
- [4] A. Arago, *Comptes Rendus* 36: 38-49 (1853).
- [5] A. Fresnel, *Annales de chimie et de physique* 9: 57-66 (1818).
- [6] H. Fizeau, *Comptes Rendus* 33: 349-355 (1851).
- [7] M. Hoek, *Arch. Néerlandaises exactes Nat.* 3: 180-185 (1868).
- [8] H. Lorentz, *Arch. Néerlandaises exactes Nat.* 25: 363-552 (1892).
- [9] J. Larmor, **Aether and Matter** (Cambridge University Press, 1900).
- [10] A. A. Michelson, E. Morley, *Am. J. Sci* 34 (203): 333-345 (1887).

- [11] G. FitzGerald, *Science* **13** (328): 390 (1889).
- [12] W. S. N. Trimmer, et al, *Phys. Rev. D* **8** (10): 3321-3326 (1973).
- [13] V. Vasil'ev, et al, *Pis'ma Zh. Eksp. Teor. Fiz.* **55** (6): 317-320 (1992).
- [14] L. Swenson, **The Ethereal Aether** (Univ. Texas, 1972).
- [15] J. Shamir, R. Fox, *Phys. Rev.* **184**: 1303-1304 (1969).
- [16] R. Mansouri, R. Sexl, *Gen. Rel. Grav.* **8** (10): 809-814 (1977).
- [17] C. Moller, *Suppl. Nuovo Cimento* **6**: 381 (1957).
- [18] M. Ruderfer, *Phys. Rev. Lett.* **5** (5): 191-192 (1960).
- [19] K. Turner, H. Hill, *Bull Am. Phys. Soc.* **8**: 28 (1963).
- [20] D. Champeney, et al, *Phys. Lett.* **7** (4): 241-243 (1963).
- [21] E. Preikschat, "The Mossbauer Effect and Tests of Relativity", Thesis, Chapter 4-10 (U. of Birmingham, 1968).
- [22] R. Cialdea, *Lettere Al Nuovo Cimento* **4** (16): 821 (1972).
- [23] D. R. Gagnon, et al, *Phys. Rev. A* **38** (4): 1767 (1988).
- [24] R. Hatch, *Proc. 58th Ann. Meeting Inst. Nav.*, pp. 70-81. (2002).
- [25] M. Ruderfer, *Phys. Rev. Lett.* **7** (9): 361 (1961).
- [26] V. V. Ragulsky, *Phys. Lett. A* **235**: 125 (1997).
- [27] T. Krisher, et al, *Phys. Rev. D* **42**: 731-734 (1990).
- [28] R. Mansouri, R. Sexl, *Gen. Rel. Grav.* **8** (7): 497-513 (1976).
- [29] N. Ashby, "Science Goals of the Primary Atomic Reference Clock in Space Experiment", <http://tf.nist.gov/general/pdf/2004.pdf>.
- [30] C. Townes, et al, *Phys. Rev.* **133**: A1221 (1964).
- [31] A. Brillet, J. L. Hall, *Phys. Rev. Lett.* **42** (9): 549-552 (1979).
- [32] D. Hils, J. L. Hall, *Phys. Rev. Lett.* **64** (15): 1697-1700 (1990).
- [33] H. Mueller, et al, *Phys. Rev. Lett.* **91** (2): 020401 (2003).
- [34] S. Schiller, et al, <http://arxiv.org/abs/physics/0510169v1>.
- [35] P. Antonini, et al, <http://arxiv.org/abs/gr-qc/0504109v1>.
- [36] R. Byer, J. L. Hall et al, "Space Time Asymmetry Research (STAR)", <http://docs.google.com>.
- [37] D. Maret, "A Replication of the Cialdea One-Way Speed of Light Experiment" (2010), <http://www.conspiracyoflight.com>.
- [38] H.E. Wilhelm, *Apeiron* **15**, pp. 1-6, (1993).