

# Geometryczne wyprowadzenie transformacji czasu i współrzędnych położenia w STE

Karol Szostek<sup>1</sup>, Roman Szostek<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Politechnika Rzeszowska, Katedra Termodynamiki i Mechaniki Płynów, Rzeszów, Polska

<sup>2</sup>Politechnika Rzeszowska, Katedra Metod Ilościowych, Rzeszów, Polska

**Streszczenie:** Powszechnie uważa się, że eksperymenty Michelson'a-Morley'a z 1887 roku [1] oraz eksperyment Kennedy'ego-Thorndike'a z 1932 roku [2] wykazały, że nie istnieje eter oraz, że prędkość światła w próżni jest absolutnie stała. Analiza tych eksperymentów doprowadziła do powstania Szczególnej Teorii Względności (STW). W tym artykule wyprowadzamy na podstawie geometrycznej analizy eksperymentów Michelsona-Morleya oraz Kennedy'ego-Thorndike'a inną transformację czasu i położenia niż transformacja Lorentza. Transformację wyprowadzamy przy założeniu, że istnieje uniwersalny układ odniesienia, który nazywamy eterem. W naszej koncepcji eter nie jest substancją o fizycznych własnościach, jak dawniej rozumiano eter, tylko układem odniesienia wyróżniającym się tym, że prędkość światła jest w nim stała w każdym kierunku. W poruszających się w eterze inercjalnych układach odniesienia, prędkość światła może być inna. Transformacje, które uzyskujemy, są transformacjami z eteru do układu inercjalnego oraz z układu inercjalnego do eteru. W oparciu o nową transformację została stworzona Szczególna Teoria Eteru (STE) [4], [5].

**Słowa kluczowe:** Szczególna Teoria Eteru, Szczególna Teoria Względności, transformacja czasu i położenia

## I. Wprowadzenie

W artykule wyprowadzone zostały transformacje z układu inercjalnego do eteru oraz z eteru do układu inercjalnego metodą geometryczną zaprezentowaną w pracy [3]. Zaprezentowano wyjaśnienie wyników eksperymentów Michelsona-Morleya oraz Kennedy'ego-Thorndike'a, przy założeniu, że istnieje eter, w którym prędkość światła ma stałą wartość. W poruszających się w eterze inercjalnych układach odniesienia, prędkość światła może być inna.

Nigdy nie zmierzono dokładnie prędkości światła w jedną stronę. We wszystkich dokładnych eksperymentach laboratoryjnych mierzono jedynie, podobnie jak w eksperymencie Michelsona-Morleya, średnią prędkość światła przebywającego drogę po trajektorii zamkniętej. W eksperymentach tych światło zawsze wraca do punku wyjścia.

Transformacja eter-układ (29) wyprowadzona w tym artykule metodą geometryczną była już wyprowadzona inną metodą w artykule [6] oraz [7]. W tamtym przypadku autor otrzymał tą transformację dzięki synchronizacji zegarów w inercjalnych układach metodą zewnętrzną. W pracach [4] oraz [5] zostało wykazane, że chociaż transformacja z pracy [6] ma taką samą postać jak transformacja wyprowadzone w tym artykule, to ma inne znaczenie. Transformacja uzyskana w pracy [6] jest równoważna transformacji Lorentza. Jest tylko inaczej zapisaną transformacją Lorentza po zmianie sposobu mierzenia czasu w inercjalnym układzie odniesienia. Transformacja wyprowadzona w tym artykule ma inne znaczenie niż transformacja Lorentza. Uzyskana tutaj transformacja wiąże ze sobą współrzędne położenia znajdujące się obok siebie natomiast transformacja Lorentza przelicza współrzędne położenia w przeszłość lub przyszłość [4], [5].

## II. Przyjęte założenia

W przedstawionej analizie eksperymentu Michelsona-Morleya przyjmujemy następujące założenia:

- I. Istnieje układ odniesienia względem którego prędkość światła w próżni ma tą samą wartość w każdym kierunku. Ten uniwersalny układ odniesienia nazywamy eterem.
- II. Średnia prędkość światła na drodze tam i z powrotem jest dla każdego obserwatora niezależna od kierunku propagacji światła. Wynika to z eksperymentu Michelsona-Morleya.
- III. Średnia prędkość światła na drodze tam i z powrotem nie zależy od prędkości obserwatora względem uniwersalnego układu odniesienia (eteru). Wynika to z eksperymentu Kennedy'ego-Thorndike'a.
- IV. W kierunku prostopadłym do kierunku prędkości ciała, poruszającego się względem eteru, nie następuje jego skrócenie ani wydłużenie
- V. Transformacja eter-układ jest liniowa.
- VI. Pomiędzy eterem oraz układem inercjalnym istnieje symetria o następującej postaci:

$$\left. \frac{dx}{dt'} \right|_{\frac{dx'}{dt'}=0} = \left. \frac{dx'}{dt} \right|_{\frac{dx}{dt}=0} \quad (1)$$

Założenie to oznacza, że różniczka położenia ciała w eterze, spoczywającego w układzie inercyjnym, policzona po czasie mierzonym w układzie inercyjnym jest taka sama jak różniczka położenia ciała w układzie inercyjnym, spoczywającego w eterze, policzona po czasie mierzonym w eterze.

Przedstawione w tym artykule wyprowadzenie transformacji różni się od wyprowadzenia metodą geometryczną transformacji Lorentza, na której opiera się STW. W wyprowadzeniu transformacji Lorentza zakłada się, że transformacja odwrotna ma taką samą postać jak transformacja pierwotna. Takie założenie wynika z przekonania, że wszystkie układy inercjalne są równoważne. W przedstawionym w tym artykule wyprowadzeniu nie zakładamy jaką postać ma cała transformacja odwrotna. Przyjmujemy jedynie założenie dotyczące jednego współczynnika w transformacji odwrotnej, występującego przy  $t$  w równaniu dotyczącym współrzędnej położenia (16) (założenie VI).

W pracach [4], [5] zostały wyprowadzone identyczne transformacje jak w tym artykule, ale bez przyjmowania założenia VI. Do tego konieczne było przeprowadzenie pełnej analizy eksperymentu Michelsona-Morleya, w której uwzględnia się także drugi strumień światła, równoległy do prędkości  $v$ .

Przyjęte w tym artykule założenia na temat prędkości światła także są słabsze od tych przyjętych w STW. W STW zakłada się, że prędkość światła jest absolutnie stała, pomimo tego, że nie dowiódł tego żaden eksperyment. W tym artykule przyjęte zostało założenie wynikające z eksperymentów, czyli, że stała jest średnia prędkość światła na drodze do zwierciadła oraz z powrotem (założenie II oraz III). W przedstawionych rozważaniach prędkość światła jest z założenia stała jedynie w jednym wyróżnionym układzie odniesienia - eterze (założenie I). Założenia IV oraz V są identyczne jak te, na których opiera się STW.

### III. Geometryczne wyprowadzenie transformacji

Przeanalizowano wyniki eksperymentu ze światłem w sposób przedstawiony na rysunku 1. Układ inercyjny  $U'$  porusza się z prędkością  $v$  względem układu  $U$  związanego z eterem, równoległe do osi  $x$ . Układy mają poziome osie skierowane w przeciwne strony, aby zachowana została między nimi symetria.

W chwili, gdy początki układów pokrywają się, synchronizowane są zegary w obu układach. Zegary w układzie  $U$  związanym z eterem są synchronizowane metodą wewnętrzną [6]. Zegary w układzie  $U'$  są synchronizowane metodą zewnętrzną w taki sposób, że jeżeli zegar układu  $U$  wskazuje czas  $t=0$ , wtedy znajdujący się obok niego zegar układu  $U'$  także jest zerowany, czyli  $t'=0$ .

W chwili, gdy początki układów pokrywają się, z początku układu  $U'$  wysyłany jest sygnał świetlny, równoległe do osi  $y'$ . Sygnał ten po przebyciu drogi  $D'$  odbija się od zwierciadła i wraca do początku układu współrzędnych (część a rysunku). Ten sam sygnał jest obserwowany z układu  $U$ , w którym ze względu na wzajemny ruch układów, przemieszcza się po ramionach trójkąta (część b rysunku). Układ  $U$  jest uniwersalnym układem odniesienia, w którym światło ma zawsze stałą prędkość  $c$  (założenie I). Rozważania dotyczą przepływu światła w próżni.

Zgodnie z wnioskami wynikającymi z eksperymentu Michelsona-Morleya założono, że średnia prędkość światła  $c_p$  na drodze do zwierciadła i z powrotem w układzie  $U'$  jest taka sama w każdym kierunku, w szczególności w kierunku równoległym do osi  $y'$  (założenie II). Założono także, że średnia prędkość światła  $c_p$  na drodze do zwierciadła i z powrotem nie zależy od prędkości obserwatora względem eteru (założenie III).

Z założenia II oraz III wynika, że średnia prędkość światła  $c_p$  w inercyjnym układzie odniesienia jest taka sama jak prędkość światła  $c$  w eterze. Wystarczy zauważyć, że sygnał świetlny równoległy do osi  $y'$  ma w układzie  $U'$  taką samą prędkość średnią  $c_p$  także wtedy, gdy układ  $U'$  nie porusza się względem układu  $U$  ( $v=0$ ). Ponieważ wtedy prędkość  $c_p$  jest dokładnie tym samym co prędkość  $c$ , dlatego dla każdej prędkości  $v$  zachodzi  $c_p=c$ .

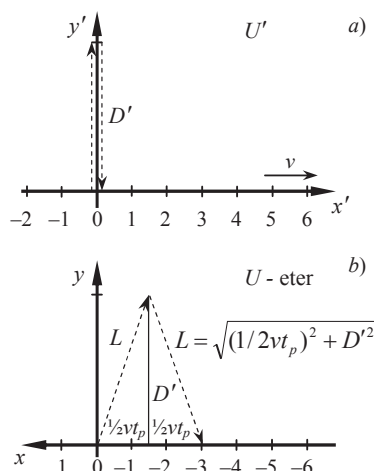
Formalnie można to zapisać następująco. Jeżeli dopuścimy, że średnia prędkość  $c_p$  światła w układzie  $U'$ , jest jakąś funkcją prędkości światła  $c$  w układzie  $U$  zależną od prędkości  $v$ , wówczas

$$c_p = f(v)c \quad (2)$$

Ponieważ z pomiarów wynika, że średnia prędkość  $c_p$  światła jest taka sama dla różnych prędkości Ziemi względem eteru, dlatego  $f(v_1)=f(v_2)$ . Ponieważ  $f(0)=1$ , zatem  $f(v)=1$  dla każdej prędkości  $v$ . Wynika stąd, że  $c=c_p$ .

Jeżeli prędkość światła względem eteru jest taka sama w każdym kierunku i równa  $c$ , to ze względu na stałą wartość prędkości  $v$ , trójkąt, po którym porusza się światło w układzie  $U$  jest równoramienny (rysunek 1).





**Rys. 1.** Drogi przepływu światła w dwóch układach poruszających się względem siebie  
 a) przepływ światła w układzie  $U'$  równoległe do osi  $y'$ , b) przepływ światła widziany z układu  $U$

Jeżeli przez  $t'_p$  oznaczymy czas przepływu światła mierzony w układzie  $U'$ , natomiast przez  $t_p$  czas przepływu mierzony w układzie  $U$ , wtedy

$$c_p = \frac{2D'}{t'_p} = c = \frac{2L}{t_p} \quad (3)$$

Stąd mamy

$$D' = \frac{1}{2} t'_p c \quad (4)$$

$$L = \frac{1}{2} t_p c \quad (5)$$

Zakładamy, że odległość  $D'$ , prostopadła do prędkości  $v$ , jest taka sama dla obserwatorów z obu układów odniesienia (założenie IV). Dlatego na rysunku 1 występuje ta sama długość  $D'$  w części a) oraz części b).

W chwili, gdy światło odbija się od zwierciadła, wtedy początek układu  $U'$  znajduje się w układzie  $U$  w położeniu  $\frac{1}{2} vt_p$ . Długość drogi  $L$ , jaką pokonało światło w układzie  $U$  można więc zapisać w postaci

$$L = \sqrt{\left(\frac{1}{2} vt_p\right)^2 + D'^2} \quad (6)$$

Po podniesieniu tego równania do kwadratu i zastosowaniu (4) oraz (5) otrzymamy

$$\left(\frac{1}{2} t_p c\right)^2 = \left(\frac{1}{2} vt_p\right)^2 + \left(\frac{1}{2} t'_p c\right)^2 \quad (7)$$

$$t_p^2 (c^2 - v^2) = (t'_p c)^2 \quad (8)$$

$$t_p = t'_p \frac{1}{\sqrt{1 - (v/c)^2}} \quad (9)$$

W powyższej zależności występują tylko te czasy  $t_p$  oraz  $t'_p$ , które dotyczą pełnego przepływu światła do zwierciadła i z powrotem. Ponieważ jednak długość  $D'$  można dobrać tak, aby czas  $t'_p$  był dowolny, dlatego zależność (9) jest prawdziwa dla dowolnego czasu. Mamy więc

$$t = t' \frac{1}{\sqrt{1 - (v/c)^2}} \quad (10)$$

Prędkość  $v$  jest to prędkość układu  $U'$  widziana w układzie  $U$ . Jeżeli położenie początku układu  $U'$  ( $x'=0$ ) w układzie  $U$  oznaczymy przez  $x$ , wtedy

$$v = -\frac{x}{t} \quad (11)$$



Po wyznaczeniu współrzędnej  $x$  z zależności (11) i zastosowaniu zależności (10) otrzymamy transformację położenia dla punktu  $x'=0$

$$x = -vt = -vt' \frac{1}{\sqrt{1-(v/c)^2}} \quad \text{dla } x' = 0 \quad (12)$$

Zależność ta, wyraża położenie początku układu współrzędnych układu  $U'$  ( $x'=0$ ), mierzone w układzie  $U$ , w czasie  $t'$ .

Transformacja pomiędzy układami powinna być liniowa (założenie V), gdyż ciało poruszające się ruchem jednostajnym w układzie  $U'$  powinno z założenia poruszać się w układzie  $U$  także ruchem jednostajnym. Na podstawie (10) oraz (12) mamy transformację z układu  $U'$  do  $U$  w postaci

$$t = t' \frac{1}{\sqrt{1-(v/c)^2}} + a'x' \quad (13)$$

$$x = -vt' \frac{1}{\sqrt{1-(v/c)^2}} + bx' \quad (14)$$

W równaniach tych występują dwa nieznanne parametry  $a'$  oraz  $b$ . Na tym etapie nie można przesądzić, jakie są wartości tych parametrów.

Powyższe wzory są transformacją czasu i położenia z układu  $U'$  do układu  $U$ . Zakładamy, że transformacja z układu  $U$  do układu  $U'$  ma postać

$$t' = t\sqrt{1-(v/c)^2} + a''x \quad (15)$$

$$x' = -vt \frac{1}{\sqrt{1-(v/c)^2}} + \frac{1}{b}x \quad (16)$$

Współczynnik występujący w (15) przy  $t$  jest odwrotnością współczynnika występującego w (13) przy  $t'$ . Wynika to z tego że, jeżeli w układzie  $U$  mija większy czas niż w układzie  $U'$  (13), to w układzie  $U'$  musi mijać odpowiednio mniejszy czas niż w układzie  $U$  (15).

Analogicznie jest ze współczynnikiem  $1/b$  występującym w (16) przy  $x$ . Jest on odwrotnością współczynnika  $b$  przy  $x'$  w równaniu (14). Jeżeli w układzie  $U'$  wartość współrzędnej  $x'$  zmieni się, to zgodnie z (14) w układzie  $U$  wartość współrzędnej  $x$  zmieni się  $b$  razy więcej. W drugą stronę będzie odwrotnie. Jeżeli wartość współrzędnej  $x$  w układzie  $U$  zmieni się, to wartość współrzędnej  $x'$  w układzie  $U'$  zmieni się, ale  $b$  razy mniej.

Współczynnik przed  $t$  w (16) jest taki sam jak współczynnik przed  $t'$  w (14). Współczynniki te mają taki sam znak ze względu na przeciwny kierunki osi  $X$  oraz  $X'$  układów  $U$  oraz  $U'$ . Jeżeli bowiem z upływem czasu  $t'$  położenie współrzędnej  $x'$  maleje w układzie  $U$ , to tak samo z upływem czasu  $t$  położenie współrzędnej  $x$  maleje w układzie  $U'$ . Taka sama wartość tych współczynników wynika z założenia VI.

Na temat współczynników  $a'$  oraz  $a''$  nie przyjmujemy żadnych założeń.

W szczególnym przypadku dla współrzędnej  $x=0$  transformacje (13)-(16) przyjmują postać

$$t = t' \frac{1}{\sqrt{1-(v/c)^2}} + a'x' \quad (17)$$

$$0 = -vt' \frac{1}{\sqrt{1-(v/c)^2}} + bx' \quad (18)$$

$$t' = t\sqrt{1-(v/c)^2} \quad (19)$$

$$x' = -vt \frac{1}{\sqrt{1-(v/c)^2}} \quad (20)$$

Po wyrugowaniu  $t'$  oraz  $x'$  otrzymamy

$$t = t - a'vt \frac{1}{\sqrt{1-(v/c)^2}} \quad (21)$$



$$0 = -vt - bvt \frac{1}{\sqrt{1 - (v/c)^2}} \quad (22)$$

Z zależności (21) otrzymamy, że  $a'=0$ . W analogiczny sposób przyjmując  $x'=0$  można wykazać, że  $a''=0$ . Z zależności (22) otrzymamy

$$b = -\sqrt{1 - (v/c)^2} \quad (23)$$

Transformacja z układu do eteru ma postać

$$t = \frac{1}{\sqrt{1 - (v/c)^2}} t' \quad (24)$$

$$x = -\frac{1}{\sqrt{1 - (v/c)^2}} vt' - \sqrt{1 - (v/c)^2} \cdot x' \quad (25)$$

natomiast transformacja z eteru do układu ma postać

$$t' = \sqrt{1 - (v/c)^2} \cdot t \quad (26)$$

$$x' = \frac{1}{\sqrt{1 - (v/c)^2}} (-vt - x) \quad (27)$$

Jeżeli zostanie zamieniony kierunek poziomej osi w układzie  $U$ , wtedy wartość  $x$  musi zostać zastąpiona w powyższych transformacjach wartością  $-x$ . Otrzymamy wtedy transformację, z dowolnego inercyjnego układu do eteru w postaci

$$\begin{cases} t = \frac{1}{\sqrt{1 - (v/c)^2}} t' \\ x = \frac{1}{\sqrt{1 - (v/c)^2}} vt' + \sqrt{1 - (v/c)^2} \cdot x' \end{cases} \quad (28)$$

oraz transformację odwrotną z eteru do dowolnego inercyjnego układu

$$\begin{cases} t' = \sqrt{1 - (v/c)^2} \cdot t \\ x' = \frac{1}{\sqrt{1 - (v/c)^2}} (-vt + x) \end{cases} \quad (29)$$

#### IV. Prędkości względne między układami

Przyjmujemy, że

$$\delta(v) = 1 - (v/c)^2 \quad (30)$$

Rozpatrzmy trzy układy:  $U$  związany z eterem oraz dwa układy inercjalne  $U_1$  oraz  $U_2$ . Układy zostały narysowane w dwóch chwilach czasu  $t=0$  oraz  $t=T$ . Na osi eteru odłożono dwie współrzędne  $A$  oraz  $B$ , które odpowiadają miejscom, z którymi pokrywają się początki układów  $U_1$  oraz  $U_2$  po upływie czasu  $T$ . Układ  $U_1$  ma prędkość  $v_1=A/T$ , natomiast układ  $U_2$  ma prędkość  $v_2=B/T$  względem eteru (rysunek 2).

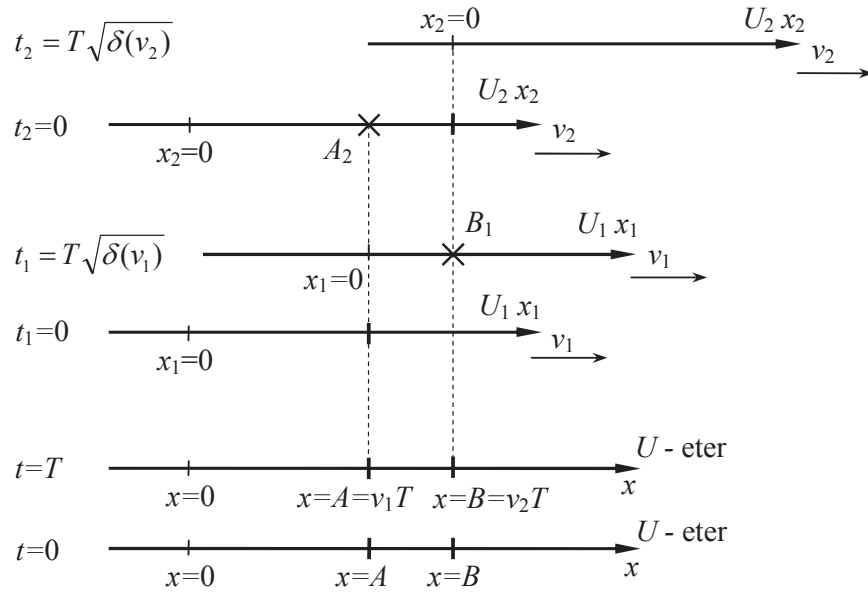
Czasy w układach inercjalnych  $t_1$  oraz  $t_2$ , po tym, jak w eterze upłynie czas  $T$  wyznaczamy z transformacji (29)

$$\begin{aligned} t_1 &= T \sqrt{\delta(v_1)} \\ t_2 &= T \sqrt{\delta(v_2)} \end{aligned} \quad (31)$$

Za pomocą transformacji z eteru do układu przeliczamy współrzędną  $B$  do układu  $U_1$  jako  $B_1$  oraz współrzędną  $A$  do układu  $U_2$  jako  $A_2$ . Stąd można na podstawie (29) zapisać

$$\begin{aligned} B_1 &= \frac{1}{\sqrt{\delta(v_1)}} (-v_1 T + B) = \frac{1}{\sqrt{\delta(v_1)}} (-v_1 T + v_2 T) = \frac{v_2 T - v_1 T}{\sqrt{\delta(v_1)}} \\ A_2 &= \frac{1}{\sqrt{\delta(v_2)}} (-v_2 T + A) = \frac{1}{\sqrt{\delta(v_2)}} (-v_2 T + v_1 T) = \frac{v_1 T - v_2 T}{\sqrt{\delta(v_2)}} \end{aligned} \quad (32)$$





Rys. 2. Układy inercjalne  $U_1$ ,  $U_2$  poruszające się w eterze z prędkościami  $v_1$ ,  $v_2$

Współrzędna  $B_1$  odpowiada drodze, jaką układ  $U_2$  pokonał względem układu  $U_1$ . Współrzędna  $A_2$  odpowiada drodze, jaką układ  $U_1$  pokonał względem układu  $U_2$ . Prędkość  $v_{2/1}$  układu  $U_2$  względem układu  $U_1$  wynosi  $B_1/t_1$ . Prędkość  $v_{1/2}$  układu  $U_1$  względem  $U_2$  wynosi  $A_2/t_2$ . Po podzieleniu równań (32) przez (31) otrzymamy zależności na prędkości względne

$$v_{2/1} = B_1 / t_1 = (v_2 - v_1) \frac{1}{\delta(v_1)} = \frac{v_2 - v_1}{1 - (v_1/c)^2} \quad (33)$$

$$v_{1/2} = A_2 / t_2 = (v_1 - v_2) \frac{1}{\delta(v_2)} = \frac{v_1 - v_2}{1 - (v_2/c)^2} \quad (34)$$

Po podzieleniu (34) przez (33) otrzymamy zależność wiążącą prędkości względne

$$-\frac{v_{1/2}}{v_{2/1}} = \frac{\delta(v_1)}{\delta(v_2)} = \frac{1 - (v_1/c)^2}{1 - (v_2/c)^2} = \frac{c^2 - v_1^2}{c^2 - v_2^2} \quad (35)$$

## V. Prędkość światła w inercjalnym układzie odniesienia

Wyznamy teraz prędkość światła w dowolnym inercjalnym układzie odniesienia  $U_1$ .

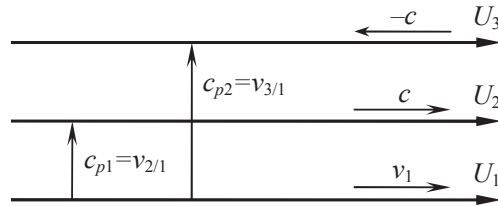
Rozważmy trzy inercjalne układy odniesienia  $U_1$ ,  $U_2$  oraz  $U_3$  poruszające się w eterze równolegle do osi współrzędnych, rysunek 3. Układy  $U_2$  oraz  $U_3$  są związane ze światłem, ale poruszają się w przeciwnych kierunkach. Dlatego ich prędkości wynoszą  $v_2=c$  oraz  $v_3=-c$ . Układ  $U_1$  porusza się z prędkością  $v_1 \geq 0$ . Z zależności (33) można obliczyć prędkość światła w próżni mierzoną w układzie  $U_1$

$$c_{p1} = v_{2/1} = \frac{c - v_1}{1 - (v_1/c)^2} = \frac{c^2(c - v_1)}{c^2 - v_1^2} = \frac{c^2(c - v_1)}{(c + v_1)(c - v_1)} = \frac{c^2}{c + v_1} \leq c \quad (36)$$

oraz

$$c_{p2} = v_{3/1} = \frac{-c - v_1}{1 - (v_1/c)^2} = -\frac{c^2(c + v_1)}{c^2 - v_1^2} = -\frac{c^2(c + v_1)}{(c + v_1)(c - v_1)} = -\frac{c^2}{c - v_1} \leq -c \quad (37)$$





Rys. 3. Prędkość światła w jednym kierunku

Jeżeli światło porusza się w eterze w tym samym kierunku jak układ  $U_1$ , wtedy jego prędkość w układzie wyraża się zależnością (36). Jeżeli światło porusza się w eterze w przeciwnym kierunku niż układ  $U_1$ , wtedy jego prędkość w układzie wyraża się zależnością (37). Wykresy tych prędkości w funkcji  $v_1$  zostały przedstawione na rysunku 4. Linie na wykresie wyznaczają przedział prędkości możliwych do zaobserwowania z układu  $U_1$ .

Dla granicznych prędkości  $v_1$  otrzymamy

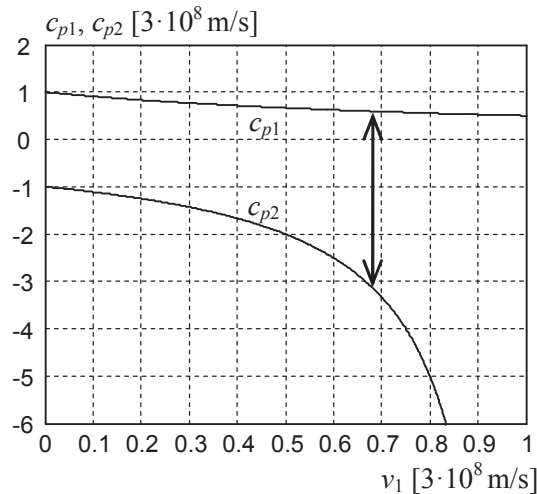
$$\lim_{v_1 \rightarrow c} c_{p1} = \frac{c^2}{c + v_1} = \frac{c^2}{2c} = \frac{1}{2}c \quad (38)$$

$$\lim_{v_1 \rightarrow c} c_{p2} = \lim_{v_1 \rightarrow c} \left( -\frac{c^2}{c - v_1} \right) = -\frac{c^2}{c - c} = -\infty \quad (39)$$

oraz

$$\lim_{v_1 \rightarrow 0} c_{p1} = \lim_{v_1 \rightarrow 0} \frac{c^2}{c + v_1} = c \quad (40)$$

$$\lim_{v_1 \rightarrow 0} c_{p2} = \lim_{v_1 \rightarrow 0} \left( -\frac{c^2}{c - v_1} \right) = -c \quad (41)$$



Rys. 4. Prędkość światła w inercjalnym układzie dla  $v_1 \geq 0$

Wynika stąd, że jeżeli układ  $U_1$  porusza się z prędkością bliską  $c$ , to światło biegnące w tym samym kierunku ma względem układu  $U_1$  prędkość bliską  $c/2$ . Światło biegnące w przeciwnym kierunku ma względem układu  $U_1$  prędkość nieskończoną. Wynika stąd, że prędkość światła względem układu inercjalnego może być bardzo duża, ponieważ zegary w układzie chodzą wolniej niż w eterze. Prędkość światła w eterze wynosi dokładnie  $c$ .

Niech w układzie  $U_1$ , światło biegnie równoległe do prędkości  $v_1$  układu  $U_1$  względem eteru. Podobnie jak w eksperymencie Michelsona-Morleya, światło biegnie na drodze  $L'$  przez pewien czas  $t'$ . Na końcu drogi odbija się od zwierciadła i wraca z powrotem na tej samej drodze  $L'$  przez pewien czas  $t''$ . Wtedy średnia prędkość światła na podstawie (36) oraz (37) wyniesie



$$c_{sr} = \frac{2L'}{t' + t''} = \frac{2L'}{\frac{L'}{c_{p1}} + \frac{L'}{c_{p2}}} = \frac{2L'}{\frac{L'}{c^2} + \frac{L'}{c^2}} = \frac{2}{\frac{c+v_1}{c^2} + \frac{c-v_1}{c^2}} = \frac{2}{\frac{2c}{c^2}} = c \quad (42)$$

Prędkość ta zgadza się z wynikami eksperymentu Michelsona-Morleya, z którego wynika, że średnia prędkość światła jest stała i wynosi  $c$  (prędkość średnia, nie chwilowa). Wykazaliśmy, że z eksperymentu Michelsona-Morleya nie wynika to, że prędkość chwilowa światła jest stała w każdym kierunku.

Prędkości wyrażone zależnościami (36) oraz (37) są różne. Pierwsza dotyczy kierunku zgodnego z prędkością  $v_1$ , a druga kierunku przeciwnego do prędkości  $v_1$ . Jednak średnia prędkość światła jest stała i wynosi  $c$ .

W pracach [4], [5] wyprowadzony został ogólny wzór na prędkość światła biegnącego w dowolnym kierunku. Dla światła poruszającego się w próżni ma on postać

$$c'_{\alpha'} = \frac{c^2}{c + v \cos \alpha'} \quad (43)$$

Dla światła poruszającego się w nieruchomym względem obserwatora ośrodku materialnym ma postać

$$c'_{s\alpha'} = \frac{c^2 c_s}{c^2 + c_s v \cos \alpha'} \quad (44)$$

W tych dwóch zależnościami kąt  $\alpha'$  jest, mierzonym przez obserwatora, kątem pomiędzy wektorem jego prędkości względem eteru oraz wektorem prędkości światła. Prędkość  $c_s$  jest prędkością światła w ośrodku materialnym nieruchomym względem eteru widzianą przez nieruchomego względem eteru obserwatora.

Wzory (43) oraz (44) sprowadzają się do wzorów (36) oraz (37), jeżeli tylko podstawimy  $c_s=c$  oraz  $\alpha'=0^\circ$  lub  $\alpha'=180^\circ$ . Wzory (43) oraz (44) także posiadają własność przedstawioną w (42). Wystarczy sprawdzić, że dla prędkości światła wyrażonej wzorem (44), średnia prędkość na drodze do zwierciadła oraz z powrotem wynosi

$$c'_{sr} = \frac{2L'}{t'_{s\alpha'} + t'_{s(180+\alpha')}} = \frac{2L'}{\frac{L'}{c^2 c_s} + \frac{L'}{c^2 c_s}} = \frac{2L'}{\frac{L'}{c^2 + c_s v \cos \alpha'} + \frac{L'}{c^2 + c_s v \cos(180 + \alpha')}} \quad (45)$$

$$c'_{sr} = \frac{2}{\frac{c^2 + c_s v \cos \alpha'}{c^2 c_s} + \frac{c^2 - c_s v \cos \alpha'}{c^2 c_s}} = \frac{2}{\frac{2c^2}{c^2 c_s}} = c_s \quad (46)$$

Z zależności (46) wynika, że  $c_s$  jest także prędkością średnią światła na drodze do zwierciadła oraz z powrotem w ośrodku materialnym nieruchomym względem obserwatora. Pomimo tego, że prędkość światła wyrażona wzorem (44) zależy od kąta  $\alpha'$  oraz prędkości  $v$ , to średnia prędkość światła na drodze do zwierciadła i z powrotem zawsze jest stała i wynosi  $c_s$ .

## VI. Wnioski końcowe

Wyznaczone transformacje (28)-(29) są zgodne z doświadczeniem Michelsona-Morleya. W kolejnym artykule wykażemy, że z powyższych transformacji wynika, iż pomiar prędkości światła w próżni, przy pomocy stosowanych dotychczas metod, zawsze będzie dawał średnią wartość równą  $c$ . Tak się dzieje pomimo tego, że dla ruchomego obserwatora prędkość światła ma różną wartość w różnych kierunkach. Średnia prędkość światła jest zawsze stała i niezależna od prędkości inercyjnego układu odniesienia.

Wykazaliśmy, że możliwe jest wyjaśnienie wyników eksperymentu Michelsona-Morleya oraz innych eksperymentów ze światłem jeżeli dopuszcza się, że prędkość światła nie jest stała dla każdego obserwatora.

Dopuszczenie, że prędkość światła może zależeć od kierunku jego emisji nie wyróżnia żadnego kierunku w przestrzeni. Chodzi bowiem o prędkość światła jaką mierzy ruchomy obserwator. To prędkość z jaką obserwator porusza się względem uniwersalnego układu odniesienia (eteru) wyróżnia w przestrzeni charakterystyczny kierunek, ale tylko dla tego obserwatora. Dla obserwatora nieruchomego względem uniwersalnego układu odniesienia prędkość światła zawsze jest stała i nie zależy od kierunku jego emisji. Jeżeli obserwator porusza się względem uniwersalnego układu odniesienia, wtedy dla niego przestrzeń nie jest symetryczna. W jego przypadku będzie podobnie jak dla obserwatora płynącego po wodzie i mierzącego prędkość fali na wodzie. Pomimo tego, że fala rozchodzi się po wodzie ze stałą prędkością w każdym kierunku, dla płynącego obserwatora prędkość fali będzie różna w różnych kierunkach.





Eksperymenty Michelsona-Morleya oraz Kennedy'ego-Thorndike'a były wykonywane wielokrotnie przez różne zespoły. Wykonane zostały także zmodyfikowane i ulepszone wersje tego eksperymentu, jak eksperyment z kryształami szafiru z 2015 roku [8]. Każdy z tych eksperymentów potwierdził jedynie to, że stała jest średnią prędkość światła.

Z przeprowadzonej analizy wynika, że jest możliwe wyjaśnienie wyników eksperymentu Michelsona-Morleya na bazie eteru. Nieprawdziwe jest twierdzenie, że eksperyment Michelsona-Morleya dowiódł, że prędkość światła jest bezwzględnie stała. Nieprawdziwe jest także twierdzenie, że eksperyment Michelsona-Morleya dowiódł, że nie ma eteru, w którym rozchodzi się światło i porusza ze stałą prędkością.

### **Literatura**

- [1] Michelson Albert A., Morley Edward W., *On the relative motion of the earth and the luminiferous ether*. Am. J. Sci. 34, 333–345 (1887).
- [2] Kennedy Roy J., Thorndike Edward M., *Experimental Establishment of the Relativity of Time*. „Physical Review”. 42 (3), s. 400–418, 1932. DOI: 10.1103/PhysRev.42.400
- [3] Halliday David, Resnick Robert i Walker Jearl., *Fundamentals of Physics*, part 5, chapter 39, Wiley-VCH, 2004, ISBN 0-471-42965-1.
- [4] Szostek Karol, Szostek Roman, *Special Theory of Ether* (in English), Publishing house AMELIA, Rzeszow in Poland 2015, ISBN 978-83-63359-81-2 ([www.ste.com.pl](http://www.ste.com.pl)).
- [5] Szostek Karol, Szostek Roman, *Szczególna Teoria Eteru* (in Polish), Wydawnictwo Amelia, Rzeszów w Polsce 2015, ISBN 978-83-63359-77-5 ([www.ste.com.pl](http://www.ste.com.pl)).
- [6] Tangherlini Frank R., *The Velocity of Light in Uniformly Moving Frame*, A Dissertation. Stanford University, 1958 (reprint in The Abraham Zelmanov Journal, Vol. 2, 2009, ISSN 1654-9163).
- [7] Mansouri Reza, Sexl Roman U., *A Test Theory of Special Relativity: I. Simultaneity and Clock Synchronization*, General Relativity and Gravitation, Vol. 8, No. 7 (1977), pp. 497-513.
- [8] Nagel Moritz, Parker Stephen R., Kovalchuk Evgeny V., Stanwix Paul L., Hartnett John G., Ivanov Eugene N., Peters Achim, Tobar Michael E., *Direct terrestrial test of Lorentz symmetry in electrodynamics to  $10^{-18}$* , Nature Communications 6, Article number: 8174, 1 september 2015, DOI: 10.1038/ncomms9174.

