

EXPERIMENTUL MICHELSON – MORLEY

AȘA CUM TREBUIE INTERPRETAT

Vasile Băbuț , România

babutvasile1@gmail.com

Rezumat. *In această lucrare explic de ce franjele de interferență nu trebuie să se miște , la rotirea interferometrului lui Michelson.*

Mișcările de translație ale oglinzilor pot produce efecte de rotire pentru aceste oglinzi. Când interferometrul se rotește, porțiunile din fasciculele coerente care se suprapun și interferează, se schimbă mereu. Modificările timpilor în care fasciculele luminoase străbat brațele interferometrului și efectele de rotire ale oglinzilor produc efecte inverse asupra franjelor. Aceste efecte se anulează reciproc.

Cuvinte cheie : *Michelson, interferometru, franje de interferență, efect de rotire al oglinzilor.*

INTRODUCERE.

Pentru a înțelege și explica fenomenele complexe care au loc într-un interferometru Michelson trebuie analizate cu mare grijă comportările componentelor acestui dispozitiv : oglinzi, medii transparente, în diverse situații. La tratarea reflexiilor și refracțiilor s-a recurs la principiul lui Huygens.

În cazul reflexiei, rezultatul procesului care se produce pe o porțiune a oglinzii unde a ajuns frontul luminos la un moment dat, se combină cu rezultatul procesului care se produce pe porțiunea vecină a oglinzii unde a ajuns frontul incident la momentul următor, ș.a.m.d.

Dacă oglinda este în repaus, sau dacă oglinda se mișcă pe o linie conținută în planul ei, sau la incidență normală , porțiunile oglinzii atinse de frontul incident, descriu chiar suprafața oglinzii. Această suprafață care corespunde cu suprafața oglinzii reflectă lumina.

Dacă oglinda se mișcă altfel, porțiunile “măsurate” de frontul de lumină incident, deși sunt ale oglinzii , dar la momente și poziții diferite, descriu o suprafață care nu mai coincide cu suprafața oglinzii. De aceea mișcarea oglinzii poate avea ca efect o rotire a ei. Trebuie reevaluate unghiurile de incidență și de reflexie pentru că de fapt suprafața rotită reflectă lumina.

Si suprafețele mediilor transparente suferă efectul de rotire datorită mișcării lor , dar la refracția luminii prin ele, se reevaluează unghiurile de incidență și de refracție , respectându-se legile cunoscute.

Efectele de rotire ale oglinzilor, datorită mișcării lor odată cu Pământul, aduc noi cauze deplasării franjelor în cazul experimentului Michelson - Morley dar **în sens invers** celei datorate modificării timpilor în care fasciculele luminoase străbat brațele interferometrului. La rotirea interferometrului, se modifică timpii de parcurgere a brațelor interferometrului de către fasciculele de lumină, dar și unghiul dintre direcțiile fasciculelor care interferează .După reflexii și refracții, axele fasciculelor ajung la oglinda semiargintată la momente de timp diferite deci în poziții diferite.

Există însă poziții ale interferometrului pentru care timpii de parcurgere a brațelor lui de către fasciculele de lumină sunt egali și fasciculele se suprapun perfect. O astfel de poziție, este prezentată în acest studiu (interferometrul rotit la 45°) . Trecând de această poziție, rotind

interferometrul, unghiul dintre fasciculele de lumină care interferează crește. Fasciculele își schimbă locul între ele, astfel că cel care ajunge mai repede în zona de interferență are axa tot timpul de aceeași parte (dreapta în cazul din lucrare). Zona de interferență trece prin aceleași stări ca și înainte de 45° , deci în care franjele nu trebuie să se miște. Același fenomen se întâmplă și la unghiurile de rotire ale interferometrului de 135° , 225° și 315° ,

Unghiurile sunt foarte importante, apar în calcule și trebuie exprimate în funcție de c - viteza luminii și v - viteza Pământului.

Indiferent de mediul în care se află, că antrenează lumina sau nu, interferometrul arată același lucru : franjele de interferență nu se mișcă la rotirea lui.

În fragmentul de lucrare prezentat, sunt selectate trei poziții ale interferometrului : la 0° , 90° și 45° cu calculele și analizele corespunzătoare din care rezultă de ce franjele nu trebuie să se miște, și oferă posibilitatea verificării practice a teoriei expuse. .

Se consideră că lumina nu este antrenată de Pământ, deci se propagă independent de ce fac corpurile din vecinătate.

PARTEA I

EXPERIMENTUL MICHELSON - MORLEY ANALIZAT FATA DE SISTEMUL DE REFERINȚA CONSIDERAT FIX (SYSTEM S)

I. 1 INTERFEROMETRUL MICHELSON ÎNAINTE DE ROTIRE

Interferometrul, înainte de rotire, este reprezentat simplificat în figura 1. Brațele lui au,

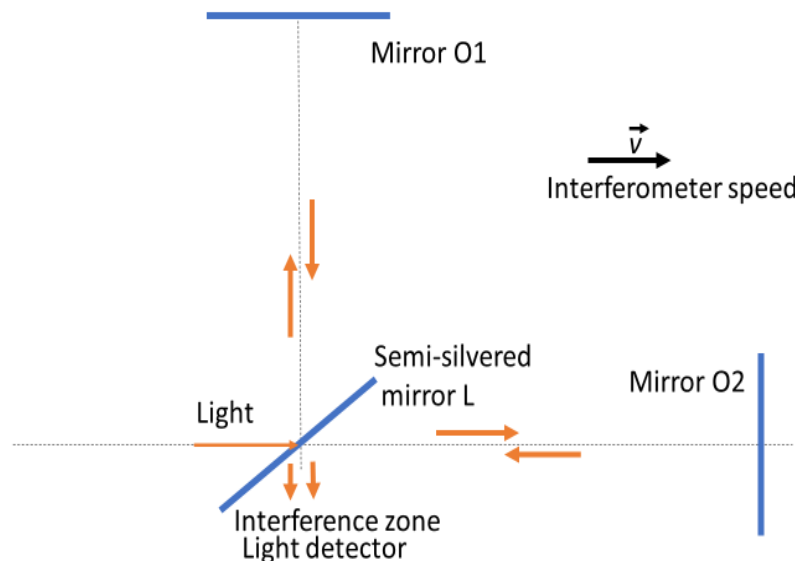


Fig. 1

fiecare, lungimea L . Față de sistemul de referință considerat fix (SYSTEM S), interferometrul împreună cu Pământul se mișcă spre dreapta cu viteza v . Lumina, nefiind antrenată, se propagă independent

Fasciculul de lumină cu frontul de undă plan (pentru simplificare) este reflectat de oglinda semiargintată **L** conform principiului lui Huygens La momentul inițial, fasciculul atinge oglinda **L** în porțiunea **A** care emite unde elementare sferice (Fig. 2). După timpul θ fasciculul atinge oglinda **L** în porțiunea **B**. În acest timp, lumina a străbătut distanța $c\theta$, iar oglinda **L** distanța $v\theta$. Fasciculul incident este reflectat de suprafața cu secțiunea **AB**, deci deplasarea spre dreapta a interferometrului are ca efect o rotire a oglinzii **L** cu un unghi ψ în sensul acelor de ceas. Toate punctele situate între **A** și **B** emit unde elementare a căror tangentă dă frontul de undă reflectat

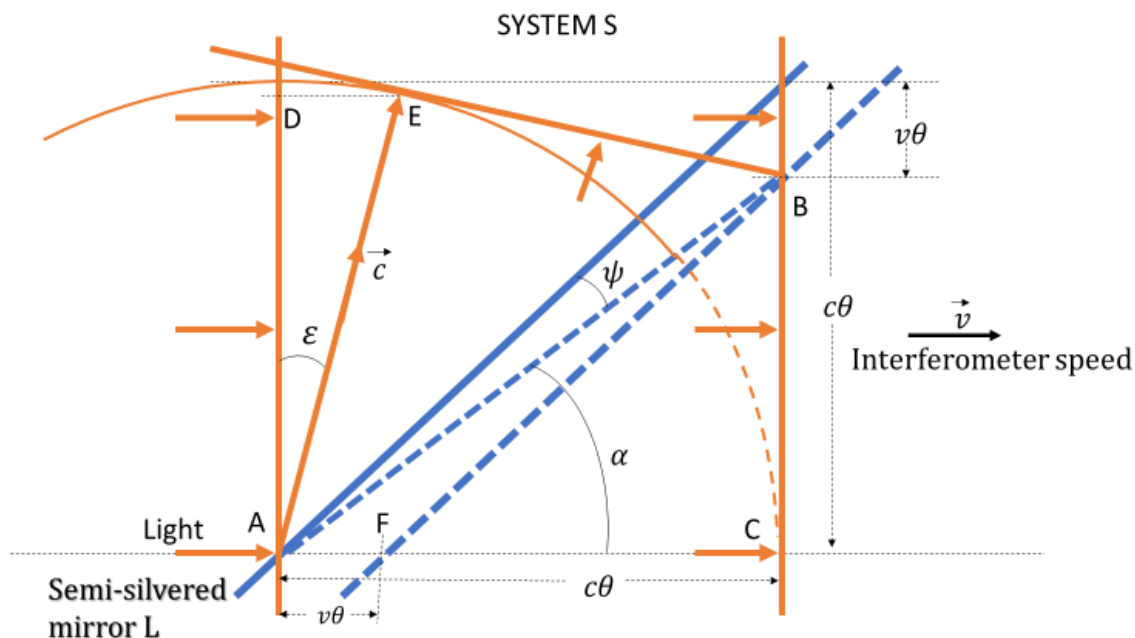


Fig. 2 Frontul luminos străbate distanța AC iar oglinda L distanța AF .Frontul de lumină atinge succesiv regiunile oglinzii L cuprinse între A și B. Aceste regiuni determină suprafața reflectatoare cu secțiunea AB . Axa AE a fasciculului reflectat spre oglinda O1 face unghiul ε cu brațul L-O1 al interferometrului.

Direcția de propagare a fasciculului reflectat (perpendiculară pe front) face unghiul ε cu perpendiculara la oglinda **O1** și :

$$\varepsilon = 2\psi \quad (1)$$

deoarece rotirea oglinzii **L**, ca efect al mișcării cu unghiul ψ , determină deviația fasciculului reflectat cu unghiul 2ψ . Unghiul ψ se poate exprima în funcție de unghiul α :

$$\psi = 45 - \alpha \quad (\text{Fig.2})$$

$$\varepsilon = 90 - 2\alpha \quad \text{și atunci}$$

$$\sin \varepsilon = \sin(90 - 2\alpha) = \cos 2\alpha$$

Din triunghiul **ABC** rezultă:

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{BC}{AC} = \frac{c\theta - v\theta}{c\theta} = \frac{c - v}{c}$$

Asa că :

$$\sin \varepsilon = \cos 2\alpha = \frac{1 - \operatorname{tg}^2 \alpha}{1 + \operatorname{tg}^2 \alpha} = \frac{1 - \left(\frac{c-v}{c}\right)^2}{1 + \left(\frac{c-v}{c}\right)^2} = \frac{c^2 - (c-v)^2}{c^2 + (c-v)^2} \quad (2)$$

Dacă componenta spre dreapta a vitezei luminii reflectate de oglinda **L** ar fi **v**, atunci ar trebui

ca: $\sin \varepsilon = \frac{v}{c}$ din triunghiul **ADE**

Însă frontul de undă are altă înclinare (Fig. 2) și nu trece nici prin **D** și nici la distanța **cθ** față de **A**. De aceea :

$$\frac{c^2 - (c-v)^2}{c^2 + (c-v)^2} > \frac{v}{c}$$

deci, componenta spre dreapta a vitezei luminii reflectate de oglinda **L** este mai mare decât **v**, adică mai mare decât viteza oglinzii **L**. Această componentă are valoarea:

$$v' = c \cdot \sin \varepsilon = \frac{c[c^2 - (c-v)^2]}{c^2 + (c-v)^2} \quad (3)$$

S-a respectat ipoteza făcută inițial, că lumina nu este antrenată de către Pământ, (deci nici de interferometru) .Dacă se consideră că lumina este antrenată, atunci reflexiile se produc altfel. Componenta spre dreapta a vitezei luminii ar putea fi egală cu viteza interferometrului și a Pământului dacă lumina ar fi total antrenată de Pământ

Aplicând principiul lui Huygens la reflexia pe oglinda **O1**, care se mișcă pe o linie conținută în planul ei, se obține pentru unghiul de reflexie pe această oglindă tot **ε**. Suprafața care reflectă lumina coincide cu suprafața oglinzii **O1**. Porțiunea din jurul punctului **A** a fasciculului incident ajunge, după reflexia pe oglinda **O1**, înapoi la nivelul punctului **A**, înaintea oglinzii **L** (Fig. 3).

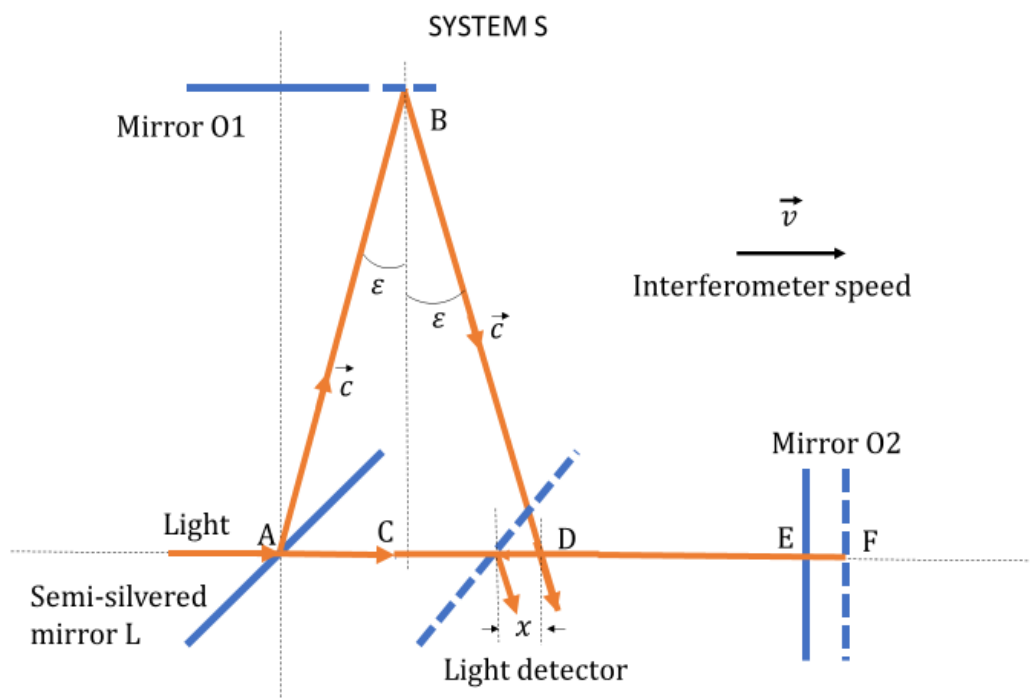


Fig. 3 Axa fascicului reflectat de oglinda O1 ajunge la nivelul brațului L-O2 al interferometrului în D, înaintea oglinzii L în dreapta .Axa fascicului care vine de la oglinda O2 atinge oglinda L la distanța x față de D, în stanga .

Timpul t_1 în care lumina străbate distanța de la A la oglinda O1 și înapoi la nivelul lui A se compune din:

t'_1 = timpul în care lumina străbate distanța A – B ;

t''_1 = timpul în care lumina parcurge distanța de la B la nivelul punctului A, în D :

$$t_1 = t'_1 + t''_1 \quad (4)$$

Din triunghiul dreptunghic ABC se poate scrie:

$$c^2 t'^2_1 = l^2 + v'^2 t'^2_1 \quad (5)$$

Deci

$$t'_1 = \frac{l}{\sqrt{c^2 - v'^2}} = \frac{l[c^2 + (c-v)^2]}{2c^2(c-v)} \quad (6)$$

Analog, din triunghiul BDC congruent cu ABC se determină t''_1 :

$$t''_1 = \frac{l[c^2 + (c-v)^2]}{2c^2(c-v)} \quad (7)$$

deci:

$$t_1 = t'_1 + t''_1 = \frac{l[c^2 + (c-v)^2]}{c^2(c-v)} \quad (8)$$

Timpul t_2 în care lumina străbate distanța **L-O2-L** se calculează ușor:

$$t_2 = \frac{l}{c-v} + \frac{l}{c+v} = \frac{2lc}{c^2 - v^2} \quad (9)$$

În această situație t_2 este mai mare decât t_1 , diferența fiind:

$$\Delta t = t_2 - t_1 = \frac{2lc}{c^2 - v^2} - \frac{l[c^2 + (c-v)^2]}{c^2(c-v)} = \frac{lv^2}{c^2(c+v)}$$

Axa fasciculului de lumină care vine de la **O1**, suferă o deplasare în dreapta celei care vine de la **O2** pe distanța x .

$$x = v' \cdot t_1 - v \cdot t_2 = \frac{c[c^2 - (c-v)^2]}{c^2 + (c-v)^2} \cdot \frac{l[c^2 + (c-v)^2]}{c^2(c-v)} - \frac{2lcv}{c^2 - v^2} = \frac{lv^2}{c(c+v)}$$

Deci înainte de rotire :

$$\Delta t = \frac{lv^2}{c^2(c+v)} \quad \text{și} \quad x = \frac{lv^2}{c(c+v)} \quad (10)$$

iar axa fasciculului de lumină care ajunge mai repede (de la **O1**), este deviată în dreapta față de cealaltă (de la **O2**).

I. 2 INTEFEROMETRUL MICHELSON ROTIT CU 90°

Interferometrul rotit cu 90° în sensul invers acelor de ceas, este reprezentat în figura 4 în aceeași poziție ca și în figura 1, dar cu sensul lui v schimbat în mod corespunzător, pentru o mai ușoară comparație între cele două situații : înainte și după rotire. Întreaga dinamică a fenomenului este redată în cazurile în care lumina reflectată de oglinda **O2** ajunge în centrul oglinzii **L** tot pentru a facilita comparațiile.

După cele două refracții pe suprafețele mediului cu fețele plane și paralele ale oglinzii **L** (rotite cu unghiul ψ ca efect al mișcării), lumina care iese spre **O2** este paralelă cu lumina care intră în **L**.

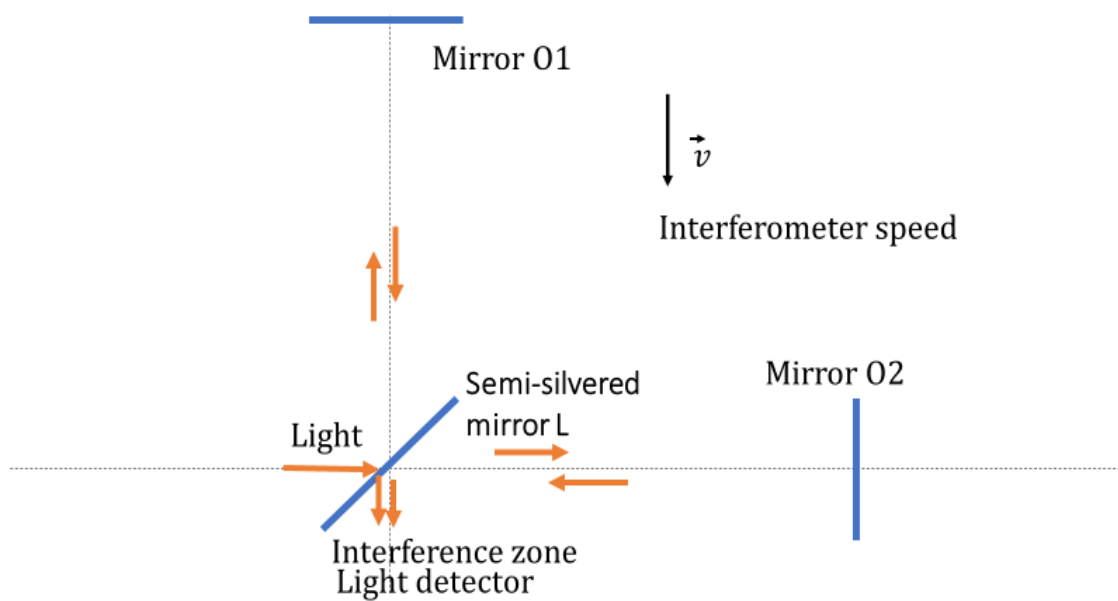


Fig. 4

In centrul oglinzii **L** o să ajungă, după reflexia pe oglinda **O2**, porțiunea din frontul de undă inițial care trece prin punctul **A** de pe oglinda **L**. Punctul **A** are nivelul situat la distanța **d**, “mai jos” față de centrul oglinzii **L**. Cât timp lumina străbate drumul **L-O2-L**, centrul oglinzii, adică punctul **C**, se deplasează pe distanța **d**, venind în întâmpinarea luminii reflectate de **O2**.(Fig. 5)

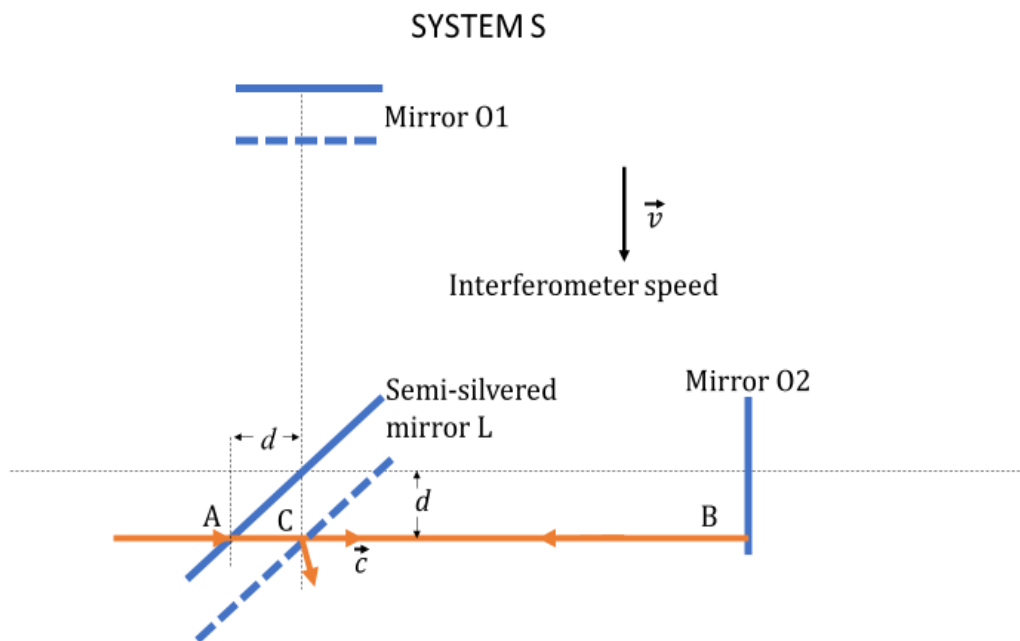


Fig. 5 Lumina este emisă pe direcția brațului L-O2 al interferometrului și se propagă independent, pe drumul A-B-C. Deoarece lumina vine perpendicular pe oglinda O2, ea este reflectată pe același drum. În timpul în care lumina străbate distanța A-B-C, oglinda L se mișcă pe distanța d.

τ_2 = timpul în care lumina străbate distanța **A-B-C** se calculează așa:

$$\tau_2 = \frac{2l + d}{c} \quad (11)$$

dar : $d = v\tau_2$ (12)

deci :

$$\tau_2 = \frac{2l + v\tau_2}{c}$$

de unde se exprimă τ_2 și d :

$$\tau_2 = \frac{2l}{c-v} \quad \text{și} \quad d = \frac{2lv}{c-v} \quad (13)$$

La reflexia luminii pe oglinda **L** se observă același efect ca și înainte de rotire: mișcarea oglinzii **L** are ca efect rotirea ei cu unghiul ψ în sensul acelor de ceas. Deci spre **O1**, lumina vine sub unghiul de incidență ε . (Fig. 6).

Primul punct de pe **O1** atins de lumina care vine de la **L** este **A**, iar ultimul punct este **B**. Suprafața reală care reflectă lumina face unghiul ψ' cu oglinda **O1**. Datorită mișcării oglinzii **O1** în întâmpinarea luminii reflectate de **L** și datorită efectului de rotire, unghiul sub care vine lumina înapoi spre **L** fata de bratul **L- O1** va fi ε' . Pentru a calcula componenta spre dreapta a vitezei luminii reflectate de **O1** este nevoie de $\sin \varepsilon'$

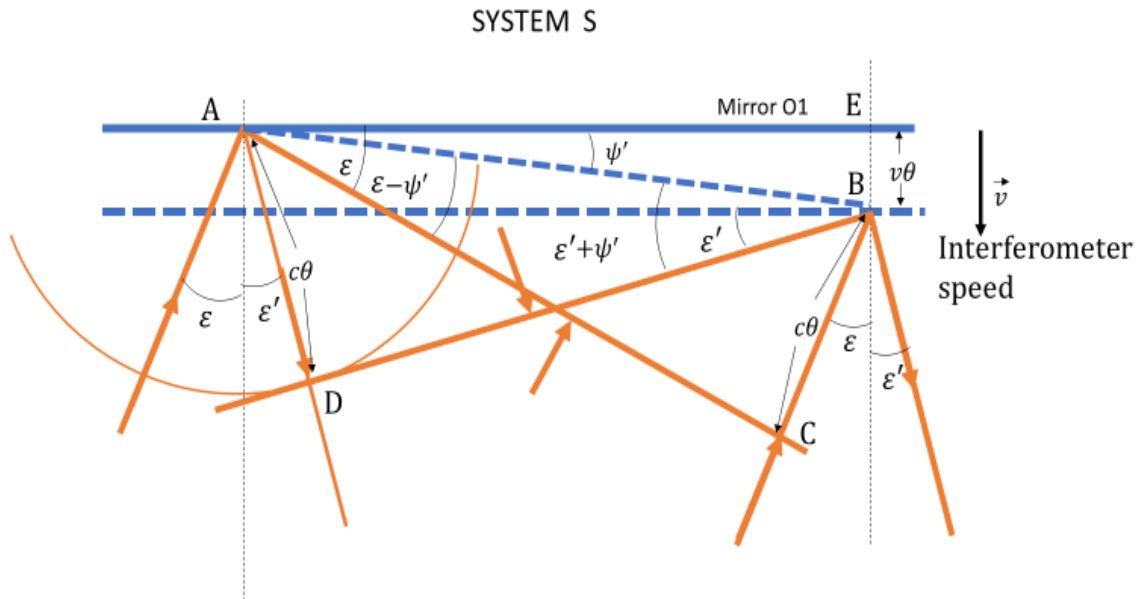


Fig. 6 Lumina strabate distanța CB, iar oglinda O1 distanța EB. Frontul luminos incident AC, atinge succesiv zonele oglinzii O1 între A și B, determinând suprafața reflectătoare cu secțiunea AB.

Din triunghiurile **ABC** și **ABD** egale, rezultă:

$$\varepsilon - \psi' = \varepsilon' + \psi' \quad \text{deci:}$$

$$\varepsilon' = \varepsilon - 2\psi' \quad (14) \quad \text{și atunci:}$$

$$\sin \varepsilon' = \sin(\varepsilon - 2\psi') = \sin \varepsilon \cdot \cos 2\psi' - \sin 2\psi' \cdot \cos \varepsilon$$

Din triunghiul **ABE**:

$$\sin \psi' = \frac{v\theta}{AB}$$

iar din triunghiul **ABC** :

$$\sin(\varepsilon - \psi') = \frac{c\theta}{AB}$$

Prin împărțirea ultimelor două relații se obține:

$$\frac{\sin \psi'}{\sin(\varepsilon - \psi')} = \frac{v}{c}$$

de unde :

$$c \sin \psi' = v \sin \varepsilon \cdot \cos \psi' - v \cos \varepsilon \cdot \sin \psi'$$

iar prin împărțirea cu $\cos \psi'$

$$c \cdot \operatorname{tg} \psi' = v \cdot \sin \varepsilon - v \cos \varepsilon \cdot \operatorname{tg} \psi' \quad \text{și}$$

$$\operatorname{tg} \psi' = \frac{\sin \varepsilon}{\frac{c}{v} + \cos \varepsilon}$$

În această situație:

$$\begin{aligned} \sin \varepsilon' &= \frac{1 - \operatorname{tg}^2 \psi'}{1 + \operatorname{tg}^2 \psi'} \cdot \sin \varepsilon - \frac{2 \operatorname{tg} \psi'}{1 + \operatorname{tg}^2 \psi'} \cos \varepsilon = \frac{\left[1 - \frac{\sin^2 \varepsilon}{\left(\frac{c}{v} + \cos \varepsilon\right)^2} \right] \sin \varepsilon - \frac{2 \sin \varepsilon}{\frac{c}{v} + \cos \varepsilon} \cos \varepsilon}{1 + \frac{\sin^2 \varepsilon}{\left(\frac{c}{v} + \cos \varepsilon\right)^2}} = \\ &= \frac{(c^2 - v^2) \sin \varepsilon}{c^2 + v^2 + 2cv \cdot \cos \varepsilon} \end{aligned}$$

Se calculează mai departe:

$$\cos \varepsilon = \sqrt{1 - \sin^2 \varepsilon} = \frac{2c(c-v)}{c^2 + (c-v)^2} \quad (15) \quad \text{deci :}$$

$$\begin{aligned} \sin \varepsilon' &= \frac{c^2 - (c-v)^2}{c^2 + (c-v)^2} \cdot \frac{c^2 - v^2}{c^2 + v^2 + 2cv \frac{2c(c-v)}{c^2 + (c-v)^2}} = \\ &= \frac{(2cv - v^2)(c^2 - v^2)}{2c^4 + 2c^3v - c^2v^2 - 2cv^3 + v^4} \end{aligned} \quad (16)$$

Componenta spre dreapta a vitezei luminii reflectate de oglinda **O1** spre oglinda **L** este:

$$v'' = c \cdot \sin \varepsilon' = \frac{c(2cv - v^2)(c^2 - v^2)}{2c^4 + 2c^3v - c^2v^2 - 2cv^3 + v^4} \quad (17)$$

Timpul necesar luminii pentru a parcurge distanța **L-O1-L** (Fig. 7) este τ_1 , format din :

τ'_1 = timpul în care lumina parcurge distanța **AD** și

τ''_1 = timpul în care lumina parcurge drumul **DG**

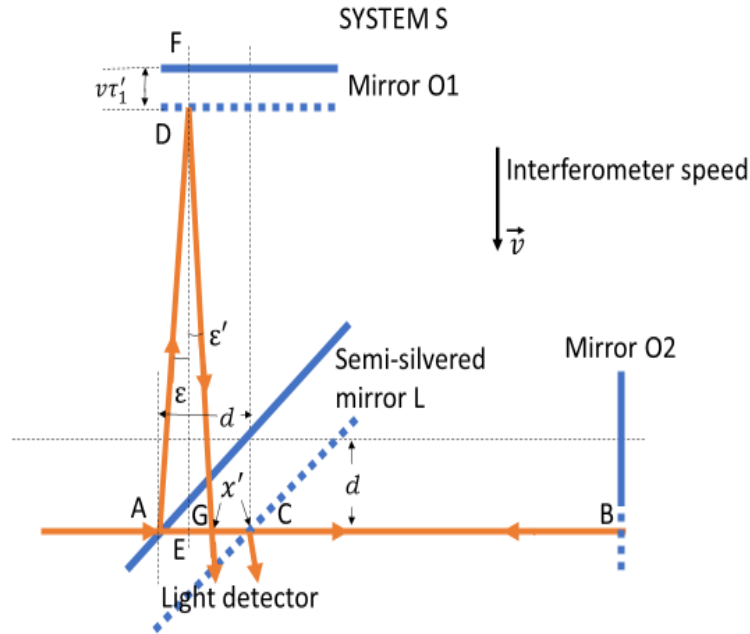


Fig. 7 În timp ce lumina străbate distanța AD, oglinda O1 se deplasează pe distanța FD. Lumina reflectată de oglinda O1 trece prin G, situat la nivelul la care lumina intră în interferometru (AGB)

Din triunghiul **ADE**:

$$c^2 \tau_1'^2 = (l + d - v\tau_1')^2 + v'^2 \tau_1'^2 \quad (18) \quad \text{iar de aici:}$$

$$\tau_1' = \frac{l + d}{\sqrt{c^2 - v'^2} + v} = \frac{l + \frac{2lv}{c-v}}{\frac{2c^2(c-v)}{c^2 + (c-v)^2} + v} = \frac{l(c+v)[c^2 + (c-v)^2]}{(c-v)(2c^3 - 2cv^2 + v^3)} \quad (19)$$

Din triunghiul **DGE**:

$$c^2 \tau_1''^2 = (l + d - v\tau_1')^2 + v''^2 \tau_1''^2 \quad (20) \quad \text{deci :}$$

$$\tau_1'' = \frac{l + d - v\tau_1'}{\sqrt{c^2 - v''^2}}$$

În această expresie :

$$\sqrt{c^2 - v''^2} = \frac{2c^3(c^2 + cv - v^2)}{2c^4 + 2c^3v - c^2v^2 - 2cv^3 + v^4} \quad (21)$$

Inseamnă că:

$$\tau_1'' = \frac{l + \frac{2lv}{c-v} - \frac{v(lc+lv)[c^2+(c-v)^2]}{(c-v)(2c^3-2cv^2+v^3)}}{\frac{2c^3(c^2+cv-v^2)}{2c^4+2c^3v-c^2v^2-2cv^3+v^4}} = \frac{l(c+v)(2c^4+2c^3v-c^2v^2-2cv^3+v^4)}{c(c^2+cv-v^2)(2c^3-2cv^2+v^3)} \quad (22)$$

și :

$$\begin{aligned} \tau_1 &= \tau_1' + \tau_1'' = \frac{l(c+v)[c^2 + (c-v)^2]}{(c-v)(2c^3 - 2cv^2 + v^3)} + \frac{l(c+v)(2c^4 + 2c^3v - c^2v^2 - 2cv^3 + v^4)}{c(c^2 + cv - v^2)(2c^3 - 2cv^2 + v^3)} = \\ &= \frac{l(c+v)(2c^2 - v^2)}{c(c-v)(c^2 + cv - v^2)} \end{aligned} \quad (23)$$

Diferența de timp este :

$$\Delta\tau = \tau_2 - \tau_1 = \frac{2l}{c-v} - \frac{l(c+v)(2c^2 - v^2)}{c(c-v)(c^2 + cv - v^2)} = -\frac{lv^2}{c(c^2 + cv - v^2)}$$

După rotirea interferometrului τ_1 este mai mare decât τ_2 . Fasciculul de lumină care vine de la **O2** are axa în dreapta celei care vine de la **O1**, la distanța x' .

$$x' = d - v'\tau'_1 - v''\tau''_1 = \frac{2lv}{c-v} - \frac{c[c^2-(c-v)^2]}{c^2+(c-v)^2} \cdot \frac{l(c+v)[c^2+(c-v)^2]}{(c-v)(2c^3-2cv^2+v^3)} -$$

$$\frac{c(2cv-v^2)(c^2-v^2)}{2c^4+2c^3v-c^2v^2-2cv^3+v^4} \cdot \frac{l(c+v)(2c^4+2c^3v-c^2v^2-2cv^3+v^4)}{c(c^2+cv-v^2)(2c^3-2cv^2+v^3)} = \frac{lv^2}{c^2+cv-v^2}$$

Deci , după rotirea interferometrului :

$$\Delta\tau = -\frac{lv^2}{c(c^2+cv-v^2)} \quad \text{și} \quad x' = \frac{lv^2}{c^2+cv-v^2} \quad (24)$$

Axa fasciculului care ajunge mai repede (de la **O2** de data asta) vine tot în dreapta față de cealaltă, la fel ca înainte de rotire. Fasciculele s-au schimbat între ele. . Ar trebui ca :

$$\Delta\tau = \tau_1 - \tau_2$$

Deci zona de interferență după rotirea interferometrului, nu se schimbă semnificativ, rămâne practic aceeași ca și înainte deoarece:

- diferențele de timp sunt foarte apropiate;
- deplasările pe care le suferă fasciculele sunt și ele foarte apropiate ca valoare: fasciculul de lumină care ajunge mai repede la detectorul de lumina vine cu axa deplasată mereu în dreapta (de aceeași parte), în toata zona de interferență.

Și pentru alte unghiuri de rotire ale interferometrului: 180°, 270°, situația este aceeași .

Din situația dinainte de rotire se poate ajunge în situația de după rotire făcând următoarele operații:

1. se îndeplinește condiția $\Delta\tau < 0$
 - a. se mărește drumul **L-O1-L** pentru că $\tau_1 - t_1 > 0$; franjele se deplasează într-un sens.
 - b. se mărește drumul **L-O2 -L** , mai puțin pentru că $\tau_2 - t_2 > 0$ și $\tau_2 - t_2 < \tau_1 - t_1$.;
 - c. franjele se deplasează în sens invers față de cel de la a) dar mai puțin.

Deci la 1. franjele se deplasează într-un sens : cel de la a)
2. Se rotește corespunzător oglinda **O1** (în sensul acelor de ceas – ca în această lucrare). Franjele de interferență se deplasează în sens invers față de situația descrisă la 1.

Cauzele (plural !) care deplasează franjele de interferență la rotirea interferometrului dau efecte inverse care practic se anulează. . Oricine are un interferometru Michelson, poate verifica pas cu pas comportarea franjelor, la fiecare operație indicată la punctele 1 și 2 și să-și dea seama de ce franjele de interferență nu trebuie practic să se deplaseze la rotirea interferometrului .

Deplasările x , x' și unghiurile dintre axele fasciculelor reflectate , toate variabile în cursul rotirii interferometrului, sunt atât de mici încât s-a crezut că nu există. Dar tocmai aceste elemente **nu trebuie neglijate** pentru a explica rezultatul practic al acestui important experiment.

I. 3 INTEFEROMETRUL MICHELSON ROTIT CU 45°

Interferometrul rotit cu 45 de grade în sens invers acelor de ceas, este reprezentat în figura 8, cu sensul lui v corespunzător. În calculele care urmează, unele notații se repetă, dar mărimile pe care le reprezintă au valori care corespund doar acestui caz.

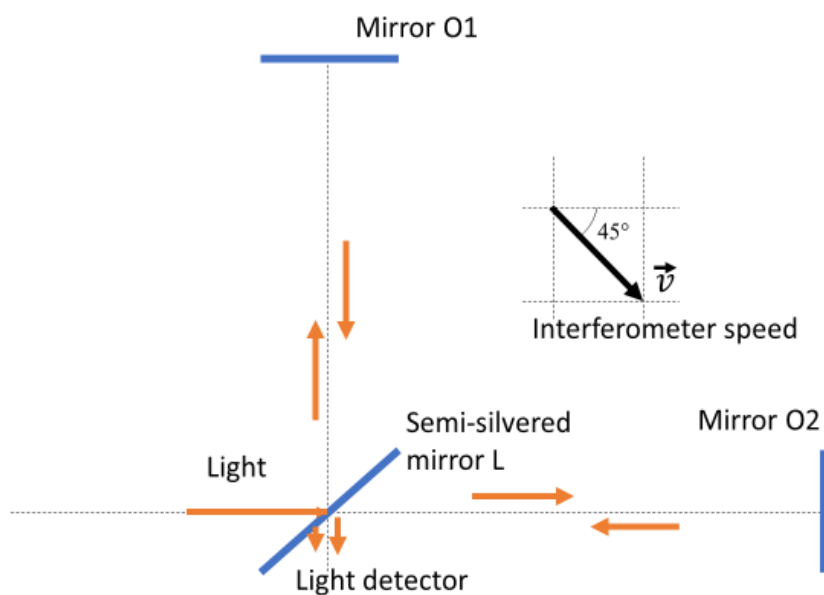


Fig. 8

În acest caz, fasciculele de lumină se suprapun perfect (Fig 9), axele lor ajung în același loc la oglinda semiargintată și timpii de parcurgere a brațelor interferometrului sunt egali.

Detectorul analizează lumina care ajunge la el, în urma reflexiilor, din regiunea centrului oglinzii L. După reflexia pe oglinda O2, în centrul oglinzii L (în C) va ajunge lumina care intră în interferometru la distanța d “mai jos”(pe figura 9) față de centrul oglinzii L (prin A) , astfel că în timpul în care lumina străbate distanța L-O2-L, centrul oglinzii L vine în întâmpinarea luminii reflectate de O2.

Este convenabil să se efectueze calculele cu v^* - componenta vitezei Pământului paralelă cu brațul L -O2 sau L-O1 al interferometrului

$$v^* = \frac{v}{\sqrt{2}} \quad (25)$$

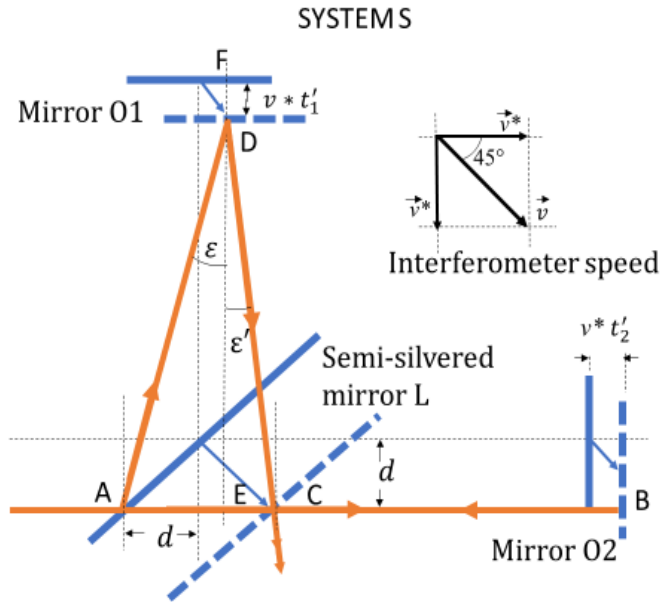


Fig. 9 Fasciculele de lumină pornesc din zona A a oglinzii L .Dupa reflexii ajung înapoi în centrul oglinzii L, suprapunându-se perfect

Timpul în care lumina străbate distanța **L-O2-L** este:

$$t_2 = t'_2 + t''_2$$

cu t'_2 -la dus spre **O2** (pe drumul AB) și t''_2 - la întoarcere spre **L** (pe distanța BC)

$$ct'_2 = l + d + v^* t'_2 \quad \text{de unde:} \quad t'_2 = \frac{l + d}{c - v^*}$$

$$\text{La întoarcere :} \quad ct''_2 = l - d + v^* t''_2 \quad \text{rezultând:}$$

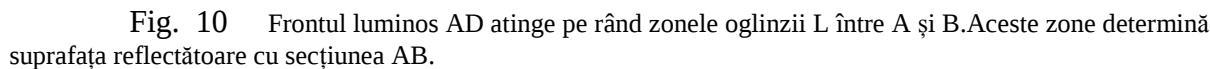
$$t''_2 = \frac{l - d}{c - v^*} \quad (26)$$

Dar: $d = v^* t_2$ și atunci:

$$t_2 = t'_2 + t''_2 = \frac{2lc}{c^2 - c v^* - 2 v^{*2}} \quad (27)$$

și

$$d = \frac{2lc v^*}{c^2 - c v^* - 2 v^{*2}} \quad (28)$$

$$\sin \varepsilon = \cos 2 \alpha = \frac{1 - t g^2 \alpha}{1 + t g^2 \alpha} = \frac{c^2 - (c - 2 v^*)^2}{c^2 + (c - 2 v^*)^2} = \frac{2 v^* (c - v^*)}{c^2 - 2 c v^* + 2 v^{*2}} \quad (29)$$
$$v' = c \cdot \sin \varepsilon = \frac{c[c^2 - (c - 2v^*)^2]}{c^2 + (c - 2v^*)^2} = \frac{2c v^* (c - v^*)}{c^2 - 2c v^* + 2v^{*2}} \quad (30)$$

$$t_1 = t'_1 + t''_1$$
$$c^2 t_1'^2 = (l + d - v * t_1')^2 + v^2 t_1'^2$$

Deci:

$$t'_1 = \frac{l+d}{\sqrt{c^2-v'^2} + v^*}$$

În această ecuație :

$$\sqrt{c^2-v'^2} = \sqrt{(c+v')(c-v')} = \frac{c^2(c-2v^*)}{c^2-2cv^*+2v^{*2}}$$

astfel că se poate afla t'_1 după înlocuirea lui d și a radicalului:

$$t'_1 = \frac{l(c+2v^*)(c^2-2cv^*+2v^{*2})}{(c^2-2v^{*2})(c^2-cv^*-2v^{*2})} \quad (31)$$

Lumina reflectată de oglinda **O1** în mișcare, vine spre oglinda **L** sub un unghi ε' (Fig.11)

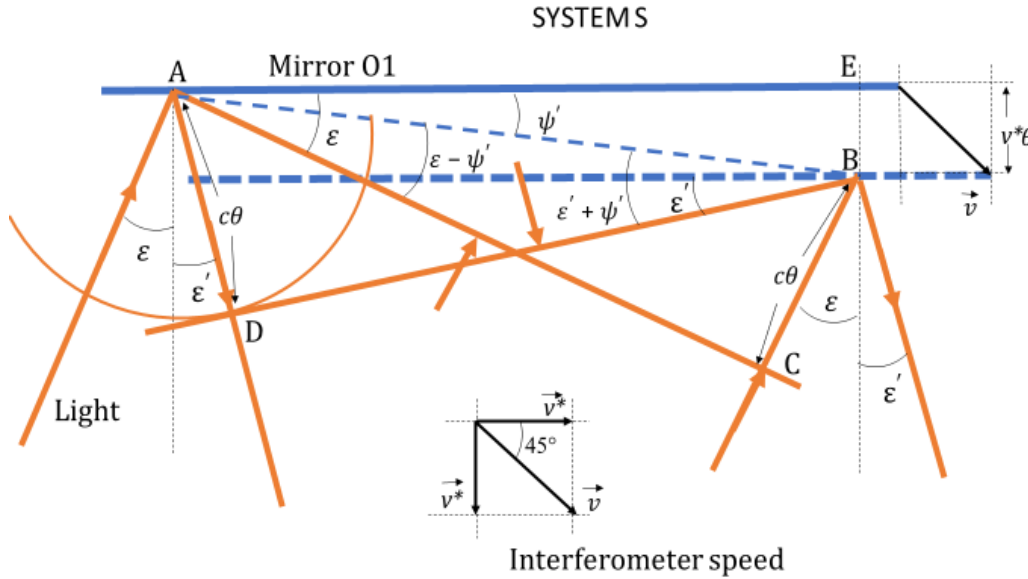


Fig. 11 Frontul de undă luminos AC atinge succesiv zonele oglinzii O1, între A și B. Suprafața cu secțiunea AB reflectă lumina spre oglinda L.

Pentru acest unghi $\varepsilon' = \varepsilon - 2\psi'$ calculele se fac la fel cu cele corespunzătoare cazului ilustrat în figura 6, doar că în noile calcule apare componenta v^*

$$\sin \varepsilon' = \frac{(c^2-v^{*2})\sin \varepsilon}{c^2+v^{*2}+2cv^*\cos \varepsilon}$$

Înlocuind sinusul cunoscut și cosinusul, calculat așa:

$$\cos \varepsilon = \sqrt{1 - \sin^2 \varepsilon} = \sqrt{(1 - \sin \varepsilon)(1 + \sin \varepsilon)} = \frac{c(c - 2v^*)}{c^2 - 2c v^* + 2 v^{*2}}$$

Se obține :

$$\sin \varepsilon' = \frac{2v^*(c + v^*)}{c^2 + 2c v^* + 2 v^{*2}} \quad (32)$$

Deci componenta spre dreapta a vitezei luminii care vine spre **L** este:

$$v'' = c \sin \varepsilon' = \frac{2cv^*(c + v^*)}{c^2 + 2c v^* + 2 v^{*2}} \quad (33)$$

Din figura 11 se poate deduce ecuatia care contine pe t_1'' :

$$c^2 t_1''^2 = (l + d - v^* t_1')^2 + v''^2 t_1''^2 \quad \text{deci:}$$

$$t_1'' = \frac{l + d - v^* t_1'}{\sqrt{c^2 - v''^2}} \quad \text{dar aici:}$$

$$\sqrt{c^2 - v''^2} = \sqrt{(c + v'')(c - v'')} = \frac{c^2(c + 2v^*)}{c^2 + 2c v^* + 2 v^{*2}}$$

așa că după înlocuirea lui d , a radicalului , și efectuarea calculelor :

$$t_1'' = \frac{l(c - 2v^*)(c^2 + 2c v^* + 2 v^{*2})}{(c^2 - 2v^{*2})(c^2 - c v^* - 2 v^{*2})} \quad (34) \quad \text{și:}$$

$$\begin{aligned} t_1 = t_1' + t_1'' &= \frac{l(c + 2v^*)(c^2 - 2c v^* + 2 v^{*2})}{(c^2 - 2v^{*2})(c^2 - c v^* - 2 v^{*2})} + \frac{l(c - 2v^*)(c^2 + 2c v^* + 2 v^{*2})}{(c^2 - 2v^{*2})(c^2 - c v^* - 2 v^{*2})} = \\ &= \frac{2lc}{c^2 - c v^* - 2 v^{*2}} \quad (35) \end{aligned}$$

$$\text{Evident că :} \quad t_1 = t_2 \quad \text{deci} \quad \Delta t = 0$$

În figura 9 se arată că axele fasciculelor de lumină se despart în punctul **A** de pe oglinda **L** și se suprapun în punctul **C**. Distanța **AC** = **2d**. Acest lucru se verifică clar dacă se efectuează:

$$v' t_1' + v'' t_1'' = \frac{2c v^*(c - v^*)}{c^2 - 2c v^* + 2 v^{*2}} + \frac{l(c + 2v^*)(c^2 - 2c v^* + 2 v^{*2})}{(c^2 - 2v^{*2})(c^2 - c v^* - 2 v^{*2})} +$$

$$+ \frac{2v^*(c + v^*)}{c^2 + 2c v^* + 2 v^{*2}} \frac{l(c - 2v^*)(c^2 + 2c v^* + 2 v^{*2})}{(c^2 - 2v^{*2})(c^2 - c v^* - 2 v^{*2})} = \frac{4 l c v^*}{c^2 - c v^* - 2 v^{*2}} = 2 d$$

Unghiul pe care îl formează cele două fascicule este nul. Lumina care vine de la oglinda **O2** este reflectată de oglinda semiargintată **L** în mișcare, sub un unghi β măsurat față de brațul **L – O1** al interferometrului (Fig.12), la fel ca și unghiul ϵ'

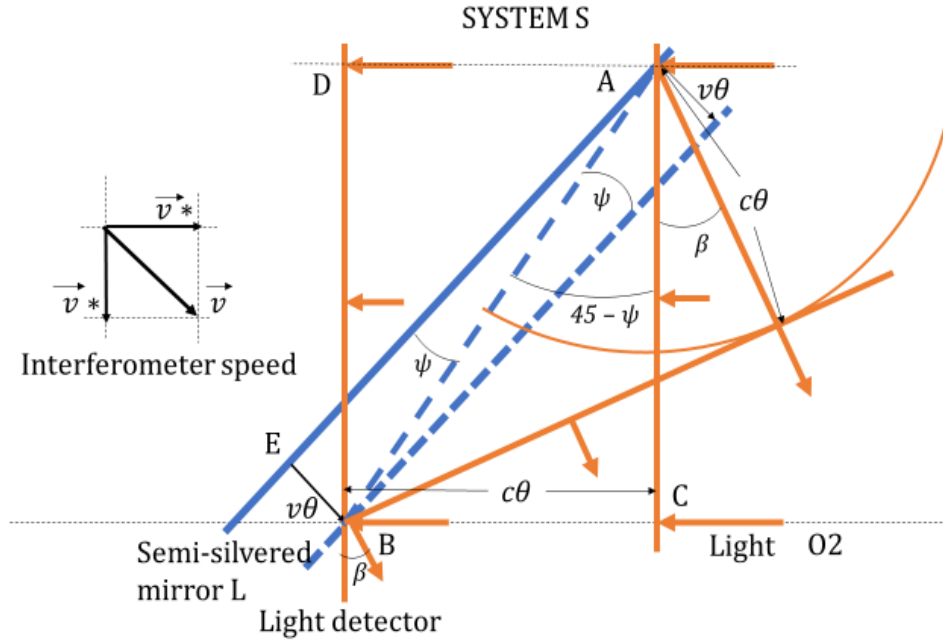


Fig . 12 Frontul de lumină venit de la oglinda O2 atinge porțiunile oglinzii L între A și B .Aceste porțiuni determină suprafața care reflectă lumina spre detectorul de lumină. Oglinda L reflectă lumina venit de la O2 sub unghiul β cu brațul L-O1 al interferometrului

$$\beta = 2 \psi \quad \text{din figura 12}$$

pentru că rotirea oglinzii cu unghiul ψ atrage rotirea fascicului reflectat cu 2ψ . Deci:

$$\sin \beta = \sin 2 \psi \quad (36)$$

și tot din figura 12 se vede că :

$$\sin (45 - \psi) = \frac{c \theta}{AB} \quad \text{si} \quad \sin \psi = \frac{v \theta}{AB}$$

iar prin împărțire :

$$\frac{\sin (45 - \psi)}{\sin \psi} = \frac{c}{v} \quad \text{iar prin dezvoltare :}$$

$$c \sin \psi = v \sin 45 \cos \psi - v \sin \psi \cos 45$$

Prin împărțirea cu $\cos \psi$ și după efectuarea calculelor numerice ținând seama și de faptul că

$$v = v^* \sqrt{2} \quad \text{se obține :}$$

$$\operatorname{tg} \psi = \frac{v^*}{c + v^*}$$

$$\text{și atunci : } \sin \beta = \sin 2\psi = \frac{2 \operatorname{tg} \psi}{1 + \operatorname{tg}^2 \psi} = \frac{2v^*(c + v^*)}{c^2 + 2c v^* + 2v^{*2}} = \sin \varepsilon'$$

$$\sin \beta = \sin \varepsilon' (37)$$

deci și unghiul dintre axele celor două fascicule de lumină care vin de la **O1** și **O2** și interferează este nul, adică cele două fascicule se suprapun perfect.

PARTEA A II - A

EXPERIMENTUL MICHELSON – MORLEY URMARIT DIN SISTEMUL DE REFERINTA PROPRIU, LEGAT DE INTERFEROMETRU (SYSTEM Sp)

Distanța pe care lumina o străbate de la sursa S până la un punct P se măsoară de la locul unde a fost S când a emis lumina până la locul unde este P când a ajuns lumina la el. Dacă P se îndepărtează față de locul unde a fost S, înseamnă că și locul unde a fost S se îndepărtează față de P. Din P se vede sursa S în locul unde a fost S atunci când a emis lumina, deși S nu mai este acolo. Fenomene similare se produc în multe situații și, bineînțeles, și într-un interferometru Michelson.

II. 1 INTERFEROMETRUL MICHELSON INAINTE DE ROTIRE

Față de observatorul din sistemul de referință legat de interferometru (SYSTEM Sp), locurile în care se produc fenomenele optice se deplasează spre stânga cu viteza v .

Prima porțiune a oglinzii **L** atinsă de frontal luminos inițial este **A**, iar după, timpul θ , ultima este **B** (Fig. 13). În acest interval de timp, față de observatorul din sistemul de referință legat de interferometru (SYSTEM Sp), locul din care au fost emise primele unde elementare (**A**), s-a deplasat în stânga pe distanța $v\theta$, îndepărtându-se de oglinda **L** (în **D**). Pentru observatorul din sistemul Sp, primele unde secundare au fost emise din **D**. Celelalte unde secundare sunt emise de porțiunile oglinzii **L** atinse de frontal de lumină incident între **D** și **B**. Tangenta la aceste unde secundare determină frontal luminos reflectat spre oglinda **O1**.

Unghiul dintre axa acestui fascicul și brațul **L-O1** al interferometrului este $\varepsilon = 2\psi$

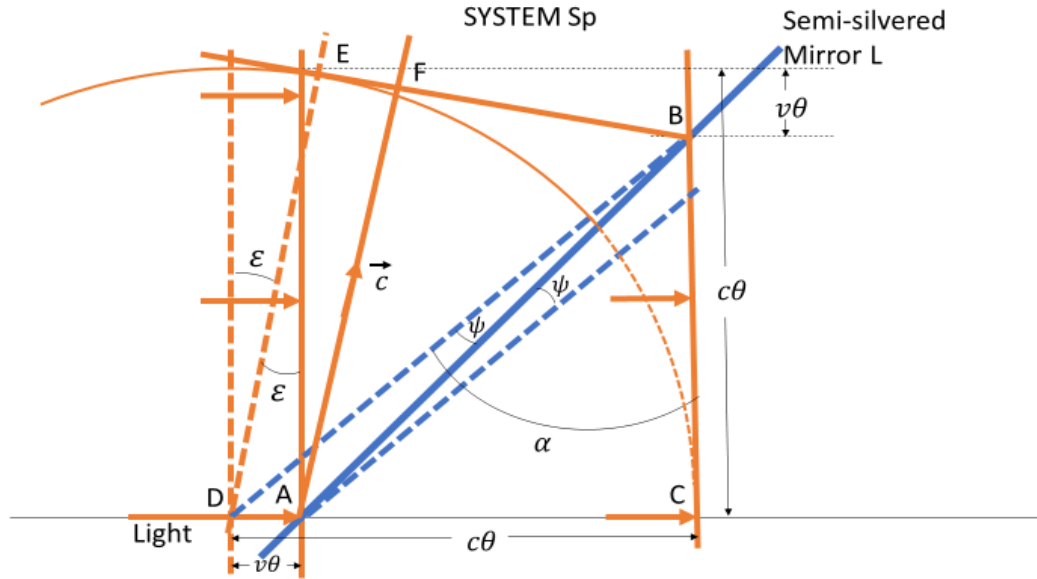


Fig. 13 Cât timp frontul de lumină AE s-a propagat în poziția CB, locul A de pe oglinda L de unde au fost emise primele unde elementare ,s-a deplasat spre stânga pe distanța AD. Lumina din A, ajunsă în C, este văzută de către observatorul din sistemul de referință Sp, ca venind din D. Frontul de lumină reflectat BFE este tangent la unda elementară emisă din D și de aceea suprafața reflectătoare are secțiunea DB..

Din triunghiul **BCD** se obține: $\psi = \alpha - 45$ deci :

$\sin \varepsilon = -\cos 2\alpha$ dar:

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{c}{c-v}$$

Si atunci: $\sin \varepsilon = \frac{c^2 - (c-v)^2}{c^2 + (c-v)^2}$ la fel ca și față de sistemul de referință considerat fix (SYSTEM S)

Componenta vitezei luminii reflectate spre oglinda **O1**, pe direcția bratului **L - O2** este:

$$v' = c \cdot \sin \varepsilon = \frac{c[c^2 - (c-v)^2]}{c^2 + (c-v)^2}$$

Față de sistemul de referință propriu, fiecare loc prin care trece lumina pe distanța **A -B-C**, (din figura 14) ,se mișcă spre stânga cu viteza **v**. De aceea drumul observat are forma din figura 14.

Idiferent de deplasările observate pe direcția brațului **L-O2**, față de sistemul legat de interferometru, componenta vitezei luminii pe direcția bratului **L-O1** rămâne aceeași: **$c \cdot \cos \varepsilon$**
Timpul în care lumina străbate drumul **L-O1-L** al interferometrului se poate calcula din ecuația:

$$c t_1 \cdot \cos \varepsilon = 2l$$

Si rezultă: $t_1 = \frac{l[c^2 + (c-v)^2]}{c^2(c-v)}$ de aceeași valoare ca și pentru observatorul din sistemul fix (SYSTEM S)

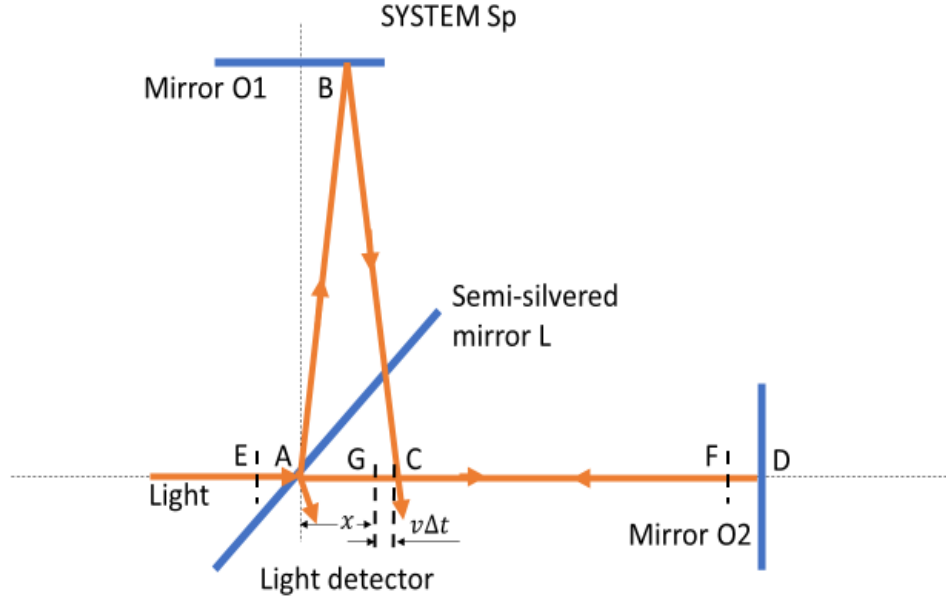


Fig. 14 . Fiecare loc pe unde trece lumina suferă o deplasare spre stânga cu viteza v . Forma drumului este cea din figură. Când lumina a ajuns la O2 în D, locul A de unde a pornit, s-a deplasat în E. De fapt, lumina a străbătut distanța ED. Când lumina atinge oglinda L în A, locul D se deplasează în F. Lumina reflectată de oglinda O1 ajunge în C. Dar $t_2 > t_1$ astfel că atunci când lumina de la O2 ajunge în A, locul C s-a mutat în G.

Drumul **L-O2-L** este străbătut în timpul $t_2 = t_2' + t_2''$ adică t_2' la dus și t_2'' la întors.

După timpul t_2' lumina a ajuns la oglinda **O2**, în **D**, iar locul **A** de unde a pornit s-a deplasat spre stânga pe distanța $AE = v \cdot t_2'$. Lumina a străbătut distanța $v \cdot t_2' + l$ și atunci:

$$ct_2' = v \cdot t_2' + l \quad \text{rezultând :} \quad t_2' = \frac{l}{c-v}$$

După timpul t_2'' lumina ajunge la oglinda **L** în locul **A**. Locul **D** de unde a pornit se deplasează spre stânga în **F** și $DF = v \cdot t_2''$ Atunci:

$$ct_2'' = l - v \cdot t_2'' \quad \text{De aici:} \quad t_2'' = \frac{l}{c+v} \quad \text{Inseamnă că :}$$

$$t_2 = \frac{l}{c-v} + \frac{l}{c+v} = \frac{2lc}{c^2 - v^2}$$

Deci: $\Delta t = \frac{lv^2}{c^2(c+v)}$ la fel ca și față de sistemul de referință fix (SYSTEM S)

$t_2 > t_1$ de aceea până când lumina de la **O2** ajunge la oglinda **L** în **A**, locul unde a ajuns lumina de la **O1** la nivelul bratului **L-O2** se deplasează spre stânga cu: $v\Delta t$
Distanța dintre axele fasciculelor reflectate se calculează din relația :

$$(v' - v)t_1 = x + v\Delta t \quad \text{deci:} \quad x = \frac{lv^2}{c(c+v)}$$

Aceeași distanță x a fost măsurată și față de sistemul de referință considerat fix (SYSTEM S)

II . 2 INTERFEROMETRUL ROTIT CU 90°

Observatorul din sistemul propriu, legat de interferometru (SYSTEM Sp) constată că locurile în care se produc fenomenele optice se îndepărtează direcția bratului L-O1, spre O1 (în sens invers față de mișcarea sesizată de observatorul fix) Din această cauză ,și față de sistemul legat de interferometru se va produce efectul de rotire al oglinzilor Se reamintește ipoteza că lumina se propagă independent.

$$\varepsilon = 2\Psi$$

Din figura 15 se observă că: $\Psi = \alpha - 45^\circ$ deci :

$$\sin \varepsilon = -\cos 2\alpha \quad \text{dar:} \quad \operatorname{tg} \alpha = \frac{c}{c-v}$$

$$\text{Si atunci:} \quad \sin \varepsilon = \frac{c^2 - (c-v)^2}{c^2 + (c-v)^2} \quad \text{la fel ca și față de sistemul fix}$$

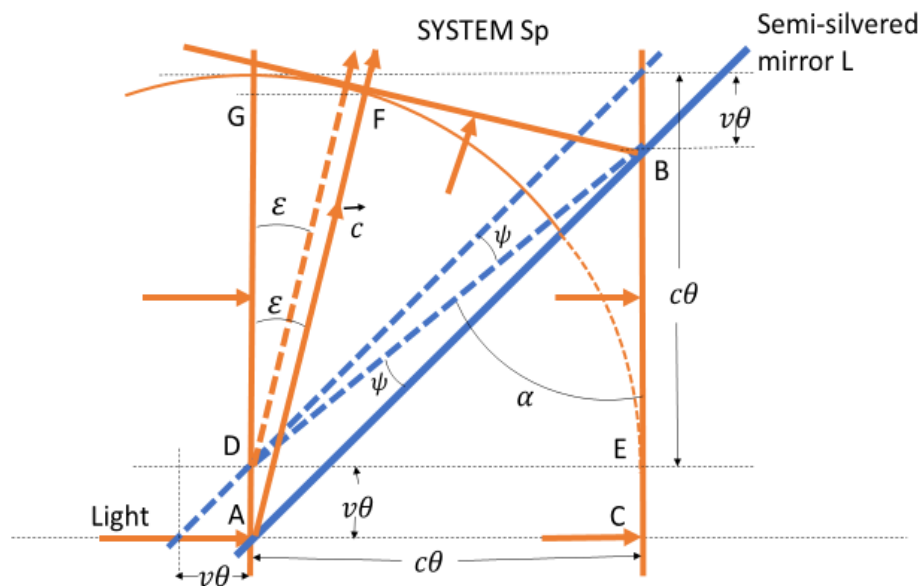


Fig. 15 În timpul în care frontul luminos inițial ADG ajunge în poziția CEB, zona A de pe oglinda L, din care au fost emise primele unde elementare, se deplasează pe distanța AD. Suprafața care reflectă lumina spre oglinda O1 are secțiunea ce trece prin D și B. Frontul reflectat GB se propagă pe direcția AF.

Pe direcția bratului L-O1 componenta vitezei luminii reflectate de oglinda L spre oglinda O1 este $c \cos \varepsilon$

Prima porțiune de pe oglinda **O1** atinsă de frontul de lumină care vine de la **L**, este **A** (Fig. 16).După timpul θ , lumina atinge porțiunea **B** a oglinzii **O1**.In acest timp, față de sistemul legat de interferometru, se constată că locul **A** de unde a fost emisă prima unda secundară s-a deplasat cu $AC = v\theta$ iar unda secundară cu $CE = c\theta$. Suprafața care reflectă lumina are secțiunea **CB** și este rotită față de oglinda **O1** cu unghiul ψ' . Lumina trimisă spre oglinda **L** face unghiul ϵ' cu brațul **L-O1**. Componenta vitezei luminii paralelă cu brațul **L- O1** este: $c \cos \epsilon'$

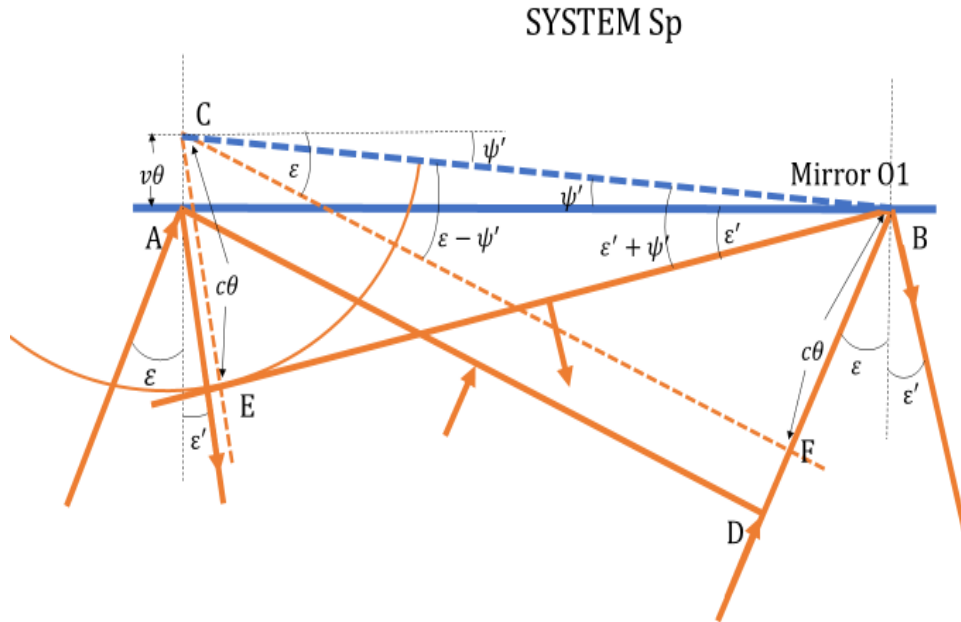


Fig. 16 În timpul în care frontul de lumină incident **AD** ajunge la oglinda **O1** în **B**, centrul primei unde elementare **A** se deplasează în **C**, iar locul frontului **AD** în poziția **CF**. Lumina din **D**, ajunsă în **B**, este văzută de observatorul din sistemul **Sp** venind din **F**. De aceea suprafața reflectătoare trece prin **C** și **B**.

Din triunghiurile **BCE** și **BCF** egale se obține

$$\epsilon - \psi' = \epsilon' + \psi' \quad \text{deci} \quad \epsilon' = \epsilon - 2\psi' \quad \text{dar:}$$

$$\sin \psi' = \frac{v\theta}{BC} \quad \text{și} \quad \sin(\epsilon - \psi') = \frac{c\theta}{BC} \quad \text{deci} \quad \frac{\sin \psi'}{\sin(\epsilon - \psi')} = \frac{v}{c}$$

Sunt aceleași relații ca și față de sistemul de referință considerat fix (**SYSTEM S**)

Deci :

$$\sin \epsilon' = \frac{(2cv - v^2)(c^2 - v^2)}{2c^4 + 2c^3v - c^2v^2 - 2cv^3 + v^4} \quad \text{și} \quad \cos \epsilon' = \frac{2c^2(c^2 + cv - v^2)}{2c^4 + 2c^3v - c^2v^2 - 2cv^3 + v^4}$$

Față de sistemul legat de interferometru, fasciculele de lumină se propagă ca și în figura 17.

Timpul în care lumina străbate distanța **L- O2 -L** este τ_2 .

Mișcările locurilor în care se produc evenimentele, pe direcția brațului **L-O1**, nu afectează componentele vitezei luminii pe direcția perpendiculară , **L- O2**. Componenta vitezei luminii ,pe direcția **L-O2** este chiar c , pentru că pe această direcție este emisă de sursa de lumină. De aceea:

$\tau_2 = \frac{2l+d}{c}$ și $d=v\tau_2$ deci: $\tau_2 = \frac{2l}{c-v}$ și $d = \frac{2lv}{c-v}$
 Exact ca și față de sistemul de referință considerat fix.

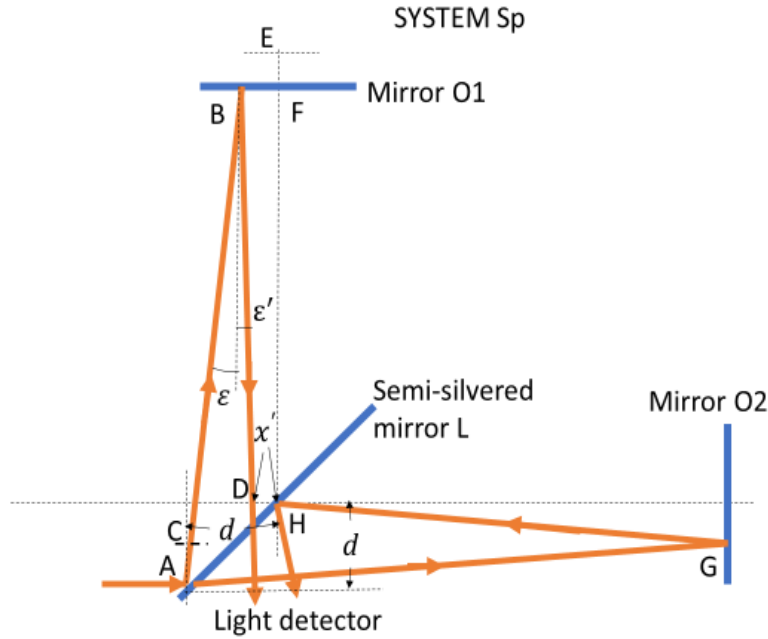


Fig. 17 Sunt prezentate direcțiile de propagare ale fronturilor fasciculelor de lumină reflectate de oglinzile interferometrului AC este distanța pe care se mișcă locul A , până când lumina reflectată ajunge la oglinda O1. Pe distanța E-F se mișcă locul B până când lumina ajunge la nivelul brațului L-O2.

Timpul τ'_1 de parcurgere a distanței **L-O1** de către lumină este dat de relația:

$$\tau'_1 c \cos \varepsilon = l + d - v\tau'_1 \quad \text{rezultând:} \quad \tau'_1 = \frac{l(c+v)[c^2+(c-v)^2]}{(c-v)(2c^3-2cv^2+v^3)}$$

Timpul τ''_1 în care lumina parcurge distanța **O1-L** se găsește din ecuația:

$$c \cos \varepsilon' \tau''_1 = (l+d-v\tau'_1) + v \tau''_1 \quad \text{adica:} \quad \tau''_1 = \frac{l(c+v)(2c^4+2c^3v-c^2v^2-2cv^3+v^4)}{c(c^2+cv-v^2)(2c^3-2cv^2+v^3)}$$

$$\tau_1 = \tau'_1 + \tau''_1 = \frac{l(c+v)(2c^2-v^2)}{c(c-v)(c^2+cv-v^2)} \quad \text{este timpul în care lumina străbate drumul}$$

L-O1-L

$$\text{Diferența timpilor are expresia: } \Delta\tau = -\frac{lv^2}{c(c^2+cv-v^2)}$$

Distanța dintre axele fasciculelor este $x' = d - v'\tau'_1 - v''\tau''_1 = \frac{lv^2}{c^2+cv-v^2}$
 aceeași ca și față de sistemul de referință considerat fix.

II . 3 INTERFEROMETRUL ROTIT CU 45°

Observatorul din sistemul Sp constată că locurile în care se produc evenimentele optice se deplasează cu viteza v sub un unghi de 45° cu bratul $L-O2$ în sens invers acelor de ceas (direct trigonometric) . Analizele și calculele se pot face în mod asemănător cu cele de la rotirea interferometrului cu 90° ,utilizandu-se componenta $v^* = \frac{v}{\sqrt{2}}$

Forma drumului observată față de sistemul Sp este cea din figura 18.

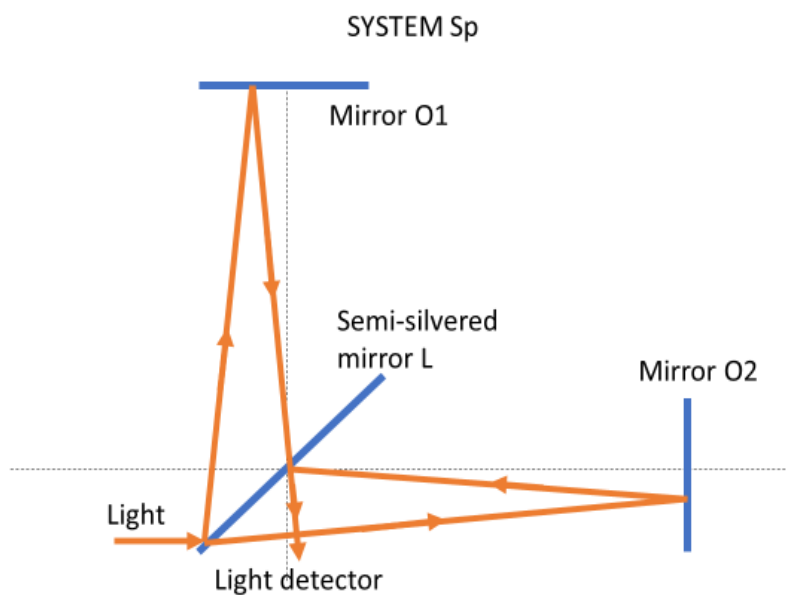


Fig. 18 Fasciculele de lumină reflectate de oglinzi se suprapun perfect în centrul oglinzii L.

Fasciculele de lumină străbat brațele interferometrului în intervale de timp egale cu cele determinate față de sistemul considerat fix. Unghiul dintre axele fasciculelor este nul.

CONCLUZII

În experimental Michelson – Morley, franjele de interferență nu trebuie să se deplaseze la rotirea interferometrului, deoarece cauzele care le-ar mișca dau efecte inverse anulându-se. . În ipoteza că lumina nu este antrenată de către mediul în care se află interferometrul, modificările timpilor de parcurgere a brațelor interferometrului de către lumină și rotațiile suplimentare ale oglinzilor datorită mișcării lor odată cu Pământul, dau efecte inverse asupra franjelor de interferență, lucru dovedit experimental. Zona de interferență este descrisă de valori Δt (diferența timpilor de parcurgere a brațelor interferometrului de către fasciculele de lumină), unghi dintre

fascicule și x (distanța dintre axele fasciculelor de lumină care interferează) , pe care le regăsim periodic în cursul rotirii interferometrului și pentru care franjele rămân pe loc.

Dacă mediul antrenează lumina, atunci analizele și calculele se fac altfel , dar în deplină concordanță cu rezultatul experimental.

Rezultatul experimentului Michelson-Morley și cel al experimentului lui Fizeau (cu lumina antrenată de curenții de apă), nu arată nici o contradicție. Efectuate în ipoteze diferite; primul în ipoteza neantrenării luminii de către mediul din vecinătatea Pământului , iar cel de-al doilea în ipoteza antrenării luminii, cele două experimente se completează reciproc și demonstrează influența hotărâtoare a mediului în propagarea luminii. Se știe că viteza unde electromagnetice, deci și a luminii depinde de parametrii mediului ȘI NU DE SURSĂ. Michelson și Morley au observat că interferometrul era atât de sensibil încât curenții de aer deranjau franjele de interferență. Același fenomen îl observa și Fizeau în experimentul său: mișcarea franjelor de interferență la punerea în mișcare a apei prin care se propaga lumina.

Este important că mediul determină viteza luminii și nu sursa care produce lumina. Viteza luminii a fost măsurată în mediul din vecinătatea Pământului. Oricât de complicat ar fi acest mediu; ca rezultat al suprapunerii tuturor factorilor din Univers, în care se manifestă așa zisul “vânt eteric” sau nu, etc., el se comportă la fel față de fotonii sau undele luminoase, de aceeași frecvență, indiferent de unde provin. Mediul nu poate face deosebirea dintre lumina care provine de la o sursă terestră și cea de la sursa extraterestră, astfel că indiferent de unde provine lumina, ea se propagă în acest mediu la fel.. De la o stea și până la Pământ, lumina își schimbă de nenumarate ori viteza, atât față de Pământ cât și față de stea, pentru că mediul cosmic nu este omogen. Din momentul în care a intrat în mediul din vecinătatea Pământului, lumina extraterestră se propagă la fel ca și lumina de aceeași frecvență provenită de la sursa terestră. Aparatura utilizată la măsurarea vitezei luminii conține diferite dispozitive optice. Oglinda, de exemplu, “procesează” lumina și , indiferent de unde provine ea o retransmite mediului la fel. Nici oglinda nu poate distinge care lumină provine de la o sursă terestră și care de la o sursă extraterestră și va reda mediului lumina, fără nici o deosebire.

Dacă aparatura folosită este mereu în aceeași stare față de același mediu, va măsura mereu aceeași valoare pentru viteza luminii, indiferent de unde provine ea. Asta nu înseamnă că viteza luminii are aceeași valoare față de orice sistem de referință (inerțial). Dacă receptorul s-ar mișca cu viteze diferite față de mediu, ar determina valori diferite ale vitezei luminii.

Convine sau nu convine, lumina se propagă cu viteză constantă față de mediul omogen și izotrop. Valorile vitezei luminii pot fi altele față de sursă și față de receptor , în funcție de stările lor de mișcare față de mediu. Așa se explică efectul Doppler. Postulatul constanței vitezei luminii față de orice sistem de referință inerțial își pierde valabilitatea.

Mediul poate să antreneze lumina, adică poate să contribuie la viteza luminii cu o componentă pe direcția și sensul lui de mișcare.. În funcție de natura mediului ,lumina poate fi mai mult sau mai puțin antrenată. E posibil ca viteza luminii să se compună vectorial cu componenta vitezei imprimată de mediu.

Dispozitivele optice se comportă diferit , în medii care antrenează diferit lumina. În cazul reflexiei luminii pe o oglindă, se obține un rezultat dacă lumina se propaga independent față de oglindă, și alt rezultat dacă viteza luminii capătă o componentă pe direcția și sensul de mișcare a oglinzii. Nimeni nu a menționat așa ceva. În acest studiu este prezentată situația în care lumina nu este antrenată de către Pământ, deci se propagă independent față de interferometru. S-a respectat ipoteza în care a fost realizat acest experiment.

Dacă lumina ar fi total antrenată de către mediul care se mișcă odată cu interferometrul, atunci față de observatorul din sistemul de referință propriu, legat de interferometru (SYSTEM Sp), fenomenele s-ar petrece ca și cum interferometrul ar fi în stare de repaus. Oricum ar fi rotit interferometrul, s-ar obține același rezultat

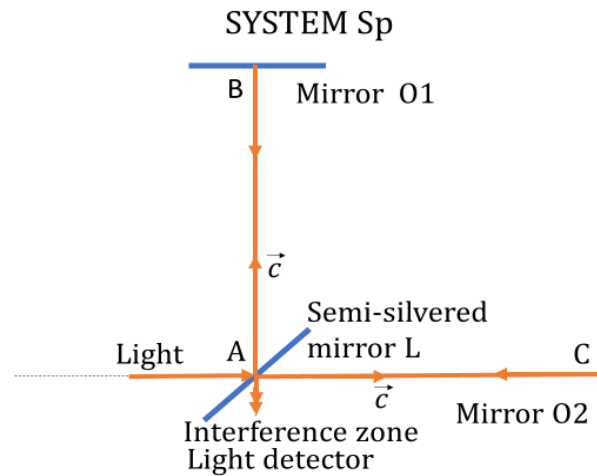


Fig. 19

Timpul în care lumina străbate distanța **A-B-A** este : $t_1 = \frac{2l}{c}$
 și timpul necesar luminii să parcurgă drumul **A-C-A** : $t_2 = \frac{2l}{c}$
 Brațele interferometrului sunt parcurse de lumină în intervale de timp egale și $\Delta t = 0$
 Față de observatorul din sistemul considerat fix (SYSTEM S), viteza luminii se compune vectorial cu viteza mediului. În figura 20 este reprezentat interferometrul înainte de rotire.

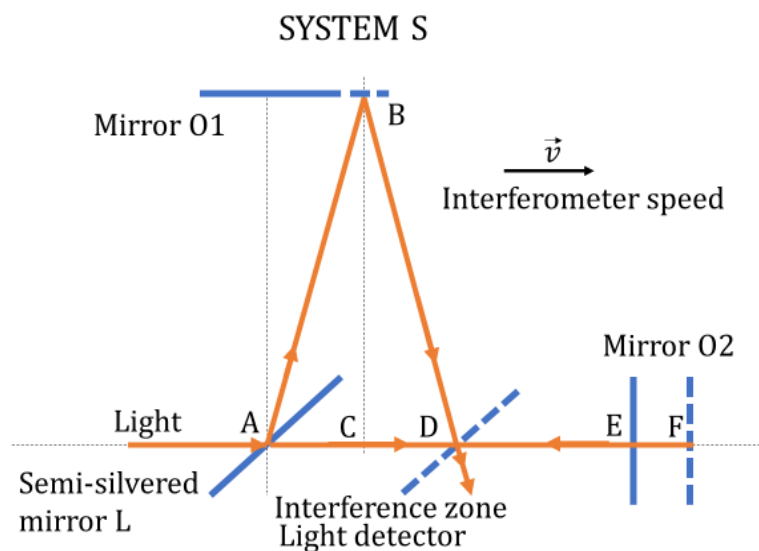


Fig. 20

Timpul în care lumina parcurge dus-întors brațul **L-O1** este: $t_1 = t'_1 + t''_1$ în care: t'_1 pe porțiunea **AB** și t''_1 pe porțiunea **BD**.

Față de observatorul din sistemul considerat fix, pe porțiunea **A-B** și **B-D** lumina se propagă cu viteza $\sqrt{c^2 + v^2}$ Din triunghiul **ABC** în care:

$AB = t'_1 \sqrt{c^2 + v^2}$ (ipotenuza), $AC = t'_1 v$ (cateta), $BC = l$ (cateta)

se obține clar, aplicând teorema lui Pitagora:

$t'_1 = \frac{l}{c}$ iar din triunghiul **BDC**, congruent cu triunghiul **ABC**, evident:

$t''_1 = \frac{l}{c}$ deci $t_1 = \frac{2l}{c}$ la fel ca și față de observatorul din sistemul propriu (SYSTEM Sp)

Distanța **L-O2-L** este parcursă de lumină în timpul $t_2 = t'_2 + t_2''$

t'_2 este timpul în care lumina străbate brațul **L-O2**. În acest timp oglinda **O2** s-a îndepărtat cu

$EF = v t'_2$ astfel că lumina străbate distanța $l + v t'_2$ cu viteza $c + v$ deci:

$(c + v) t'_2 = l + v t'_2$ de unde rezultă $t'_2 = \frac{l}{c}$

La întoarcere, pe drumul **O2-L** în timpul t_2'' , oglinda **L** se mișcă spre dreapta pe distanța vt_2'' astfel că distanța parcursă de lumină este $l - vt_2''$ cu viteza $c - v$ Atunci:

$t_2'' (c - v) = l - vt_2''$ de unde rezultă $t_2'' = \frac{l}{c}$ astfel ca: $t_2 = \frac{2l}{c}$

Evident că: $\Delta t = t_2 - t_1 = 0$ ca și pentru observatorul legat de interferometru.

Interferometrul rotit cu 90° în sens direct trigonometric este reprezentat în figura 21 cu orientarea vitezei v corespunzătoare.

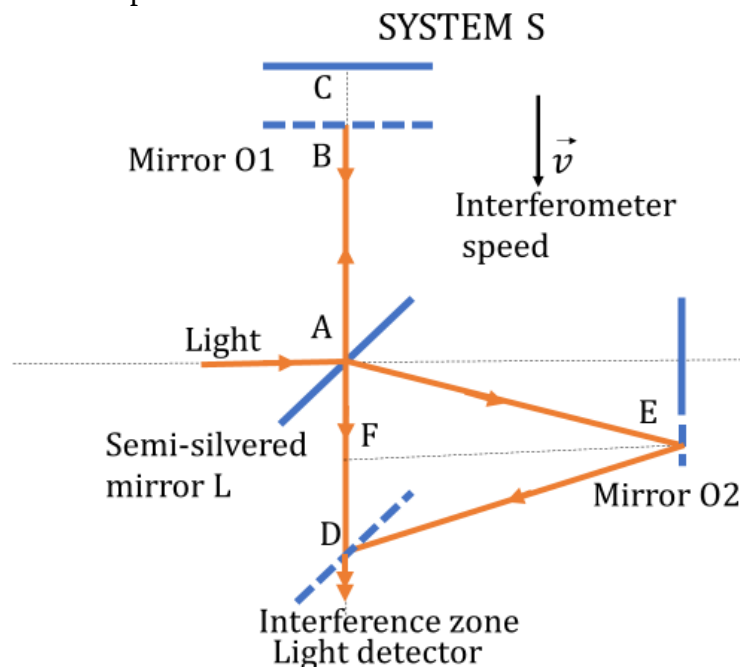


Fig. 21

Brațul **L-O1** este parcurs dus-intors de către lumină la fel ca și brațul **L-O2** înainte de rotirea interferometrului, deci în același timp :

$$\tau_1 = \frac{2l}{c}$$

Brațul **L-O2** este străbătut de către lumină , dus-intors, ca și brațul **L-O1** înainte de rotire :

$$\tau_2 = \frac{2l}{c}$$

Evident că $\Delta\tau = \tau_2 - \tau_1 = 0$

Oricare ar fi sistemul de referință față de care se analizează fenomenele care se produc într-un interferometrul Michelson rotit ca și în experimental Michelson-Morley se obține același rezultat: franjele de interferență nu trebuie să se deplaseze. De asemenea, indiferent dacă mediul în care se află interferometrul, antrenează lumina sau nu, rezultatul obținut este tot același: imobilitatea franjelor.

.