

## Tradicionálisan téves számítások a Michelson–Morley-kísérlet éterhipotézis szerinti értelmezésében

© Dr. Korom Gyula  
E-mail: korom.mem@axelero.hu

**Kulcsszavak:** fázor-elmélet, útkülönbség, optikai útkülönbség, fáziskülönbség, fázis eltolódás, fázisállandó, optikai távolság, optikai távolságkülönbség, Michelson interferométer, Michelson-Morley kísérlet, Speciális Relativitáselmélet, éterhipotézis.

–\*–

**Összefoglalás:** A dolgozatban bemutatott gondolat-kísérlet alapján belátható, hogy a fény éterben megtett tényleges útjának különbsége és az optikai útkülönbség (egyszerűbben kifejezve az optikai távolság) csak az éterben nyugvó rendszerekben azonos nagyságú. Mozdgó fényforrások és mozdgó megfigyelők esetében az optikai távolság (OT) nem a fényrengések éterben megtett útjával, hanem a fényforrásnak és/vagy a megfigyelőknek az interferencia-fázis-terében elfoglalt egymáshoz viszonyított pillanatnyi távolságával azonos. A bizonyítás során egyértelművé válik, hogy a Michelson-Morley kísérlet során különböző hosszúságú utakat bejáró fényrengések újraegyesítésekor – tekintet nélkül arra, hogy az interferométer milyen sebességgel mozog az éterhez viszonyítva, illetőleg hogy a Michelson-féle interferométer egymástól azonos távolságban lévő, azonos irányban azonos sebességgel mozgó optikai elemei elfordulnak vagy sem – a fényforrás és a megfigyelő közötti optikai távolságkülönbség (OTK) nem változik. Ez egyben azzal is jár, hogy a megfigyelhető frekvencia a mozgás során fellépő kettős Doppler effektus miatt állandó marad. Bizonyítást nyer az is, hogy fáziskülönbség sem jelenhet meg, azaz az interferencia-gyűrűk sem tolódhatnak el. A mozgás, vagy a forgatás folyamán csupán azonos mértékű fáziseltolódások jönnek létre, de ezeket a mérőeszköz nem érzékelheti. Mindez a fénysebesség abszolút állandóságát, az idő relativitását hirdető, és az éter létezését kívánó elképzelések jelentőségének átértékelését teszi szükségessé. Szerző javasolja, hogy a továbbiakban a számítandó „optikai útkülönbség” mellett a vele egyenértékű, és a gyakorlatban közvetlenül megmérhető „optikai távolság”, és a Michelson-Morley kísérletben zajló fizikai történéseket pontosabban érzékeltető „optikai távolság különbség” terminológiát is használja a szakirodalom.

### I. Fény által megtett út, optikai útkülönbség, optikai távolság

Tanulmányozzuk az 1. sz. ábrán vázolt gondolat-kísérlet négy fázisát, amelyeket egymás alatt tüntettünk fel. Az éter-hipotézis talaján állunk. Vegyük észre, hogy az  $F_0$  nyugvó, és az  $F$  mozgó hullámforrások által a közegben kialakított állóhullám-láncnak az 1. ábrán feltüntetett részei lényegében egyenértékűek. Az egymással szinkronizált mozgó  $F$  és álló  $F_0$  fázor [1] által az  $x$  tengely mentén létrehozott rezgések fázisállandója, fázisai és frekvenciái az ábrán feltüntetett területeken mindenben azonosak, tehát a két fényforrás által keltett rezgések interferenciája során konstruktív interferencia keletkezik, azaz a közeg rezgései minden fázisban erősítik egymást. Fontos még felismerni, hogy a mozgó fényforrás fázisállandója folyamatosan változik, ami azonban nem befolyásolja az általa az éterben létrehozott állóhullámok fázisállandóját és fázisát!

1. Tegyük fel, hogy a fény a hipotetikus éter-közegben terjed állandó  $c$  sebességgel (1. ábra legfelső része). Helyezzük az  $F_0$  fényforrást az éterben nyugvó Descartes-féle derékszögű  $K_0$  koordináta-rendszer  $O$  origójába, és legyen az  $F_0$  fényforrás által kibocsátott fény frekvenciája  $f_0$ . Ha most a  $K_0$  koordináta-rendszer  $x$  tengelyének  $A$  és  $B$  pontjába pl. egy-egy féligáteresztő tükröt (az  $M_1$  és  $M_2$  plán-parallel lemezt) helyezünk, akkor a fény által az  $M_1$ -ig megtett út hossza  $l$ , míg az  $M_2$ -ig megtett út hossza  $L$  lesz.

A most vizsgált esetben az  $A$  és  $B$  pontok közötti fáziskülönbséget nyilvánvalóan a mezőben keletkező állóhullámok közötti távolság határozza meg. Ezt a távolságot ma a nemzetközi irodalom optikai útkülönbségnek nevezi. Példánkban az optikai útkülönbség (az 1. sz. ábrán  $\Delta$ ) és a forrástól az  $A$  ill.  $B$  pontokig megtett fény-utak közötti különbség ( $ds$ ) azonos, tehát:  $\Delta = ds = L - l$ . Látni fogjuk azonban, hogy megszorítások nélkül ez csak az éterben nyugvó rendszerekben igaz. Az éterhez képest mozgó rendszerekben  $\Delta$  nem mindig egyenlő  $ds$ -el. Szerző ezért a továbbiakban –

a félreértések elkerülése végett – az optikai útkülönbséget optikai távolságnak (**OT**), a fény-utak különbségét útkülönbségnek (**ds**) fogja nevezni.

A fény-utak aránya a jelen

esetben  $\frac{l}{L} = \frac{l}{l + \Delta}$  lesz.

2. Gondolatkísérlet lévén módunkban áll egy a  $K_0$  koordinátarendszer  $x$  tengelye mentén, és annak negatív tartományában az origó felé az éterhez képest  $v$  sebességgel haladó  $F$  fényforrás  $f$  frekvenciáját úgy megválasztani, hogy a  $v$  sebességű mozgás miatt fellépő Doppler-effektus következtében az éterben az  $F$  fényforrás haladási irányában (az  $x$  tengely mentén) az éterben  $c$  sebességgel terjedő rezgések pontosan  $f_0$  frekvenciájúak legyenek (1. ábra felülről a második része).

Amikor  $F$  is éppen  $K_0$  origójában tartózkodik, induljon  $F$ -ből is pontosan

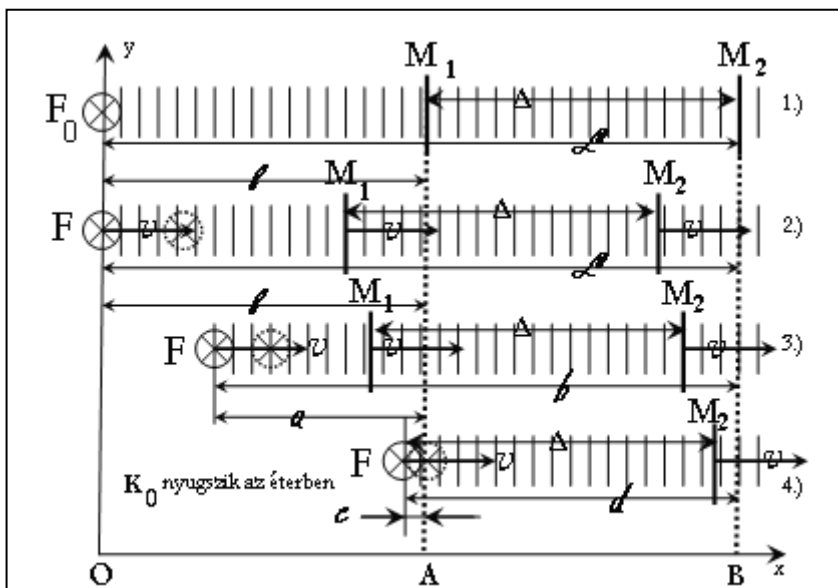
ugyanabban a pillanatban és pontosan ugyanabban a fázisban fényjel  $A$  és  $B$  felé, mint amelyik fázisban indult ki az éterben nyugvó  $F_0$ -ból az azonos frekvenciájú másik fényrezgés. Azt találjuk, hogy a nyugvó  $F_0$  és a mozgó  $F$  fényforrásokból kiinduló, azonos  $f_0$  frekvenciájú és azonos fázisállandójú fényrezgések azonos utak ( $l$  és  $L$ ) megtételét követően azonos fázisban érkezik be  $A$ -hoz és  $B$ -hez, tehát  $A$  és  $B$  közötti **OT** (példánkban  $\Delta$ ), valamint a fény-utak különbsége mind a nyugvó, mind a mozgó fényforrástól számítva azonos nagyságú, azaz: **OT =  $\Delta$  = ds = L - l**. Nyilvánvaló, hogy mind a nyugvó, mind a mozgós forrásból érkező rezgéseknél azonos az **OT**, ezért az  $A$  és  $B$  közötti fáziskülönbség is mindkét esetben változatlan marad.

A fény-utak aránya tehát ebben az esetben is:  $\frac{l}{L} = \frac{l}{l + \Delta}$

Közeledjen most  $M_1$  és  $M_2$  is az  $x$  tengely mentén  $A$  és  $B$  felé  $v$  sebességgel úgy, hogy amikor az  $O$ -ból kiinduló fény  $L = ct_2$  út megtételét követően  $M_2$ -hez érkezik, akkor  $M_1$  és  $M_2$  éppen  $A$ -ban, ill.  $B$ -ben tartózkodik. Nyilvánvaló, hogy a fény az  $A$  felé közeledő, de azt még el nem érő  $M_1$ -hez nem  $l$ , hanem valamivel rövidebb út, mégpedig  $l - vt_2$  megtételét követően érkezik meg, míg az  $M_2$ -ig számítható aktuális fényút hossza most  $L - vt_2$  lesz. Következésképpen az **optikai fényút-különbség**, valamint egyszerűbb megfelelője az **OT** ebben az esetben továbbra is

$$\text{Számítható optikai fényút-különbség} = (L - vt_2) - (l - vt_2) = L - l = \Delta = \text{OT}.$$

Amikor viszont  $M_2$  a  $B$  pontban tartózkodik, akkor  $M_1$  már  $A$ -ban van, ezért a fázor-elmélet [1] alapján számítható – időtől és sebességtől független – optikai fényút-különbség ( $ds_2$ ) közöttük **Mérhető optikai fényút-különbség = L - l =  $\Delta$  = OT**.



1. ábra

Az itt bemutatott helyzetekben az éter rezgései mindenben egyenértékűek, csak az értelmezési tartományok eltérők. Következésképpen az éterben bármely  $v$  sebességgel mozgó  $F$  fázor mindenkor behelyettesíthető egy olyan távolban nyugvó  $F_x$  fázorral, amelynek frekvenciája, fázisállandója (tehát a fázisai) az éterben mozgó fázor által keltett – Doppler effektuson átesett – frekvenciával azonos nagyságú. A mozgó forrás fázisállandója ugyan folyamatosan változik, de ez nem befolyásolja az általa az éterben keltett állóhullámok fázisait és fázisállandóját.

Ugyanakkor a fény-utak különbsége ( $d\mathbf{s}$ ) azokban a pillanatokban, amikor a rezgések éppen elhagyják  $\mathbf{M}_1$ -et, és amikor éppen megérkeznek  $\mathbf{M}_2$ -höz,  $d\mathbf{s} = L - (L - vt_2) \neq \Delta$ . Az útkülönbség tehát mozgó rendszerek esetében nem használható a fáziskülönbség kiszámítása során, mert súlyos félreértésekhez vezet, mint azt a XX. század fizikátörténete bizonyítja!

Tekintsük most a két mozgó megfigyelőt egyúttal másodlagos fényforrásoknak is, amelyek pillanatról pillanatra más helyet foglalnak el a fázistér hullámainak és hullámvölgyeinek felszínén, mintha hullámvasúton utaznának egy vidámparkban. Ez azt jelenti, hogy mindkettőnek pillanatról pillanatra változik a fázisállandója. Ez a folyamatos változás azonban mégsem változtatja meg a mozgó másodlagos fényforrások által az éterben keltett rezgések fázisait, mert a másodlagos fényforrások fázisállandója

- egyenes arányban változik az elsődleges forrástól fennálló aktuális térbeli távolságukkal,
- pillanatról pillanatra azonos mértékben toódik el, hiszen azonos sebességgel azonos irányba mozdulnak el a fázistérben.

Összességében a mozgó forrás fázisállandója olyan mértékben változik az elmozdulás során, amilyen mértékben a pillanatnyi fázis változik, aminek következménye az, hogy amennyiben a nyugvó és a mozgó forrás alapfrekvenciája azonos, akkor azonos fázisban rezegtetik a mezőt.

3. A fény-utak arányának változásával kapcsolatban nézzük most azt az esetet, amikor az ugyanazzal a  $v$  sebességgel mozgó (tehát az  $x$  tengely irányában azonos  $f_0$  frekvenciát azonos fázisban sugárzó) elsődleges  $\mathbf{F}$  fényforrás egyrészt már nem a  $\mathbf{K}_0$  koordinátarendszer origójában van, hanem valamivel tovább halad, másrészt közelebb is esik  $\mathbf{M}_1$ -hez (az 1. ábra 3. része).  $\mathbf{F}$  most is pontosan ugyanazon fázisban és változatlan fázisállandónak megfelelően rezegteti a fázistér, mint ahogyan azt az origóban nyugvó  $\mathbf{F}_0$  fényforrás tette, azaz a fázistér „felszínének” állóhullám vibrációi teljesen ekvivalensek az előző két példában bemutatottakkal. Most az  $\mathbf{F}$ -ből későbbi időpontban kiinduló, és az éterben haladó rezgések a fázistér  $\mathbf{A}$  pontját  $\mathbf{a}$  út megtétele után, a  $\mathbf{B}$  pontot pedig  $\mathbf{b}$  út megtétele után érik el, mégpedig pontosan ugyanakkora fáziskülönbséggel, mint amekkora fáziskülönbség volt az 1. illetve a 2. pont alatt tárgyalt esetekben. A fény által megtett utak különbsége ( $d\mathbf{s}$ ) tehát az  $\mathbf{A}$  és  $\mathbf{B}$  viszonylatában:  $d\mathbf{s} = \mathbf{b} - \mathbf{a} = \Delta = \mathbf{OT}$ ,

Nyilvánvaló, hogy azonos  $\mathbf{OT}$  mellett az  $\mathbf{A}$  és  $\mathbf{B}$  közötti fáziskülönbség ebben az esetben is változatlan marad.

Viszont a fény-utak aránya  $\mathbf{A}$  és  $\mathbf{B}$  között  $\frac{a}{b} = \frac{a}{a + \Delta}$ . Könnyen belátható, hogy

$$\frac{l}{L} = \frac{l}{l + \Delta} \neq \frac{a}{a + \Delta}$$

Ebben az esetben is igaz, hogy az éterben számított fényút-különbség és az optikai távolság (vagy optikai útkülönbség) nem azonos egymással  $d\mathbf{s} = \mathbf{b} - (\mathbf{a} - vt_2) \neq \Delta$ .

4. Különös figyelmet érdemel az 1. ábra alsó részén bemutatott eset, mert ezzel találkozunk a Michelson-féle interferométerekben [2]. Legyen az  $\mathbf{F}_0$ -al szinkronizált mozgó (azonos fázisállandójú, az  $x$  tengely mentén az éterben azonos frekvenciájú rezgést keltő)  $\mathbf{F}$  forrás (a lézer) ezúttal pontosan  $\mathbf{M}_1$  helyén,  $\Delta$  távolságra  $\mathbf{M}_2$ -től.  $\mathbf{F}$  akkor indítson el fényjelet  $\mathbf{B}$  felé, hogy amikor a fényjel az éterben haladva majd megérkezik  $\mathbf{B}$ -hez, abban a pillanatban  $\mathbf{F}$  éppen  $\mathbf{A}$ -ban legyen. (Ez a helyzet pontosan megfelel a ma használatos lézeres Michelson-interferométerek amplitúdó-splitterétől a mozgatható tükör irányába odaúton történő fényterjedési viszonyoknak.) Az  $\mathbf{F}$  lézer most is nyilvánvalóan ugyanabban a fázisban és frekvenciával rezegteti a hullámteret, mint az origóban nyugvó  $\mathbf{F}_0$ , hiszen az előző két példához képest nem történt más csak az, hogy a változatlan módon rezgő  $\mathbf{F}$  tovább haladt az  $x$  tengely mentén  $\mathbf{A}$ , illetve  $\mathbf{B}$  irányába. Azt már megbeszéltük, hogy eközben változik a forrás fázisállandója, de ez a változás nem adódik át a közeg rezgéseire, amelyek megtartják eredeti fázisállandójukat, hiszen amilyen mértékben változik a fázisállandó, olyan mértékben változik a pillanatnyi fázis is az elmozdulás során.

Az  $\mathbf{OT}$  tehát (akkor számolva, amikor  $\mathbf{F}$  és  $\mathbf{M}_2$  éppen  $\mathbf{A}$ -ban ill.  $\mathbf{B}$ -ben van) itt is ugyanakkora:  $\mathbf{OT} = d - c = \Delta$ , következésképpen az  $\mathbf{A}$  és  $\mathbf{B}$  közötti fáziskülönbség most sem változik. Viszont az

éterben megtett fény-utak aránya most  $\frac{c}{d} = \frac{c}{c + \Delta}$  lesz. Könnyen belátható, hogy

$$\frac{l}{L} = \frac{l}{l + \Delta} \neq \frac{a}{a + \Delta} \neq \frac{c}{c + \Delta}.$$

Az 1 sz. ábrán bemutatott négy példából nyilvánvaló, hogy – akár álló, akár mozgó fényforrás, akár két (pl. egy álló és egy mozgó) forrás együtt hozzák létre a fázisteret – a fázistér valamely két pontján egy adott pillanatban tartózkodó két megfigyelő (illetőleg általánosságban bármely két pont) között a fáziskülönbséget:

- a közöttük lévő térbeli távolság (**OT**),
- a forrás fázisállandója,
- és az elsődleges hullámforrás(ok) frekvenciája határozza meg.

A fáziskülönbség nagyságának alakulásában nincs jelentősége annak, hogy mekkora a hullámterjedés sebességének vektora, mekkora a hullám éterben megtett útjának hossza, vagy mekkora volt az út megtételéhez szükséges időtartam.

Az éterben rezgő állóhullámok között azonos távolságban lévő és azonos irányban azonos  $v$  sebességgel elmozduló két megfigyelő ( $M_1$  és  $M_2$ ) között az éterbeli állóhullámokra vetített fáziskülönbség állandó marad akkor is, ha a hullámoknak nem  $c$  a terjedési sebessége. Miután a fázistér már kiépült, abban szabályos állóhullámok alakulnak ki, és az állóhullámok fázisai közötti eltérést határozza meg számszerűen az optikai távolság (**OT**), amely mindenkor azonos a két megfigyelő egymáshoz viszonyított térbeli távolságával.

A bemutatott példákból kitűnt, hogy mozgó rendszerekben előfordulhat, hogy a megtett utak aránya akkor is változik, ha közben a fáziskülönbség azonos marad.

Kiemelendő még, hogy amennyiben  $M_1$  és  $M_2$  másodlagos fényforrások is egyben, akkor fázisállandóik a mozgás során természetesen változnak az elsődleges fényforrástól való **OT** függvényében. Ez azonban nem változtatja meg az éterben keletkezett rezgések fázisállandóját, és a megfigyelők között fennálló fáziskülönbséget, amely a mozgás ellenére szintén állandó marad, hiszen egymáshoz viszonyított **OT**-uk állandó.

Abban a különleges esetben, amikor az  $M_1$  és az  $M_2$  megfigyelők és másodlagos fényforrások is egyben, és egymáshoz képest azonos sebességgel, azonos irányban egymáshoz képest állandó távolságban mozdulnak el az  $F_0$  elsődleges fényforrás által rezegtetett fázistérben, megfigyelők (másodlagos fényforrások) és az elsődleges  $F_0$  fényforrás közötti távolság más és más:

- Egyrészt megváltozik
  - a fény által megtett utak aránya,
  - a fény által az éterben ténylegesen megtett utak különbsége ( $d_s$ ), és
  - a másodlagos fényforrás fázisállandója.
- Másrészt a példában meghatározott feltételek mellett állandó nagyságú marad
  - a mozgó megfigyelők által érzékelhető rezgésszám,
  - az optikai útkülönbség,
  - az optikai távolság **OT** (példánkban  $\Delta$ ), és
  - a megfigyelők (és a másodlagos források) közötti fáziskülönbség.

## II. Mozgó források és távolban nyugvó fázorok ekvivalenciája

Az 1 sz. ábra 2, 3 és 4 sz. példájában egyaránt és általánosságban is igaz, hogy az éterben keletkező – Doppler effektuson átesett  $f$  frekvenciájú rezgéseket létrehozó,  $f_0$  alapfrekvenciával rezgő,  $v$  sebességgel mozgó  $F$  hullámforrás mindhárom esetben behelyettesíthető egy olyan nyugvó fázorral (1 sz. ábra 1 sz. példa), amely pl. valahol a mínusz  $x$  tartomány végtelenében nyugszik. A behelyettesítés értelemszerűen azt jelenti, hogy a behelyettesített és a behelyettesítő forrás éterben létrehozott rezgéseinek fázisállandója és frekvenciája minden esetben azonos a behelyettesített forrás megfelelő paramétereivel. Alkalmazzuk ezt a módszert a Michelson interferométerben [2] az eszköz mozgás irányával megegyezően beállított  $x$  tengely mentén lévő másodlagos fényforrásokra.

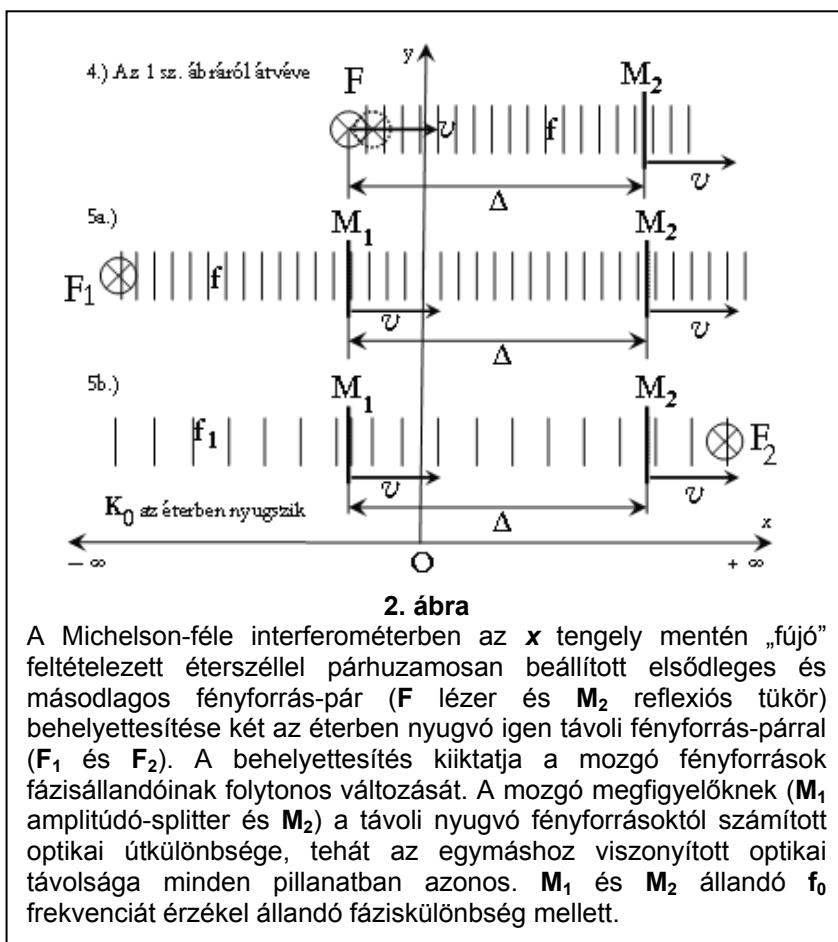
Helyettesítsük be először a Michelson-féle interferométer amplitúdó-splitterét (az 1 sz. ábra negyedik példájában a maga előtt az éterben  $f$  frekvenciájú rezgéseket keltő mozgó  $F$ -et) a mínusz  $x$  végtelenéhez közel egy távoli nyugvó  $F_1$ -el, amelynek frekvenciája szintén  $f$ , és fázisállandója azonos  $F$  fázisállandójával (2. ábra közepe, 5a számmal jelölve). Nyilvánvaló, hogy az  $F_1$  forrástól az  $x$  tengely mentén a pozitív végtelen felé  $v$  sebességgel távolodó, de egymástól állandó  $\Delta$  távolságot tartó  $M_1$  és  $M_2$  megfigyelők pontosan  $f_0$  látszólagos frekvenciát érzékelnek a hozzájuk „hátról” érkező, az éterben „álló”, ténylegesen  $f$  frekvenciájú rezgéseknél. A mozgó megfigyelőknek az éter  $e$  rezgéseire viszonyított fáziskülönbsége is állandó marad a mozgás során, miközben a mozgó másodlagos fényforrások fázisállandói a távolodásnak megfelelően folyamatosan eltolódnak.

Továbbá a mozgó  $M_2$  mint másodlagos fényforrás helyett helyezzünk el egy másik nyugvó forrást ( $F_2$ ) az  $x$  tengely pozitív oldalán, amely az éterben pontosan olyan  $f_1$  frekvenciájú állóhullám-rezgéseket kelt, amelyeket az  $x$  tengely mentén a pozitív végtelen felé  $v$  sebességgel haladó, egymástól állandó  $\Delta$  távolságban lévő  $M_1$  és  $M_2$  megfigyelők pontosan  $f_0$  frekvenciának érzékelnek (2. ábra alsó része 5b számmal jelölve).

Ebben a helyzetben teljesen triviális, hogy a két egymással szemben sugárzó  $F_1$  és  $F_2$  az éterben olyan két állóhullám sorozatot alakít ki, amelyeknek nem azonos a frekvenciája, de a két frekvencia úgy aránylik egymáshoz, hogy az  $F_1$ -től távolodó,  $F_2$ -höz közeledő megfigyelő ugyanazt az  $f_0$  látszólagos frekvenciát észleli mindkét rezgésorozat esetében. Az is triviális, hogy ilyen rezgéseket nem csak két egymással szemben  $c$  sebességgel haladó rezgés, de két egymástól különböző bármely sebességgel haladó rezgés, és bármely, az éterhez képest egyenes vonalú mozgást végző forrás is ki tud alakítani a kibocsátott hullámok sebességétől és a forrásoknak a – megfigyelők

által bejárt interferencia-tértől való – távolságától függő bármily hosszú időtartam alatt. Sem a rezgések terjedési sebessége, sem az éterben nyugvó források távolsága nem játszik szerepet. Kizárólag az éterben egymás felé terjedő, és végül interferáló rezgések frekvenciája és fázisállandója a lényeges, figyelmen kívül hagyva a rezgések intenzitását.

Tekintsük a 2. ábra 5a – 5b példájában a bal és a jobb oldal felől érkező rezgések által közösen kialakított interferencia-térben rezgő két különböző frekvenciájú állóhullám láncolatán az egymástól állandó  $\Delta$  távolságban lévő, és a pozitív végtelen felé  $v$  sebességgel szörfölő  $M_1$  és  $M_2$  megfigyelőket. A mozgó megfigyelők között az optikai távolság (OT) mindkét rezgés tekintetében nyilvánvalóan  $\Delta$ , miközben a megfigyelők stabilan kizárólag  $f_0$  frekvenciát érzékelnek, hiszen a nyugvó  $F_2$  frekvenciáját eleve úgy választottuk meg, hogy megfeleljen az  $F_1$ -től  $v$  sebességgel távolodó  $M_2$  által visszavert rezgések Doppler effektuson átesett frekvenciájának. Mivel a megfigyelő-pár  $F_1$ -től folyamatosan távolodik, ill.  $F_2$ -höz folyamatosan közeledik, mindkét nyugvó forráshoz képest folytonosan változik a távolságuk, azaz eltolódnak a rezgésekhez viszonyított fázisaik is, azonban nem változik a fáziskülönbségük.



A Michelson-féle interferométerben az  $x$  tengely mentén „fújó” feltételezett éterszéllel párhuzamosan beállított elsődleges és másodlagos fényforrás-pár ( $F$  lézer és  $M_2$  reflexiós tükör) behelyettesítése két az éterben nyugvó igen távoli fényforrás-párral ( $F_1$  és  $F_2$ ). A behelyettesítés kiiktatja a mozgó fényforrások fázisállandóinak folytonos változását. A mozgó megfigyelőknek ( $M_1$  amplitúdó-splitter és  $M_2$ ) a távoli nyugvó fényforrásoktól számított optikai útkülönbsége, tehát az egymáshoz viszonyított optikai távolsága minden pillanatban azonos.  $M_1$  és  $M_2$  állandó  $f_0$  frekvenciát érzékel állandó fáziskülönbség mellett.

Mivel eddig ismert mérőeszközeink tudomásom szerint nem alkalmasak arra, hogy a vákuumban szabadon terjedő elektromágneses rezgések, illetőleg mozgó fényforrások, mozgó megfigyelők fáziskülönbségeit, fáziseltolódásait közvetlenül, egyetlen rezgéssorozat egy fény-utas vizsgálata során figyelemmel kísérhessük, indirekt mérési módszerek alkalmazása szükséges. Egy ilyen módszernek kínálkozott a két fény-utas Michelson-interferométer. Vizsgáljuk meg, hogy alkalmas-e ez az eszköz az éterszél kimutatására.

### III. Optikai távolságkülönbség, frekvencia- és fáziskülönbség a Michelson-Morley kísérletben

A Michelson-Morley kísérlet egyik ( $x$  tengellyel párhuzamos) karja irányába eső mozgó megfigyelők ( $M_1$  és  $M_2$ ), és a velük mozgó források (lézer, és  $M_2$ ) optikai útkülönbségének kiszámítását elősegítő nyugvó-forrás behelyettesítést már bemutattuk. Kiderült, hogy a megfigyelők közötti optikai útkülönbség, optikai távolság és fáziskülönbség nem változik, ugyanakkor folyamatosan és ugyanolyan mértékben eltolódnak – a nyugalomban lévő  $F_1$  ill.  $F_2$  virtuális fényforrásokhoz viszonyított távolságuk változása arányában – a fázisaik.

Az interferométer másik ( $y$  tengely mentén álló) karja irányában hasonló módon távolíthatnánk el (helyettesíthetnénk be) a megfigyelőkkel együtt mozgó forrásokat ( $M_1$  megfigyelővel együtt mozgó **amplitúdó splitter**, illetve  $M_3$  reflexiós tükört) másik két – az  $y$  tengely mentén igen távoli, a  $x$  tengellyel párhuzamosan  $v$  sebességgel mozgó –  $F_3$  és  $F_4$  forrással. Ez azonban szükségtelen, hiszen az **amplitúdó splitter** és az  $M_3$  reflexiós tükör mint másodlagos források, és  $M_2$  valamint  $M_3$  mint megfigyelők távolsága (tehát fényútja, optikai fényútja, optikai távolsága és fázisai a mozgás során nem változnak. Az is megállapítható, hogy az  $y$  tengely mentén sorakozó másodlagos források (splitter és  $M_3$ ) és megfigyelők ( $M_1$  és  $M_3$ ) pillanatnyi fázisai az  $x$  tengely mentén zajló szintén  $v$  sebességű mozgásuk miatt szintén pontosan ugyanolyan mértékben tolódnak el, mint  $M_1$  és  $M_2$  fázisai az  $x$  tengely mentén.

Ami a frekvenciákat illeti, az amplitúdó splitterből az  $y$  tengellyel párhuzamosan minden pillanatban, a mérőeszköz mozgásának valamennyi időpillanatában éppen  $f_0$  frekvenciájú rezgések terjednek az éterben a mozgó  $M_3$  megfigyelő felé. Az  $x$  tengely mentén viszont a távoli nyugvó  $F_1$  virtuális forrás  $f$  rezgései haladnak tovább az éterben  $M_2$  felé. Mivel a forrás ( $M_1$ ) és a megfigyelő ( $M_3$ ) között nem változik a távolság, Doppler-effektus nem jelentkezik  $y$  irányban. Ezzel szemben  $x$  irányban az  $M_2$  megfigyelő  $v$  sebességgel mozog az éter  $f$  frekvenciájú rezgéseire képest, ezért Doppler-effektus lép fel, azaz  $M_2$  is  $f_0$  frekvenciát észlel.

Összességében a Michelson-fél interferométert alkotó optikai rendszer valamennyi eleme az éterben történő translációs mozgás során a lézer által kibocsátott alaphérfrekvenciát változatlan rezgésszámként észleli, ugyanakkor a translációs mozgás során valamennyi optikai elem azonos mértékű fáziseltolódást szenved. A fáziseltolódás nagysága a megfigyelőknek az  $F_1$  ill.  $F_2$  virtuális forrásoktól való pillanatnyi távolságától, és a megfigyelők (tehát a rendszer) sebességétől függ.

Megállapítható továbbá, hogy a  $v$  sebességgel azonos irányban mozgó megfigyelők optikai útkülönbsége illetőleg optikai távolsága nem azonos a fény által az éterben megtett utak különbségével. Az optikai távolságot csak a tükrök közelítésével, vagy távolításával lehet megváltoztatni a Michelson interferométerben.

Az éterszél nagyságának változtatásával – annak arányában – nyilvánvalóan megnövekszik az éterben nyugvó  $F_1$  és csökken az  $F_2$  forrás által az éterre átvitt frekvencia, de a kettős Doppler-effektus miatt a megfigyelők továbbra is  $f_0$  frekvenciát érzékelnek. Ugyanakkor a sebesség növekedésének arányában *egyforma mértékben* megnövekszik az egész rendszer valamennyi mozgó eleménél a fáziseltolódás mértéke is, amelynek következtében a megfigyelők közötti fáziskülönbség nem változik. A fáziseltolódások azonos mértékei miatt a megfigyelők közötti fáziskülönbséget kizárólag az optikai távolság határozza meg. A translációs mozgás során az egész rendszer úgy működik, mintha éter, éterszél és fénysebesség-változás nem is létezne, mert a rendszer érzéketlen a fény sebességének változásaira.

Abban az esetben, ha a rendszerben a lézert (helyesebben a splittert) és  $M_2$ -t az  $F_1$  és  $F_2$  virtuális fényforrások helyett valóságos forrásokkal helyettesítenénk be, az elforgatás hatására az  $M_1$  és  $M_2$  megfigyelők optikai útkülönbsége (forrástól való távolsága) megváltozna. Helyezzük hát gyorsan vissza

fényforrásainkat az őket megillető eredeti helyzetükbe. Forgassuk az interferométert most körbe. Az **OT** – következésképpen a fáziskülönbség – ezúttal már azonos marad. Csak a fényterjedés adott irányában keletkező frekvencia, és ennek megfelelően a behelyettesítő virtuális forrás paraméterei fognak változni a Doppler effektusnak megfelelően, amelyeket minden irányban egy második, de ellenkező irányú és nagyságú Doppler-effektus ezúttal is kiolt. Ezért a másodlagos fényforrások – legyenek azok bármilyen térbeli helyzetben – az elsődleges fényforrással azonos frekvenciával és ahhoz képest állandó fáziskülönbséggel (ugyanakkor egyazon mértékben folyamatosan változó fázisállandóval) fognak rezegni, és fogják rezegtetni – Doppler-effektus közbejöttével – az étert.

A fenti gondolkísérlet alapján bizonyítást nyert, hogy a Michelson-féle interferométer optikai elemei között a fáziskülönbséget kizárólag az elemek egymástól való térbeli távolsága határozza meg. Az éterszél nagyságának változásai, az eszköz elfordítása során az optikai elemek optikai fáziskülönbsége nem változik, ezért egyáltalán nem meglepő, hogy az eszköz által mérni képes optikai távolságkülönbség nem változik az éterszél esetleges változásai, vagy az eszköz elfordítása miatt.

Az eddigiek alapján látható, hogy – szemben a ma általánosan elfogadott állásponttal – a Michelson-féle interferométer nem két megfigyelő közötti optikai útkülönbséget, hanem két-két megfigyelő (azaz két megfigyelő páros) közötti *optikai útkülönbség különbségét*, azaz két pár megfigyelő *optikai távolságának különbségét* méri.

### Következtetések:

- a.) A fentiek alapján megállapítható, hogy *Michelson* úr az 1887-es mérésorozat [2] eredményeinek kiértékelése során az alábbi alapvető elvi hibákat követte el:
- Helytelenül választotta meg az optikai távolságokat (**OT**). Mozgó fényforrásból kiinduló fényrezgések által különböző irányokban megtett egyes útszakaszokon az adott szakaszon fennálló optikai útkülönbségek egyenkénti kiszámítása helyett csak a rezgések kezdeti elindulása és végső beérkezése közötti fényút-távolságokat – az 1. ábrán látott példákban az adott útszakaszra eső **L**, **b** és **d** útszakaszokkal analóg fény-utakat – illetőleg ezek különbségeit vette figyelembe egyszerű összeadással. Ezt követően fazon elméletből ismert, az útkülönbség és a fázis-különbség összefüggéseit feltáró egyenlet [1] alapján – tévesen, mert optikai útkülönbség helyett ténylegesen megtett fény-utakkal számolt – kiszámította az általa helyesnek vélt teljes fáziskülönbséget. A korrekt eljárás az lett volna, ha minden egyes útszakaszra külön-külön kiszámította volna a tényleges optikai távolságokat az 1. ábrán látható **I**, **a** és **c** útszakaszok megfelelőinek figyelembevételével, és akkor észlelhette volna, hogy a ténylegesen figyelembe vehető optikai távolságok (**OT**) nem változnak, mivel nem változik a forrás(ok) és a megfigyelő(k) egymáshoz viszonyított távolsága. Következésképpen a mérések során a teljes fáziskülönbség nem elvileg változhat.
  - *Michelson* úr koordinátarendszert tévesztett. Ugyanis a fény **M<sub>1</sub>**-ig megtett útját helyesen a nyugvó **K<sub>0</sub>** rendszerben számította ki, de elmulasztotta kiszámítani az adott pillanatra **M<sub>2</sub>** optikai útkülönbségét a forrástól. Ezt követően átugrott a mozgó **K<sub>1</sub>** rendszerre – teljesen önkényesen a fénysebesség és a **K<sub>1</sub>** rendszer sebességének egy logikusnak látszó, de a fáziskülönbségek kiszámítása szempontjából teljesen indokolatlan összevetésével – majd utazott egy kicsit a **K<sub>1</sub>** rendszerrel, végül ismét visszatérve a **K<sub>0</sub>** rendszerbe, a fény és az **M<sub>2</sub>** tükör találkozásának későbbi időpontjára, azaz **M<sub>2</sub>** új helyére meghatározta a forrás és **M<sub>2</sub>** közötti fáziskülönbséget. Most viszont elmulasztotta kiszámítani **M<sub>1</sub>** aktuális távolságát és fáziskülönbségét a forrástól. A fazon elmélet alapján számítható fáziskülönbséget **M<sub>1</sub>** és **M<sub>2</sub>** között tehát úgy számította ki, mintha **M<sub>1</sub>** nyugalomban maradt volna **A** – **vt<sub>2</sub>**-ben, **M<sub>2</sub>** pedig **B**-ben volna. Az elkövetett hibák következtében *Michelson* úr kísérleteiben éterszél esetére – teljesen tévesen – változó fáziskülönbséget várt, és nem vette észre, hogy az idődimenzióban koordinátarendszer tévesztett. Ebből a tévedésből nőtt ki magát – többek között – az egyidejűség relativitásának Einstein-féle teorema, vagy a fénysebesség abszolút állandóságának tétele, amelyekre a koordinátarendszerek indokolatlan és jogosulatlan váltogatása nélkül, azonos koordinátarendszer azonos időpillanatában (helyesen) megválasztott **OT**-k esetében nincs szükség.
  - Az interferométer elfordítása során követett számításainál *Michelson* úr ismét a fény által megtett teljes fény-utak közötti útkülönbségeket számította ki elfordítás előtt és elfordítás után, majd ezek arányának nyilvánvaló megváltozásából automatikusan arra következtetett, hogy a fáziskülönbség is szükségszerűen megváltozik. Fent bemutatott gondolkísérleti példákon keresztül belátható, hogy a fény-utak arányának megváltozása nem jelenti szükségszerűen azt, hogy a különböző hosszúságú fény-utak megtétele után az optikai útkülönbség, az optikai távolság (**OT**), az optikai

- távolságkülönbség (**OTK**) és/vagy a fáziskülönbség is szükségszerűen megváltozik. Láttuk, hogy éterben mozgó rendszerekben a forrás és a megfigyelők együttes mozgásai miatt az **OT** nem szükségszerűen azonos a fény által az éterben befutott távolsággal.
- *Michelson* úr figyelmen kívül hagyta a fázor alapvető tulajdonságait, nevezetesen az eltelt időtől és a hullám terjedési sebességétől való függetlenséget [1]. Általánosságban, és nem csak az optikában nyilvánvaló, hogy – legyen a közeghez képest nyugalomban lévő vagy mozgó a forrás – a forrást jelképező *fázor* által rezegtetett közegben *állóhullám* jellegű rezgések keletkeznek, és ez igaz két *fázor* interferenciája esetében is. Következésképpen csak a rezgő közeg egyes pontjai közötti térbeli távolságok játszhatnak szerepet a megfigyelő által érzékelhető fáziskülönbségben, tekintet nélkül arra, hogy a rezgőhullámok mekkora sebességgel (csoportsebesség, fázis sebesség, energia-terjedési sebesség, jel sebesség), mennyi idő alatt mekkora utat tesznek meg, mialatt a közeg egy helyben végzi a rezgéseit. A *fázor* által keltett rezgések fázisai idő-, azaz sebesség-független jellegzetességeik miatt *a közegtől, a benne terjedő hullám terjedési sebességétől, annak irányától, továbbá a mérőeszköz mozgási sebességétől is függetlenek*. Csak és kizárólag a fázistér két pontja közötti térbeli távolság játszik szerepet az érzékelhető fáziskülönbség kialakulásában. A közeg egy helyben rezeg, és a megfigyelő az éternek azt a rezgési állapotát érzékeli, ahol éppen pillanatnyilag van. Ez minden!
  - b.) A Michelson-féle interferométer két megfigyelő közötti fáziskülönbséget érzékeli, és csakis azt. Mivel a fényforrás(ok) és a megfigyelő(k) közötti fáziskülönbséget kizárólag azok egymástól való térbeli távolsága határozza meg, a megfigyelő képernyő, vagy a foto-detektor számára soha nem mutatkozik interferenciacsík-eltolódás, csak ha változtatjuk a mozgatható tükör távolságát, vagy az elsődleges forrás frekvenciáját. Az eszköz indirekt módon alkalmas a fényforrás frekvenciájának, a térbeli távolságoknak, valamint törésmutatóknak (tehát különböző fényvezető közegekben mutatkozó sebességarányoknak) a mérésére, de teljességgel alkalmatlan, érzéketlen a hullámsebesség, az éterszél kimutatására. A Michelson-féle interferométerben a lézer, az amplitúdó-splitter és a reflexió tükörök közötti távolságok, és csakis ezek a távolságok határozzák meg az egyes szakaszok, és összességében az egész rendszer *optikai* távolságait (következésképpen az *optikai* fényút különbségeit). Az éter és az eszköz közötti sebességkülönbség, vagy az eszköz elforgatása nem befolyásolja az interferométer lineáris optikai megfelelőjében keletkező három virtuális kép közötti távolságokat, a tükörök mögött keletkező tükörképek a tüköröktől és a megfigyelő képernyőtől (foto-detektortól) azonos távolságban maradván együtt mozognak az egész rendszerrel, „úsznak” a közegben, tekintet nélkül arra, hogy mekkora a közeg és az eszköz sebességkülönbsége.
  - c.) Mivel számos olyan mérés létezik (maga az interferencia jelensége, a Doppler-effektus, a Michelson-Gale kísérlet, a Sagnac kísérlet stb.), amelyek a fény hullámtermészetét, és ezzel együtt a fényrezgések közvetítő közegét feltételezik, ugyanakkor az éter létezését kizárni látszó egyetlen ismert mérés, a Michelson-Morley kísérlet a fentiek alapján elvileg érzéketlen az éterszél változásaira, szükségesnek látszik az éterhipotézis ismételt bevezetése. Közismert, hogy ezzel az akkor még távlati céllal maga *Einstein* is egyetértett [3], hiszen az Általános Relativitáselmélet eleve feltételezi az erőhatások közvetítő közegének létezését. Mindez a relativitáselméletek egészét csak filozófiai szinten érinti. A Speciális Relativitáselmélet matematikai apparátusa meglepően hatékony gyakorlati működőképességének, vitathatatlan heurisztikus erejének más okai vannak, amelyeket szerző a későbbiekben egy másik közlemény keretei között kíván ismertetni.
  - d.) A *Michelson* úr által elkövetett hibáknak nem kis mértékben lehetett oka az, hogy nem kellően tiszta fogalmakat használt. Hasonló hibák jövőbeni elkerülhetősége végett szerző javasolja, hogy a továbbiakban az „optikai útkülönbség” mellett az „optikai távolság (**OT**)” „optikai távolságkülönbség (**OTK**)” terminológiát is használja a szakirodalom. Ez utóbbi – kevésbé félreérthető – két fogalom legfőbb előnye, hogy a fizikai kísérletek során közvetlenül mérhető, szemben az optikai útkülönbséggel, amely mindenkor csak számítható.

#### Hivatkozások:

- [1] LANE, W.C.: *The Interference of two coherent Wave Sources*. Project PHYSNET, **MISN-0-205.**, Michigan State University, pp. 1-28. (2000).
- [2] MICHELSON, A.A.- MORLEY, E.W.: *On the Relative Motion of the Earth and the Luminiferous Ether*. Am. J. of Science **Vol. CXXXIV, No. 203**. Art. XXXVI., pp. 333-345, (1887 november)
- [3] EINSTEIN, A.: *Über den Aether*. Verh. D. Schweizer. Nat. Ges., **105, II**, 85-93 (1924)