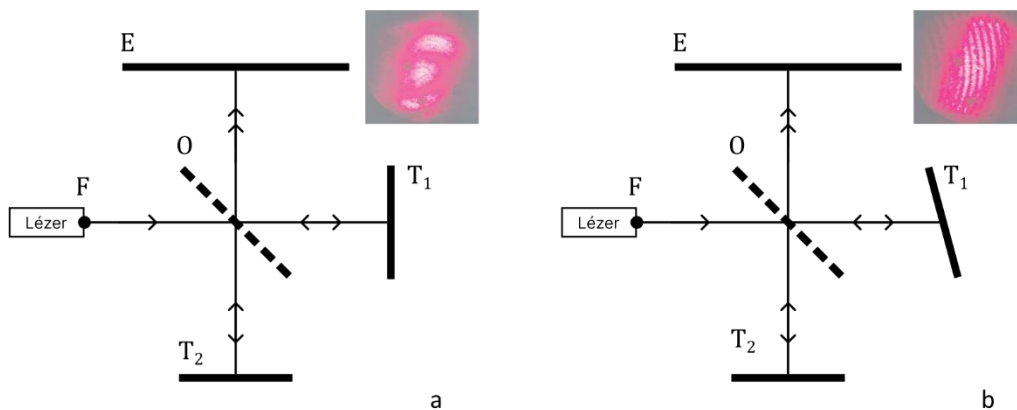


Michelson-interferométer kísérletek

Bevezető

A Michelson-interferométer egy optikai mérőeszköz, amellyel leggyakrabban nagy pontosságú távolságméréseket és törésmutató méréseket szoktak végezni. A mérőeszköz feltalálója A. A. Michelson, és E. Moorley-vel tökéletesítették 1887-re. A berendezés segítségével próbálták megmérni a Föld sebességét az „éter”-hez képest, amelyről akkoriban úgy gondolták, hogy a világegyetem alapvető anyaga és a fényhullám közvetítő közege. A mérőeszköz az alapja a gravitációs hullámok mérésének és szerepet játszott a méter mértékegységnek a fény hullámhosszán alapuló meghatározásában is.



1. ábra

Az interferométer elvi szerkezeti rajza az 1. ábrán látható. A fényforrásból (F) származó fénysugarat az O félig áteresztő tükör (fényosztó) két, egymásra merőleges fénysugárra osztja. A T_1 és T_2 tükrökről visszaverődő fénysugarakat az O fényosztón át az E ernyőn egyesítjük. Mivel a lézer koherens fényforrás, bizonyos feltételek teljesülése esetén, jellegzetes interferenciaképet láthatunk az ernyőn. Ha a két tükrösik tökéletesen merőleges egymásra, akkor centrikus körvonalak csíkrendszere alakul ki (1.a ábra), ha a tükrök (és egyéb eszközök) beállása nem tökéletes, akkor a centrikus körvonalak közepének képe nem jön létre, csak a széle, azaz az interferenciakép elgörbült csíkoknak látszik, (1.b ábra) szélsőséges esetben már ki is egyenesednek.

Mivel a két ágban a fény útja eltérő hosszúságú lehet, akkor látunk erősítést (fényintenzitás maximumot, világos csíkot), ha a két fényút úthosszkülönbsége (Δd) a hullámhossz egész számú többszöröse:

$$\Delta d = 2d_2 - 2d_1 = N \cdot \lambda,$$

ahol N egész számot az interferencia rendjének is nevezzük, λ a monokromatikus fényforrás hullámhossza, d_1 az O és T_1 közötti, d_2 az O és T_2 közötti távolság, a 2-es szorzó azért jelenik meg, mert a fény kétszer teszi meg az adott távolságot.

Ha az egyik tükröt az optikai tengely mentén előre vagy hátra elmozdítjuk, akkor a csíkrendszer megváltozik. Ha $\lambda/2$ távolsággal mozdul el a tükrő, akkor a geometriából adódóan az úthosszkülönbség λ nagyságú lesz, és minden csík elmozdul a szomszédos csík által előzőleg elfoglalt helyre, ez egy csík-elmozdulást jelent. További tükrő elmozdításakor azt láthatjuk, hogy csíkok tűnnek el és/vagy jelennek meg a körkörös vagy görbevonalas csíkrendszerben. Ha

leszámoljuk adott ponthoz képest elmozduló (megjelenő/eltűnő) csíkok N számát, akkor d_t tükör elmozdulás esetén az alábbi összefüggést írhatjuk fel, ahonnan a λ vagy a d_t meghatározható az egyik mennyiség ismeretében:

$$2 \cdot d_t = N \cdot \lambda, \quad (1)$$

Ugyanakkor a tükrök elmozdulhatnak a tartó asztal kicsi deformációja által is, ebben az esetben a képlet:

$$d_{\text{deformáció}} = \frac{N \cdot \lambda}{2} \quad (2)$$

Egy „óvatos” deformáció miatti csíkrendszer-változást, mint kísérleti bizonytalanság érdemes beépíteni az eredményekbe.

$$\frac{u_{d_t}}{d_t} = \left| \frac{u_N}{N} \right| + \left| \frac{u_\lambda}{\lambda} \right| \quad (3)$$

Ez a képlet a tükör elmozdulásának a relatív bizonytalanságát adja meg, u_λ a lézer hullámhosszának abszolút bizonytalansága (uncertainty), u_{d_t} a tükör elmozdulásának abszolút bizonytalansága, u_N a leszámolt csíkok számának abszolút bizonytalansága.

Az interferencia létrejöttének az is feltétele, hogy a két fénysugár úthosszkülönbsége kisebb legyen a fényforrás koherenciahosszánál. A koherenciahossz az a tartomány, amelyen belül a koherens fényhullámok interferálnak egymással, vagyis „látható” a csíkrendszer. Ha a használt fényforrás jó minőségű monokromatikus (egyszínű) lézer, akkor a koherenciahossz néhány centimétertől több méter is lehet, és a csíkrendszer láthatósága kiváló. Ha a fényforrás nem szigorúan monokromatikus, akkor az egyes ágak úthosszkülönbségének növelésével a csíkrendszer elmosódik, láthatósága csökken, majd eltűnik. Az is előfordulhat, hogy a láthatóság a d_t változtatásával nem egyenletesen változik, hanem több-kevesebb rendszerességgel ingadozik. Ez arra utal, hogy a fényforrás több, egymáshoz közeli hullámhosszon működik, nem tökéletesen monokromatikus.

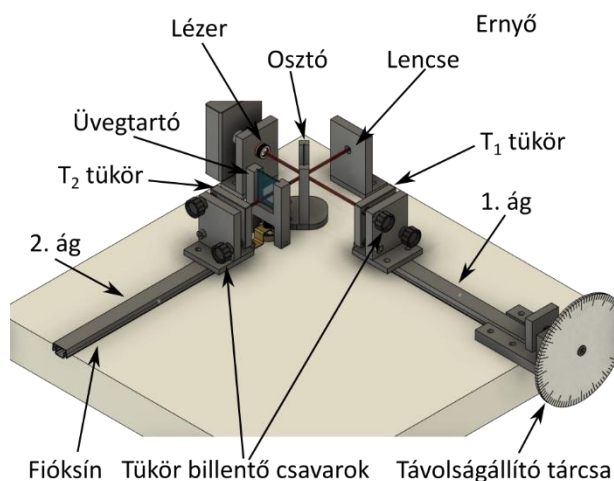
Ha a Michelson-interferométer egyik ágába optikailag átlátszó anyagot helyezünk, akkor meghatározható annak törésmutatója. Ebben az esetben is az úthosszkülönbséget hozunk létre párhuzamos felületek közötti anyag optikai tengelyhez képesti merőleges elforgatásával. Adott vastagságú üveglap törésmutatóját az alábbi összefüggéssel határozhatjuk meg:

$$n = \frac{(2t - N\lambda)(1 - \cos \theta)}{2t(1 - \cos \theta) - N\lambda}, \quad (4)$$

ahol t az üveglap vastagsága, θ az üveg elfordulásának szöge, N az elmozduló (megjelenő/eltűnő) csíkok száma, λ a fényforrás hullámhossza.

Mérés eszközei:

- Michelson-interferométer
 - 650±5 nm-es lézer
 - fióksíneken elmozdítható dönthető tükrök
 - méréskönnyítő elektronika
 - Arduino vezérlés
 - fényellenállással felszerelt ernyő
 - nullázó nyomógomb
 - kijelző
 - üveglap elfordítható tartóban ($t = 1\text{ mm}$, $n = 1,523$)



A mérési összeállítás szerves része egy okos ernyő, amely analóg fénymérőt és egy kijelzőt tartalmaz és egy arduino dolgozza fel a mért adatokat. Az analóg fénymérést a környező szórt fény befolyásolhatja, ezért használata körültekintést igényel, részesítsük előnyben a szemmel való leolvasást.

Kijelzőn az N megszámlolt csíkok darabszáma, üveglap θ szögbeállása illetve az I fényintenzitás látható önkényes egységben.

A kijelzőn lévő számlálót a zöld-fekete vezeték végén található nyomógommbal lehet lenullázni. Sikeres nullázáskor a kijelzőn megjelenik a *Reseted* felirat és az N értéke 0-ra változik.

Mérés menete

1. **Ismerjük meg az interferométert!** Kapcsoljuk be a fényforrást! Végezzük el az alábbi műveleteket és néhány mondatban írjuk le tapasztalatainkat a jegyzőkönyvbe!
 - a. Nagyon óvatosan (piciket forgatva ide-oda) forgassuk el a T_1 dönthető tükrő állító csavarjait! Az állító csavarok segítségével állítsunk be olyan csíkrendszert, ami néhány (3-5 db, szemmel jól számolható) csíkot jelent! **[1 pont]**
 - b. Nyomjuk meg először óvatosan, majd erőteljesen ujjunkkal az interferométert, a deszka közepén a DANGER feliratot! Mit tapasztalunk? Itt azt mérjük fel, hogyha óvatlanul dolgozunk bizonyos kicsi méretű befolyásoló erőhatások, körülmények mekkora hatást gyakorolhatnak (a leolvasott csíkszámokra), azaz mekkora nem várt eltéréshez, hibához vezethetnek. Ezekhez a hibákhoz (óvatos, erőteljes) állapítsunk meg, becsüljünk egy hibahatárt. Ez a hibahatár az abszolút bizonytalansága lesz a leolvasott csík változás számának ($u_N; \frac{u_N}{N}$). Számoljuk ki, hogy ez az adott „óvatos” és erőteljes hatás okozta változás mekkora deformációnak felel meg mikrométerben értelmezve. **[4 pont]**
 - c. Nagyon óvatosan forgassuk el a T_2 -es tükrő ágába behelyezett üveglapot a kis kar segítségével! Mi az az állása az üveg síkjának a nyalábhoz képest ahol a kicsi forgatás következtében alig változik a csíkrendszer? Ezen pont környékén mit figyelhetünk még meg? **[1 pont]**
 - d. A T_2 -es tükrő sínjén, jobb oldalon találunk egy fekete jelölő vonalat. Jegyezzük meg a helyzetét a skálához képest! Mozgassuk el néhány millimétert előre, majd hátra a T_2 -es tükröt a fióksín segítségével! Jegyezzük fel, mi történik a csíkrendszerrel! Állítsunk be olyan pozíciót, ahol a csíkrendszer láthatósága a lehető legjobb! Az a. pontban leírtaknak

megfelelően állítsunk be olyan csíkrendszert, ami néhány (jól számolható) csíkot jelent!

[1 pont]

- e. Nagyon lassan, óvatosan forgassuk el a T_1 -es tükör távolságállító forgatható tárcsát! Jegyezzük fel, hogy mi történik a csíkrendszerrel! Alkossunk véleményt és meglátást arról, hogy tudjuk-e úgy forgatni a tárcsát, hogy meg lehessen számolni a csíkokat szemmel. Adjuk meg, hogy mekkora relatív bizonytalansággal tudnánk dolgozni a tükör elmozdulás tekintetében, ha 20 csíkváltozást számolnánk!

[4 pont]

2. **Határozzuk meg az üveg törésmutatóját!** Ehhez forgassa el a T_2 -es tükör ágába behelyezett üveglapot a kis kar segítségével! Forgassuk addig, amíg 8-12 (vagy több) csíkot leszámolunk és jegyezzük fel a kijelzőn látható kiindulási és végső szögállást és ezekből számoljunk elfordulás szögét! A (4) összefüggés és legalább három mérés adatait felhasználva adja meg az üveg törésmutatóját! Az eredmény közlésénél a három mérés szórásának kétszeresét adjuk meg, mint mérési bizonytalanságot! A kapott eredményt hasonlítsuk össze az üveg gyári adatával!

[6 pont]

3. **Becsülje meg a lézer koherenciahosszát!** Ehhez több lépésben mozgassa el a T_2 -es tükröt a fióksín segítségével és közben vizsgálja a csíkrendszer láthatóságát! Tapasztalataink alapján becsüljük meg a lézer koherenciahosszát!

[3 pont]

4. **A mérésről készítsen jegyzőkönyvet!** A jegyzőkönyvet készítheti a mérőhelyen rendelkezésre álló számítógépen található szövegszerkesztő és táblázatkezelő szoftver segítségével, illetve kézzel írva is. Ha számítógéppel készíti, akkor is kell egy „kézi” jegyzőkönyvet beadni, azonban azon elegendő megjelölni, hogy a számítógépen milyen fájlnev alatt található a gépi jegyzőkönyv. Pl.: „Gépi jegyzőkönyv fájlneve: 25.docx” (Itt a „25” a versenyző kódja). A fájlnevben tilos a saját névre bármilyen utalást tenni (pl. név kezdőbetűi). A fájl mentési helyét illetően kövessük a mérésvezetők utasítását, ezzel is segítve a fájlok forduló utáni összegyűjtését.

[5 pont]