

# Fizikatörténet

## A fénysebesség mérésének története

Horváth András  
SZE, Fizika és Kémia Tsz.

**v 1.5**

## Kezdeti próbálkozások

Galilei, Descartes:

- Egyszerű kísérletek lámpákkal adott fényjelzésekkel.
- Hegytetőkről leadott fényjelek 5–10 km távolságból.

Eredmény: **A fény túl gyors ahhoz, hogy kimérhető legyen a sebessége.**

(Ugyanezzel a módszerrel a hangsebesség jól mérhető.)

Járulékos eredmény: az emberi reflexidővel kapcsolatos fontos tapasztalatok.

## Kezdeti próbálkozások

Galilei, Descartes:

- Egyszerű kísérletek lámpákkal adott fényjelzésekkel.
- Hegytetőkről leadott fényjelek 5–10 km távolságból.

Eredmény: **A fény túl gyors ahhoz, hogy kimérhető legyen a sebessége.**

(Ugyanezzel a módszerrel a hangsebesség jól mérhető.)

Járulékos eredmény: az emberi reflexidővel kapcsolatos fontos tapasztalatok.

---

Motiváció:

- tudományos érdeklődés
- a fénytörés elméleteinek próbája (Descartes, Fermat)

# Olaf Römer (1644–1710): az első sikeres fénysebesség-mérés

Eredeti kutatási cél:

- **Perc pontosságú órát adni a tengerészeknek.**
- Ezzel pontosan megmérhető, hogy mikor delel a Nap vagy egy csillag.
- Ebből a földrajzi hosszúság meghatározható.
- **Pontos térképek:** gazdasági, politikai és hadászati előny.



Világtérkép 1652-ből

## Olaf Römer (1644–1710): az első sikeres fénysebesség-mérés

Olaf Römer célja: **Pontosan felmérni a Jupiter-holdak mozgását, hogy segítségükkel óra-kalibrációs táblázatokat lehessen készíteni.** (A fogyatkozások időpontját figyelte.)

Kis távcső + Jupiter-hold mozgás-táblázat: a hajó órája újrakalibrálható.

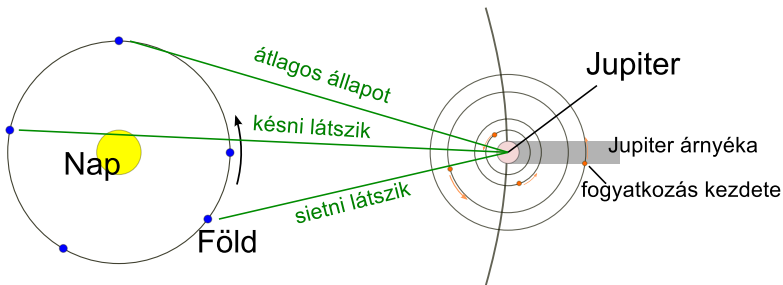
# Olaf Römer (1644–1710): az első sikeres fénysebesség-mérés

Olaf Römer célja: **Pontosan felmérni a Jupiter-holdak mozgását, hogy segítségükkel óra-kalibrációs táblázatokat lehessen készíteni.** (A fogyatkozások időpontját figyelte.)

Kis távcső + Jupiter-hold mozgás-táblázat: a hajó órája újrakalibrálható.

Meglepő tapasztalat:

**A Jupiter-holdak mozgásában késés és sietés mutatkozik a Földtől való távolság függvényében.**



Magyarázat: **A fénynek időre van szüksége a terjedéshez.**

## Olaf Römer mérése

Eredmények publikálása: 1676.

**Késés-sietés eredménye:  $\pm 11$  perc.**  $\Rightarrow$  Fénysebesség: 11 perc/(földpálya sugara)

Mai egységekben: **kb. 220 000 km/s.**

Érdekesség: Römer nem számolta ki a fénysebesség numerikus értékét, mert az nem volt érdekes neki.

(Mai, pontos érték: késés-sietés =  $\pm 8,3$  perc, fénysebesség 300 000 km/s.)

## Olaf Römer mérése

Eredmények publikálása: 1676.

**Késés-sietés eredménye:  $\pm 11$  perc.**  $\Rightarrow$  Fénysebesség: 11 perc/(földpálya sugara)

Mai egységekben: **kb. 220 000 km/s.**

Érdekesség: Römer nem számolta ki a fénysebesség numerikus értékét, mert az nem volt érdekes neki.

(Mai, pontos érték: késés-sietés =  $\pm 8,3$  perc, fénysebesség 300 000 km/s.)

Römer eredményeit kételkedve fogadják, csak az aberráció (lásd a később) kimérése után veszik igazán hitelesnek.

Később mások ugyanezzel a módszerrel, pontosabb mérésekkel 300 000 km/s-os, 3 jegyre pontos értéket mérnek.



## James Bradley (1693–1762): Az aberráció

Méréssorozat 1728–29-ben: **a Föld mozgásirányára merőlegesen nézve a csillagok kicsit más irányban látszanak, mint várnánk.**

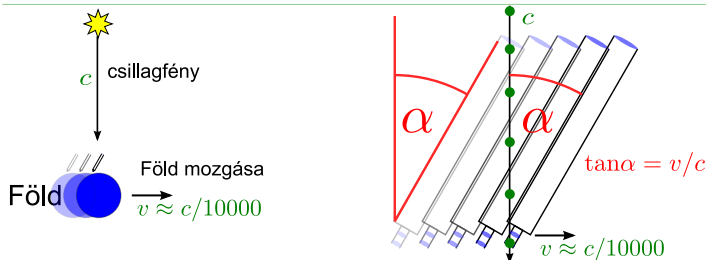
A szög kicsi ( $\alpha = 20''$  körüli), de távcsővel kimérhető.



## James Bradley (1693–1762): Az aberráció

Méréssorozat 1728–29-ben: **a Föld mozgásirányára merőlegesen nézve a csillagok kicsit más irányban látszanak, mint várnánk.**

A szög kicsi ( $\alpha = 20''$  körüli), de távcsővel kimérhető.



**Magyarázat: A mozgó Föld viszi magával a távcsövet és azt be kell dönteni mozgásirányban, hogy a fény „végigessen” rajta.**

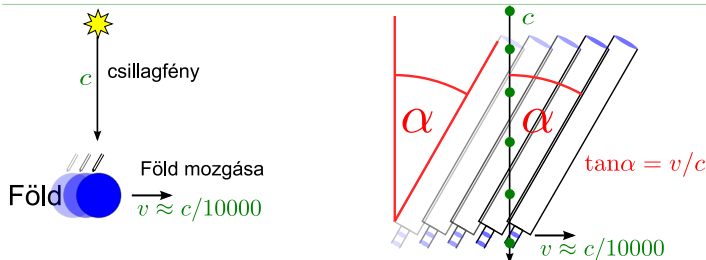
$$c = v / \tan \alpha \approx 10000v$$

Összhang Römer méréseivel:  $\Rightarrow$  **A fény véges sebességének ténye és közelítő értéke elfogadott lesz.**

## James Bradley (1693–1762): Az aberráció

Méréssorozat 1728–29-ben: **a Föld mozgásirányára merőlegesen nézve a csillagok kicsit más irányban látszanak, mint várnánk.**

A szög kicsi ( $\alpha = 20''$  körüli), de távcsővel kimérhető.



Magyarázat: **A mozgó Föld viszi magával a távcsövet és azt be kell dönteni mozgásirányban, hogy a fény „végigessen” rajta.**

$$c = v / \tan \alpha \approx 10000v$$

Összhang Römer mérésével:  $\Rightarrow$  **A fény véges sebességének ténye és közelítő értéke elfogadott lesz.**

Extra eredmény: a Föld Nap körüli keringésének első direkt bizonyítéka.

## A földi fénysebesség-mérések fontossága

Az előzőekben említett csillagászati mérések eredménye:

- A fény a bolygóközi térben kb. 300 000 km/s-mal terjed.
- A Föld tényleg kering a Nap körül.

Hiány: Mekkora a fénysebesség levegőben, vízben, üvegben, ... ?

Pedig ez kellene a fényelméletek ellenőrzésére!

## A földi fénysebesség-mérések fontossága

Az előzőekben említett csillagászati mérések eredménye:

- A fény a bolygóközi térben kb. 300 000 km/s-mal terjed.
- A Föld tényleg kering a Nap körül.

Hiány: Mekkora a fénysebesség levegőben, vízben, üvegben, ... ?

Pedig ez kellene a fényelméletek ellenőrzésére!

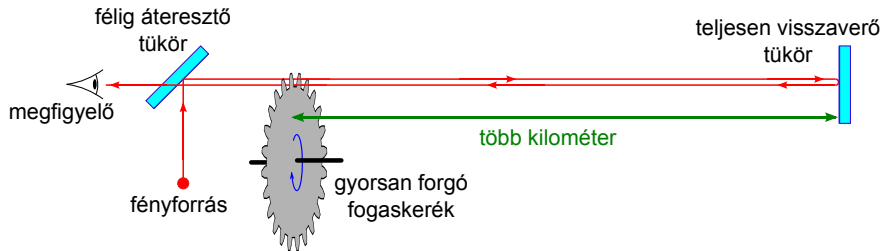
---

A mérés nem egyszerű:

- Ideális látási viszonyok közt sem látunk messzebb 200 km-nél. Ezt a fény ezredmásodpercnél gyorsabban teszi meg.
- Laborban inkább 100 m körüli a maximális méret: milliomod másodpercél kisebb terjedési idő.

## Fizeau forgó tükrös kísérlete

Armand Hippolyte Louis Fizeau (1819–1896): Fénysebesség-mérés forgó fogaskerékkel, 1849.



Ötlet: ha a fény oda-vissza útja alatt a kerék elfordul...

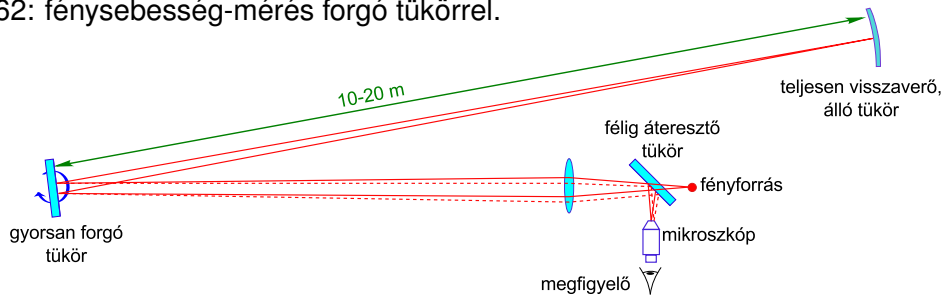
- ... egy fél fognyit  $\Rightarrow$  a megfigyelő nem lát fényt
- ... egy teljes fognyit  $\Rightarrow$  a megfigyelő újra lát fényt
- ...

Több változat. **Csúcs: 8 km távolság, 5% mérési pontosság.**

## Foucault forgó tükrös kísérlete

Jean Bernard Léon Foucault (1819–1868) (Ő alkotta a Foucault-igát is.)

1850–62: fénysebesség-mérés forgó tükörrel.



Ha a fény oda-vissza útja alatt a tükör elfordul, a mikroszkópban a kép kicsit eltolódik.

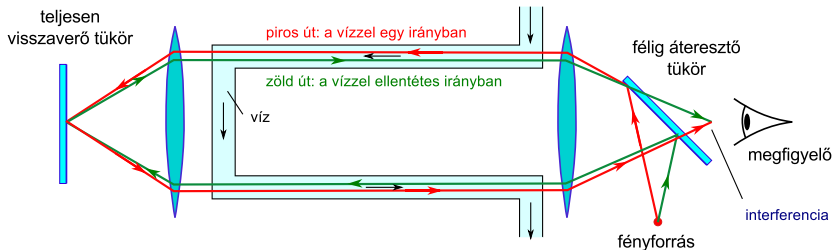




# Fizeau interferométere

Probléma: **mihez kell a fény sebességét viszonyítani?**

Pl. az áramló víz „magával ragadja” a fényt?



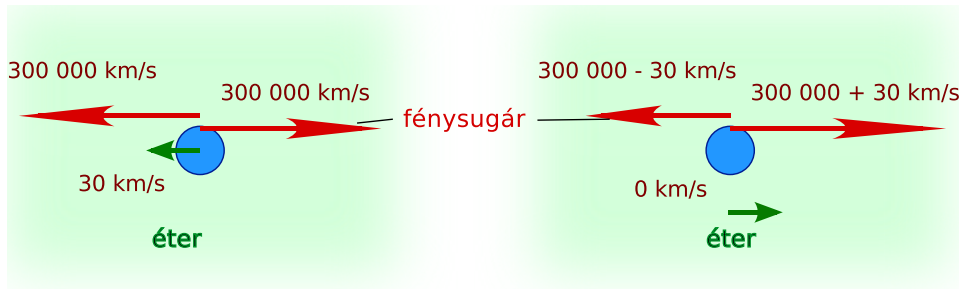
A két fényúton menő sugár interferenciája megváltozik, ha megváltozik a fénysebesség.  
(sebesség-változás  $\Rightarrow$  hullámhossz-változás  $\Rightarrow$  fázisváltozás)



## Az éterszél

Éter: az a közeg, aminek a hullámaiként a fényre gondoltak a 19.sz.d.-ban.

Ötlet: ha a Föld mozog az éterhez képest, akkor a mozgásirányban és azzal ellentétesen mozgó fény sebessége más lesz a Földhöz képest!



Az éterhez rögzített rendszerben

A Földhöz rögzített rendszerben

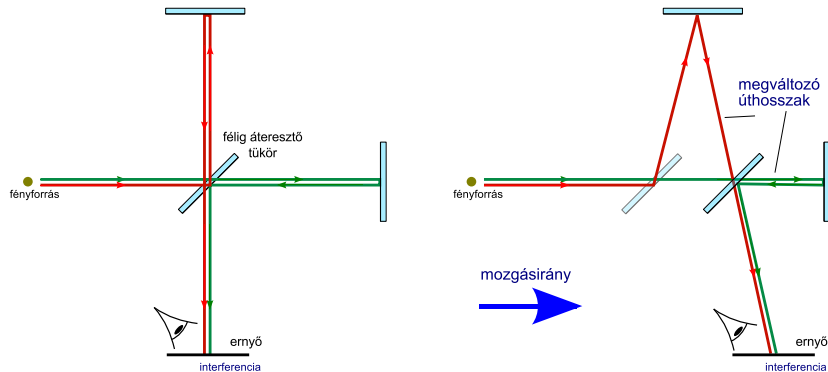
A Nap körüli keringésből kb.  $0,0001 c$  sebesség adódik.

4 tizedesjegy pontos méréssel az éterszél kimutatható! (...kellene, hogy legyen...)



# A Michelson-interferométer

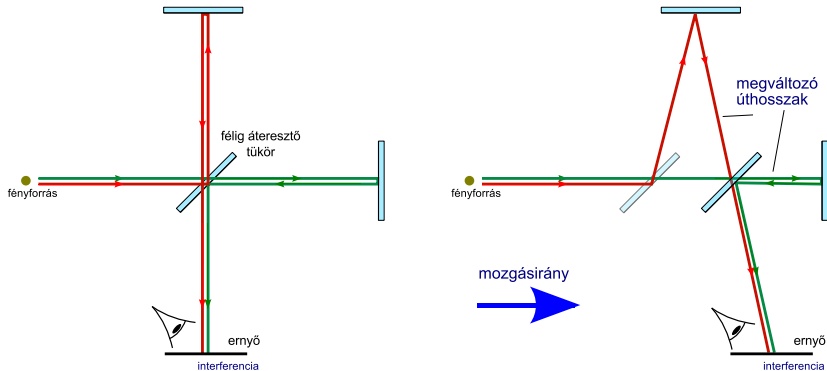
Ötlet: egymásra merőleges irányokban küldünk fényjeleket és ezek sebességében mutatkozó kis eltéréseket interferometriával mutatjuk ki.



Mozog a berendezés

## A Michelson-interferométer

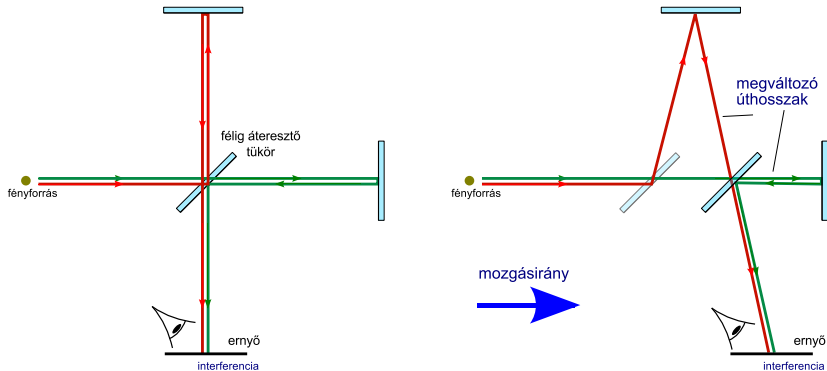
Ötlet: egymásra merőleges irányokban küldünk fényjeleket és ezek sebességében mutatkozó kis eltéréseket interferometriával mutatjuk ki.



Mozog a berendezés  $\Rightarrow$  eltérően változnak a terjedési idők

## A Michelson-interferométer

Ötlet: egymásra merőleges irányokban küldünk fényjeleket és ezek sebességében mutatkozó kis eltéréseket interferometriával mutatjuk ki.



Mozog a berendezés  $\Rightarrow$  eltérően változnak a terjedési idők  $\Rightarrow$  az ernyőn megváltozik az interferencia-kép.



## A Michelson-Morley kísérlet eredménye

A berendezés a keringő Földön van  $\Rightarrow$  Az interferencia-képnek változni kellene, ha:

- elforgatjuk a berendezést  $90^\circ$ -kal (másik kar esik a Föld mozgásirányába)
- várunk pár hónapot (a Föld más irányban mozog)

## A Michelson-Morley kísérlet eredménye

A berendezés a keringő Földön van  $\Rightarrow$  Az interferencia-képnek változni kellene, ha:

- elforgatjuk a berendezést  $90^\circ$ -kal (másik kar esik a Föld mozgásirányába)
- várunk pár hónapot (a Föld más irányban mozog)

---

1887-re eléri a 8 km/s pontosságot, de **az éterszél kimutathatatlan!**

A kísérleteket később tovább pontosították, de nem volt változás!

**Jelentős elméleti problémák:**

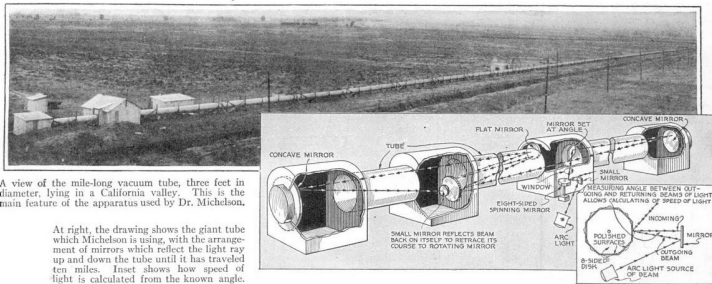
- A Föld kitüntetett szerepű? (Mégsem mozog a Föld? :-) )
- Milyen az éter dinamikája? Többszörös ellentmondások.
- Fizeau áramló közeges kísérlete:  $\Delta c = v(1 - 1/n^2) = 0$ .  
Vákuum:  $n = 1$ , azaz az üres tér (éter) nem ragadja magával a fényt. (?!?)  
**A fény mindenkihez viszonyítva ugyanazzal a sebességgel megy?!**

## Michelson további fénysebesség-mérései

Michelsont izgatta a fénysebesség pontos megmérése.

**A forgótükrös kísérlet továbbfejlesztésével az 1900-as években:**

- 35 km-es távolságon fénysebesség-mérés 4 km/s pontossággal.
- 1,6 km hosszú egyenes csőben 5 tizedesjegy pontosságú mérés levegőben, vízben, vákuumban.



Michelson egymérföldes csőve, amiben fénysebességet mért

**Ezeket sem látszott az éterszél hatása!**

# Michelson kísérletei és a technikai fejlődés

**Precíziós mérés technika** kellett a kísérletekhez:

- Az alappontok távolságának 6 jegy pontosságú mérése. (Pár cm hiba 35 km-en)
- Precíz optikai berendezések.
- Mechanikai, gépészeti problémák. (1,6 km hosszú egyenes cső légszivattyúval és vízfeltöltéssel, ...)

E területek hasznosították a Michelson-féle kísérletek tapasztalatait.

# Michelson kísérletei és a technikai fejlődés

**Precíziós méréstechnika** kellett a kísérletekhez:

- Az alappontok távolságának 6 jegy pontosságú mérése. (Pár cm hiba 35 km-en)
- Precíz optikai berendezések.
- Mechanikai, gépészeti problémák. (1,6 km hosszú egyenes cső légszivattyúval és vízfeltöltéssel, ...)

E területek hasznosították a Michelson-féle kísérletek tapasztalatait.

---

**A Michelson-interferométer későbbi alkalmazásai:**

- a méter hosszának a fény hullámhosszához kötése
- CD, DVD meghajtók olvasófeje
- mozgásérzékelők, lehallgatóberendezések
- precíziós optikai minőségellenőrző berendezések
- gravitációs hullámok észlelése (lásd később)

# Michelson kísérletei és a technikai fejlődés

**Precíziós méréstechnika** kellett a kísérletekhez:

- Az alappontok távolságának 6 jegy pontosságú mérése. (Pár cm hiba 35 km-en)
- Precíz optikai berendezések.
- Mechanikai, gépészeti problémák. (1,6 km hosszú egyenes cső légszivattyúval és vízfeltöltéssel, ...)

E területek hasznosították a Michelson-féle kísérletek tapasztalatait.

---

**A Michelson-interferométer későbbi alkalmazásai:**

- a méter hosszának a fény hullámhosszához kötése
- CD, DVD meghajtók olvasófeje
- mozgásérzékelők, lehallgatóberendezések
- precíziós optikai minőségellenőrző berendezések
- gravitációs hullámok észlelése (lásd később)

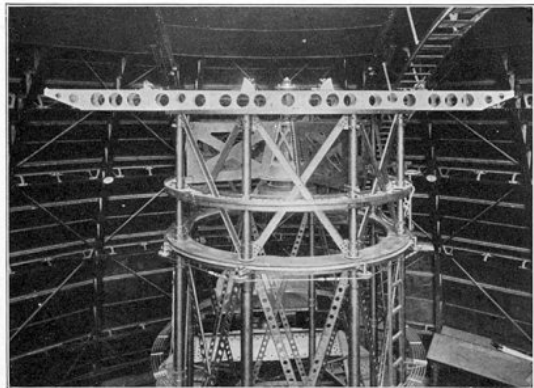
## Érdekesség: Michelson csillagászati interferométere

Michelson sok más műszert is tervezett. Ezek egyike: **Michelson csillagászati interferométere.**

Csillagfénnnyel végzett interferencia nagy távcsövekre szerelt tükrös interferométerrel:

- csillagok látszó átmérőjének megmérése
- egymáshoz nagyon közeli kettőscsillagok felbontása

Sok mai optikai és rádiótávcsöves technika alapja.



## Folytatás

Értelmezési gondok a fénysebesség körül:

- Hogyan is áramlik az éter?
- Mindenhez képest, minden irányban  $c$  a fénysebesség vákuumban?

Ezeket csak a relativitáselmélet tudta megválaszolni. (Ld. később)



## Folytatás

Értelmezési gondok a fénysebesség körül:

- Hogyan is áramlik az éter?
- Mindenhez képest, minden irányban  $c$  a fénysebesség vákuumban?

Ezeket csak a relativitáselmélet tudta megválaszolni. (Ld. később)

---

Mások tovább tökéletesítették a mérés technikát, megismételték csillagfénnel, stb.

Jelenlegi legpontosabb mérés: a fénysebességben 17 tizedesjegy pontosságig nincs irányfüggés.

Úgy tűnik, hogy a vákuumbeli fénysebesség állandósága természeti törvény!