

Fizikatörténet

A fénysebesség mérésének története

Horváth András
SZE, Fizika és Kémia Tsz.

v 1.0

Kezdeti próbálkozások

Galilei, Descartes: Egyszerű kísérletek lámpákkal adott fényjelzésekkel.

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

(Ugyanezzel a módszerrel a hang sebesség jól mérhető.)

Motiváció:

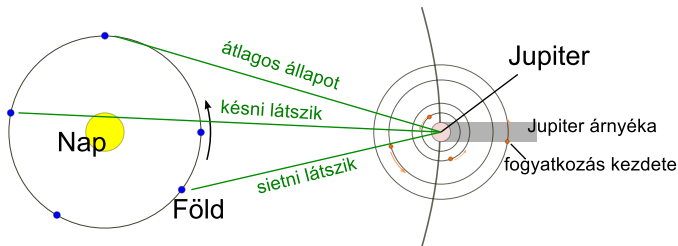
- tudományos érdeklődés
- a fénytörés elméleteinek próbája (Descartes, Fresnel)

Römer mérése

Olaf Römer (1644-1710): dán csillagász.

Eredeti motiváció: pontosan felmérni a Jupiter-holdak mozgását, hogy segítségükkel óra-kalibrációs táblázatokat lehessen készíteni. Ennek segítségével földrajzi hosszúságot lehet mérni.

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



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

Számolt sebesség-érték: kb. 240 000 km/s. (20%-os hiba.)

Römer mérése

Römer eredményeit kétkedve fogadják, csak az aberráció kimérése után veszik igazán hitelesnek.

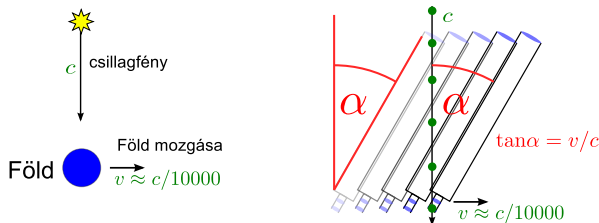
Később mások ugyanezzel a módszerrel, pontosabb mérésekkel 300 000 km/s-os, 3 jegyre pontos értéket mérnek.

Az aberráció

James Bradley (1693–1762)

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

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



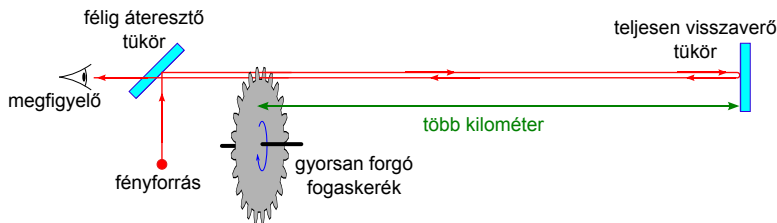
A szög kicsi (20" körüli), de távcsővel kimérhető.

Ebből Römerével összhangban levő fénysebesség számolható ki. Ekkor vált elfogadottá a fény véges sebességének ténye és közelítő értéke.

Fizeau forgó tükrös kísérlete

Armand Hippolyte Louis Fizeau (1819–1896)

1849: fénysebesség-mérés forgó fogaskerékkel.



Elv: ha a fény oda-vissza útja alatt a kerék egy fél foknyit elfordul, a megfigyelő által látott fény kialszik.

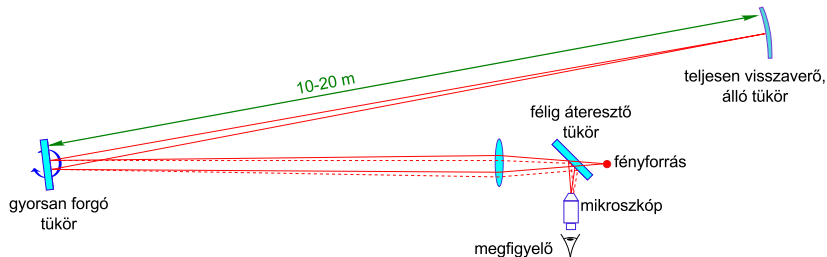
Több változat.

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.



Elv: ha a fény oda-vissza útja alatt a tükör kicsit elfordul, a mikroszkópban a kép kicsit eltolódik.

Több változat. (Többször visszairányított fény, különböző elrendezések.)

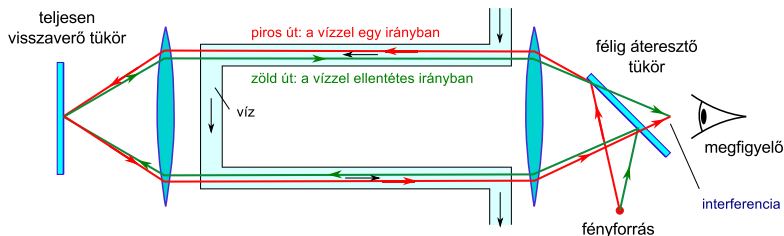
Kis méret: **közvetlen bizonyíték arra, hogy a fény vízben lassabban terjed, mint levegőben.**

Csúcs: 0,6% mérési pontosság.

Fizeau interferométere

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

Pl. az áramló víz "magával ragadja" a fényt?



Működési elv: a két fényúton menő sugár interferenciája megváltozik, ha ezek mentén változik a fénysebesség.

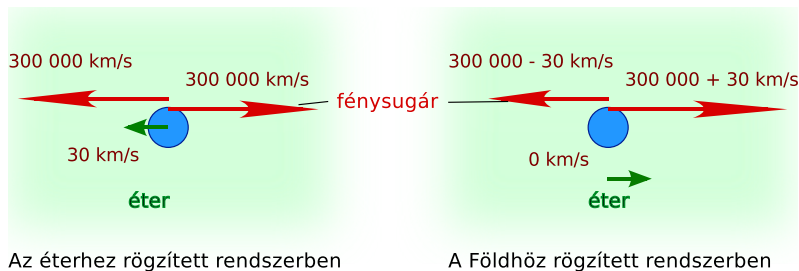
(sebesség-változás \Rightarrow hullámhossz-változás \Rightarrow fázisváltozás)

Eredmény: a v sebességű víz $\Delta c = v(1 - 1/n^2)$ -nyivel változtatja meg a fénysebességet. (Mi van, ha együtt mozgunk a vízzel?!)

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

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

A Michelson-Morley kísérlet

1860-as évek, Foucault forgó tükrös kísérlete továbbfejlesztve: közel a 4. tizedesjegyhez.

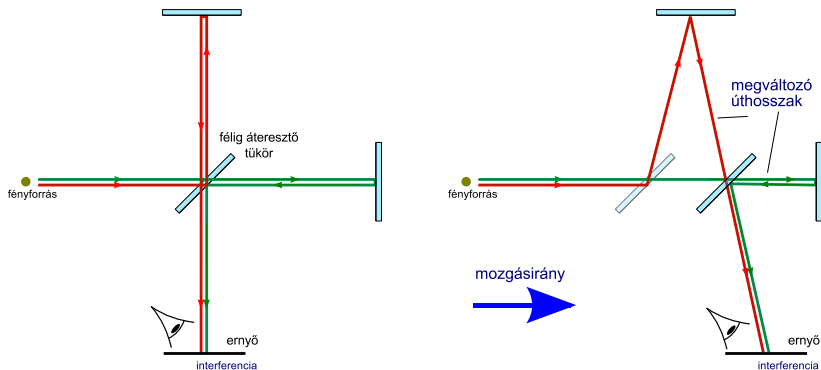
Az abszolút értéket nehezen lehetett pontosítani, ezért a kis változások kimutatására tettek kísérletet:

- Albert Abraham Michelson (1852–1931)
- Edward Williams Morley (1838–1923)

Első méréssorozat az 1880-as években (több éven keresztül).

A Michelson-interferométer

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



Ha mozog a berendezés, eltérően változnak a fényjelek terjedési idői.

A Michelson-Morley kísérlet eredménye

Az interferencia-képnek változni kellene, ha:

- elforgatjuk a berendezést 90° -kal
- várunk pár hónapot, és a Föld más irányban mozog

1887: 8 km/s pontosság, de **az éterszél kimutathatatlan!**

A kísérleteket később tovább pontosították, de nem volt változás!

Nagy elméleti problémák:

- A Föld kitüntetett szerepű? (Mégsem mozog a Föld? :-))
- Milyen az éter dinamikája? Többszörös ellentmondások.
- Fizeau áramló közeges kísérlete: $\Delta c = v(1 - 1/n^2) = 0$, ha $n = 1$, azaz az éter nem ragadja magával a fényt.

A fény mindenkihez viszonyítva ugyanazzal a sebességgel megy?!

Michelson interferométerei

A fenti Michelson-interferométer sok egyéb alkalmazása:

- a méter hosszának a fény hullámhosszához kötése
- CD, DVD meghajtók olvasófeje
- mozgásérzékelők, lehallgatóberendezések
- precíziós optikai minőségellenőrző berendezések
-

Michelson csillagászati interferométere

Csillagfénnel végzett interferencia nagy távcsövekkel:

- csillagok látszó átmérőjének megmérése
- nagyon közeli kettőscsillagok felbontása

Sok mai optikai és rádiótávcsöves technika alapja.

Michelson további fénysebesség-mérései

A forgótükrös kísérlet továbbfejlesztésével:

- 35 km-es távolságon fénysebesség-mérés 4 km/s pontossággal. (Nem változás, hanem pontos érték!)
- 1,6 km hosszú egyenes csőben 5 tizedesjegy pontosságú mérés vízben és vákuumban.

Ezekén sem látszott az éterszél hatása.

Precíziós mérés technika kellett a kísérletekhez:

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

Folytatás

A fénysebesség-mérések által felvetett problémákat csak a **relativitáselmélet** tudta megválaszolni. (Ld. a félév végét.)

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

Aktuális érték: 2009: **a fénysebességben 17 tizedesjegy pontosságig nincs irányfüggés.**