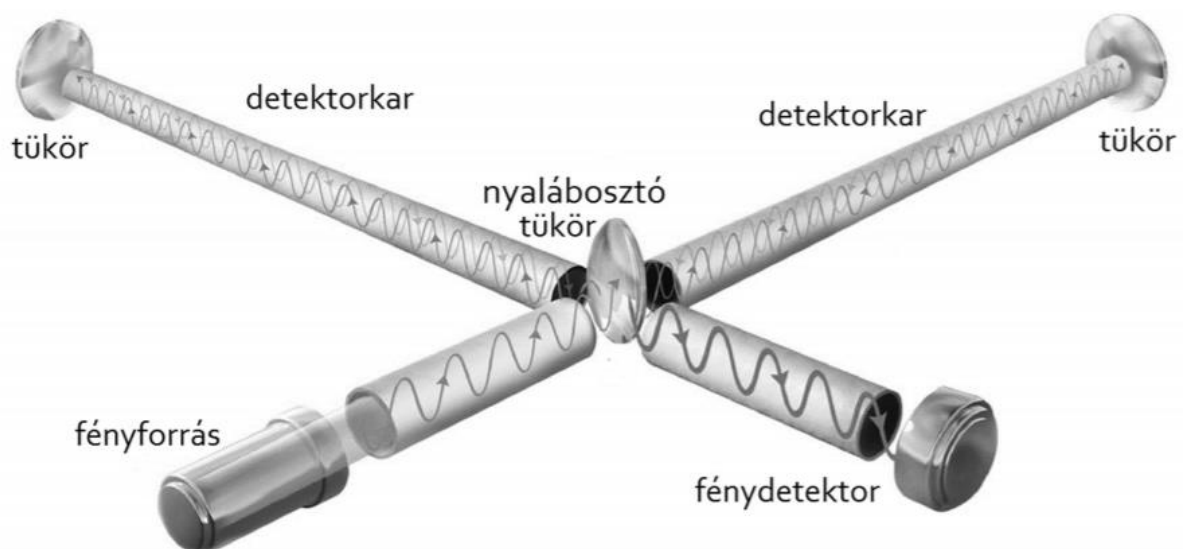


LIGO, a gravitációshullám-detektor

A LIGO-detektor (lézerinterferométeres gravitációshullám-obszervatórium) a gravitációs hullámok észlelésére kifejlesztett eszköz. A detektor két, egymásra merőleges, négy kilométer hosszú, egy méter átmérőjű csőből áll, melyben a valaha mesterségesen előállított legritkább légüres tér van. A két merőleges csőben két 1064 nm hullámhosszúságú fénynyaláb fut, melyek 400-szor oda-vissza verődnek a csővégeken elhelyezett tükrök között. A tükrök úgy vannak beállítva, hogy a két fénynyaláb 1600 km-es útja végén a detektorba jutva és ott interferálva pontosan kioltja egymást. Amennyiben a rendszerbe gravitációs hullám érkezik, az abban nyilvánul meg, hogy a LIGO-nak a hullám irányába eső karjai periodikus hosszváltozást mutatnak. Ez rendkívül rövid ideig tartó és meglehetősen gyenge jelenség, a változás egy méter távolságra vonatkoztatva nagyjából 10-21 m, ami kisebb, mint egy proton átmérője. De ez a kis hosszváltozás is elegendő ahhoz, hogy a nyalábok között a tökéletes kioltás megszűnjön. A detektor tehát a gravitációs hullámokat az interferencia során bekövetkező kioltás megszűnése révén észleli. Hogy a gyenge jelenséget elkülönítsék a zajtól, egymástól térben messze lévő két LIGO együttes mérései alapján azonosítják a gravitációs hullámokat.

Ismertesse a hullám fogalmát, az egydimenziós haladó hullám fajtáit, a hullámot jellemző legfontosabb fizikai mennyiségeket! Jellemezze a látható fényt mint hullámot! Ismertesse interferencia esetén a maximális erősítés és gyengítés feltételeit! Miért módosul a detektor által észlelt interferenciakép, ha az egyik detektorkar hossza megváltozik? A csövekben erős vákuum van. Miért zavarhatja a levegő jelenléte a mérést? A karok kismértékű hosszváltozását előidézhetheti földrengés, nehéz járművek közlekedése vagy más környezeti hatás. Hogyan tudják a tudósok az ilyen zajokat a nagy kiterjedésű gravitációs hullámoktól megkülönböztetni? Hogyan viszonyul az interferométer két karjában haladó fény útjának gravitációs hullám okozta különbsége a fény hullámhosszához?



Forrás: <https://www.sciencenews.org/article/gravitational-waves-explained>

(2018. május)

Megoldás: (18 pont)

a) A hullám fogalmának ismertetése, főbb tulajdonságainak felsorolása:

4 pont

Valamilyen fizikai mennyiség térbeli és időbeli periodikus váltakozását nevezzük hullámnak (1 pont).

(Más megfogalmazás is elfogadható.)

Főbb jellemzői: hullámhossz, frekvencia, terjedési sebesség, amplitúdó. (2 pont)

(A fentiek közül bármelyik három említése 2 pontot ér. Két jellemzőért 1 pont, egyért 0 pont jár.)

A hullámok lehetnek transzverzálisak, illetve longitudinálisak. (1 pont)

b) A fény mint hullám jellemzése:

2 pont

A fény transzverzális hullám, terjedési sebessége vákuumban $c = 3 \cdot 10^8$ m/s, a hullámhossza a látható tartományban: 390 és 750 nanométer közötti, frekvenciája: 790-400 terahertz közé esik.

(Bármely két jellemző elfogadható.)

c) Az maximális erősítés és gyengítés feltételeinek meghatározása:

4 pont

A találkozó hullámok egy adott pontban a köztük lévő fáziskülönbségtől függően erősíthetik, vagy gyengíthetik egymást. (2 pont)

A maximális erősítés feltétele: $\Delta\varphi = n \cdot 2\pi$ (1 pont)

A maximális gyengítés feltétele: $\Delta\varphi = (2n + 1) \cdot \pi$ (1 pont)

(Amennyiben a vizsgázó útkülönbségekkel írta le az erősítés és gyengítés feltételeit, és figyelemmel volt a hullámok kezdőfázisaira, a maximális pontszám megadandó, ha nem foglalkozott a kezdőfázisokkal, 3 pont adandó.)

d) Annak leírása, hogy az interferométer karjának hosszváltozása miért befolyásolja az interferenciaképet:

1 pont

e) A csőben lévő vákuum fontosságának alátámasztása valamilyen érveléssel:

2 pont

Pl.: a fénysebesség a vákuumban c , a fény szóródhat a gázon, gyengülhet, stb. (Bármilyen helyes érvelés elfogadható, s 2 pont jár érte.)

f) A zaj és a gravitációs hullám megkülönböztetésére szolgáló módszer bemutatása: (A válasz a feladat szövege alapján is megadható.)

2 pont

g) Az úthosszkülönbség és a hullámhossz viszonyának meghatározása:

3 pont

$$\frac{\Delta s}{\lambda} = \frac{10^{-21} \cdot 1,6 \cdot 10^6}{1064 \cdot 10^{-9}} = 1,5 \cdot 10^{-9} \text{ (képlet + behelyettesítés + számítás, 1 + 1 + 1 pont).}$$

Összesen

18 pont