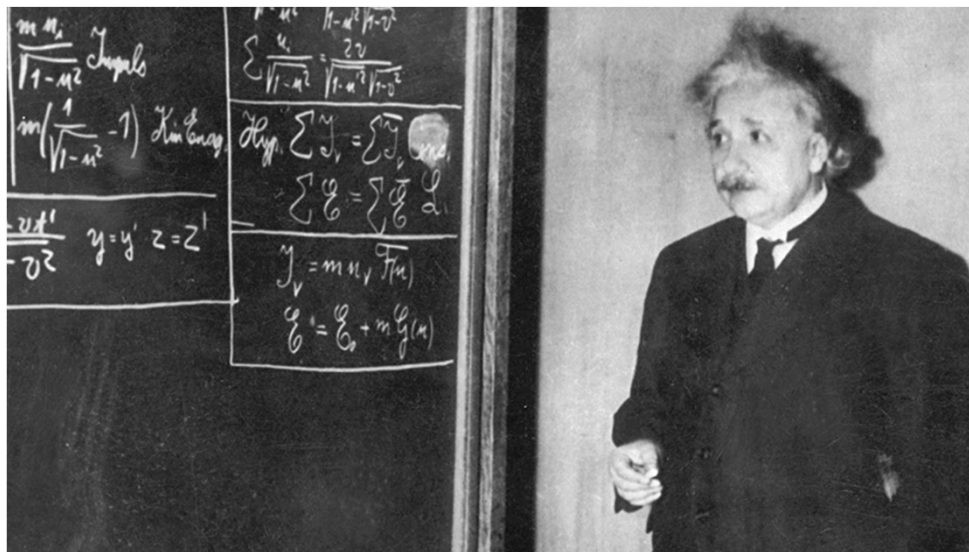


# RELATIVITÁSELMÉLET

bevezető



# Einstein példája: a pálya relativitása

- Mozgó vonatból elejtünk egy követ, az állomásról is figyeljük
  - Mozgó megfigyelő (vonat):
    - Szabadesés
    - Egyenes pálya
  - Álló megfigyelő (állomás):
    - Vízszintes hajítás
    - Parabola

# Fordítva

- Az állomáson elejtünk egy követ, a mozgó vonatból is figyeljük
  - Mozgó megfigyelő (vonat):
    - Vízszintes hajítás
    - Parabola
  - Álló megfigyelő (állomás):
    - Szabadesés
    - Egyenes pálya
- A MOZGÁS PÁLYÁJA (A GÖRBE) RELATÍV
- A KÉT KOORDINÁTA-RENDSZER EGYENRANGÚ

# IDŐ

- A sín A és B pontjába villám csap
  - nyugvó megfigyelő: egyidejűek
  - mozgó megfigyelő: A-ba (amelyik felé halad) előbb csapott, mint B-be.
- Az EGYIDEJŰSÉG RELATÍV, tehát az IDŐ is
- Minden rendszernek megvan a maga rendszerideje: SAJÁTIDŐ
- Mi AZ idő?
- Ok-okozat sorrendje?

# TÁVOLSÁG

- Egyidejű események közt van értelme távolságot mérni
- ELVILEG a távolság is függhet a k. r. –től, azaz relatív fogalom
- Nyugvó rendszer (sín) két pontja közti távolság: méterrúd rakosgatásával mérjük
- Mozgó rendszerBŐL (vonat) ugyanezt (sín két vége) két egyidejű méréssel, majd a mozgó rendszerben a méterrúd rakosgatásával.

# ÓRÁK SZINKRONIZÁLÁSA

- Minden pontba órákat helyezünk a vonaton
- B pont órája:
  - A-ból fényjelet küldünk a tőle  $x$  távolságra lévő B-be
  - amikor odaér, akkor lesz ott az idő  $t = \frac{x}{c}$
  - erre az időre állítjuk be B óráját
- Minden órát így állítunk be, szinkronizálás

# A SÍN HOSSZA A VONATBÓL

- Minden pontban megfigyelő áll a vonaton
- Az első megnyomja a stopperét a sín elejéhez érve
- Mindenki más mögötte megnyomja a stopperét a sín végéhez érve
- A sín hossza a vonatból nézve a két azonos időt mérő (EGYIDEJŰSÉG!) megfigyelő közti távolság a méterrúddal mérve
- Különböző mérési eljárás: elvileg más távolság
- A TÉR IS RELATÍV



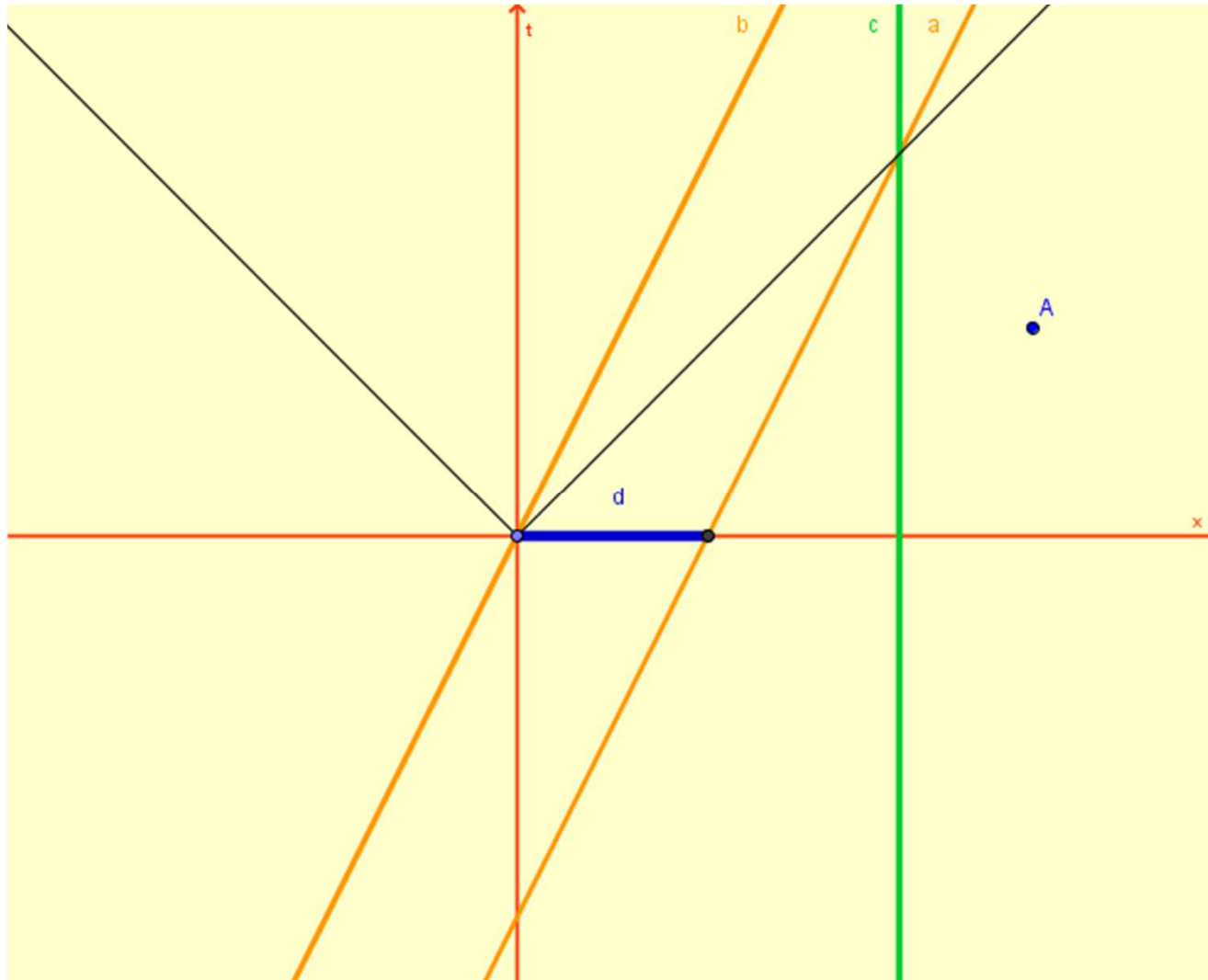
# FÉNYSEBESSÉG

- Sebességösszeadás:
  - 5 km/h-val megyünk
  - Előre/hátra dobunk egy követ 2 km/h-val
  - Nyugvó megfigyelő 7 km/h, ill. 3 km/h-nak látja.
- A fényre nem működik sebességösszeadás: mindig ugyanannyi
- $c$  független a koordináta-rendszerétől
  - Az elektrodinamika következménye
  - Mérések is alátámasztják
- Einstein: fogadjuk el axiómaként

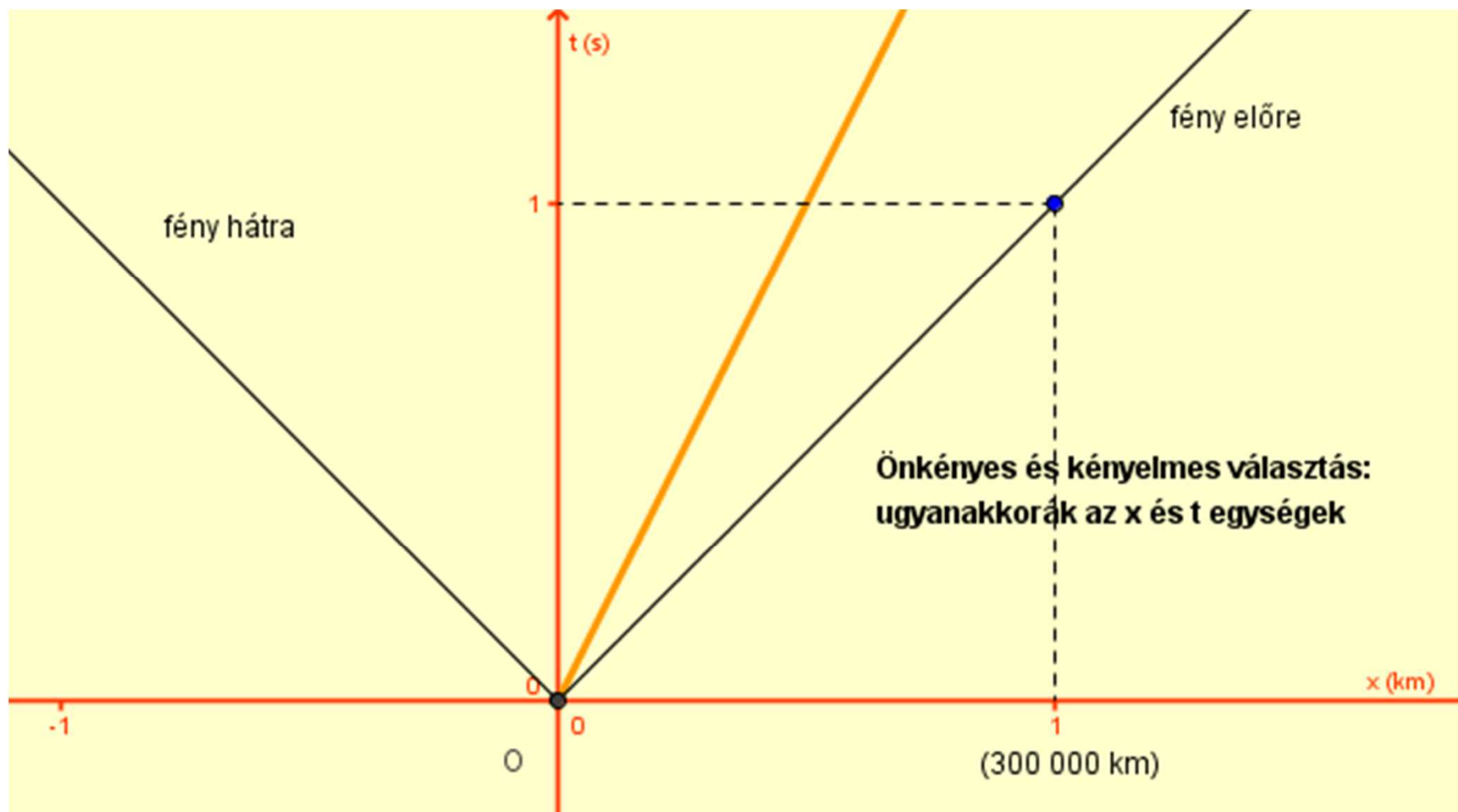
# A speciális relativitáselmélet két axiómája

1. A fénysebesség állandó.
2. Egymáshoz képest egyenletesen mozgó koordináta-rendszerek ekvivalensek.

# TÉRIDŐ ÁBRÁZOLÁSA K.R-BEN



# EGYSÉGEK rögzítése



# MESE

‘a’ úrhajó:

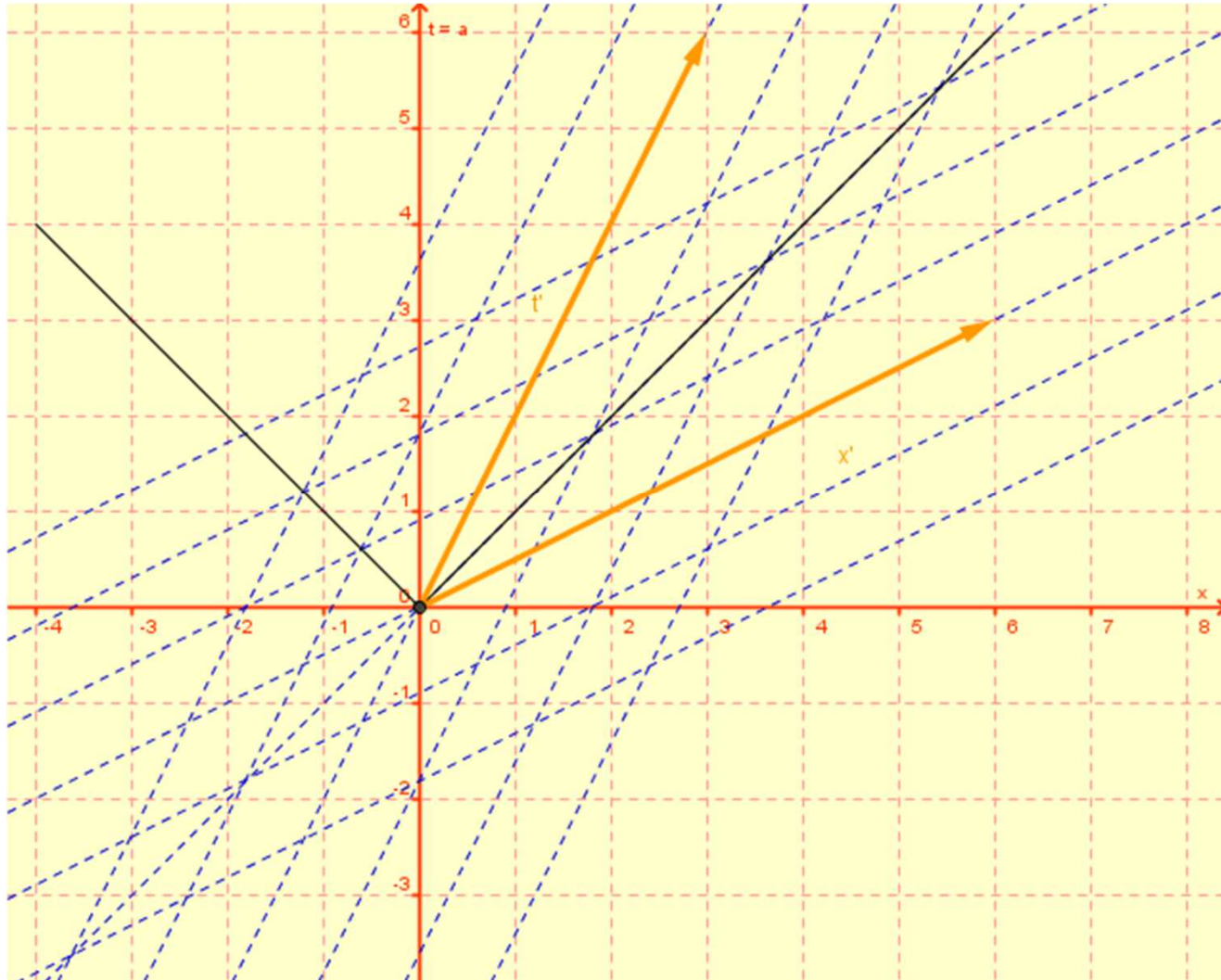
- Kilövünk egy fénysugarat az úrhajóból
- Visszapattan valahonnan
- Ugyanannyi idő oda és vissza

‘b’ úrhajó:

- Elhúz ‘a’ mellett
- Kilőnek egy fénysugarat
- Visszapattan valahonnan
- Ugyanakkora idő oda és vissza (k. r. – ekvivalenciája!)



# K és K' egymáson



# K és K' koordináta-rendszer

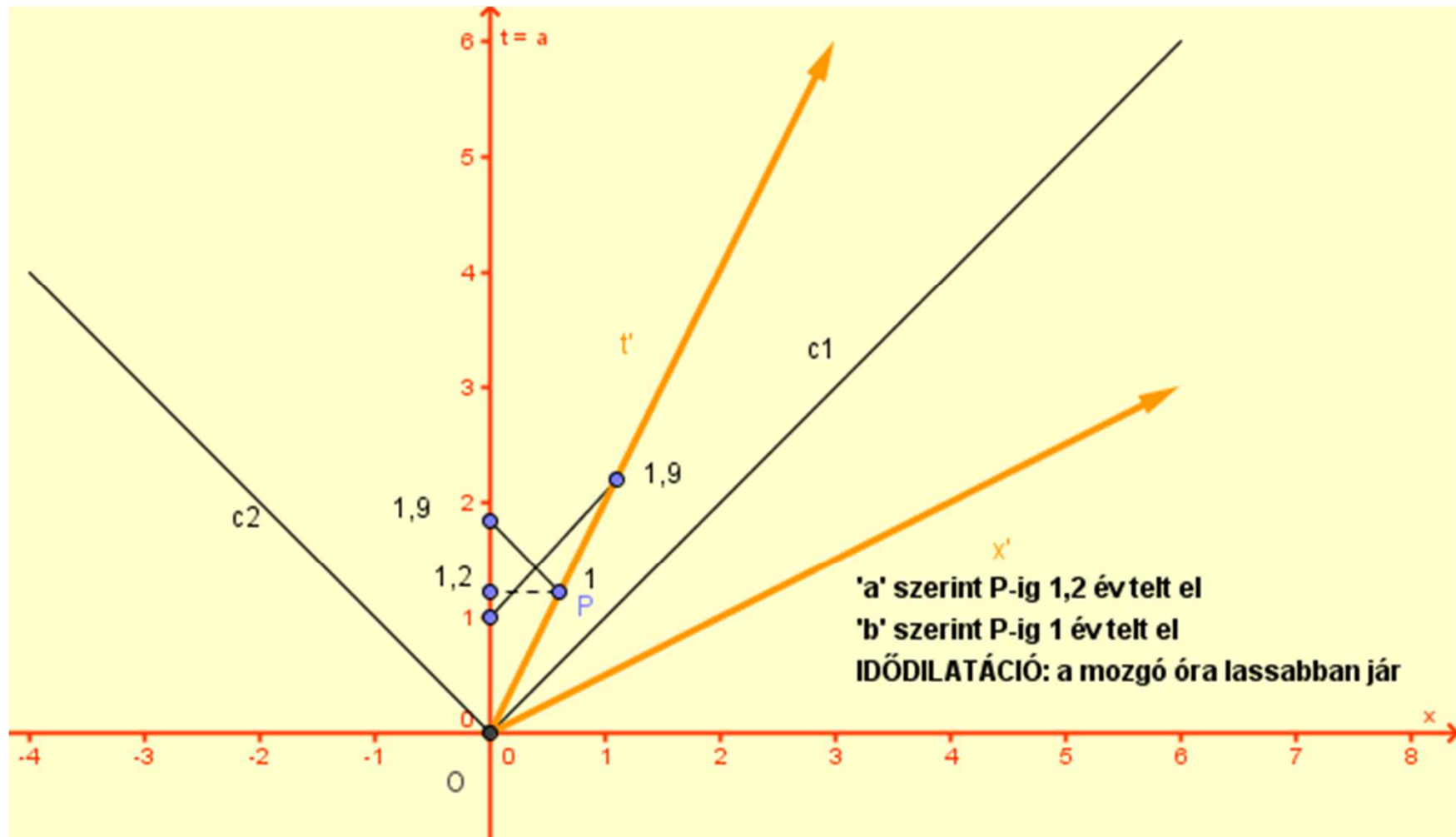
- K derékszögű: 'a' úrhajó
- K' nem derékszögű: 'b' úrhajó
- Azonos események más-más koordinátákkal
- **t és t' tengely**: az úrhajók sorsa
- **x és x' tengely**:  $t = 0$ -beli események
- Mindez az 1. axióma következménye ( $c = \text{áll.}$ )!



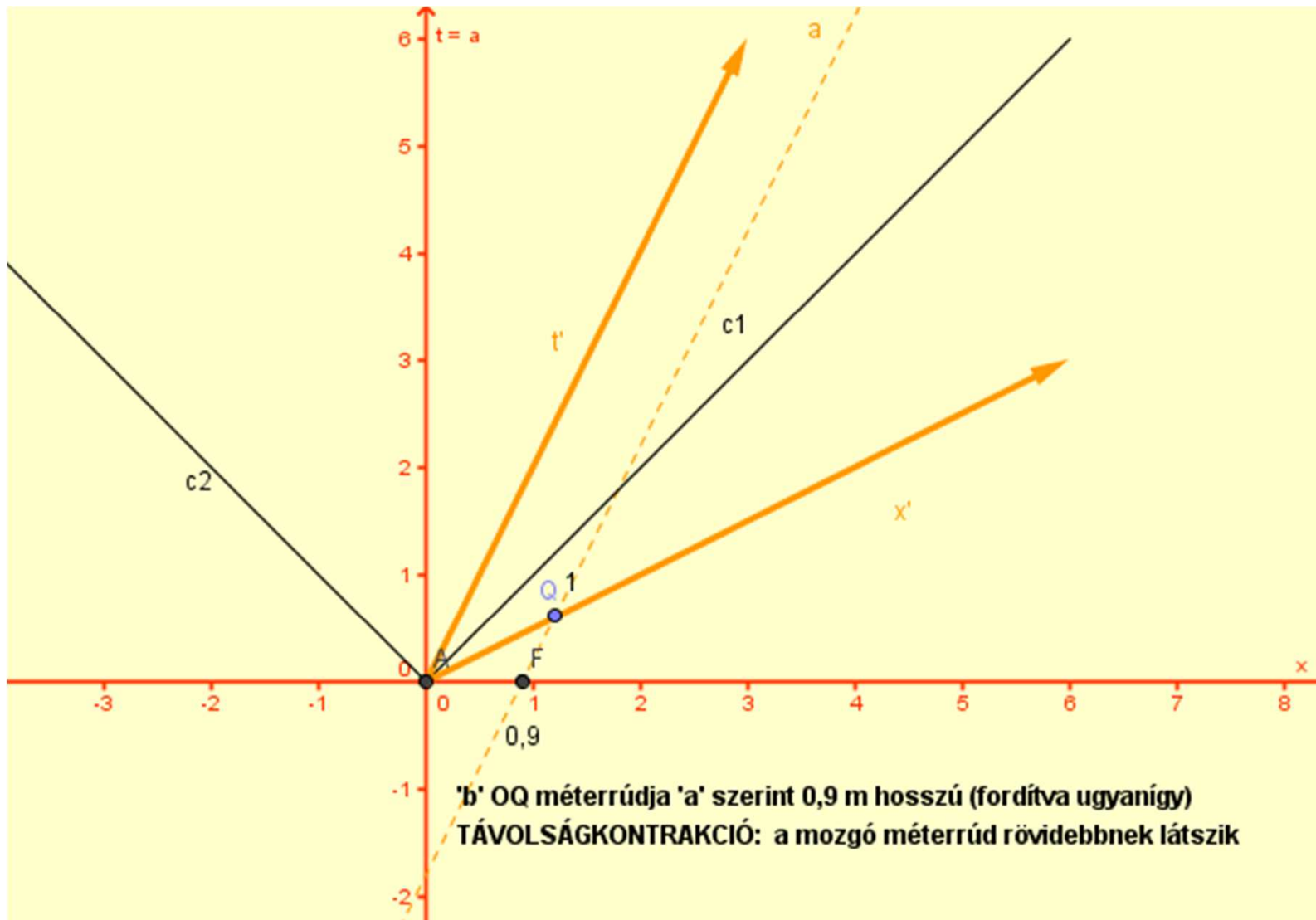
# EGYSÉGEK K'-BEN

- IDŐ: mindkét űrhajóról 1 év múltán fényjelet küldünk a másik felé. Ugyanannak kell történnie a 2. axióma miatt.
- TÁVOLSÁG: az adott k.r.-ben azonos időben mérjük a méterrúd két végét (Einstein mérési eljárása)

# IDŐDILATÁCIÓ

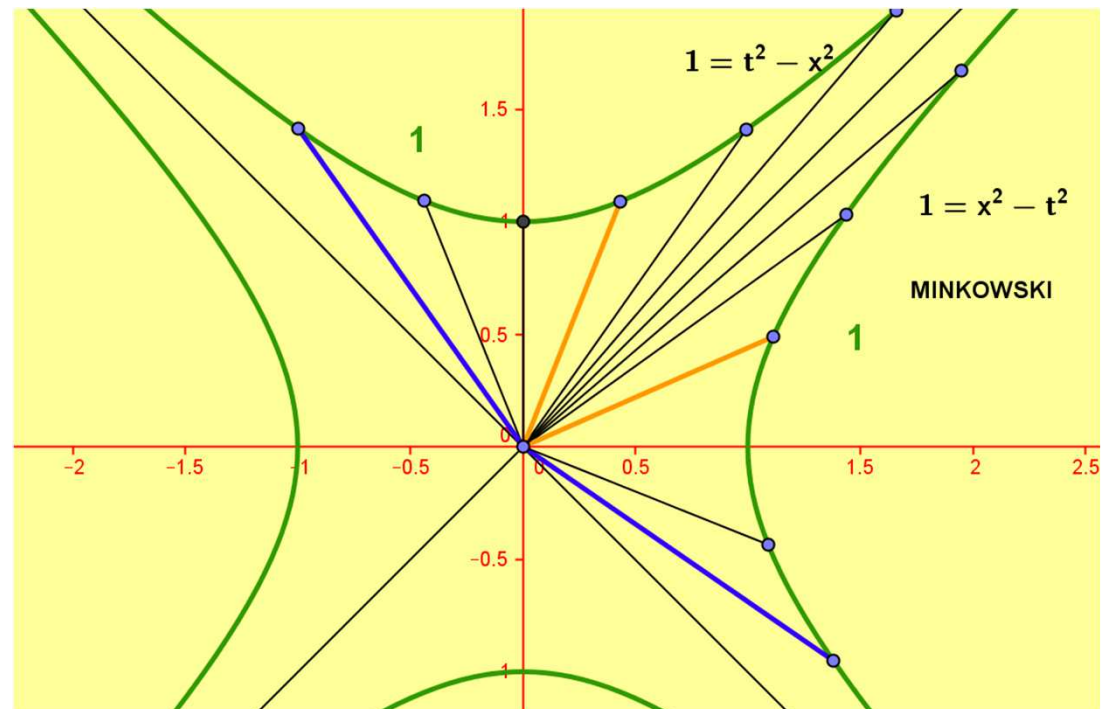
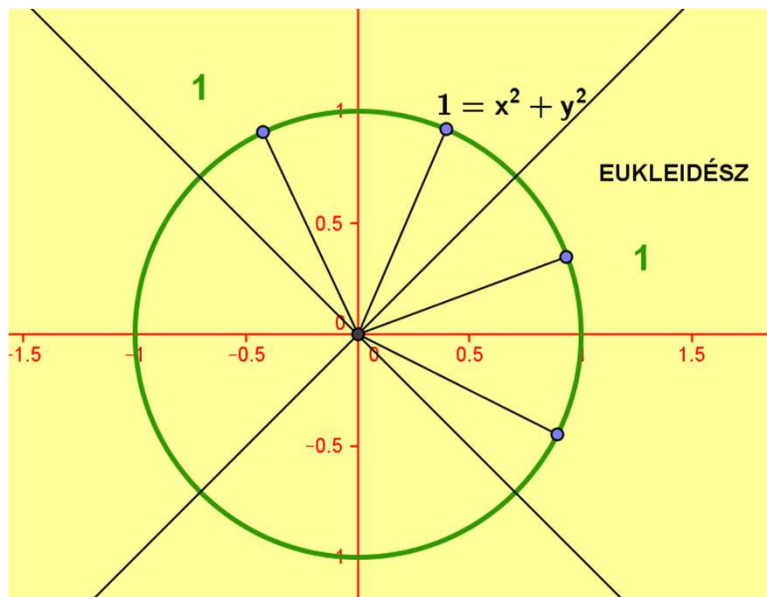


# TÁVOLSÁGKONTRAKCIÓ



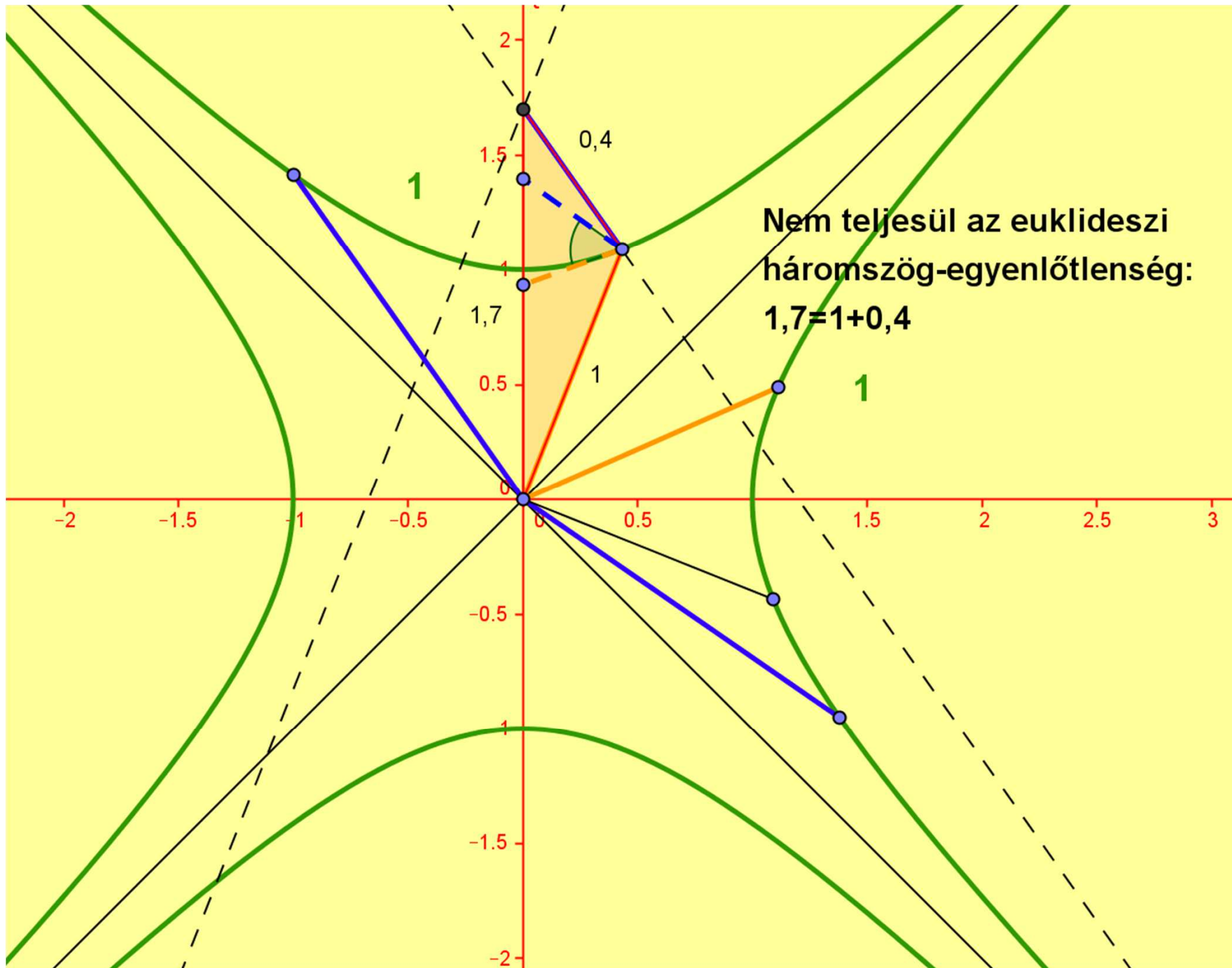
# GEOMETRIAI ÁBRÁZOLÁS

- Klasszikus fizika: euklideszi sík
- Relativitáselmélet: Minkowski-sík



# IKERPARADOXON

- O-ban ikerpár születik
- Egyik az ,a' űrhajó, másik ,b' űrhajó
- 1 éves korában ,b' gyerek visszamegy egy ,c' űrhajóval az ,a' gyerekekhez
- Egyidősek lesznek-e találkozáskor?
- NEM: ,b' és ,c' órái lassabban járnak: „fiatalodik”
- FELOLDÁS: amikor ,b'-ről ,c'-re ült át, *akkor* fiatalodott meg (hihetetlen nagy gyorsulás)



# ALAGÚT-VONAT PARADOXON

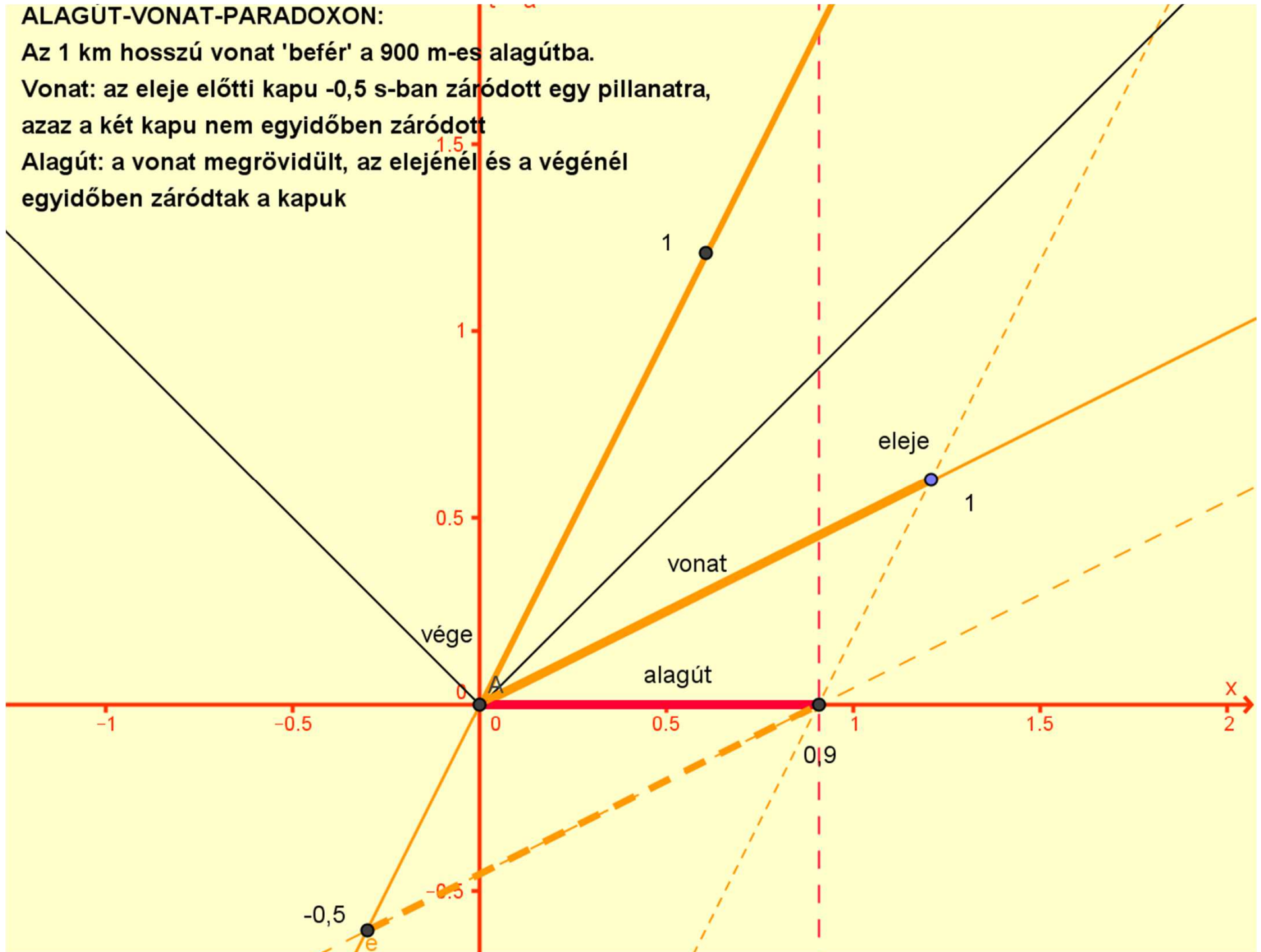
- Átfér-e az 1 km hosszú vonat a 900 m-es alagúton? (egy pillanatra lezárjuk a két végét)
- Alagút: a vonat megrövidült, egyidőben zártuk le az alagút két végét
- Vonat: a vonat 1 km, előbb az elején, MAJD a végén zártuk le az alagutat

### ALAGÚT-VONAT-PARADOXON:

Az 1 km hosszú vonat 'befér' a 900 m-es alagútba.

Vonat: az eleje előtti kapu -0,5 s-ban záródott egy pillanatra, azaz a két kapu nem egyidőben záródott

Alagút: a vonat megrövidült, az elejénél és a végénél egyidőben záródtak a kapuk



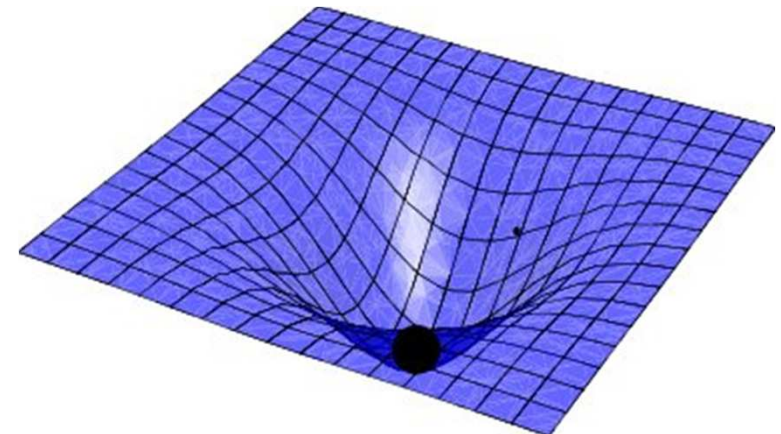
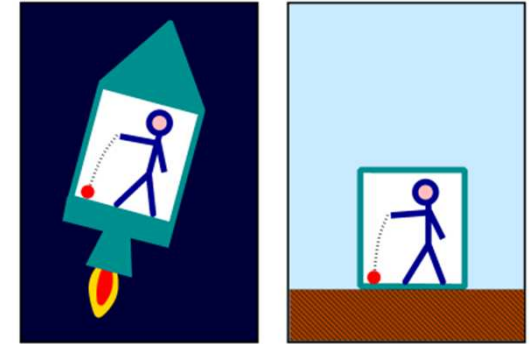


# TÖMEG

- Tömeg-energia ekvivalencia: a két legalapvetőbb természeti törvény (energia- és tömegmegmaradás) eggyé válik
- $E = mc^2$
- Következmény: a tömeg is változik, ha egy K-hoz képest mozgó test energiát vesz fel vagy ad le

# ÁLTALÁNOS RELATIVITÁS (1917)

- Einstein példája:
  - „gyorsuló szoba”
  - A nyugvó, gravitációs  $K$  és a gyorsuló, gravitációmentes  $K'$  megkülönböztethetetlen
- Általános relativitás elve: MINDEN vonatkoztatási rendszer ekvivalens (ekvivalencia-elv)
- Modell:
  - *görbült* téridő
  - a gravitáció (=tömeg) okozza
  - gumilepedő



# KÍSÉRLETI IGAZOLÁS

- Perihélium (napközeli helyzet): a bolygók ellipszispályája nem záródik, elfordul
- Vöröseltolódás: galaxisok fényének hullámhossza megnő
- Gravitációs fényelhajlás (lencse): nem látható galaxisok válnak láthatóvá

