

1.) Feladat

Az egydimenziós relativisztikus mozgások szemléltetésére gyakran az ún. Minkowski-síkot használjuk, amit az (egydimenziós) tér és idő tengelyek feszítenek ki. Az időtengelyen érdemes a ct kombinációt mérni, így a koordinátatengelyek az x és ct . A Minkowski-sík pontjait „eseményeknek” nevezzük (ugyanis jól meghatározott helyet és időt jelölnek ki)

- Rajzoljuk fel a Minkowski-sík koordinátatengelyeit. Az egyszerűség kedvéért ezek legyenek merőlegesek! Vegyük fel az egységeket (pl. fényév mértékegységben) a koordinátatengelyeken!
- A $t=0$ időpontban az $x=0$ pontból fényjeleket indítottunk a $+x$ és $-x$ irányokba. Rajzoljuk be a fényjelek világvonalait!
- A $t=0$ időpontban az $x=0$ pontból különböző sebességű űrhajók sokasága indul a $+x$ és $-x$ irányokba. Rajzoljuk fel ezen űrhajók világvonalait.
- Minden űrhajón található egy-egy nagyon pontos atomóra, amiket az induláskor 0-ra állítottak. Az előadáson szerepelt a Minkowski-ív hossz invarianciájának követelménye. Ez alapján rajzoljuk be a Minkowski síkra azokat az eseményeket, amikor az egyes űrhajókon lévő órák „1 évet” mutatnak! Milyen görbékent nyertünk?
- A d.) feladat alapján mit mondhatunk az egyes űrhajókon az idő múlásának sebességéről?

2.) Feladat

- Egy műhold a Földfelszín közelében mozog 8000 m/s sebességgel. A Földfelszínen eltelik egy óra. Mennyit késik ehhez képest a műhold órája?
- Egy űrhajó hozzánk képest a fénysebesség 99%-ával mozog. A mi óránk szerint eltelik egy óra. Mennyi idő telik el ez alatt az űrhajó órája szerint?

3.) Feladat

Tekintsük a híres ikerparadoxont. Az ikerpár egyik tagja (legyen a neve Béla) egy űrhajóval, melynek utazósebessége $3c/4$, elutazott az Alpha Centauri csillag naprendszerébe, hogy megvizsgálja az ott talált két exobolygót. Az űrhajó az utazósebességét az utazás idejéhez képest elhanyagolható idő alatt éri el, és elhanyagolható idő alatt le is fékez. Béla miután megérkezett, egy (földi) évig vizsgálatokat végez, és ezután tér haza. Tudjuk, hogy az Alpha Centauri távolsága a Naptól 4,3 fényév, és a Naphoz képest mért sebessége a fénysebességhez képest elhanyagolható.

- Rajzoljuk fel az ikertestvérek világvonalait a Minkowski síkon!
- Mennyit öregszik Géza, a Földön hagyott ikertestvér, amíg Béla visszatér az utazásból?
- Mennyit öregszik Béla?

Az ikerparadoxont próbálták úgy magyarázni, hogy annak oka a mozgó ikerpár gyorsulásában keresendő, hiszen a lényeges eltérés a két ikerpár között az, hogy egyiküknek mindenképp gyorsulnia kell, hogy hazatérhessen. Ezt a hibás magyarázatot a következő gondolat kísérlettel zárhatjuk ki:

Tegyük fel, hogy Bélával együtt Géza is elindult az utazásra, azonban félúton az űrhajó mentőkabinjával megállt egy, a Naphoz képest álló űrbeli fogadóban. Amikor testvére jött visszafelé, a kabint felgyorsítva csatlakozott hozzá, és így együtt tértek vissza a Földre. Láthatjuk, hogy ebben a gondolat kísérletben mindkét ikerpár pontosan azonos gyorsulásokat szenved el.

- Rajzoljuk fel Géza módosított világvonalát az ábrára!
- Mennyi időt töltött Géza a fogadóban?

Mennyit öregedett Géza ebben az esetben a teljes utazás során?

4.) Feladat

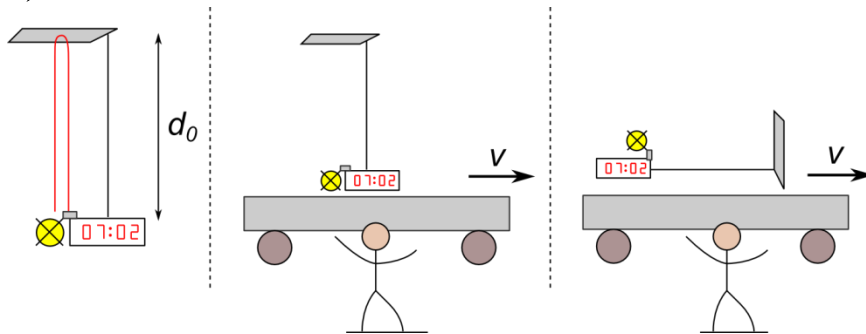
A müonok a kozmikus sugárzás hatására keletkeznek a felső atmoszférában, és ezután jó közléssel egyenes sebességgel haladnak a földfelszín irányába. Laboratóriumi körülmények között kimérték, hogy a müonok (amik nem stabil részecskék) $T_{1/2} = 1,5 \mu\text{s}$ felezési idővel elbomlanak.

- Ha a nemrelativisztikus mechanika törvényei lennének érvényesek, mekkora utat tenne meg egy (gyakorlatilag) fénysebességgel mozgó müon, amíg várhatóan elbomlik?
- Feltéve, hogy a müonok 10 km magasságban keletkeznek, hányadrészüket érné el a Földfelszín a „nemrelativisztikus” modell szerint?

Szeretnénk megmérni a müonok sebességét, ezért a következő kísérletet eszeltük ki. Készítünk két egyforma müondetektort, az egyiket egy meteorológia ballonnal $h = 3 \text{ km}$ magasságba emelünk, a másikat a felszínen hagyjuk. Ezután megmérjük az átlagos beütésszámot egy óra alatt. Azt találtuk, hogy a ballonon lévő detektor átlagosan $n_b = 700$, a felszínen lévő $n_f = 500$ beütést számol.

- Feltéve, hogy a müonok V_μ sebességgel mozognak, adjuk meg az n_f és n_b közötti összefüggést!
 - A mérési adatok ismeretében adjuk meg a müonok V_μ sebességét!
-

5.) Feladat



Tekintsük az alábbi gondolkísérlet. Építettünk egy „fényórát”, ami a következő módon működik. Egy fényforrás felvillan egy nagyon rövid időre, a fénye egy tőle d_0 távolságban lévő tükrön visszaverődik és a fényforrás közvetlen közelébe helyezett detektorba jut. Amikor a detektor jelez, lépteti egygel a

számlálót és újabb fényjelet küld ki. A bal szélső ábra mutatja az óra konstrukcióját.

- Adjuk meg mekkora a nyugvó fényóra időegysége, azaz mennyi idő jut a fény a tükrön visszaverődve a detektorba?

Helyezzük az órát először a középső ábrán látható módon egy v sebességgel haladó vasúti kocsira. A sín mellett áll egy megfigyelő (pálcikaember), aki a haladó vagonat figyeli.

- Rajzoljuk fel azon fény sugar pályáját a megfigyelő szemszögéből, ami a lámpából a tükrön visszaverődve a detektorba jutott.
- Mekkora utat tett meg a fény a megfigyelő szerint?
- Ez alapján mennyi idő telik el a megfigyelő szerint, amíg a vagonon lévő fényóra számlálója egy egységet ugrik?

Most fordítsuk a fényórát el 90° -kal, ahogy a jobboldali ábra mutatja! A relativitás elvének értelmében a fényóra időegysége nem változhatott meg.

- Mutassuk meg, hogy ebben az esetben a fényóra karjának hossza **meg kellett változzon** a sín mellett álló megfigyelő szerint!
- Mekkorának látja a megfigyelő a mozgó fényóra karjának hosszát?