Tartalom

A gyorsan mozgó és nagy tömegű dolgokkal kapcsolatos legfontosabb jelenségek szemléletes bemutatása.

Megjegyzés

Ez egy nem túl hosszú, de annál elvontabb téma, amit azért igyekeztem a lehető legérthetőbben bemutatni. Sok olyan dolog nyitjára érezhetünk rá általa, melyeket egyébként sokak szerint csak a tudósok érthetnek. Ilyenek az idő sebességének megváltozása, a tömeg és energia összefüggése vagy a tér görbülete. (Viszont van még benne jó pár olyan kérdés, melyek számomra nyitottak vagy megerősítést igényelnek. Ha ezekben tud valaki segíteni, megköszönöm.)

Relativitáselmélet

(Azonosító: 023; Változat: 01)

Pozíció a műben

Előszó

A világ működése
- **Bevezetés**
- **Elvek**
- **Alapok**
  - **Megismerés**
  - **Véletlenszerűség és rendezettség**
  - **Metafizika**
  - **A világ építőkövei**
    - Anyag, energia, erők
    - Idő és tér
    - **Relativitáselmélet**
    - Kvantum világ
    - Érdekes fizikai jelenségek
  - **A világ mélységei**
  - **Elvarratlan szálak**
- **Élet**
- **Elme**
- **Ember**
- **Társadalom**
- **Egység**
- **Program**

Az ember élete

© Egyvilág – www.egyvilag.hu

1. A relativitás jelentése 2
2. Speciális relativitáselmélet 3
2.1. Kiindulópont 4
2.2. Következmények 4
2.3. Alkalmazások 8
3. Általános relativitáselmélet 8
3.1. Kiindulópont 8
3.2. A gyorsuló és a gravitációnak kitett rendszerek tulajdonságai 9
3.3. Alkalmazások 12
***Referenciák* 13**

1. A relativitás jelentése

Ehhez a témához érdemes előbb áttekinteni az ‘Anyag, energia, erők’ témát, ami az említett jelenségek alapjait mutatja be.

Jellemző, hogy a minél messzebb kerülünk az emberi léptéktől, a természet jelenségei annál furcsábbak.

Ahogyan látni fogjuk, ez egyaránt igaz a gyorsan mozgó, a nagy tömegű és a nagyon kicsi dolgokra is.

A relativitáselmélet a gyorsan mozgó és nagy tömegű dolgok elmélete.

(Ellentétben a kvantumfizikával, mely a kicsi dolgoké.)

Emberi méretekben és a mindennapi életben tapasztalható sebességek mellett a relativisztikus jelenségek gyakorlatilag nem tapasztalhatóak. Ezért is tartott olyan sokáig, hogy feltűnjenek.

A relativitás elve azt jelenti, hogy adott fizikai törvényszerűség minden neki megfelelő vonatkoztatási rendszerben ugyanúgy fennáll.

Az, hogy **vonatkoztatási rendszer** gyakorlatilag egy térbeli koordinátarendszert jelent, amihez képest a dolgok pozícióját, mozgását értelmezzük ß. Ebből a relativitáselmélet szempontjából alapvetően kétféle bír jelentőséggel: az egyenletesen mozgó és az egyenletesen gyorsuló vonatkoztatási rendszerek.

A relativitás elve **már Einstein előtt ismert volt**. Például a newtoni fizikában sem lehet egy ablaktalan vasúti kocsiban eldönteni, hogy az áll vagy egyenletesen mozog – legalábbis a különféle testek mozgásán végzett kísérletekkel nem, mivel ezek törvényei egyformák az ilyen mozgásokra való tekintet nélkül.

Einstein az elvet **kiterjesztette** egyrészt a fény mozgására, másrészt a gyorsuló és gravitációnak kitett rendszerekre, az alábbiak szerint.

1) **A speciális relativitáselméletben mindennek, beleértve a fényt is, ugyanúgy kell viselkednie minden olyan vonatokozatási rendszerben, melyben nem tapasztalható gyorsulás.**

Ide tartoznak a valamihez képest egyenletesen mozgó és álló rendszerek, de a szabadon eső rendszerek is.

Gyorsulás abban a rendszerben tapasztalható, melyben a magukra hagyott dolgok (például egy felemelt és elengedett golyó) mozgása a rendszeren belül gyorsulást mutat $ß, ami az iménti rendszerek egyikére sem igaz. (A szabadon eső rendszerekben mindet egyformán gyorsít egy külső erő, a rendszeren belül ezért nem tapasztalható gyorsulás.)

Ez annyival több, mint a klasszikus fizika relativitási elve, hogy ott a fény mozgását vizsgálva elvileg meg lehetett volna állapítani, hogy valami mozog-e. Erről bővebben alább.

2) **Az általános relativitáselméletben mindennek, beleértve a fényt is, ugyanúgy kell viselkednie az olyan vonatkozatási rendszerekben, melyekben azonos, egyenletes gyorsulás tapasztalható.**

Ilyen rendszer **kétféle** van: vagy valamilyen erő hatására (ami nem a gravitáció) **valóban gyorsul**, ahogyan például egy rakéta teszi az űrben, ha begyújtják a hajtóműveit; vagy **az alátámasztott, nyugvó rendszerre gravitáció hat**, ahogyan a rakétára, ha az leszáll a Földre. A benne ülő ember ezek értelmében mindkét esetben ugyanazt érzi, és semmi egyéb módon sem tudja megkülönböztetni a két esetet egymástól. Lásd alább az ekvivalencia elvét.

2. Speciális relativitáselmélet

2.1. Kiindulópont

A mindennapi világban a sebességek relatívak: ha én biciklivel 20 km/h-val haladok, és egy autó elhúz mellettem 100 km/h-val, akkor én a bicikliről az autót 80 km/h-val látom távolodni.

Eredetileg ugyanezt feltételezték a fényről is, így azt, hogyha a fénnyel azonos irányban haladunk, a fényt kisebb sebességgel látjuk majd távolodni. Furcsa módon viszont azt találták, hogy ez nem így van: akárhogyan is mozogjunk, **a fényt a mozgásunk irányában is mindig fénysebességgel látjuk haladni**.

Eredetileg **a fényt tiszta hullámjelenségnek tekintették**, melyet egy abszolút értelemben álló, statikus dologban, **az éterben** terjedő hullámként képzeltek el, körülbelül ahogyan a hagyományos hullámok terjednek a vízben. Ez együtt járt volna a fény sebességének relativitásával. Meg is próbálták mérni, hogy a megfigyelő mozgása hogyan befolyásolja a fény általa érzékelt sebességét, ilyen hatást azonban nem találtak.

Ha viszont a fény sebessége abszolút, az azzal is jár, hogy az egyenletesen mozgó vonatkoztatási rendszerekben a fény sebességének megmérésével sem lehet eldönteni, hogy hogyan mozgunk – **a relativitás elve a fényre is vonatkozik** tehát. Einstein hajlandó volt ezt elfogadni, ebből született a speciális relativitáselmélet.

2.2. Következmények

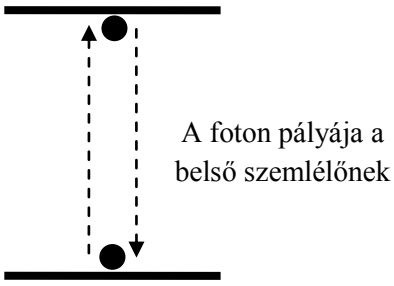
1) A mozgások relativitása

A fentiektől már csak egy lépés, hogy akkor miért ne lehetne, hogy semmilyen fizikai jelenség segítségével sem lehet belülről megállapítani, hogy hogyan mozgunk ott, ahol nem tapasztalható gyorsulás, hogy a relativitás elve minden fizikai jelenségre vonatkozik. Ez azt is jelenti, hogy nincs olyan dolog, ami abszolút értelemben áll (mint amilyen az éter lett volna), mivel ehhez képest meg lehetne állapítani a mozgásállapotot. **Nincs tehát abszolút mozgás** sem, a dolgok mozgása csak egymáshoz képest értelmezhető, mérhető: minden mozgás relatív. (Kivéve a fényét, ami viszont mindenhez képest ugyanúgy mozog.)

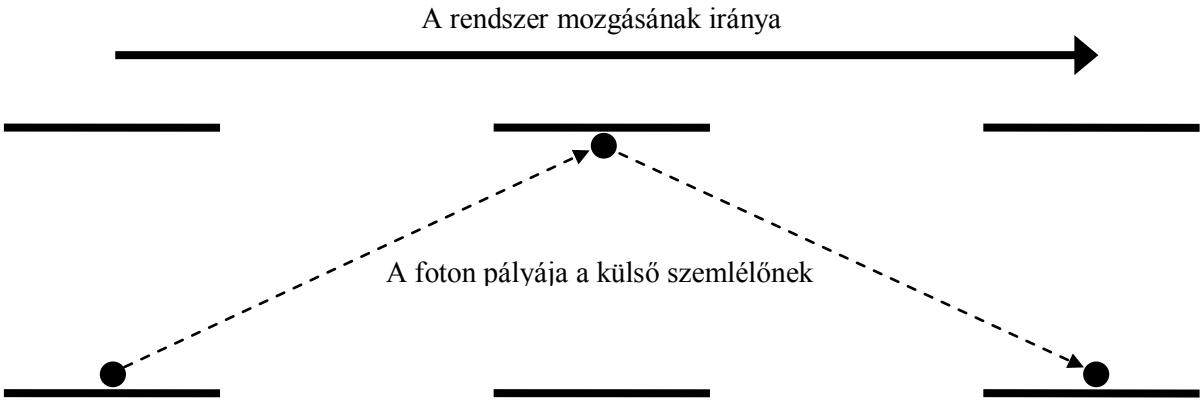
(Érdemes észrevenni, hogy ez azért **megmarad feltételezésnek**, mivel nem zárható ki, hogy a jövőben mégiscsak találunk valamit, melynek segítségével a mozgásállapotok megkülönböztethetőek lesznek. ß)

2) Kívülről nézve a mozgó rendszerekben az idő lelassulni látszik.

Ezt a következők segítenek megérteni. Tegyük fel, hogy van két tükör, melyek között egy foton (ami a fény részecskéje) utazik oda-vissza. A foton mozgását a **belső szemlélő**, akihez képest a tükrök állnak, a következőképpen látja.



Most képzeljük el, hogy van valaki más, a **külső szemlélő**, akihez képest a rendszer közben egyenletesen mozog. Ezt a lenti ábra szemlélteti, ahol a rendszer jobb felé mozdul el. A külső szemlélő a fotont már nem függőlegesen látja mozogni, hanem előbb ferdén jobbra felfelé, majd ferdén jobbra lefelé.



Mint látható, a külső szemlélő szempontjából **a foton hosszabb utat tesz meg**. A furcsaság abból ered, hogy közben mindkét szemlélő **ugyanazzal a sebességgel**, fénysebességgel látja mozogni a fotont. Most tegyük fel, hogy a tükrök éppen olyan távol vannak egymástól, hogy a külső szemlélő számára pontosan 2 mp alatt járja be a foton az útját. Mivel a belső szemlélő szerint a megtett út rövidebb, szerinte a foton útja is kevesebb ideig tart. Hogy pontosan meddig, az attól függ, hogy szerinte mennyivel rövidebb a megtett út, ami pedig a rendszer sebességétől függ. Tegyük fel, hogy ez a sebesség éppen akkora, hogy a belső szemlélő szerint a foton útja 1 mp-ig tart.

Eközben természetesen más dolgok is történnek a belső szemlélő környezetében, például lehet, hogy akkor nyitja ki a szemét, amikor a foton elindul, és akkor csukja be, amikor megérkezik. Kívülről nézve ez is 2 mp-ig tart, míg belülről csak 1-ig. Hasonlóan, amíg a belső szemlélő órája 1 mp-et számlál, a külsőé 2-t fog: kívülről nézve minden dupla annyi ideig tart, minden lassabban, fele olyan gyorsan látszik történni. **A mozgó rendszerekben, kívülről nézve, maga az idő látszik lelassulni.** Eközben viszont a belső szemlélő normál ütemben érzékeli a rendszeren belül, a saját környezetében zajló eseményeket.

Felmerülhet, hogy mi van, ha a külső szemlélőnél is vannak tükrök köztük egy fotonnal. Valóban, **a helyzet szimmetrikus**: az iménti elnevezéseket megtartva **a „belső szemlélő" szerint a „külső szemlélő" órája fog lassabban járni**. Viszont hogy megállapíthassák, hogy akkor valójában kinek is az órája késik, előbb egymás mellé kell rakniuk azokat, ami csak úgy lehetséges, ha előbb összehangolják a mozgásukat, vagyis legalább az egyiküknek gyorsuláson kell átesnie. A gyorsulás ugyanakkor ismét csak hatással van az időre, ahogyan az általános relativitáselmélet kapcsán látni fogjuk. Végül annak az órának a késése marad meg, amelyik a gyorsuláson átesik ß.

(@@Ezt onnan veszem, hogy az űrutazó ikrek közül az marad fiatalabb, aki elmegy az utazásra, és gyanítom, hogy az egyenletes mozgással töltött szakasz hossza is számít abban, hogy mennyivel fiatalabb lesz, amikor visszaér. Jól mondom? Még egy ötlet: az idő eltérő érzékelése helyett nem oldaná meg a problémát, ha a mozgó rendszerekben a mozgásra merőleges távolságok összemennének? Pont annyival ugyanis, hogy a foton által megtett távolság ne változzon.)

Ha a térben mozgunk, az tehát befolyásolja az idő érzékelését. Az idő és a tér így nem független egymástól, ahogyan azt a klasszikus fizika feltételezte. Ezért szokták a kettőt újabban együtt egy összefüggő egységként kezelni, amit **téridő**nek neveznek.

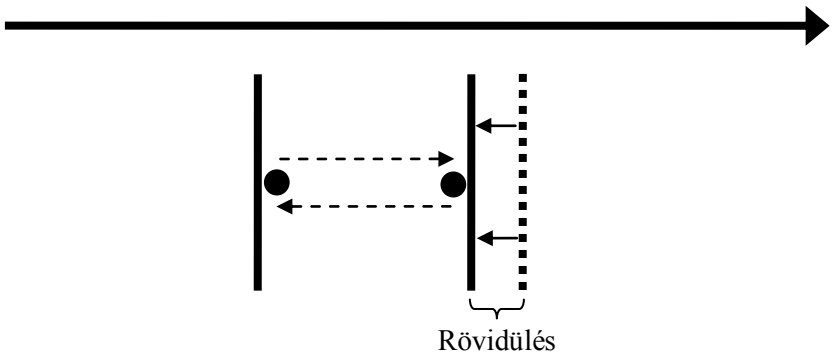
A fentiek nyomán szokás az időt negyedik dimenzióként emlegetni. **Az idő** azonban nem egyszerűen a tér negyedik dimenziója, hanem **a téridő egyik, különleges dimenziója**. (@@Mennyiben különleges az idő dimenziója? Mennyiben nem azonos a tér dimenziókkal, mennyiben nem szimmetrikus a kezelése velük?)

3) Kívülről nézve a mozgás irányába eső hosszúságok megrövidülni látszanak.

Ha az iménti példában használt apparátust 90°-kal elforgatjuk, **a foton immár a rendszer mozgásával párhuzamosan fog utazni**. Ekkor a belső szemlélő szempontjából a foton útja a tükrök között oda-vissza természetesen ugyanannyi ideig fog tartani, mint az előbb, hiszen számára a rendszer változatlanul mozdulatlan.

A külső szemlélő számára azonban ennek elvileg nem így kellene lennie, a foton útjának most tovább kellene tartania. (Ahogyan a megfelelő egyenletekből látható.) Ennek ellenére azt találták, hogy **a külső szemlélő számára sem változik ez az időtartam** – ami úgy lehetséges, ha kívülről szemlélve a tükrök mozgás irányával párhuzamos távolsága megrövidül a merőleges távolságukhoz képest. A rövidülés jelensége szintén általános, természetesen nemcsak erre a kísérleti berendezésre, hanem minden mozgó távolságára, hosszúságra igaz.

(Az eredeti Michelson-Morley kísérlet némileg másképp nézett ki, de ez a lényege $.)



Időnként felmerül, hogy ha valaki messzire, például egy másik csillaghoz utazik nagy sebességgel, akkor számára **az út rövidebb ideig fog tartani, mint ahogyan az kívülről látszik**. Ezt két szempontból lehet magyarázni:

1) **A külső szemlélő** szempontjából az utazó órája lassul le.

2) **A belső szemlélő** szempontjából viszont a megteendő távolság rövidül meg. (Hiszen számára a Föld és a csillag távolsága egy mozgó távolság.)

(@@ Itt eltekintünk attól, hogy az űrhajó az út elején és végén gyorsuláson esik át. Ennek egyébként jelentős a szerepe? Másik: nem tudom, hogy a rövidülés fenti illusztrációja helyes-e. Lehet, hogy inkább szimmetrikusra, kétoldalúra kellett volna rajzolni, hogy a bal oldali tükör is beljebb húzódjon?)

4) Az események sorrendjének és egyidejűségének relatív volta

Ha van **két független**, okozati kapcsolatban nem álló **esemény**, A és B, akkor a különbözőképpen mozgó megfigyelők közül az egyik lehet, hogy A-t, a másik B-t látja előbb történni. Hasonlóan: egyikük szerint lehet, hogy a kettő egyszerre történt, a másikuk szerint nem.

Ez azonban csak független eseményekre igaz. **Ha A oka B-nek**, akkor minden megfigyelő, bárhogyan is mozog, szükségképpen A-t fogja előbb érzékelni. Ez azért szükséges, mert ha valaki B-t, az okozatot látná hamarabb, akkor úgy is dönthetne, hogy megakadályozza A-t, ekkor viszont B sem következhetne be, ami lehetetlen. ß (@@Jó ez a magyarázat? Nem lehetséges, hogy vannak olyanok, akiknek B-t látva hamarabb, ennek ellenére már nem állna módjukban megakadályozni A-t, például mert távol vannak, és az ilyenek láthatnák B-t hamarabb?)

Azt, hogy mindenki B-t lássa később, az biztosítja, hogy ahhoz, hogy A kiválthassa B-t, valamilyen jelnek el kell jutnia A-ból oda, ahol B történik, ami legfeljebb a fény sebességével lehetséges, és így megfelelő időbe telik. Ez a híres törvény valódi alapja, mely szerint a térben **semmi sem mozoghat gyorsabban a fénynél:** az információ az, ami nem juthat el A-ból B-be ennél gyorsabban, következésképpen semmi olyan sem, ami az információt hordozhatja – különben felborulhatna az okok és okozatok összefüggése.

Érdemes még megemlíteni, hogy **vannak a fénynél gyorsabb jelenségek**. Ilyen például az, hogy az anyagi dolgok a térrel együtt tágulva távolodhatnak egymástól a fénynél gyorsabban. Vagy elképzelhetünk egy olyat, hogy egy nagy gömbben körbevilágítunk egy zseblámpával, amikor is a lámpa fénykörét akármilyen gyorsan láthatjuk körbefutni a gömb belső felületén. Az ilyenek mindaddig megengedettek, amíg nem járnak a fénysebességnél gyorsabb információátvitellel. ß

5) A nyugalmi és relativisztikus tömeg kettőssége

Az anyagi testeknek egyrészt van egy adott tömege, amikor a megfigyelőhöz képest állnak, a **nyugalmi tömeg**. Ha azonban mozognak, minél nagyobb a sebességük, a tömegük is annál nagyobbá válik, és ahogyan közelítik a fénysebességet, a tömegük akármilyen naggyá válhat. Ezt a mozgás közben érzékelhető össztömeget nevezzük **relativisztikus tömeg**nek.

Minél nagyobb pedig valaminek a tömege, annál nehezebb gyorsítani. Gyakorlatilag a **tömeg növekedése** az, ami megakadályozza, hogy bármilyen testet a fény sebességére gyorsítsunk. Másrészt közben a test gravitációja is megnő ß.

A testek gyorsításához természetesen **energiát kell befektetni**. A gyorsítással együtt járó tömegnövekedés így az energia tömeggé alakulásának egyik példája.

6) $E=mc^2$

Ez egyenlet azt fejezi ki, hogy az **energia** (E) **és** a **tömeg** (m) **átalakíthatók egymásba**, egyúttal megadja az átváltási arányt is, ami fénysebesség (c) négyzete.

Ez **az arány nagyon nagy**, mivel a fény igen gyorsan mozog, ami azzal jár, hogy kis tömeg létrehozásához nagy energiára van szükség, illetve kis tömegből nagy energia nyerhető.

A testek imént említett gyorsításán túl **számos módon** vezethet még az energiabetáplálás a tömeg növekedéséhez. Így a testek melegítése (ami azért mégiscsak mozgás a részecskék

szintjén), vagy a különféle kötési energiák, különösen az atommag kötési energiája is növeli az érintett rendszerek tömegét. (@@Ugye a kötési energiákat jól mondom?)

2.3. Alkalmazások

A speciális relativitáselmélet leglátványosabb **gyakorlati alkalmazás**a a tömegből történő energia-felszabadítás, ami leginkább a nukleáris erőművekben és bombákban nyilvánul meg.

3. Általános relativitáselmélet

3.1. Kiindulópont

A **speciális relativitáselmélet** értelmében tehát semmilyen hatás nem lehet gyorsabb a fénynél. A **newtoni elmélet**ben azonban a gravitáció hatása azonnali: ha a Nap felrobbanna, a Föld azonnal megszűnne az addigi pályáján keringeni. Az általános relativitáselmélet ennek az **ellentmondás**nak a feloldását célozta meg.

Az alapvető megfigyelés, ami segített felépíteni a gravitáció új elméletét az volt, hogy egy zárt rendszerben **nem lehet megállapítani**, hogy a rendszer…

- Valamilyen erő hatására, mely nem a gravitáció, **gyorsul** vagy
- Alá van támasztva és **gravitáció hat** rá.

Ahogyan azt fentebb, a relativitás elvénél, a rakétás példával szemléltettem. Ezt nevezik **az ekvivalencia elvének.** Ennek értelmében, gravitációs mezőben mindennek ugyanúgy kell viselkednie, mint a gyorsuló rendszerekben, az utóbbiakban tapasztalható jelenségek az előzőekben is megfigyelhetőek lesznek. Ezért érdemes részletesebben tanulmányozni, mi történik gyorsulás esetén, különösen a fénnyel.

Nem árt szem előtt tartani, hogy a két rendszer akkor lesz ekvivalens, ha **a gyorsuló rendszer gyorsulásának iránya ellentétes azzal, amerre a gravitáció hat a másikban**.

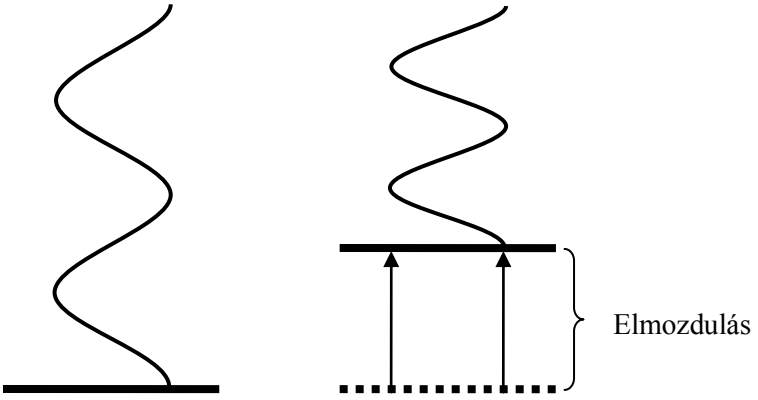
(Lásd például a rakétás példát: azt nem lehet megmondani, hogy a rakéta előre gyorsul, vagy a Földön állva hátrafelé húzza a gravitáció.)

3.2. A gyorsuló és a gravitációnak kitett rendszerek tulajdonságai

1) A fény hullámhosszának és az idő ütemének megváltozása

Hogyan okoz a gyorsulás hullámhossz változást? Legegyszerűbb formájában ehhez nem is kell gyorsulás, elég, ha a dolog, ami hullámokat bocsát ki, egyenletesen mozog a hullámokat érzékelőhöz képest. A hullámhossz-változás abból fakad, hogy a hullámok azonos sebességgel terjednek, míg a kibocsátó mozog. Mindennapi példája ennek, ahogyan egy szirénázó autó elhúz mellettünk: az autó előtt a hullámok összenyomódnak, mögötte széthúzódnak – így amíg közeledik, magasabb hangot hallunk, miután elhagy bennünket, alacsonyabbat. Ezt nevezik **Doppler-effektus**nak.

A hullámok összenyomódását az alábbi ábra szemlélteti:



Hasonló jelenség figyelhető meg **a fény esetében is**. Ha valami közeledik felénk, a fénye (illetve a róla visszaverődő fény (@@ ugye?)) a rövidebb hullámhosszok, vagyis a kékebb árnyalatok felé tolódik el, ha távolodik tőlünk, akkor a hosszabb hullámhosszok, vagyis a vörös árnyalatok felé. Ez adja a világmindenség tágulásának köszönhető híres vörös eltolódást is.

Képzeljük most magunkat egy **gyorsuló rendszer**be, például egy rakétába, melynek a farában van egy lámpa, amit mi az orrából figyelünk. Ilyenkor a lámpa által kibocsátott hullámoknak eltart egy ideig, amíg elérnek az orrba, miközben mi a rakétával együtt tovább gyorsulunk. A fény érzékelésének időpontjában már gyorsabban haladunk, mint ahogyan a lámpa haladt, amikor kibocsátotta azokat, ami az eredmény szempontjából olyan, mintha egy távolodó lámpa fényét látnánk, a fény tehát vörös eltolódáson esik át. $

Az ekvivalencia elvének értelmében ugyanez történik, ha egy **gravitációs mezőben** lefelé nézünk, például egy hegyről letekintünk: mindent vörösebbnek látunk. A gyorsulás irányába, illetve gravitációs mezőben fölfelé nézve pedig ennek az ellenkezőjét tapasztaljuk: a hullámok összenyomódnak, mindent kékebbnek látunk.

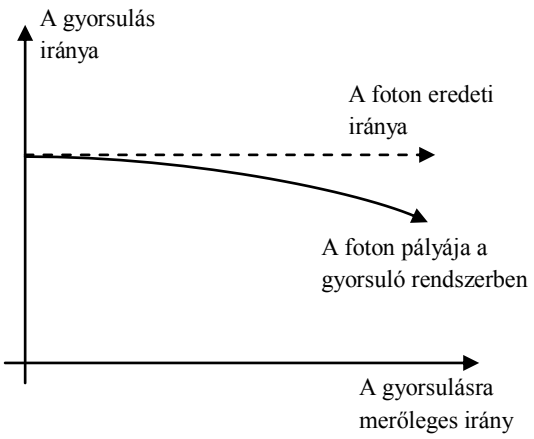
Amikor a **gyorsulással ellenkező irányba, illetve lefelé tekintünk**, nemcsak a fény hullámhossza nyúlik meg, hanem vele együtt minden fényszakasz, ami az ott zajló eseményekről tudósít bennünket. Így érzékelnünk tovább tart őket, mint amíg a

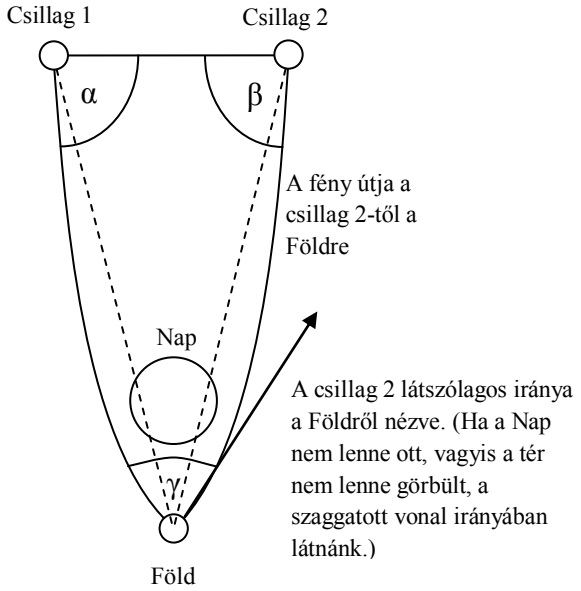
kibocsátásuk zajlott, **mindent lassabban látunk történni**. Az ellenkező irányba nézve megint csak ennek az ellenkezőjét tapasztaljuk, az eseményeket felgyorsulni látjuk. (Érdemes észrevenni a **különbséget az egyenletes mozgás által kiváltott jelenséghez képest**: ott mindkét megfigyelő szerint a másik rendszerben lassul le az idő – itt viszont az egyikük lelassulni, a másikuk felgyorsulni látja a másik hely történéseit.)

(@@ Jó ez az indoklás az idő ütemének változására? Ez csak egy látszólagos lassulás-gyorsulás vagy valódi? A fenti leírás szerint a látszólagos volna a logikusabb, mert nem a dolgok történésének üteme változik meg, csak az, ahogyan a róluk tudósító fény elér hozzánk. Ugyanakkor, ha felgyorsulni látjuk a dolgokat, akkor ezáltal belelátnánk a másik jövőjébe, ami azt sejteti, hogy mégiscsak a dolgok maguk történnek gyorsabban. Mi történik, ha később egymás mellé rakunk két órát, ami eltérő ütemben látszott járni a két helyen?)

2) A fény és a tér meggörbülése

Ha egy **gyorsuló rendszerben** egy fotont (fénysugarat) elindítunk a gyorsulással merőleges irányba, akkor az egyre hátrébb sodródik, emiatt **a fény útja meggörbülni látszik**. Ez látható az alábbi ábra bal oldalán. Ezért, ha egy gyorsuló rendszerben rá akarunk világítani valamire, elé kell céloznunk. (A görbülés természetesen nemcsak pontosan merőlegesen kibocsátott fény esetén igaz, elég, ha a fény útja nem párhuzamos a gyorsulás irányával. Egy egyenletesen mozgó rendszerben mindez nem így van, hiszen akkor ennek segítségével meg lehetne különböztetni a különféle mozgásállapotokat.)





Az ekvivalencia elvének értelmében a fény útja **gravitációs mezőben is** hasonlóan meggörbül.

(@@ Igaz a következő? Tömeg mellett elhaladva a fény útja az általános relativitás nélkül is meggörbülne, mert a fénynek is van (relativisztikus) tömege, így hat rá a gravitáció. Az általános relativitáselmélet értelmében ennél a mértéknél azonban jobban görbül. Szokták ugyanis mondani, hogy az általános relativitást a meggörbülésnek a várnál nagyobb volta igazolta. De mi okozza a várt kisebb meggörbülést?)

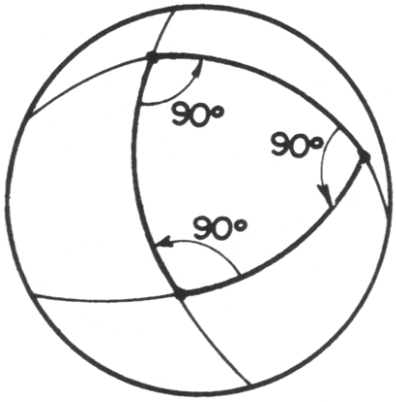
A fény pályája pedig az egyenes fogalmát definiálja számunkra a (görbült) térben. Ebben az értelemben a fény mindig egyenesen halad a térben, **valójában a tér az, ami** a gravitációnak illetve tömegnek köszönhetően **meggörbül**. ß (@@ Jó ez így? Esetleg e pálya mentén lenne az utazó saját ideje a leghosszabb? Ha lenne egy egyenes rudunk, az is követné ezt a görbületet?)

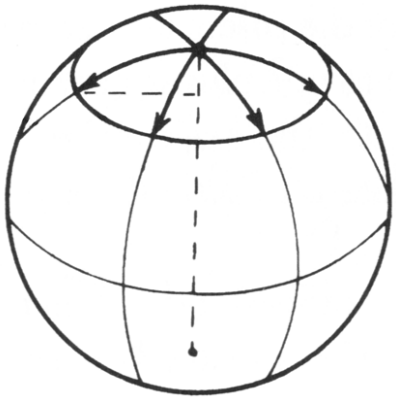
A tér görbületét könnyebb megérteni **kétdimenziós terek** segítségével. Ilyen görbült, kétdimenziós tér például egy gömb felülete, szemben egy papírlappal, amelynek görbülésmentes kétdimenziós felülete van.

Ha egy görbült térben vagyunk, az egy adott pontban nem tűnik fel. Például a Föld felszínén állva az ember évezredekig azt hitte, hogy egy lapos felületen sétál. Mindazonáltal van rá mód, hogy megállapítsuk a terünk görbült-e. Az egyik ilyen az, hogy **megmérjük és összeadjuk a háromszögek szögeit**.

Vegyük **például** először is **a Föld felületén** az Északi-sarkot, mint a háromszögünk első pontját. (Lásd a lenti ábra bal oldalát.) Aztán induljunk el dél felé, és menjünk el az egyenlítőig. Legyen ez a háromszögünk második pontja. Forduljunk el 90°-kal, nyugat felé, és menjünk az egyenlítő mentén, annak egy negyedének megfelelő távolságot. Legyen ez a harmadik pont. Ha itt ismét elfordulunk 90°-kal, észak felé, és elmegyünk az Északi-sarkig, bezárhatjuk a háromszöget. Ennek a háromszögnek minden szöge 90°-os, ami összesen 270°, ami egészen más, mint a sík felületeken megszokott 180°. Általában is igaz, hogy a Föld felszínéhez hasonlóan görbült terekben a háromszögek szögeinek összege nagyobb, mint 180°. (Az ilyet pozitív görbületnek nevezzük. Van negatív görbület is, ami olyan, mint egy nyereg felülete. Utóbbin a háromszögek szögeinek összege kisebb, mint 180°.)

Ezt **három dimenzióban is** el lehet játszani, ezt szemlélteti a fenti ábra jobb oldala. Itt is egy háromszög szögeit mérjük, melyet a Föld és két csillag alkot. A Nap tömege miatt a tér, melyben a csillagok fénye halad meggörbül, ezért a háromszögünk szögeinek összegét itt is nagyobbnak találjuk, mint 180°. ß (@@Jó ez a példa? Jó, ha a fény útjának megfelelően mérjük a szögeket?)





A tér görbültségét különféle **geometriai alakzatok kerületének, felületének, térfogatának kiszámításával és megmérésével** is meg lehet állapítani. Ha például vesszük egy szélességi kör sugarát, úgy, hogy azt a Föld felületén mérjük az Északi-sarktól haladva dél felé az adott körig, az ebből kiszámított kerület nagyobb lesz, mint amit a szélességi kör kerületének közvetlen méréséből kapunk. Hogy a szokásos képlettel pontos eredményre jussunk, a kör sugarát a Föld tengelyétől, a Földön belül kellett volna mérni, ez azonban nem része a Föld felszínének, a két dimenziós terünknek, amelyben ebben a példában mozoghatunk. Lásd a fenti ábra jobb oldalát. Ezt a módszert is analóg módon ki lehet terjeszteni három dimenzióra.

A teret tehát a tömeg görbíti meg. A görbület pedig annál nagyobb, minél nagyobb a tömeg, és minél közelebb vagyunk hozzá. Ahogyan láttuk azonban, tömeg jelenlétében nem csak a tér szerkezete, hanem az idő üteme is megváltozik. Valójában tehát nem a tér, hanem **a téridő görbül meg**.

A tér görbületének van még egy érdekes hatása, mégpedig az, hogy a gyorsulással, gravitációs erővel párhuzamos **hosszak megváltoznak**. Pontosabban a gyorsulással ellenkező irányba, illetve lefelé tekintve ezek megrövidülni, az ellenkező irányba nézve pedig megnyúlni látszanak.

(@@ A megrövidülést, megnyúlást valóban megjósolja az elmélet, de tényleg lehet azt mondani, hogy ez a görbület hatása? Ezt elvileg nem lehet egyszerűen látni abból, hogy a fény hogyan viselkedik a gyorsuló rendszerekben. Van erre valamilyen intuitív magyarázat?)

3) A gravitáció új értelmezése

Mint fent említettem, éppen a gravitáció újraértelmezésének szükségessége indította útjára az általános relativitáselméletet. Az eredmény a következő lett.

Az általános relativitáselmélet szerint gravitációs mezőben a testek úgy mozognak, hogy a **saját** rendszerükben mért **idő maximális** legyen, amíg eljutnak a téridő egyik pontjából a másikba.

Feltéve, hogy más erő nem hat rájuk. (De mint mindjárt látni fogjuk, a gravitáció itt nem is erő, a törvény tehát ebben az értelemben a teljesen **magukra hagyottnak testek**re vonatkozik.) A téridő egy pontja egy adott helyet és időpontot jelent egy bizonyos nem gyorsuló viszonyítási rendszerben ß. A mozgás iménti törvénye tehát úgy igaz, ha adott mind a test kiinduló helye és ideje, mind a megérkezés helye és ideje.

Görbüléstől mentes térben ez ugyanaz, mint az egyenes vonalú egyenletes mozgás, amit a newtoni fizika ír elő. Ha ugyanis a test hosszabb utat választana, gyorsabban kellene mennie, ami jobban lelassítaná az óráját, mint amennyivel az utazás megnövekedett hossza megnyújtja az utazás idejét. Továbbá számára akkor is rövidebb ideig tartana az út, ha az egyenesen úton menne ugyan, de hol gyorsabban, hol lassabban haladna. **Görbült térben** pedig meg lehet mutatni, hogy ez az idő akkor lesz maximális, ha a test **szabadon esik**, úgy viselkedik tehát, ahogyan a gravitációnak kitett testeket látjuk viselkedni. (@@Ugye?)

Egyúttal itt a tömeggel rendelkező dolgok már nem is egymásra hatnak, és **a gravitáció nem is erő**. Ehelyett a teret (téridőt) görbítik meg, a testek pedig ebben a görbült térben sodródnak magukra hagyva, az imént leírt törvény szerint: **a tömeg meghatározza a tér alakját, a tér pedig a tömeg mozogását.** Az új értelmezés megoldja a gravitáció azonnaliságának problémáját is, ugyanis az elmélet szerint **a görbület** már korlátozott sebességgel, **a fény sebességével terjed**.

A tér görbületét, és a testek mozgását a görbült térben ismét csak egy kétdimenziós analógiával szokták **szemléltetni,** a következőképpen. Egy kifeszített gumilepedő közepére tesznek egy **tekegolyó**t, ami alatt az besüllyed, meggörbül. Ha most ezen elgurítanak egy **kisebb golyó**t, az nem egyenesen fog haladni, hanem görbült pályán, és ha megfelelően gurítják el, keringeni fog a tekegolyó körül, akárcsak egy bolygó a nap körül – mindezt anélkül, hogy a golyók közvetlenül hatással lennének egymásra.

3.3. Alkalmazások

Az általános relativitáselméletnek a mindennapi életet talán leginkább érintő **alkalmazás**a a **GPS** készülékekkel kapcsolatos. Ezek helyes működése ugyanis a Föld körül

keringő **műholdak**on elhelyezett atomórák pontosságán alapul. Ezek az órák pedig **magasan vannak**, emiatt az elhangzottak értelmében a felszínről nézve gyorsabban járnak, amit megfelelően korrigálni kell.

A műholdak óráinak ütemét ezen kívül az is befolyásolja, hogy amint a Föld körül keringenek, **nagy sebességgel mozognak** a felszínhez képest. Így az általános mellett a speciális relativitáselméletet is be kell vetni, hogy a rendszer megfelelően működjön.

– ○ ● ☯ ● ○ –

Ne feledd: véleményeddel segíthetsz jobbá tenni ezt a könyvet. Könnyen és gyorsan elküldheted azt a kérdőívvel, nyilvánosan kifejtheted a fórumon vagy írhatsz e-mailt is.

Klikkelhető linkek (Word-ben a Ctrl-t nyomni közben):

Kérdőív – Fórum – Email

Valamint, ha tetszett, oszd meg ezt a témát a Facebook-on.

Klikk a gombra (Word-ben a Ctrl-t nyomni közben):

Megosztás

– ○ ● ☯ ● ○ –

Referenciák

- *Richard P. Feynman: Six not-so-easy pieces*
- *Charles Seife: Decoding the Universe*