

Gravitációs mező

(Vázlat)

1. Gravitációs mező
2. Gravitációs mező jellemző tulajdonságai
3. Newton-féle gravitációs törvény
4. A gravitációs állandó meghatározása
5. A gravitációs térerősség és potenciál
6. Gravitációval összekapcsolható jelenségek, fogalmak
 - a) Eötvös-féle torziós inga
 - b) Súly
 - c) Súlytalanság
 - d) Bolygók mozgása
 - e) Első és második kozmikus sebesség
 - f) Csillagok életét meghatározó gravitáció
7. Fizikatörténeti vonatkozások

Gravitációs mező

Az anyagnak két megjelenési formája van:

1. a korpuszkuláris anyag, és
2. a mező.

A **korpuszkuláris anyag** a részecskékből álló anyag. Ilyen a gáz, folyékony és szilárd halmazállapotú anyag, de ide tartozik a proton, neutron stb. is.

A **mező** az anyag egyik sajátos formája, amely rendelkezik pl. energiával. Az elektromosan töltött testeket az elektromos mező, a mágneseket a mágneses mező veszi körül, a tömeggel rendelkező testeket pedig a **gravitációs mező**.

Két tömeggel rendelkező test úgy lép kölcsönhatásba egymással, hogy az egyik tömeg által létrehozott gravitációs mező hat a mezőbe helyezett másik tömeggel rendelkező testre.

A gravitációs kölcsönhatás jellemzése

- A gravitációs kölcsönhatás mindig csak vonzásban nyilvánul meg.
- Az anyag kölcsönhatásai közül a gravitációs kölcsönhatás a leggyengébb.
- A gravitációs mező hatása nem árnyékolható le.
- A gravitációs mező **egyetemes**. Ez azt jelenti, hogy a világmindenség minden részecskéjéhez tartozik egy gravitációs mező. Így a világmindenség minden részecskéje kölcsönhatásban van minden részecskével.

Gravitációs mező jellemző tulajdonságai

1. A gravitációs mező forrásos mező.

A gravitációs mező forrásai a tömeggel rendelkező testek. Ahol tömeg van, ott kialakul a gravitációs mező.

2. A gravitációs mező konzervatív mező.

Ez azt jelenti, hogy a gravitációs mezőben fellépő gravitációs erő által *két pont között* végzett munka nagysága nem függ az útpálya hosszától, csak a két pont helyzetétől.

3. A gravitációs mező örvénymentes mező.

Ez azt jelenti, hogy a mezőben fellépő konzervatív gravitációs erő által *zárt görbe* mentén végzett munka összege nulla.

Newton-féle gravitációs törvény

Tömeggel rendelkező testek között fellépő kölcsönhatást Newton fogalmazta meg 1686-ban.

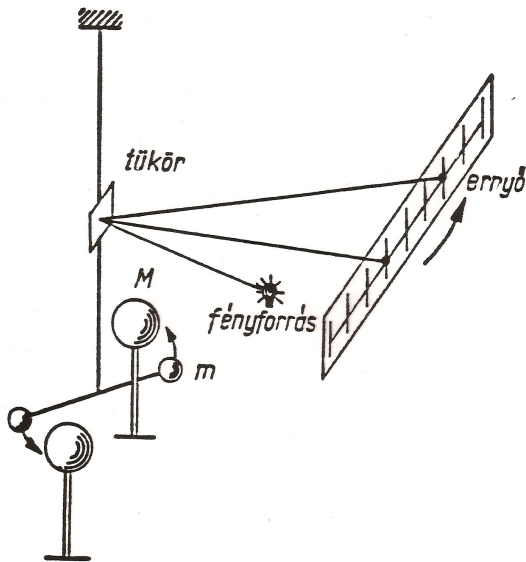
Bármely két tömeggel rendelkező test között fellép a gravitációs erő. Ez az erő egyenesen arányos a két test tömegének szorzatával, és fordítottan arányos a két test közötti távolság négyzetével. Az arányossági tényező a gravitációs-állandó.

$$\mathbf{F} = \gamma \cdot \frac{\mathbf{m}_1 \cdot \mathbf{m}_2}{r^2}$$

A gravitációs-állandót Newton felismerését követően majdnem 100 évvel később Cavendish állapította meg.

Gravitációs állandó meghatározása

Cavendish-kísérlet



- Cavendish torziós szára egy tükört és egy pálcát erősített, és arra szimmetrikusan két m tömegű testet.
 - Ezt követően r távolságra M tömegű testet helyezett el.
 - A gravitációs erő hatására a torziós szál elcsavarodott.
 - Az elcsavarodás szögét a torziós szálon lévő tükörrre vetített fénysugár segítségével mérte.
 - Ebből kiszámolta a gravitációs erőt, és az M -et,
- m -et, r -t megmérte. Így meghatározható a gravitációs állandó.

$$\gamma = \frac{F \cdot r^2}{M \cdot m} = 6,67 \cdot 10^{-11} \frac{\text{N} \cdot \text{m}^2}{\text{kg}^2}$$

A gravitációs térerősség és potenciál

A gravitációs mező jellemzésére szolgáló fizikai mennyiségek:

- gravitációs térerősség
- gravitációs potenciál.

a) A gravitációs térerősség

A gravitációs mező erősségét jellemző vektormennyiség a gravitációs térerősség.

Jele: \vec{E}_g

A gravitációs mezőbe pontról pontra egységnyi tömegű próbatestet helyezünk.

A próbatestre ható gravitációs erő és a próbatest tömegének hányadosa a mező adott pontjában állandó, és a mező erősségére jellemző vektormennyiség. Ez a gravitációs térerősség.

$$\mathbf{E}_g = \frac{\mathbf{F}_g}{m} \quad [\mathbf{E}_g] = \frac{\mathbf{N}}{\mathbf{kg}}$$

Ha a gravitációs mezőt a M tömegű test hozza létre, akkor a gravitációs térerősség:

$$\mathbf{E}_g = \gamma \cdot \frac{m \cdot M}{r^2} = \gamma \cdot \frac{\mathbf{M}}{\mathbf{r}^2}$$

A gravitációs térerősség egyenesen arányos a gravitációs mezőt létrehozó tömeggel és fordítottan arányos a mezőt létrehozó tömegtől mért távolság négyzetével. Az arányossági tényező a gravitációs állandó.

Összefoglalva

- A gravitációs térerősség vektormennyiség.
- Nagysága:
 - a gravitációs mezőbe helyezett próbatömegre ható gravitációs erő és a próbatest tömegének a hányadosa.
- Íránya:
 - a két tömeget összekötő egyenes mentén a mezőt létrehozó tömeg felé mutató vektor.

b) Gravitációs potenciál

A gravitációs potenciál munkavégzés szempontjából jellemzi a gravitációs mezőt.

A gravitációs potenciál (U_g) olyan a gravitációs mező pontjaira jellemző *skalármennyiség*, amelyet a gravitációs mező ellenében végzünk, amíg az egységnyi tömegű próbatestet (gyorsítás nélkül) a nulla pontból a tetszőleges P pontba visszük.

$$U_g = \frac{W}{m} \quad [U_g] = \frac{J}{kg}$$

- M tömegű test gravitációs terében a tőle r távolságra lévő pont gravitációs potenciálja:

$$U_g = - \frac{\gamma \cdot M}{r}$$

- Ha nullpontként a Föld felszínét választjuk, akkor a potenciál nagysága:

$$U_g = g \cdot h$$

Gravitációval összekapcsolható jelenségek, fogalmak

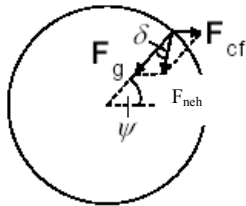
a) Eötvös-féle torziós inga

A tömeg mérésére kétféle lehetőség adódik.

1. Egy test gyorsítása során fellépő tehetetlenség mértékét **tehetetlen tömeggel** szokás jellemezni.
2. A gravitációs kölcsönhatásban egy testet jellemző tömeget **súlyos tömegnek** nevezzük.

Egy test tehetetlen és súlyos tömege megegyezik. Ezt először Eötvös Loránd bizonyította, az általa készített torziós ingával.

A kísérlet azon alapul, hogy a Földön egy testre ható nehézségi erő (F_{neh}) két olyan erő eredője, amelyek közül az egyik a test súlyos tömegével arányos (gravitációs erő: F_g), a másik a test tehetetlen tömegével (centrifugális erő: F_{cf})



$$F_{neh} = m \cdot g$$

$$F_{cf} = m \cdot r \cdot \omega^2$$

Ebből következik, hogy adott földrajzi helyen a nehézségi erő iránya a súlyos és tehetetlen tömeg arányától függ.

Eötvös Loránd egy nagyon érzékeny torziós mérleget készített, melynek rúdja K-Ny irányba állította. A rúd egyik végére platina súlyt, a másik végére pontosan azonos tömegű, de más anyagi minőségű testet erősített.

Ha a két testre a súlyos és a tehetetlen tömeg hányadosa más lenne, akkor a rúdra ható erők elcsavarnák a rudat.

Eötvös különböző anyagi minőségű testeket hasonlított össze az etalonként használt platina súllyal, de egyetlen esetben sem tapasztalta a rúd elfordulását. Ezzel bizonyította, hogy a testek tehetetlen és súlyos tömege igen nagy pontossággal megegyezik.

Eötvös-féle torziós inga nagyon precíz mérések elvégzésére alkalmas. Így segítségével kimutatható a Föld belsejében a sűrűség változása. Ez tette lehetővé, hogy felhasználják pl. kőolajmezők feltérképezésére.

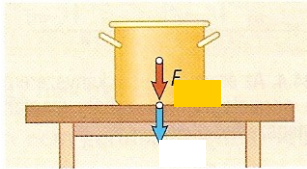
b) Súly

A gravitációs mezőben a testeket erőhatás éri. Ha ezeket a testeket egy felfüggesztés vagy egy alátámasztás egyensúlyban tartja, akkor ezek a testek is erőhatást fejtenek ki a felfüggesztésükre vagy alátámasztásukra.

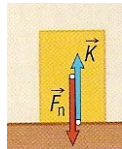
Az az erő, amely a gravitációs vonzás miatt húzza a felfüggesztést vagy nyomja a vízszintes alátámasztást a test súlya.

Jele: G vagy F_g

Tehát a súlyerő mindig az alátámasztásra illetve a felfüggesztésre hat.



A nyugalomban lévő test súlya és a testet érő gravitációs erő egyenlő nagyságú, de két különböző erő.



- A súly,
- a gravitációs vagy nehézségi erő,
- testet tartó erő

} **három különböző erő.**

c) Súlytalanság

- Egy gravitációs mezőben lévő test akkor van a súlytalansági állapotban, ha nincs alátámasztva vagy felfüggesztve, hiszen akkor nem fejt ki súlyt semmire.
- Ilyenkor a rendszer elemei a gravitációs mező ellenére sem fejtenek ki egymásra kölcsönös nyomást.
- Általánosan megfogalmazva: bármely rendszer a súlytalansági állapotba kerülhet, ha a gravitációs mező hatásán kívül semmilyen más külső erőhatás nem éri, és a rendszer haladó mozgást végez.
- Ezek a feltételek megvalósulnak egy szabadon eső testen, vagy a Földünk mesterséges holdjain, illetve az űrhajókban, ha azok szabadon repülnek, azaz kikapcsolt hajtóművel haladnak.

d) Bolygók mozgása

A bolygók mozgását Kepler három törvénye írja le. Arra, hogy miért így mozognak Isaac Newton adott magyarázatot. Felismerte, hogy a bolygók és a Nap között gravitációs vonzás van, és ennek a vonzóerőnek az iránya a bolygót a Nappal összekötő egyenes irányába esik. Kimutatta, hogy az égitestek közötti gravitációs vonzóerő nagysága a gravitációs éretörvénnyel számítható ki.

e) Első és második kozmikus sebesség

Az emberi tudás lehetővé tette, hogy a 20. század ötvenes éveitől kezdve mesterséges égitesteket juttassunk

- a Föld köré,
- a Nap köré és
- a Naprendszeren kívülre.

A mesterséges égitestek pályája és mozgása attól függ, hogy a Földön milyen magasra juttattuk fel, és ott milyen nagyságú és irányú sebességgel indítottuk el őket.

Így elérhető, hogy

- mesterséges holdként mozogjanak a Föld körül, vagy
- mesterséges bolygóként a Nap körül, vagy
- csillagközi szondaként elhagyják a Naprendszerünket.

Első kozmikus sebesség

Az első kozmikus sebesség az a sebesség, amellyel a Föld középpontjától r távolságra a Föld felszínével párhuzamosan el kell indítani egy testet, hogy Föld körüli pályán keringjen.

Ez akkor valósul meg, ha a gravitációs erő biztosítja a körpályán maradáshoz szükséges centripetális erőt.

$$F_{\text{gr}} = F_{\text{cp}}$$

$$\gamma \cdot \frac{m \cdot M_{\text{F}}}{r^2} = m \cdot \frac{v^2}{r}$$

$$v = \sqrt{\frac{\gamma \cdot M_{\text{F}}}{r}} \quad \text{I. kozmikus sebesség vagy körsebesség.}$$

Ha a testnek az érintő irányú sebessége ennél kisebb, akkor a test visszaesik a Földre.

Második kozmikus sebesség

A második kozmikus sebesség az a sebesség, amellyel, ha érintő irányban elindítjuk a mesterséges égitestet, akkor az kiszakad a Föld vonzásából.

A gravitációs erő ellenében végzett munka, ha egy test végtelen távol kerül a Föld felszínétől:

$$W = \gamma \cdot \frac{m \cdot M_{\text{F}}}{R}$$

Ezt a munkát az indításkor kapott mozgási energia fedezi:

$$E_m = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2$$

Így:

$$\frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2 = \gamma \cdot \frac{m \cdot M_F}{R}$$

$$v = \sqrt{\frac{2 \cdot \gamma \cdot M_F}{R}} \quad \text{II. kozmikus sebesség vagy szökési sebesség.}$$

f) A gravitáció hatása a csillagok kialakulásában

- A csillagok élete a Világegyetemben kavargó hidrogénnel kezdődik. Ha a véletlenszerű mozgás következtében kialakul egy kb. 16 billió km átmérőjű hidrogénből álló gázfelhő, akkor abban már fellép akkora gravitációs vonzás, hogy nem engedi az atomokat szétrepülni.
- A gravitációs vonzás következtében a részecskék gyorsulnak a centrum felé. Ez a mozgás idézi elő a csillag hőmérsékletének emelkedését, amely a magreakcióhoz vezet.
- A magreakció beindulása után a kiáramló energia "felfűjné" a csillagot, de a fellépő gravitációs vonzás biztosítja az egyensúlyt.

Fizikatörténeti vonatkozások

NEWTON, SIR ISAAC (1642-1727)

Angol fizikus, matematikus, csillagász, filozófus, alkimista



Angol fizikus, matematikus.

1642-ben született, 1727-ben halt meg.

Kisbirtokos fia. Apja még születése előtt meghalt.

18 évesen került Cambridge-be. Az egyetemet 1665-ben bezárták pestisjárvány miatt. Newton ekkor szülőfalujában folytatta munkáját. Felfedezte a **binomiális tételt**, a **diferenciálszámítást**, szakdolgozatát a színekről írta.

A járvány elmúltával visszakerült az egyetemre, de már tanárként. A fényről tartott előadásai nyomán készült el az **Optika** c. művének első kötete.

1671-ven mutatta be a Királyi Társaság tagjainak **tükrös távcsövét**. Óriási sikert aratott, sőt taggá is választották. 1672-ben egy dolgozatot is készített a fényről és a színekről. Ezt általában kedvezően fogadták, csak Hooke mondott róla lesújtó véleményt. Legjelentősebb műve a **PRINCIPIA**. Ebben írja le három törvényét. Itt fejt ki álláspontját a gravitációs kölcsönhatásról. Nézetét a Holdnak és a Jupiter holdjának mozgásával bizonyította. Ez a könyv nemzetközi hírt szerzett Newtonnak.

1703-tól a Királyi Társaság elnöke volt.

1704-ben jelent meg az Optika átdolgozott kiadása.

1705-ben Anna királynő lovaggá ütötte.

1706-ban megjelent az Optika latin fordítása.

CAVENDISH, HENRY (1731-1810)

Angol fizikus és vegyész



Különbéle szakterületeken végzett kísérleteket, többek között felfedezte a levegő összetételét, a hidrogén tulajdonságait, bizonyos anyagok fajhőjét, a víz összetételét és az elektromosság számos tulajdonságát. Egy különleges eljárással – amelyet ma Cavendish-kísérletnek nevezünk – meghatározta a Föld tömegét és sűrűségét. Negyven évesen nagy vagyont örökölt, de továbbra is szegényesen élt, a pénzt könyvekre és fizikai eszközökre költötte. Nagy könyvtárat gyűjtött össze, amelyet később megnyitott tudóstársai előtt.

EÖTVÖS LORÁND (1848-1919)

Magyar fizikus



A költő, regényíró, politikus Eötvös József fia. A tudománytörténet a legjelentősebb fizikusok között tartja számon.

Eleinte a kapilláris jelenségekkel foglalkozott: ennek során 1886-ban állította fel a róla elnevezett törvényt, amely a folyadékok felszíni feszültsége és a molekula-térfogat közötti összefüggést fejezi ki.

Nevét a Föld gravitációs terének vizsgálata tette világhírűvé.

Eötvös az inga méréseire támaszkodva 1909-ben igazolta, hogy a gravitációs erő lényegében független a tömeg anyagi minőségétől.