Bevezető fizika biomérnököknek
-összefoglaló-

írta: Pásztor Árpád
javította: Szirmai Péter

MŰEGYETEM 1782

Tartalomjegyzék

1. óra

Bevezető

Mozgások. Milyen mozgást végezhet egy test? Haladó, forgó mozgás, deformáció, áramlás.

Hogy lehet megmondani, hogy egy adott test hol van? Valamihez viszonyítani kell. Asztalon lévő test helye. Színházban a helyünk (első emelet, második sor, balról a harmadik ülés) → koordináták.

Fogalmak

Tömegpont: legegyszerűbb testmodell, kiterjedése nincs, de tömege igen.
Vektorok → nagyság, irány.
Helyvektor: a tömegpont helyét adja meg. Kezdőpontja a koordináta-rendszer origója, végpontja a tömegpont helye. A test mozgása során a test változtatja helyét, változik a helyvektora. Tehát a helyvektor a hely-koordinátákon kívül az idő függvénye.
Pálya: a helyvektorok végpontjait összekötő görbe, e mentén mozog a test.
Elmozdulás vektor: a mozgás kezdeti és végpontját összekötő vektor, tehát a helyvektor megváltozása.
Út: a mozgás kezdeti és végső helye közötti pályaszakasz hossza.
(Pillanatnyi) sebesség: a helyvektor időszerinti deriváltja. Vektormennyiség, iránya mindig a pálya érintője irányába mutat. Vektormennyiség.
Átlagsebesség: a test mozgása során megtett összes út és összes idő hányadosa.
Gyorsulás: a test sebességének változási gyorsaságát jellemzi. A sebesség idő szerinti deriváltja. Vektormennyiség.

Összefüggések

$$\vec{a} = \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t}$$

$$\vec{v}(t) = \vec{v}_0 + \vec{a} \cdot \Delta t$$

$$\vec{r}(t) = \vec{r_0} + \vec{v_0} \Delta t + \frac{\vec{a}}{2} \Delta t^2$$

Ahol $\Delta t = t - t_0$, t jelöli, hogy éppen melyik időpontban vagyunk, a t_0 pedig az időt a megfigyelés kezdetekor. Ha az időmérés kezdete és a megfigyelés kezdete egybeesik. (Egyszerre indítjuk a stoppert és kezdjük el figyelni a test mozgását)

$$\vec{v}(t) = \vec{v}_0 + \vec{a} \cdot t$$

$$\vec{r}(t) = \vec{r_0} + \vec{v_0} \cdot t + \frac{\vec{a}}{2} t^2$$

2. óra

Bevezető

Első órán a mozgásokról volt szó. Arról beszéltünk, hogy egy test hogyan mozog. Ez képezi a kinematika témakörét. Azzal azonban nem foglalkoztunk, hogy mi okozza a mozgást. Ezzel foglalkozik a dinamika.

Mi tehát a mozgás oka?

Arisztotelész úgy gondolta, hogy a mozgás fenntartásához külső hatás kell. (Tévedett.) Galilei szerint: a mozgásállapot *megváltozásához* szükséges külső hatás.

Erő, tömeg, dinamika alaptörvényei

Hogyan jellemezhető a külső hatás? A külső hatás eredménye lehet alakváltozás vagy sebességváltozás. Az alakváltozás alapján vezetjük be a (tehetetlen) tömeget és az erő fogalmát.

A hatás és a tömegpont közé helyezett rugalmas test (rugó) megnyúlásával jellemezhetjük a hatás mértékét. Ezek alapján nyilvánvaló, hogy hatásnak iránya van. Az előbbi példában a rugó tengelyének iránya. Ahhoz, hogy mérni tudjuk a hatást meg kell mondanunk, hogy milyen összefüggés van a hatás és a hatásmértéke között (skálatörvény). Ezt önkényesen választhatjuk meg, de lineárist használunk. Nulla értékűnek tekintjük azt a hatást, amely nem okoz megnyúlást. Ezután a hatás egységét önkényesen választjuk. (Például: nehézségi erőtérben felfüggesztett, jól meghatározott test által a felfüggesztő testre kifejtett hatás.) Ezután minden olyan hatást, ami a mérő testen ugyanekkora hatást okoz egységnyinek tekintjük.

Az így bevezetett nagysággal, iránnyal jellemezet, jól definiált, mérhető mennyiséget **erő**nek nevezzük. Jelölése: $\vec{F}$. Mértékegysége: $1N = 1\frac{kg \cdot m}{s^2}$.

Newton II. törvénye

A tapasztalatok alapján a tömegpont gyorsulása arányos a tömegpontra ható erő nagyságával és iránya a ható erő irányával egyezik meg. $\vec{a} \sim \vec{F}$.

Az arányossági tényezőt m –mel jelöljük és a test tehetetlen tömegének nevezzük. (Létezik egy másik tömeg is, az ún. súlyos tömeg, a két tömeg ekvivalenciáját Eötvös Loránd bizonyította be.)

Ezzel a dinamika alaptörvénye, Newton II. törvénye:

$$\vec{F} = m \cdot \vec{a}$$

Newton III. törvénye /akció-reakció, hatás-ellenhatás törvénye

A tapasztalatok alapján, két egymással kölcsönhatásban álló test ugyanolyan nagyságú, ellentétes irányú, azonos támadásvonalú erőt fejt ki egymásra. (Támadásvonal: az az egyenes amely mentén az erő hat.)

Azt fejezi ki, hogy az erőhatás mindig kölcsönhatás következménye.

Newton I. törvénye /tehetetlenség törvény

Minden test megtartja nyugalmi állapotát vagy egyenes vonalú egyenletes mozgását, amíg valamilyen külső hatás nem éri.

Lényegében azt fejezi ki, hogy olyan rendszerekkel foglalkozunk, ahol a fenti állítás érvényes, az ilyen vonatkoztatási rendszereket ún. tehetetlenségi vagy inerciarendszernek nevezzük.

Tehát Newton I. törvénye azt fogalmazza meg, hogy léteznek inerciarendszerek és a többi Newton törvények ezekben érvényesek.

Erőhatások függetlenségének elve /Newton IV. törvénye

Az erőhatások egymástól függetlenül fejtik ki hatásukat, egyenként teljesül rájuk Newton II. törvénye. Tehát az erők vektorként összegezhetőek. Az összeget eredőerőnek nevezzük. Ezzel Newton II. törvénye:

$$\vec{F}_{eredo} = \vec{F_1} + \vec{F_2} + \ldots + \vec{F_n} = m \cdot \vec{a}$$

Tehát egy tömegpont nem csak akkor van egyensúlyban (nyugalomban) ha nem hat rá erő, hanem akkor is, ha a ráható erők eredője nulla.

Erők néhány fajtája

Kényszererő: ha a mozgást valami akadályozza, akkor valamiféle kényszer lép fel. Például lejtőn lévő test nem mehet bele a lejtőbe. Az asztalra lerakott test nem esik keresztül az asztallapján. Azt mondjuk, hogy ilyenkor egy kényszererő lép fel. Tipikus este: nyomóerő.

Nyomóerő: mindig merőleges a felületre. Nagysága „akkora amekkora kell, hogy legyen”, hogy a kényszer feltételt biztosítsa (bizonyos korlátokkal pl. asztallap eltörik).

Súrlódási erő: A vizsgált testet valamilyen erő egy felülethez nyomja, ekkor az elmozdulással ellentétes irányban fellép az ún. súrlódási erő. Amíg nem mozdul el, tapadási súrlódási erő, mikor elmozdul **csúszási súrlódási erő. Tapadási súrlódási erő:** folyamatosan változhat, amikor a testre ható elmozdító erő nagyobb, mint a tapadási súrlódási erő maximuma a test megcsúszik és mozgásba jön.

$$F_t^{\max} = \mu_t \cdot F_{ny}$$
$$F_s = \mu \cdot F_{ny}$$

Rugóerő: a megnyújtott rugó megnyúlással ellentétes irányú erőt fejt ki. Nagysága: $F = D \cdot \Delta l$. Ahol D a rugó rugóállandója, azt mutatja meg, hogy egységnyi hosszúsággal való megnyújtáshoz mekkora erő kell.

(Megjegyzés: Rugók soros kapcsolása esetén az eredő rugóállandó:
$$D_{eredo} = \frac{1}{\frac{1}{D_1} + \frac{1}{D_2} + \ldots + \frac{1}{D_n}}$$
Rugók párhuzamos kapcsolása esetén az eredő rugóállandó: $D_{eredo} = D_1 + D_2 + \ldots + D_n$)

Gravitációs erő (részletek nélkül): $F_g = \gamma \frac{m_1 m_2}{r^2}$. Ahol m_1 és m_2 a kölcsönható test. r^2 a tömegközéppontjuk távolsága, γ pedig természeti állandó. Föld felszínéhez közel *r* változása nagyon kicsi, állandónak tekinthetjük. Így a fenti összefüggés az alábbi alakra egyszerűsödik: $\mathrm{F} = \mathrm{m}_1 \cdot \mathrm{g}$, ahol $g = \gamma \frac{m_2}{r^2}$.

3. óra

Körmozgás bevezető

A körmozgás (meglepő módon) olyan mozgás, ahol a test pályája kör alakú. Jelentősége abban rejlik, hogy minden (haladó) görbe vonalú mozgás egy adott pillanatban dinamikailag egy körmozgással leírható. Ezekben az esetekben az elképzelt kör sugarát a görbe adott pontjához tartozó görbületi sugár adja meg.

Körmozgás kinematikája

Körmozgás során, ha nem változik a test sebességének nagysága, akkor is van gyorsulása, mert a test sebességének iránya változik. Ezt a gyorsulást centri**petális** gyorsulásnak nevezzük. (Nem összekeverendő a centrifugális gyorsulással.)

Összefüggések, fogalmak:

- A centripetális gyorsulás **nagysága:** $a_{cp} = \frac{v^2}{R}$, ahol v test pillanatnyi sebessége, R a pálya sugara. Ezzel egyenértékű: $a_{cp} = \omega^2 R$, ahol ω a test szögsebessége.
- A szögsebesség és a pillanatnyi sebesség között fennáll az $\omega R = v$ összefüggés.
- A centripetális gyorsulás **iránya** mindig a kör középpontja felé mutat.
- A szögsebesség az egységnyi idő alatti szögelfordulás: $\omega = \frac{\Delta\varphi}{\Delta t}$, ahol $\Delta\varphi$ a szögelfordulás. (Szemléletesen: hány radiánt fordul el Δt idő alatt? Válasz: $\Delta\varphi = \omega\Delta t$.)

- Keringési időnek vagy periódus időnek nevezzük azt az időt, ami alatt a test egy teljes kört tesz meg. $T = \frac{2\pi}{\omega}$.

Tehát általánosan azt mondhatjuk, hogy a körmozgás során a test gyorsulása két tényezőből tevődik össze: egy a kör középpontja felé mutató centripetális és egy a körpálya érintőjének irányába mutató, úgynevezett pályamenti (vagy tangenciális) gyorsulásból:

$$\vec{a} = \overrightarrow{a_{cp}} + \overrightarrow{a_{tan}}$$

Körmozgás dinamikája

A közmozgás esetén is teljesül a dinamika alaptörvénye:

$$\vec{F}_{eredő} = m\vec{a}$$

Felhasználva, hogy $\vec{a} = \overrightarrow{a_{cp}} + \overrightarrow{a_{tan}}$ adódik, hogy: $\vec{F}_{eredő} = m(\vec{a}_{cp} + \vec{a}_{tan})$.

Ha a test sebességének nagysága nem változik ($\vec{a}_{tan} = 0$), ekkor egyenletes körmozgásról beszélünk:

$$\vec{F}_e = m\vec{a}_{cp} \rightarrow \left|\vec{F}\right| = m\frac{v^2}{R} = m\omega^2 R$$

Ebben az esetben az erők eredőjének a kör középpontja felé kell mutatnia.

4. óra

Megmaradási tételek

- Tömegmaradás (kontinuitási egyenlet) [zárt rendszer össztömege állandó]

Lendület, impulzus, mozgásmennyiség:
$\vec{p} = m\vec{v}$, ahol *v* a test sebessége, *m* a tömege.

- Impulzusmegmaradás (lendületmegmardás) [zárt rendszer összlendülete állandó]

→ $\overrightarrow{p_1} + \overrightarrow{p_2} = \overrightarrow{p_1}' + \overrightarrow{p_2}'$
→ $\sum_i \mathrm{p_i} = \text{áll.}$

Newton II. törvénye: $F = \frac{\Delta p}{\Delta t}$

- Energiamegmaradás [zárt rendszer összenergiája állandó]

$\Delta E = W = \vec{F}\vec{s}$
mozgási energia: $E_m = \frac{1}{2}mv^2$
helyzeti energia: $E_h = mgh$, a helyzeti energia nullpontja tetszőleges választható meg, *h* az ehhez képesti magasság.

rugó rugalmas energiája: $E_r = \frac{1}{2}D\Delta l^2$, ahol D a rugó rugóállandója, Δl a rugó megnyúlása (aktuális hosszból kivonva a nyújtatlan hosszat).

Teljesítmény: $P = \frac{\Delta W}{\Delta t}$ mértéke.: $\frac{J}{s} = W$ (watt).
Hatásfok: $\eta = \frac{W_{hasznos}}{W_{osszes}}$

Ütközések

- Rugalmas: impulzus- és energiamegmaradás érvényes, pillanatszerű
- Rugalmatlan: mozgási (kinetikus) energia csökken (disszipálódik), impulzus megmaradás érvényes
    - Nem feltétlenül pillanatszerű
    - Tökéletesen rugalmatlannál ütközés után összetapadnak

5. óra

Bevezető: folyadékok, gázok

A folyadékok és gázok legnyilvánvalóbb eltérése a szilárd anyagoktól, hogy nincs saját alakjuk. Alakjukat az őket határoló szilárd anyagok határozzák meg. Így alakjukat könnyen változathatjuk. (Ennek oka egyébként az, hogy a folyadékoknak és gázoknak kicsi a nyíróerőkkel szembeni ellenállása, gyakorlatilag nulla.)
A folyadékok és gázok közötti különbségek között jelentős, hogy míg a folyadék szabad felszínnel rendelkeznek gázoknál ilyet nem tapasztalhatunk. A folyadékok térfogata külső nyomással nagyon nehezen változtatható (kicsi a kompresszibilitásuk) míg a gázok könnyen összenyomhatók (kompresszibilitásuk nagy). A gázok fizikai jellemzői erősen függenek a hőmérséklettől, míg a folyadékok esetében ez a függés sokkal gyengébb.

Nyomás

A nyomást a felületre ható erő és a felület nagyságának hányadosaként értelmezzük: $p = \frac{F}{A}$

Hidrosztatikai nyomás: $p_{hidro} = \rho g h$, ahol h a folyadék felszínétől mért távolság (milyen mélyen vagyunk), g a gravitációs gyorsulás, ρ pedig a folyadék sűrűsége. A hidrosztatikai nyomást a nyomás fenti definíciójával úgy kapcsolhatjuk, hogy a hidrosztatikai nyomást az adott szint feletti folyadék súlyából származó nyomásnak tekintjük. Ezt igazolandó egy rövid számolás.
Tekintsünk egy h magasságú A alapterületű folyadék hengert. Ennek aljára ható erő a felette lévő folyadék oszlop súlya (G)és a folyadék oszlopra ható erő külső erő (F): $F_e = G + F$. A folyadék oszlop súlya: $G = mg = \rho V g = \rho h A g$, ahol felhasználtuk, hogy $V = Al$ és $m = \rho \mathrm{V}$.
Tehát a folyadékoszlop alján a nyomás: $p = \frac{F}{A} + \frac{\rho g h A}{A} = p_0 + \rho g h$, ahol bevezettük a $\frac{F}{A} = p_0$ jelölést. Ezt a p_0 nyomást például a folyadék felett levegő nyomásaként értelmezhetjük. A fenti összefüggésből látszik, hogy a folyadék oszlop súlyából származó nyomás valóban $p_{hidro} = \rho g h$.
A gázok nyomását mikroszkopikus kép segítségével értelmezhetjük. Szemléletesen úgy képzelhetjük el, hogy a gáz nyomása a falnak ütköző molekulák lendületváltozás révén kifejtett erő következménye.

Ideális gáz

Az ideális gáz definiáljuk úgy, hogy olyan gázt tekintünk, amelyben a gáz részecskék és az edény fala közötti kölcsönhatás pusztán rugalmas ütközésben áll. A részecskék átmérője (karakterisztikus mérete) sokkal kisebb, mint a szabad úthosszuk. (Szabad úthossz: a gáz részecske által ütközés nélkül megtett út.)

Ideális gáz állapotegyenlete: $pV = nRT$, ahol n a mólszám, R az ún. egyetemes gázállandó, T a hőmérséklet (Kelvin-ben), pa gáz nyomása. V a térfogata. $R = 8,314 \frac{J}{molK}$

Ideális gáz állapotváltozása során ha az anyagmennyiség nem változik, fenn áll, hogy: $\frac{p_1 V_1}{T_1} = \frac{p_2 V_2}{T_2}$, ahol 1-es indexszel jelöltük az 1-es állapotbeli értékeket, 2-es a 2-esbelit.

Speciális esetek:

- $p_1 = p_2$ izobár állapotváltozás.
- $V_1 = V_2$ izochor
- $T_1 = T_2$ izoterm

Néhány egyéb összefüggés: $m = nM$, ahol *m* a tömeg, *n* a mólszám, *M* a moláris tömeg (1mol tömege). $n = \frac{N}{N_A}$, ahol N_A az Avogadro-állandó $N_A = 6 \cdot 10^{23}$, *N* pedig a részecskék száma.
Ezzel az ideális gáz állapotegyenleté az következő módon is megadhatjuk:
$pV = \frac{N}{N_A} RT = k_B NT$, ahol a bevezetett k_B-t Boltzmann állandónak nevezzük. Értéke: $k_B = 1{,}38 \cdot 10^{-23} \frac{J}{K}$

Hőtágulás

$l = l_0 + l_0 \alpha\, \Delta\mathrm{T}$, ahol α az ún. lineáris hőtágulási együttható.
Térfogati hőtágulás: $V = V_0 + V_0 \beta \Delta T$, ahol β a térfogati hőtágulási együttható.
Általában alkalmazható a $\beta = 3\alpha$ közelítés.

6. óra

A termodinamika első főtétele

Tapasztalatok:

- Egy testen végzett mechanika munka sok esetben látszólag elvész (pl.: rugalmatlan ütközés), de ilyenkor az adott test felmelegszik
- Meleg testtel munkát lehet végeztetni

Azt feltételezhetjük, hogy a hőmérsékletemelkedés valami energiatartalom jele.

Joule-kísérlet→ rendszer adiabatikus fallal lezárva (kontaktus útján nem lehetséges melegedés), ezután a rendszeren makroszkopikus munkát végzünk. Eredmény: adott mennyiségű munkavégzés mindig ugyanakkora hőmérsékletváltozást okozott.

Általános tapasztalat: ha egy adiabatikusan elszigetelt rendszert makroszkopikus munkavégzéssel az egyik állapotból a másik állapotba viszünk, akkor ehhez mindig ugyanakkora munkavégzés szükséges. → meghatározott állapotváltozáshoz meghatározott munkavégzés rendelhető hozzá → bevezethető egy belsőenergia (U), aminek megváltozása a végzett munkával egyenlő (figyelem: adiabatikusan elszigetelt rendszerről beszéltünk!).

$\Delta U = U_B - U_A = W_{adiabatikus}$ ahol U_A a kezdeti, U_B a végállapot belső energiája.
Elemi változásra: $dU = W_{adiabatikus}$ (1.)

U a rendszer állapotának egyértelmű függvénye, ezért állapotfüggvény (körfolyamat során megváltozása nulla).

A tapasztalat szerint azonban a rendszerbe kontaktus útján is bevihető energia. Ez azt jelenti, hogy a belső energia makroszkopikus munkavégzés nélkül is megváltoztatható. A testek kontaktusa útján, nem makroszkopikus munkával átadott energiát **hő**nek nevezzük.

Mérése: először megmérjük a folyamatban a rendszeren végzett makroszkopikus munkát, majd ugyanazon két állapot között hőátadás nélkül (adiabatikusan) átvíve, ismét meghatározzuk a rendszeren végzett munkát. Így:
$\delta Q = \delta W_{adiabatikus} - \delta W$

Felhasználva, hogy az adiabatikus munka éppen a rendszer belső energiájának megváltozása:
$dU = \delta Q + \delta W$ (2.)

Ezt nevezzük a termodinamika első főtételének. Tartalma az, hogy bevezethető egy a mechanika energiához képest alapvetően új energia, mely makroszkopikus munkavégzéssel és hőközléssel változtatható meg.

A belső energiát a hőmérséklet függvényének tekinthetjük: U=U(T).
Ideális gáz belső energiája: $U = \frac{f}{2} N k_B T$, ahol *f* a szabadsági fokok száma.

Makroszkopikus munka

A makroszkopikus munka általában térfogati munka: ha a rendszer térfogata megváltozik, akkor a rendszeren a külső nyomásból származó erő munkát végez:

$$\delta W = \oint_A (-p_k d\vec{A}) d\vec{r} = -p_K \oint_A d\vec{A} d\vec{r} = -p_K dV \quad (3.)$$

Tehát ha a térfogat csökken a környezet pozitív munkát végez. Ha nő, akkor negatívat.
A gáz által végzett munka ennek éppen az ellentettje. Így: $\delta W_{gaz\_altal} = pdV$.
Az első főtétel (a gáz adataival) az alábbi alakra írható: $dU = \delta Q - pdV$.

Fajhő

Adott mennyiségű anyag hőmérsékletének 1K-el való emeléséhez szükséges hő:
$\delta Q = c \cdot m \cdot dT$, ahol *c* az anyagra jellemző ún. fajhő $\left(\frac{J}{kgK}\right)$, *m* az adott test tömege.

A fajhő függ a folyamat menetétől, így megkülönböztetünk állandó térfogaton és állandó nyomáson vett fajhőt.

Levezethető[1], hogy $dU = c_v m dT$, ahol c_v az állandó térfogaton vett fajhő.

[1] Egyszerűen látszik az első főtételből, hogy ha nincs munkavégzés (dV=0), akkor. $dU = \delta Q$, ami épp az említett összefüggést adja.

7. óra

Elektromos alapjelenségek, az elektromos töltés, vezetők, szigetelők

Dörzselektromosság, töltés

Egymással szorosabban érintkező (például összedörzsölt) különböző anyagú testek szétválasztása után vonzó vagy taszító kölcsönhatásba lépnek egymással, ill. környezetükkel. A dörzsöléssel tehát az anyag egy új, eddig ismeretlen tulajdonsága válik érzékelhetővé, amely egy új kölcsönhatást eredményez. Ezt a kölcsönhatást **elektrosztatikus vagy elektromos kölcsönhatás**nak nevezzük. Az anyagnak az elektromos kölcsönhatást okozó sajátságát pedig **elektromos töltés**nek nevezzük. A testek pozitív vagy negatív töltésűek lehetnek. Az azonos előjelű töltéssel rendelkező testek taszítják, a különböző töltéssel rendelkezők vonzzák egymást. A test negatív töltése elektrontöbblet, a pozitív töltés pedig elektronhiány következménye. Az elektroszkóp az elektromos töltések vizsgálatára alkalmas eszköz.

Vezetők, szigetelők

Az olyan anyagot, amelyben az elektromos töltésű részecskék könnyen elmozdulnak (mint például a fémekben az elektronok) **vezető**knek, amelyekben az elektromos töltés részecskék helyhez kötöttek, **szigetelő**knek nevezzük.

Elektromos megosztás

Kísérleti tapasztalat, hogy ha egy töltött testtel egy kezdetben semleges elektroszkóphoz közelítünk, akkor az elektroszkóp töltést jelez. Ennek hátterében a megosztás jelensége áll. A vezetőkben a közelükbe helyezett töltések hatására létrejött töltésszétválást elektromos megosztásnak nevezzük.

Coulomb-törvény

Coulomb-törvény: Két pontszerű, töltéssel rendelkező test között ható erő nagysága egyenesen arányos a testek elektromos töltésének nagyságával és fordítottan arányos a köztük lévő távolság négyzetével. $F = k \cdot \frac{Q_1 \cdot Q_2}{r^2}$.

A töltés SI- mértékegysége a coulomb (C). 1C pontszerű töltés a vele egyenlő tömegű, egyenlő nagyságú pontszerű töltésre 1 m távolságból, légüres térben $9 \cdot 10^9$ N erőt fejt ki. Így $k = 9 \cdot 10^9 \frac{N \cdot m^2}{C^2}$.

A töltés legkisebb adagja az ún. elemi töltés, ami az elektron töltése. $e = 1{,}6 \cdot 10^{-19} C$.

Töltésmegmaradás törvénye: zárt rendszerben az elektromos töltések előjeles összege állandó.

Elektromos erőtér, térerősség, homogén elektromos tér

Az elektromos kölcsönhatást elektromos erőtér (mező) közvetíti.
Az elektromos mezőt a behelyezett töltésre kifejtett erőhatás segítségével jellemezhetjük. A sztatikus (időben állandó) elektromos mező valamely pontjába helyezett próbatöltésre ható erő és a próbatöltés hányadosa állandó, a mezőre jellemző mennyiség, melyet **elektromos térerősségnek** nevezzük. Jele: E. $E = \frac{F}{q}$. $[E] = \frac{N}{C} = \frac{V}{m}$. **A térerősség vektormennyiség**.
Irányának a pozitív próbatöltésre ható erő irányát tekintjük.

Homogén elektromos mezőnek nevezzük az olyan elektromos mezőt, ahol a térerősség nagysága és iránya mindenhol megegyezik.

Az elektromos mezőt erővonalakkal szemléltetjük. A erővonalak iránya a térerősség irányát, sűrűségük a nagyságát jellemzi. Homogén mezőben a térerősségre merőleges egységnyi felületen áthaladó erővonalak száma megegyezik a térerősség számértékével.

Feszültség

Két pont között elmozduló próbatöltésen a mező által végzett munka egyenesen arányos a próbatöltés nagyságával, a két mennyiség hányadosa a mezőnek erre a két pontjára jellemző állandó, amely alkalmas a két pont közötti elektromos mező jellemzésére. A hányados neve **elektromos feszültség.** Jele: U. $U = \frac{W}{q}$. [U]=V. 1 V a feszültség az elektromos mező két pontja között, ha a mező például 1C töltést 1J munkával visz át az egyik pontból a másikba.
A feszültség előjeles mennyiség. Az U_{AB} feszültség pozitív, ha az A pontból B pontba elmozduló pozitív próbatöltésen a mező pozitív munkát végez, vagyis a térerősség az AB szakasszal 90°-nál kisebb szöget zár be. Az előjeles értelmezésből következik, hogy: $U_{AB} = -U_{BA}$.
A feszültség és a térerősség kapcsolata homogén mezőben a térerősség irányában: $U = E \cdot d$, a térerősségre merőleges irányban pedig U=0.

A munkavégzés nagysága független az útvonaltól, tehát az elektromos mező **konzervatív mező. Zárt görbe mentén a mező munkája zérus.** Ezt nevezzük az elektrosztatika első alaptörvényének.

Potenciál, ekvipotenciális felületek

Potenciál: közös ponthoz (megállapodás szerinti nullponthoz) viszonyított feszültség. Többnyire a végtelen távoli ponthoz képesti. A potenciál pontonként jellemzi a mezőt: számértékben megadja az egységnyi próbatöltés elektromos helyzeti energiáját a zérus potenciálú helyhez viszonyítva.
Ekvipotenciális felületek: az elektromos mezőben olyan felületek, melyek mentén a potenciál állandó. Az ekvipotenciális felületek pontjai között nincs feszültség. A térerősség merőleges az ekvipotenciális felületekre. Töltés ezen való mozgatásakor a végzett munka zérus.

A pontszerű töltés elektromos mezője

Egy pontszerű test Q töltése által létrehozott elektromos mezőben a Q töltéstől r távolságra lévő P pontban az elektromos térerősség: $E = k \cdot \frac{Q}{r^2}$. A térerősség nagysága egyenesen arányos a Q töltés nagyságával és fordítva arányos a tőle mért távolság négyzetével. Pozitív töltés esetén a térerősség a töltéstől sugárirányban kifelé, negatív töltés esetén pedig a sugárirányban töltés felé mutat.

Q pontszerű töltéstől r távolságban lévő pont végtelen távoli ponthoz viszonyított potenciálja: $U = k \cdot \frac{Q}{r}$. A potenciál egyenesen arányos a töltés nagyságával és fordítottan arányos a távolsággal.

Szuperpozíció elve

Minden elektromos töltés a másiktól függetlenül létrehozza a maga elektromos mezőjét. Egy adott pontban a térerősséget az egyes töltésektől származó térerősségek vektori összege, a potenciált az egyes töltésektől származó potenciálok algebrai összege adja:

$$\vec{E} = \vec{E_1} + \vec{E_2} + \ldots$$
$$U = U_1 + U_2 + \ldots$$

Vezetők elektrosztatikus mezőben

A vezetőre vitt többlettöltés mindig a vezető külső felületén helyezkedik el (az egynemű töltések taszítása miatt) úgy, hogy a **csúcsokon nagyobb a töltéssűrűség.**
A vezető belsejében a térerősség zérus.
A vezető felületén a térerősség (az erővonalak iránya is) **merőleges a felületre.**
A vezető minden pontja ekvipotenciális.

Az elektromosan feltöltött vagy külső töltés hatására megosztott vezető belsejében a térerősség zérus. Ez teljesül a folytonos vagy rácsos szerkezetű vezetőfelületekkel körülzárt üregekre is. **A vezetőfelületekkel határolt térrészek tehát kívülről elektromosan árnyékoltak.** Az ilyen elektromosan árnyékoló fémburkolatokat felfedezőjükről **Faraday-kalitkának** nevezték el. Faraday-kalitka például az autó karosszériája, a gázpalackokat tároló fémház.

A vezető üregeiben vitt töltés hatását azonban csak akkor árnyékolja a vezető, ha földeljük. Földelés esetén ugyanis a megosztás miatt jelentkező belső és külső felületi töltések közül az utóbbiakat a Földből odaáramló töltések közömbösítik.

Kondenzátorok

A kondenzátor elektromos töltések tárolására szolgáló eszköz. A legegyszerűbb fajtája a **síkkondenzátor,** amely két egymástól elszigetelt, párhuzamos fémlemezből (fegyverzetből) áll.
A feltöltött síkkondenzátor lemezein egyenlő nagyságú és ellentétes előjelű töltés található, a lemezek között homogén elektromos mező van jelen, a lemezeken kívül, pedig zérus a térerősség.

Kapacitás: a lemez töltésének és a lemezek közötti feszültség hányadosa. $C = \frac{Q}{U}$. [C]=1 F (farad). 1 F a kondenzátor kapacitása, ha lemezeink 1 C és -1C töltést adva a lemezek között 1 V feszültség jön létre.

A síkkondenzátor kapacitása egyenes arányos a szembenálló lemezek területével, fordítottan arányos a lemezek közötti távolsággal és függ a lemezek közötti szigetelőanyag minőségétől. $C = \varepsilon_0 \varepsilon_r \cdot \frac{A}{d}$. A kondenzátor energiája: $W = \frac{1}{2} C U^2$.
Alkalmazásuk: forgókondenzátorok rádióban. Érintkezők közötti szikrázás meggátlására, elektromos zavarszűrésre, elektromos energia szállításánál teljesítménytényező javítására.

Kondenzátorok kapcsolása

Sorosan kapcsolt kondenzátorok esetén az egyes kondenzátorok feszültségeinek összege adja meg a rendszer teljes feszültségét: $U_1 + U_2 + ... = U$. Ebben az estben a kondenzátorokon lévő töltés megegyezik: $Q_1 = Q_2 = ... = Q$. Az eredő kapacitás reciproka az egyes kapacitások reciprokának összege: $\frac{1}{C_e} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + ...$
Párhuzamosan kapcsolt kondenzátorok esetén valamennyi kondenzátor feszültsége ugyanakkora. $U_1 = U_2 = ... = U$ Az eredő kapacitás az egyes kapacitások összege: $C_e = C_1 + C_2 + ...$

8. óra

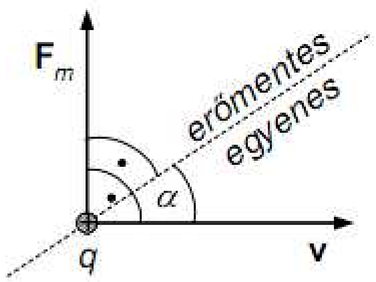
Mágneses tér, mágneses indukcióvektor

Mágneses kölcsönhatást tapasztalunk:

- mágnes és áramjárta vezető
- mágnes és mágnes
- áramjárta vezető és áramjárta vezető között

A kísérletekből kiderült, hogy a mágneses testek maguk körül mágneses erőteret hoznak létre. Mágneses erőtérben **mozgó töltésre** erő hat. A mágneses erőtér számszerű jellemzésére kísérleteket végeztek, és megállapították, hogy a q mérőtöltésre ható erő:

- arányos a töltés nagyságával (|q|), a mozgás sebességének nagyságával ($|\vec{v}|$) és mindig merőleges a sebességvektor irányára. ($\vec{F} \perp \vec{v}$)
- Mindig található egy „erőmentes” egyenes. Ha a töltés ezen egyenes mentén mozog, akkor nem hat rá erő.
- Az „erőmentes” egyenestől eltérő irányban mozgó töltésre ható erő mindig merőleges erre az egyenesre, az erő nagysága pedig arányos a sebességvektor és az "erőmentes" egyenes által bezárt szög (α) szinuszával.

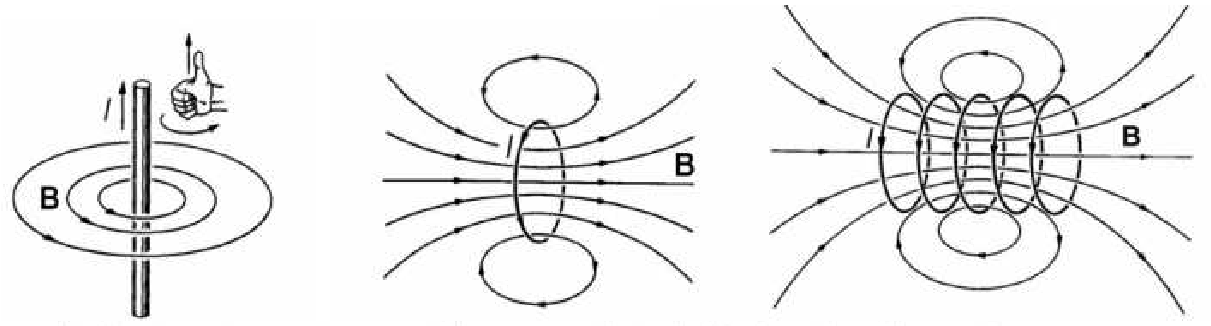


Ezeket a tapasztalatokat a fenti ábra jelöléseivel úgy összegezhetjük, hogy: $|\vec{F}_m| \sim |\vec{v}| q \cdot \sin\alpha$. Az arányossági tényező már csak a mezőt jellemzi, és B-vel jelöljük. Az erőhatás pontos leírásához hozzátartozik az erő irányának megadása. Ennek érdekében tekintsük az erőmentes egyenes irányát egy $\vec{u}$ vektornak. Ezzel az erő: $|\vec{F}_m| = Bq|\vec{v} \times \vec{u}|$. Az erőt az alábbi összefüggéssel adhatjuk meg: $\vec{F}_m = Bq\vec{v} \times \vec{u}$. Ha bevezetjük a $\vec{B} = B \cdot \vec{u}$ **mágneses indukció-vektort**: $\vec{F}_m = q \cdot \vec{v} \times \vec{B}$. A mozgó töltésre mágneses térben ható erőt **Lorentz-erőnek** nevezzük.

A mágneses indukcióvektor SI mértékegysége: $1\frac{Vs}{m^2} = 1T$ (Tesla).

Amennyiben a $\vec{B}$ vektort pontról pontra meghatározzuk, a mágneses mezőt szemléltethetjük erővonalakkal (indukcióvonalak), melyek adott pontbeli érintője megadja a mágneses indukcióvektor irányát.

Az alábbi ábrán néhány egyszerű áramelrendezés indukcióvonal képe látható.



1. ábra Egyenes vezető, köráram és tekercs indukcióvonal képe

A baloldali ábrán látható az ún. jobbkézszabály, melynek segítségével egyszerűen meghatározhatjuk az áram által létrehozott mágneses térben az indukcióvonalak irányát.

A mágneses tér jellemzésére használatos még a mágneses térerősségvektor is, mely (homogén, lineáris, izotróp) anyagokban az alábbi összefüggéssel adható meg: $\vec{H} = \dfrac{\vec{B}}{\mu_0 \cdot \mu_r}$,

ahol μ_0 az ún. vákuum permeabilitása, és értéke $4\pi \cdot 10^{-7} \dfrac{N}{A^2}$, a μ_r pedig a kitöltő anyagra jellemző, ún. relatív permeabilitás. Értéke vákuumban, levegőben: 1.

Áramvezetőre ható erő mágneses erőtérben

Egy I árammal átjárt l hosszúságú egyenes vezetőre homogén mágneses térben ható erő: $\vec{F} = I \cdot l \cdot \overrightarrow{u_T} \times \vec{B}$, ahol $\overrightarrow{u_T}$ az áram irányába mutató egységvektor. Az erő nagysága:

$|\vec{F}| = I \cdot l \cdot |\vec{B}|\, sin(\alpha)$, ahol α az áramirány és a mágneses indukcióvektor iránya által bezárt szög.

Belátható, hogy homogén mágneses térben zárt áramhurokra ható erők eredője nulla. Azonban forgatónyomaték[2] fellép.

Áramhurokra ható forgatónyomaték

Zárt áramhurokra illetve vezetőkeretre homogén mágneses térben ható forgatónyomatékot az alábbi módon számolhatjuk: $M = I \cdot A \cdot \overrightarrow{u_n} \times \vec{B}$, ahol I a vezetőben folyó áram áramerőssége, A az áramhurok felülete, u_n pedig a hurok felületére merőleges egységvektor. A forgatónyomaték nagysága: $M = I \cdot A \cdot B \cdot sin(\alpha)$, ahol α a felület és az indukcióvektor által bezárt szög nagysága.

Néhány egyszerű áramelrendezés mágneses tere

Hosszú egyenes vezető körül koncentrikus körökből álló indukcióvonal-kép alakul ki (lásd fenti ábra). A vezetőtől R távolságban az indukcióvektor nagysága: $B = \dfrac{\mu_0 I}{2\pi R}$.

[2] Lásd: függelék, középiskolás könyvek ill. az Interneten fellelhető források (pl. wikipedia (a szócikk angol verziója jobbnak tűnik): http://en.wikipedia.org/wiki/Torque). Érdemes mindet megnézni.

Egyenes tekercs belsejében a végektől távol homogén mágneses tér alakul ki (lásd fenti ábra). Az indukcióvektor nagysága: $B = \frac{\mu_0 \cdot I \cdot N}{l}$.

Mozgási indukció[3]

Tekercs és mágnesrúd egymáshoz viszonyított mozgatásánál a tekercshez kapcsolt voltmérő feszültséget jelez. Általában, ha egy vezetőt úgy mozgatunk valamely mágneses mezőben, hogy metszi annak indukcióvonalait, akkor a vezető végei között elektromos feszültség, zárt vezetőkör esetén pedig elektromos áram jön létre. A keletkezett feszültséget **indukált feszültség**nek, az áramot **indukált áram**nak nevezzük. Az egész jelenség neve: **mozgási elektromos indukció.**

Az indukált feszültség nagysága arányos a mező mágneses indukciójával, a vezető hosszával és sebességével, valamint függ ezek egymáshoz viszonyított irányától. Ha B, l és v egymásra merőleges helyzetűek, akkor az indukált feszültség nagysága: $U = B \cdot l \cdot v$. Ha a merőlegesség nem teljesül, akkor a vektorok merőleges összetevőivel kell számolni.

A mozgási indukció a Lorentz-erő következménye: a mágneses mező a vezetővel együttmozgó töltéshordozókra oldalirányú erőt fejt ki, és ez által töltésszétválasztást eredményez.

Ha közelítünk a mágnes valamely pólusával, ellenkező irányú áram indukálódik a tekercsben, mint ha távolodunk.

Lenz törvénye: Az indukált áram iránya mindig olyan, hogy mágneses hatásával akadályozza az indukáló folyamatot. (pl: mágneses fonálinga, felfüggesztett alumíniumkarika+mágnesrúd).

[3] A mozgási indukció alkalmazásait lásd a függelékben.

9. óra

Elektromos áram, áramerősség

Elektromos áram: az elektromos töltéshordozók meghatározott irányú rendezett mozgása. Az elektromos áram irányán (megállapodás szerint) a pozitív töltéshordozók áramlási irányát értjük.
Áramerősség: a vezető egy keresztmetszetén átáramlott töltésmennyiség és az áthaladás idejének hányadosa. $I = \frac{Q}{t}$. [I]= 1 A

Tartós elektromos áramot áramkörben hozhatunk létre. Az áramkör fő alkotórészei: áramforrás, vezeték, fogyasztó és kapcsoló. A körbeáramló töltéseket az áramforráson kívül az elektromos mező mozgatja, az áramforráson belül pedig –valamilyen belső energiaforrás hatására- az elektromos mező erőhatásával szembe mozognak.

Az elektromos ellenállás, Ohm-törvény

Ohm törvénye: a vezetőn átfolyó áram erőssége egyenesen arányos a vezetőn eső feszültséggel. A két mennyiség hányadosa állandó, a vezetőre jellemző mennyiség. Neve: ellenállás. Jele: R. $R = \frac{U}{I}$**.** $[R] = 1\Omega$ (ha 1V hatására 1A folyik).

Vezető ellenállása egyenesen arányos a vezető hosszával, fordítottan arányos a keresztmetszetével és függ a vezető anyagi minőségétől. $R = \rho \cdot \frac{l}{A}$, ρ a vezető anyagára jellemző arányossági tényező, neve: **fajlagos ellenállás.** $[\rho] = \Omega \cdot m$**.**

Fémes vezető ellenállása függ a hőmérséklettől. $\Delta R = \alpha \cdot R_0 \cdot \Delta T$ **.** α**:** hőfoktényező.

Fogyasztók kapcsolása

Soros kapcsolás

Soros kapcsolás: ha több fogyasztót tartalmazó áramkörökben kettő vagy több fogyasztó áramelágazás nélkül kapcsolódik egymáshoz.
Soros kapcsolásnál a fogyasztókon **átfolyó áram erőssége egyenlő**: $I_1 = I_2$. Az áramforrás **feszültsége megegyezik a fogyasztók feszültségeinek összegével**: $U = U_1 + U_2$. **A feszültség az ellenállások arányában oszlik meg** a fogyasztókon. **Az eredő ellenállás a részellenállások összege.**

Párhuzamos kapcsolás

Párhuzamos kapcsolás: ha két vagy több fogyasztót úgy kapcsolunk, hogy csatlakozási pontjaikat elhanyagolható ellenállású vezető (rövidzár) köti össze.
A párhuzamosan kapcsolt fogyasztók **feszültsége megegyezik**: $U_1 = U_2$. **A főágban folyó áram erőssége egyenlő a mellékágak áramerősségeinek összegével:** $I = I_1 + I_2$. **A mellékágak áramerőssége fordított arányban áll azok ellenállásával**: $I_1R_1 = I_2R_2$.
Az eredő ellenállás reciproka egyenlő a részellenállások reciprokainak összegével.

Az ampermérő és a feszültségmérő leggyakrabban az áram mágneses hatása alapján működik. Ampermérőt sorosan, feszültségmérőt párhuzamosan kell bekötni.

Elektromos munka, teljesítmény

Ha a fogyasztón U a feszültség és Q az átáramló töltés, akkor a mező munkája: $W = U \cdot Q$.
Az áramerősséggel és idővel kifejezve: $W = U \cdot I \cdot t$.
Az elektromos teljesítmény: $\mathrm{P} = \mathrm{U} \cdot \mathrm{I} = \mathrm{I}^2\mathrm{R} = \frac{\mathrm{U}^2}{\mathrm{R}}$. [P]=1W (watt) vagy 1kWh=3,6 10^6J

Áramforrások, telepek soros kapcsolása

Egy áramkörben az áram fenntartásához valamilyen áramforrást, telepet kell használnunk. A telepet úgy modellezik, hogy az egy ideális **elektromotoros erőből** (ε) és egy, a telep ellenállást jelölő **belső ellenállásból** (R_b) áll. A telep elektromotoros erejét úgy fogalmazhatjuk meg, hogy az a potenciálkülönbség, feszültség, mely a telep sarkai között lenne mérhető, ha semmilyen ellenállást nem kapcsolnánk a telepre, és belső ellenállása is nulla lenne.

Előfordulhat, hogy egy áramkörben több telep is van. Most a legegyszerűbb esetet vizsgáljuk: amikor a telepek sorosan vannak kapcsolva, azaz a telepek között nincs áramelágazás. Ebben az esetben a telepek elektromotoros erejét összeadjuk, és úgy tekintjük, mintha egyetlen, eredő elektromotoros erejű telep lenne az áramkörben. Az összegzésnél nagyon kell figyelnünk az előjelekre. A következő módon határozhatjuk meg: választunk egy körüljárási irányt az áramkörben. E körüljárási irány mentén megyünk körbe a telepeken. Ha a körüljárás során a telepen úgy megyünk át, hogy negatív sarkától a pozitívhoz mentünk, akkor negatív előjellel vesszük figyelembe, ha pedig pozitívról negatívra, akkor pozitív előjellel. Az összegzés végén kapott elektromotoros erő abszolútértékét használhatjuk a kapcsolás eredő elektromotoros erejeként. A telep belső ellenállását úgy vesszük figyelembe, mintha egy hagyományos ellenállás lenne.

10. óra

Bevezető

A **geometriai optika egy** egyszerű modell, amely a fény terjedését a fényforrásból minden irányban kilépő fénysugarakkal írja le, és nem foglalkozik a fény természetével (hullám vagy részecske). Alapfeltevései a következők: a fénysugár homogén közegben egyenes vonalban terjed, új közeg határán a visszaverődés és/vagy törés törvényének megfelelően halad tovább, és útja megfordítható.

Fénytörés, fényvisszaverődés

Ha fénysugár esik a fény számára átlátszó anyag felületére, a beeső fény egy része a felületről **visszaverődik**, egy másik része pedig ugrásszerű irányváltozást szenvedve behatol az anyagba. Ez utóbbi jelenség a **fénytörés**.

A **fény visszaverődésére érvényes törvény:** a felület adott pontjára beeső fénysugár és a beesési merőleges által bezárt szög (beesési szög) egyenlő a visszaverődött sugár és a beesési merőleges által bezárt szöggel (visszaverődési szög): α=α' A beesési merőleges, a beérkező és a visszavert fénysugár egy síkban van.

A **fény törésére érvényes összefüggés:** a beeső sugár beesési szögének és a megtört sugár törési szögének szinuszaiból képzett hányados állandó. Az állandó az adott két közegre jellemző relatív törésmutató: $\frac{\sin\alpha}{\sin\beta} = n_{2,1}$. A beesési merőleges, a beérkező és a megtört fénysugár egy síkban van. A határfelületre merőlegesen érkező fénysugár irányváltoztatás nélkül halad tovább.
A fény a különböző anyagi közegekben különböző sebességgel terjed. A törésmutató a terjedési sebességek hányadosával is egyenlő: $\frac{c_1}{c_2} = n_{2,1}$

Teljes visszaverődés

Ha az optikailag sűrűbb közegből optikailag ritkább közegbe átlépő fény beesési szögét akkorára választjuk, hogy $\sin\alpha > n_{2,1}$, a törési szögre nem adható matematikailag értelmezhető megoldás, mert a törvényből $\sin\beta > 1$ következne, ami lehetetlen. A valóságban is azt tapasztaljuk, hogy a fény ilyen feltételek mellett nem lép át az optikailag ritkább közegbe, a közeghatáron veszteség nélkül visszaverődik. A teljes visszaverődés egy határszögnél nagyobb beesési szögnél következik be, és ez a határszög: $\sin\alpha_H = n_{2,1}$
A legnagyobb jelentősége a teljes visszaverődésnek a száloptikában van (lásd még: függelék).

Leképezési törvény

A tárgy és a leképező eszköz távolságát **tárgytávolság**nak (t), a kép és a leképező eszköz távolságát **képtávolság**nak nevezzük (k). A leképezési törvény ezek között teremt kapcsolatot: $\frac{1}{f} = \frac{1}{t} + \frac{1}{k}$, ahol *f* a leképező eszköz fókusztávolsága. A fókusztávolság méterben mért értékének reciprokát dioptriának nevezzük.

Függelék

Forgatónyomaték, kiterjedt testek egyensúlya

Az erő hatásvonalának a forgástengelytől mért távolságát **erőkar**nak nevezzük.
Az erő forgató hatásának mértéke a **forgatónyomaték**. Értékét úgy kapjuk meg, ha az erő nagyságát megszorozzuk az erőkarral. Jele: M. [M]=Nm. $M = F \cdot k$
Ha az erő hatásvonala átmegy a forgástengelyen, az erő forgatónyomatéka nulla.

Először is egy rövid ismétlés a nyugalom és az egyensúly fogalmáról. A **nyugalom** azt jelenti, hogy a test sebessége nulla, de gyorsulása nem feltétlenül (elengedés pillanatában a kő). Ahhoz, hogy a test **egyensúly**ban legyen, a test gyorsulásának nullának kell lennie. Dinamikai feltétel (N II. alapján): $\sum F = 0$ (pontszerű test egyensúlyának feltétele).

Kiterjedt testek egyensúlyának feltétele:

A testre ható erők eredője nulla. $\sum F = 0$
A testre ható erők forgatónyomatékának összege bármely pontra és bármilyen irányú tengelyre nulla legyen. $\sum M = 0$

Mozgási indukció alkalmazásai

A mozgási indukció lehetőséget biztosít arra, hogy mechanikai energia befektetése árán elektromos energiát hozzunk létre. Ezen az elven működnek az elektromos generátorok, amelyek a villamos energia ipari előállítására szolgálnak. További alkalmazás: dinamikus mikrofon, magnetofon, aszinkron motorok.

A szem működése

A szem tetszőleges körülmény esetén a legtisztább képet alkotja. A lehető legtöbb fény bejutása érdekében félhomályban a pupilla kitágul, éles fényben pedig összeszűkül, hogy ne vakuljunk meg. A pupilla méretét két izomcsoport szabályozza: a körkörös és a sugaras izmok. A körkörös izmok összehúzódásukkal összeszűkítik a pupillát, a sugaras izmok pedig kitágítják azt. A szem a lencse megváltoztatásával úgy is alkalmazkodik, hogy mind a távoli, mind pedig a közeli tárgyakról tiszta képet kaphassunk. Ezt a folyamatot akkomodációnak nevezzük, és a fénysugarak finom fókuszálásával kapunk éles képet. Ezt a lencsét körülvevő sugártest izmai teszik lehetővé. Ha távoli tárgyakra nézünk, az izmok ellazulnak, a lencsét tartó szalagok pedig a szem elején megfeszülnek, és ellapósítják a lencsét. Ha közeli tárgyakra nézünk, az izmok megfeszülnek, a szalagok ellazulnak, a lencse pedig kerekdeddé válva téríti el a fénysugarakat.

Délibáb

A teljes visszaverődés által létrehozott légköri jelenség a **délibáb**. A talaj felett felmelegedett, és a környezeténél kisebb sűrűségű levegő törésmutatója is kisebb. A kétféle sűrűségű levegőt elválasztó, sokszor éles határfelületen, teljes visszaverődés is bekövetkezhet. Gyakori megjelenése az előttünk vizesen fénylő úttest.