1. Mechanika

1. Erő

A fizikában az erő olyan hatás, ami egy tömeggel rendelkező testet gyorsulásra késztet. Az eredő erő a testre ható összes erő vektoriális összege. Az erő vektormennyiség, amit az erő hatására történő impulzusváltozás ($\Delta\vec{p}$) gyorsaságával definiálunk:

$$\vec{F} = \frac{\Delta\vec{p}}{\Delta t} = \frac{\Delta\left(m\,\vec{v}\right)}{\Delta t} \qquad (1)$$

és így van iránya. Az erő SI-egysége a **newton** (N=kg·m/s^2). Az $\boldsymbol{m\vec{v}}$ mennyiséget lendületnek (impulzusnak) hívjuk.

2. Lendület (impulzus)

Egy test tömegének (*m*) és sebességének (*v*) szorzatával meghatározott fizikai mennyiséget a test impulzusának, más néven lendületének (*p*) nevezzük. Az impulzus vektormennyiség, iránya megegyezik a sebesség irányával.

$$\vec{p} = m\vec{v} \qquad (2)$$

A lendület SI mértékegysége: kg· m/s.

3. Sebesség

A testek által megtett út ($\Delta\boldsymbol{x}$) arányos a megtételhez szükséges idővel ($\Delta\boldsymbol{t}$). Az egyenes vonalú egyenletes mozgásnál ez egyenesen arányos: $\Delta\boldsymbol{x}\sim\Delta\boldsymbol{t}$.
A sebesség vektormennyiség, van mértéke, és iránya.
A testek egyenes vonalú egyenletes mozgását jellemző állandó a testek sebessége, melynek jele a *v*, mértékegysége a [m/s].

Az átlagsebesség ($\overline{\boldsymbol{v}}$) a mozgás során megtett útnak ($\Delta\boldsymbol{x}$) és megtételhez szükséges időnek a hányadosa ($\Delta\boldsymbol{t}$):

$$\overline{v} = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{x_f - x_i}{t_f - t_i} \qquad (3)$$

A pillanatnyi sebesség ($\boldsymbol{v}$) a nagyon rövid időközhöz tartozó átlagsebesség.

4. Szögsebesség

Az egyenletes körmozgást végző testhez a kör középpontjából húzott sugár (vezérsugár) szögelfordulásának ($\Delta\varphi$) és a szögelfordulás idejének (Δt) hányadosát szögsebességnek (ω) nevezzük.

$$\omega = \frac{\Delta\varphi}{\Delta t} \qquad (4)$$

Mértékegysége: 1/s
A szögsebesség tehát megmutatja, hogy a test egységnyi idő alatt mekkora (radiánban mért) szöggel fordul el.
Amennyiben $\Delta\varphi=2\pi$ (egy teljes körülfordulás), akkor Δt=T (periódusidő), és így:

$$\omega = \frac{2\pi}{T} \qquad (5)$$

5. Gyorsulás

A fizikában a gyorsulás a sebesség változási gyorsasága. Jele: *a*. Ez egy vektormennyiség, amelynek a dimenziója hosszúság/idő^2. Az SI mértékegységrendszerben a mértékegysége méter/másodperc^2, azaz [m/s^2].

A klasszikus mechanikában a gyorsulást Newton második törvénye szerint az erő (*F*) és a tömeg (*m*) a következő módon határozza meg:

$$\vec{a} = \frac{\Delta\vec{F}}{m} \tag{6}$$

Átlaggyorsulás

A pillanatnyi sebesség megváltozásának $\Delta\boldsymbol{v}$ és a közben eltelt időnek $\Delta\boldsymbol{t}$ hányadosa által meghatározott fizikai mennyiség. Matematikailag:

$$\vec{a} = \frac{\Delta\vec{v}}{\Delta t} = \frac{\vec{v_f} - \vec{v_i}}{t_f - t_i} \tag{7}$$

A számláló a sebességvektor változását jelöli két időpillanat között: $\vec{\boldsymbol{v}}_{\boldsymbol{f}}$ és $\vec{\boldsymbol{v}}_{\boldsymbol{i}}$. Az *f* és *i* alsó indexek a végső („final”) és kezdeti („initial”) állapotra utalnak. E két vektornak megegyezhet a nagysága, de különböző lehet az irányuk. Ilyenkor is változik a sebességvektor. Forgó mozgásnál, ha állandó nagyságú sebességgel mozog a test, akkor a gyorsulásvektor mindig a körpálya közepe felé mutat. Ezt a gyorsulást hívják centripetális gyorsulásnak. A nagysága így számolható ki:

$$a_c = \frac{v^2}{r} \tag{8}$$

Egy test érintőirányú (tangenciális) gyorsulását kiszámíthatjuk a szöggyorsulásból:

$$a_t = r\ \alpha \tag{9}$$

ahol *r* a sugara a körmozgásnak és α a szöggyorsulás. Egy test átlag-szöggyorsulása α_{av} egy adott $\Delta\boldsymbol{t}$ időintervallumban kiszámítható a szögsebesség változásának $\Delta\boldsymbol{\omega}$ és a $\Delta\boldsymbol{t}$ hányadosaként:

$$\alpha_{av} = \frac{\Lambda\omega}{\Delta t} = \frac{\omega_f - \omega_i}{t_f - t_i} \tag{10}$$

Pillanatnyi gyorsulás

A nagyon rövid időközhöz tartozó átlaggyorsulás, tehát a (7) egyenlet speciális esete, ha az időintervallum nullához tart (nagyon, azaz „infinitezimálisan” rövid Δt).

6. Mechanikai munka, teljesítmény

Mechanikai munka

A mechanikai munka a fizika szűkebb területén (a kinetikában) értelmezett fizikai mennyiség, mely az energiaátadás egyik lehetséges formája. Mechanikai munka végzésekor egy test erőhatások általi gyorsítása vagy lassítása történik, mely során a test energiája megváltozik. A klasszikus fizikában a kinetikus energiát egy adott mozgásállapot-változáshoz szükséges mechanikai munkából származtatják. SI mértékegysége a **Joule** (J = N· m = kg m^2/s^2).

Legegyszerűbb esetben tekintsünk egy testet és egy rá ható állandó erőt. A munkát állandó nagyságú és irányú erő esetén a következő képlettel lehet kiszámítani:

$$W = \vec{F}\ \vec{r} = F\ r\cos\theta \tag{11}$$

Ahol $\vec{\boldsymbol{F}}$ az erő, $\vec{\boldsymbol{r}}$ az elmozdulás vektora, F és r az erő- és az elmozdulásvektor nagysága,

$\boldsymbol{\theta}$ az erő és az elmozdulás iránya által bezárt szög. A munka tehát az erő és az elmozdulás skaláris szorzata.

Teljesítmény

A fizikai teljesítmény (P) a munkavégzés vagy energiaátvitel sebessége, más szóval az egységnyi idő alatt végzett munka. SI rendszerben a teljesítmény mértékegysége a watt (jelölése: W = J/s).

Az adott t idő alatt elvégzett W munka és az idő hányadosa az átlagos teljesítmény:

$$P = \frac{W}{\Delta t} = \frac{F\ \Delta x}{\Delta t} = F\ v \qquad (12)$$

7. Mozgási energia

A mozgási energia (kinetikus energia) a mozgásban levő testek energiája, melyet mozgásuk folytán képesek munkavégzésre fordítani. A klasszikus fizikában a mozgási energiát a vele szoros kapcsolatban álló munkából származtatják. Egy adott sebességgel mozgó test mozgási energiájának nagysága megfelel annak a munkának, melyet a test nyugalomból az adott sebességig történő gyorsításakor kell végezni. Az energia munkával való szoros kapcsolatát a munkatétel írja le, továbbá mindkettő mennyiség SI-beli mértékegysége Joule (J = kg · m^2/s^2).

Egy m tömegű, v sebességgel mozgó test kinetikus energiája (KE) a következőképpen számolható ki:

$$KE = \frac{1}{2} m\ v^2 \qquad (13)$$

8. Munkatétel

A testre ható erők eredője által végzett munka ($\boldsymbol{W_{net}}$) megegyezik a kinetikus energia megváltozásával, azaz:

$$W_{net} = KE_f - KE_i = \Delta KE \qquad (14)$$

(f – végső (final), i – kezdeti (initial))

9. Potenciális (magassági) energia

Potenciális energia - vagy más néven helyzeti energia - a fizikában az energia egyik formája. Az az energia, amellyel egy test rendelkezik konzervatív erőtérben. A potenciális energia nagyságát mindig valamilyen nulla energiaszinthez viszonyítják. Mivel az energia munkavégző képesség, a potenciális energiát is Joule-ban mérik (J).

Konzervatív vagy potenciálos erőtérnek olyan erőteret nevezünk, ahol egy pontból egy másik pontba elmozdítva egy testet, mindig ugyanakkora munkát kell végeznünk, bármilyen útvonalat is használunk. Ilyen erőterek például a gravitációs erőtér, elektrosztatikus erőtér, rugalmas alakváltozás stb.

Egy test gravitációs potenciális energiája ($\boldsymbol{PE_g}$) egyenlő a munkával, amelyet az állandó gravitációs erő F=mg végez, amikor a testet h magasságból a tetszőlegesen megválasztható zérus magasságú szintre mozdítja, és kifejezhető a

$$PE_g = m\ g\ h \qquad (15)$$

egyenlettel, ahol m a test tömege és g a nehézségi gyorsulás. Ez az egyenlet jó közelítéssel használható a Föld felszínén, ahol kis magasságok esetén a nehézségi gyorsulás állandónak tekinthető. Űrhajók esetén vagy csillagászati számításoknál a nehézségi gyorsulás g nem állandó, hanem a távolság négyzetével fordítottan arányos, így a képletünket általános formában kell felírni:

$$PE_g = -G\frac{m\,M}{R} \tag{16}$$

ahol m és M a két test tömege, R a két test közötti távolság és G a gravitációs állandó.

10. Newton törvények

Newton I. törvénye

Newton I. törvénye szerint egy test állandó sebességgel mozog addig, amíg erő nem hat rá. Egy test azon tulajdonságát, hogy mozgásállapota csak erő hatására változik meg, tehetetlenségnek (inercia) nevezzük. A tömeg az a fizikai mennyiség, amely megadja a test mozgásállapot változtató hatással szembeni ellenállását, tehát a tehetetlenség mértékét.

Newton II. törvénye

Newton II. törvénye szerint egy test gyorsulása egyenesen arányos a rá ható eredő erővel és fordítottan arányos tömegével. Egy testre ható eredő erő ($\sum \vec{\mathbf{F}}$) egyenlő a test tömegének (m) és gyorsulásának ($\vec{\mathbf{a}}$) szorzatával:

$$\sum \vec{\mathbf{F}} = m\vec{\mathbf{a}} \tag{17}$$

A Newton II. törvényével kapcsolatos feladatok megoldása során meg kell találni egy testre ható összes erőt, fel kell írni a (17) egyenletet az x, y (és esetleg a z) irányú komponensekre. Ezen egyenletek megoldása megadja a keresett mennyiségeket.

Newton III. törvénye

Newton III. törvénye szerint ha két test kölcsönhat, az 1. test által a 2. testre kifejtett erő ($\overrightarrow{\mathbf{F}_{12}}$) egyenlő nagysású, de ellentétes irányú a 2. test által az elsőre kifejtett erővel ($\overrightarrow{\mathbf{F}_{21}}$):

$$\overrightarrow{\mathbf{F}_{12}} = -\overrightarrow{\mathbf{F}_{21}} \tag{18}$$

A természetben izoláltan ható erő nem létezik.

11. Megmaradási törvények (lendület, energia, perdület)

Az olyan rendszert, amelyben csak belső erők hatnak zárt rendszernek nevezzük.

A lendületmegmaradás törvénye

Zárt rendszer összes impulzusa állandó. Egy ilyen rendszer eredő impulzusa felírható a rendszert alkotó objetumok impulzusának vektoriális összegeként:

$$\vec{I} = \sum_{i=1}^{n} \vec{I}_i \tag{19}$$

A zárt rendszerben levő testek lendülete egymás hatására csak úgy változhat meg, hogy az egyes testek lendületváltozásainak összege nulla legyen:

$$\Delta\vec{I} = \sum_{i=1}^{n} \Delta\vec{I}_i = 0 \tag{20}$$

A mechanikai energiamegmaradás törvénye

Mechanikai kölcsönhatás során, ha a veszteségektől eltekinthetünk, valamilyen mechanikai energia átalakulhat egy másfajta mechanikai energiává, miközben az összes energia nem változik.

Az általános energiamegmaradás törvénye

Mindenféle energiaváltozásra érvényes, általános természeti törvény. A törvény szerint a külső hatásoktól elzárt, egymással mechanikai és termikus kölcsönhatásban levő testek összes energiája nem változik, beleértve a mechanikai energiák és a belső energia változását is.

Perdületmegmaradás törvénye

Zárt rendszeren belül a testek forgásállapota egymás hatására megváltozhat, de csak úgy, hogy a perdületváltozások összege nulla legyen, vagyis zárt rendszer perdülete állandó.

$$\Delta N = \sum_{i=1}^{n} \Delta N_i = 0 \tag{21}$$

illetve

$$N_i = N_f \Rightarrow \Theta_i \omega_i = \Theta_f \omega_f \tag{22}$$

Másképpen fogalmazva: ha az egy testre ható forgatónyomatékok összege zérus, a test perdülete nem változik meg, tehát a perdület állandó.

12. Perdület (impulzusmomentum)

A merev test tehetetlenségi nyomatékának (Θ) és szögsebességének (ω) szorzata a test perdülete. Jele: N.

$$N = \Theta\omega \tag{23}$$

SI mértékegysége: kgm^2/s.

Az óra mutatóival ellentétesen forgó testek perdületét szokás – a szögsebességgel összhangban – pozitívnak választani.

13. Tehetetlenségi nyomaték

A tehetetlenségi nyomaték a testek szögsebesség-változással szembeni tehetetlenségének mennyiségi jellemzője. Jele: Θ.
A pontszerű test tehetetlenségi nyomatékának nagysága egyenesen arányos a test tömegével (m) és a forgástengelytől mért távolságának (r) négyzetével.

$$\Theta = mr^2 \tag{24}$$

Ugyanannak a testnek más-más tehetetlenségi nyomatéka adódik, ha tengelytől való távolsága változik (lsd. táblázat). A tehetetlenségi nyomaték, ellentétben a tehetetlen tömeggel, nem állandó. Ennek az a következménye, hogy ha egy test perdülete állandó, de megváltozik a tehetetlenségi nyomatéka, akkor a szögsebességének is változnia kell, mert a szorzatuk állandó.

Test	A forgástengely helye	Tehetetlenségi nyomaték
Gyűrű, vékony falú henger	szimmetriatengelye	$\boldsymbol{\theta = mr^2}$
Tömör henger	szimmetriatengelye	$\boldsymbol{\theta = \frac{1}{2}mr^2}$

Rúd	rá merőleges, a felezőpontján átmenő tengelyre	$\theta = \frac{1}{12} mr^2$
Rúd	rá merőleges, a végpontján átmenő tengelyre	$\theta = \frac{1}{3} mr^2$
Tömör gömb	középpontján átmenő tengelyre	$\theta = \frac{2}{5} mr^2$

14. Forgatónyomaték

Egy erő hatásvonalának a forgástengelytől mért távolságát erőkarnak nevezzük.
Jele: k; SI mértékegysége: m.
Az erő forgató hatását megadó fizikai mennyiséget forgatónyomatéknak (*M*) hívjuk. Egy erő forgatónyomatékát megkapjuk, ha az erő nagyságát megszorozzuk az erőkarral.

$$M = F \cdot k \tag{25}$$

A forgatónyomaték SI mértékegysége: Nm.
A forgatónyomaték vektormennyiség; a síkra nézve az óramutató járásával ellentétesen forgatni szándékozó forgatónyomatékot tekintjük pozitívnak, az óramutatóval megegyező irányba forgatót negatívnak.
A forgatónyomaték definíciójából következik, hogy amennyiben az erő hatásvonala átmegy a forgástengelyen, az erő forgatónyomatéka zérus.

A forgatónyomaték a perdületváltozás sebességeként értelmezhető mennyiség, megmutatja az egységnyi idő alatt bekövetkező perdületváltozás nagyságát:

$$M = \frac{\Delta N}{\Delta t} \tag{26}$$

A forgómozgás alaptörvénye

Egy tengely körül forgó merev testre ható (eredő) forgatónyomaték egyenesen arányos az általa létrehozott szöggyorsulással (β).

$$\sum M = \Theta \beta \tag{27}$$

Ez az egyenlet Newton II. törvényének forgó mozgásra felírt változata, amelyben az erőt a forgatónyomaték, a gyorsulást a szöggyorsulás és a tömeget a tehetetlenségi nyomaték helyettesíti.

15. Nyomás

A nyomás a nyomott felületnek (A) és a felületet merőlegesen nyomó erőnek (F) a hányadosa. Jele: p. Mértékegysége: N/m^2. A nyomás mértékegységét Blaise Pascal emlékére pascalnak nevezzük, és Pa-nak rövidítjük.

$$p = \frac{F}{A} \tag{28}$$

A nyomás skaláris mennyiség, vagyis nincs iránya. Ennek megfelelően nincs értelme azt mondanunk, hogy valamilyen irányú nyomás hat egy testre, hanem hogy a nyomásból a felületre merőleges irányú nyomóerő származik.

A folyadék súlyából származó nyomást hidrosztatikai nyomásnak nevezzük, melynek nagysága csak a folyadék sűrűségétől (ρ) és a folyadékoszlop magasságától (h) függ:

$$p = \rho g h \tag{29}$$

16. Hooke törvény, rugóerő, rugóállandó

A rugalmas erő (F_r) nagysága egyenesen arányos a rugalmas test méretváltozásával (Δl). Az $F_r/\Delta l$ hányados annál nagyobb, minél erősebb a rugó, ezért alkalmas a rugó erősségének jellemzésére. Az $F_r/\Delta l$ hányadost rugóállandónak (direkciós erő) nevezzük. Jele: *D*. Mértékegysége: N/m.
A rugóállandó tehát az a fizikai mennyiség, amely megmutatja, hogy mekkora erő szükséges egy rugó egységnyi megnyújtásához.

A rugóerő nagysága a méretváltozás első hatványával arányos:

$$F_r = -D \cdot \Delta l \tag{30}$$

Ezt az erőtörvényt lineáris erőtörvénynek, illetve Hooke-törvénynek is szokás nevezni.
A negatív előjel magyarázata, hogy a rugó által kifejtett rugóerő mindig ellentétes irányú a hosszúságváltozással.

2. Elektromosságtan és mágnességtan

1. Elektrosztatikus térben levő töltött test potenciális energiája

Az elektrosztatikus erőtér

Egy elektrosztatikus erőtér elektromos erőt fejt ki a benne elhelyezkedő bármely töltéssel rendelkező testre. A tér egy adott pontján elhelyezkedő kis q_0 próbatöltésre ható E elektromos erőtér nagysága definíció szerint a q_0 töltésre ható F_E elektromos erő és a q_0 töltés hányadosa:

$$E = \frac{F_E}{q_0} \tag{31}$$

Az elektromos térerősség vektormennyiség és SI mértékegysége a newton/coulomb (N/C). Amennyiben a próbatöltés pozitív, az elektromos erőtér vektorának iránya megegyezik a töltésre ható elektromos erő irányával.
Amennyiben a töltések adott elrendeződéséből származó elektromos erőtér nagysága ismert a tér adott pontján, az ott elhelyezkedő q_0 töltésre ható elektrosztatikus erő meghatározható a (31)-es egyenlet átrendezésével:

$$F_E = q_0 \, E \tag{32}$$

Az elektrosztatikus potenciális energia

Ponttöltésekből álló rendszer elektromos potenciális energiája definíció szerint az a munkamennyiség, amely segítségével az adott rendszer előállítható egymástól végtelen távolságra elhelyezkedő ponttöltésekből. Ezzel összhangban, egy elektromosan töltött test elektrosztatikus potenciális energiája az a munka, melyet ahhoz kellene végeznünk, hogy a testet egy (jellemzően végtelen távoli) referenciapontból az aktuális helyzetébe mozdítsunk, akkor, ha nincs jelen más (nem elektrosztatikus) erő a művelet folyamán. Tehát lényegében az elektromos potenciális energia ezen folyamat során az elektrosztatikus erő által végzett munka ellentettje.
Egy állandó nagyságú és irányú E_x elektromos erőtérben egy Δx elmozdulást végző q_0 töltéssel rendelkező test elektromos potenciális energiájának megváltozása

$$\Delta PE = -q_0 \, E_x \, \Delta x \tag{33}$$

ahol E_x az elektromos erőtér *x* irányú komponense és $\Delta x = x_f - x_i$ a töltés elmozdulása az *x* tengely mentén.

Az elektromos potenciális energia skalármennyiség és SI mértékegysége a joule (J).

2. Az elektromos áram

Az elektromos áram az elektromos töltéssel rendelkező részecskék (töltéshordozók) sokaságának elektromos mező hatására kialakuló rendezett mozgása. Elektromos áramkörökben a töltéshordozók általában a vezetékben mozgó elektronok, de elektrolitokban akár ionok is lehetnek, illetve bizonyos esetekben mind elektronok, mind ionok, mint ionizált gázok (plazma) esetén. Fémek esetén az atomok egy vagy két külső elektronja lazán kapcsolódik, így azok a fém anyagában szabadon mozoghatnak és a fémvezetőkben töltéshordozóként funkcionálhatnak. Egy áramkörben a pozitív töltések mozgása azonos áramot jelent és ugyanolyan hatásokat vált ki, mint ugyanakkora mennyiségű negatív töltés ellentétes irányú áramlása. Mivel elektromos áram során a töltéshordozó pozitív vagy negatív töltésű is lehet, vagy akár mindkettő, megállapodás alapján az áram irányát a pozitív töltéshordozók mozgásának az irányával definiáljuk.
Az I elektromos áramerősség az áramvezető teljes A keresztmetszetén adott Δt idő alatt merőlegesen áthaladó összes ΔQ töltésmennyiség és a Δt idő hányadosa:

$$I = \frac{\Delta q}{\Delta t} \qquad (34)$$

Az elektromos áramerősség SI mértékegysége a coulomb/másodperc (C/s) vagy amper (A).
Az áramkörben a pozitív töltések a magasabb potenciálú helyekről az alacsonyabbak irányába áramlanak.
A makroszkóposan megfigyelhető áramot a mikroszkopikus töltéshordozók mozgása hozza létre. A töltéshordozók mozgása és a vezetőben mért áramerősség közötti összefüggést az alábbi egyenlet írja le:

$$I = n\, q\, v_d\, A \qquad (35)$$

ahol n a térfogategységre eső mozgó töltéshordozók száma, q az egyedi hordozók töltése, v_d a töltések áramlási sebessége és A a vezető keresztmetszetének területe.

3. Elektromos feszültség, ellenállás

Elektromos feszültség (potenciálkülönbség)

Az elektromos potenciál az elektromos potenciális energiához szorosan kapcsolódó fogalom, hiszen lényegében az egységnyi töltésre jutó elektromos potenciális energiát jelenti. Az A és B pontok közötti ΔV elektromos feszültség (potenciálkülönbség) a q töltés elektromos potenciáljának megváltozása azon folyamatban, amely során az A pontból a B pontba jut, osztva a q töltés nagyságával:

$$\Delta V = V_A - V_B = \frac{\Delta PE}{q} \qquad (36)$$

Az elektromos feszültség SI mértékegysége a joule/coulomb, azaz volt (J/C vagy V). Mivel az elektromos potenciális energia skalármennyiség, az elektromos potenciál is az.
Alternatív értelmezés szerint az elektromos potenciálkülönbség az egységnyi töltésre eső azon munka, amely ahhoz szükséges, hogy valamely erő a töltést az A pontból a B pontba juttassa az adott elektromos erőtérben. Ennek megfelelően 1 C töltés 1 J nagyságú energiára tesz szert, miközben 1 V-nyi elektromos potenciálkülönbségen halad át.
Homogén elektromos mező (amely például két, egymással párhuzamos töltött lemez között található) esetén, amennyiben a (33) egyenletet elosztjuk a q töltés nagyságával és

a (36) egyenlettel kombináljuk, az elektromos potenciálkülönbség egy új értelmezését nyerjük:

$$\frac{\Delta PE}{q} = \Delta V = -E\ \Delta x \tag{37}$$

A (37) egyenlet alapján az elektromos potenciálkülönbség az elektromos erőtér és a távolság szorzata. Ebből következően az elektromos erőtér SI mértékegysége, a newton/coulomb megegyezik a volt/méter hányadossal: $1N/C = 1\ V/m$.
Amennyiben az elektromos potenciál zéruspontjának a töltéstől végtelen távolságban levő pontot tekintjük, a q ponttöltés által generált elektromos potenciál nagysága a töltéstől számított r távolságban

$$V = k_e \frac{q}{r} \tag{38}$$

ahol k_e a Coulomb állandó (k_e=8.99·10^9 N·m^2·C^{-2}).
Két vagy több töltés által kialakított elektromos potenciál mértékét a szuperpozíció elve alapján határozhatjuk meg: adott pont több ponttöltés által eredményezett teljes elektromos potenciálja az egyedi töltések által létrejött elektromos potenciálok algebrai összege.
Elektrosztatikus egyensúlyban egy töltött vezető felszínének összes pontjának elektromos potenciálja megegyezik (ekvipotenciális felszín) és az elektromos potenciál értéke állandó a vezető belsejében található minden pontban és megegyezik a vezető felszínének potenciálértékével.

Elektromos ellenállás

Az elektromos ellenállás definíció szerint az elektromos vezető két pontja közötti *ΔV* feszültség és a vezetőn áthaladó *I* áram erősségének a hányadosa:

$$R = \frac{\Delta V}{I} \tag{39}$$

Az elektromos ellenállás SI mértékegysége a volt/amper, amelyet ohmnak nevezünk, jele: Ω.
Sok anyag, így jellemzően a fémek esetén az ellenállás értéke széles feszültség-, illetve áramerősségtartományban állandó marad. Ez a megfigyelés Ohm-törvényként ismert, amely az alábbi egyenlettel írható le:

$$\Delta V = I\ R \tag{40}$$

Az Ohm-törvény egy empirikus megfigyelés, amely csak bizonyos anyagok esetén alkalmazható. Azokat az anyagokat, amelyek jellemezhetők a (40) egyenlettel, vagyis állandó ellenállásértékkel bírnak széles feszültségtartományban, ohmikusnak nevezzük. Azon anyagokat, amelyeknek az ellenállása jelentősen változik a feszültség vagy az áramerősség függvényében, nonohmikusnak tekintjük. Az áramerősség-feszültség összefüggés széles feszültségtartományban lineáris ohmikus, míg nemlineáris nonohmikus anyagok esetén.

4. Munkavégzés elektromos térben

Mivel a Coulomb-erő konzervatív és egy konzervatív erő által végzett munka csak a tárgy kezdeti és végső állapotától függ, az elektromos potenciális energia *ΔPE* megváltozásának mértéke megegyezik az elektrosztatikus erő által végzett W_{EF} munka ellentettjével:

$$\Delta PE = PE_f - PE_i = -W_{EF} \tag{41}$$

ahol PE_f és PE_i a végső, illetve kezdeti állapotban mért elektromos potenciális energia, míg W_{EF} az elektrosztatikus mező által a tárgyon végzett munka.

Miért a mező által végzett munka ellentettje *ΔPE*?

Ha egy test potenciális energiája nő ($PE_f > PE_i$), a mező negatív munkát végez a testen, miközben az a kezdeti helyzetéből a végső helyzetébe mozdul. A munka azért negatív, mert a tér az elmozdulás ellen hat, tehát a mező által kifejtett erő ellentétes az elmozdulással (cos 180° = –1).

Amennyiben egy kis pozitív töltés az *A* pontból egy *B* pontba jut egy állandó *E* elektromos mezőben (például két egymással párhuzamosan elhelyezkedő, ellentétes előjelű, de azonos nagyságú töltéssel rendelkező lemez között), az elektromos erőtér által a töltésen végzett W_{AB} munka egyenlő az elektromos erő elmozdulással párhuzamos komponensének (F_x) és az elmozdulásnak ($\Delta x = x_f - x_i$) a szorzatával:

$$W_{AB} = F_X \; \Delta x = F_X \left(x_F - x_I \right) \tag{42}$$

Amennyiben kombináljuk a (42) és (32) egyenleteket,

$$W_{AB} = q_0 \; E_X \left(x_F - x_I \right) \tag{43}$$

ahol q_0 a tárgy töltése, E_x pedig az elektromos erőtér vektorának *x* irányú komponense. Az *E* elektromos erőtér nagyságával szemben az E_x komponens pozitív és negatív is lehet az *E* irányától függően. Az egyenletben a q_0 és E_x tényezőkhöz hasonlóan a Δx elmozdulás is iránytól függően lehet pozitív és negatív előjelű.

5. Elektrosztatikus erő, Coulomb törvény

Elektrosztatikus erő

Két stacionárius töltött részecske között elektrosztatikus erő lép fel, amelynek jellegzetes tulajdonságai a következők:

1. Iránya a két részecskét összekötő vonal mentén helyezkedik el, és nagysága fordítottan arányos a két részecske közötti *r* távolság négyzetével.
2. Az erő nagysága arányos a két részecske $|q_1|$ és $|q_2|$ töltésének szorzatával.
3. Vonzásban nyilvánul meg, ha a két töltés ellentétes előjelű, míg azonos előjelű töltések között taszítás figyelhető meg.

Coulomb-törvény

A fentiek alapján az egymástól *r* távolságra levő q_1 és q_2 stacionárius töltések közötti *F* elektrosztatikus erő nagysága

$$F = k_e \frac{|q_1| \; |q_2|}{r^2} \tag{44}$$

ahol k_e az úgynevezett Coulomb állandó, amelynek értéke $k_e = 8.99 \times 10^9 \; N \times m^2/C^2$, SI mértékegységekben kifejezve.

A Coulomb-törvénynek is nevezett (44) egyenlet teljes egészében csak ponttöltések és gömbi eloszlású töltések esetén alkalmazható, amely esetben az *r* távolság a töltések középpontja közötti távolságot jelenti. Más erőkhöz hasonlóan az elektrosztatikus erők esetén is alkalmazható Newton 3. törvénye, vagyis az F_{12} és F_{21} erők azonos nagyságúak, ám irányuk ellentétes.

Amennyiben egy töltés mellett több különálló töltés is található, azok mindegyike elektrosztatikus erőt fejt ki. Ezen erők eredője a szuperpozíciós elv alapján számítható, vagyis az egyedi elektromos erők vektorainak összegeként határozható meg.

6. Mágneses dipólus, mágneses mező jellemzése, mágneses indukció

Mágneses dipólus

A mágnes egy olyan anyag vagy tárgy, amely mágneses mezőt hoz létre. A mágnes egyik végét északi, a másikat déli pólusnak nevezzük (amely elnevezések a Föld mágneses mezőjében megfigyelhető viselkedésre utalnak), amelyek egymástól függetlenül nem léteznek („mágneses dipólus”). A mágneses pólusok az elektromos erőhöz hasonlóan vonzzák vagy taszítják egymást. Azonos pólusok között ugyanis taszítás, míg ellentétesek között vonzás figyelhető meg.

A tér egy adott pontján található *B* mágneses mező vektormennyiség és két fontos tényező határozza meg: (1) az iránya, vagyis hogy az adott pontban az iránytű északi pólusa milyen irányba mutat az adott mezőben, illetve (2) a nagysága (erőssége), vagyis hogy az iránytű milyen erős tendenciát mutat, hogy az adott irányba beálljon. A mágneses tér erősségének SI mértékegysége a tesla (T).

Egy mágnes mágneses momentuma (más néven mágneses dipól momentuma, jele: μ) egy olyan vektormennyiség, amely a mágnes általános tulajdonságait jellemzi. Rúdmágnes esetén a mágneses momentum iránya a déli pólustól az északi felé mutat, és a nagysága attól függ, hogy ezek a pólusok milyen erősek és egymástól mekkora távolságra vannak. A mágneses momentum SI mértékegysége az Am^2, vagyis amper szorozva négyzetméterrel.

Mágneses mező

Egy mágnes mágneses mezőt generál és reagál más mágneses mező jelenlétére. Egy mágnes által keltett mágneses mező erőssége a mágneses momentumával arányos. A mágneses mező erőssége definíció szerint

$$B = \frac{F}{q\ v\ \sin\theta} \tag{45}$$

ahol *v* a mozgó *q* teszttöltés sebessége a *B* mágneses mezőben és θ a sebesség és a mágneses mező iránya által bezárt szög. A mágneses mező erősségének SI mértékegysége a tesla (T).

Amennyiben a mágnes külső, azaz egy másik forrásból származó mágneses mezőbe kerül, forgatónyomaték hat rá, amelynek hatására a mágneses momentuma a mező irányával párhuzamos irányba mozdul el. A forgatónyomaték nagysága arányos a mágnes mágneses momentumával és a külső mező erősségével.

Mágneses fluxus és az elektromágneses indukció

Egy áramkörben változó mágneses mező hatására indukált feszültség és következményes indukált áram jön létre. A mágnességhez kapcsolódó fizikai mennyiség, amelynek megváltozása az indukált feszültség kialakulásához vezet, a mágneses fluxus változása.

Egy vezetőből létrehozott hurok *A* területű felületén a Φ_B mágneses fluxus nagysága definíció szerint

$$\Phi_B = B_\perp A = B\ A\ \cos\theta \tag{46}$$

ahol $B_\perp$ az állandó *B* mágneses mezőnek a hurok síkjára merőleges komponense, θ pedig a *B* és a hurok síkjára merőleges vonal (vagyis a sík normálja) által bezárt szög.

A mágneses fluxus SI mértékegysége a weber (Wb).

A Faraday-féle indukciós törvény szerint amennyiben egy áramkör *N* darab szorosan tekert hurkot tartalmaz, és minden egyes hurok esetén a rajtuk keresztüli mágneses fluxus $\Delta\Phi_B$ mennyiséggel változik Δt idő alatt, az áramkörben indukált átlagos feszültség az adott Δt idő alatt

$$\varepsilon = -N \frac{\Delta\Phi_B}{\Delta t} \quad (47)$$

Lenz törvénye alapján az indukált feszültség következtében kialakuló áram olyan irányú, hogy az általa kialakított mágneses tér fluxusa az eredeti fluxusbeli változással ellentétes, vagyis az indukált áramnak az iránya mindig olyan, hogy mágneses hatásával gátolni igyekszik az őt létrehozó indukáló folyamatot. Az indukált áram iránya meghatározható az úgynevezett második jobbkéz-szabállyal: amennyiben a jobb kezet olyan orientációba hozzuk, hogy az ujjak görbülése a B_{ind} indukált mágneses tér irányát kövesse, a hüvelykujj iránya meghatározza az indukált áram irányát.

Indukált feszültség akkor is létrejöhet, ha egy vezető állandó mágneses téren halad keresztül. Amennyiben egy *L* hosszúságú vezető rúd *v* sebességgel egy, a mozgására merőleges irányú *B* mágneses téren megy át, a rúdban indukált feszültség alakul ki, amelyet mozgási indukciónak is neveznek, és amelynek nagysága

$$|\varepsilon| = B\,L\,v \quad (48)$$

7. Elektromos és mágneses Lorentz erők

A Lorentz-erő az elektromágneses térben egy elektromos töltésre ható erő, amelynek két komponense közül az elektromos arányos és egyirányú az elektromos térerősséggel, a mágneses arányos és merőleges a mágneses indukcióra és a töltés sebességére. A korábban leírtaknak megfelelően a Lorentz-erő elektromos komponensének nagysága meghatározható a (32)-es egyenlettel.

Amennyiben egy *q* töltéssel rendelkező tárgy *v* sebességgel halad keresztül egy *B* mágneses mezőn, mágneses erő hat rá, amelynek nagysága meghatározható az alábbi egyenlet alapján

$$F = q\,v\,B\,\sin\theta \quad (49)$$

ahol θ a sebesség és a mágneses mező iránya által bezárt szög. A mágneses erő iránya meghatározható az úgynevezett első jobbkéz-szabály segítségével:

1. Mutasson jobb kezünk hüvelykujja a pozitív töltésű részecskék sebességének irányába,
2. mutatóujjunk a mágneses tér irányába,
3. ekkor a középső ujjunkat a (v,B) síkra merőlegesen tartva ez megadja a pozitív töltésű részecskékre ható erő irányát.

A Lorentz-erő hatására egy pozitívan töltött részecske az *E* elektromos erőtérrel megegyező irányban lineárisan gyorsul, valamint az első jobbkéz-szabály alapján a *v* pillanatnyi sebességvektor és *B* mágneses mező irányára merőleges irányba térül el.

Egy állandó B mágneses mezőbe helyezett *L* hosszúságú egyenes vezetőre ható *F* mágneses erő nagysága, amennyiben a vezetőn *I* áram halad át:

$$F = B\,I\,L\sin\theta \quad (50)$$

ahol θ az áram és a mágneses mező iránya által bezárt szög. A vezetőre ható mágneses erő iránya szintén meghatározható az első jobbkéz-szabály segítségével. Ebben az esetben azonban hüvelykujj iránya a sebesség helyett az áram irányát jelöli.

Egy *B* mágneses mezőben az *I* áramot vezető *N* hurokból álló tekercsre *M* forgatónyomaték hat, amelynek nagysága

$$M = N\,B\,I\,A\,\sin\theta \quad (51)$$

ahol *A* a hurok keresztmetszetének területe. Az áramot vezető tekercs mágneses momentumának nagysága definíció szerint $\mu = IAN$, ahol *N* a hurkok számát jelöli. A μ

mágneses momentum vektormennyiség, amelynek iránya merőleges a hurok síkjára. A θ a *B* és a μ közötti szöget jelöli.

8. Kapacitás

A kondenzátor jellemzően két egymással párhuzamos fémlemezből (fegyverzetből) épül fel, amelyek egymástól *d* távolságra helyezkednek el. Amennyiben ezen lemezeket egy feszültségforrás két végéhez csatlakoztatjuk, az egyik lemezről elektronok vándorolnak a feszültségforráson keresztül a másik lemezre, így az első lemezen *+Q*, míg a másodikon -Q töltés jelenik meg. A töltésáramlás akkor szűnik meg, amikor a lemezek közötti feszültség egyenlővé válik a feszültségforrás potenciálkülönbségének nagyságával. A kondenzátor tehát egy olyan készülék, amely töltést és így energiát tárol, amely bizonyos alkalmazások során szükséges esetben visszanyerhető.
A kondenzátor *C* kapacitása definíció szerint az egyik vezetőn (fegyverzeten) megjelenő *Q* töltés nagyságának és a két vezető (fegyverzet) közötti *ΔV* potenciálkülönbség nagyságának hányadosa:

$$C = \frac{Q}{\Delta V} \tag{52}$$

A kapacitás SI mértékegysége a farad (F) = coulomb/volt (C/V).
Egy eszköz kapacitása az azt alkotó vezetők geometriai elrendezésének függvénye. Egy tipikus, egymással párhuzamos lemezekből felépülő és a lemezek között közegként levegőt tartalmazó kondenzátor kapacitása

$$C = \varepsilon_0 \frac{A}{d} \tag{53}$$

ahol *A* az egyik lemez felülete, *d* a két lemez közötti távolság és ϵ_0 a vákuum permittivitása.

3. Mechanikai és elektromágneses hullámok

1. Hullámhossz, frekvencia

Harmonikus hullámban az egyes részecskék **harmonikus rezgőmozgást** végeznek.

A részecskék mozgásának leírására ugyanazokat a fizikai mennyiségeket használjuk, mint a harmonikus rezgőmozgásnál. A hullámforrás és egyben minden részecske ugyanannyi idő alatt végez egy rezgést, ez a rezgésidő, illetve **periódusidő**.

A periódusidő reciproka a **frekvencia (f)**, amely megadja az 1 másodperc alatt befejezett ciklusok számát. Mértékegysége a Hertz (Hz) = 1/s.

A rezgés fázisának terjedési sebességét nevezzük a hullám **terjedési** (fázis-) **sebességének** (*c*).

Az egymáshoz legközelebb lévő azonos fázisú pontok távolságát **hullámhossznak** nevezzük. A hullámhossz jele a görög λ (lambda).
A hullámhossz (λ), frekvencia (*f*), és terjedési sebesség (*c*) kapcsolata:

$$\lambda = \frac{c}{f} \tag{54}$$

2. Fénytörés, Snellius-Descartes törvény

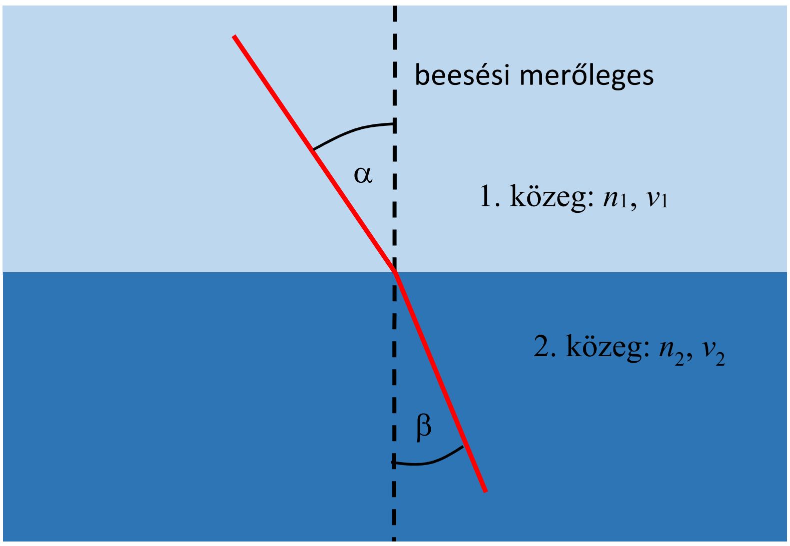
A fény egy elektromágneses hullám. Ha a fény olyan közeg határára érkezik, melybe behatolhat, akkor egy része visszaverődik, másik része behatol az új közegbe.
Az új közegbe belépő fény terjedési iránya általában más, mint az előző terjedési irány volt. A fény a határfelületen **megtörik**. A törés oka, hogy az új közegben más a hullám terjedési sebessége, és a változatlan frekvencia mellett így megváltozik a hullámhossz is.

Beesési szögnek a beeső hullám terjedési iránya és a beesési merőleges által bezárt szöget nevezzük.
A **törési szög** a megtört hullám terjedési irányának a beesési merőlegessel bezárt szögét jelenti.

A **Snellius - Descartes törvény** szerint:

- A beeső fénysugár, a megtört fénysugár és a beesési merőleges egy síkban vannak.
- A merőlegesen beeső fénysugár nem törik meg.
- A beesési szög (α) szinuszának és a törési szög (β) szinuszának aránya a közegekben mért terjedési sebességek (c_1 és c_2) arányával, ill. az n_2 és n_1 törésmutatók arányával egyenlő, ami megegyezik a két közeg relatív törésmutatójával ($n_{2,1}$):

$$\frac{\sin\alpha}{\sin\beta} = \frac{c_1}{c_2} = \frac{n_2}{n_1} = n_{2,1} \qquad (55)$$



3. Fényvisszaverődés

A fényvisszaverődés (reflexió) egy optikai jelenség. Ha a fény két eltérő optikai sűrűségű közeg határára érkezik, akkor egy része visszaverődik, másik része pedig belép az új közegbe.

Ha a fényvisszaverődés egy kellően sima felületről történik, akkor a visszaverődést **szabályos fényvisszaverődésnek** nevezzük.

Beesési pontnak nevezzük a két közeg határfelületén azt a pontot, ahova a (vizsgált) fénysugár beérkezik.

Beesési merőlegesnek nevezzük a beesési ponton átmenő, két közeg határfelületére merőleges egyenest.

Beesési szögnek hívjuk a beeső fénysugár és a beesési merőleges közti szöget.

Visszaverődési szögnek nevezzük a visszaverődő fénysugár és a beesési merőleges közti szöget.

A fényvisszaverődés törvényei:

- A beeső fénysugár, a beesési merőleges és a visszavert fénysugár azonos síkban van.
- A beesési szög (α) és a visszaverődési szög (α') ugyanakkora. Képlettel felírva: α = α'

4. Törésmutató

Az elektromágneses hullámok terjedési sebessége egy anyagi közegben kisebb, mint vákuumban (a frekvenciája pedig változatlan). Ennek a mértéke az abszolút törésmutató, ami a következő összefüggés szerint adható meg:

$$n = \frac{\text{vákuumbeli terjedési sebesség}}{\text{közegbeli terjedési sebesség}} = \frac{c_0}{c} \tag{56}$$

A relatív törésmutató az adott anyagban való terjedési sebességet (c_1) egy másik közegbeli terjedési sebességhez (c_2) viszonyítja a következő módon:

$$n_{2,1} = \frac{c_1}{c_2} \tag{57}$$

ahol $n_{2,1}$ a második közeg első közegre vonatkozó relatív törésmutatója.

Két közeg abszolút törésmutatója és relatív törésmutatója között a következő a kapcsolat:

$$n_{2,1} = \frac{n_2}{n_1} \tag{58}$$

Az abszolút törésmutatók és a hullámhosszok közötti összefüggés:

$$\lambda_1 \, n_1 = \lambda_2 \, n_2 \tag{59}$$

5. Fénysebesség

A vákuumbeli fénysebesség (*c*) az egyik alapvető fizikai állandó, az elektromágneses hullámok terjedési sebessége. Pontos értéke 299 792 458 m/s minden vonatkoztatási rendszerben.

Jelenlegi ismereteink szerint semmilyen hatás nem terjedhet gyorsabban a vákuumbeli fénysebességnél.

A fény sebessége anyagi közegekben kisebb a vákuumbelinél. A vákuumbeli és a közegbeli sebesség hányadosával definiálják a közegre jellemző abszolút törésmutatót:

$$n = \frac{c_0}{c} \tag{60}$$

ahol c_0 a vákuumbeli, c a közegbeli fénysebesség.

6. A fény kettős természete, foton fogalma és energiája, anyaghullámok

A fizikában **hullám-részecske kettősségnek** nevezzük azt a koncepciót, hogy a fény és az anyag mutat mind hullám-, mind részecsketulajdonságokat.

A fény **hullámtermészetét** az interferencia, fényelhajlás, és a polarizáció jelensége bizonyítja.
A fényelektromos jelenség magyarázatára Albert Einstein kidolgozta a fény **fotonelméletét**, mely szerint a fény elemi, **oszthatatlan energiacsomagként** viselkedik. A fotonnak nincs nyugalmi tömege és elektromos töltése. Minden foton

$$E = h\,f \qquad (61)$$

energiát hordoz, ahol *f* a fény frekvenciája, h=6.63×10^{-34} Js pedig a Planck-állandó.

Louis de Broglie elmélete szerint az elektronok és protonok, melyeket részecskéknek tekintünk, bizonyos helyzetekben hullámként is viselkedhetnek. Egy szabadon mozgó elektron hullámhosszát és frekvenciáját ugyanolyan összefüggések határozzák meg, mint amelyek a fotonokra érvényesek.
Az elektron hullámhossza, amit **de Broglie-hullámhossznak** nevezünk:

$$\lambda = \frac{h}{p} = \frac{h}{m\,v} \qquad (62)$$

tehát a Planck állandó és az elektron lendületének hányadosa.

7. Longitudinális és transzverzális hullámok

Transzverzális hullámról beszélünk akkor, ha az egyes részecskék mozgásának iránya a hullám terjedési irányára **merőleges**. Ilyenek például egy húron terjedő hullámok, vagy a szabad elektromágneses hullámok.

Longitudinális hullám esetén a részecskék **mozgásának iránya egybeesik a hullám terjedésének irányával**. Ilyenek például a hanghullámok gáz közegben.

8. Mechanikai hullámok

Mechanikai hullámról beszélünk, ha egy rugalmas közegben valamilyen deformáció továbbterjed. Hullám keletkezik például akkor, ha az egyik végén rögzített gumikötél másik végét gyorsan felrántjuk, majd vissza, vagy ha nagy felületű víz felszínét egy pontban egy hegyes tárggyal megérintjük.

A mechanikai hullámok mindig valamilyen közegben terjednek (pl.: levegő, víz, szilárd test), szemben az elektromágneses hullámokkal, amikhez nem kell közeg. Energiát szállítanak anélkül, hogy a közeg anyaga állandó mozgásban lenne a terjedés irányába. Ehelyett egy fix pont körül rezegnek, mozognak a közeg részecskéi, tehát a mechanikai hullám energiát szállít, tömeget nem.
Periódusidőnek nevezzük azt az időt, amely alatt egy részecske egy teljes rezgési ciklust befejez. A **frekvencia** **(f)** a periódusidő reciproka, egysége a **Hertz (Hz=1/s)**.
A rezgő közeg részecskéinek maximális elmozdulását a hullám **amplitúdójának** (A) nevezzük.
A **fázissebesség** megadja, hogy a hullám egy adott fázissal jellemezhető része milyen sebességgel halad a közegben.
Két, azonos fázisban rezgő pont távolsága a **hullámhossz**, melyet λ-val jelölünk.

9. Az elektromágneses hullám és sugárzás fogalma

A **klasszikus elmélet** szerint az ***elektromágneses sugárzás***t olyan transzverzális hullámok alkotják, amelyek egymásra merőlegesen rezgő elektromos és mágneses mezőből állnak. Ezeket a hullámokat nevezzük ***elektromágneses hullám***nak. Az elektromágneses hullám terjedése minden közegben az adott közegre jellemző fénysebességgel (*c*) történik. A frekvencia (*f*) és a hullámhossz (λ) a következőképp függ össze:

$$c = f\,\lambda \tag{63}$$

Az elektromágneses hullámokat gyorsuló töltött részecskék keltik.

Kvantummechanikai értelmezés szerint az elektromágneses sugárzás ***foton***okból, azaz nyugalmi tömeggel és töltéssel nem rendelkező részecskékből áll (vö. a fény kettős természete). A fotonok energiája kvantált, nagyságát a Planck-féle összefüggés írja le:

$$E = h\,f \tag{64}$$

ahol *f* a frekvencia, *h* a Planck állandó. A kvantummechanika újabb lehetőségeket ad az elektromágneses hullám keletkezésére vonatkozóan: pl. elektronszintek közötti átmenet vagy hőmérsékleti sugárzás.

Elektromágneses spektrum: Az összes elektromágneses sugárzás elrendezhető frekvencia (hullámhossz, energia) szerint, ekkor kapjuk az elektromágneses spektrumot. Növekvő frekvencia/energia (és csökkenő hullámhossz) alapján rendezve: rádióhullámok, mikrohullám, infravörös, látható fény, ultraibolya, röntgen és gamma sugárzás.

10. Interferencia, állóhullámok

Interferencia*:* Az interferencia hullámok olyan szuperpozíciója, amely **új hullámmintázatot alakít ki.** Észlelhető interferencia csak olyan hullámok között lehetséges, amelyek időben állandó fáziskülönbséggel találkoznak (**koherens hullámok**). A szuperpozíció elve alapján az eredendően kialakuló hullám minden pontja a két kiinduló hullám azonos pontjainak vektoriális összegeként határozható meg.

Konstruktív és destruktív interferencia: Az interferencia akkor konstruktív, ha az eredő hullám amplitúdója nagyobb, mint az interferáló egyedi hullámoké (erősítés). Destruktív interferenciáról akkor beszélünk, ha az eredő hullám amplitúdója kisebb, mint az interferáló egyedi hullámoké (gyengítés).

Maximális erősítés akkor következik be, ha a két hullám közötti útkülönbség a hullámhossz egészszámú többszöröse: $\Delta s = n\lambda$, ahol $l = 0, 1, 2, 3, \ldots$ (Más szavakkal a két hullám fáziskülönbsége 2π egész számú többszöröse). Ez akkor következik be, ha a két hullám hullámhegyei (maximumai) egybeesnek. ***Maximális gyengítés*** akkor következik be, ha $\Delta s = \left(l + \frac{1}{2}\right)\lambda$, ahol $l = 0, 1, 2, \ldots$, azaz ha az egyik hullám hullámhegyei (maximumai) egybeesnek a másik hullámvölgyeivel (minimumaival). (A két hullám fáziskülönbsége π páratlan számú többszöröse.)

Állóhullám*:* az interferencia gyakran előforduló speciális esetei. Akkor keletkezhetnek, ha egymással szemben haladó azonos frekvenciájú, amplitúdójú és terjedési sebességű hullámok találkoznak, s interferálnak egymással. Időben állandó új hullámmintázat alakul ki, ahol a minimum- és maximumhelyek pozíciója állandó. Leggyakrabban akkor jön létre, ha két különböző tulajdonságú közeg határfelületén egy hullám visszaverődik, és „saját magával" találkozik, hoz létre interferenciát.

11. Fényelhajlás fogalma

A fény egyenes vonalú terjedésétől bizonyos esetekben eltérések mutatkoznak, ***fényelhajlás***-jelenségek észlelhetők, amelyek a velük szorosan összefüggő interferenciajelenségek mellett a fény hullámtermészetének további bizonyítékai. Fényelhajlás során a fénynyaláb útjába tett részleges akadályok a fény útját úgy módosítják, hogy a megfigyelés helyén ott is észlelhető megvilágítás, ahol egyenes vonalú terjedés alapján nem várnánk. A fényelhajlás a fény hullámhosszával összemérhető akadályok esetén érzékelhető. Az elhajlás jelensége más hullámtípusok (pl. hanghullám, anyaghullám) esetén is megfigyelhető.

4. Atom és magfizikai alapfogalmak

1. Gyakoribb SI prefixumok

Név és rövidítés	Szorzó	Név és rövidítés	Szorzó
kilo (k)	10^{3}	milli (m)	10^{-3}
mega (M)	10^{6}	mikro (μ)	10^{-6}
giga (G)	10^{9}	nano (n)	10^{-9}
tera (T)	10^{12}	piko (p)	10^{-12}
		femto (f)	10^{-15}
		atto (a)	10^{-18}

2. Az atom alkotórészei, azok tulajdonságai

Az atom atommagból és elektronokból áll. Az atommag a pozitív töltésű protonokból és a töltés nélküli neutronokból épül fel, ezért ezt a két részecskét nukleonoknak is nevezzük (mag=nukleusz). A semleges atomban a protonok és elektronok száma megegyezik.

	Tömeg	**Töltés**
Elektron	9.11×10^{-31} kg	-1.602×10^{-19} C = -1e
Proton	1.6726×10^{-27} kg ≈ 1 ATE	$+1.602\times10^{-19}$ C = +1e
Neutron	1.6929×10^{-27} kg ≈ 1 ATE	semleges

ATE: atomi tömegegység, megállapodás szerint a ^{12}C atom (a szén legstabilabb izotópja) tömegének egy tizenketted része.
e: elemi töltés, nagysága megegyezik az elektron (vagy proton) töltésének nagyságával.

Atomsugár*:* az atommag és a legkülső stabil elektronpálya távolsága az egyensúlyi helyzetben levő atomban. Nagyságrendje a pikométer vagy az ångström (1 ångström (Å) $=10^{-10}$m) tartományba esik. Az izolált, semleges atomok sugara a 30 és 300 pm vagy 0.3 és 3 ångström közötti tartományba esik.

A mag mérete: Az atommag sugara az atom méretéhez képest rendkívül kicsiny, kb. $\times10^{5}$-szer kisebb, mint az atomé, azaz a femtométer tartományba esik (1–10 fm). Az atommag tömegének több mint 99,94%-a az atommagba „zsúfolódik” össze.

3. Rutherford és Bohr-féle atommodellek, atomi energiaszintek

Rutherford-féle atommodell (bolygómodell)*:* az atom pozitív központi része (mai nevén atommag) körül keringenek az elektronok, hasonlóan a bolygók a Nap körüli keringéséhez. Az elektronokat az atommag elektromos vonzása tartja a mag körül.
Problémák: A mag körül keringő elektron(ok) mozgása klasszikusan nem értelmezhető, ugyanis a klasszikus fizika törvényei szerint energiájukat nagyon rövid idő alatt kisugároznák (gyorsuló töltések!), ezért be kellene zuhanniuk a pozitív töltésű magba. A Rutherford-féle atom tehát nem lehetne stabil, folyamatos energia-kisugárzást kellene észlelni.

A **Bohr-féle atommodell** a Rutherford-féle atommodell javított változata, felhasználva a Planck-Einstein-féle energiakvantum, vagyis a foton fogalmát, illetve a hidrogén színképének tulajdonságait. Újszerűsége az, hogy bevezette az atomi elektronok meghatározott energiaszintjeinek a fogalmát. A Bohr-modell jó eredményeket csak az egy elektronnal rendelkező rendszerek esetében ad, ilyenek a hidrogén vagy az ionizált hélium. A Bohr modell az alábbi posztulátumokra támaszkodik:

- Az elektron az atommag körül körpályán mozog a klasszikus mechanika törvényei szerint. (A centripetális erőt a Coulomb-erő szolgáltatja.)
- Az elektronok csak bizonyos megengedett sugarú pályákon keringhetnek, amelyeken nem sugároznak. Mivel az E energia ezeken a pályákon állandó, az elektron stacionárius állapotban van.
- A stacionárius állapotok közti átmenetek úgy mennek végbe, hogy az elektron átugrik egyik állapotból a másikba, és eközben az atom elektromágneses hullámokat bocsát ki vagy abszorbeál. A két energiaállapot közti különbség egyenlő a kibocsátott vagy elnyelt sugárzás energiakvantumával:
$$\Delta E = E_2 - E_1 = h\,f \qquad (65)$$
ahol E_1 és E_2 a végső és a kezdeti állapot energiája, f az elektromágneses sugárzás frekvenciája, h a Planck állandó.
- Az elektronok impulzusmomentuma kvantált, azaz csak meghatározott, diszkrét értékeket vehet fel:
$$L = m_e\, v\, r = n\,\hbar, \quad n = 1,2,3... \qquad (66)$$
(m_e – az elektron tömege, v – az elektron sebessége, $\hbar = h/2\pi$, r: a pálya sugara). Az impulzusmomentum értékét meghatározó n vagy főkvantumszám legkisebb lehetséges értéke 1, amely meghatározza a legkisebb lehetséges elektronpálya sugarát (0.0529 nm), más néven a ***Bohr-sugarat***. Ennél a távolságnál az elektron nem juthat közelebb az atommaghoz.

A H-atom energiaszintjei a Bohr-modell alapján*:* Bohr posztulátumainak alapján az egyes elektronpályák energiája a következőképp számítható ki:
$$E_n = \frac{-13.6}{n^2}\ (eV) \qquad (67)$$
A fenti egyenlet egy egyszerűsített képlet, az energia kiszámítására használt képletbe behelyettesítették az összes állandó numerikus értékét. 1 eV az a kinetikus energia, amelyre egyetlen elektron szert tesz, miután 1 V elektromos potenciálkülönbségen keresztül gyorsult (1 eV = $1{,}6\times10^{-19}$ J). A legalacsonyabb energiaszint az n=1 értékhez tartozik, ezt az állapotot ***alapállapot***nak is nevezzük. A főkvantumszám nagyobb értékei

a magasabb energiájú, ún. ***gerjesztett állapot***oknak felelnek meg. Az n→∞ esetben az elektron teljes mértékben kiszakad az atommag vonzásából, az atom ionizálódik. Az ionizációhoz szükséges legkisebb energia az **ionizációs energia** vagy **kilépési munka**.

A Bohr-féle modell kiterjesztése többelektronos atomokra: az egyes elektronpályákon csak meghatározott számú elektron keringhet. Amennyiben egy adott pálya telítődik, a következő, magasabb energiájú elektronpálya kezd betöltődni. Ez az elrendeződés egy héjszerű elektronszerkezetet eredményez, ahol minden egyes ***elektronhéj*** egy adott Bohr-pályának feleltethető meg-

Az atomszerkezet kvantummechanikai modellje: az elektront egy hullámfüggvény írja le, ami függ a helytől és az időtől. Az elektron hullámfüggvényét azok a kölcsönhatások határozzák meg, amelyekben az elektron részt vesz. A hullámfüggvénynek nincs önálló fizikai jelentése, de belőle minden, az elektront jellemző fizikai mennyiség kiszámítható. A hullámfüggvény a mérhető tulajdonságok (vagy megfigyelhető mennyiségek) valószínűségi eloszlását adja meg, pl. az elektronnak az atommag körüli egy-egy ponton vagy térrészben csak tartózkodás valószínűségét lehet megadni. Az atompálya az atommag körüli térnek az a része ahol az elektronok 90%-os valószínűséggel előfordulnak. Az atomok elektronjainak leírására a ***kvantumszám***okat használjuk. A kvantumszámok meghatározzák azt a hullámfüggvényt, amelyek az elektron adott állapotát fizikailag teljesen leírja.

- A **főkvantumszám** az elektronnak az atommagtól való átlagos távolságát jellemzi. A főkvantumszám szabja meg elsősorban (de nem kizárólag) az elektron energiáját. Értéke lehet 1, 2, 3… (kis, pozitív egész szám.) Az azonos főkvantumszámú elektronpályák ***héj***akat alkotnak.
- **Mellékkvantumszám*:*** az elektron mag körüli mozgásából származó impulzusmomentumát, illetve az elektronpálya térbeli alakját jellemzi. Jele ℓ, lehetséges értékei 0, 1, …, n-1, ahol n a főkvantumszám. Egy adott főkvantumszámhoz tartozó, azonos mellékkvantumszámmal jellemezhető pályák ún. ***alhéj***akat alkotnak. A 0, 1, 2 és 3-as mellékkvantumszámú alhéjakat s, p, d, ill. f betűkkel jelölik.
- A **mágneses kvantumszám** (m): az elektron pályamozgásából adódó mágneses momentumát jellemzi és megadja az adott alakú (adott mellékkvantumszámú) pálya térbeli irányát/elhelyezkedését. Lehetséges értékei adott mellékvantumszám esetén: - ℓ, - ℓ +1, …, 0, …, ℓ -1, ℓ.
- A fenti három kvantumszám által definiált orbitált maximum két elektron foglalhatja el. Az elektronnak a pályamenti mozgásából származó impulzusmomentumán kívül van saját impulzusmomentuma is, amit a **spinkvantumszám** (s) jellemez. Elektron esetén a spin értéke ½. Az elektron úgy viselkedik, mint egy elemi mágnes, amely a külső mágneses térben csak kétféleképpen állhat be a külső mágneses térhez képest, az erővonalakkal ellentétes vagy megegyező irányban. A külső mágneses térhez viszonyított irányultságot a **mágneses spinkvantumszám** (m_s) jellemzi, amelynek érétke -½ vagy +½ lehet.

4. Rendszám, tömegszám, izotópok fogalma

A kémiai elemek **rendszáma** (Z) megmutatja az elem helyét a periódusos rendszerben, és egyenlő az adott elem atomjaiban levő protonok számával. Így egyértelműen meghatározza a kémiai elem minőségét. Semleges atomban a rendszám megegyezik az elektronok számával.

A protonok és a neutronok számának összege (azaz az atomban lévő nukleonok száma) megadja az atom **tömegszámát**.

Izotópoknak azokat az atomokat nevezzük, amelyek atommagjai azonos számú protonból, de eltérő számú neutronból épülnek fel. Egy adott elem izotópjai ugyanazon helyet foglalják el a periódusos rendszerben (innen az elnevezés is: izotóp = azonos hely), csupán a tömegszámuk különbözik. A természetben előforduló elemek valamivel több, mint háromnegyede különböző izotópok keveréke.

5. Radioaktív izotópok, alapvető bomlástípusok

Radioaktív izotóp: olyan izotóp, amelynek atommagja többlet energiával rendelkezik, így instabil. A többlet energiától a radioaktív izotóp bomlás révén szabadul meg.

A **radioaktív bomlás** (vagy radioaktivitás) az a folyamat, amelynek során az instabil (radioaktív) atommag átalakul, miközben fölös energiájától sugárzás révén megszabadul, így stabilabb állapotba kerül. A bomlás során kibocsátott sugárzás nagyenergiájú, ionizáló sugárzás. A radioaktív bomlás során a mag átalakulása eredményezheti új kémiai elem megjelenését (pl. α- és β-bomlás), de végbe mehet az elem minőségének megváltozása nélkül is (pl. γ-bomlás).

α-bomlás: a kibocsátott sugárzás α-részecskékből áll, amelyek tulajdonképpen két protonból és két neutronból álló héliumatommagok, azaz az α-részecske tömegszáma 4, rendszáma 2. Az α-bomlás következtében a mag tömegszáma néggyel, rendszáma kettővel csökken, ezáltal az atom egy másik elem atomjává alakul át: ${}^{A}_{Z}X \rightarrow {}^{A-4}_{Z-2}Y + {}^{4}_{2}\alpha$

negatív β-bomlás: a kibocsátott sugárzás nagyenergiájú elektronokból és antineutrínókból áll. Neutron többlettel rendelkező instabil atommagokra jellemző, ahol a neutron protonná, elektronná és antineutrínóvá alakul: $n \rightarrow p^{+} + e^{-} + \bar{\nu}$. A tömegszám nem változik, a rendszám eggyel nő: ${}^{A}_{Z}X \rightarrow {}_{Z+1}^{A}Y + e^{-} + \bar{\nu}$

pozitív β-bomlás*:* a kibocsátott sugárzás pozitronokból és neutrínókból áll. (A pozitron az elektron antirészecskéje, tömege megegyezik az elektron tömegével, töltéseik nagysága is megegyezik, csak a pozitron pozitív töltésű.) Proton többlettel rendelkező instabil atommagokra jellemző, ahol a proton neutronná, pozitronná és neutrínóvá alakul: $p^{+} \rightarrow n + e^{+} + \nu$. A tömegszám nem változik, a rendszám eggyel csökken: ${}^{A}_{Z}X \rightarrow {}_{Z-1}^{A}Y + e^{+} + \nu$.

γ-bomlás: a mag többlet energiájától nagy energiájú elektromágneses sugárzás kibocsátásával szabadul meg, így sem a tömegszám, sem a rendszám nem változik. A mag által kibocsátott γ-sugárzás az α- és β-bomlás kísérőjelensége: az α- és β-bomlás után gerjesztett állapotú atommag marad vissza, amely γ-foton (γ-kvantum, γ-részecske) kibocsátásával kerül alacsonyabb energiájú állapotba.

Elektron befogás: neutronszegény atom belső pályán lévő elektronja az atommag egy protonjával neutronná egyesül, s közben egy neutrínó is képződik, amelyet emittál: $p^+ + e^- \rightarrow n + \upsilon$. Általában a K-héjról történik a befogás, így K-befogásnak is nevezik. Az elektronbefogás a bomlás végeredményét tekintve a pozitív béta-bomláshoz hasonlít: változatlan tömegszám mellett a rendszám eggyel csökken: ${}_{Z}^{A}X + e^- \rightarrow {}_{Z-1}^{A}Y + \nu$.

5. Termodinamika

1. Termodinamikai rendszerek

Egy nyílt rendszer energia és anyagcserét is folytat a környezetével.
Egy zárt rendszer energiacserét folytat a környezetével, de anyagcserét nem.
Egy izolált rendszer sem energia-, sem anyagcserét nem folytat a környezetével.
Bármely rendszer izolálttá alakítható, ha belefoglaljuk a környezetét.

2. Entrópia

Az entrópia egy rendszer rendezetlenségének, ill. randomitásának mértéke. Klasszikus termodinamikai definíció szerint, ha *Q*-val jelöljük egy rendszer két egyensúlyi állapota közötti, állandó hőmérsékleten végbemenő átmenet során reverzibilisen kicserélt hőmennyiséget, akkor a két egyensúlyi állapot közötti átmenet során az entrópiaváltozás (ΔS):

$$\Delta S = \frac{Q}{T} \tag{68}$$

ahol *T* az állandó hőmérséklet.
Statisztikus termodinamikai megfontolások szerint egy rendszer entrópiája (S) arányos a rendszer termodinamikai valószínűségével (*W*):

$$S = k \ \ln W \tag{69}$$

ahol *k* a Boltzmann állandó (k=1,38·10^{-23} J/K).
A mikroállapot a rendszer egy adott mikroszkopikus konfigurációja. Ezzel szemben a makroállapot a rendszer makroszkópos tulajdonságaira utal (pl. hőmérséklet, nyomás, térfogat, sűrűség). A rendszer termodinamikai valószínűsége az adott makroállapotot megvalósító mikroállapotok száma.

3. Belső energia, térfogati munka, hő

Belső energia

Egy rendszer belső energiája (*U*) a rendszert alkotó atomokkal és molekulákkal kapcsolatos energia. A rendszer belső energiája a rendszert alkotó részecskék kinetikai energiáinak és a részecskék között ható erőkből eredő potenciális energiák összege. A belső energiát teljes egészében a rendszer tartalmazza. A belső energia nem tartalmazza a rendszer egészének külső erőterekből fakadó kinetikus és potenciális energiáját.

Hő

Két test között a hőmérsékletkülönbségük miatt bekövetkező energiacsere a hő (*Q*). A *Q* mennyiség pozitív, amikor fűtés formájában a rendszer energiát nyer, és negatív, amikor a rendszer hőt ad le.

Térfogati munka

Térfogati munkáról beszélünk, amikor a rendszer térfogata megváltozik a munka következtében. A térfogati munka pozitív, amikor a rendszeren végzünk munkát (pl. összenyomás), és negatív, amikor a rendszer végez munkát. Gázállapotú rendszeren végzett térfogati munkát állandó nyomáson az alábbi egyenlet adja meg:

$$W = -p\Delta V \tag{70}$$

ahol p az állandó nyomás és ΔV a térfogatváltozás. Ez az egyenlet megmutatja, hogy a térfogati munka pozitív, ha a rendszert összenyomjuk (ΔV negatív).

4. A termodinamika első és második főtétele

A termodinamika első főtétele

A termodinamika első főtétele szerint egy rendszer **belső energiájának megváltozása** (ΔU)

$$\Delta U = Q + W \tag{71}$$

ahol Q a test és a környezete közötti hő formájában történő energiacsere, míg W a rendszeren végzett munka.

A termodinamika második főtétele

A termodinamika második főtétele szerint reverzibilis átalakulás során egy rendszer entrópiája állandó marad. Irrevezibilis átalakulás során a rendszer teljes entrópiája növekszik. Egy rendszer teljes entrópiája sosem csökkenhet.