



EMELT SZINT

Kritikus hőmérséklete felett az anyag semmilyen nyomáson nem cseppfolyósítható, ilyenkor a légnemű halmazállapotú anyagot **gáznak**, alatta pedig **gőznek** nevezük. A kritikus pont ismeretének nagy a gyakorlati jelentősége a gázok **cseppfolyósításakor**.

A gázok **cseppfolyósításához** a gázt le kell hűteni kritikus hőmérséklete alá, és megfelelő nyomást kell alkalmazni.

A víz három halmazállapotát eltérő nevekkal különböztetjük meg. A szilárd halmazállapotú a **jég**, a cseppfolyós halmazállapotú a **víz**, a légnemű halmazállapotú a (víz)**gőz**. **A víz más folyadékokhoz viszonyítva sok tekintetben rendellenesen viselkedik.** A 4 °C-os víz sűrűsége a legnagyobb, a 0 °C–4 °C-os tartományban, valamint 4 °C fölött a sűrűség kisebb. Ennek köszönhető, hogy pl. a tavak, folyók télen általában nem fagnak be teljesen, így a vízi élőlények nem pusztulnak el. A víz térfogata fagyáskor növekszik, legtöbb anyag térfogat-csökkenésével szemben. Ez okozza a természetben pl. a sziklák szétrepesztését. A víz rendellenes viselkedésének oka a hidrogénatomok által az egyes molekulák között létrehozott erős másodlagos kölcsönhatások, a hidrogénkötések (hidrogénhidak) kialakulása.

A léghő vízgőz-tartalma a **pára**. Fontos, hogy pl. a lakásunkban a levegő páratartalma megfelelő legyen. A természetben pára akkor képződik, mikor a Nap felmelegíti a vizet, így vízgőz formájában a levegőbe kerül. Ha jobban melegszik a víz, azzal több vízgőz kerül a levegőbe. A melegedéssel együtt a léghő pára kapacitása növekszik, melyet abszolút páratartalom vagy relatív páratartalom formájában adhatunk meg. Az **abszolút páratartalom** megmutatja, hogy a levegő 1 m³-re hány gramm vízgőzt tartalmaz. A **relatív páratartalom** megadja a levegőben lévő vízpára %-os értékét, az adott hőmérsékleten, a vízgőzzel teljesen telített levegő víztartalmához képest. Inkább a relatív páratartalom fogalmát használják.

A **csapadékképződés** a páratartalom hőmérsékletfüggésével kapcsolatos.

- A **köd** a levegőben állandóan levő vízgőz, vagyis páratartalom kicsapódási formája. A levegő ilyenkor annyira lehűl, hogy hőmérséklete megközelíti a harmatpontot, és ennek következtében a páratartalom kicsapódik. A kialakuló vízcseppecskék mérete mintegy a milliméter ezredrésze, ezért lebegnek a levegőben. A vízcseppekből kialakuló pára a levegő átláthatóságát rontja.

- A **harmat** vízcseppek, esetleg összefüggő vízréteg formájában jelentkező nem hulló csapadék, amely a földfelszínen, illetve felszínközeli, szabadban lévő tárgyakon, főként növényzeten figyelhető meg. Rendszerint éjszaka vagy hajnalban alakul ki, amikor a földközélen harmatpont alá hűlő levegő vízgőz-tartalma kicsapódik. A **harmatpont** az a hőmérsékleti érték, amelyen a gőz telítetté válik (a relatív páratartalom 100%-os lesz). Fűszálakon, fák, cserjék stb. levelein a legáltalánosabb, ezek közelében ugyanis a lehűlő levegő a növények által elpárologtatott vízgőz miatt hamarabb túltelítetté válik; a fűfélék levelein található folyadékcseppek azonban a növény cseppkiválasztásából is származhatnak.



- **Dérről** beszélünk, amennyiben a levegő és egy adott felület hőmérséklete egyaránt $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ alatti, és a harmat megfagy.
- A **zúzmara** mozgó levegőből csapódik ki. Amikor tútelítetté válik a levegő, megkezdődik a vízkiválás. A kiválást elősegítik az ún. kondenzációs magok, amit pl. a levegő portartalma szolgáltat. A kondenzáció hőfelszabadulással jár, tehát a felhők belsejében a magassággal kevésbé csökken a hőmérséklet.
- A felhők emelkedésével folytatódik a kondenzáció, a cseppek mérete nő. Gyakran a cseppek jéggé is alakulnak. Bizonyos nagyságot elérve a föld vonzását nem egyenlíti ki a felhajtóerő, a cseppek lehullanak, azaz **eső** keletkezik. A víz körforgása során a tengerek és egyéb vizek párolognak, az elpárolgott víz felhőkbe tömörül, majd hulló csapadék (legtöbbször eső) formájában visszahullik a felszínre, ahonnan a gyakorlatban patakok és folyók segítségével jut vissza a kiindulási helyére.
- Ha a vízcseppek hideg légrétegen keresztül érkeznek a talajra, akkor **jégeső** keletkezik.
- Az **ónos eső** túlhűtött esőcseppek leérkezésekor történő hirtelen megfagyásából jön létre.
- A **savas eső** alapvetően megváltozott pH-értékű csapadék. Savas esők jellemző területe az ipari vidékek környezete, a fejletlenebb technikák jelentősen nagyobb terheléssel járnak.

Globális felmelegedésnek a Föld átlaghőmérsékletének emelkedését nevezzük, amelynek során emelkedik az óceánok és a felszínközeli levegő hőmérséklete. Kialakulásában sugárzási viszonyok változása mellett az is szerepet játszik, hogy a légkörben megnő az üvegházgázok mennyisége. (A legfontosabb üvegházgázok: a szén-dioxid (CO_2), a metán (CH_4), a dinitrogén-oxid (N_2O), a kén-hexafluorid (SF_6) és az alsólégköri ózon. Ezt tartják a globális felmelegedés emberi okai közül a legfontosabbnak. Az **üvegházhatás** lényege, hogy a légkörbe belépő, és zömmel a látható fény tartományába eső napsugarakat a földfelszín elnyeli. Az általa kibocsátott nagyobb hullámhosszú infravörös sugárzás egy részét viszont a légkör üvegházhatású gázai is képesek elnyelni. Ezek a molekulák ettől gerjesztett állapotba kerülnek. A gerjesztett állapotuk megszűnésekor kibocsátott energiának körülbelül felét a Földre sugározzák vissza. Ahogy nő az üvegházgázok koncentrációja, úgy egyre kevesebb hő távozik a világűrbe, az alsó légkör és a földfelszín pedig egyre inkább felmelegszik.

⊙ A TERMODINAMIKA II. FŐTÉTELE

Megfigyelhető, hogy bizonyos állapotjelzők, így a **hőmérséklet**, a **sűrűség**, a **nyomás** (**intenzív** vagy kiegyenlítő állapotjelzők), kijelölve a folyamatok irányát kiegyenlítődségre törekednek. Ha egy rendszerben az intenzív állapotjelzők kiegyenlítődnének, akkor a rendszer (hő)egyensúlyi állapotba kerül. A rendszer olyan állapotok sorozatán megy keresztül, amelyeket egyre kevésbé jellemez a **rend**. Egyensúlyi állapotként a rendszer „**legrendetlenebb**” állapota állandósul. Azok a **folyamatok**,



amelyek a természetben önmaguktól játszódhatnak le, mindig csak **egy kitüntetett irányba mennek végbe**. Ezeket a folyamatokat **irreverzibilis**, azaz megfordíthatatlan folyamatoknak nevezzük. A megfordíthatatlanság azt jelenti, hogy visszafordításuk csak külső beavatkozással (külső energiával) lehetséges.

Zárt rendszerben, a valóságban végbemenő **irreverzibilis** folyamatoknál a rendszer **rendezetlensége nő**. A rendezetlenség növekedését **az entrópia** növekedése jelzi. Ha egy zárt rendszer entrópiája maximális, a rendszer egyensúlyban van. (Zárt az a rendszer, amely a környezetétől nem vesz fel és annak nem is ad le energiát.)

A **biológiai rendszerekben** a rendezetlenség mértéke nem nő, hanem **csökken**. Ez azért nincs ellentétben a termodinamika II. törvényével, mert a biológiai rendszer egyik legfontosabb jellemzője az, hogy **nyitott**. Az egyik alapvető életjelenség az anyagcsere, garantálja a nyitottságot. Ha ezt valami meggátolja, akkor az élet megszűnik. Azt a rendezettséget, amit az élet lokálisan létrehoz, lerontja az a rendezetlenség (rendezetlenség), amit az élő objektum a környezetében az anyagcsere révén létrehoz. Ha tehát az élő objektumhoz az őt energiával ellátó környezetet is hozzászámítjuk, akkor a teljes rendezetlenség most is csak növekedhet.

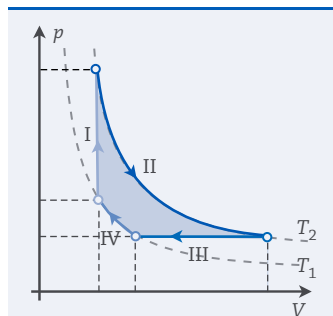
Hőerőgépek

Gázok, gőzök munkavégző képességét használják ki a **hőerőgépekben**. A hőerőgépekben a fűtőanyag kémiai energiája hő termel, ez utóbbi pedig részben mechanikai munkává alakul. A hőerőgép egyszerűsített körfolyamata az ábrán látható. A p - V síkon a görbe alatti terület a munka mérőszámát adja meg. A grafikonon jól látszik, hogy a gáz több munkát végez, mint amennyit a környezet végez rajta. A két munka különbsége – a körfolyamat görbéi által közrezárt, kékkel jelölt terület – hasznosítható. Hasznos munka azért jöhet létre, mert a gáz a magasabb, T_2 hőmérsékletű ún. hőtartályból több hőmennyiséget vesz fel, mint amennyit lead a hidegebb, T_1 hőmérsékletű hőtartálynak. A hőerőgépek gazdaságos működését, energia-kihasználását a hatásfok jellemzi. A hatásfok megmutatja, hogy az összes végzett munkának ($W_{\text{össz}}$) hány százaléka a hasznos munka (W_{hasznos}).

$$\text{A hatásfok: } \eta = \frac{W_{\text{hasznos}}}{W_{\text{össz}}}$$

A hatásfok kifejezhető a felvett és leadott hőmennyiségekkel is. A gőzgép a kazánból jövő gőzből felvesz hőmennyiséget (Q_{felvett}), és a munkavégzés után az ún. fáradt gőz hőmennyiséget visz magával, amelyet hűtésekor lead (Q_{leadott}).

$$\text{A hatásfok: } \eta = \frac{Q_{\text{felvett}} - Q_{\text{leadott}}}{Q_{\text{felvett}}} < 1.$$



A hőerőgép körfolyamata
Fontos a nyíl, a körüjárás iránya!

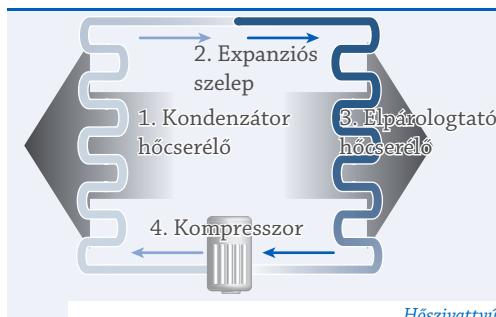


EMELT SZINT

Nincs olyan gép, amellyel létre lehetne hozni olyan periodikus folyamatot, amely a hőt egyéb változások nélkül, teljes egészében, 100%-os hatásfokkal munkává alakítaná át. Ha lenne ilyen gép, az **másodfajú perpetuum mobile**, vagy másodfajú örökmozgó lenne. Nem lehet másodfajú perpetuum mobilét, azaz olyan periodikusan működő gépet szerkeszteni, amely a hőt teljes egészében mechanikai munkává alakítaná. Ez a **termodinamika II. főtétele**.

A **hűtőgép**nek az a feladata, hogy egy tartályt a környezeténél alacsonyabb hőmérsékletén tartson. Bizonyos munka befektetésével a tartálytól hőmennyiséget von el, amelyet a környezetének lead.

A **hőszivattyú** olyan berendezés, mely arra szolgál, hogy az alacsonyabb hőmérsékletű környezetből hőt vonjon ki és azt magasabb hőmérsékletű helyre szállítsa. Használatának célja a hővel való gazdálkodás, melynek során hűtési energiát fűtésben (pl. melegvíz-készítésben) fel lehet használni, illetve környezeti hőt lehet hasznosítani. A hőszivattyú elvileg olyan hűtőgép, melynél nem a hideg oldalon elvont, hanem a meleg oldalon leadott hőt hasznosítják. Minden olyan fizikai elv alapján készülnek hőszivattyúk, melyeket a hűtőgépeknél is használnak. Leggyakoribbak a gőzkompressziós elven működő berendezések, de léteznek abszorpciós hőszivattyúk is. A hőszivattyúk fordított üzemmódban is működnek, ekkor a melegebb hely hűtésére is használhatók. A hőszivattyúk energiámérlegüket tekintve fordított üzemmódban működtetett hőerőgépeknek is felfoghatók. A gőzkompressziós hőszivattyúkban alkalmasan választott hűtőfolyadék gőze áramlik zárt csővezetékben. A gőz a fűteni kívánt oldalon elhelyezett kondenzátorban (1) lecsapódik, miközben hőjét a kondenzátor csőfalán keresztül átadja vagy a helyiség levegőjének, vagy a központi fűtés vizének. Ezután a cseppfolyós hűtőközeg fojtószelepen (2) keresztül kitágul (expandál), eközben hirtelen elpárolog és hőmérséklete lecsökken. A kisnyomású, hideg gőzt a hideg oldali hőcserélőben (3) a külső környezet felmelegíti, majd a kompresszor (4) összesűriti és visszajuttatja a kondenzátorba, és a folyamat megismétlődik. Megfelelően kialakított hőszivattyúban az áramlás iránya megfordítható, ekkor a berendezés fűtés helyett hűti a helyiséget. A legtöbb esetben a hőszivattyúk hőforrásul a külső levegőt, vagy a talajt, esetleg természetes vizeket (tenger, tó, folyó, talajvíz) használnak.



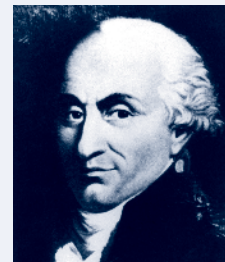
Hőszivattyú



ELEKTROMÁGNESSÉG

⊙ ELEKTROMOS MEZŐ

A 17. századtól William Gilbert, Otto von Guericke, Charles Francois de Cisternay du Fay, Benjamin Franklin, Charles Augustin de Coulomb, Ewald Georg von Kleist, Michael Faraday és mások munkásságának köszönhetően egyre jobban fejlődnek az elektromosságra vonatkozó ismereteink.

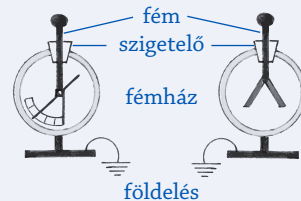


Charles Augustin de Coulomb (1736–1806)

Elektrosztatikai alapjelenségek

A testek a dörzsölés révén **elektromos állapot**ba kerülnek, elektromossá válnak. Azt a kölcsönhatást, amelyet az ilyen testek fejtenek ki, **elektromos kölcsönhatás**-nak nevezzük. Az elektromos állapot a fémen szétterjed, az üvegen nem. Ezért a fémekeket **elektromos vezető**knek, az üveget, a gyantát, a fát stb. **szigetelő**knek nevezzük. Jó vezetők azok az anyagok, melyekben a töltés könnyen elmozdulhat. Szigetelőkben a töltéshordozó részecskék helyhez **kötöttek**. Ha a megdörzsölt **üvegrúdhhoz** egy másik ilyen **üvegrudat** közelítünk, **taszítják egymást**. A megdörzsölt **ebonitrúd** egy másik, megdörzsölt **ebonitrúdra** ugyancsak **taszítóerőt fejt ki**. A megdörzsölt ebonitrúd ugyanakkor vonzza a megdörzsölt üvegrudat. Az üveg elektromos állapota **különbözik** az ebonitétól. Minden olyan testet, amely az elektromos állapotú üveg rudat taszítja, az **üveggel elektromosan egynemű**nek, megegyezés szerint **pozitív**nek mondunk. Az a test, amely a megdörzsölt üvegrudat vonzza, az üvegrúdtól **elektromosan különemű**, vagyis **negatív**. **Az egynemű testek taszítják, a különeműek pedig vonzzák egymást.**

A testek elektromos állapotának kimutatására szolgálnak az elektroszkópok (pl. **Braun-féle, a lemezes elektroszkóp**). Az elektroszkópok működése az egynemű töltések taszító hatásán alapszik.



Elektroszkópok

Ha egy fémhenger egyik végéhez pozitív töltésű üvegrúddal közelítünk, akkor a töltött üvegrúd a fémhenger elektronjait a hozzá közelebb eső helyre vonzza. Itt elektrontöbblet (negatív töltés) halmozódik fel, a másik részen pedig elektronhiány (pozitív



töltés). Ez a jelenség az **elektromos megosztás**. **Töltések nem keletkeznek, hanem megosztáskor és dörzsöléskor is a semleges anyagban eredetileg meglévő töltések szétválnak, így az előzőleg még semleges test elektromos állapotot mutat.**

Az elektrosztatika a nyugalomban lévő elektromos töltések között fellépő erőhatásokkal, jelenségekkel foglalkozik. Az olyan töltéssel bíró testet, amelynek minden mérete elhanyagolhatóan kicsiny a testek közötti távolságokhoz képest, pontszerű elektromos töltésnek, másként ponttöltésnek nevezzük. Két (Q_1 és Q_2) ponttöltés között az elektromos kölcsönhatás következtében fellépő F taszító- vagy vonzóerő nagysága egyenesen arányos a ponttöltések nagyságával, és fordítottan arányos a töltések közötti r távolság négyzetével. Matematikai formában: $F \sim \frac{Q_1 \cdot Q_2}{r^2}$.

A töltések között fellépő erő mindig a ponttöltéseket összekötő egyenes mentén hat. Az arányosságot egyenlőség formájában is megfogalmazhatjuk: $F = k \cdot \frac{Q_1 \cdot Q_2}{r^2}$.

Ez a **Coulomb-féle törvény**. A töltés **mértékegysége** az **1 coulomb**, amely származtatott mértékegység, jele: C. 1 coulomb (1 C) nagyságú akkor a töltés, ha vákuumban (levegőben) tőle 1 méter távolságban levő, vele egyenlő nagyságú másik töltésre $9 \cdot 10^9$ N nagyságú (taszító- vagy vonzó-) erővel hat. A k arányossági tényező értéke, mértékegységgel együtt: $k = 9 \cdot 10^9 \frac{\text{N} \cdot \text{m}^2}{\text{C}^2}$.

A Coulomb-törvényben szereplő k arányossági tényezőt $k = \frac{1}{4 \cdot \pi \cdot \varepsilon_0}$ alakban szokás

felvenni. Az ε_0 mennyiséget a **vákuum permittivitásának** (vagy a **vákuum dielektromos állandójának**) nevezik $\left(\varepsilon_0 = 8,854 \cdot 10^{-12} \frac{\text{C}^2}{\text{N} \cdot \text{m}^2} = 8,854 \cdot 10^{-12} \frac{\text{A} \cdot \text{s}}{\text{V} \cdot \text{m}} \right)$.

Zárt rendszerben az elektromos töltések teljes mennyisége, azaz a pozitív és a negatív töltések algebrai összege állandó. Ez a **töltésmegmaradás törvénye**.

Az elektromos mező jellemzése

Azt a teret, ahol elektromos erőhatások észlelhetők, **elektromos mezőnek vagy erőternek** nevezzük. Az elektromos mező közvetíti a töltések között fellépő erőket. A nyugvó töltések által létrehozott elektromos mező az **elektrosztatikus mező**. A töltések a **mező forrásai**. Az elektromos mező az anyagnak egy megjelenési formája.

A mező egy adott pontjába helyezett q próbatöltésre ható erő nagysága egyenesen arányos a próbatöltés nagyságával, hányadosuk állandó. Így a mezőt valamely pontjában jellemezhetjük ezzel a hányadossal. A hányadost az elektrosztatikus mező **elektromos térerősségének** nevezzük, jele: **E**. Mivel az erő vektormennyiség, így a térerősség is vektor:

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q}$$



Az \vec{E} vektor iránya megegyezik a pozitív töltésre ható erő irányával. A térerősség SI mértékegysége:

$$[E] = \frac{[F]}{[q]} = \frac{\text{newton}}{\text{coulomb}} = \frac{\text{N}}{\text{C}}.$$

Egy pontszerű Q töltéstől r távolságban a térerősség nagysága egyenesen arányos a mezőt létrehozó töltés nagyságával, fordítottan arányos a távolság négyzetével:

$$E = k \frac{Q}{r^2}.$$



EMELT SZINT

Egy adott térrészben több töltés is elhelyezkedhet. Mindegyik töltés létrehozza a saját elektromos mezőjét. Az elektromos mező térerősségét egy tetszőleges pontban annak alapján határozhatjuk meg, hogy a q próbatöltésre ható több erőt helyettesítjük egyetlen erővel, az eredő erővel. Erre a mechanikában megismert erőhatások függetlenségének elve ad lehetőséget. A kiválasztott pontbeli, az egyes töltésektől származó térerősségeket vektori módon is összegezzük. Ekkor a kiválasztott pontban a térerősség az egyes térerősségvektorok eredője. Ez a **zavartalan szuperpozíció elve**.

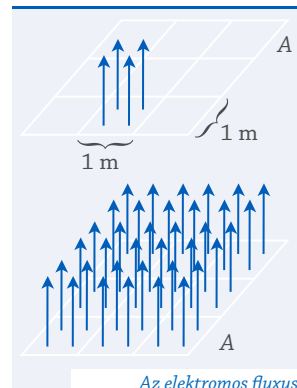
Azt az elektrosztatikus mezőt, amelynek bármely pontjában az elektromos térerősség nagysága és iránya is megegyezik, **homogén elektromos mezőnek** nevezzük. Ellenkező esetben a mező **inhomogén**. Egyetlen pozitív vagy negatív ponttöltés maga körül egy különleges inhomogén mezőt kelt. Ez egy **centrális mező**. Tulajdonságai iránytól függetlenek. Csak a forrástesttől mért távolság határozza meg a **térerősség nagyságát**.

A mezőt célszerű szemléltetni a Faraday által bevezetett **erővonalakkal**. Az erővonalak olyan képzeletbeli görbék, amelyeknek érintői a görbe minden pontjában az ottani térerősségvektor irányába mutatnak. Ennek megfelelően a pozitív töltés keltette mező erővonalai a töltésből sugárirányban kifelé mutató félegyenesek. Negatív töltés esetén az erővonalak a töltés felé mutatnak.

Megállapodás szerint az A nagyságú felületen $|\vec{E}| \cdot A$ számú erővonal megy át merőlegesen. Az erővonalakra merőlegesen elhelyezett A felületen áthaladó erővonalak számát **elektromos (erővonal)fluxusnak** nevezzük.

Jele: Ψ . $\Psi = |\vec{E}| \cdot A$. Az elektromos fluxus mértékegysége:

$$[\Psi] = [\vec{E}] \cdot [A] = \frac{\text{N}}{\text{C}} \cdot \text{m}^2. \text{ Ha az } A \text{ felület és a térerősségvektor nem merőleges egymásra, akkor a fluxus kiszámításához az } A \text{ felületnek a térerősségre merőleges } A_E \text{ vetületével kell számolnunk: } \Psi = E \cdot A_E.$$



Az elektromos fluxus



Annak a munkának a nagysága, amelyet az E térerősségű, homogén elektromos mező végez, amikor a pozitív q próbatöltés A -ból B -be jut az erővonalakkal párhuzamos s úton: $W_{AB} = E \cdot q \cdot s$. Megmutatható, hogy a munka nagysága akkor is hasonlóan adható meg, ha a töltés inhomogén térben jut el A -ból B -be. A végzett munka nagysága mindenképpen független az úttól, csak az A és B pontok helyzetétől függ. Az elektrosztatikus mező **konzervatív**. W_{AB} és q egymással egyenesen arányosak, hányadosuk állandó:

$\frac{W_{AB}}{q}$ = állandó, a hányadost az **A** és **B** pontok közötti **elektromos feszültségnek** nevezzük. Az elektromos feszültség jele: U_{AB} , így $U_{AB} = \frac{W_{AB}}{q}$. A feszültség mértékegysége:

$[U] = \frac{\text{joule}}{\text{coulomb}} = \frac{\text{J}}{\text{C}} = \text{V}$ (volt). 1 V a feszültség a mező két pontja között akkor,

ha az 1 C nagyságú pozitív próbatöltést a mező 1 J munka árán viszi át az elektromos mező egyik pontjából a másik pontjába. A feszültség a mező két pontját munkavégző képesség szempontjából jellemzi. A homogén mezőben a végzett munka $W = E \cdot q \cdot s$,

így $U = \frac{W}{q} = \frac{F \cdot s}{q} = E \cdot s$. Ebből adódik, hogy a homogén mező térerősségének nagysága:

$E = \frac{U}{s}$. Az összefüggés alapján a térerősség másik egysége: $[E] = \frac{[U]}{[s]} = \frac{\text{V}}{\text{m}}$. A feszültség

meghatározásában a munka előjeles mennyiséget jelent, azaz fennáll, hogy $W_{AB} = -W_{BA}$. Így a feszültség is előjeles mennyiség. Ennek megfelelően $U_{AB} = -U_{BA}$. Az U_{AB} feszültség akkor pozitív, ha a mező pozitív munkát végez a pozitív próbatöltésen, miközben A -ból B -be, a térerősség irányába haladunk. Az U_{AB} feszültség az A pont B ponthoz viszonyított feszültségét jelenti.



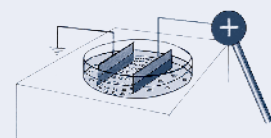
EMELT SZINT

A rögzített, közös ponthoz viszonyított feszültséget **potenciálnak** nevezik. Viszonyítási pontnak rendszerint egy olyan pontot választanak, ahol a mezőt létrehozó töltések elektromos mezője már elhanyagolhatóan gyenge. Gyakorlatban a **földelés**t veszik zérus potenciálúnak. Két pont közötti feszültség megegyezik a két pont potenciáljának különbségével. A tetszőlegesen választott „rögzített” pontok saját magukhoz viszonyított feszültsége, vagyis potenciálja nulla. Azokat a pontokat, amelyekben a potenciál értéke megegyezik, **ekvipotenciális pontoknak**, azt a felületet, melynek minden pontjában ugyanakkora a potenciál értéke, **ekvipotenciális felületnek** nevezzük.



KÍSÉRLLET

Felvehetjük az ekvipotenciális vonalakat elektromos térben (pl. egy vízzel megtöltött, lapos potenciálkád-ban).



Láthatóvá tesszük az erővonalakat



Töltések mozgása elektromos mezőben

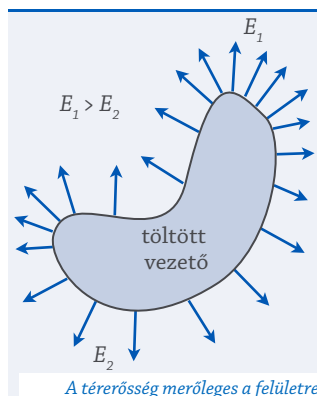
A töltések elektromos mezőben történő mozgására alkalmazható a munkatétel. Az elektromos mező töltésen végzett munkája a töltés mozgási energiájának megváltozásával egyenlő:

$$W = E \cdot q \cdot s = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v_2^2 - \frac{1}{2} \cdot m \cdot v_1^2.$$

Az atomfizikában használatos energiaegység az **elektronvolt** (jele: eV). Ekkora a munkavégzés, ha az elektron töltésével ($1,6 \cdot 10^{-19}$ C) megegyező q töltés két olyan pont között mozdul el, amelyek között a feszültség 1 volt. 1 eV így $W = 1 \text{ V} \cdot q = 1 \text{ V} \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ J}$ munkának felel meg.

Töltés, térerősség, potenciál a vezetőkön

Elektrosztatikus egyensúly esetén az elektromos töltés (az ún. többlettöltés) **a vezető külső felületén** helyezkedik el. A térerősségvektor a vezető külső felületének minden pontjában **merőleges a felületre**. **Töltött vezető belsejében az elektromos térerősség nulla. A zárt üregekbe az elektromos tér nem tud behatolni. Ezt a jelenséget elektrosztatikai árnyékolásnak** nevezik. Egyensúly esetén a vezető test belsejében és/vagy felületén tetszőlegesen kiválasztott két pont között a feszültség nulla. Tehát **a vezető test belseje és felülete is ekvipotenciális**.



A térerősség merőleges a felületre

Töltött csúc közelében nagy az elektromos mező térerőssége, ezért a levegő molekulái polarizálódnak, dipólusokká válnak. A csúc magához vonzza őket, majd érintkezés után a töltött részecskéket, a velük sodort levegőmolekulákkal együtt eltaszítja (elektromos szél). Ez az ún. **csúcshatás**. A villámcsapás veszélyeinek elhárítására **villámhárítót** alkalmazunk, amelyet **1753**-ban Benjamin **Franklin** talált fel. Szerkezetét tekintve a villámhárító egy jó vezető, hegyes fém pálcá, amelyet a megvédendő tárgy, épület tetejére erősítenek, és a földdel kötik össze, **leföldelik**. Így a töltések a földbe jutnak. A csúcshatás és a földelés miatt a villámhárítón kisebb feszültségen jön létre a potenciálkiegyenlítődés, mint a természetes villámnál. Tehát a villámhárító nemcsak magához „vonzza” a villámokat, hanem lényegesen meg is előzi azok kialakulását.

Kondenzátorok

Azokat az eszközöket, amelyek jelentős mennyiségű **többlettöltést képesek tárolni, kondenzátor**oknak nevezük. Két egymással párhuzamos, egymástól elszigetelt, viszonylag nagy felületű fémlemez esetén vigyünk Q töltést az egyik lemezre, más néven **fegyverzetre**, a másikat pedig földeljük le. Ez utóbbi lemez a megosztás miatt $-Q$ töltésű lesz. Ez a kondenzátor **sík-** vagy **lemezes kondenzátor**. A lemezre vitt Q töltés és a létrehozott U feszültség egymással egyenesen arányos, hányadosuk állandó. Ezt a mennyiséget a kondenzátor **kapacitásának** nevezzük, jele: C .

Így $C = \frac{Q}{U}$ (az ábra alapján: $C_2 > C_1$). A kapacitás mértékegysége: $[C] = \frac{[Q]}{[U]} = \frac{C}{V}$, amely egység SI-beli neve farad, jele F. A lemezes kondenzátor kapacitása a lemezek A felületével egyenesen, a lemezek d távolságával fordítottan arányos:

$$C = \varepsilon_0 \cdot \frac{A}{d} = \frac{1}{4 \cdot \pi \cdot k} \cdot \frac{A}{d}.$$



EMELT SZINT

Ha a lemezek között szigetelő van, akkor a kapacitás értéke megnő: $C = \varepsilon_r \cdot \varepsilon_0 \cdot \frac{A}{d}$. ε_r a szigetelő ún. **relatív dielektromos állandója, permittivitása**. ε_r megmutatja, hogy hányszorosára nő a kondenzátor kapacitása, ha a lemezek között vákuum (levegő) helyett szigetelő van. (Pl. a víz relatív dielektromos állandója: $\varepsilon_r = 80,4$.)

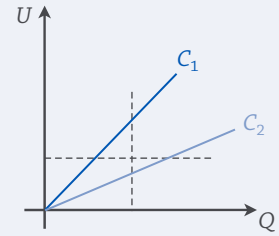
A szigetelők másik neve dielektrikum. A kondenzátor feltöltésekor végzett munka megváltoztatja a kondenzátor állapotát, **az elektromos mező energiájaként tárolódik. A mező energiája egyenesen arányos a kondenzátor töltésével és a feszültségével:**

$$W = \frac{1}{2} \cdot Q \cdot U.$$

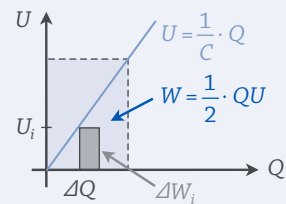
A kondenzátor kapacitásának meghatározását $\left(C = \frac{Q}{U}\right)$ felhasználva, ez az összefüggés más formákba is átírható:

$$W = \frac{1}{2} \cdot Q \cdot U = \frac{1}{2} \cdot C \cdot U^2 = \frac{1}{2} \cdot \frac{Q^2}{C}.$$

A kondenzátorokat alapvetően sorosan, párhuzamosan vagy ezek kombinációjával kapcsolhatjuk össze. **Soros kapcsolás**hoz úgy juthatunk, hogy az első kondenzátor egyik végéhez hozzákötjük a másik kondenzátor valamelyik kivezetését, majd ennek



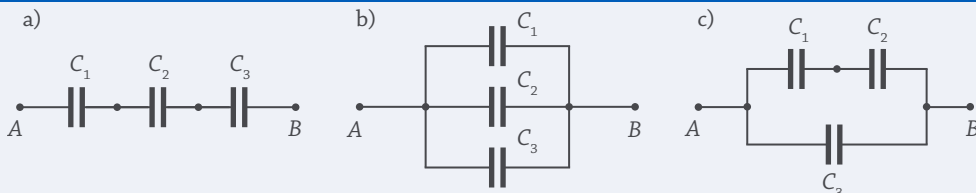
Különböző kapacitású kondenzátorok feszültsége a rajtuk lévő töltés függvényében



A kondenzátor feltöltésekor változó (növekvő) feszültséggel szemben végzünk munkát



szabad, másik kivezetéséhez kötjük a harmadik kondenzátor egyik kivezetését, és így tovább. Az első kondenzátor szabad kivezetésére és az utolsó szabad kivezetésére köthetjük pl. a töltéseket biztosító készüléket (a) ábra). **Párhuzamos kapcsolást** úgy hozhatunk létre, hogy az egyik kondenzátor egyik kivezetéséhez kötjük a másik kondenzátor egyik kivezetését, és hasonlóan járunk el a kondenzátorok másik kivezetéseivel is. Az egyik, illetve a másik közös kivezetésre csatlakoztathatjuk a töltéseket szolgáltató berendezést (b) ábra). A **vegyes kapcsolás** sorosan és párhuzamosan kapcsolt kondenzátorok kombinációja (c) ábra).



a) Soros, b) párhuzamos és c) vegyes kapcsolás



TÖBBLETTARTALOM

Több, összekapcsolt kondenzátor helyettesíthető egyetlen kondenzátorral. Ha erre ugyanakkora töltést adunk, mint az összekapcsolt kondenzátorokra, akkor fegyverzetei között ugyanakkor feszültség alakul ki, mint az összekapcsolt kondenzátorok rendszerén. Ennek a helyettesítő kondenzátornak a kapacitását a rendszer **eredő kapacitásának** nevezzük. **A sorosan kapcsolt kondenzátorok eredő kapacitásának reciproka megegyezik az egyes kondenzátorok kapacitásai reciprokának összegével:**

$$\frac{1}{(C_{\text{eredő}})_{\text{soros}}} = \sum_{i=1}^n \frac{1}{C_i}.$$

A párhuzamosan kapcsolt kondenzátorok eredő kapacitása megegyezik az egyes kondenzátorok kapacitásának összegével:

$$(C_{\text{eredő}})_{\text{párhuzamos}} = \sum_{i=1}^n C_i.$$

⊙ EGYENÁRAM

A 18. században Alessandro Volta, Luigi Galvani, Andre-Marie Ampère, Georg Simon Ohm, Gustav Kirchhoff és mások megalkották az elektromos áram törvényeit.

A töltések áramlását **elektromos áramnak** nevezzük, a pontosabb megfogalmazás szerint az elektromos töltések **rendezett mozgása** az elektromos áram.



ELŐSZÓ	5
MÓDSZERTANI ÚTMUTATÓ	6
MECHANIKA	7
NEWTON TÖRVÉNYEI	7
PONTSZERŰ ÉS MEREV TEST EGYENSÚLYA	16
A VÁLTOZÓ FORGÓMOZGÁS DINAMIKAI LEÍRÁSA	22
MOZGÁSFAJTÁK	27
PERIODIKUS MOZGÁSOK	36
MUNKA, ENERGIA	50
A SPECIÁLIS RELATIVITÁSELMÉLET ELEMEI	55
A FOLYADÉKOK ÉS GÁZOK MECHANIKÁJA	58
HŐTAN, TERMODINAMIKA	63
ÁLLAPOTJELZŐK, TERMODINAMIKAI EGYENSÚLY	63
HŐTÁGULÁS	64
ÁLLAPOTEGYENLETEK (összefüggés a gázok állapotjelzői között)	66
AZ IDEÁLIS GÁZ KINETIKUS MODELLJE	69
ENERGIAMEGMARADÁS HŐTANI FOLYAMATOKBAN	71
KALORIMETRIA	76
HALMAZÁLLAPOT-VÁLTOZÁSOK	78
A TERMODINAMIKA II. FŐTÉTELE	82
ELEKTROMÁGNESSÉG	85
ELEKTROMOS MEZŐ	85
EGYENÁRAM	91
AZ IDŐBEN ÁLLANDÓ MÁGNESES MEZŐ	104
AZ IDŐBEN VÁLTOZÓ MÁGNESES MEZŐ	111
ELEKTROMÁGNESES HULLÁMOK	121
OPTIKA	128
A FÉNY MINT ELEKTROMÁGNESES HULLÁM	128
ATOMFIZIKA, MAGFIZIKA	147
AZ ANYAG SZERKEZETE	147
AZ ATOM SZERKEZETE	148
AZ ATOMMAGBAN LEJÁTSZÓDÓ JELENSÉGEK	160
SUGÁRVÉDELEM	168
ELEMI RÉSZEK	169
GRAVITÁCIÓ, CSILLAGÁSZAT	171
A GRAVITÁCIÓS MEZŐ	171
CSILLAGÁSZAT	175
FIZIKA- ÉS KULTÚRTÖRTÉNETI ISMERETEK	180
A FIZIKATÖRTÉNET FONTOSABB SZEMÉLYISÉGEI	180
FELFEDEZÉSEK, TALÁLmányOK, ELMÉLETEK	187