

# **Egyenáram**

## **(Vázlat)**

1. Az áram fogalma
2. Az egyenáram hatásai
3. Az áramkör elemei
4. Vezetők ellenállása
  - a) Ohm-törvénye
  - b) fajlagos ellenállás
  - c) az ellenállás hőmérsékletfüggése
5. Az ellenállások kapcsolása
  - a) soros kapcsolás
  - b) párhuzamos kapcsolás
  - c) vegyes kapcsolás
6. Az áramforrások kapcsolása
7. Mérőműszerek méréshatárának kiterjesztése
8. Kirchhoff-törvények
9. Elektromos munka és teljesítmény
10. Elektromos áram folyadékokban
11. Elektromos vezetés gázokban
12. Önálló vezetés ritkított gázokban
13. Fizikatörténeti vonatkozások

## Az áram fogalma

A töltött részecskék rendezett áramlását **elektromos áramnak** nevezzük.

Ha ez az áramlás egyirányú, akkor **egyenáramról** beszélünk.

Az elektromos áramnak két fajtája van:

**Szállítási áram:** a töltésmennyiség a közeggel együtt mozog.

**Vezetési áram:** a töltésmennyiség és a közeg nem mozognak együtt. Vezetési áram létrehozásához olyan vezetőkört kell létrehozni, ahol a töltések az anyagban elmozdulhatnak, például potenciál-különbség hatására.

### Vezetési áram fajtái:

**Stacionárius:** a vezető egy adott helyén mindig ugyanakkora az áram nagysága és iránya.

**Nem stacionárius:** a vezetőnek egy adott helyén az áram nagysága és iránya változik.

A pozitív töltések abba az irányba mozdulnak el, amerre a térerősség mutat, míg a negatív töltések esetén az elmozdulás iránya a térerősség irányával ellentétes.

Az elektromos áram nagyságát az **áramerősséggel** jellemezzük.

Jele: **I**

**Az áramerősség számértéke megmutatja, hogy a vezető keresztmetszetén egységnyi idő alatt mekkora töltésmennyiség áramlik át.**

$$I = \frac{Q}{t}$$

Mértékegysége:  $[I] = \frac{C}{s} = A$

1 A az áramerősség, ha a vezető keresztmetszetén 1s alatt 1C töltés áramlik át.

*Megállapodás szerint* a pozitív töltéshordozók mozgásának iránya az áram irányával egyezik meg.

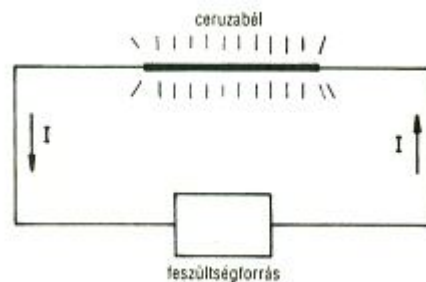
# Az egyenáram hatásai

## Hőhatás

Fémes vezeték esetén elektronok ütköznek a rácsonokkal, illetve át is adják energiájukat nekik. Ennek következtében a fémes vezető felmelegszik. Ennek az energiaátadásnak köszönhető az áram hőhatása.

*Kísérlet:*

- Ceruzabélre kapcsolunk egyenfeszültséget.
- A ceruzabél felmelegszik, felizzik, elvékonyodik, elszakad.
- Másik eset az izzólámpa burája: az égő hálózatba való bekapcsolása után fel fog melegedni.

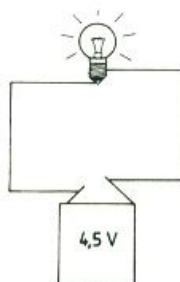


## Fényhatás

A fényhatás nem önálló jelenség, a hőhatás következménye.

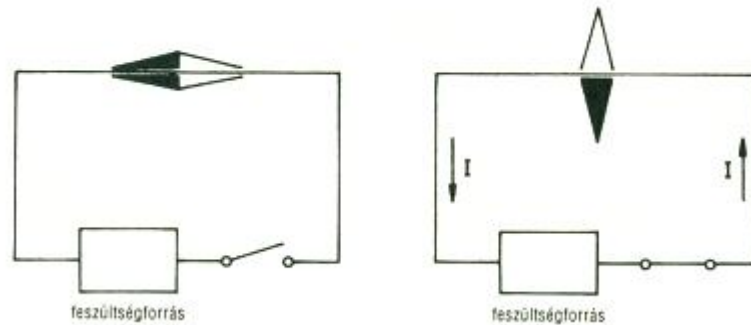
A hőhatás és egyéb más hatások miatt gerjesztett állapotba kerülő elektronok alacsonyabb energiaszintre történő visszatérésük során bocsátják ki a fotonokat.

Pl.: Van de Graaf-generátort elhagyó szikra, zseblep két kivezetésére kötött zseblámpaizzó, kondenzátor kisütésekor felvillanó lámpa.



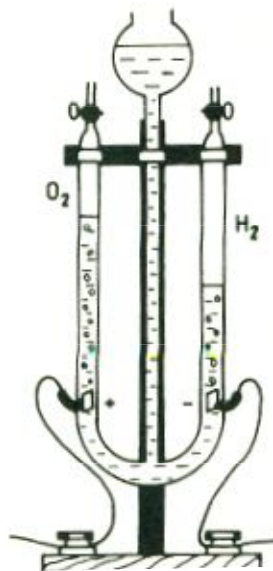
## Mágneses hatás

Iránytű felett elhelyezett vezető jó példa lehet arra, hogy megmutassuk az elektromos áram mágneses hatását. Ha vezetőbe áramot indítunk el, az iránytű ki fog lendülni egyensúlyi helyzetéből.



## Kémiai hatás

Ha egyenfeszültséget kapcsolunk a vízbontó készülékre, akkor gázfejlődést tapasztalunk. Az elektromos áram hatására kémiai átalakulások mennek végbe, és a víz elemeire bomlik.



## Biológiai hatás

Elektromos áram hatására az izmok összerándulnak, vezeték képtelenség elengedni, bekövetkezik az izombénulás. Ez okozhat légzési zavart ill. halált is. Az égési sérülés, az áram nagyságától függően súlyosabb is lehet, megéghet a bőrfelület is.

## Az áramkör elemei

### Áramforrás

Áramforrásnak nevezzük az olyan berendezéseket, melyek az elektromos térerősséget hosszabb ideig is képesek fenntartani.

### Fogyasztó

Lényeges áramköri elem, mely segítségével elérhetővé válik az áramforrásban tárolt energia átalakítása. A fogyasztó lehet pl. ellenállás, izzó, hőszugárzó vagy akár ventilátor is.

### Kapcsoló

Hasznos elem, áramkör zárásakor és nyitásakor használjuk.

### Áramerősség-mérő műszer

Az áramkörben átfolyó áramerősséget áramerősség-mérő műszer soros bekötésével tudjuk megmérni.

### Feszültségmérő műszer

Áramköri elemekre eső feszültséget mérhetünk meg vele. Az áramkör azon két pontjához kell csatlakoztatni, ahol a feszültséget kívánjuk megmérni.

	elektromos vezeték
	galvánelem
	telep
	egyenáramú áramforrás
	váltakozó áramú áramforrás
	ellenállás
	változtatható ellenállás
	kondenzátor
	változtatható kapacitású kondenzátor
	áramerősség-mérő műszer
	feszültségmérő műszer
	tekercs
	transzformátor
	transzformátor vas-maggal
	földelés
	izzólámpa
	kapcsoló

## Vezetők ellenállása

### a) Ohm-törvénye

A fémes vezetők azért van ellenállása, mert a vezető rácsszerkezetében lévő kötött ionok akadályozzák a töltések szabad áramlását.

Minél hosszabb a vezető, annál több rácspontnak ütköznek a töltések, ami akadályt jelent az áramlásnál.

Minél nagyobb a vezető keresztmetszete, annál nagyobb felületen tud eloszolni az áramló töltés.

Az áramkör valamely két pontja között átfolyó áram erőssége arányos a két pont között mérhető feszültséggel, az arányossági tényező az áramkörnek e két pont közötti vezetőképessége.

Jele: G

Mértékegysége:  $[G] = \frac{A}{V} = S$

A vezetőképesség reciproka a vezető ellenállása.

Jele: R

$$[R] = \frac{[U]}{[I]} = \frac{V}{A} = \Omega$$

**Ohm-törvénye:** egy fogyasztón áthaladó áram erőssége egyenesen arányos a fogyasztó két pontja között mérhető feszültséggel.

### b) Fajlagos ellenállás

A fajlagos ellenállás számértéke megadja, hogy 1m hosszú 1mm<sup>2</sup> keresztmetszetű homogén anyagnak mekkora az ellenállása. A fajlagos ellenállás függ az anyag minőségétől.

Jele:  $\rho$

Mértékegysége:  $[\rho] = \frac{\Omega \cdot mm^2}{m}$

### c) Az ellenállás hőmérsékletfüggése

A fémes vezetők ellenállása függ a hőmérséklettől. A fémeknél a hőmérséklet növekedésével az elektronok mozgékonyasága csökken (nő az ütközések száma), ez növeli a fémek ellenállását. A vezetők ellenállásának hőmérséklettől való függése lehetőséget biztosít olyan magas hőmérséklet mérésére, amelyeket hagyományos hőmérőkkel már nem lehet megmérni.

$$\Delta R = \alpha \cdot R_0 \cdot \Delta t$$

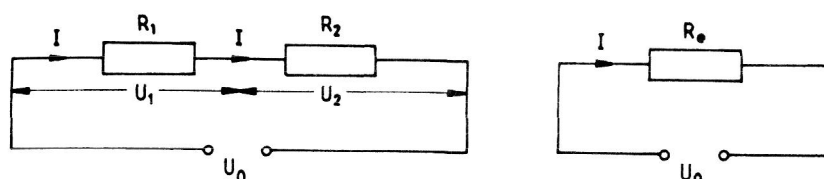
A hőmérsékletváltozás következtében létrejövő ellenállás-változás egyenesen arányos a hőmérséklet-változás és a nulla fokon mért ellenállás szorzatával, az arányossági tényező az  $\alpha$ -val jelzett hőfoktényező.

## Az ellenállások kapcsolása

### a) Az ellenállások soros kapcsolása

Ha egy áramkört úgy állítunk össze, hogy benne nincs elágazás, akkor az ellenállásokat **sorosan** kapcsoljuk az áramforrásra.

Soros kapcsolás esetén minden ellenálláson ugyanolyan erősségű áram halad keresztül.



$$U = U_1 + U_2 + U_3$$

$$R_e \cdot I = R_1 \cdot I + R_2 \cdot I + R_3 \cdot I \quad / \div I$$

$$R_e = R_1 + R_2 + R_3$$

A sorba kapcsolt ellenállások eredő ellenállása az összetevő ellenállások összege.

A sorosan kapcsolt ellenállásokon ugyanakkora erősségű áram halad át, ebből következik, hogy az egyes ellenállásokon eső feszültségek az ellenállásértékekkel egyenesen arányosak.

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{R_1}{R_2}$$

### b) Az ellenállások párhuzamos kapcsolása

Ha egy feszültségforrás két kivezetésére úgy kapcsolunk ellenállásokat, hogy minden ellenállás egyik csatlakozása a feszültségforrás egyik kivezetéséhez, másik csatlakozása a feszültségforrás másik kivezetéséhez kapcsolódik, akkor az ellenállásokat **párhuzamosan** kapcsoljuk az áramkörbe.

Párhuzamos kapcsolás esetén minden ellenállásra ugyanakkora feszültség jut, mert a vezetékkel összekötött pontok ekvipotenciálisak. Ez azonos nagyságú az eredő ellenálláson eső feszültséggel.

$$U_0 = U_1 = U_2$$



A főág áramerőssége, amely azonos az eredő ellenálláson átfolyó áramerősséggel, egyenlő a mellékágak áramerősségének összegével, mert a töltésmegmaradás törvénye szerint a főágból érkező összes töltés a mellékágakban oszlik szét.

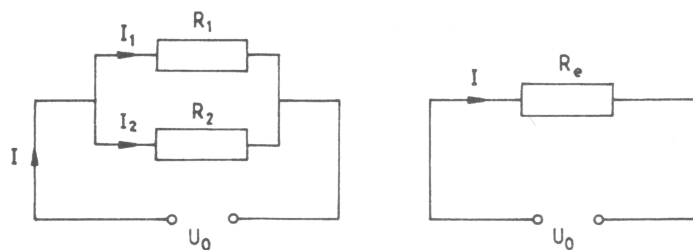
$$I = I_1 + I_2$$

Párhuzamos kapcsolás esetén az eredő ellenállás reciprokát úgy határozhatjuk meg, hogy összeadjuk az összetevő ellenállások reciprok értékeit.

A párhuzamosan kapcsolt ellenállásokon eső feszültség azonos, ezért az egyes ágakban folyó áramerősségek fordítottan arányosak az ágak ellenállásaival.

$$\frac{U_0}{R_e} = \frac{U_0}{R_1} + \frac{U_0}{R_2}$$

$$\boxed{\frac{1}{R_e} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}}$$



### c) Az ellenállások vegyes kapcsolása

Ellenállásokat úgy is kapcsolhatunk az áramkörbe, hogy abban soros és párhuzamos kapcsolás is legyen. Ekkor **vegyes kapcsolásról** beszélünk. Azokban az esetekben, amikor egy hálózat felbontható soros és párhuzamos kapcsolásokra, úgy határozzuk meg az eredő ellenállást, hogy lépésenként egyre egyszerűbb kapcsolásokra vezetjük vissza az eredeti áramkört.

## Az áramforrások kapcsolása

Elektromos áramkörben mindig van áramforrás, **amelyben** a töltés az alacsonyabb potenciálú helyről a magasabb potenciálú helyre jut annak ellenére, hogy az elektrosztatikus erő éppen az ellenkező irányba igyekszik mozgatni. Ezt a hatást, amely a töltést az alacsonyabb potenciálú helyről a magasabbra juttatja **elektromotoros erőnek** nevezzük és  $\varepsilon$ -nal jelöljük.

$$[\varepsilon] = V$$

- Kapocsfeszültség  
Terhelt állapotban az áramforrás kapcsain mért feszültség.
- Üresjárási feszültség  
Terheletlen állapotban az áramforrás kivezetései között mért kapocsfeszültséget üresjárási feszültségnek nevezzük. Az üresjárási feszültség számértéke megegyezik az elektromotoros erővel.
- Belső ellenállás oka  
Az áramforrás is vezető, amelyben lévő részecskék akadályozzák a töltések áramlását, másrészt a generátoron is keresztül áramlik a töltés pontosan a térerővel szemben.
- Rövidzár  
Két különböző potenciálú pont fémes összekötése.

### Ohm-törvénye teljes áramkörre

- Ha az áramforráson  $I$  áram folyik át, akkor a belső ellenálláson  $I \cdot R_b$  feszültség esik.
- A külső ellenálláson is ugyanez az áram halad át. A külső ellenálláson eső feszültség:  $U_k = I \cdot R_k$

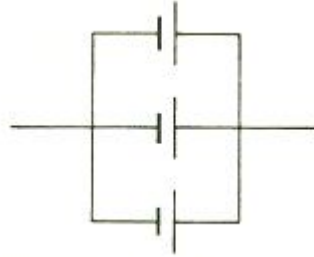
$$\text{Így: } \varepsilon = I \cdot (R_k + R_b)$$

**Áramforrások soros kapcsolása** esetén az egyik áramforrás negatív pólusát a másik áramforrás pozitív pólusához kapcsoljuk. Ekkor az egyes áramforrások forrásfeszültségei és belső ellenállásai is összeadódnak.



**Párhuzamos kapcsolás** akkor jön létre, ha az áramforrások azonos pólusait kapcsoljuk össze.

Ez a kapcsolás akkor valósítható meg, ha az áramforrások elektromotoros ereje közel azonos.

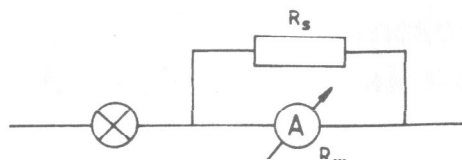


## Mérőműszerek méréshatárának kiterjesztése

### a) Árammérő-műszer

- A műszert az áramkörbe sorosan kell kapcsolni.
- A műszernek kis ellenállásúnak kell lennie, hogy kis feszültség essen rajta, és ne változtassa meg jelentősen a mérendő áramerősséget.
- A műszer méréshatárát sönt ellenállással lehet kiterjeszteni. A sönt ellenállást a mérőműszerrel párhuzamosan kell kapcsolni.
- **Ha az áramerősségmérő-műszer méréshatárát n-szeresére akarjuk kiterjeszteni, akkor a sönt ellenállás értékének a műszer belső ellenállásának  $\frac{1}{n-1}$ -szeresének kell lennie.**

Levezetés:



$$I = n \cdot I_m$$

$$U_s = U_m$$

$$I_s \cdot R_s = I_m \cdot R_m$$

$$\frac{I_s}{I_m} = \frac{R_m}{R_s}$$

$$I = I_s + I_m$$

$$n \cdot I_m = I_s + I_m$$

$$I_m \cdot (n-1) = I_s$$

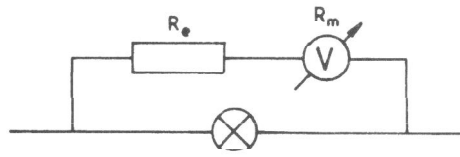
$$n-1 = \frac{I_s}{I_m}$$

$$R_s = \frac{R_m}{n-1}$$

### b) Feszültségmérő-műszer

- A műszert a fogyasztóval párhuzamosan kell bekapcsolni.
- A belső ellenállásának nagynak kell lennie, hogy ne folyjon rajta jelentős áram.
- A műszer méréshatárát előtét ellenállással lehet kiterjeszteni.
- **Ha a feszültségmérő-műszer méréshatárát n-szeresére akarjuk kiterjeszteni, akkor az előtét ellenállás értékének a műszer belső ellenállásának (n-1)-szeresével kell megegyeznie.**

Levezetés:



$$U = n \cdot U_m$$

$$I_e = I_m$$

$$\frac{U_e}{R_e} = \frac{U_m}{R_m}$$

$$\frac{R_m}{R_e} = \frac{U_m}{U_e}$$

$$U = U_m + U_e$$

$$n \cdot U_m = U_m + U_e$$

$$U_m \cdot (n - 1) = U_e$$

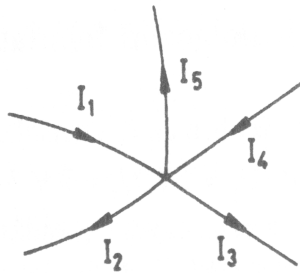
$$\frac{U_e}{U_m} = n - 1$$

$$R_m \cdot (n - 1) = R_e$$

# Kirchhoff-törvények

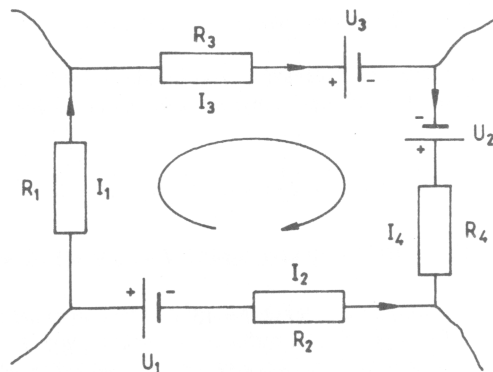
## a) A csomópontok törvénye (Kirchhoff I. törvénye)

Bármely csomópontban az áramok összege nulla. Az összeadáskor a csomópontba befolyó áramokat pozitív, a kifolyókat negatív előjellel kell összeadni.



## b) Huroktörvény (Kirchhoff II. törvénye)

Bármely zárt hurokban a feszültségek előjeles összege nulla. Az összegzés elvégzéséhez körüljárási irányt kell felvenni, és az ezzel megegyező irányú feszültséget pozitív előjellel, az ellenkező irányúakat negatív előjellel kell összeadni.



## Elektromos munka és teljesítmény

Az áramkörben  $U$  feszültség hatására a  $Q$  töltésen végzett munka:  $W = Q \cdot U$ .

Ekkora munkavégzés hatására

- az elektronok kis ideig gyorsulnak, majd
- beleütköznek a vezető rácsszerkezetébe,
- átadják az elektromos mezőtől kapott energiájuk egy részét,
- ezáltal lefékeződnek, a vezető pedig felmelegszik.

### Hőmérsékleti egyensúly, Joule-Lenz törvénye

Az áramköri elemek hőmérséklete nem növekszik korlátlanul, mert a környezet és a vezetők között kialakul a hőmérsékleti egyensúly.

Az áramkör és a környezet között dinamikus hőegyensúly alakul ki: időegység alatt az áram munkája megegyezik a környezetnek átadott energiával.

### Az áram munkája és teljesítménye:

A mező által végzett munka:  $W = Q \cdot U$ , ahol a  $Q=It$ .

Így a mező által végzett munka a következő összefüggéssel is kifejezhető:

$$W = U \cdot I \cdot t$$

Ebből Ohm törvényének felhasználásával, ha alkalmazzuk az Ohm törvényt is, akkor:

$$W = I^2 \cdot R \cdot t \text{ vagy } W = \frac{U^2}{R} \cdot t$$

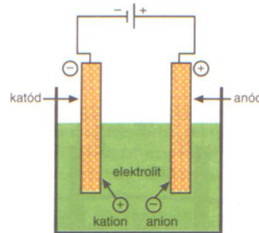
Az **elektromos teljesítmény** a mechanikából már ismert képlettel számítható ki:

$$P = \frac{W}{t} = \frac{I^2 \cdot R \cdot t}{t} = I^2 \cdot R.$$

# Elektromos áram folyadékokban

Elektrolitoknak nevezzük az ionokat tartalmazó folyadékokat.

Helyezzünk elektrolitba két elektródát és kapcsoljunk rá áramforrást. A körben



mérhető áramerősség és az idő ismeretében megkapjuk az elszállított töltés nagyságát. Az áram az ionok vándorlásának következménye: az ellentétes előjelű töltéssel rendelkező ionok különböző elektródákhoz vándorolnak, semlegesítődnek, s ott általában gáz vagy szilárd alakban kiválnak.

A katódon elektron felvétel, az anódon elektron leadás történik.

A kinyert anyagok mennyisége, és így az ionok darabszáma kémiai mérésekkel határozható meg.

Az elektrolízisre vonatkozó törvényeket Faraday fogalmazta meg:

Elektrolízis során, az elektródán kivált anyag tömege egyenesen arányos az elektrolizáló áram erősségének és az elektrolízis idejének a szorzatával, az arányossági tényező az elektrokémiai egyenérték ( $k$ ).

Az elektrokémiai egyenérték számértéke kifejezi, hogy 1C töltés hatására az adott anyagból mennyi válik ki elektrolízis során.

$$m = k \cdot I \cdot t$$

Egy molnyi anyag kiválasztásához annyiszor 96500 C töltés szükséges, amennyi az illető anyag vegyértéke.



## Elektromos vezetés gázokban

Fénycsőekben, higanygőzlámpákban, villanólámpákban a vezetés gázokon keresztül megy végbe.

A gázokon keresztül létrejövő áramvezetést gázkisülésnek nevezzük.

A gázokban az áramvezetés kétféleképpen valósulhat meg:

### 1. Önálló vagy gerjesztett vezetés

Ilyenkor a vezetés csak külső hatásra jön létre. Két lehetőség van, hogy a gerjesztett vezetés létrejöjjön.

a) A gázok általában szigetelők, de pl. melegítés, röntgensugárzás vagy radioaktív sugárzás hatására vezetővé tehetők.



- A felsorolt esetekben a felvett energia hatására a molekulák ionizálódnak.
- A molekulákból elektronok szakadnak le, és kapcsolódnak más molekulákhoz.
- Így pozitív és negatív ionok alakulnak ki a gázban. A jelenség neve: ionizáció.
- Az ionok kialakulása miatt a gáz vezetővé válik.
- Tapasztalat szerint a gáz így csak addig vezet, amíg az ionizáló hatás tart. Ha az ionizáló hatás megszűnik, akkor az ionok rekombinálódnak.
- Az ionizáció és a rekombináció egymással ellentétes folyamat. Amíg van ionizáló hatás, addig az ionizáció van túlsúlyban.

b) A gáz vezetővé tehető úgy is, hogy kívülről juttatunk be töltéshordozókat. Ez történik, ha pl. olajcseppeket porlasztunk levegőbe. A porlasztás következtében a cseppeknek töltése lesz, ami már lehetővé teszi az adott térben a vezetést.

### 2. Önálló vezetés légköri nyomású gázokban

A gázok normális körülmények között szigetelők, de kevés töltéshordozó mindig van bennük. Ezek a töltéshordozók a talajban, levegőben elenyésző mennyiségben jelenlévő radioaktív anyagok sugárzása során, valamint a kozmikus sugárzás során keletkeznek. (1cm<sup>3</sup> levegőben kb. 3·10<sup>19</sup> db molekula és 12 db ionpár van.)



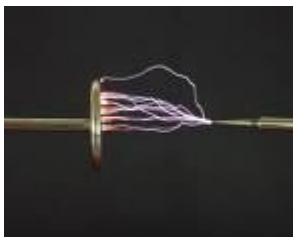
De ez a kevés ion elegendő ahhoz, hogy nagy potenciálkülönbség hatására meginduljon az ionizációs folyamat.

- A potenciálkülönbség hatására az ionok gyorsulnak, mozgási energiájuk nő.
- A molekuláknak ütközve energiájukat átadják azoknak.
- Ha ez az energia elegendő a kovalens kötés felszakításához, akkor létrejönnek az ionok.

Önálló vezetést figyelhetünk meg az ívfényben, a villámban, nagyfeszültségű távvezetékek környékén.

### Az önálló vezetés fajtái

#### 1. Szikrakisülés



- Ha két elektróda között nagy a potenciálkülönbség, akkor az elektródákról vakító, szétágazó nyalábok indulnak ki.
- Ha a feszültség nagy, akkor a nyalábok találkozhatnak.

- Ilyenkor fény, hő és hang formájában szikrakisülés jön létre.

#### **A szikrakisülés kialakulásának két oka is van:**

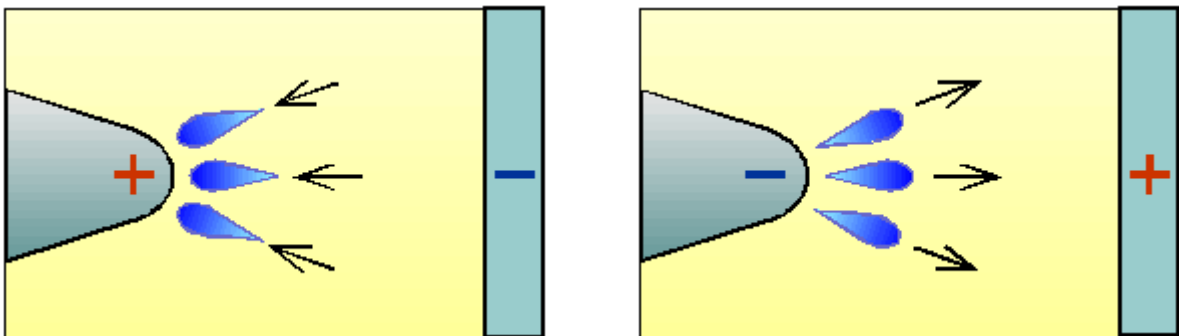
- a) A nagy térerő hatására a levegőben lévő ionok gyorsulnak, nekiütköznek a molekuláknak és ionizálják azokat. Kialakul a vezetési csatorna.
- b) A nagy térerő a levegőben lévő molekulákat polarizálja, azok nekiütköznek az elektródáknak, és töltést vesznek fel. Ezt követően nagy kezdősebességgel elhagyják az elektróda felszínét, mivel töltésük azonos az elektróda töltésével. A nagy mozgási energiájuk miatt a levegőben lévő molekulákat ionizálják, és így kialakul a vezetési csatorna.

## 2. Korona és csúcskisülés

A koronakisülés részleges kisülés, tehát nem terjed ki a két elektróda közötti teljes távolságra. Főleg erősen inhomogén térben, nagy térerősségű elektromos térrel körülvett csúcsok közelében alakul ki. A koronakisülés név többféle fizikai folyamat gyűjtő elnevezése.

Koronakisülés akkor alakul ki, ha valamely csúcs közelében az elektromos térerősség olyan nagy értékű, hogy a gázban jelen lévő kisszámú töltéshordozó a tér erőhatására gyorsulva akkora mozgási energiára tesz szert, hogy a semleges gázmolekulákkal való ütközéskor azokat ionizálja. Az így keletkezett szabad elektronok újabb semleges részecskével ütközve további elektronokat szabadítanak fel ionizáció révén, és így kialakul az elektronlavina.

A csúcs közelében tehát töltéshordozókból álló vezető csatorna alakul ki. A vezető csatorna nem terjed ki azonban a másik elektródáig, mert a csúcstól távolodva az elektromos térerősség egyre kisebb, végül nem következik be az ütközésekkor ionizáció. A koronakisülést a csúcshatáshoz hasonlóan elektromos szél kíséri.



Nagyfeszültségű távvezetékek kis lekerekítési sugarú vezetéksodronyai felületén a környező levegő állapotától függően kisebb-nagyobb mértékben mindig létrejön koronakisülés. Ez a töltések elvándorlását jelenti a távvezeték felületéről, ami veszteségi áramot képez a környezet felé. A nagyon nagy feszültségű, alaphálózati vezetékek közelében ez a veszteség olyan mértékű, hogy intézkedéseket tesznek a csökkentése érdekében.

## 3. Ívkisülés

Ívkisülést valósíthatunk meg, ha kb. 50 V egyenfeszültségre úgy kapcsolunk egy grafitrudat és egy fémlamezt, hogy a grafitot a katódra, a fémlamezt az anódra kötjük.

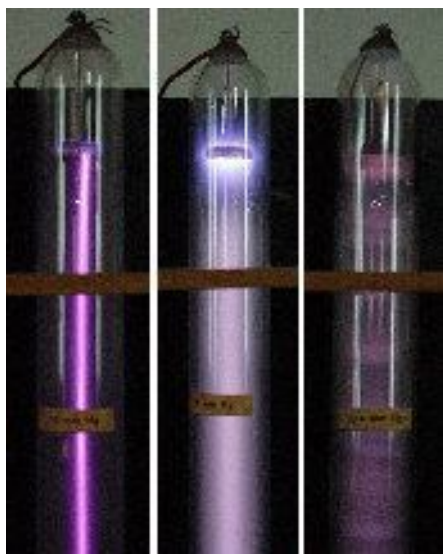
Ha a grafitot a fémlaphoz érintjük, akkor az átmeneti ellenállás felizzítja a grafitot. Ha az izzó grafitot távolítjuk a lemez felületétől, akkor a lemez és a grafit között fényes ív húzódik.

A jelenség azzal magyarázható, hogy az izzó grafitból elektronok lépnek ki, amelyek a levegőben lévő molekulákat ionizálják. Így kialakul a vezetési csatorna.

## Önálló vezetés ritkított gázokban

Fénycsövekben, reklámcsövekben ritkított gázon keresztül jön létre önálló vezetés.

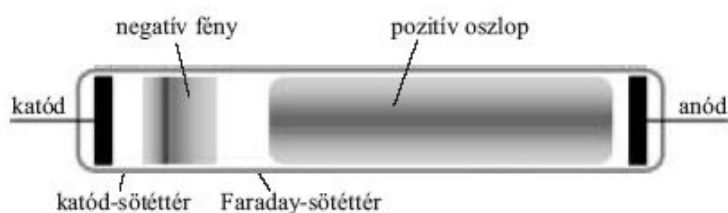
Ha csökkentett nyomású gázokban fényjelenség kíséretében jön létre az áramvezetés, akkor **kődfénykisülés**ről beszélünk.



- Kődfénykisülés jelensége bemutatható olyan üvegcsővel, amely légszivattyúval van összeköttetésben. Így lehet a nyomást csökkenteni a csőben.
- Bemutatásra alkalmas egy kb. 0,5 m hosszú, néhány centiméter átmérőjű cső.
- A cső két végébe elektródákat kell forrasztani.
- Az elektródákra nagyfeszültséget, kb. 10 000 V-ot kell kapcsolni.

### Észlelt jelenségek

- Normál nyomáson a csőben nincs áramvezetés.
- **5-6 kPa** nyomáson vékony fonálszerű csík jelenik meg a csőben, és néhány mA áramerősséget mérünk az áramkörben.
- A nyomás csökkenésével a fénycsík szélesedik, és az áramerősség nő.
- **1 kPa** nyomáson a fényoszlopban sötétebb és világosabb sávok figyelhetők meg.
- **0,1 kPa** nyomáson a legnagyobb a rétegződés.
- A nyomás további csökkentésekor a fényjelenség is és az áramerősség is megszűnik.
- **10 Pa** nyomáson a kisülési cső belseje sötét, de a katóddal szemközti fal zöldes fényel világít.



### A ködfénykisülés mechanizmusa

- Alacsony nyomású gázokban is mindig található néhány pozitív töltésű ion. Ezek a nagy térerő miatt akadály nélkül gyorsulhatnak a katód felé.
- A katódra ütközve energiájukat átadják annak. Ennek köszönhetően a katódból elektronok lépnek ki.
- A katódból kilépő elektronok a sötét katódtérben gyorsulnak. Így mozgási energiájuk jelentősen megnő.
- A negatív fény tartományban a nagy energiájú elektronok a molekuláknak ütközve ionizálják azokat. Ekkor pozitív ionok és elektronok keletkeznek. Az ütközés miatt az elektronok gerjesztett állapotban vannak a molekulákban. Ennek köszönhető a fényjelenség.
- A negatív fény tartományban az elektronok az ütközés során veszítenek az energiájukból.
- A Faraday-féle sötéttérben az elektronok ismét gyorsulnak.
- A pozitív fény tartományban az ütközések során újabb ionizáció játszódik le.
- Az anódra csapódó nagy energiájú elektronok az anód izzását is előidézhetik.

## Fizikatörténeti vonatkozások

### **AMPÉRE, ANDRÉ MARIE (1775 – 1836)**

Francia matematikus, kémikus és fizikus



Apja jómódú kereskedő volt, aki nagy gonddal nevelte és neveltette a fiát. Az ifjú tudósra főként a Nagy Francia Enciklopédia volt hatással. 1793-ban apját kivégezték, ő pedig egy időre elvesztette az érdeklődését minden iránt. Leghíresebb felfedezése az elektromos áram volt, melynek mértékegységét róla nevezték el. 1821-ben felállította az áramok kölcsönhatására vonatkozó törvényét.

### **OHM, GEORG SIMON (1789 – 1854)**

Német fizikus



Felismerte, hogy a vezetők két pont között átfolyó áram erőssége egyenesen arányos a két pont közötti potenciálkülönbséggel. Megállapítása nagy hatással volt az elektromosságtanra és az elektromosság alkalmazásaira, de kortársai felismerését hűvösen fogadták.

1833-ban Nürnbergben, a Műszaki Iskolában vállalt állást. Munkáját később kezdték elismerni: róla nevezték el az elektromos ellenállás mértékegységét.

#### **Elismerései:**

1841-ben a londoni Royal Society (Királyi Társaság) Copley-érmével tüntették ki.

### **VOLTA, ALESSANDRO (1745-1827)**

Olasz fizikus



Élete nagy részét a fémek elektromos tulajdonságainak kutatásával töltötte. Ő találta fel a róla elnevezett Volta-oszlopot, amely lényegében egy galvánelem. Sok szellemes készülék feltalálója volt. Kifejlesztet egy nagyon érzékeny feszültségmérő műszert is. Tiszteletére a feszültség mértékegységét róla nevezték el.

## **KIRCHHOFF, GUSTAV ROBERT (1824-1887)**

**Német fizikus**



A kémikus Robert Bunsen társaságában megalapozta a színeképelemzés elméletét. A színeképelemzés (spektrumanalízis) a felhevített anyagok kibocsátotta fény felbontása útján következtet a kémiai összetételre. Kirchhoff a módszert a Nap összetételének a meghatározására is alkalmazta.

Kirchhoff 1845-ben tette közzé a Kirchhoff-törvényeket, ezek lehetővé teszik az áram, a feszültség és az ellenállások számítását elektromos áramkörökben. Kiterjesztette Georg Simon Ohm német fizikus elméletét; az áram folyását leíró egyenleteket általánosította háromdimenziós vezető esetére.