

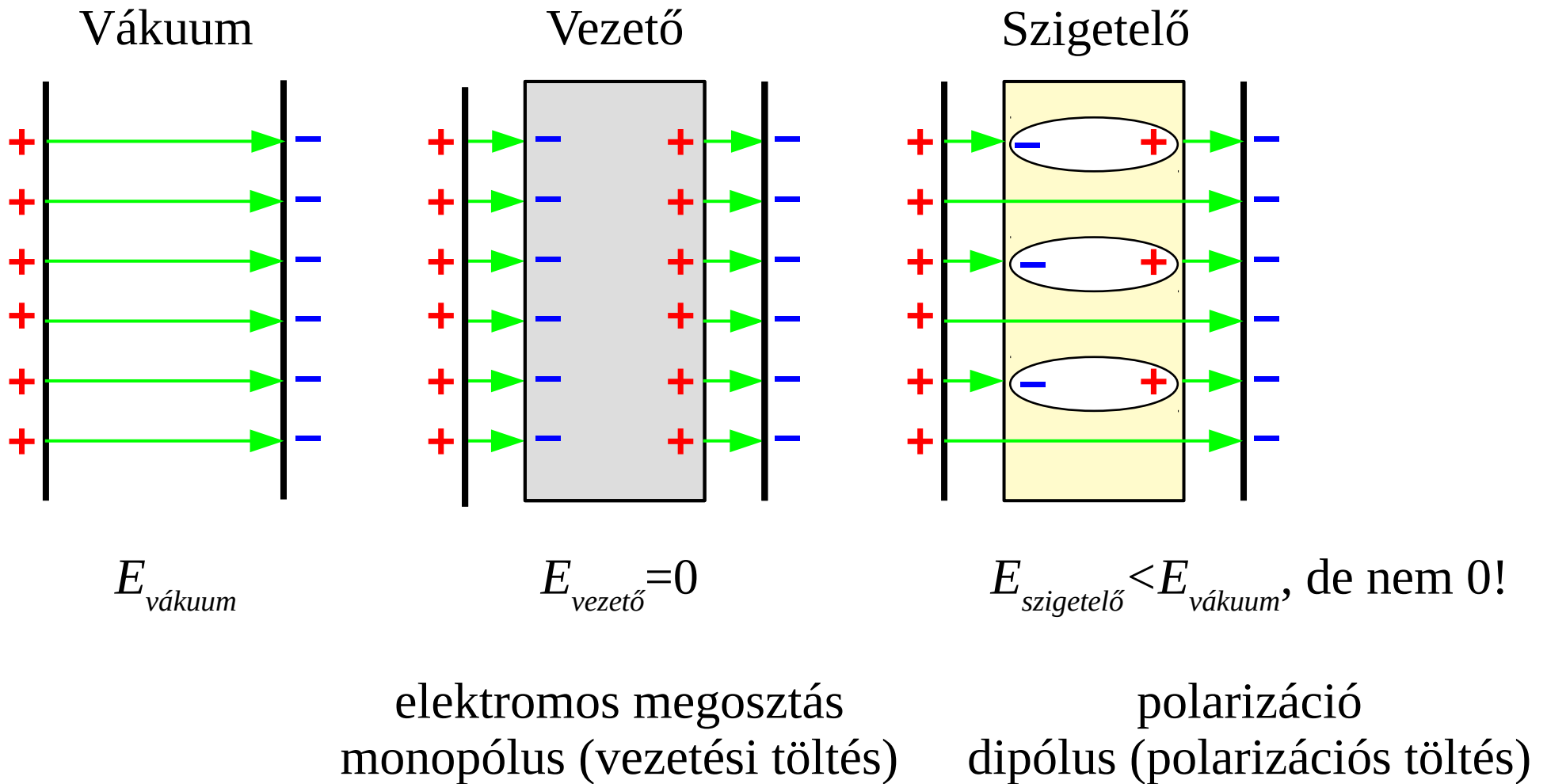
Dipólus (emlékeztető)

- Def.: két, azonos nagyságú, ellentétes előjelű töltésből álló rendszer
- a két ponttöltés egymástól Δr távolságra van
- dipólusmomentum: $\vec{p} = Q \vec{\Delta r}$
- a vektorok a negatív töltésből a pozitív töltés felé mutatnak

Anyag elektrosztatikus térben

- Először is egy kísérlet:
https://fizipedia.bme.hu/index.php/Fájl:Sikkondenzator_IV.ogv
- Q állandó, U csökken $\Rightarrow E$ is csökken, de nem 0 $\Rightarrow$
- valamennyi tér **át tud menni** a szigetelőn
- **dielektrikum** név

Homogén erőtér (pl. kondenzátor), ebben vezető ill. szigetelő



miért nem lehet $E_{\text{szigetelő}} = 0$?

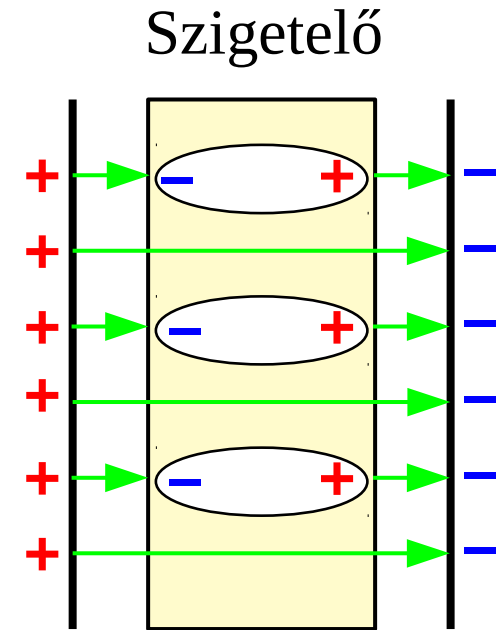
Dipólusok rendezéséhez elektromos tér kell!

Szigetelőben

dipólusok rendeződnek, szemléletesen:

- nagy dipólusok
- dipólláncok

polarizációs töltésmegosztás nem
konzerválható! (dipólust nem vágunk félbe)



Homogén anyag belsejében a dipólusok töltése kiátlagolódik.

Felületén nem mindig => felületi polarizációs töltés

van $\vec{E}_{\text{szigetelő}}(\vec{E}_{\text{vákuum}})$ kapcsolat

van értelme jellemezni, mekkora tér lenne vákuumban, ez lesz a $\vec{D}$ tér:

$$\vec{D} = \epsilon_0 \vec{E}_{\text{vákuum}}$$

Elektromos polarizáció

nagyobb tér => nagyobb polarizáltság

Hogyan jellemezhető?

- első ötlet: anyagdarab dipólusmomentuma
- de: nem mindegy, mekkora térfogatban
- dipólusmomentum-sűrűség, ez lesz az elektromos polarizáció

def.: $\vec{P} = \lim_{V \rightarrow 0} \frac{\vec{p}}{V}$, ahol $\vec{p}$ a V térfogat dipólusmomentuma

Beugró

mértékegysége: $[\vec{P}] = \frac{\text{A} \cdot \text{s}}{\text{m}^2}$

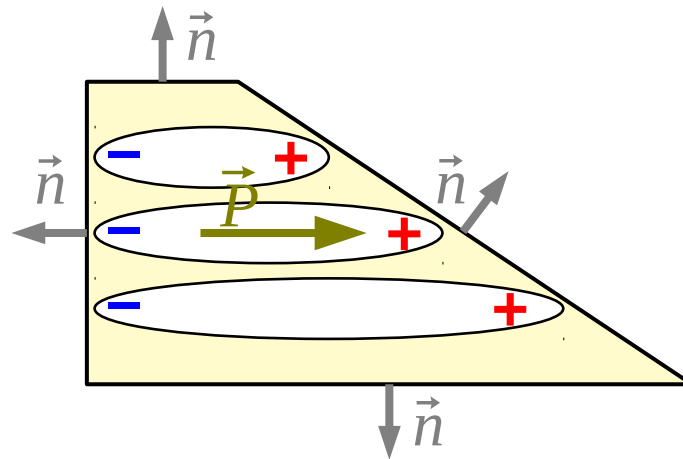
inhomogén esetben $\vec{P}(\vec{r})$ vektortér

vektorvonalak, azaz „polarizációvonal” $\sim$ dipóllánc

emlékeztető: felületi töltéssűrűség $\sigma = \lim_{A \rightarrow 0} \frac{Q}{A}$

σ_{pol} és $\vec{P}$ összefügg, de nem mindegy, hogy áll a felület

$$\sigma_{pol} = \vec{P} \cdot \vec{n}$$



levezetés nem kell, de akit érdekel:

https://physics.bme.hu/sites/physics.bme.hu/files/users/BMETE14AX04_kov/Ea5.pdf

Elektromos megosztás

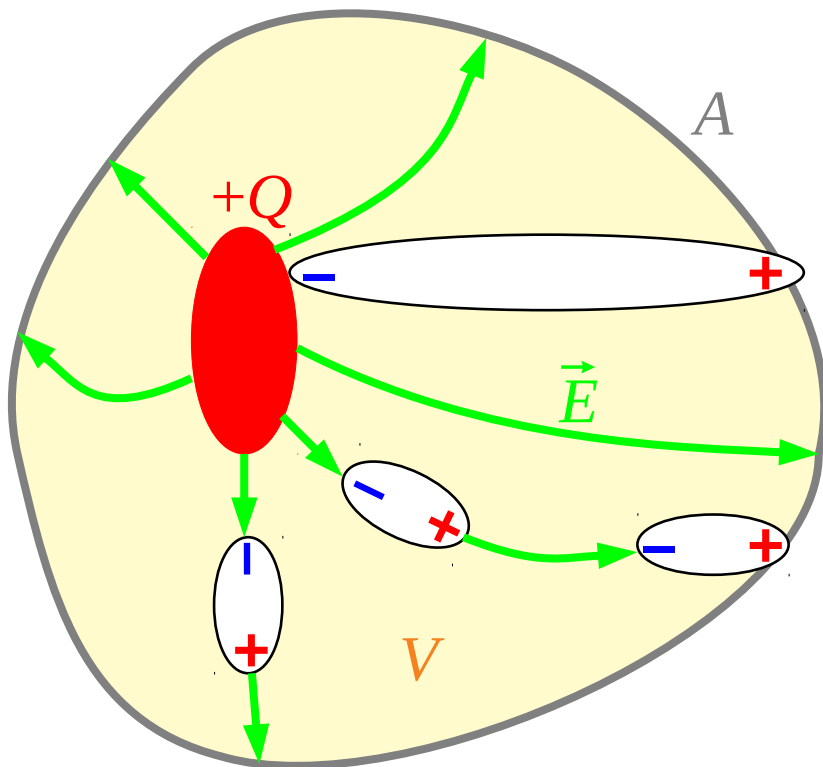
$$\left. \begin{array}{l} \text{emlékeztető: } \vec{D} = \epsilon_0 \vec{E} + \vec{P} \\ \text{vákuumban: } \oint_A \epsilon_0 \vec{E} \cdot d\vec{A} = Q \end{array} \right\} \Rightarrow \oint_A \vec{D} \cdot d\vec{A} = Q \text{ szigetelőben hogyan?}$$

vákuum, vezető: monopólusok

szigetelő: dipólus is van, monopólus is lehet

$$\begin{array}{l} \text{tehát: } Q = Q_{\text{monopólus}} + Q_{\text{dipólus}} \\ Q = Q_{\text{vezetési}} + Q_{\text{polarizációs}} \end{array} \quad \text{kétféle elnevezés}$$

ha van vezetési és polarizációs töltés is:



V felülete az A :

- nem vághat ketté dipólust
- A nem része V -nek!

$$Q_{pol}^{tér} + Q_{pol}^{fel} = 0, \text{ mert dipólusok semlegesek}$$

$$\Rightarrow Q_{pol}^{tér} = -Q_{pol}^{fel} = -\oint_A \sigma_{pol} dA =$$

$$= -\oint_A \vec{P} \cdot \underbrace{\vec{n}}_{\vec{dA}} dA = -\oint_A \vec{P} \cdot \vec{dA}$$

elektrosztatika 1. alaptörvénye (Gauss-törvény):

$$\oint_A \epsilon_0 \vec{E} \cdot d\vec{A} = Q = Q_{vez}^{tér} + Q_{pol}^{tér} = \int_V \rho_{vez} dV - \oint_A \vec{P} \cdot d\vec{A}$$

$$\Rightarrow \oint_A \epsilon_0 \vec{E} \cdot d\vec{A} + \oint_A \vec{P} \cdot d\vec{A} = \oint_A \underbrace{(\epsilon_0 \vec{E} + \vec{P})}_{\vec{D}} \cdot d\vec{A} = \oint_A \vec{D} \cdot d\vec{A} = \int_V \rho_{vez} dV = Q_{vez}$$

azaz: $\boxed{\vec{D} = \epsilon_0 \vec{E} + \vec{P}}$ $\boxed{\text{Beugró}}$

és ezzel megkapjuk az 1. Maxwell-egyenletet

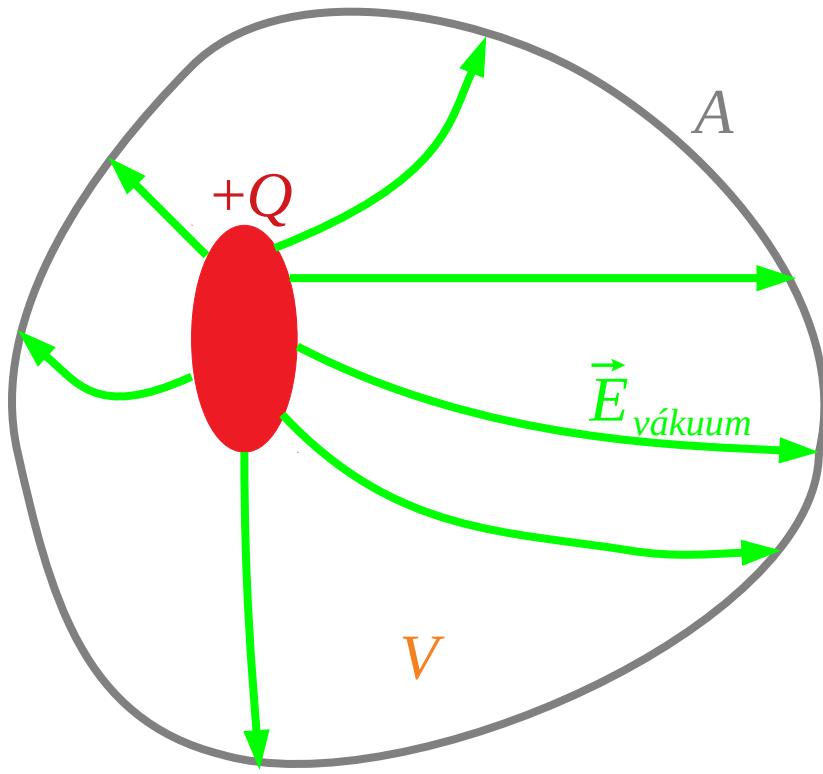
globális alakban: $\oint_A \vec{D} \cdot d\vec{A} = Q_{vez}$ azaz a $\vec{D}$ tér forrása a **vezetési** töltés.

lokális alakban: $\text{div } \vec{D} = \rho_{vez}$

azaz a $\vec{D}$ tér forrássűrűsége a **vezetési** töltéssűrűség.

Ez az alak érvényes szigetelőben, vezetőben és vákuumban is.

ha szigetelő helyett vákuum lenne Q_{vez} körül:



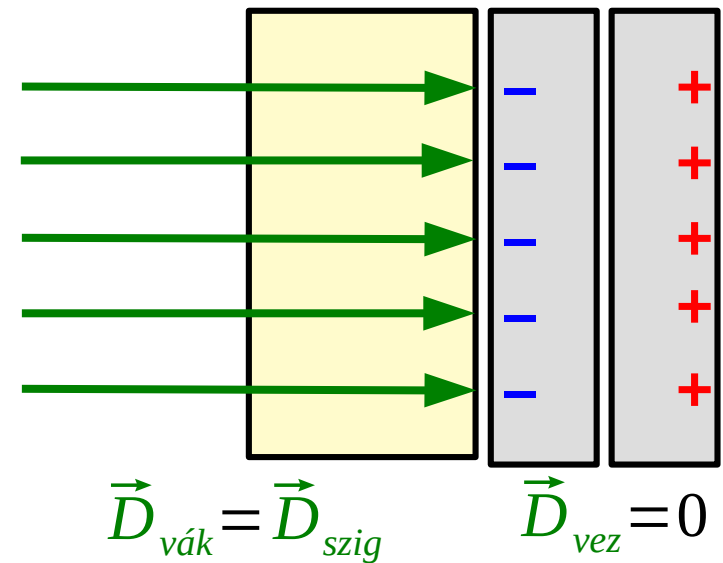
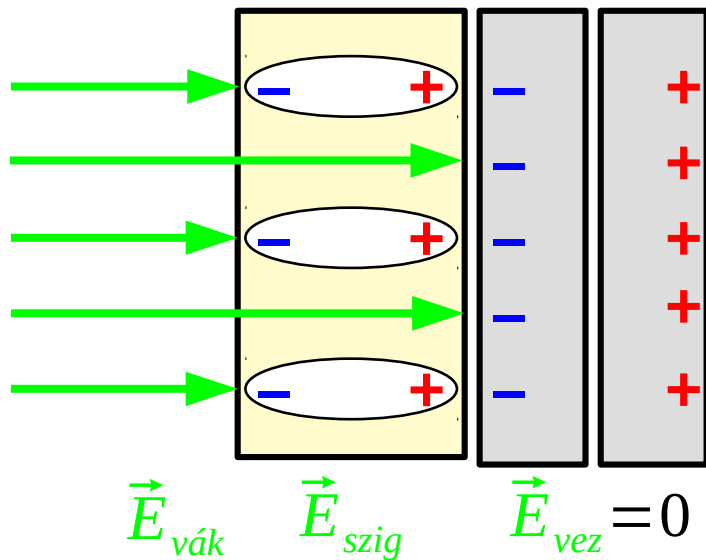
el. sztat. 1. alaptörvénye (Gauss-törvény)

$$\oint_A \epsilon_0 \vec{E}_{vakuum} \cdot d\vec{A} = Q = Q_{vez}, \text{ mert } Q_{pol} = 0$$

$$\text{előbb láttuk: } \oint_A \vec{D} \cdot d\vec{A} = Q_{vez}$$

$$\Rightarrow \vec{D} = \epsilon_0 \vec{E}_{vakuum}$$

Mit mér a „palacsintasütő”?



szigetelőben: $\vec{E}_{szig} = \vec{E}_{vák} + \vec{E}_{dipólus}$
 $\vec{E}_{dipólus}$ szembe mutat $\Rightarrow |\vec{E}_{szig}| < |\vec{E}_{vák}|$

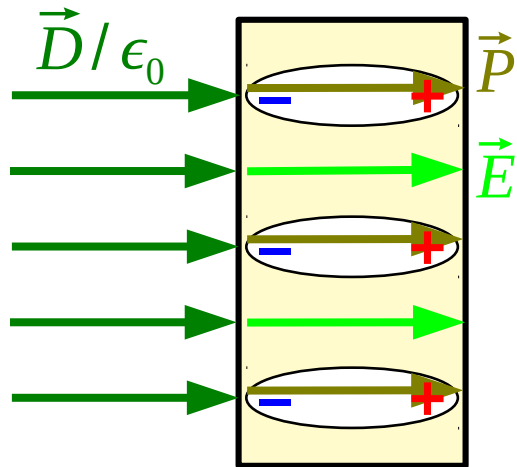
ugyanaz $\vec{D}$ térrel:
 $\vec{D}$ uaz. vákuumban és szigetelőben

palacsintasütő: a felületi polarizációs töltést is semlegesíteni kell

$$\vec{D} = \epsilon_0 \vec{E}_{szig} + \vec{P} = \epsilon_0 \vec{E}_{vák} \text{ teret méri}$$

próbatöltés: az eredő tér, azaz $\vec{E}_{szig}$ hat rá

$\vec{D} = \epsilon_0 \vec{E} + \vec{P}$ szemléletes jelentése:



szigetelőben az elektromos tér

- egy része átmegy
- másik része rendezi a dipólusokat

E és D mérése anyagi közegben

- szilárd anyagban nem lehet mérni: üreget kell vágni
- úgy, hogy abban ugyanazt mérjük, mint az üreg nélküli szigetelőben
- E méréséhez E -vel párhuzamos üreg, abban próbatöltésre ható erő mérése
- D méréséhez D -re merőleges üreg, abba „palacsintasütők”

Polarizáció – anyagi egyenletek

láttuk: $\vec{D} = \epsilon_0 \vec{E} + \vec{P}$, és kéne $\vec{E}_{\text{vákuum}} (\vec{E}_{\text{szigetelő}})$ kapcsolat

gyakorlatban: $\vec{P}$ -re lesz valamilyen egyenlet

sok mindentől függhet, nem csak az elektromos tértől

általánostól megyünk az egyszerű eset felé

Piezelektromosság

A polarizáció a mechanikai feszültségtől függ.

Nyomás $\Rightarrow$ elmozdul egymáshoz képest a + és – töltésfelhő.

Mint amikor hamburgerbe harapunk

piezelektromosság: deformáció $\Rightarrow \vec{P} \Rightarrow \vec{E}$

elektrosztrikció: $\vec{E} \Rightarrow \vec{P} \Rightarrow$ deformáció

pl.: kvarc

alkalmazása:

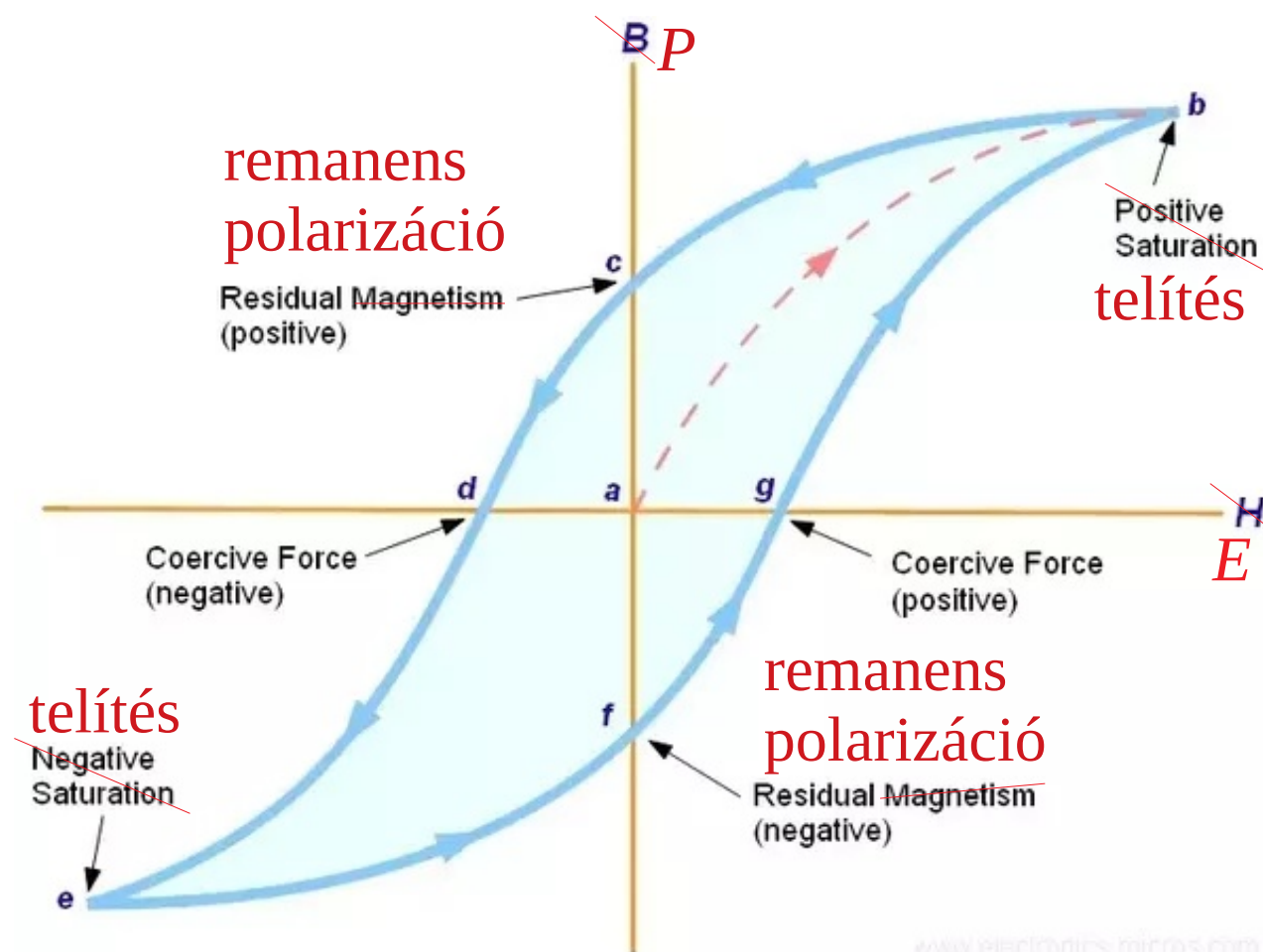
- kvarcóra
- gázgyújtó
- hangszóró / mikrofon

gyakori eset, hogy $\vec{P}$ csak $\vec{E}$ -től függ $\Rightarrow$ van $\vec{P} = \vec{P}(\vec{E})$ anyagi egyenlet

Ferroelektromosság

pl.: BaTiO_3

vannak benne **domének** = rendezett tartományok
tartományok alából össze-vissza, de tudnak rendeződni



Hiszterézis hurok:

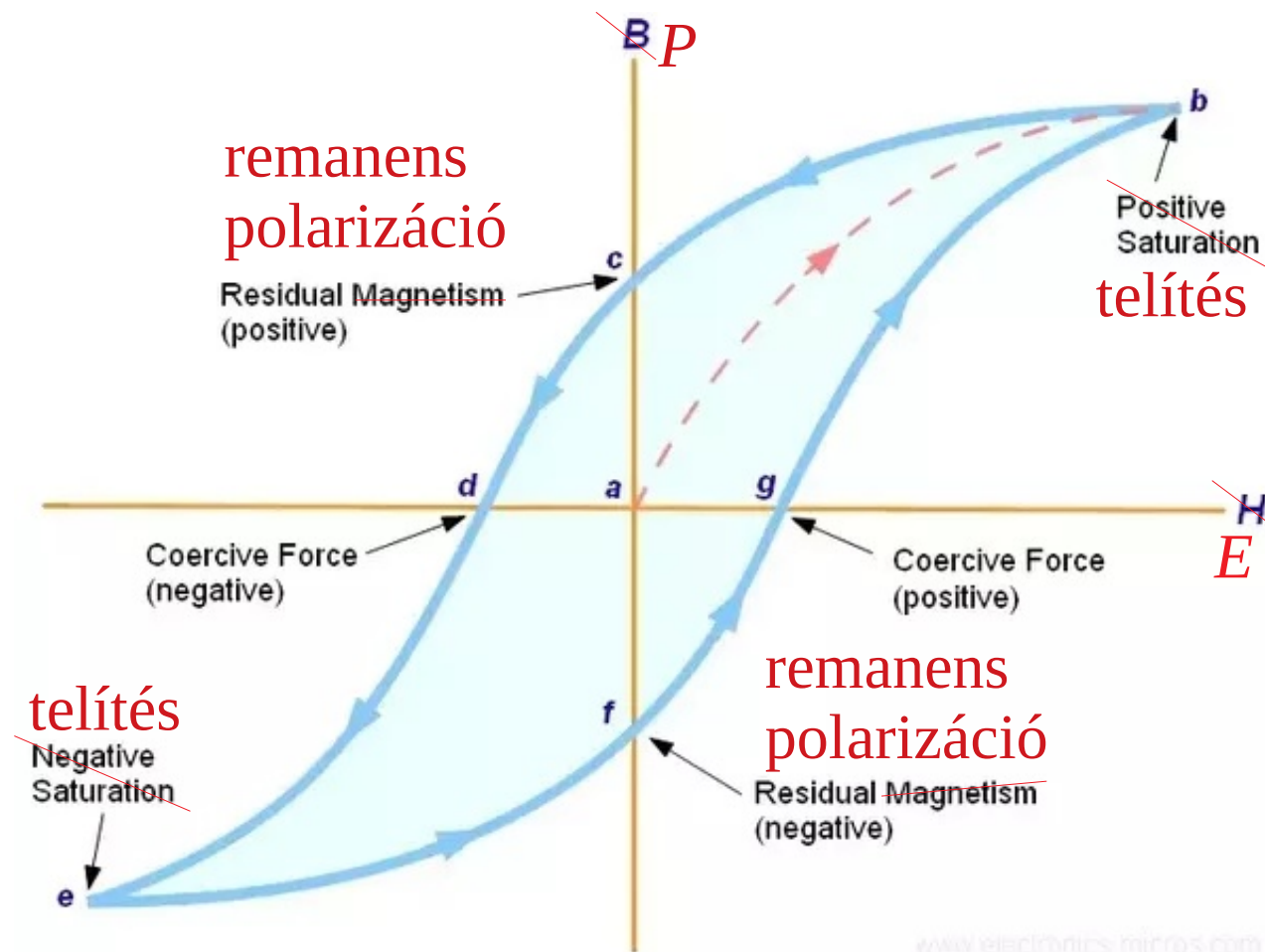
- telítés
- remanens (maradék) polarizáció
- koercitív erő

Milyen függvénye $\vec{P}$ az $\vec{E}$ -nek?

Nem függvény, mert nem egyértékű!

$\vec{P}$ függ $\vec{E}$ múltjától is.

Alkalmazása: LCD (folyadékkristályos kijelző)



LIH anyagok

LIH = Lineáris, Izotróp, Homogén

- gyakori, de nem mindig ilyen
- illetve: kicsiben minden lineáris, nagyban semmi sem

Ilyenkor az anyagi függvények lineárisak, azaz: $\vec{P} \propto \vec{E}$

legyen: $\vec{P} = \epsilon_0 \chi_e \vec{E}$, ahol χ_e az **elektromos szuszeptibilitás**

$$\vec{D} = \epsilon_0 \vec{E} + \vec{P} = \epsilon_0 \vec{E} + \epsilon_0 \chi_e \vec{E} = \epsilon_0 \underbrace{(1 + \chi_e)}_{\epsilon_r} \vec{E} = \underbrace{\epsilon_0 \epsilon_r}_{\epsilon} \vec{E} = \epsilon \vec{E}$$

$\epsilon_r = 1 + \chi_e$: **relatív permittivitás** $\epsilon = \epsilon_0 \epsilon_r$: **abszolút permittivitás**

$\boxed{\vec{D} = \epsilon \vec{E}}$ hasonlít a vákuumra, **csak LIH** anyagra igaz

$\boxed{V10}$

$\vec{D} = \epsilon_0 \vec{E} + \vec{P}$ mindig igaz

Polarizációs mechanizmusok

- **irányítási** polarizáció: permanens dipólus (poláros molekula), rendeződik
- **eltolási** polarizáció: eredendően apoláros molekula, tér hatására elmozdul az elektronfelhő és az atommag (indukált dipólus), ez a hatás mindig van

Köszönöm a figyelmet!