

# AZ ELEKTROMOS ÉS MÁGNESES MEZŐ (ismétlés)

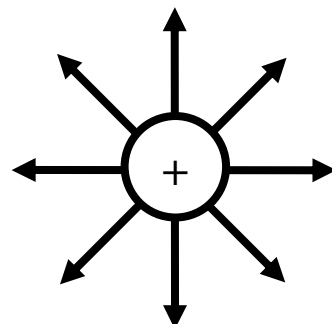
## 1. Az elektromos mező

A töltött testet elektromos mező veszi körül (10/72).

Térerősség (10/72):  $E = F/Q$  [V/m]

Szemléltetés erővonalakkal:

sűrűség, irány (10/75)



Az elektromos mező energiája (10/88):

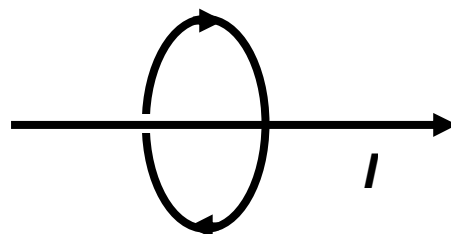
$$W_e = \frac{1}{2} \cdot \varepsilon_0 \cdot E^2 \cdot V, \text{ energiasűrűsége: } \rho_e = \frac{1}{2} \cdot \varepsilon_0 \cdot E^2$$

ahol  $\varepsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12}$  C<sup>2</sup>/Nm<sup>2</sup> (10/87)

## 2. Egyenáram

Áram: a töltések mozgása (10/97).

Áramerősség:  $I = Q/t$  [A]



## 3. A mágneses mező

Az áramjárta vezetőt mágneses mező veszi körül (10/139).

Mágneses indukció (10/142):  $B = M/(N \cdot I \cdot A)$  [1 T = 1 Vs/m<sup>2</sup>]

Szemléltetés indukcióvonalakkal: sűrűség, irány (10/143)

A mágneses mező energiája (10/170 + füzet):

$$W_m = \frac{1}{2\mu_0} \cdot B^2 \cdot V, \text{ energiasűrűsége: } \rho_m = \frac{1}{2\mu_0} \cdot B^2$$

ahol  $\mu_0 = 12,56 \cdot 10^{-7}$  Vs/Am (10/146)

#### 4. A nyugalmi indukció (Faraday)

A változó mágneses mezőt elektromos mező veszi körül (10/165)

Indukált feszültség!

Az elektromos erővonalak a mágneses indukcióvonalakat ( $\Delta B$ -t) veszik körül!

Lenz-törvény: az indukció gátolja az őt létrehozó hatást (10/166)

#### 5. Rezgőkör (11/57–58)

Kísérlet: feltöltött kondenzátor + tekercs  
elektromágneses rezgés

Az elektromos és mágneses mező energiája folyamatosan egymásba alakul át! A maximális értékek megegyeznek, ebből levezethető a **Thomson-képlet**: a rezgőkör frekvenciája (11/59)

$$\nu = \frac{1}{2\pi\sqrt{L \cdot C}}$$

Példa a Thomson-képletre.

# AZ ELEKTROMÁGNESES MEZŐ (11/60–)

## 1. Az eltolódási áram

Faraday (1831): változó mágnes mező  $\Rightarrow$  elektromos mező

Maxwell (~1860): változó elektromos mező  $\Rightarrow$  mágneses mező

A változó elektromos mezőt mágneses mező veszi körül,  
a változó mágneses mezőt elektromos mező veszi körül:

## ELEKTROMÁGNESES MEZŐ

## 2. Elektromágneses hullámok

változó  $I \rightarrow$  változó  $B \rightarrow$  változó  $E \rightarrow$  változó  $B \rightarrow$  változó  $E \dots$

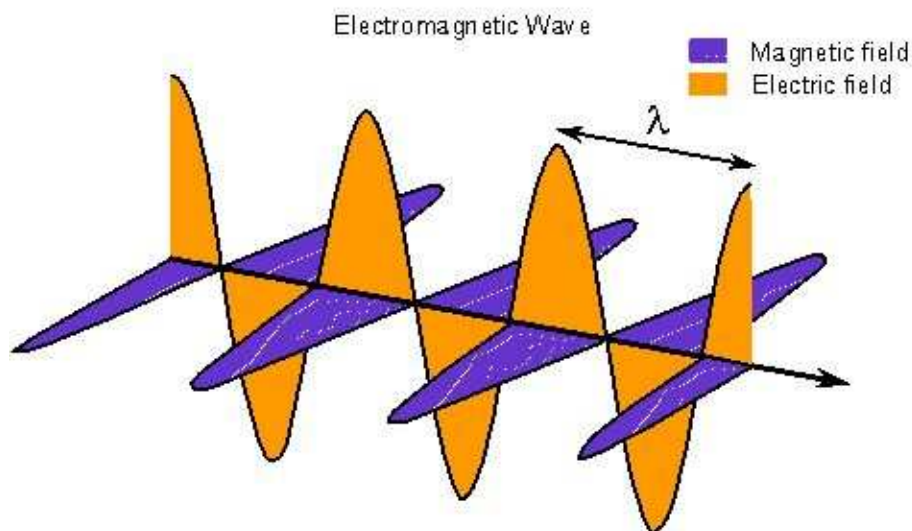
Kísérleti igazolás: Hertz, 1888. (Maxwell 1879-ben meghalt.)

Elektromágneses hullámok keltése: nyitott rezgőkörrel (11/61)

### Elektromágneses hullám:

### terjedő elektromos és mágneses (elektromágneses) mező

Az elektromos térerősség és a mágneses indukció egymásra és a terjedés irányára merőleges – transzverzális (11/62).



## 3. Az elektromágneses hullámok tulajdonságai (11/61)

Kísérlet: egyenesvonalú terjedés ✓	polarizáció ✓
visszaverődés ✓	interferencia ✓
törés ✓	állóhullám ✓

#### 4. Az elektromágneses hullámok terjedési sebessége

levezethető (☺): 
$$v = \frac{1}{\sqrt{\mu_0 \cdot \varepsilon_0}}$$

**Maxwell: a fény is elektromágneses hullám!**

**Periodikusan változó és terjedő elektromágneses mező!**

A továbbiakban:  $v = c$

#### 5. Az elektromágneses hullámok energiája

Az elektromágneses mező energiájának felét az elektromos, felét a mágneses mező hordozza (levezethető ☺):

$$\rho_{\text{elektromos}} = \rho_{\text{mágneses}}$$

Energiasűrűség: 
$$\frac{W}{V} = \rho = \frac{1}{2} \varepsilon_0 \cdot E^2 + \frac{1}{2\mu_0} B^2$$

$$\frac{1}{2} \varepsilon_0 \cdot E^2 = \frac{1}{2\mu_0} B^2 \Rightarrow \rho = \varepsilon_0 \cdot E^2 = \frac{1}{\mu_0} B^2$$

Jegyezzük meg: 
$$E = \sqrt{\frac{\rho}{\varepsilon_0}}, \quad B = \sqrt{\mu_0 \cdot \rho}$$

$$\frac{B}{E} = \sqrt{\mu_0 \cdot \varepsilon_0} = \frac{1}{c}$$

## 6. A napfény energiasűrűsége

Mennyi  $1 \text{ m}^3$  napfény energiája?

1 vödör (10 kg) víz 1 óra alatt

merőleges beesés esetén (~egyenlítő)

kb.  $15 \text{ }^\circ\text{C}$ -kal melegszik fel.

$$W = Q = c \cdot m \cdot \Delta T = 4200 \cdot 10 \cdot 15 = 630000 \text{ J}$$

$$W / t = P = 630000 \text{ J/h} = 175 \text{ W} \quad (\text{J/s})$$

A 40 cm átmérőjű vödör felszíne:  $A = r^2 \cdot \pi = 0,1256 \text{ m}^2$

1  $\text{m}^2$ -re 1 másodperc alatt:  $W / t / A = 1393 \text{ J/s/m}^2$

(napállandó)

Térfogat:  $V = A \cdot c \cdot t = 1 \text{ m}^2 \cdot 3 \cdot 10^8 \text{ m/s} \cdot 1 \text{ s} = 3 \cdot 10^8 \text{ m}^3$

$$W = 1393 \text{ J} / 3 \cdot 10^8 = 4,64 \cdot 10^{-6} \text{ J}$$

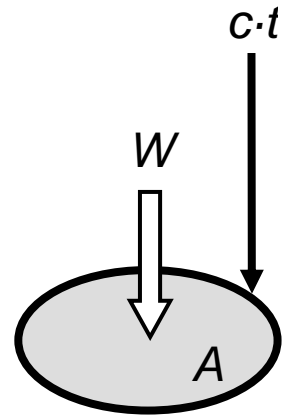
1  $\text{m}^3$  napfényben  $4,64 \cdot 10^{-6} \text{ J}$  energia van.

Mennyi a napfény energiasűrűsége?  $\rho = 4,64 \cdot 10^{-6} \text{ J/m}^3$

Mekkora a napfényben az E és a B?

$$E = \sqrt{\frac{\rho}{\epsilon_0}} = \sqrt{\frac{4,64 \cdot 10^{-6}}{8,85 \cdot 10^{-12}}} = 724 \frac{\text{V}}{\text{m}}$$

$$B = \sqrt{\mu_0 \cdot \rho} = \sqrt{12,56 \cdot 10^{-7} \cdot 4,64 \cdot 10^{-6}} = 2,41 \cdot 10^{-6} \text{ T}$$



## 7. Az elektromágneses hullámok lendülete (röviden)

Lendület:  $I = m \cdot v$ , lendületsűrűség:  $g = \frac{I}{V}$ .

Mivel  $I = mv$  és  $W = 2 \cdot \frac{1}{2}mv^2$ , így  $I = \frac{W}{v} \Rightarrow g = \frac{\rho}{c}$

A napfény nyomása  $\Rightarrow$  üstökös csóva iránya

## 8. Az elektromágneses mező tömege

Einstein, 1905

$V$  térfogatban van  $I = g \cdot V$  lendület.

De  $I = m \cdot v = m \cdot c = g \cdot V = \frac{\rho}{c} \cdot V$

Így  $m \cdot c = \frac{\rho}{c} \cdot V = \frac{W}{c} \Rightarrow W = m \cdot c^2 \Rightarrow E = m \cdot c^2$

### Az elektromágneses mező is anyag!

Van – tömege – sebessége  
– energiája – lendülete

Einstein: az atomos szerkezetű anyagra is vonatkozik a képlet.

**tömeg – energia ekvivalencia**

## 9. Mekkora egy diák energiája?

$$E = m \cdot c^2 = 50 \text{ kg} \cdot (3 \cdot 10^8 \text{ m/s})^2 = 4,5 \cdot 10^{18} \text{ J} = 4 \text{ és fél trillió J}$$

$$E = 4\,500\,000\,000\,000\,000\,000 \text{ J}$$

Magyarország éves villamosenergia-igénye:

$$19,8 \text{ TWh} = 19,8 \cdot 10^{12} \text{ J/s} \cdot 3600 \text{ s} = 7,1 \cdot 10^{16} \text{ J}$$

Mennyi ideig biztosítaná ezt egy diák „feláldozása”?

$$4,5 \cdot 10^{18} / 7,1 \cdot 10^{16} = 63 \text{ év !!!}$$

Mekkora tömegű test tartalmaz annyi energiát, amennyi a hirosimai atombomba robbanásakor szabadult fel?

Energiája: 15 kilotonna

$$1 \text{ kg TNT felrobbanása: } E = 4,2 \cdot 10^6 \text{ J}$$

(16 kg urán, de a robbanásban ténylegesen csak 1,6 g!)

A maghasadásnál az energiának csak egy kis része szabadul fel (lásd: magfúzió).

## 10. A Nap energiája

Mennyi energiát bocsát ki egy másodperc alatt a Nap?

A Föld felszínén 1 másodperc alatt:  $E = 1393 \text{ J}$

(lásd: vödör)

A Nap – Föld távolságával egyenlő sugarú gömb minden egyes  $\text{m}^2$ -én ennyi energia áramlik át 1 másodperc alatt.

$$r_{\text{Nap-Föld}} = 149,6 \text{ millió km} = 149,6 \cdot 10^6 \cdot 10^3 \text{ m} = 149,6 \cdot 10^9 \text{ m}$$

A Nap teljes energiatermelése tehát másodpercenként:

$$E = 4r^2 \cdot \pi \cdot 1393 \text{ J} = 3,9 \cdot 10^{26} \text{ J}$$

Mennyivel csökken a Nap tömege egy másodperc alatt?

$$m = E / c^2 = 3,9 \cdot 10^{26} / 9 \cdot 10^{16} = 4,3 \cdot 10^9 \text{ kg} = 4 \text{ millió tonna !!!}$$

Mennyi ideig ég el a Nap? ☺

A Nap tömege:  $M = 2 \cdot 10^{30} \text{ kg}$  (lásd 9/10. oszt., grav. törvény)

$$t = M / m = 2 \cdot 10^{30} / 4,3 \cdot 10^9 = 4,65 \cdot 10^{20} \text{ másodperc}$$

$$4,65 \cdot 10^{20} \text{ s} = 4,65 \cdot 10^{20} / 3600 / 24 / 365 = 1,5 \cdot 10^{13} \text{ év !!!}$$

A Világegyetem kora:  $\sim 10^{10}$  év

Holnap is kell iskolába jönni! ☹

### Mi biztosítja a Nap energiáját?

Például szén. Égéshő:  $30 \text{ MJ/kg} = 3 \cdot 10^7 \text{ J/kg}$

$$1 \text{ másodperc alatt: } 3,9 \cdot 10^{26} \text{ J} / 3 \cdot 10^7 \text{ J/kg} = 1,3 \cdot 10^{19} \text{ kg szén}$$

A Nap teljes tömege:

$$2 \cdot 10^{30} / 1,3 \cdot 10^{19} = 1,5 \cdot 10^{11} \text{ másodperc alatt elég.}$$

$$1,5 \cdot 10^{11} \text{ s} = 1,5 \cdot 10^{11} / 3600 / 24 / 365 = 4756 \text{ év !!!}$$

A XIX. században komoly aggodalmak!

(Lásd Madách: Az ember tragédiája)

Összeállította: Juhász Tibor