

Fizika 2. előadás

Elektromágnesség és optika

-

Bevezetés

Buzás Attila

okleveles geofizikus, PhD

HUN-REN-ELTE Űrkutató Kutatócsoport

HUN-REN Földfizikai és Űrtudományi Kutatóintézet

atilatbuzas@ttk.elte.hu

2026–2027

Budapest

Tematika

Előadások: hétfő 14:00–17:00, D1-108 Koch Antal terem

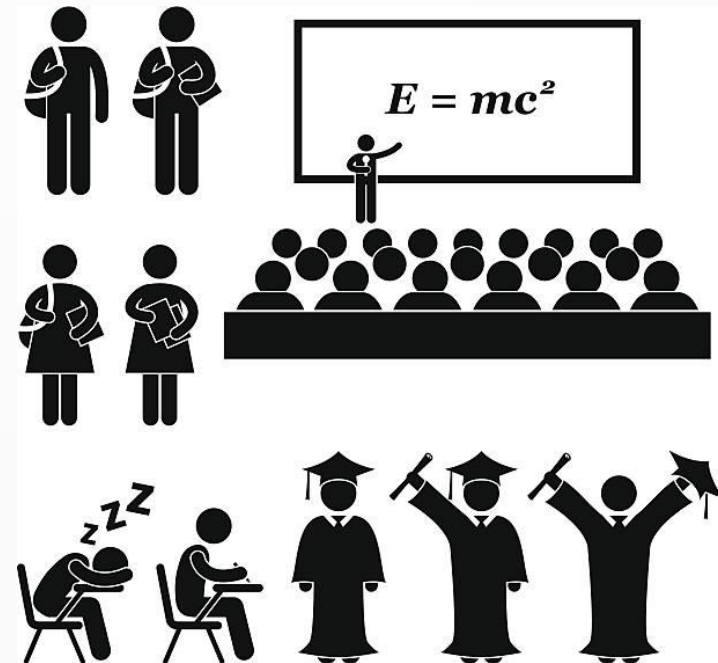
Előadás: 60 perc + 15 perc szünet + 60 perc (60 perc gyakorlat)

- 2026.09.07., I. előadás, Buzás Attila: Bevezetés – Vektoranalízis – Elektrosztatika I.
- 2026.09.14., II. előadás, Buzás Attila: Elektrosztatika II.
- 2026.09.21., III. előadás, Buzás Attila: Elektrosztatika III. – Elektrodinamika I.
- 2026.09.28., IV. előadás, Szijártó Márk: DC áramkörök
- 2026.10.05., V. előadás, Tomasik Máté: Mágneses erőter
- 2026.10.12., VI. előadás, Tomasik Máté: Mágneses erőter 2. – Faraday-törvény
- 2026.10.19., VII. előadás, Tomasik Máté: Indukció – AC áramkörök
- 2026.10.26.: őszi szünet
- 2026.11.02., VIII. előadás, Buzás Attila: Anyagok mágneses tulajdonságai
- 2026.11.09., IX. előadás, Buzás Attila: Dielektromos anyagok – Eltolási áram, Maxwell-egyenletek, hullámegyenlet
- 2026.11.16., X. előadás, Buzás Attila: Elektromágneses hullámok

- 2026.11.23., XI. előadás, Szijártó Márk: A fénytan története – Geometriai optika I.
- 2026.11.30., XII. előadás, Szijártó Márk: Geometriai optika II.
- 2026.12.07., XIII. előadás, Szijártó Márk: Hullámoptika

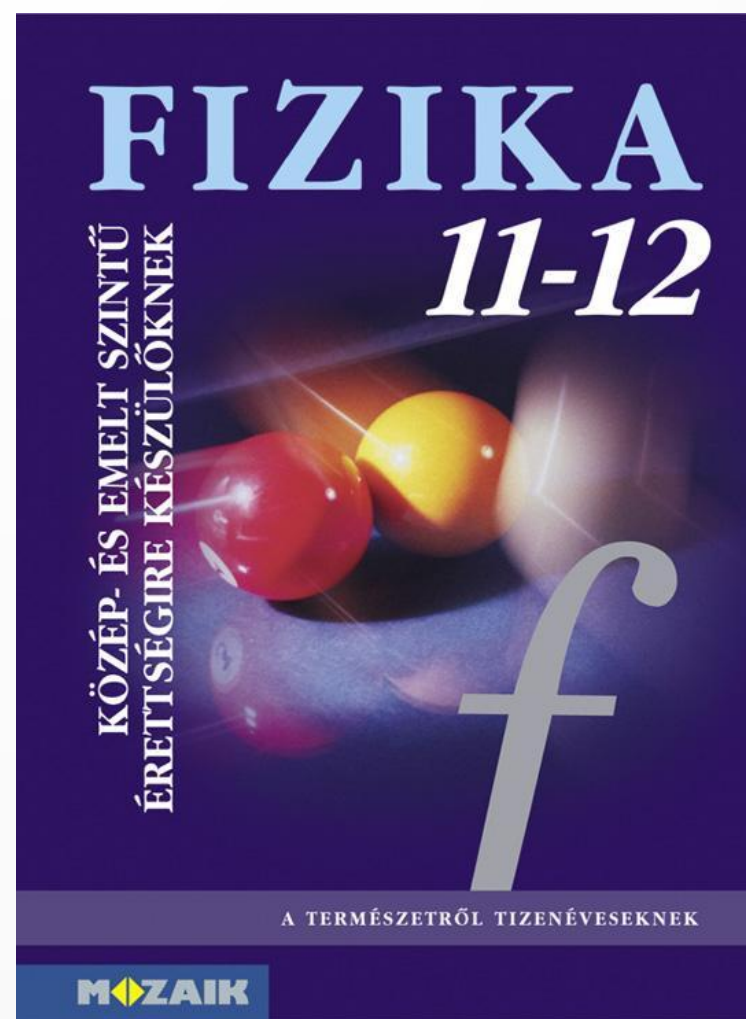
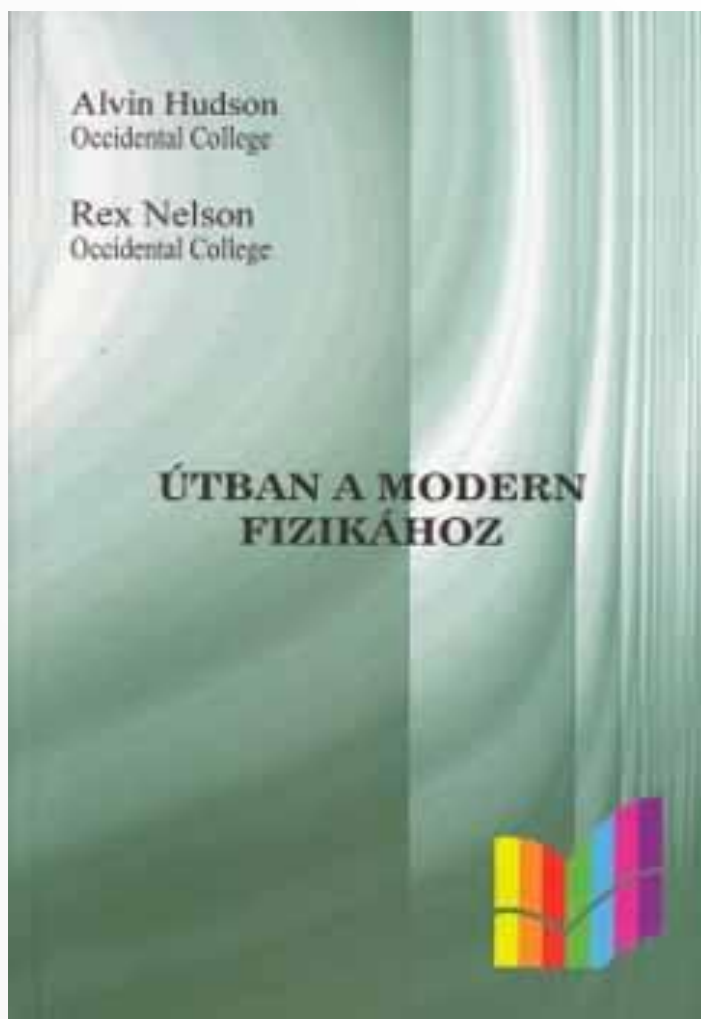
Számonkérés

- Szóbeli vizsga a szemeszter végén.
- 16 tétel.
- <https://epss.hun-ren.hu/~buzasa/eltefoldtudfiz2/>
- „Ökölszabály”: hetente legalább az előadással megegyező óraszámban önálló tanulás, foglalkozás a témával.



Ajánlott irodalom

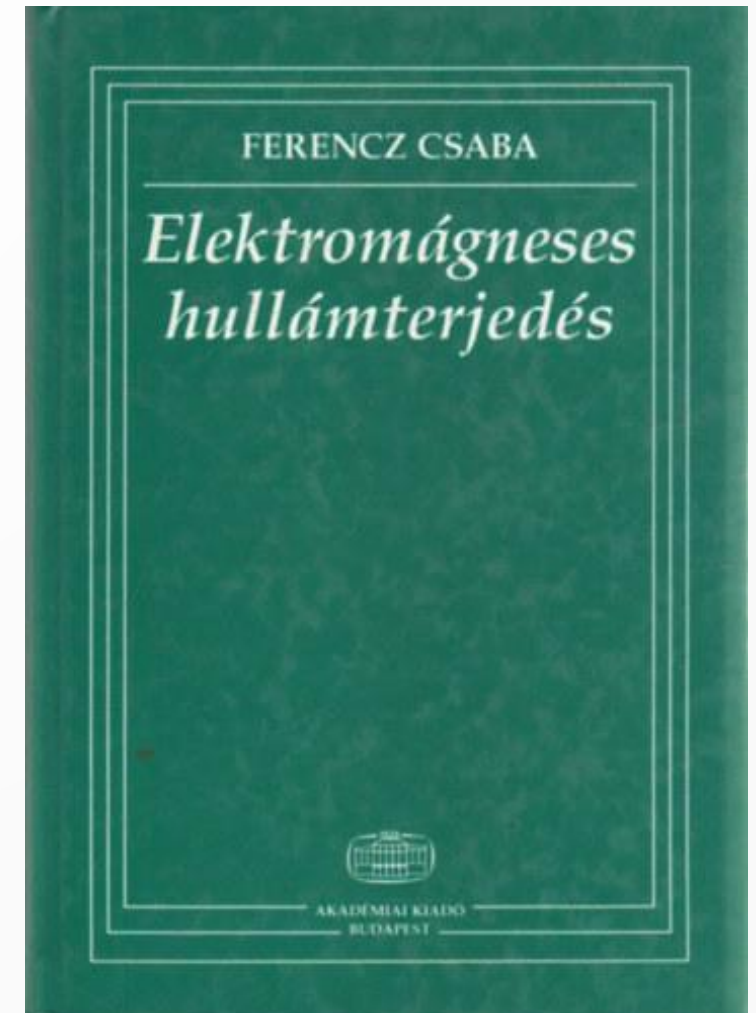
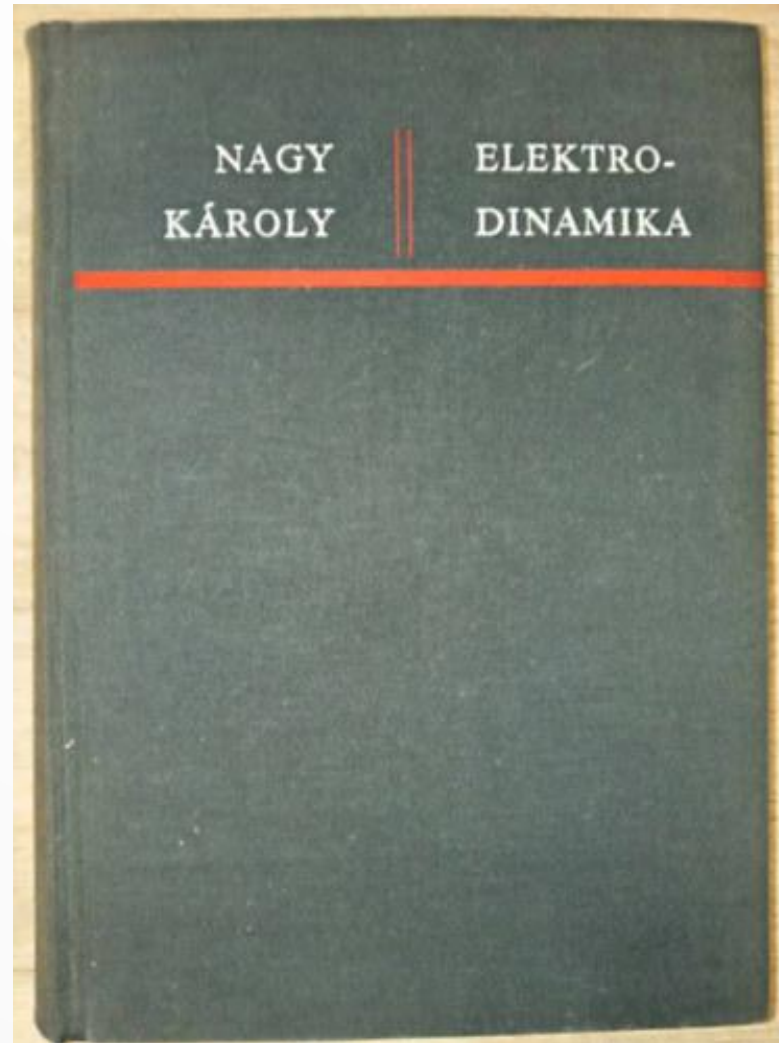
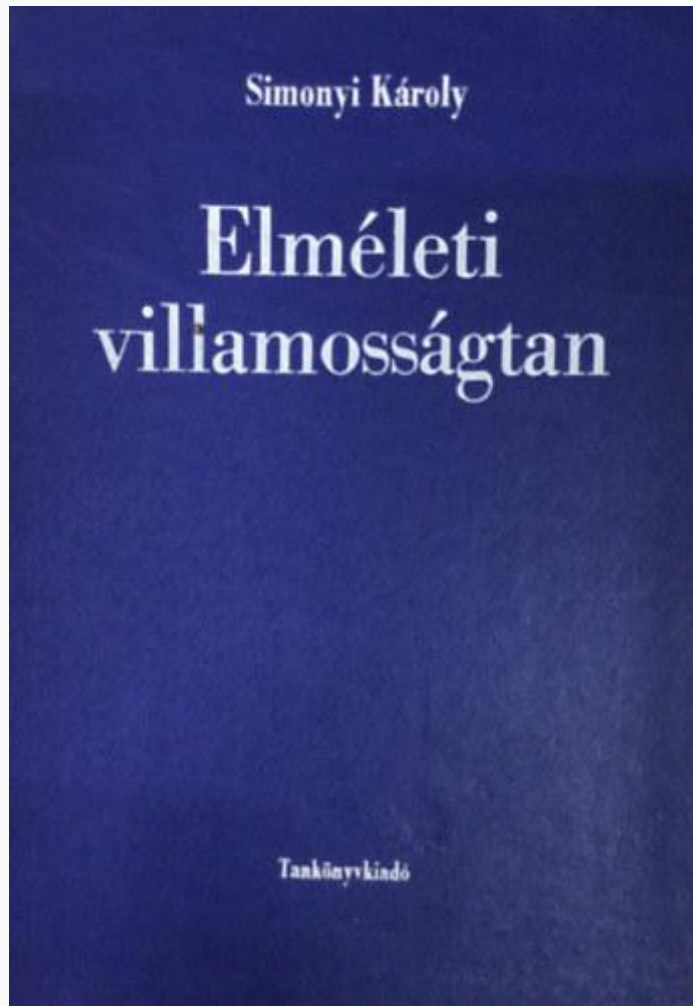
- A. Hudson, R. Nelson: *Útban a modern fizikához* c. könyv 24-40. fejezetei:
<http://www.fke.bme.hu/oktatas/HN.html>
- Plusz az előadások anyaga!



Ajánlott irodalom

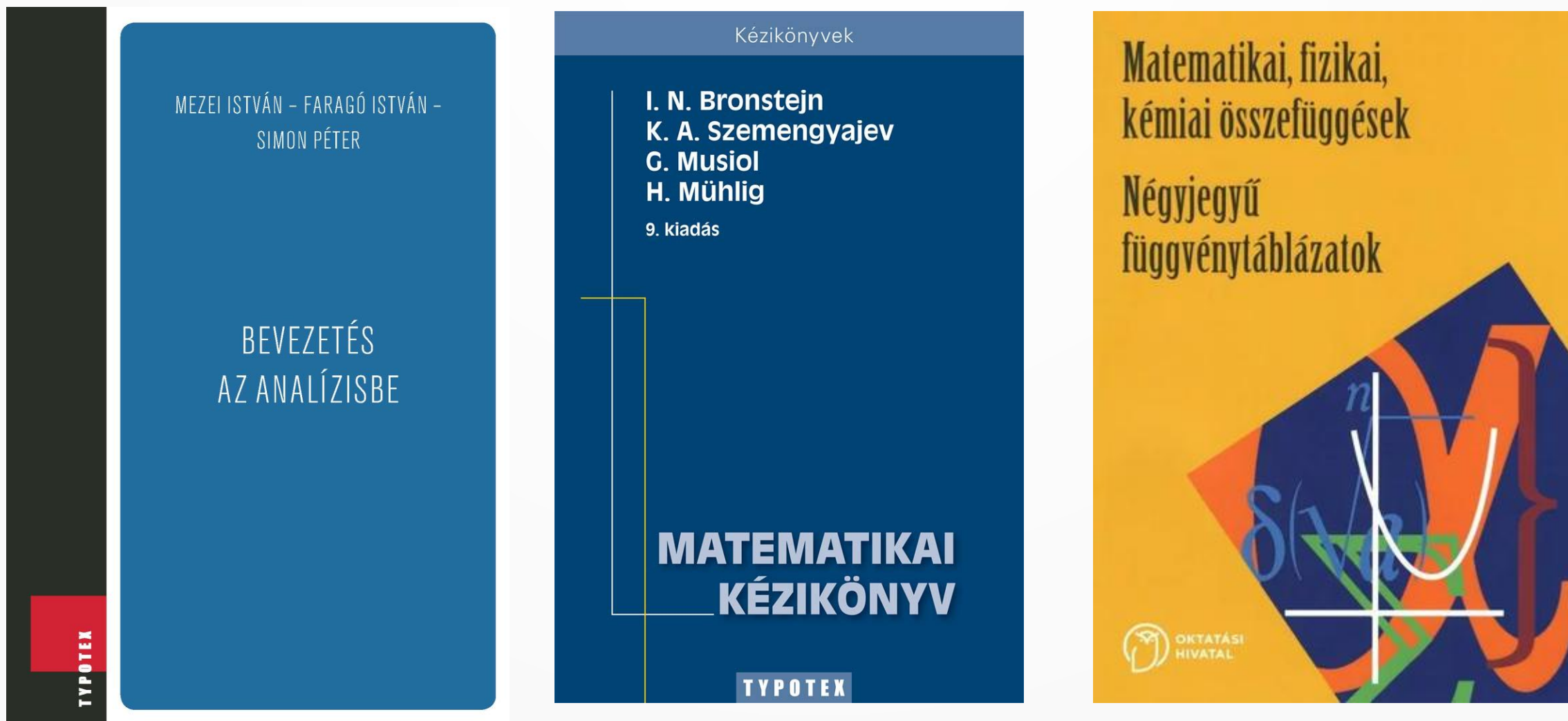


Vigyázat: mélyvíz!

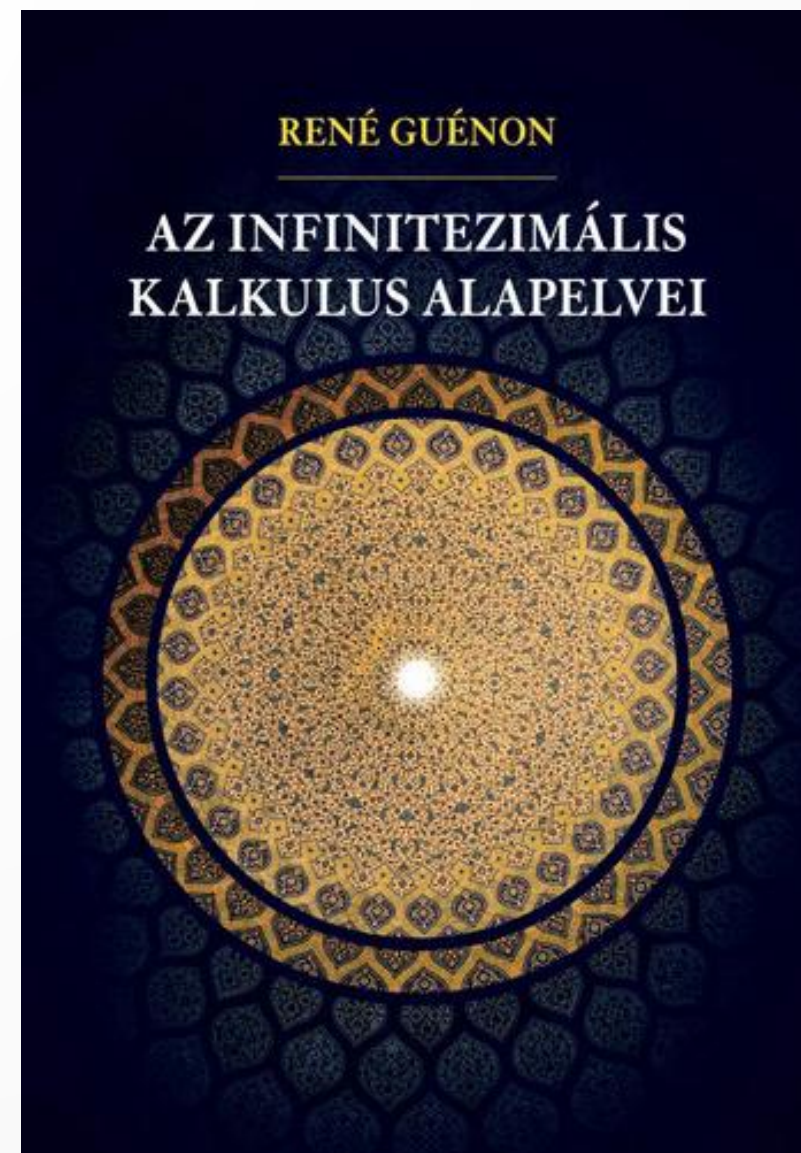


Matematikai alapok

<https://www.wolframalpha.com/>



Matematikai alapok



Bevezetés

Négy alapvető kölcsönhatás a modern fizikában:

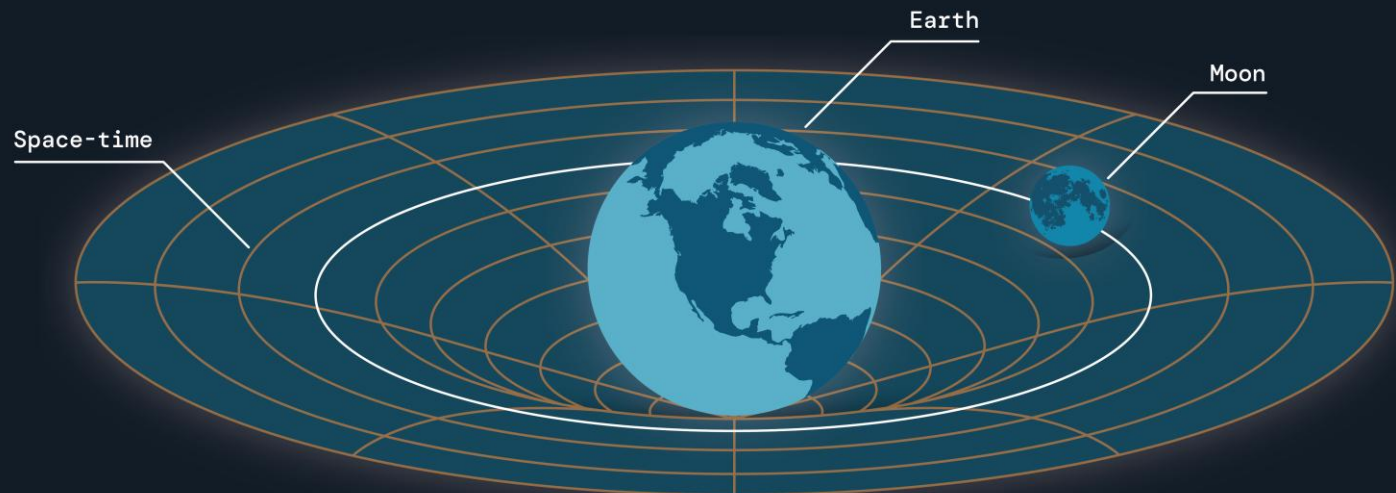
- **Gravitáció,**
- elektromágnesség,
- gyenge kölcsönhatás,
- erős kölcsönhatás.

$$\vec{F}_G = -G \frac{m_1 m_2}{|\vec{r}|^2} \hat{r}$$

<https://science.nasa.gov/universe/overview/forces/>

Gravitational Force

Gravity, the force that draws objects together, can be understood as bends and curves in the fabric of space-time. Anything with mass makes these dents, from the Earth and Moon to turtles and cats.



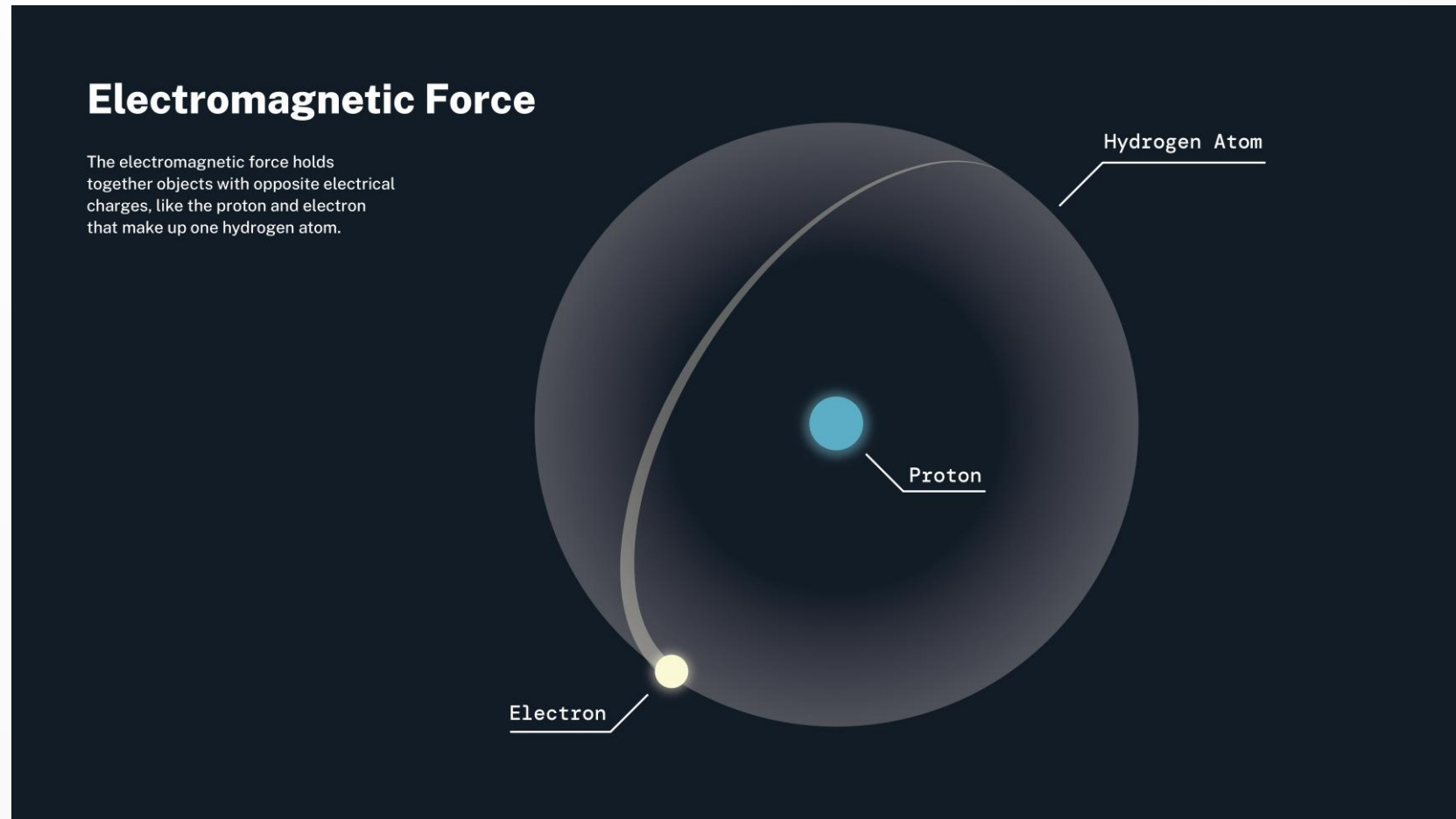
Bevezetés

Négy alapvető kölcsönhatás a modern fizikában:

- Gravitáció,
- **elektromágnesség**,
- gyenge kölcsönhatás,
- erős kölcsönhatás.

$$\mathbf{F}_1 = \frac{q_1 q_2}{4\pi\epsilon_0} \frac{\hat{\mathbf{r}}_{12}}{|\mathbf{r}_{12}|^2}$$

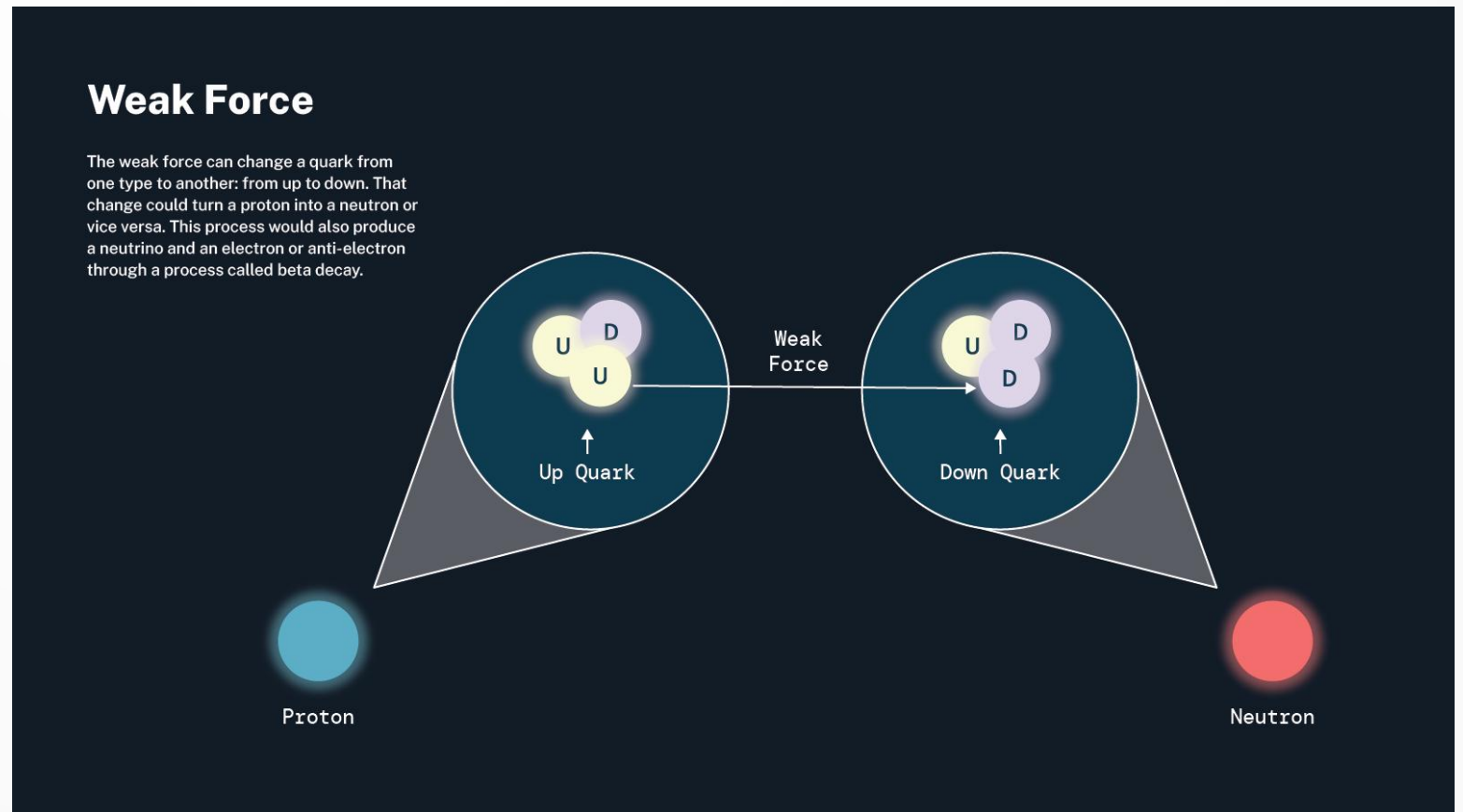
<https://science.nasa.gov/universe/overview/forces/>



Bevezetés

Négy alapvető kölcsönhatás a modern fizikában:

- Gravitáció,
- elektromágnesség,
- **gyenge kölcsönhatás**,
- erős kölcsönhatás.



<https://science.nasa.gov/universe/overview/forces/>

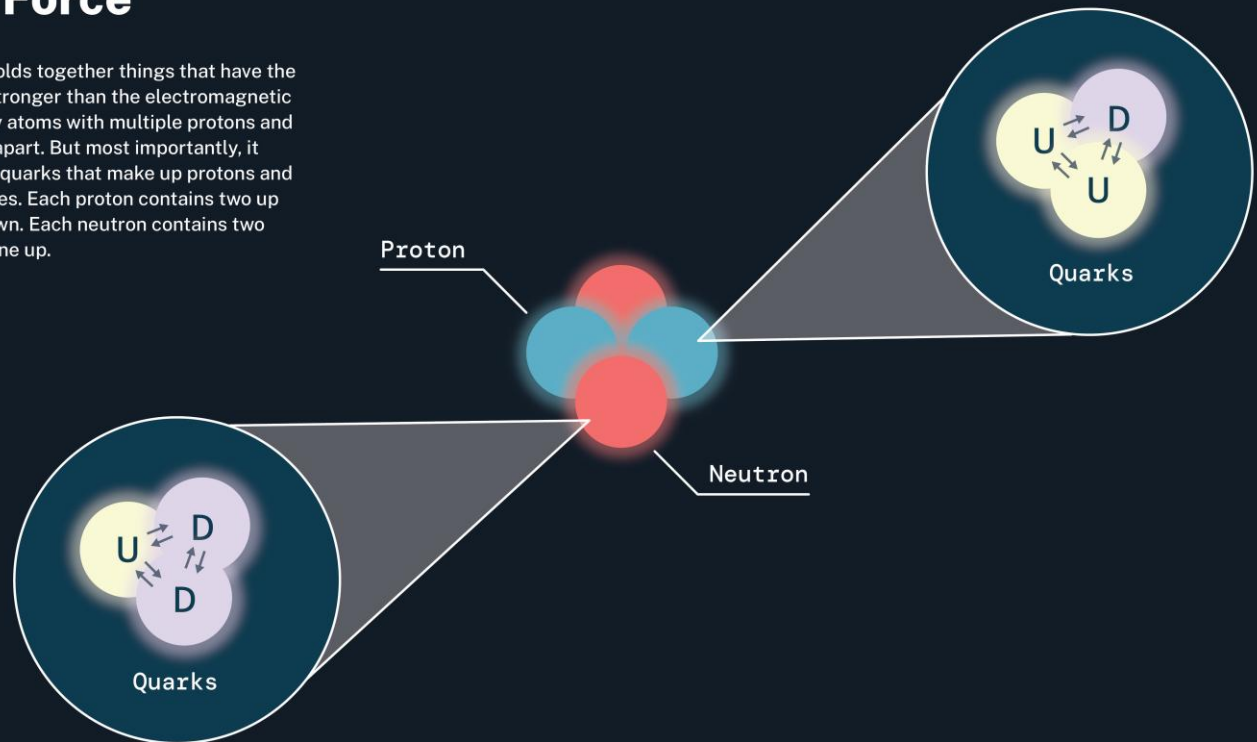
Bevezetés

Négy alapvető kölcsönhatás a modern fizikában:

- Gravitáció,
- elektromágnesség,
- gyenge kölcsönhatás,
- **erős kölcsönhatás.**

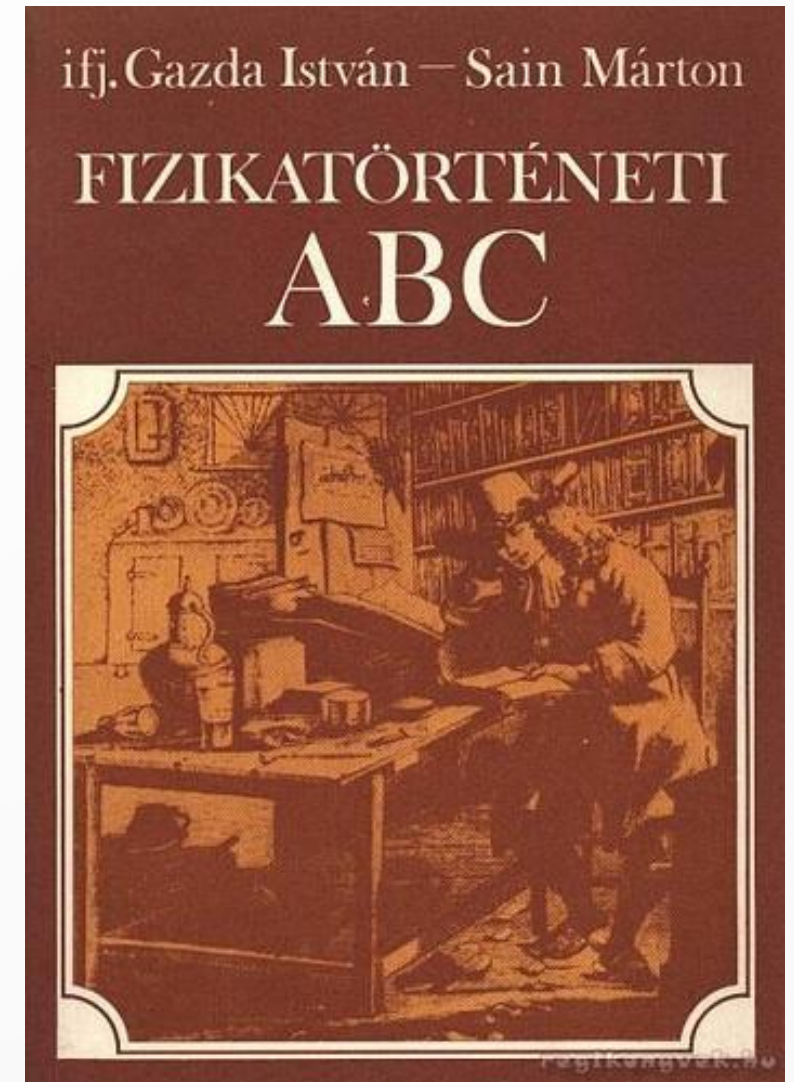
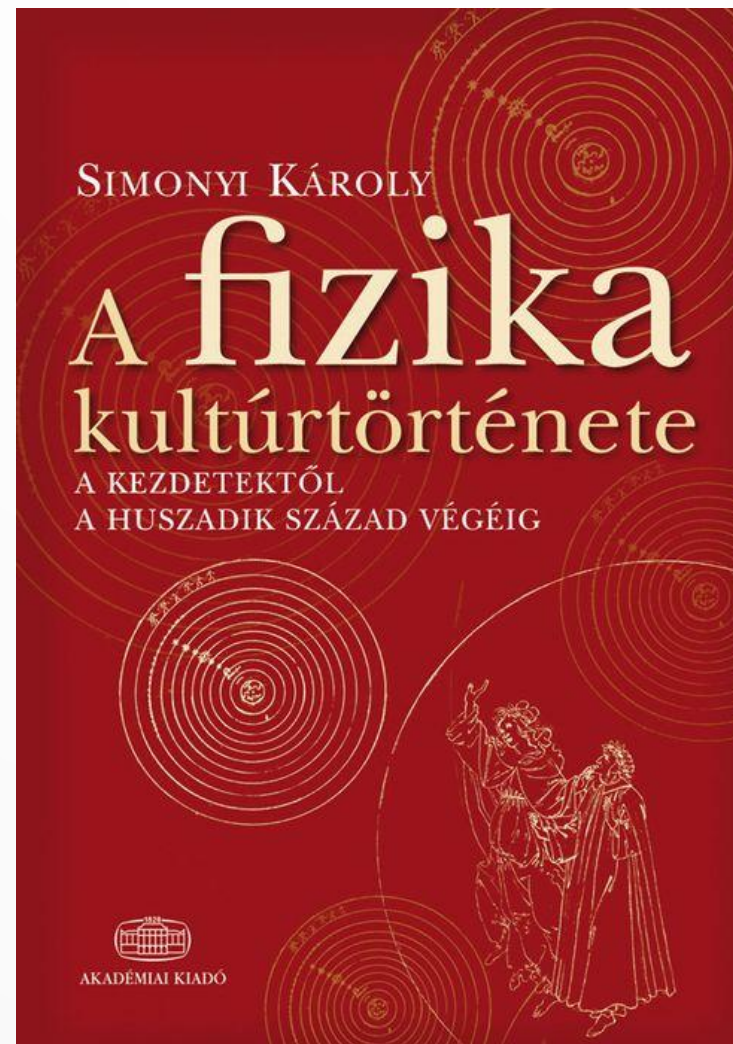
Strong Force

The strong force holds together things that have the same charge. It's stronger than the electromagnetic force, so that's why atoms with multiple protons and neutrons don't fly apart. But most importantly, it holds together the quarks that make up protons and neutrons themselves. Each proton contains two up quarks and one down. Each neutron contains two down quarks and one up.

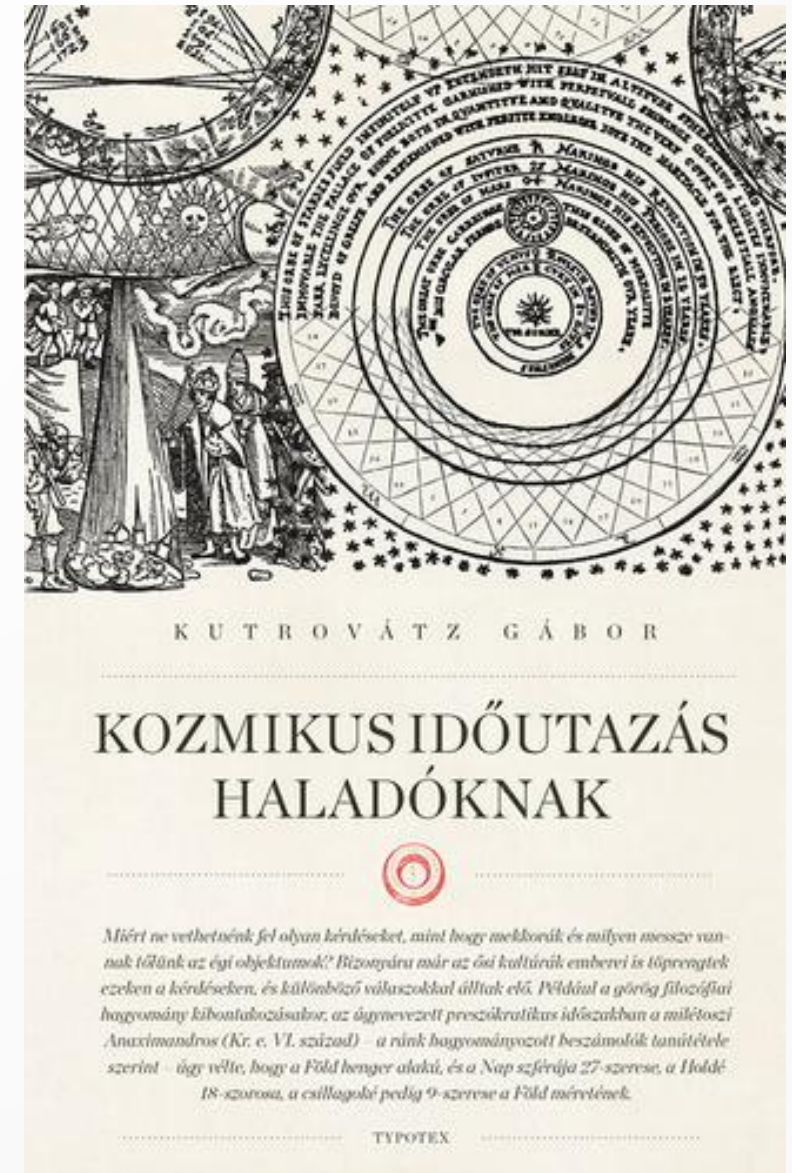
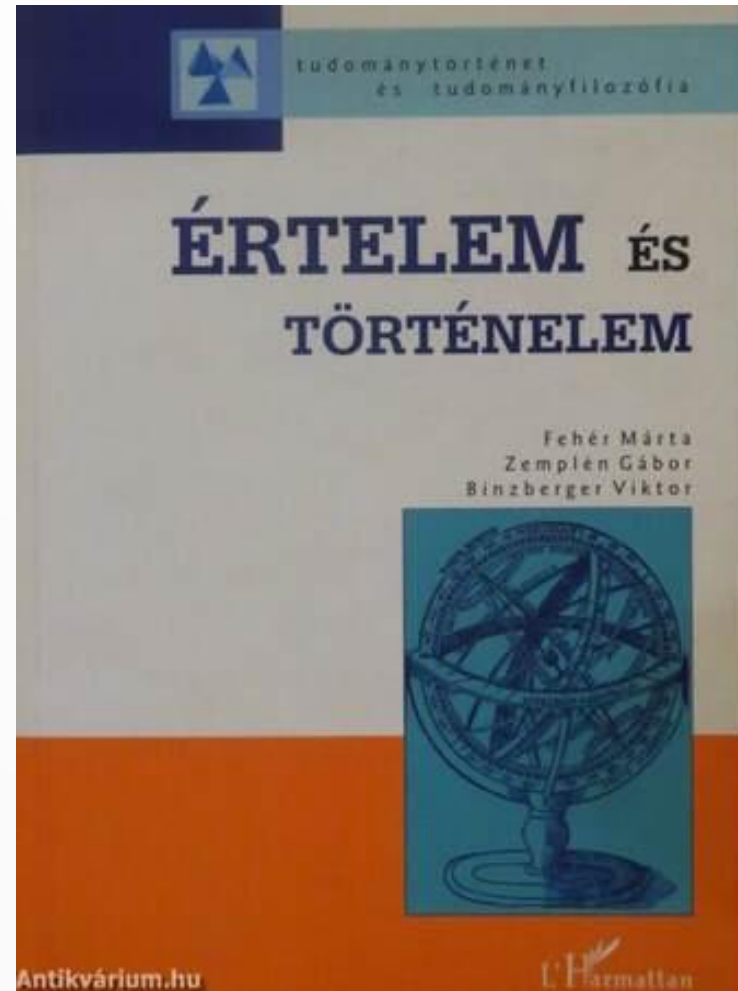
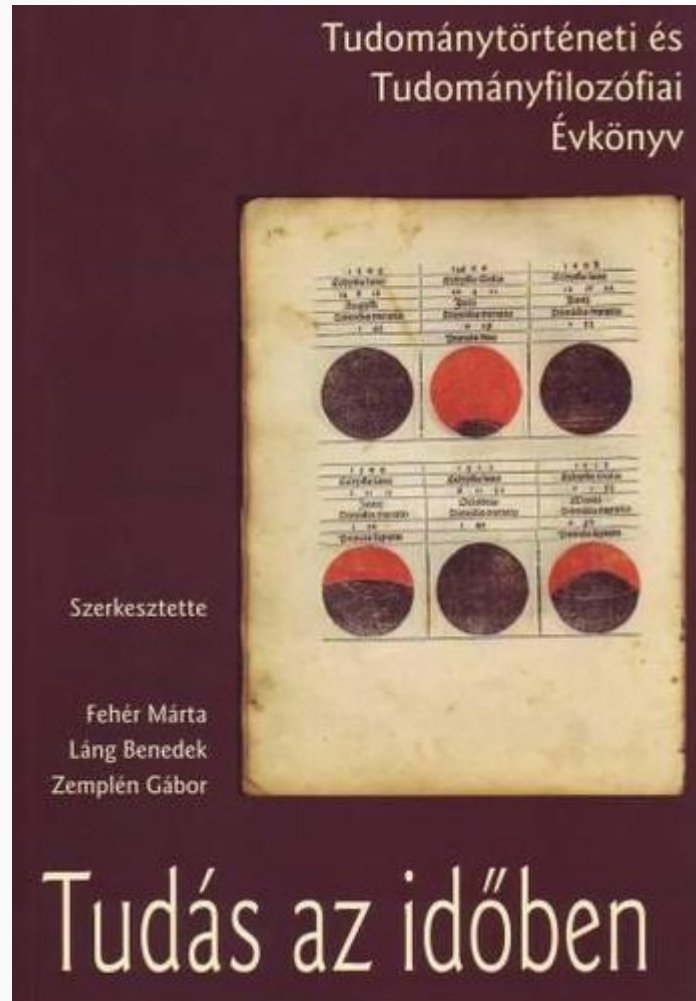


<https://science.nasa.gov/universe/overview/forces/>

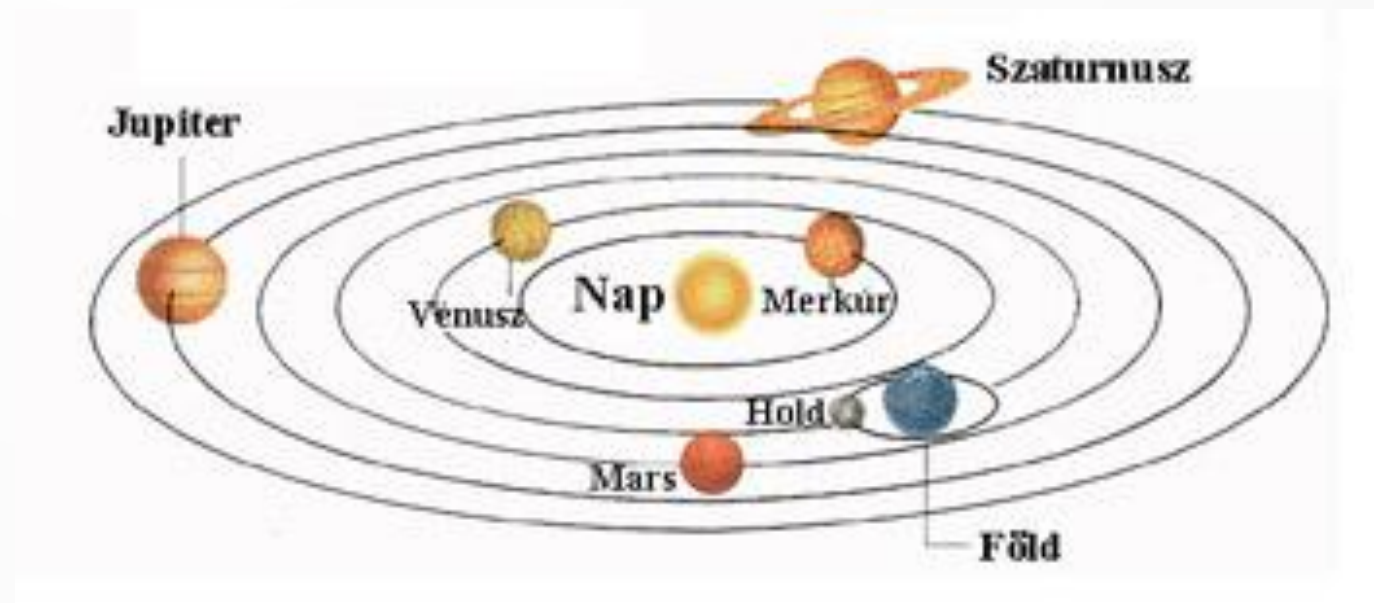
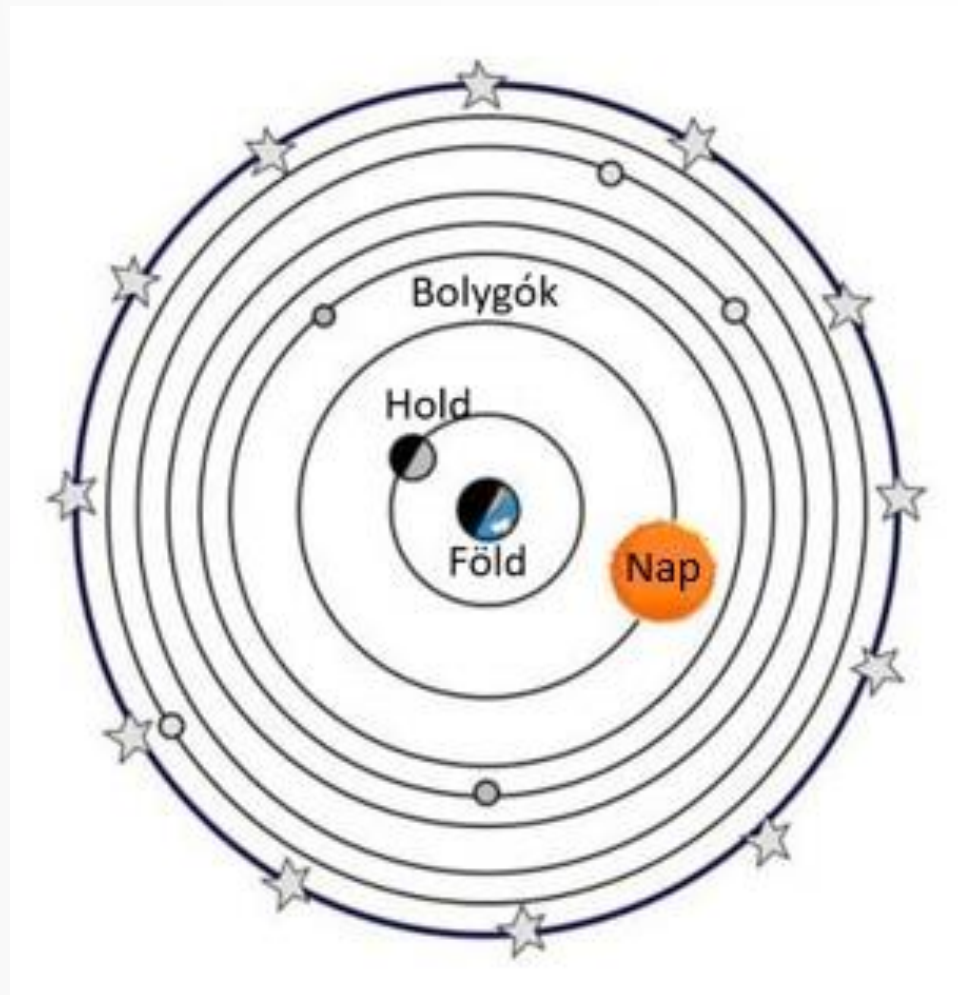
Bevezetés



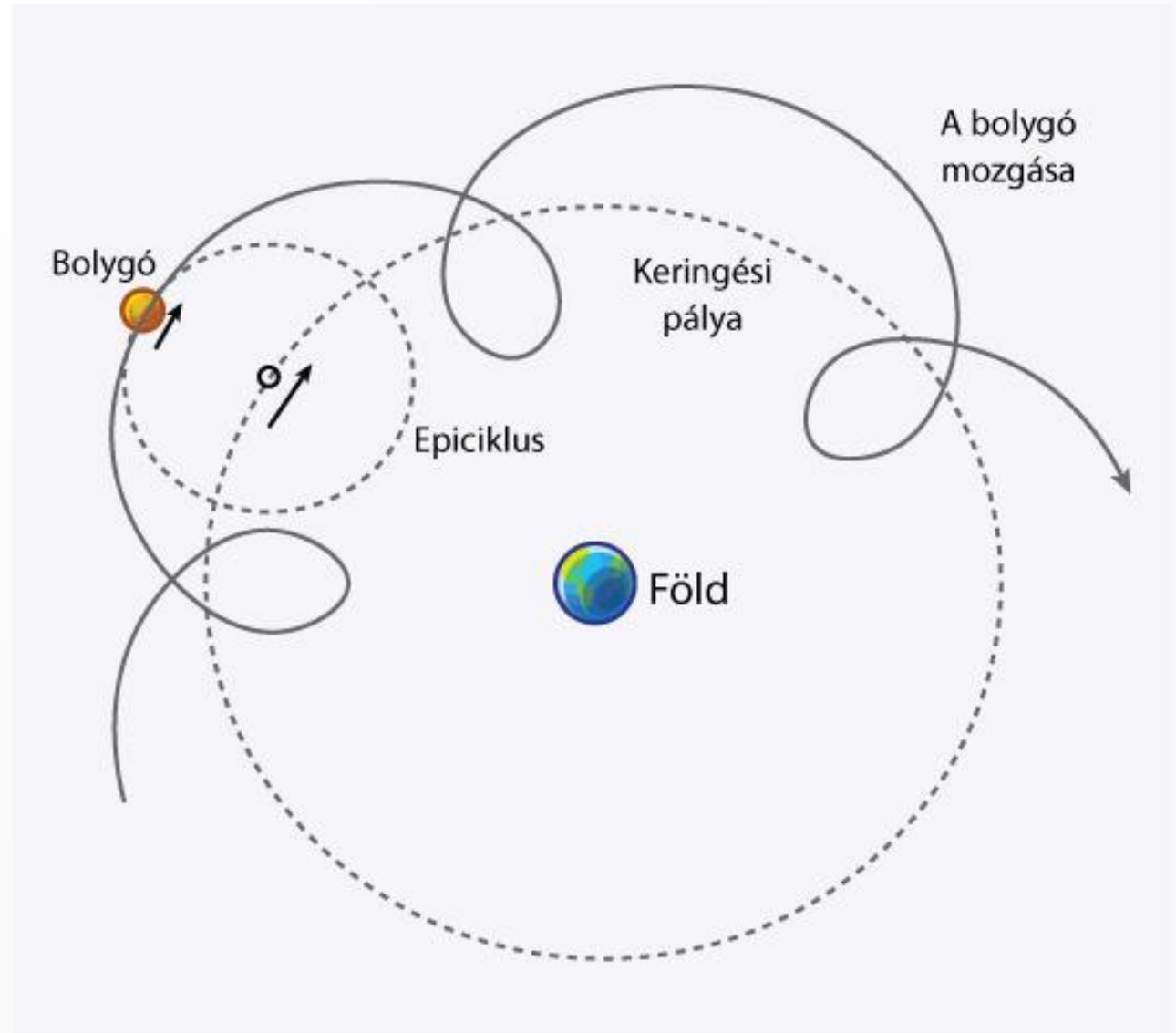
Bevezetés



Bevezetés

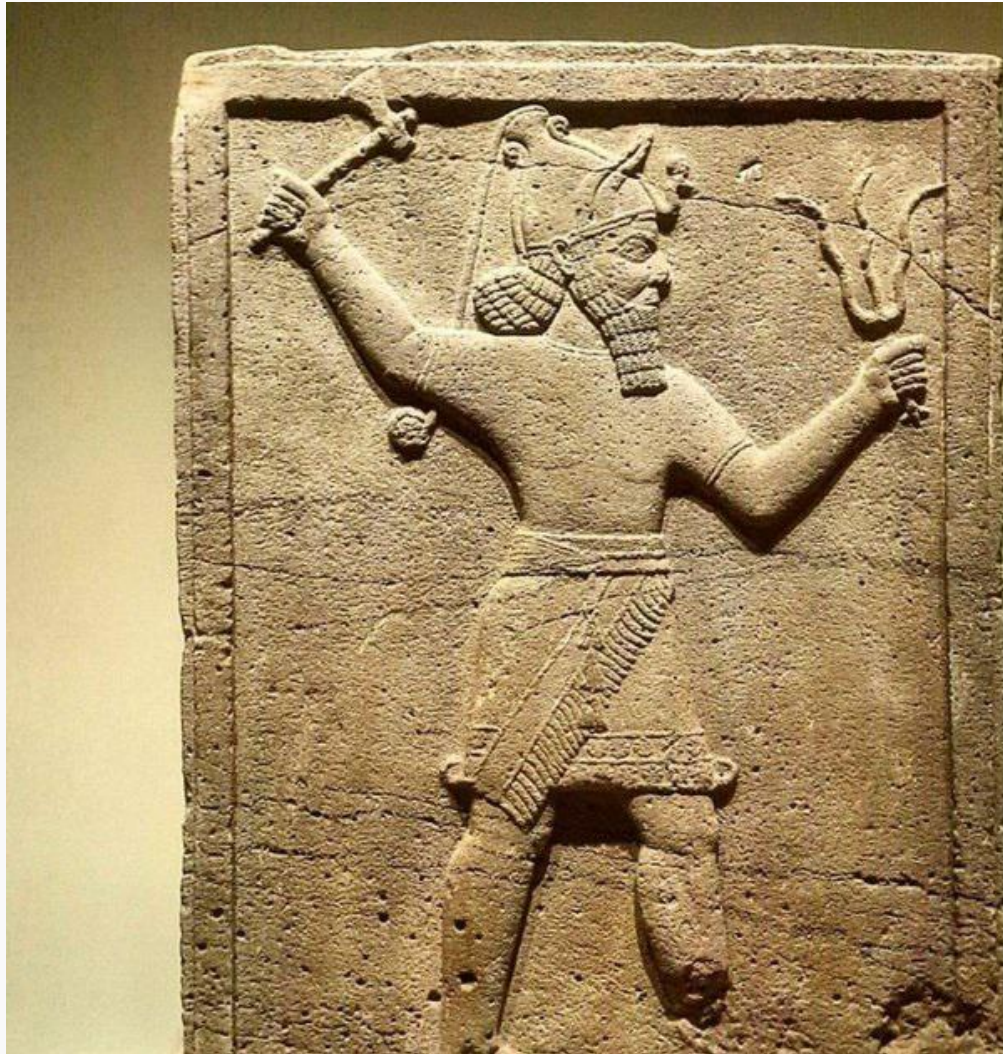


Bevezetés



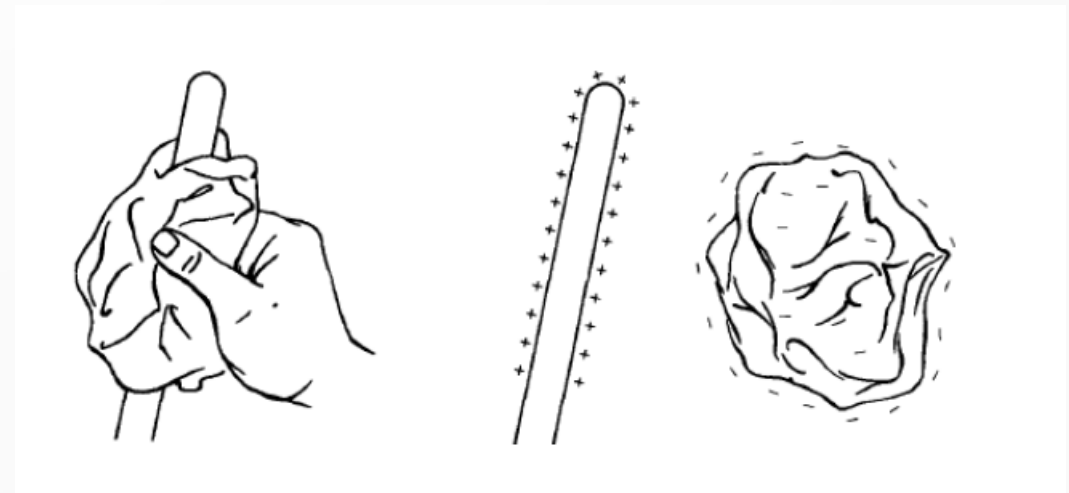
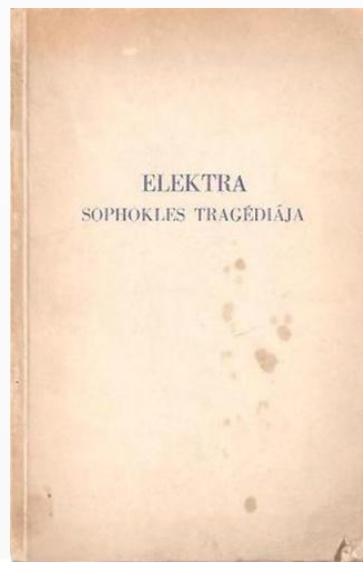
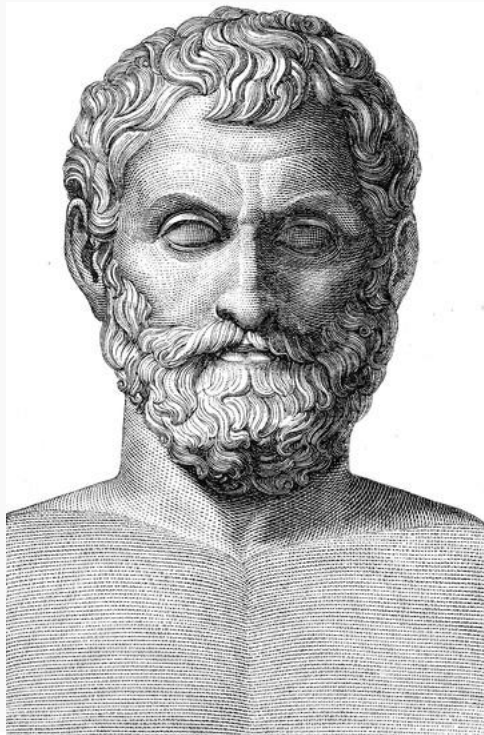
Bevezetés

Az ἤλεκτρον előtt...



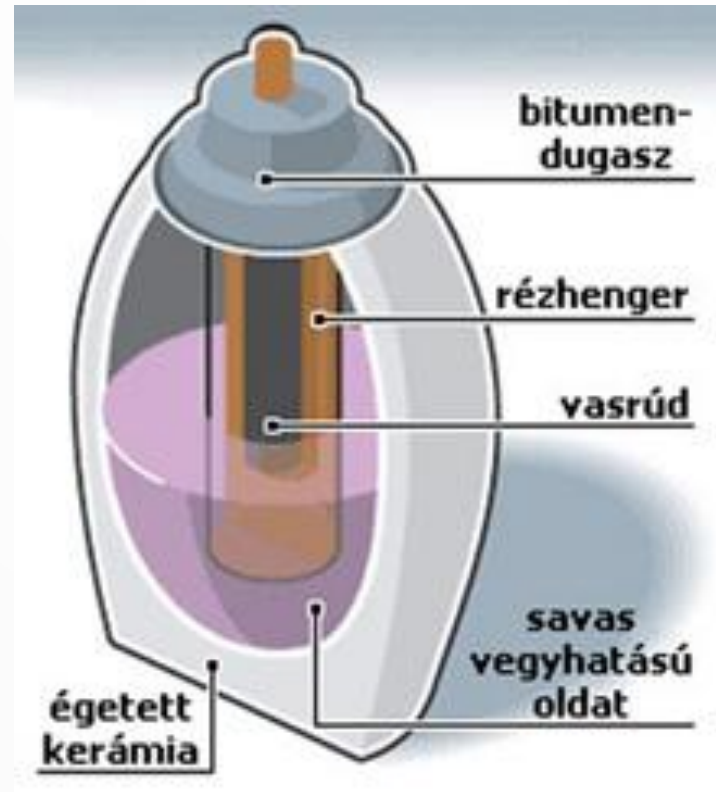
Bevezetés

- Milétoszi Thalész (i.e. 600 körül)
- ἤλεκτρον: borostyán
- Triboelektromosság (dörzselektromosság)



Bevezetés

- Bagdadi „elem”, Kr.e. 3. sz.



- Kínai iránytűk, Kr.e. 4. sz.



Bevezetés

- Arisztotelész: Physica és Organon (Kr.e. 4. sz.).
- Az arisztoteliaiánus (peripatetikus) fizika bő egy évezredig határozta meg a tudományos gondolkozást.

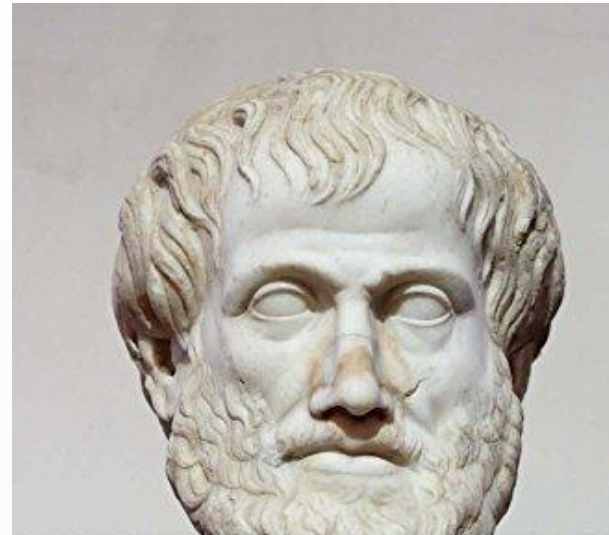
1.3-1 táblázat

A peripatetikus és a newtoni dinamika

Peripatetikus dinamika	Newtoni dinamika
a mozgás fenntartásához hatóerőre van szükség $v \sim F$ ha $F = 0$ akkor $v = 0$; a mozgás: folyamat	a mozgásállapot megváltoztatásához van hatóerőre szükség $\frac{d}{dt} v \sim F$ ha $F = 0$ akkor $v = \text{állandó}$; a mozgás: állapot

Érdemes megvizsgálni a mozgástörvények ma érvényes alakjának ismeretében, hol találkozunk a newtoni dinamika a peripatetikus dinamikával; más szóval a newtoni dinamika milyen közelítő feltevések mellett vezet el a mindennapi élet felszínes mozgástörvényeihez, vagyis éppen a peripatetikus dinamikához.

Tételezzük fel, hogy



ORGANON ARISTOTLE



Aristotle *Physics*

Translated
With Introduction and Notes
By

C. D. C. Reeve

Bevezetés

- Arisztotelész: Physica és Organon (Kr.e. 4. sz.).
- Az arisztoteléanus (peripatetikus) fizika bő egy évezredig határozta meg a tudományos gondolkozást.

Anyagi ok (*causa materialis*): Az az anyag vagy szubsztrátum, amelyből valami létrejön.

Példa: Egy szobor esetén a bronz vagy a kő.

Formai ok (*causa formalis*): A dolog lényege, struktúrája vagy mintája, ami meghatározza, hogy mi az adott dolog.

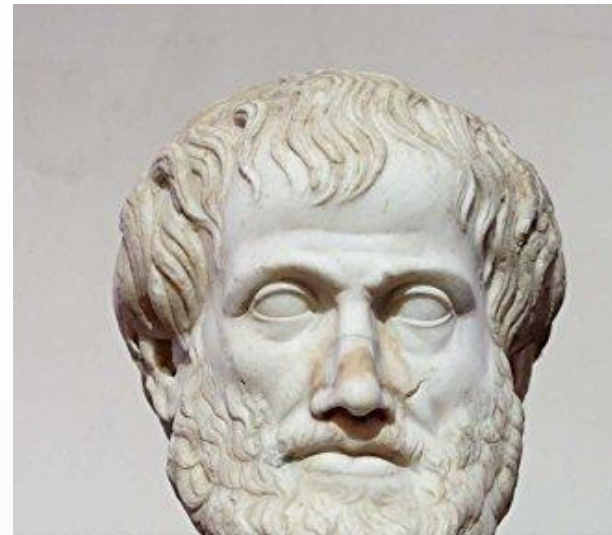
Példa: A szobor formája vagy mintája, amit a művész megvalósít.

Ható ok (*causa efficiens*): A mozgató vagy létrehozó erő, amely a változást elindítja vagy a dolgot létrehozza.

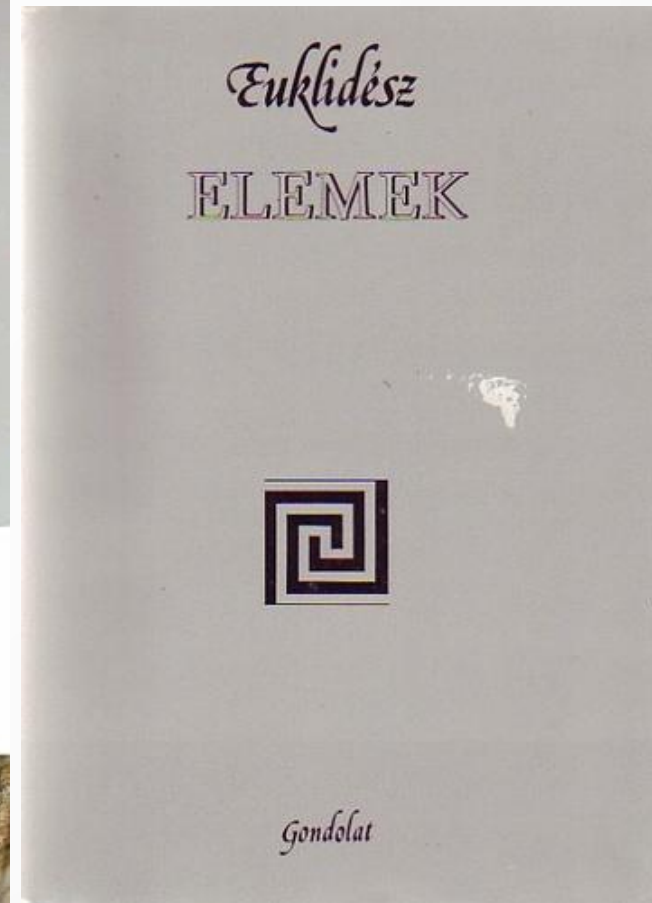
Példa: Maga a szobrász, aki faragja vagy önti a szobrot.

Cél-ok (*causa finalis*): Az a cél vagy rendeltetés, amiért a dolog létrejön (teleológia).

Példa: A szobor elkészítésének a célja (például egy istenség tisztelete vagy a díszítés).

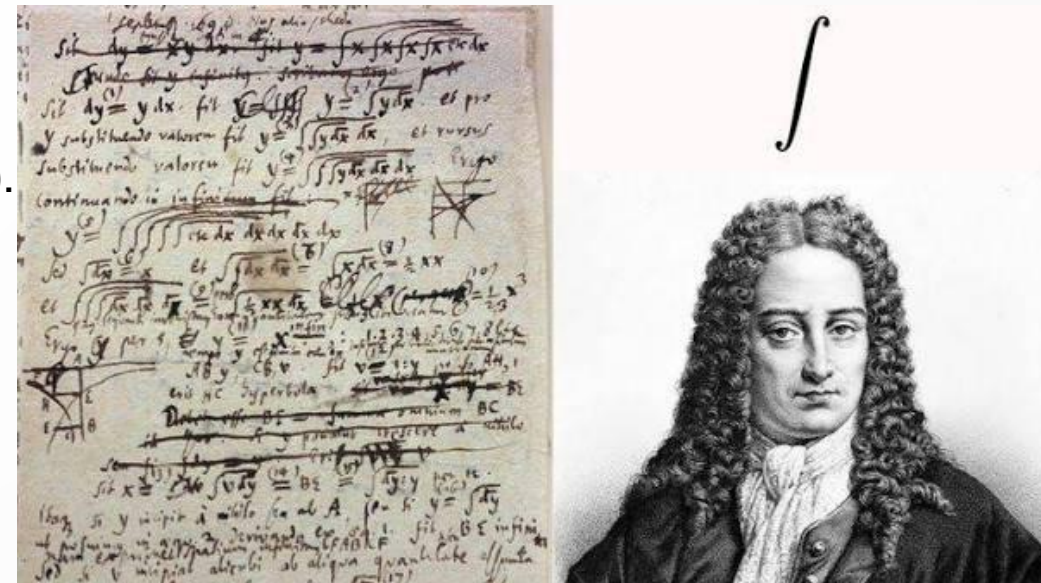
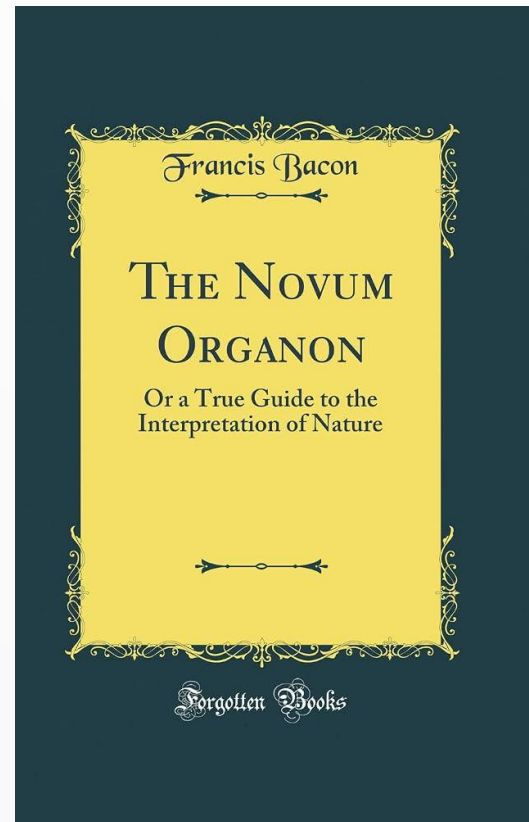
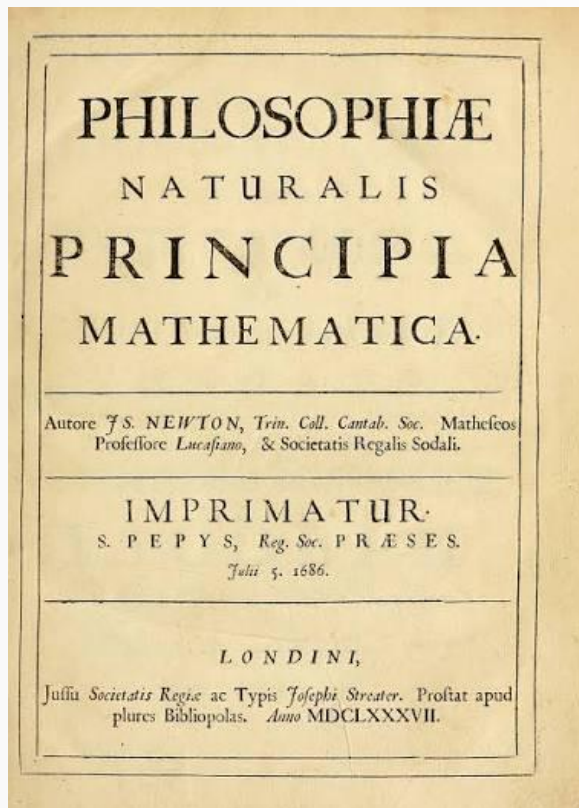


ORGANON
ARISTOTLE

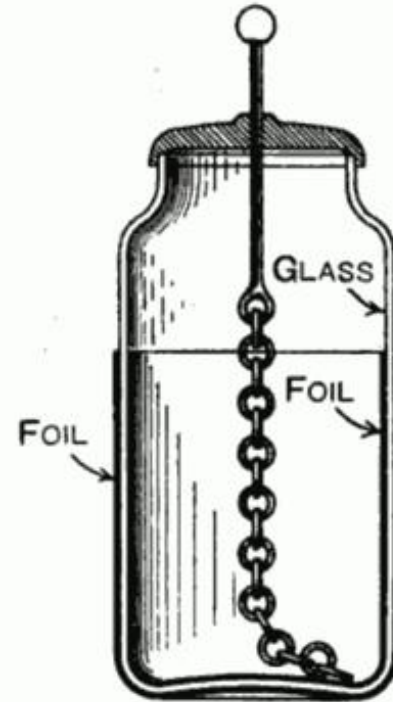


Bevezetés

- Kepler, Kopernikusz (*De revolutionibus*, 1543).
- Francis Bacon (1561–1626) => *Novum Organum* (1620).
- René Descartes (1596–1650) => *Discours de la Méthode* (1637).
- Newton és Leibniz (XVII–XVIII. sz.).
- Newton:
Philosophiæ Naturalis Principia Mathematica (1687).



Bevezetés

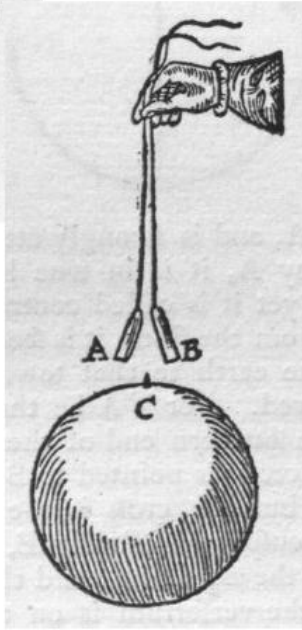
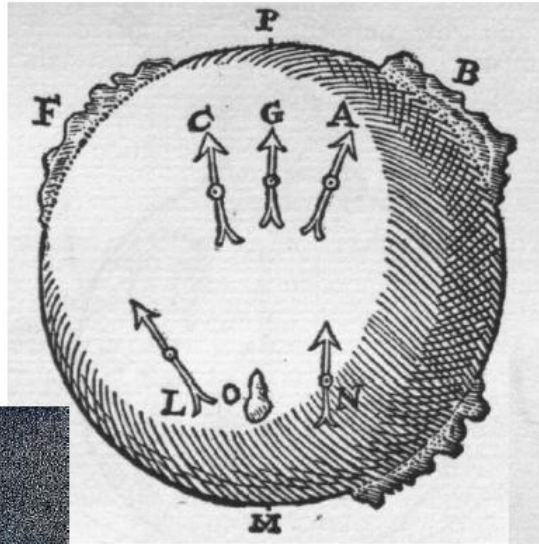


1600	mágneses jelenségek	Gilbert	(1540-1603)	verticitas, attractio Föld = mágnes	Descartes örvényelmélete
1672	dörzelektromos gép	Guericke	(1602-1686)	vonzás, taszítás	
1705-1709	kvalitatív elektrosztatika	Hauksbee	(?-1713)	gázkisülés	
1729		Gray	(1666-1736)	{ influentia, vezetés vezető-szigetelő, felület szerepe kettéféle elektromosság	örvényelmélet
1733		Dufay	(1698-1739)		{ Nollet 1746 affluvium - effluvium
1745		Musschenbroek	(1692-1761)	leideni palack	
1767	kvantitatív elektrosztatika	FRANKLIN	(1706-1790)	{ töltés, + és -, csúcs hatás, villámhárító, töltésmegmaradás influencia magyarázata	{ egy fluidum + atmoszféra
1784		Priestley	(1733-1804)		
		Aepinus	(1724-1802)		
		Cavendish	(1731-1810)		
		COULOMB	(1736-1806)	$F = k \frac{Q_1 Q_2}{r^2}$	{ két fluidum auszárl és boreál (mágneses) + távolhatás
1800	egyenáram	Galvani	(1737-1798)	Volta-oszlop	$\Delta V = -4\pi\rho$
		VOLTA	(1745-1827)		$dB = \frac{idl \times r_0}{r^2}$
		Davy	(1778-1829)		$dF = -i_1 i_2 \frac{ds_1 \times (ds_2 \times r_0)}{r^2}$
1811	áram-mágneses tér	Poisson	(1781-1840)		
1820		Oersted (1777-1851)			
1826		AMPÈRE	(1775-1836)		
1831		Ohm	(1787-1854)	Ohm-törvény	$U_l = - \frac{d\Phi}{dt}$
		FARADAY	(1791-1867)	Faraday-rotáció	
1845	elektromágneses tér	Weber	(1804-1891)		$L_{ik} = \frac{\mu_0}{4\pi} \oint \oint \frac{ds_i ds_k}{r}$
		Neumann	(1798-1895)		$\omega = 1/\sqrt{LC}$
		Thomson	(1824-1907)		$\text{rot. } \mathbf{H} = \mathbf{J} + \frac{\partial \mathbf{D}}{\partial t}$
1864		MAXWELL	(1831-1879)		$v = 1/\sqrt{\epsilon\mu}$
1873					
1886-1888		Hertz	(1857-1894)		
1900					

4.4-1 táblázat
Az elektromágneses jelenségek felfedezésének kronológiája

STEPHEN GRAY élénk levelezésben volt CHARLES FRANÇOIS DE CISTERNAY DUFAYVAL (1698-1739), aki a levezető felismerése volt. DUFAY

Bevezetés



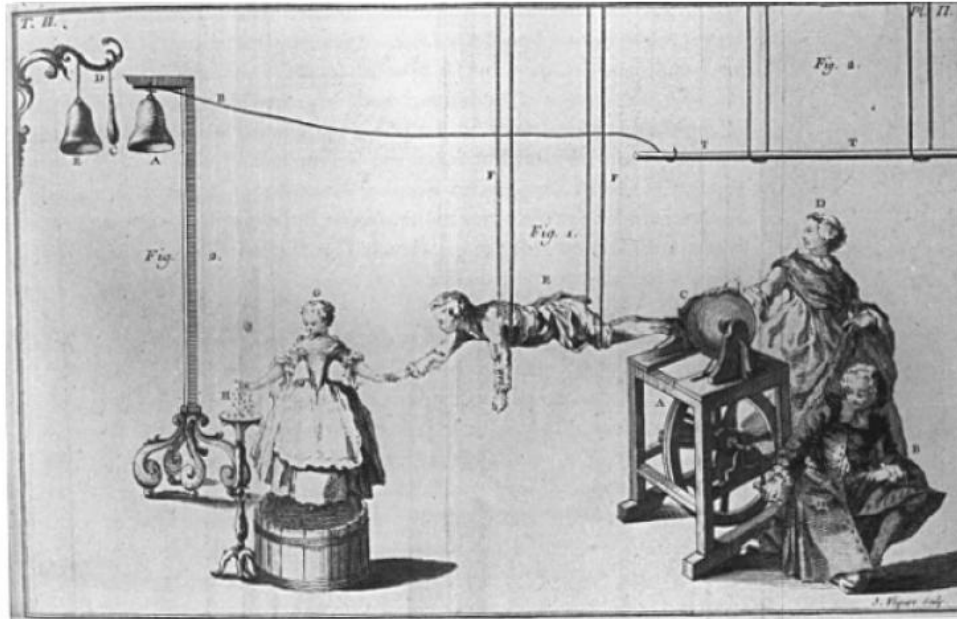
William Gilbert: elektromosság megnevezés + Föld mágneses mezeje (1600)



Bevezetés



Stephen Gray: vezetők és szigetelők megkülönböztetése (1729)



Charles du Fay: kétféle elektromos töltés (1733)

Bevezetés



Benjamin Franklin: villámlás elektromos jellege (1753)



Johan Wilcke: elektrosztatikus indukció
(1763)

Bevezetés

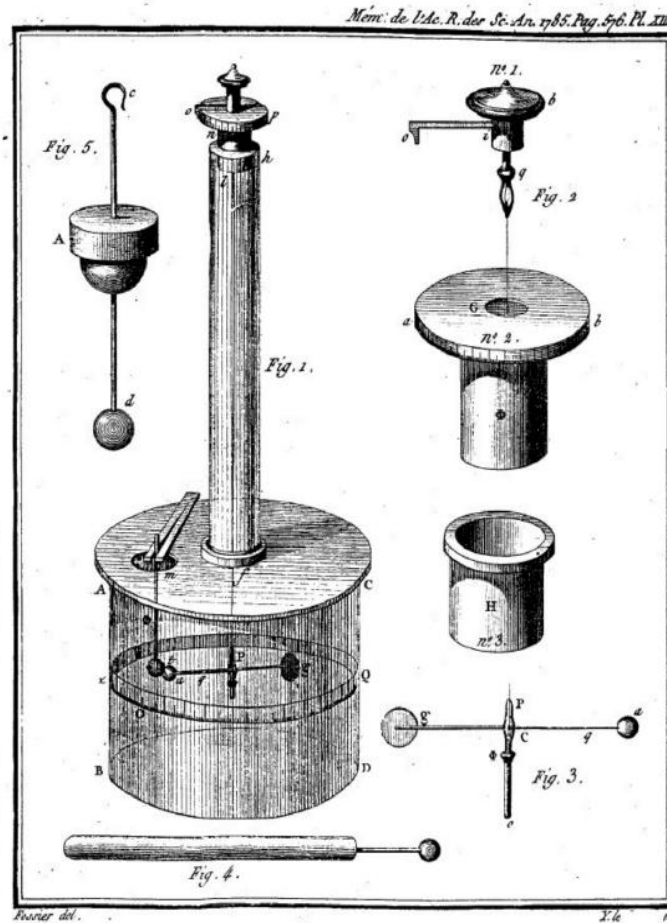
- 1752: Le Monnier: nyugodtnapi légköri elektromos háttértér



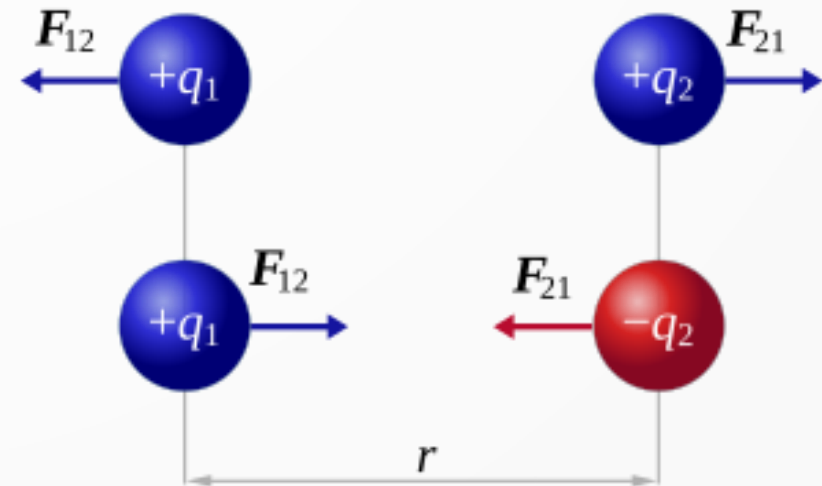
Bevezetés



Charles-Augustin de Coulomb: pontszerű töltések között ható elektromos erő (1785)



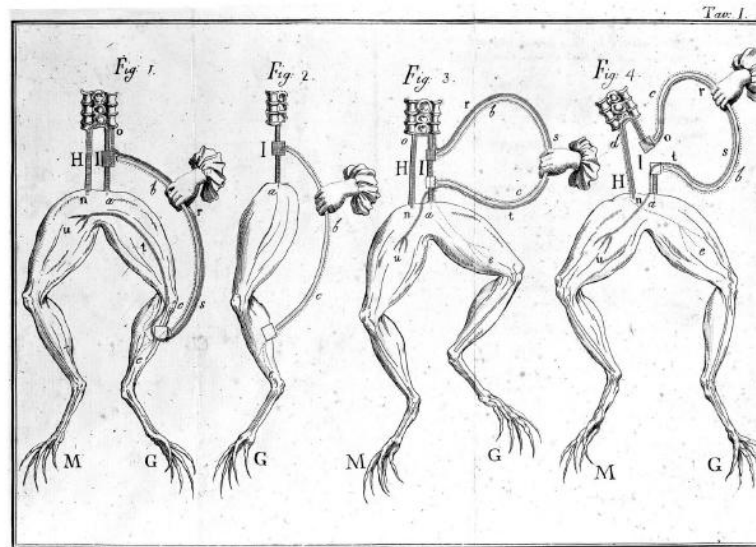
$$\mathbf{F}_1 = \frac{q_1 q_2}{4\pi\epsilon_0} \frac{\hat{\mathbf{r}}_{12}}{|\mathbf{r}_{12}|^2}$$



$$|\mathbf{F}_{12}| = |\mathbf{F}_{21}| = k_e \frac{|q_1 \times q_2|}{r^2}$$

Bevezetés

➤ <https://www.youtube.com/watch?v=cqiaWIIWDIQ>



Luigi Galvani:
Békacomb (1780)

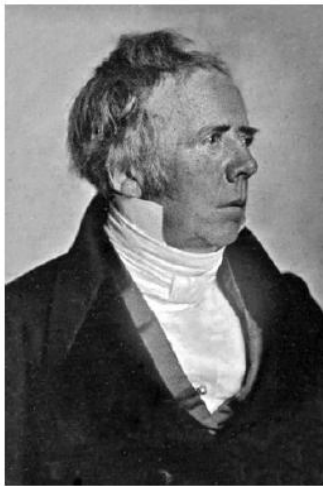
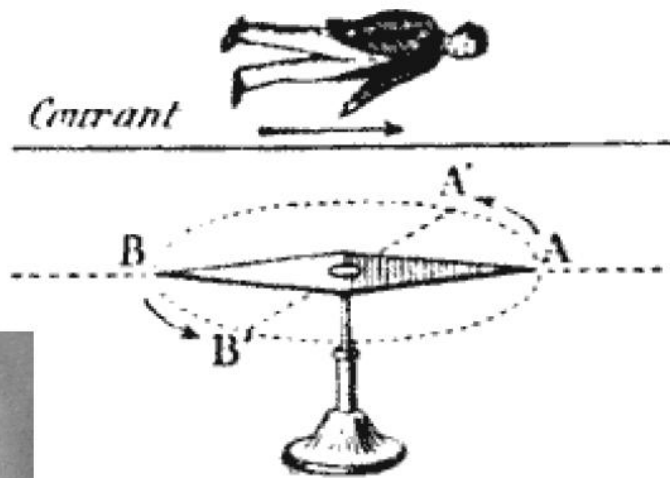
VS



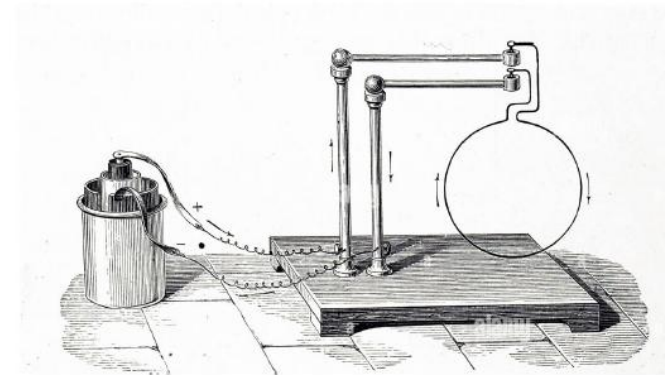
Alessandro Volta:
Volta-oszlop (1799)



Bevezetés

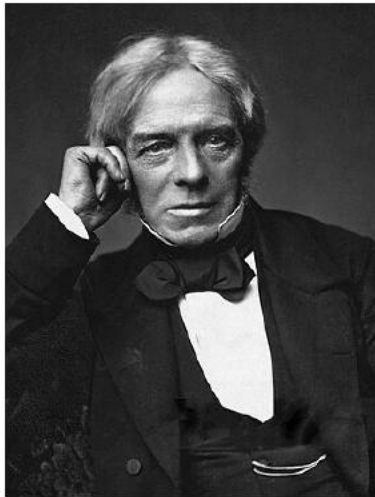
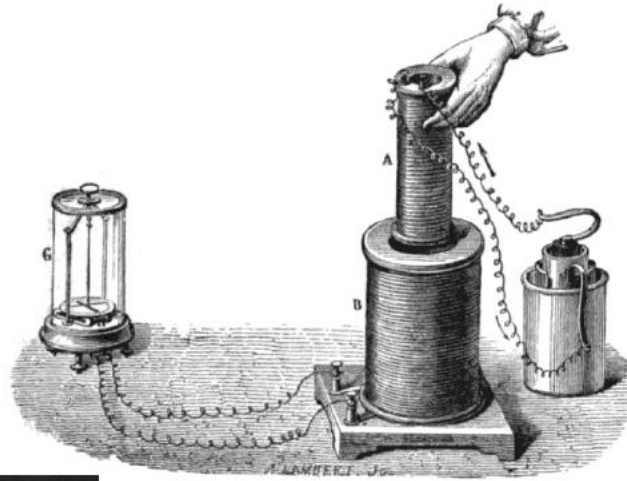


Hans Christian Ørsted: mágnes tűk elfordulnak elektromos áramok hatására (1820)

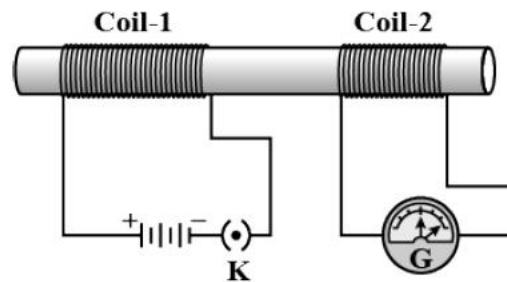


André-Marie Ampère: molekuláris áramok a mágnesesség okai (1822)

Bevezetés



Michael Faraday: időben változó mágneses mező elektromos áramot indukál (1831)



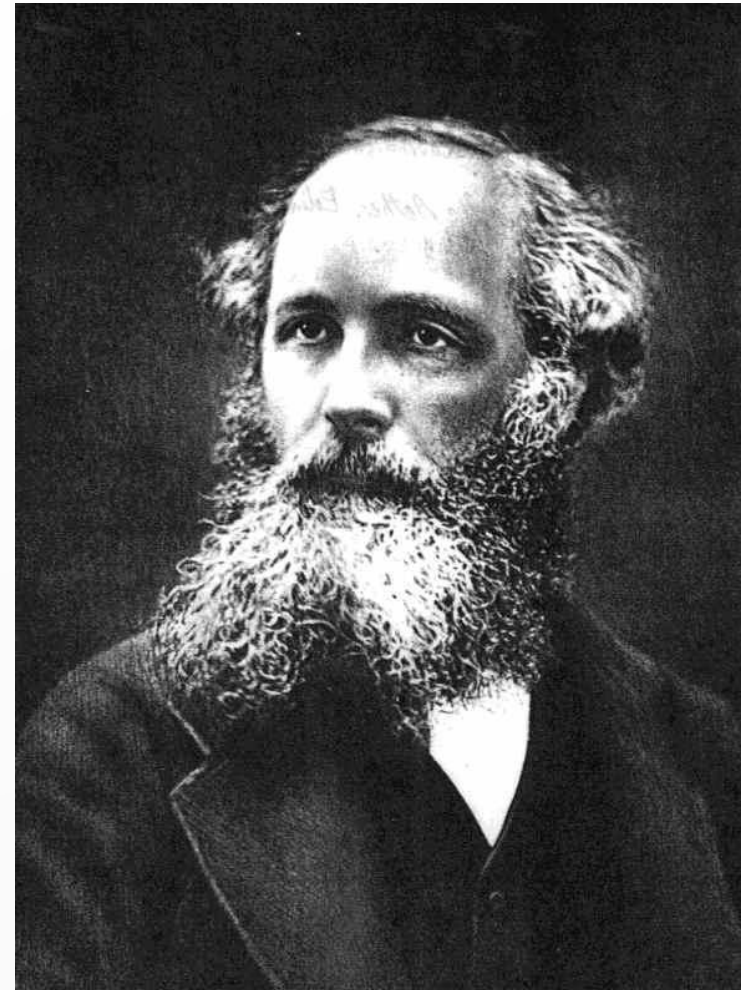
James Clerk Maxwell: elektromágnesesség egyenletei (1861, 1873), elektromágneses fényelmélet (1864).

AND GOD SAID
 $\nabla \cdot \vec{E} = \frac{\rho_e}{\epsilon_0}$
 $\nabla \cdot \vec{B} = 0$
 $\nabla \times \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t}$
 $\nabla \times \vec{B} = \mu_0 \left(\vec{j} + \epsilon_0 \frac{\partial \vec{E}}{\partial t} \right)$
AND THERE WAS LIGHT

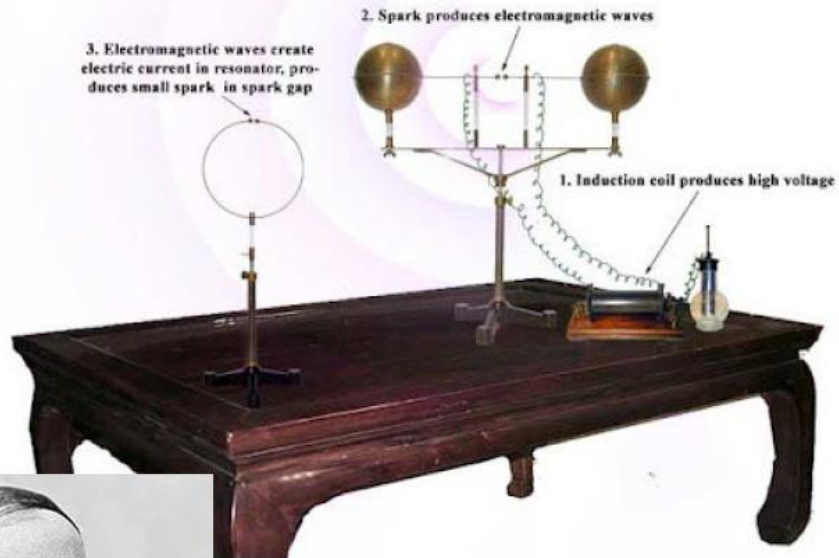
Bevezetés

<https://engineering.purdue.edu/wcchew/ece604f20/maxwell-poems.pdf>

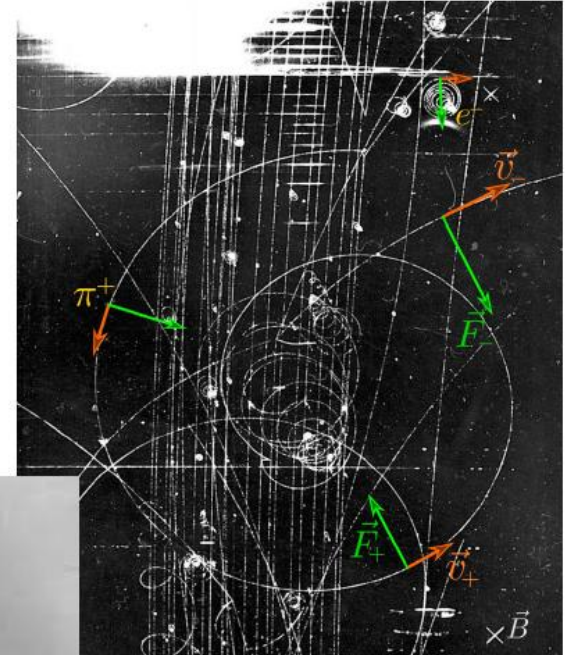
Thair is a knichte rydis through the wood,
And a doughty knichte is tree,
And sure hee is on a message sent,
He rydis see hastilie.
Hee passit the aik, and hee passit the birk,
And hee passit monie a tre,
Bot plesant to him was the saugh sae slim,
For beneath it hee did see
The boniest ladye that ever he saw,
Scho was see schyn and fair.
And there scho sat, beneath the saugh,
Kaiming hir gowden hair.
And then the knichte—"Oh ladye brichte,
What chance hes brought you here,
But say the word, and ye schall gang
Back to your kindred dear."
Then up and spok the Ladye fair—
"I have nae friends or kin,
Bot in a littel boat I live,



Bevezetés



Heinrich Hertz: elektromágneses hullámok kísérleti kimutatása (1887)



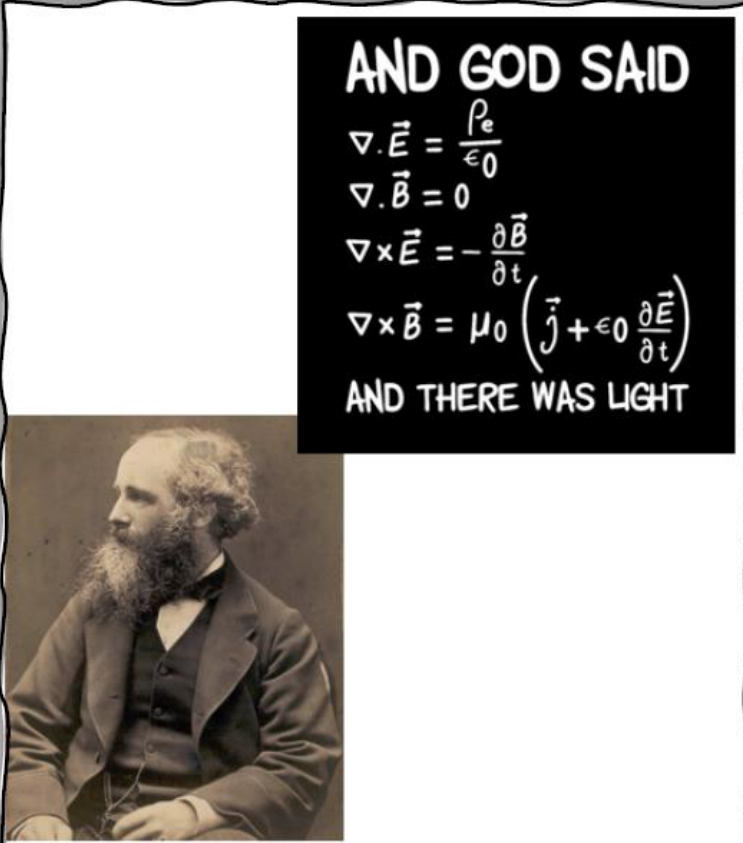
Hendrik Lorentz: Lorentz-erő (1895)

Bevezetés

Cél: Maxwell-elmélet – Elektromágneses tér és hullámok

Jellemzői:

- Makroszkopikus
- Fenomenologikus
- Klasszikus térelmélet → Vektoranalízis
- Relativisztikus



AND GOD SAID

$$\nabla \cdot \vec{E} = \frac{\rho_e}{\epsilon_0}$$
$$\nabla \cdot \vec{B} = 0$$
$$\nabla \times \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t}$$
$$\nabla \times \vec{B} = \mu_0 \left(\vec{j} + \epsilon_0 \frac{\partial \vec{E}}{\partial t} \right)$$

AND THERE WAS LIGHT



James Clerk Maxwell: elektromágnesesség egyenletei (1861, 1873), elektromágneses fényelmélet (1864).