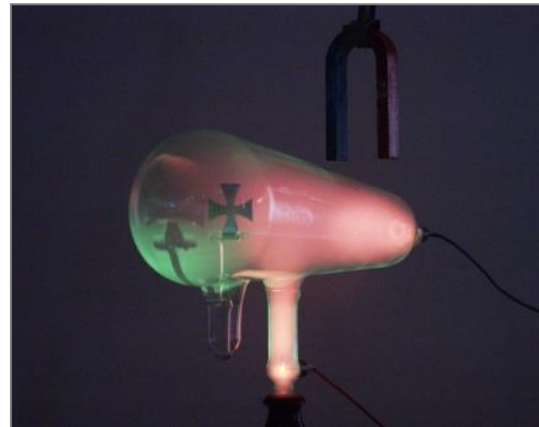
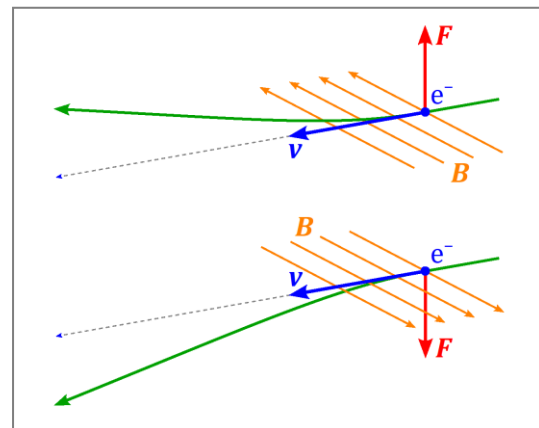


◀	<i>Tartalom</i>	<i>Fogalmak</i>	<i>Törvények</i>	<i>Képletek</i>	<i>Lexikon</i>	▶
---	-----------------	-----------------	------------------	-----------------	----------------	---

A Lorentz-erő

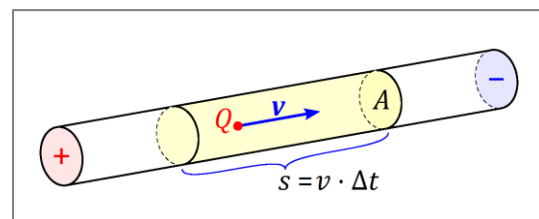


A katódsugárzással kapcsolatban már láttuk, hogy a katódsugarakat alkotó, egyébként egyenes pályán mozgó elektronok mágneses mezőben elhajlanak. A fényképeken megfigyelhető, hogy az indukció irányától függően a fémkereszt árnyéka (és így az elektronok is) az első esetben felfelé, a második esetben lefelé térültek el.



Hasonló jelenség az elektrolitban mozgó ionoknál is megfigyelhető. Eszerint a mágneses mező valójában nem a vezetékre, hanem az abban mozgó, elektromos töltéssel rendelkező részecskékre hat.

A homogén mágneses mezőben mozgó, pontszerű testre ható erő nagysága az előző fejezet alapján levezethető. Jelöljük a v sebességgel mozgó, Q töltésű részecskék által valamely rövid Δt idő alatt megtett utat s -sel! ($s = v \cdot \Delta t$) Ha a vezeték s hosszúságú szakaszában N db részecske van és minden egyes részecskére F erő hat, akkor a vizsgált szakaszra ható erő ezek vektori összege, azaz



$$F_s = N \cdot F. \tag{1}$$

Ugyanez az erő az előző fejezet (1) összefüggése alapján:

$$F_s = I \cdot B \cdot l \cdot \sin \alpha = I \cdot B \cdot s \cdot \sin \alpha = I \cdot B \cdot v \cdot \Delta t \cdot \sin \alpha . \quad (2)$$

Mivel a részecskék Δt idő alatt s utat tesznek meg, ezért az s hosszúságú vezetékszakaszban levő N db, egyenként Q töltésű részecske Δt idő alatt éppen kilép a vezetékszakasz egyik véglapján. (A másik véglapon közben ugyanennyi részecske lép be.) A véglapon áthaladó töltésmennyiség tehát egyrészt $N \cdot Q$, másrészt a töltésmennyiség definícióját felhasználva $I \cdot \Delta t$ alakban is felírható. Ennek alapján:

$$I \cdot \Delta t = N \cdot Q .$$

Ezt a (2) összefüggésbe helyettesítve:

$$F_s = I \cdot B \cdot v \cdot \Delta t \cdot \sin \alpha = N \cdot Q \cdot B \cdot v \cdot \sin \alpha .$$

A bal oldalt az (1) összefüggés alapján átírva:

$$N \cdot F = N \cdot Q \cdot v \cdot B \cdot \sin \alpha .$$

Mindkét oldalt N -nel osztva:

$$F = Q \cdot v \cdot B \cdot \sin \alpha .$$

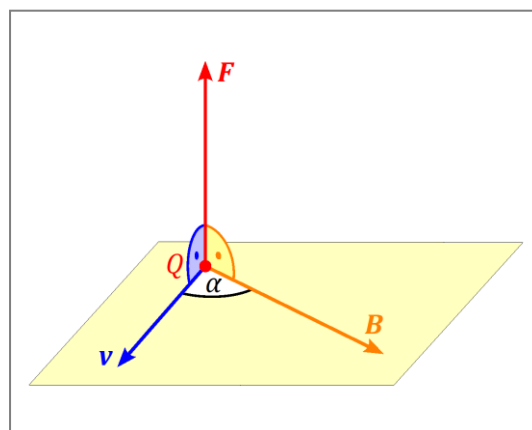
Eszerint, ha a homogén mágneses mezőben az indukcióvonalakkal α szöget bezáró irányba egy Q töltésű, v sebességű részecske mozog, akkor a részecskére ható erő nagysága:

$$F = Q \cdot v \cdot B \cdot \sin \alpha .$$

A megfigyelések szerint ez az erő mindig merőleges a részecske sebességére és az indukcióvonalakra is. Ezt az erőt Lorentz-erőnek nevezzük.

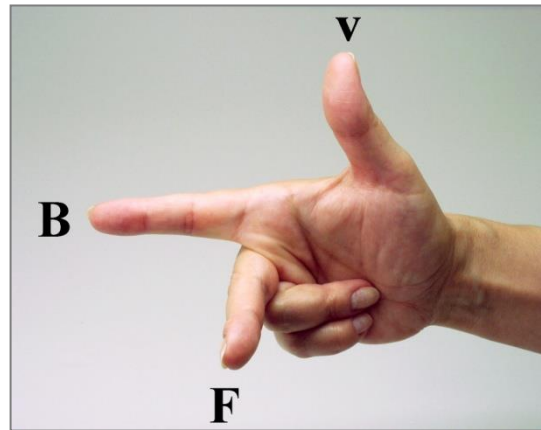
A fentiek alapján belátható, hogy a Lorentz-erő vektoriális szorzat segítségével is felírható:

$$\mathbf{F} = Q \cdot \mathbf{v} \times \mathbf{B} .$$



Kiegészítések

1. A pozitív töltésű részecskére ható Lorentz-erő irányát meghatározó szabály a következő: Ha a jobb kéz hüvelykujja a sebesség irányába, a mutatóujj az indukció irányába mutat, akkor a középső ujjunk az erő irányát mutatja. (A negatív töltésű részecskére ható Lorentz-erő ezzel ellentétes irányú.)

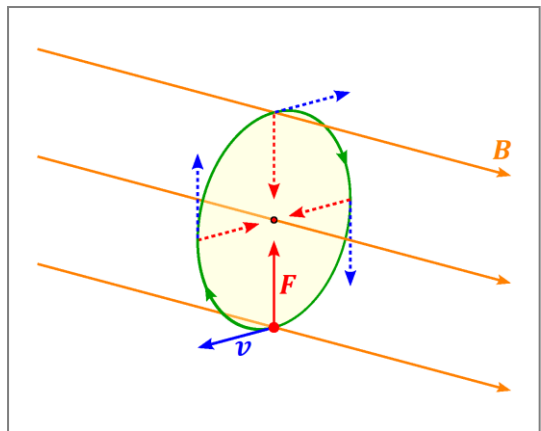


2. Ha homogén mágneses mezőben az állandó nagyságú sebességgel haladó részecske sebessége merőleges az indukcióvonalakra, akkor a Lorentz-erő hatására a részecske pályája kör alakú lesz. Ilyenkor ugyanis az

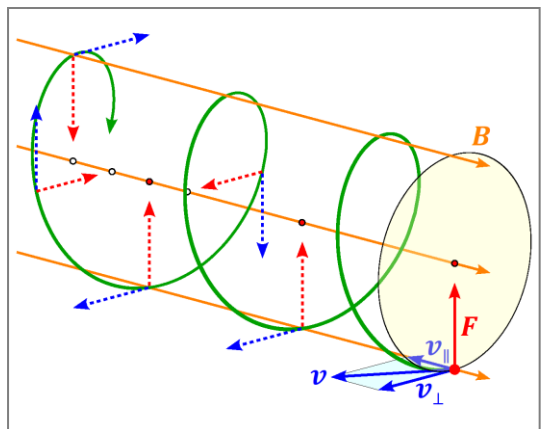
$$F = Q \cdot v \cdot B \cdot \sin 90^\circ = Q \cdot v \cdot B$$

összefüggésnek megfelelően az erő nagysága állandó, iránya pedig minden pillanatban

merőleges a sebességre. *Az átlagsebesség és a pillanatnyi sebesség* című fejezetben láttuk, hogy a pillanatnyi sebesség érintő irányú, az erre merőleges Lorentz-erő tehát sugárirányú, azaz a körpálya középpontja felé mutat.



Ha a sebesség állandó nagyságú, de nem merőleges a homogén mágneses mező indukcióvonalaira, akkor a pálya csavarvonal alakú lesz. A sebesség ugyanis két olyan összetevőre bontható, melyből az egyik merőleges az indukcióvonalakra, a másik pedig azokkal párhuzamos. Az indukcióvonalakra merőleges összetevő



önmagában körpályát hozna létre, de az indukcióvonalakkal párhuzamos sebességkomponens miatt a részecske minden fordulat megtétele közben az

indukcióvonalakkal párhuzamosan is elmozdul. Mindezek eredményeként alakul ki a csavarvonal alakú, spirális pálya.

Ha a sebesség nagysága nem állandó, de merőleges a homogén mágneses mező indukcióvonalaira, akkor egy csigavonal alakú pálya alakul ki. Ha a részecske sebessége csökken, akkor a részecske a csigavonal közepe felé mozog, ha a sebesség nő, akkor a csigavonal külső része felé halad. A dinamika alapegyenlete szerint ugyanis:

$$m \cdot a = Q \cdot v \cdot B.$$

A centripetális gyorsulás kifejezhető a sebességgel és a pálya (pillanatnyi) sugarával, így:

$$m \cdot \frac{v^2}{r} = Q \cdot v \cdot B.$$

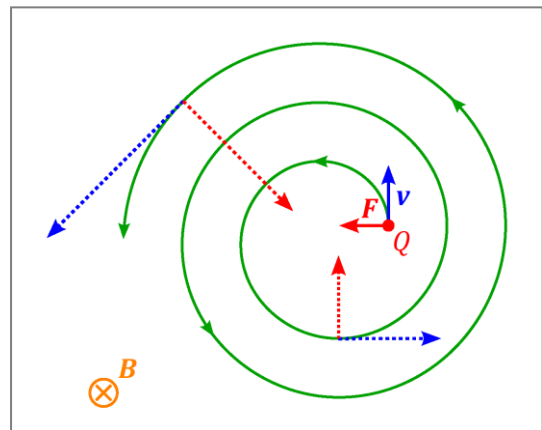
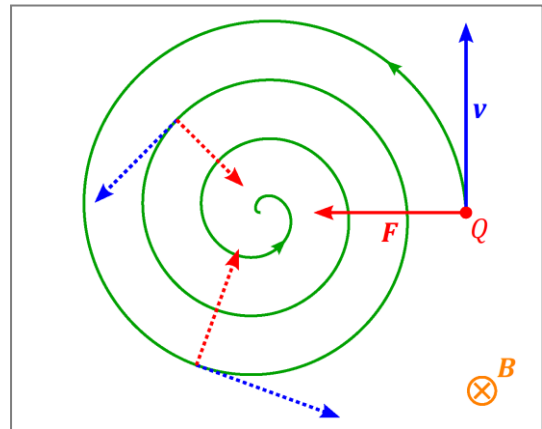
Mindkét oldalt v -vel osztva és átrendezve:

$$m \cdot \frac{v}{r} = Q \cdot B.$$

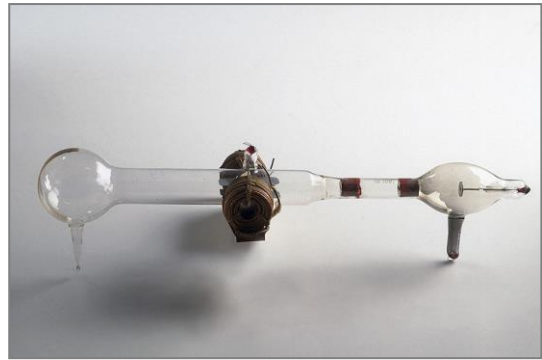
$$\frac{v}{r} = \frac{Q \cdot B}{m} = \text{állandó}.$$

Eszerint a pillanatnyi sebesség és a pálya sugara egyenesen arányosak egymással. A csökkenő sebesség tehát egyre kisebb sugarat, a növekvő sebesség egyre nagyobb sugarat eredményez. (A rajzokon a mágneses indukció a rajz síkjára merőlegesen, befelé mutat, ezt mutatja a \otimes jelölés.)

3. A Lorentz-erő elnevezés Hendrik Antoon *Lorentz* (1853–1928) holland fizikus nevét őrzi. Lorentz „a mágnesesség sugárzási jelenségekre gyakorolt hatásának vizsgálata terén elért” eredményeiért 1902-ben fizikai Nobel-díjat kapott.



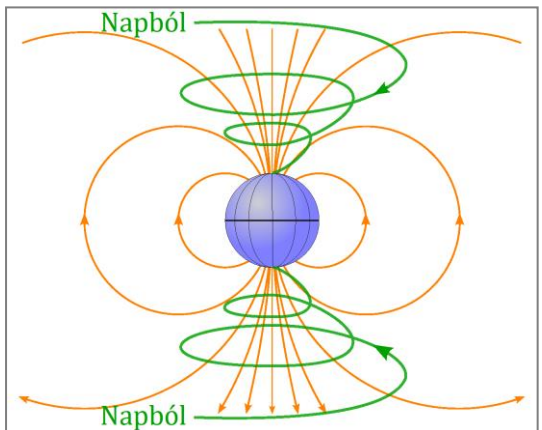
4. A Lorentz-erő és a Coulomb-féle erő okozta eltérések mérése alapján határozta meg 1897-ben Joseph John Thomson (1856–1940) angol fizikus az elektron fajlagos töltését. A fényképen Thomson eredeti katódsugárcsöve látható. Középen, a cső belsejében található az eltérítőlemezek, a csövön kívül pedig az eltérítőtekercesek.



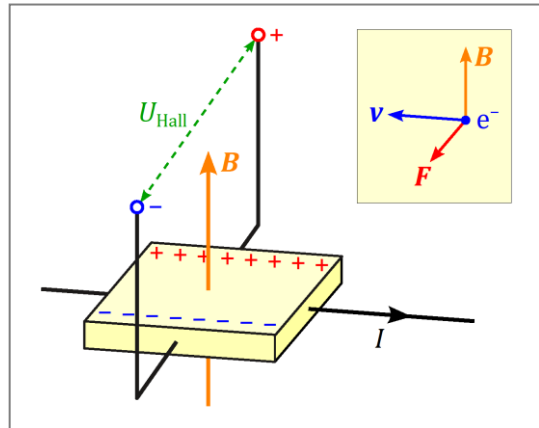
5. A hagyományos (katódsugárcsővel működő) televíziók, monitorok képcsövében a katódsugarat alkotó elektronok a képcső köré helyezett tekercsek mágneses terében a Lorentz-erő hatására eltérülnek. A tekercsek feszültségének megfelelő vezérlésével az elektronok a képernyő kívánt pontjába érkeznek, és annak belső bevonatát fénykibocsátásra készítetik. A tv vagy monitor képernyőjén ezekből a világító képpontokból áll össze a kép.



6. A Föld mágneses mezője a világűrben, elsősorban a Napból érkező elektromosan töltött részecskéket eltéríti. A részecskék többsége így a viszonylag gyéren lakott sarkvidéki területeken éri el a földfelszínt. Ezáltal a földi mágneses mező a kozmikus sugárzás káros hatását jelentősen mérsékli. A Napból érkező és a sarkok felé eltérített, nagy sebességű részecskék (elsősorban protonok és elektronok) a felső légkörben (jellemzően 90–150 km magasan) az atomokkal ütköznek, és ezzel fénykibocsátásra készítetik őket. Így jön létre a sarkvidékeken megfigyelhető sarki fény.



7. Ha egy vékony vezetőlemezen, amely a síkjára merőleges mágneses mezőben van, a rajz szerint hosszirányban áram halad át, akkor a lemeznek az áramiránnyal párhuzamos két oldala között feszültség keletkezik. Ezt a jelenséget 1879-ben fedezte fel Edwin Herbert *Hall* (1855–1938) amerikai fizikus, ezért tiszteletére *Hall-hatásnak* (Hall-effektusnak) nevezik. A jelenség során keletkező feszültséget *Hall-feszültségnek* hívják. A mérések szerint a Hall-feszültség fémekben nagyon kicsi, félvezetőkben azonban jelentős lehet.



A Hall-effektus oka, hogy mágneses mezőben a mozgó töltéshordozók (fémekben és n-típusú félvezetőben az elektronok, p-típusú félvezetőben a lyukak) a Lorentz-erő hatására letérnek egyenes vonalú pályájukról, és így az egyik oldalon több, a másikon kevesebb lesz belőlük. Erősebb mágneses térben a Lorentz-erő is nagyobb lesz, emiatt a Hall-feszültség egyenesen arányos a mágneses indukció nagyságával. A Hall-feszültséget megmérve következtetni lehet a mágneses indukcióvektor nagyságára.

Az okostelefonok többsége tartalmaz Hall érzékelőket (Hall-szenzorokat), és így megfelelő program segítségével az okostelefon indukciómérő műszerként, illetve iránytűként is használható. (A képeken látható telefonon a *Physics Toolbox Sensor Suite* applikáció magyar változata fut, amely a




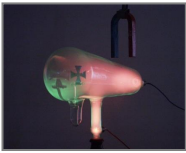
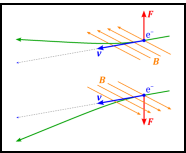
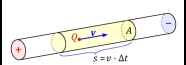
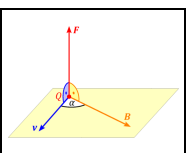
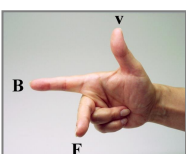
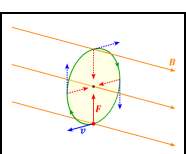
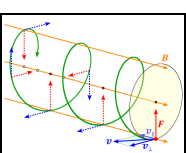
GooglePlay áruházból ingyenesen letölthető: <https://play.google.com/store/apps/details?id=com.chrystianvieyra.physicstoolboxsuite&hl=hu&gl=US>.)

Egyes számítógép-billentyűzetek szintén Hall-érzékelőket tartalmaznak. Minden billentyű alján egy parányi mágnes van, és a billentyűk alatti Hall-érzékelők a gomb lenyomásakor a mágneses indukció változását érzékelik.

Kísérlet

Közelítsünk egy kis mágnest egy működő, hagyományos (katódsugárcsőves) monitor vagy tévé képernyőjének közepéhez! Figyeljük meg a képernyőn bekövetkező változást! (Ha a változás maradandó, az eszköz néhányszori ki-be kapcsolásával általában megszüntethető. Ha ez sem segít, akkor a mágnest helyezzük ismét a képernyő közelébe, majd folyamatos forgatása közben nagyon lassan távolítsuk el tőle!) Magyarázzuk meg a látottakat!

Képek jegyzéke

	<p>Katódsugárcső működés közben mágnessel W https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Katódsugarak_mágnesesmezőben(3).jpg</p>
	<p>Katódsugárcső működés közben megfordított mágnessel W https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Katódsugarak_mágnesesmezőben(4).jpg</p>
	<p>Katódsugarak eltérése mágneses mezőben © http://www.fizikakonyv.hu/rajzok/0523.svg</p>
	<p>Rajz a Lorentz-erő levezetéséhez © http://www.fizikakonyv.hu/rajzok/0524.svg</p>
	<p>A Lorentz-erő iránya © http://www.fizikakonyv.hu/rajzok/0525.svg</p>
	<p>A Lorentz-erő iránya jobbkézszabály alapján © http://fizkapu.hu/fizfoto/fotok/fizf0179.jpg</p>
	<p>Körpálya kialakulása homogén mágneses mezőben © http://www.fizikakonyv.hu/rajzok/0526.svg</p>
	<p>Csavarvonal alakú pálya kialakulása homogén mágneses mezőben © http://www.fizikakonyv.hu/rajzok/0527.svg</p>

	<p>Csigavonal alakú pálya kialakulása homogén mágneses mezőben © http://www.fizikakonyv.hu/rajzok/0528.svg</p>
	<p>Csigavonal alakú pálya kialakulása homogén mágneses mezőben © http://www.fizikakonyv.hu/rajzok/0529.svg</p>
	<p>Lorentz arcképe W https://commons.wikimedia.org/wiki/File:H_A_Lorentz_(Nobel).jpg</p>
	<p>Thomson katódsugárcsőve W https://commons.wikimedia.org/wiki/File:J_J_Thomsons_cathode_ray_tube_with_magnet_coils,_1897._(9663807404).jpg</p>
	<p>Monitor katódsugárcsőve az eltérítőtekerccsekkel © http://fizkapu.hu/fizfoto/fotok/fizf0157.jpg</p>
	<p>A sarki fény kialakulása © http://www.fizikakonyv.hu/rajzok/0530.svg</p>
	<p>Sarki fény Kanadában (háttérben a Göncölszekér és a Sarkcsillag) W https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Northern_Lights._Taken_in_St._Andrews,_Manitoba_(502234)_(16540192026).jpg</p>
	<p>A Hall-effektus magyarázata © http://www.fizikakonyv.hu/rajzok/0531.svg</p>
	<p>Mágneses indukció mérése okostelefonnal © http://fizkapu.hu/fizfoto/fotok/fizf1046.jpg</p>



Okostelefonon működő iránytű applikáció

© <http://fizkapu.hu/fizfoto/fotok/fizf1047.jpg>

Jelmagyarázat:

© **Jogvéde**tt anyag, felhasználása csak a szerző (és az egyéb jogtulajdonosok) írásos engedélyével.

W A *Wikimedia Commons*-ból származó kép, felhasználása az eredeti kép leírásának megfelelően.