

A mozgó mágnesrúd mágneses tere időben nem állandó. Ez a változó mágneses tér és a gyűrű saját áramának mágneses tere a gyűrűben feszültséget indukál, melynek nagysága:

$$(1) \quad U_t = \frac{d\Phi_M}{dt} + \frac{d\Phi_G}{dt},$$

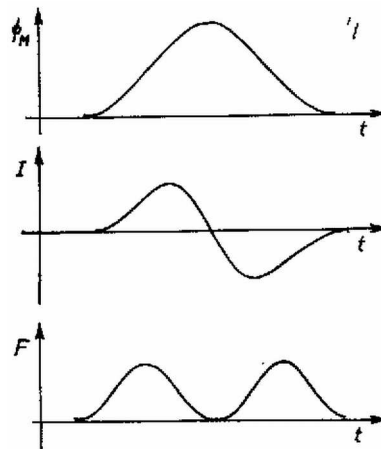
ahol  $\Phi_M$  a mágnesrúd terének,  $\Phi_G$  a gyűrű árama által keltett mágneses térnek a fluxusa. (Az összeg második tagját általában önindukciós feszültségnek nevezik.) Az indukált áram nagyságát Ohm törvénye szerint az

$$(2) \quad U_i = I \cdot R$$

egyenletből határozhatjuk meg, ha  $R$  a gyűrű ellenállása. Ha  $R$  elég nagy, akkor a keletkező áram kicsi lesz, és ezért annak mágneses terét a mágnesrúd tere mellett elhanyagolhatjuk. Ebben a közelítésben a gyűrű áramának nagyságát közvetlenül a mágnesrúd fluxusának időbeli változása szabja meg az

$$I = \frac{I}{R} \cdot \frac{d\Phi_M}{dt}$$

összefüggés szerint. Az 1. ábrán szematikusan feltüntettük a mágneses fluxust, a gyűrű áramát és a mágnesrúdra ható erőt az idő függvényében.



1. ábra

A közeledő mágnesrúd által indukált áram tere taszítja a mágnesrudat. Abban a  $t_0$  pillanatban, amikor a rúd közepe átmegy a gyűrű síkján, a fluxus maximális, de időben állandó, ezért az áram és az erőhatás nulla. A távolodó mágnes terének fluxusa csökken, ami az előbbivel ellentétes irányú áramot hoz létre, és ennek mágneses tere vonzza a rudat.

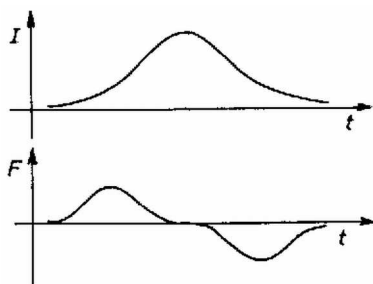
Végeredményben a mágnesrúd gyorsulása a  $t_0$  időpont kivételével kisebb a nehézségi gyorsulásnál.

*Katus Gábor* (Bp., Apáczai Csere J. Gyak. Gimn., III. o, t.)

*Megjegyzés.* Alapvetően más a helyzet, ha a gyűrű ellenállása olyan kicsi, hogy az árama által keltett fluxust nem lehet elhanyagolni. Szélső esetben (szupravezető gyűrű)  $R = 0$ , és a folyamatot leíró egyenlet (1) és (2) összevetéséből:

$$\frac{d\Phi_M}{dt} + \frac{d\Phi_G}{dt} = 0, \text{ tehát } \Phi_M + \Phi_G = \text{const.}$$

Látható, hogy a gyűrűben éppen olyan áram keletkezik, hogy annak fluxusa a mágnesrúd fluxusának változását kompenzálja. Az áram iránya végig változatlan, ezért a rudat a gyűrű egész idő alatt taszítja. A 2. ábrán látható a gyűrű árama és a mágnesrúdra ható erő az idő függvényében, ha feltesszük, hogy amikor a rúd a gyűrűtől távol van, akkor árama nulla. (A fluxust nem ábrázoltuk, mert ebben az esetben azonosan nulla.)



2. ábra

Tehát a mágnesrúd gyorsulása kezdetben kisebb, később nagyobb, mint a nehézségi gyorsulás.

Ez az utóbbi példa mutatja, hogy Lenz törvényének automatikus alkalmazása („a mágnesrúd gyorsulása kisebb  $g$ -nél, mert az indukált áram akadályozza az őt létrehozó hatást”) nem mindig ad helyes eredményt.

Érdemes megvizsgálni az energiaviszonyokat. Ha a gyűrű ellenállása nagy, akkor a nehézségi erő munkája részben joule hővé alakul, és a mágnesrúd számára elvész. Ha  $R = 0$ , akkor az előbbi munkavégzés a gyűrű mágneses terének felépítésére fordítódik, és később a rúd ezt az energiát visszakapja.