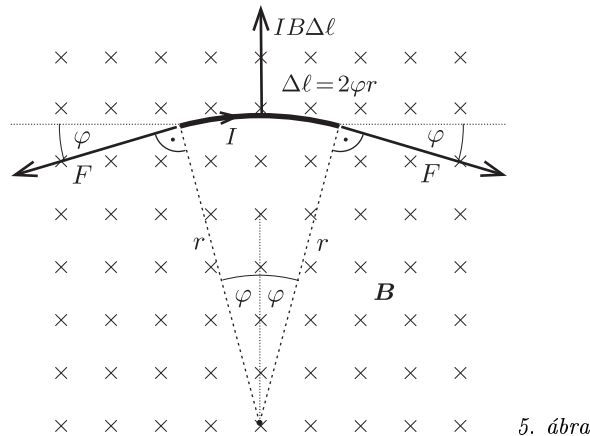


a) A vezetőhuzal a mágneses térerősségre merőleges síkban fog elhelyezkedni. Mivel a mágneses tér által a vezető darabkáira kifejtett erő mindenhol merőleges a huzalra, ezért a vezeték minden pontjában ugyanakkora erő ébred. A vezeték r görbületi sugarú darabkájában $F = IBr$ nagyságú erő ébred. Ez könnyen belátható a vezeték kis darabkájára ható erők vizsgálatával (5. ábra).



5. ábra

Az erőegyensúly:

$$2F \sin \varphi = IB\Delta\ell.$$

Geometriából:

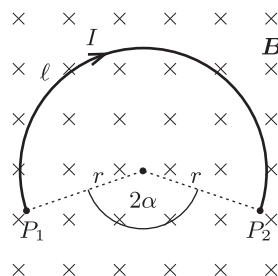
$$\Delta\ell = 2\varphi r.$$

A kis szögek miatt $\sin \varphi \approx \varphi$, ebből valóban az $F = IBr$ eredményre jutunk. Az eddigiekből következik, hogy a huzal körív alakot vesz fel. (Elvben a többmenetes „körtekercs” alak is egyensúlyi helyzet, ez azonban labilis, így nem is alakítható ki, ahogy egy ceruzát sem lehet a hegyére állítani.)

A körívre a következő geometriai összefüggéseknek kell teljesülniük (6. ábra):

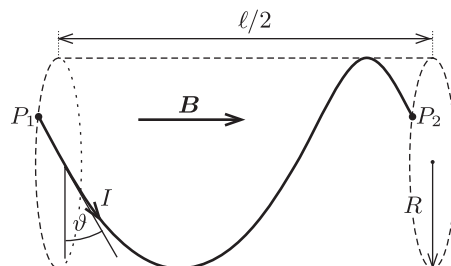
$$\begin{aligned} 2r \sin \alpha &= \ell/2, \\ 2r(\pi - \alpha) &= \ell, \end{aligned}$$

ezekből a $2 \sin \alpha = \pi - \alpha$ transzcendens egyenletre jutunk, melynek numerikus megoldása $\alpha \approx 1,246 \text{ rad} = 71,40^\circ$. Ezt visszaírva a fenti egyenletekbe a kör sugarára $r \approx 0,26 \ell$, a vezetéket feszítő erőre pedig $F \approx 0,26 IB\ell$ értéket kapunk.



6. ábra

b) Ebben az esetben a vezetőhuzal darabkáira nem hat a mágneses térerősséggel párhuzamos irányú erő, ezért a vezetéket feszítő erő B -irányú komponense állandó. A mágneses mező által a vezető darabkáira kifejtett erő mindenhol merőleges a huzalra, ezért a vezeték minden pontjában ugyanakkora erő ébred. E két tényből következik, hogy a vezetéket feszítő erő mágneses térerősségre merőleges komponense állandó kell legyen, azaz a mágneses térerősségből nézve a vezetékre egy kört fogunk látni, a huzal alakja pedig egyenletes menetemelkedésű, a mágneses térerősséggel párhuzamos tengelyű, egymenetes csavarvonal lesz (lásd a 7. ábrát). (Elvben a többmenetes csavarvonal alak is egyensúlyi helyzet, ez azonban könnyen beláthatóan labilis.)



A csavarvonal menetemelkedésének ϑ szögét (azaz a csavarvonal adott pontbeli érintője és az ugyanezen ponton átmenő, a B -térre merőleges sík által bezárt szöget) egyszerű geometriával számíthatjuk ki:

$$\sin \vartheta = \frac{\ell}{2\ell}, \quad \text{ebből} \quad \vartheta = 30^\circ.$$

A csavarvonalra illeszkedő, képzeletbeli hengerpalást R sugara:

$$R = \frac{\ell \cos \vartheta}{2\pi} = \frac{\sqrt{3}\ell}{4\pi} \approx 0,138 \ell.$$

Most térjünk rá az erő kiszámítására! A csavarvonal tengelyének irányából nézve azt látjuk, hogy az R sugarú, teljes körnek látszó vezeték a mágneses Lorentz-erő próbálja szétfeszíteni, ezt ellensúlyozza a vezetékben ébredő erőnek a mágneses térerősségre merőleges $F \cos \vartheta$ nagyságú komponense: $IBR = F \cos \vartheta$. Felhasználva R kifejezését megkapjuk a vezeték feszítő erőt:

$$F = \frac{IB\ell}{2\pi} \approx 0,159 IB\ell.$$

Látszik, hogy a huzalban ébredő erő független a P_1 és P_2 pontok d távolságától ($0 < d < \ell$).

Megjegyzés. A verseny eredményhirdetésén a 3. feladatban szereplő kísérleti elrendezés is bemutatásra került. A kísérlet megvalósítása egyszerű körülmények között nehéz, több gyakorlati nehézségbe is ütközik.

A feladat szövegében *homogén, erős mágneses tér* szerepel. Ezt a két feltételt nem könnyű egyszerre teljesíteni. Aránylag nagy térrészben homogén és erős mágneses teret csak nagyon nagy (és drága) eszközökkel lehet előállítani. A kísérleti bemutatón a tér előállítására Helmholtz-tekercest használtunk¹, melynek tere a tekercsek közti tér közepén elég jó közelítéssel homogén – viszont nem túl erős. (A Föld mágneses terénél azért egy-két nagyságrenddel nagyobb.)

A feladat szövegében szereplő vezeték *könnyű, vékony és hajlékony*. A szövegben a „könnyű” azt jelenti, hogy a vezeték súlya elhanyagolható a mágneses tér által kifejtett erőhöz képest. (Az „erős mágneses tér” pedig arra utal, hogy a vezeték saját mágneses terének hatását is elhanyagolhatjuk.) A feltételek teljesítéséhez nagyon vékony vezetékkel kellett használnunk: egy kb. 0,1 mm vastag vörösréz huzalt, amely olyan vékony, hogy alig látszik. A huzal vastagsága viszont korlátozza a vezetéken átfolyó áram nagyságát is, pedig a nem túl erős mágneses tér mellett minél nagyobb áramra van szükség a jelenség bemutatásához. Az áramerősséggel elmentünk a határokig: a vezeték (miután leégett róla a szigetelő lakk) vörösen izzott – és így az elsötétített teremben láthatóvá is vált.

A bemutatón először egy, a feladathoz lazábban kapcsolódó kísérletet mutattunk be: egy kisnyomású héliummal töltött csőben figyeltük meg az elektronok mozgását. Az izzókatódból kilépő, felgyorsított elektronok a Helmholtz-tekercsben kör-, illetve csavarvonal alakú pályán mozognak, és pályájuk a gerjesztett héliumatomok zöld fényének köszönhetően látható².

Ezután vizsgáltuk a vezeték alakját. Még egy ilyen vékony vezeték is aránylag merev (tehát a hajlékonyságot se könnyű biztosítani), de a feladat *a)* részének megfelelő elrendezésben az áram bekapcsolásakor jól láthatóan kör alakban kifeszült, az áramirány változtatásakor pedig a körív 180°-kal átfordult. A vezeték végeinek 90°-os elforgatásakor (a feladat *b)* részének megfelelő elrendezésben) jól megfigyelhetően kialakult a csavarvonal forma. (A feladatban kért kicsiny erők mérésére ebben az egyszerű demonstrációban természetesen nem volt lehetőség.)

¹<http://fizipedia.bme.hu/images/a/a7/Helmholtz2.jpg>

²<http://fizipedia.bme.hu/images/9/90/Eperm5.jpg>