

**XIX OLIMPIADA FIZYCZNA (1969/1970). Stopień wstępny, zadanie teoretyczne – T3.**

**Źródło:** Olimpiady fizyczne XIX i XX  
**Autor:** Waldemar Gorzkowski  
**Nazwa zadania:** Ramka z prądem w polu magnetycznym  
**Działy:** Elektrostatyka  
**Słowa kluczowe:** Pole magnetyczne, położenie równowagi, ramka, drut.

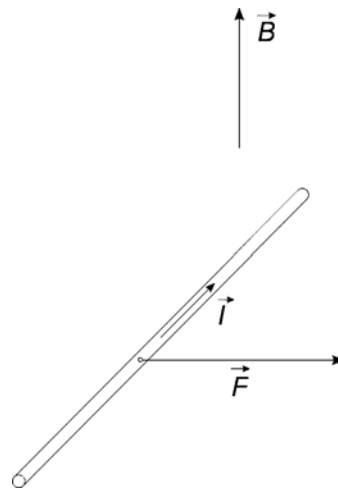
**Zadanie teoretyczne - T3, zawody stopnia wstępnego, XIX OF.**

Kwadratowa ramka ze sztywnego drutu o boku  $a$  i masie  $m$  wisi nieruchomo na nici przyczepionej do środka jednego z boków. Przez ramkę płynie prąd stały o natężeniu  $I$ . Cały układ znajduje się w jednorodnym pionowo skierowanym polu magnetycznym  $\vec{B}$ . Jakie jest położenie równowagi ramki?

**Rozwiązanie**

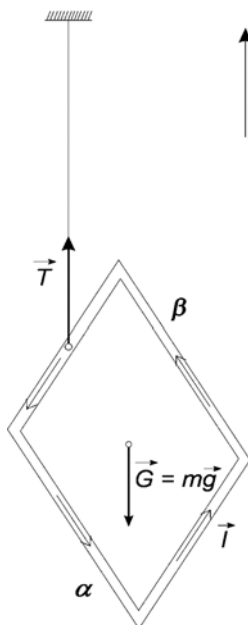
Siła działająca na przewodnik z prądem jest zawsze proporcjonalna do natężenia prądu płynącego przez przewodnik. Korzystając wyłącznie z tego faktu od razu możemy powiedzieć, że ponieważ przeciwległe boki ramki są jednakowe pod względem geometrycznym, a różnią się tylko kierunkiem (tj. znakiem) przepływającego prądu, więc siły na nie działające muszą być równe co do wartości, lecz przeciwnie skierowane. Innymi słowy, całkowita siła działająca na ramkę spowodowana oddziaływaniem z polem magnetycznym  $\vec{B}$  musi równać się zeru. Wobec tego reakcja nici  $\vec{T}$  musi równoważyć jedynie siłę ciężkości ramki  $\vec{G} = m\vec{g}$ . Siła ciężkości jest skierowana pionowo, a zatem  $\vec{T}$  również musi być skierowane pionowo.  $\vec{T}$  zawsze działa wzdłuż nici, a więc nie będzie wisieć pionowo, niezależnie od tego czy przez ramkę płynie prąd czy nie. Ciekawy to fakt, tym ciekawszy, że otrzymany bez korzystania ze wzorów.

Wyobraźmy sobie teraz, że mamy przewodnik z prądem. Natężenie prądu niech wynosi  $I$ , a długość przewodnika  $a$ . Umieścimy ten przewodnik w jednorodnym polu magnetycznym  $\vec{B}$  prostopadłym do przewodnika ma wartość  $IBa$  (w układzie SI).



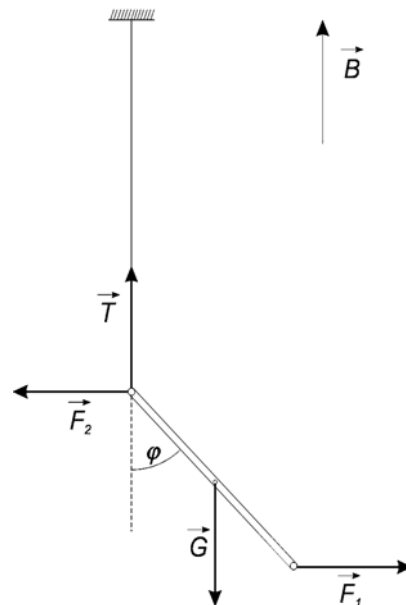
Rys. 1

Kierunek i zwrot tej siły pokazano na rysunku 1. Gdyby pole  $\vec{B}$  nie było prostopadłe do przewodnika, to do wzoru na wartość siły należałoby wprowadzić składową  $\vec{B}_\perp$  pola  $\vec{B}$ , prostopadłą do przewodnika, a nie samo pole  $\vec{B}$ , ponieważ składowa równoległa  $\vec{B}_\parallel$  nie oddziałuje na ładunki poruszające się wzdłuż przewodnika. (Dobrze by było, by Czytelnik spróbował zapisać wzór a siłę korzystając z pojęcia iloczynu wektorowego) Korzystając z podanej informacji stwierdzamy, że siły działające na boki ramki oznaczone symbolami  $\alpha$  i  $\beta$  leżą na jednej prostej (rys. 2). Siły te są równe i przeciwnie skierowane. Zatem nie tylko ich suma, lecz również ich łączny moment względem środka ramki równa się zero. Wynika stąd, że ramka nie będzie wirować. Jedyne co może nastąpić, to wychylenie ramki od położenia pionowego o pewien kąt.



Rys. 2.

Siła ciężkości  $\vec{G}$  jest zaczepiona w środku geometrycznym ramki



Rys. 3

Ponieważ boków  $\alpha$  i  $\beta$  nie musimy już dalej rozpatrywać, popatrzmy na ramkę z boku. Mamy sytuację taką, jak na rysunku 3. Kąt o jaki odchyli się ramka od pionu oznaczamy przez  $\varphi$ . Wyznamy teraz ten kąt. Zgodnie z tym, co powiedzieliśmy poprzednio, na górny i dolny bok ramki działają poziome siły  $\vec{F}_1$  i  $\vec{F}_2$  o takiej samej wartości równej  $IBa$  i o zwrotach, jak na rysunku 3. W stanie równowagi suma wszystkich sił działających na ciało musi równać się zeru. To samo dotyczy momentów wszystkich sił względem dowolnego punktu. O tym, że suma wszystkich sił działających na ramkę równa się zeru, już wiemy.

Pozostają do zbadania momenty. Obliczmy momenty sił względem punktu, w którym nitka jest przywiązana do ramki. Mamy:

$$\underset{\text{moment } \vec{T}}{0} + \underset{\text{moment } \vec{F}}{0} - \underset{\text{moment } \vec{G}}{\frac{a}{2}mg \sin \varphi} + \underset{\text{moment } \vec{F}}{IBa^2 \cos \varphi} = 0.$$

Stąd

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{2IBa}{mg},$$

$$\varphi = \operatorname{arctg} \frac{2IBa}{mg}.$$

Tak więc w stanie równowagi ramka odchyli się od pionu o kąt  $\varphi$  dany powyższym wzorem, przy czym nitka pozostanie pionowa. Dla małych prądów  $I$  kąt  $\varphi$  będzie bliski zera, natomiast w miarę zwiększania  $I$  będzie on dążył do  $\pi/2$ . Innymi słowy, dla słabych prądów ramka będzie w pozycji prawie pionowej, natomiast dla silnych w pozycji prawie poziomej.