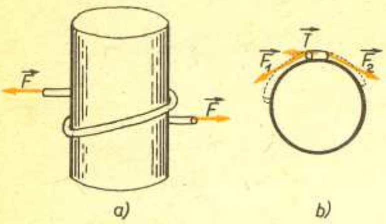
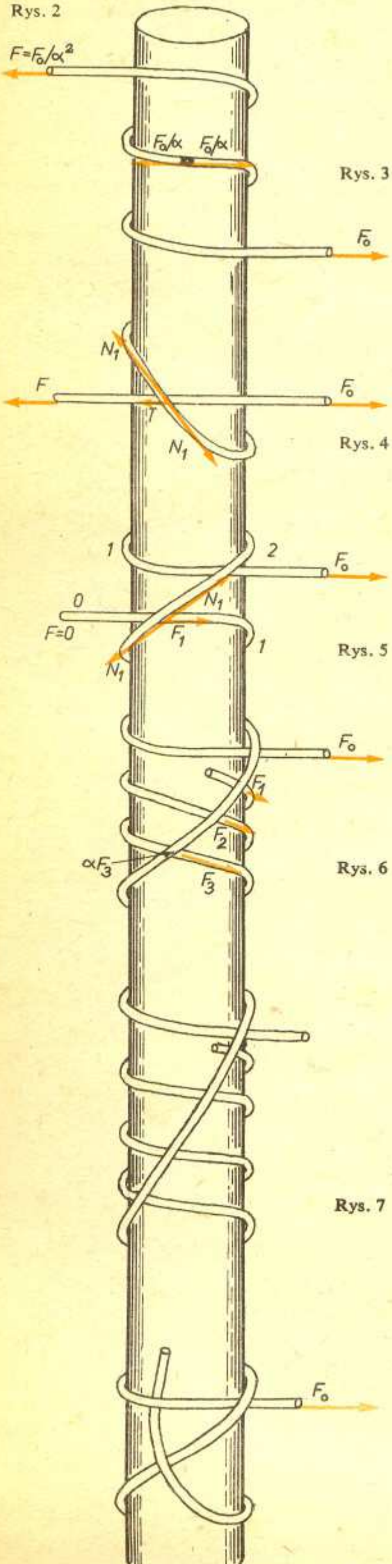
Rys. 1



a) b)

Rys. 2



Rys. 3

Rys. 4

Rys. 5

Rys. 6

Rys. 7

Rys. 8

Węzły

Jakie węzły są izomorficzne? — to ciekawy problem dla matematyka (por. artykuł J. Przytyckiego). Fizyka, i nie tylko, interesuje przede wszystkim to, aby węzeł dobrze trzymał. W ocenie jakości węzłów oraz projektowaniu węzłów o zadanych własnościach pomoże Czytelnikowi opis działania węzłów, który przedstawimy w dalszym ciągu.

Na początek zajmiemy się węzłami wiązanymi na walcu (kołku, pachołku, polerze) o średnicy istotnie większej od średnicy liny. Idealny węzeł to taki, który wytrzymuje dowolne obciążenie, aż do zerwania liny. Obciążenie to może być skierowane, w zależności od przeznaczenia węzła, wzdłuż walca lub prostopadle do niego.

Lina bez węzłów jest w równowadze tylko wtedy, gdy na oba jej końce działają siły o równych wartościach. Identyczne siły działają wtedy również na każdy fragment liny (rys. 1).

W dowolnym węźle można wyróżnić owinięcia i przecięcia.

Na rysunku 2a przedstawione jest jednokrotne owinięcie. Siła F potrzebna do zrównoważenia obciążenia F_0 jest teraz mniejsza od F_0, bo na każdy fragment liny stykający się z walcem działa dodatkowo siła tarcia (rys. 2b). Załóżmy, że jedno owinięcie α razy zmniejsza siłę F. Gdy są dwa owinięcia (rys. 3), na drugi zwój działa ze strony pierwszego siła F_0/α i aby ją zrównoważyć, wystarczy wolny koniec liny ciągnąć siłą F_0/α^2. Dla n owinięć $F = F_0/\alpha^n$. Parametr α zależy tylko od współczynnika tarcia liny o walec. Przykładowo dla liny konopnej i drewna $\alpha = 23$, a dla liny nylonowej i gładkiej stali $\alpha = 4$.

Warto w tym miejscu zauważyć, że trzykrotne owinięcie konopnej liny na drewnianym kołku zmniejsza siłę konieczną do zrównoważenia obciążenia ok. 12 000 razy, tj. do utrzymania w równowadze 12-tonowego ciężaru wystarczy siła 1 kG.

Na rysunku 4 przedstawione jest przecięcie. Fragment liny o naprężeniu N_1 dociska do walca linę leżącą pod nim. Im większe jest naprężenie w górnym odcinku, tym większy jest nacisk, a więc i siła tarcia. Załóżmy, że przy naprężeniu N_1 siła tarcia $T = \beta N_1$. Równowagę zapewnia wtedy siła

$$F = F_0 - \beta N_1 .$$

Parametr β zależy od współczynnika tarcia liny o linę oraz liny o walec, a także od średnicy walca i liny. Dla nylonowej linki na stalowym walcu $\beta \simeq 0{,}2$.

Ustalimy teraz warunki, jakie muszą spełniać parametry α i β, aby wyblinka (rys. 5) wytrzymała dowolne obciążenie F_0.

Teraz na swobodny koniec liny nie działa żadna siła, a więc naprężenie F_1 za pierwszym przecięciem nie może przekraczać βN_1:

$$F_1 \leqslant \beta N_1 .$$

Jedno owinięcie zmniejsza naprężenie α razy, z czego wynika, że

$$N_1 = \alpha F_1 .$$

Obie zależności spełnione są dla dowolnej siły F_1, jeśli tylko

$$\beta \geqslant 1/\alpha .$$

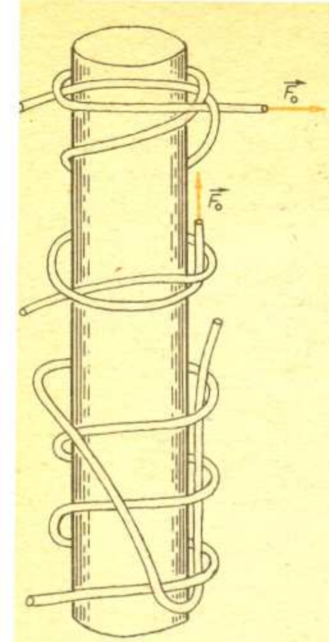
Ze wzrostem siły F_1 rośnie także nacisk N_1 i węzeł zaciska się.

Potrójna wyblinka z rysunku 6 zaciśnie się, jeśli

$$\alpha\beta F_3 \geqslant F_1 ,$$
$$\alpha F_1 + \alpha\beta F_3 = F_2 ,$$
$$\alpha F_2 + \alpha\beta F_3 = F_3 .$$

Po podstawieniu pierwszej zależności do drugiej i drugiej do trzeciej dostajemy warunek

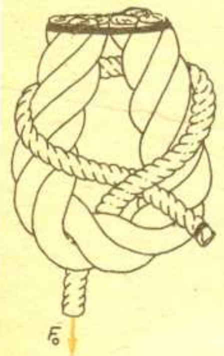
$$\beta \geqslant \frac{1}{\alpha^3 + \alpha^2 + \alpha} .$$



Rys. 9

Rys. 10

Rys. 11



Rys. 12

Dodatkowe owinięcia w potrójnej wyblince osłabiają ograniczenia na parametr β. Może się zdarzyć, że węzeł taki zaciśnie się tam, gdzie wyblinka nie wystarczy.

Łatwo też zauważyć, że jeśli

$$\beta \geqslant \frac{1}{\alpha^2+\alpha},$$

to trzecie owinięcie nie jest potrzebne.

Pozostawiamy do sprawdzenia Czytelnikowi, że:

a) modyfikacja wyblinki z rysunku 7 nie zwiększa uniwersalności węzła,

b) węzeł wieszakowy (rys. 8) jest lepszy niż wyblinka; swobodny koniec jest w tym węźle dociskany siłą bliższą pełnemu obciążeniu niż w wyblince,

c) jeszcze lepszy (teoretycznie) jest węzeł z rysunku 9,

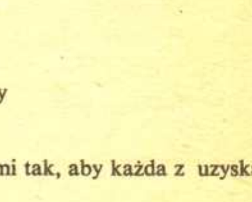
d) węzły do wiązania haczyków wędkarskich (rys. 10 i 12) wymagają takich samych wartości α i β jak wyblinka i potrójna wyblinka,

e) węzeł szotowy wiązany na grubej linie (rys. 12) ma własności podobne do wyblinki.

Wiążąc opisane węzły łatwo się przekonać, że przedstawiona teoria pozostawia wiele do życzenia. Nie uwzględnia m. in. tego, że nie wszystkie przecięcia pracują tak samo, szczególnie w przypadkach, gdy lina przecina wiele owinięć. Poza tym nie daje się prosto uogólnić na węzły łączące liny o tej samej grubości. Zachęcamy Czytelników do prób jej udoskonalenia.

(na podstawie *Am. Journal of Physics 45 (1977)185*)

Zadania



Redaguje mgr Witold MARCISZEWSKI

M 386. Udowodnić, że dla dowolnego trójkąta ABC promień okręgu wpisanego jest nie większy niż połowa promienia okręgu opisanego.
Rozwiązanie na str. 10

M 387. Znaleźć pierwiastek kwadratowy z liczby $\underbrace{11\ldots1}_{n\text{-razy}}\ \underbrace{22\ldots2}_{(n+1)\text{-razy}}5$.
Rozwiązanie na str. 10

M 388. Czy można podzielić szachownicę 8×8 trzynastoma prostymi tak, aby każda z uzyskanych części zawierała najwyżej jeden środek pola szachownicy?
Rozwiązanie na str. 11

Redagują mgr Tomasz TRATKIEWICZ i mgr Włodzimierz ZIELICZ

F 164. Kolorowe szkło po roztarciu staje się białym proszkiem. Jak odkryć jego pierwotną barwę?
Rozwiązanie na str. 10

F 165. Schodząc do lądowania samolot wynurza się z chmury i trafia w padający z niej deszcz. Jak wyjaśnić radykalną poprawę widoczności (z kilkudziesięciu na kilkaset metrów)?
Rozwiązanie na str. 11