

XXXI OLIMPIADA FIZYCZNA ETAP WSTĘPNY

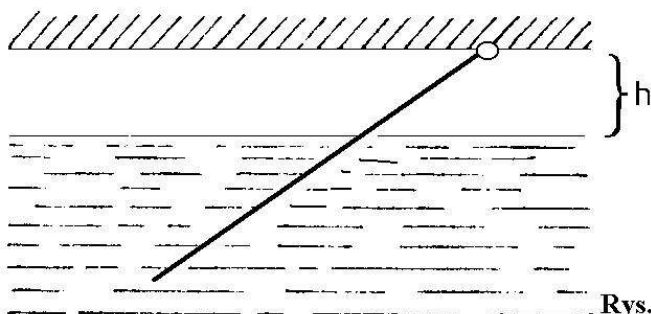
Zadanie teoretyczne

ZADANIE T2

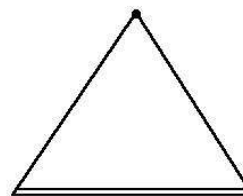
Nazwa zadania:

Wybierz lub podaj i krótko uzasadnij odpowiedź na dowolnie wybrane siedem spośród podanych niżej dziesięciu punktów:

- A. Długi, cienki, jednorodny pręt wisi na zaczepie przegubowym w sposób pokazany na rysunku 6. Czy długość części zanurzonej zmieni się (i jak), jeżeli zmniejszymy h ?
- B. Na idealnie gładkim gwoździu chcemy zawiesić pręt, do którego końców przywiązano wiotką, cienką, nieważką i nierozciągliwą nitkę. Czy pręt można zwiesić w położeniu równowagi trwałej w sposób pokazany na rysunku 7?

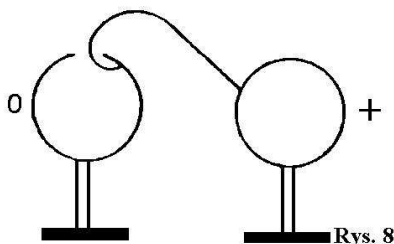


Rys. 6

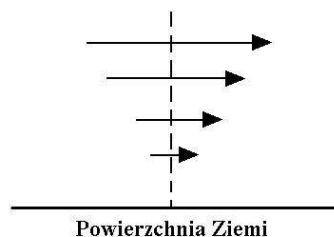


Rys. 7

- C. Dane są dwie kule metalowe, puste w środku, spoczywające na nieprzewodzących podstawkach. Jedna z nich jest naładowana, a druga nie. Kule łączymy drutem metalowym tak, jak na rysunku 8. Ile wyniesie końcowy ładunek drugiej kuli po tej operacji, jeżeli ładunek prawej kuli na początku równał się Q ?
- D. Prędkość wiatru nad powierzchnią Ziemi zazwyczaj jest większa niż przy samej powierzchni Ziemi (rys. 9). Biorąc ten fakt pod uwagę określ, w którym kierunku pochyli się (w lewo czy w prawo) czoło płaskiej fali dźwiękowej rozchodzącej się początkowo:
- a) dokładnie w kierunku wiatru,
b) w kierunku przeciwnym do kierunku wiatru.
(Czoło fali w chwili początkowej zaznaczono linią przerywaną prostopadłą do powierzchni Ziemi).



Rys. 8

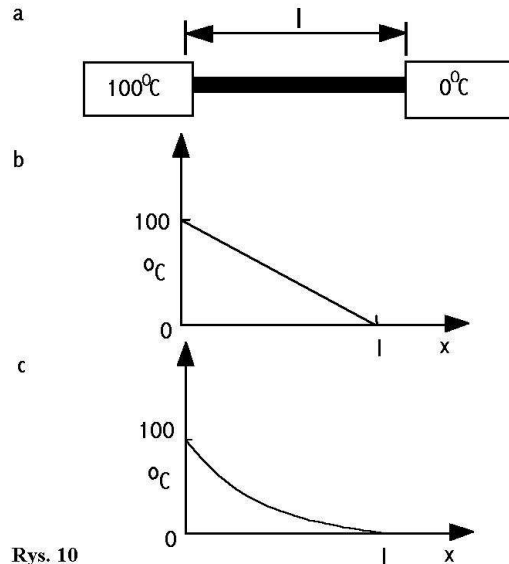


Rys. 9

- E. Zmierzono rozkład temperatury wzdłuż pręta, którego końce utrzymywane były w termostatach w temperaturach 0°C i 100°C (rys. 10a). Pomiar

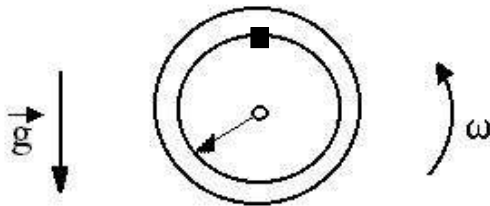
wykonano dwa razy: raz gdy pręt był owinięty azbestem, a drugi raz, gdy był nie owinięty. Rozkład temperatury w pręcie owiniętym azbestem przedstawia rysunek 10b, czy też rysunek 10c?

- F. Czy zrównoważone promieniowanie termiczne (w zamkniętej wnęce o stałej temperaturze) może być promieniowaniem spolaryzowanym liniowo w określonej płaszczyźnie?
- G. Jaki jest opór wewnętrzny wyjściowy idealnego stabilizatora napięcia?
- H. Dlaczego natężenie prądu płynącego przez silnik prądu stałego ze stałym magnesem zmniejsza się w miarę rozkręcania wirnika?

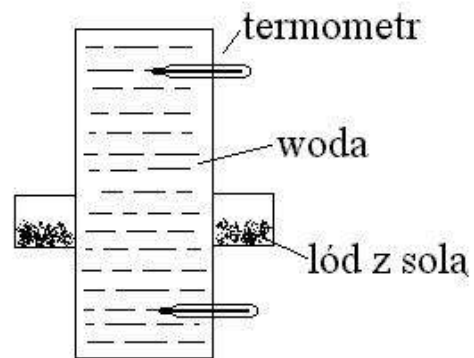


Rys. 10

- I. Wewnątrz pierścienia wirującego z ustaloną prędkością kątową ω względem poziomej osi znajduje się małe ciało (rys. 11). Promień wewnętrzny pierścienia wynosi r . Współczynnik tarcia ciała o pierścień jest bardzo duży. Jaki warunek musi spełniać ω , by ciało nie oderwało się od pierścienia?
- J. Z metalowych naczyń zestawiono układ doświadczalny według rysunku 12. Po pewnym czasie okazało się, że górny termometr wskazuje 0°C . Jaka temperaturę wskazuje w tym czasie termometr dolny?
- około 0°C ,
 - około 4°C ,
 - temperaturę pokojową (w przybliżeniu).



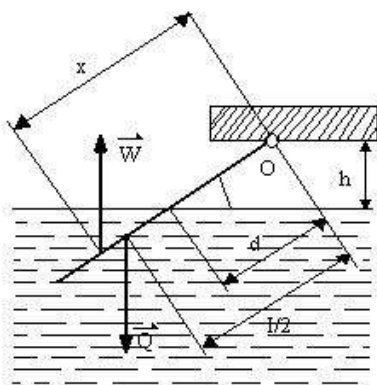
Rys. 11



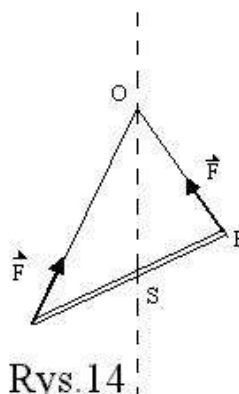
Rys. 12

ROZWIĄZANIE ZADANIA T2

- A. Moment siły ciężkości Q pręta względem osi obrotu O (rys. 13) ma wartość $Q \frac{l}{2} \cos \alpha$, gdzie Q - ciężar pręta, l - jego długość, α - kąt pochylenia jak na rysunku. Wartość momentu siły wyporu \vec{W} wynosi natomiast $W \left(d + \frac{l-d}{2} \right) \cos \alpha = W \frac{l+d}{2} \cos \alpha$, gdzie $d = \frac{h}{\sin \alpha}$ jest długością nie zanurzonego odcinka pręta.



Rys. 13



Rys. 14

W warunkach równowagi oba te momenty są sobie - co do wartości - równe. Wynika stąd

$$Ql = W(l+d)$$

(1)

Z drugiej strony, wartość siły wyporu \vec{W} jest proporcjonalna do długości zanurzonego odcinka pręta $(l-d)$, co zapisujemy jako $W = C(l-d)$, gdzie C jest pewną stałą. Po podstawieniu tego wyrażenia do równania (1) otrzymujemy

$$Ql - C(l-d)(l-d)$$

$$Ql = C(l^2 - d^2)$$

Wartość $d = \frac{h}{\sin \alpha}$ musi spełniać to równanie, zatem pozostaje ona stała, niezależnie od zmian h (odpowiednio zmienia się kąt α). Długość części zanurzonej, równa się $(l-d)$, jest więc niezależna od h .

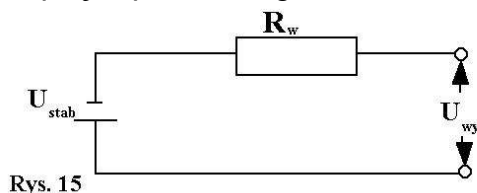
- B. Przeanalizujemy siły działające na pręt wychylony o pewien kąt z położenia poziomego (rys 14). Środek ciężkości S pręta musi oczywiście znajdować się w pionowej linii przechodzącej przez punkt zawieszenia. Wobec tego, że gładki gwóźdź działa jak blok nieruchomy, siły \vec{F}_A i \vec{F}_B działające na końce A i B pręta muszą mieć taką samą wartość. Ponieważ kąt $OAS \neq$ kątowi OBS , momenty sił \vec{F}_A i \vec{F}_B względem środka pręta nie są jednakowe. Wypadkowy moment tych sił działa w kierunku nadania prętowi położenia pionowego. Poziome położenie pręta nie jest więc położeniem równowagi trwałej (lecz nietrwałej).

Zadanie to można rozwiązać jeszcze w inny sposób, a mianowicie badając, jak położenie środka ciężkości pręta zależy od jego pozycji katowej. Położenie środka ciężkości określa energię potencjalną układu, a wiadomo, że położenie równowagi trwałej odpowiada stanowi o minimalnej energii. Szczegółowe rozwiązanie pozostawiamy Czytelnikowi.

- C. Metalowe kule połączone przewodnikiem, obojętnie w jaki sposób, będą miały ten sam potencjał. Ponieważ kule mają identyczne rozmiary mają one zatem jednakowe pojemności. Oznacza to, że przy tym samym potencjale obie kule muszą mieć jednakowe ładunki. A zatem końcowy ładunek każdej z kul będzie wynosił $\frac{1}{2}Q$, gdyż całkowity ładunek – zgodnie z prawem zachowania ładunku – będzie równy ładunkowi początkowemu Q .
- D. Fala dźwiękowa rozchodzi się z określoną prędkością względem ośrodka, w którym zachodzi jej propagacja. Prędkość fali dźwiękowej w zewnętrznym układzie odniesienia jest zatem równa sumie prędkości fali w ośrodku i ośrodka w tym układzie odniesienia. Ponieważ czoło fali porusza się w ośrodku z prędkością dźwięku, na jego ruch względem Ziemi nałoży się ruch powietrza (wiatr). Prędkość powietrza jest zwrócona w prawo. Kierunek tego zjawiska nie zależy od kierunku pierwotnej fali dźwiękowej. Tak więc w obu przypadkach a) i b) czoło fali dźwiękowej pochyli się w kierunku wiatru (w prawo).
- E. Ponieważ azbest izoluje pręt termicznie od otoczenia, możemy więc przyjąć, że cały strumień ciepła przepływa przez pręt. Przy założeniu, że pręt jest jednorodny, prowadzi to do wniosku, że w stanie ustalonym występuje wzdłuż całego pręta stały gradient temperatury. Wobec tego rozkład temperatury jest liniowy (rys.10b). Jakiej sytuacji może odpowiadać rozkład temperatury przedstawiony na rys. 10c?
- F. Spróbujmy sobie wyobrazić, że mamy zamkniętą wnękę, w której zrównoważone promieniowanie termiczne jest liniowo spolaryzowane. Mały, w porównaniu z rozmiarami wnęki, otwór w ścianie praktycznie nie zaburza równowagi panującej we wnęce, zatem promieniowanie wychodzące przez ten otwór będzie również spolaryzowane. Ustawmy teraz naprzeciw takiego otworu otwór „normalnej” wnęki, zawierającej promieniowanie niespolaryzowane. Ponadto między otworami umieścimy filtr przepuszczający jedną tylko składową polaryzacji, a drugą odbijający (można go zbudować z płytek szklanych ustawionych pod kątem Brewstera). Jeśli filtr będzie odbijał z powrotem do wnętrza pierwszej wnęki wychodzące z niej promieniowanie spolaryzowane, a z drugiej wnęki część promieniowania będzie przechodzić do pierwszej, to nastąpi niezrównoważony przepływ energii promienistej i powstanie różnica temperatur, nawet jeśli nie było jej początkowo. Jest to sprzeczne z drugą zasadą termodynamiki, a zatem zrównoważone promieniowanie termiczne nie może być spolaryzowane.
- G. stabilizator napięcia możemy sobie wyobrazić jako źródło napięcia stabilizowanego U_{stab} z włączonym szeregowo oporem wewnętrznym R_w (rys. 15) – jest to tzw. układ zastępczy. W takim razie napięcie U_{wy} panujące na zaciskach wyjściowych będzie równe

$$U_{wy} = U_{stab} - R_w I$$

gdzie I oznacza natężenie prądu pobieranego ze stabilizatora.



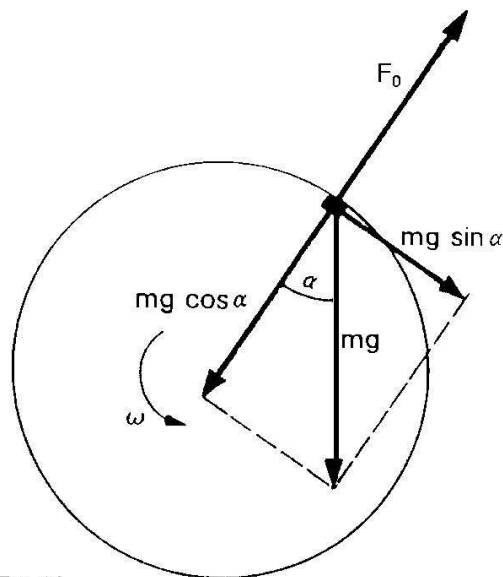
Ponieważ idealny stabilizator napięcia powinien spełniać warunek $U_{wy} = U_{stab}$ niezależnie od wartości natężenia pobieranego prądu, zatem opór wewnętrzny R_w musi być równy zeru.

H. W uzwojeniach wirnika indukuje się siła elektromotoryczna, która jest proporcjonalna do jego prędkości kątowej (natężenie pola magnetycznego w silniku ze stałym magnesem jest bowiem niezależne od szybkości wirowania).

Indukowana siła elektromotoryczna ma, zgodnie z regułą Lenza, znak przeciwny do napięcia zasilającego silnik, powoduje więc zmniejszenie natężenia prądu płynącego w uzwojeniach silnika – tym większe, im większa jest prędkość kątowa wirnika. Największy prąd płynie oczywiście przez silnik, gdy wirnik jest nieruchomy – stąd niebezpieczeństwo przepalenia uzwojeń unieruchomionego silnika.

I. Bardzo duży współczynnik tarcia sugeruje, że należy wykluczyć poślizg ciała po powierzchni pierścienia. Jeśli więc ciało nie odrywa się od pierścienia, znaczy to, że porusza się po okręgu o promieniu r z prędkością kątową ω . Jak widać z rysunku 16, na górnej połowie okręgu w kierunku oderwania ciała działa składowa siły ciężkości $m\vec{g}$ skierowana wzdłuż promienia, natomiast składowa styczna do okręgu jest równoważona przez tarcie.

Siła odrywająca ciało od pierścienia jest oczywiście największa w górnym położeniu ciała, gdzie wynosi $m\vec{g}$. Warunkiem, by ciało nie oderwało się od pierścienia jest zrównoważenie tej siły przez siłę odśrodkową $F_0 = m\omega^2 r$. Stąd wynika warunek $\omega^2 r > g$.



Rys. 16

J. Załóżmy, że w stanie początkowym cała woda ma temperaturę pokojową. Lód z solą (o temperaturze poniżej 0°C) oziębia wodę przy ściankach środkowej części naczynia, powodując powstanie prądów konwekcyjnych. Początkowo ochłodzona woda, o wyższej gęstości, przepływa do dołu. Gdy jednak woda w dolnej połowie naczynia osiągnie temperaturę odpowiadającą maksymalnej gęstości, a więc 4°C , następuje odwrócenie kierunku prądów konwekcyjnych: woda o temperaturze niższej od 4°C , mając mniejszą gęstość, przepływa do góry. Dzięki temu temperatura wody w górnej części naczynia może się obniżyć do 0°C . Konwekcja nie dociera już jednak do dolnej części naczynia, a ponieważ przewodnictwo cieplne wody jest bardzo małe, temperatura pozostaje tam około 4°C . Poprawna jest zatem odpowiedź b).

Źródło:
Zadanie pochodzi z "Olimpiada fizyczna XXIX i XXXI"
Autor: A. Nadolny, K. Pniewska,
WSiP 1986

Komitet Okręgowy Olimpiady Fizycznej w Szczecinie
www.of.szcz.pl