

BUDOWNICTWO ŁĄDOWE

Zadania z fizyki dla 4,6,7 i 8 grupy BL semestr I

Zadania opracowano na podstawie:

- 1. Zbiór zadań z fizyki ; pod redakcją I.W. Sawiejlewa**
- 2. Fizyka w przykładach ; pod kierunkiem prof. dr Wladimir Hajko**
- 3. Zadania z fizyki ; pod redakcją M.S. Cedrika**

Wybrał dr J. Walocha

TERMODYNAMIKA

Niektóre oznaczenia: $\chi = C_p / C_v$

1. W zamkniętym naczyniu objętości V_0 znajduje się wodór w temperaturze t_0 pod ciśnieniem p_0 . Wodór oziębia się do temperatury t_1 . Wyznaczyć:
 - a) ilość ciepła Q oddanego przez gaz
 - b) zmianę energii wewnętrznej ΔU

Odpowiedź: $Q = \frac{p_0 V_0}{T_0} \frac{i}{2} (T_1 - T_0) = \Delta U$

2. Jeden kilomol gazu ogrzewa się w przemianie izobarycznej od t_1 do t_2 pobierając przy tym ciepło Q . Znaleźć:
 - a) liczbę stopni swobody i cząsteczki gazu
 - b) pracę W wykonaną przez gaz

Odpowiedź: $i = \frac{2Q}{R(T_2 - T_1) \frac{m}{\mu}} - 2$; $U = \frac{m}{\mu} \frac{i}{2} R(T_2 - T_1)$; $W = Q - \Delta U$

3. Gaz doskonały rozszerza się adiabatycznie przy czym jego temperatura zmienia się od T_1 do T_2 . Znana jest masa gazu m i jego ciepło właściwe c_v . Znaleźć pracę W wykonaną przez gaz podczas rozszerzania.

Odpowiedź: $W = m c_v (T_1 - T_2)$

4. m kilogramów tlenku węgla (CO) sprężamy adiabatycznie w wyniku czego temperatura gazu wzrasta od T_1 do T_2 . Przedstaw ten proces we współrzędnych p, V oraz wylicz:
 - a) zmianę energii wewnętrznej gazu ΔU
 - b) pracę W wykonaną przy sprężaniu gazu
 - c) ile razy zmniejszy się objętość gazu?

Odpowiedź: $W = -\Delta U$; $\Delta U = \frac{m}{\mu} (T_2 - T_1)$; $\frac{V_1}{V_2} = \left(\frac{T_2}{T_1}\right)^{\frac{1}{\chi-1}}$

5. Dwuatomowy gaz doskonały sprężamy do objętości k razy mniejszej od objętości początkowej czyli $V_1/V_2 = k$. Proces sprężania zachodzi w pierwszym przypadku izotermicznie, a w drugim adiabatycznie (rys.). Podaj:
 - a) w którym przypadku i ile razy praca potrzebna do sprężenia gazu jest większa – rozwiązać problem graficznie, a potem przy pomocy wzorów.
 - b) w którym przypadku i ile razy wzrośnie energia wewnętrzna gazu?

Odpowiedź: $\frac{W_{ad}}{W_{iz}} = \frac{i}{2} \frac{(k^{\chi-1} - 1)}{\ln k}$; $\Delta U_{iz} = 0$; $\Delta U_{ad} = -W_{ad}$

6. Pewna masa gazu rozszerza się tak że proces ten na wykresie we współrzędnych p, V przedstawiony jest linią prostą, przechodzącą przez początek układu. Znana jest początkowa objętość gazu V_0 oraz ciśnienie p_0 a także stosunek $\chi = C_p/C_v$ dla tego gazu. W stanie końcowym objętość gazu wzrosła k -krotnie, czyli $V_1/V_0 = k$. Znaleźć:
- wykładnik politropy n
 - zmianę energii wewnętrznej ΔU
 - pracę W wykonaną przez gaz
 - ciepło molowe C_x gazu w tym procesie

Uwaga: Zapisz równanie opisujące omawianą przemianę w postaci: $p_1 V_1^n = p_2 V_2^n$

Odpowiedź: $n = -1$; $\Delta U = c_v \frac{p_0 V_0}{R} (k^2 - 1)$ gdzie $c_v = \frac{R}{\chi - 1}$;

$$W = \frac{p_0 V_0}{2} (k^2 - 1); \quad C_x = R \frac{\chi + 1}{\chi - 1}$$

7. W pewnym procesie ciepło molowe gazu zmienia się zgodnie z równaniem $C = \alpha/T$ gdzie α jest stałą. Znaleźć pracę wykonaną przez kilomol gazu przy zmianie temperatury od T_1 do T_2 .

Uwaga: wyznacz najpierw (znając zależność opisującą ciepło molowe) ciepło pobrane, następnie wyznacz zmianę energii wewnętrznej – wówczas pracę można wyznaczyć korzystając z I zasady termodynamiki.

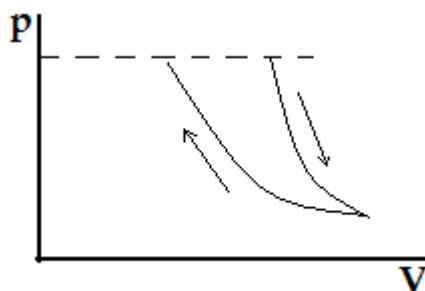
Odpowiedź: $W = \frac{m}{\mu} \left(\alpha \ln \frac{T_2}{T_1} - \frac{iR}{2} (T_2 - T_1) \right)$

8. Kilomol jednoatomowego gazu znajdującego się w temperaturze T_1 ochładza się izochorycznie w wyniku czego jego ciśnienie zmniejsza się k -krotnie, czyli $k = p_1/p_2$. Następnie gaz rozszerza się izobarycznie przy czym jego temperatura wzrasta do temperatury początkowej. Przedstaw ten proces we współrzędnych p, V wyznacz:
- Ciepło Q pobrane przez gaz
 - pracę W wykonaną przez gaz
 - zmianę energii wewnętrznej gazu ΔU

Odpowiedź: $Q = Q_1 + Q_2 = \frac{m}{\mu} R (T_1 - T_2)$, gdzie $T_2 = T_1 \frac{p_2}{p_1} = \frac{T_1}{k}$;

$$W = W_2 = \frac{1}{k} \frac{m}{\mu} R T_1 (k - 1)$$

9. Azot o masie m rozszerza się adiabatycznie, tak że jego ciśnienie zmniejsza się k razy czyli $p_1/p_2 = k$ a następnie spręża się izotermicznie do ciśnienia początkowego. Temperatura gazu w stanie początkowym jest T_1 . Przedstaw wykres tego procesu we współrzędnych p, V i wyznacz:
- temperaturę końcową T_2
 - ciepło Q oddane przez gaz
 - zmianę energii wewnętrznej ΔU
 - pracę W wykonaną przez gaz

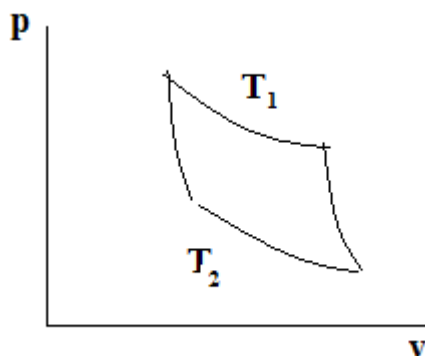


Odpowiedzi: $T_2 = T_1 \left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{1}{\gamma}}$; $Q = W_{iz} = -m/\mu RT_2 \ln k$;

$$\Delta U = \Delta U_{ad} = m/\mu c_v(T_2 - T_1);$$

$$W = W_{iz} + W_{ad} = W_{iz} - \Delta U_{ad} = \frac{m}{\mu} \left[RT_2 \ln \frac{p_2}{p_1} - c_v(T_2 - T_1) \right]$$

10. Silnik cieplny pracuje na dwutlenku węgla według cyklu Carnota, między temperaturami 27°C i 327° . Stosunek ciśnienia maksymalnego i minimalnego w tym cyklu równy jest $k=20$. Masa gazu $m=1$ kmol. Obliczyć:
- sprawność η tego silnika,
 - ilość ciepła Q_1 pobranego ze źródła w czasie jednego cyklu,
 - ilość ciepła Q_2 oddanego chłodnicy w czasie jednego cyklu,
 - pracę W wykonaną przez gaz w ciągu jednego cyklu.



Odpowiedzi: $\eta = 1/2$; $Q_1 = \frac{m}{\mu} RT_1 \ln k \left(\frac{T_2}{T_1} \right)^{\frac{\gamma}{\gamma-1}}$;

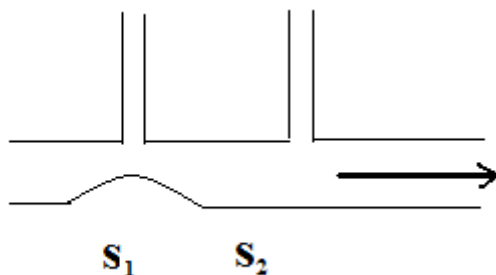
$$Q_2 = Q_1(1 - \eta); W = Q_1 - Q_2 = \eta Q_1$$

HYDRODYNAMIKA

Niektóre oznaczenia: η współczynnik lepkości

1. Przez poziomą rurę o zmiennym przekroju przepływa woda (rys.). W miejscach o przekrojach S_1 i S_2 wstawiono rurki manometryczne. Znaleźć objętość Q wody przepływającej w jednostce czasu przez rurę, jeżeli różnica poziomów wody w rurkach manometrycznych jest Δh .

Uwaga: należy uzasadnić, stosując prawo Bernoulliego oraz prawo ciągłości strugi, w której z rurek manometrycznych jest wyższy poziom wody.

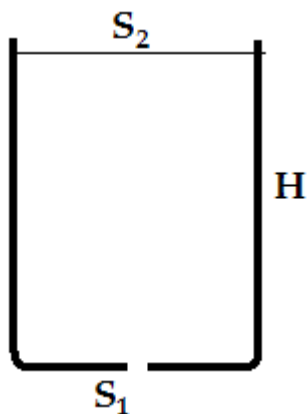


Odpowiedź: $V = S_1 S_2 \sqrt{\frac{2g\Delta h}{S_2^2 - S_1^2}}$

2. Cylindryczne naczynie o wysokości H i powierzchni podstawy S_2 napełniono wodą. W dnie naczynia zrobiono otwór o powierzchni S_1 . Zaniedbując lepkość wody, określ czas po którym cała woda wypłynie z naczynia, gdy: $S_1 \approx S_2$.

Uwaga: korzystając z def. objętości wypływającej wody i zakładając, że prędkość wypływu wody $v_1 = \sqrt{2gh}$ oblicz całkę:

$$\frac{dh}{\sqrt{2gh}} = \frac{S_1}{S_2} dt$$



Odpowiedź: $t = \frac{S_2}{S_1} \sqrt{\frac{2H}{g}}$

3. Znaleźć maksymalną prędkość wody w rurce o średnicy $d_1 = 2\text{cm}$, dla której przepływ będzie jeszcze laminarny. Krytyczna wartość liczby Reynoldsa dla rury jest 3000. Jaka będzie ta prędkość dla rurki $d_2 = 0,1\text{cm}$, jeżeli: $\eta = 100,4 \cdot 10^{-5} \text{ kg/m sek.}$, $\rho = 998 \text{ kg/m}^3$?

Odpowiedź: $v = \eta Re / \rho d$; $v_1 = 0,15 \text{ m/s}$; $v_2 = 3,01 \text{ m/s}$

4. Metoda wyznaczania lepkości polega na pomiarze prędkości opadania kulki w walcowatym naczyniu z badaną cieczą i wyznaczeniu η ze wzoru Stokesa. Zakładając, że dla kuli krytyczna wartość $Re=0,5$ znajdź maksymalną wartość promienia r stalowej kulki, którą można wykorzystać w wyznaczaniu wsp. lepkości dla gliceryny.

Odpowiedź: $r = \left[\frac{9 Re \eta^2}{4 \rho_c (\rho_s - \rho_c) g} \right]^{\frac{1}{3}}$ gdzie: ρ_s – gęstość stali, ρ_c – gęstość cieczy

5. Oblicz prędkość końcową kropli deszczu o promieniu $r=1\text{cm}$ jeżeli współczynnik lepkości $\eta=1,8 \cdot 10^{-4} \text{ g/cmsek.}$

Odpowiedź: $v = \frac{2gr^2(\rho_w - \rho_p)}{9\eta} \approx \frac{2gr^2\rho_w}{9\eta} = 121,1 \text{ m/sek.}$

gdzie : ρ_p – gęstość powietrza, ρ_w – gęstość wody

GRAWITACJA

Niektóre oznaczenia : γ stała grawitacji

1. Jaką poziomą prędkość należy nadać ciału znajdującemu się na wysokości h nad Ziemią, aby poruszało się ono jako jej sztuczny satelita jeżeli promień Ziemi jest R ?

Odpowiedź: $v = R\sqrt{\frac{g}{R+h}}$

2. Wyznaczyć energię kinetyczną E ciała o masie m tuż przy powierzchni Ziemi spadającego swobodnie z dużej wysokości H , jeżeli promień Ziemi jest R . Jaka będzie ta energia kiedy $H \gg R$ (opory pomijamy)?

Odpowiedź: $E = mg \frac{HR}{R+H}$ dla $H \gg R$, $E = mgR$

3. Z powierzchni Ziemi wyrzucono pionowo do góry ciało o prędkości początkowej v_0 . Na jaką wysokość wzniesie się to ciało i jaką powinno mieć prędkość początkową v_0 , aby nie spadło na Ziemię (opory ruchu pomijamy).

Odpowiedź: a) $h = R \cdot v_0^2 / (2gR - v_0^2)$, b) $v_0 = (2gR)^{1/2}$

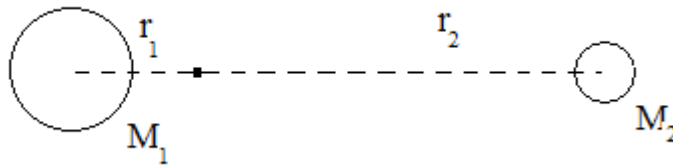
4. Z jaką minimalną prędkością należy wystrzelić raketę z Ziemi, aby doleciała do Księżyca? Jaka będzie jej prędkość tuż przy powierzchni Księżyca? Odległość środków Ziemi i Księżyca jest $d=380000$ km promień Ziemi $R_z=6370$ km, promień Księżyca $R_k=1/4 R_z$ zaś masa Księżyca $M_k=1/81M_z$.

Uwaga: Najpierw określ położenie punktu, w którym na odcinku Ziemia – Księżyc zachodzi równowaga sił a następnie korzystając z pojęcia potencjału grawitacyjnego napisz zasadę zachowania energii dla pierwszego a następnie drugiego pytania.

Odpowiedź: $V = 2 \left[\gamma M_z \left(\frac{1}{R_z} - \frac{1}{0,9d} + \frac{1}{81(d-R_z)} - \frac{1}{81 \times 0,1d} \right) \right]^{1/2} \approx \sqrt{2gR_z \times 0,98}$

$$V_k = 2 \left[\gamma \frac{M_k}{R_k} \left(1 - \frac{81R_k}{0,9d} - \frac{R_k}{0,1d} + \frac{81R_k}{d-R_k} \right) \right]^{1/2} \approx \frac{1}{18} \cdot \sqrt{2gR_z \times 0,91}$$

5. Gwiazda podwójna to układ złożony z dwu gwiazd obracających się wokół swojego środka masy. Znaleźć odległość między tymi gwiazdami, jeżeli całkowita masa układu jest $\mathbf{M}$, a okres obiegu wynosi $\mathbf{T}$.

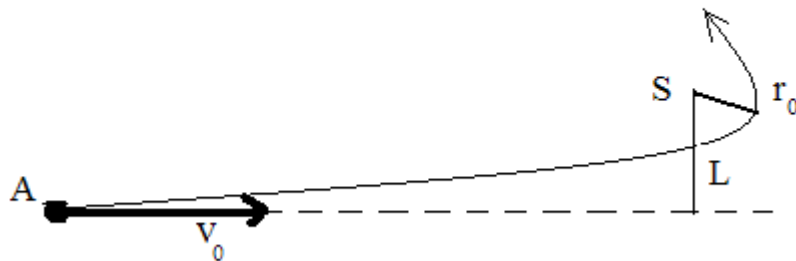


$$M = M_1 + M_2 \quad d = r_1 + r_2$$

Uwaga: Siła grawitacji oraz siła odśrodkowa działająca na każdą masę muszą się równoważyć.

Odpowiedź: $d = \left(\frac{\gamma M T^2}{4\pi^2} \right)^{\frac{1}{3}}$

6. Obiekt kosmiczny $\mathbf{A}$ porusza się z prędkością $\mathbf{v_0}$ w kierunku Słońca. Parametr zderzenia obiektu ze Słońcem jest $\mathbf{L}$ (najmniejsza odległość między środkiem Słońca a kierunkiem ruchu obiektu przed pojawieniem się sił oddziaływania – rysunek). Znaleźć najmniejszą odległość $\mathbf{r_0}$ na jaką obiekt zbliży się do Słońca ?



Odpowiedź: $r_0 = \frac{\gamma M}{v_0^2} \left[\sqrt{1 + \frac{L^2}{\left(\frac{\gamma M}{v_0^2} \right)^2}} - 1 \right]$ gdzie M jest masą Słońca.

DYNAMIKA

1. Jednorodny walec o promieniu r i masie m stacza się bez poślizgu z równi pochyłej o kącie nachylenia α . Wyznacz:
- przyspieszenie jego środka ciężkości i porównaj z przyspieszeniem kuli oraz walca cienkościennego.
 - przyspieszenie ciał zsuwających się z równi (przy braku tarcia)

Odpowiedź: a) $a = mgsin\alpha/(m + I/r^2)$ gdzie I moment bezwładności staczającego się ciała,
b) $a = gsin\alpha$

2. Przez bloczek o masie M i promieniu r przerzucono nieważką nić na końcach której zawieszono masy m_1 i m_2 . Zakładając brak oporów ruchu wyznacz przyspieszenia tych mas.

Uwaga: niech np. $m_1 > m_2$, dla takiego przypadku ułóż, korzystając z II zas. dynamiki Newtona, równania opisujące ruch każdej masy oraz równanie opisujące ruch boczka.

Odpowiedź: $a = \frac{m_1 - m_2}{m_1 + m_2 + \frac{I}{r^2}} g$ gdzie $I = \frac{1}{2} Mr^2$ $I = \frac{1}{2} Mr^2$

3. Łyżwiarz wykonując piruet obraca się z częstotliwością $n_0 = 2 \text{ s}^{-1}$ przy czym jego moment bezwładności wzgl. osi obrotu jest $I_0 = 2 \text{ kg m}^2$. Jak zmieni się jego prędkość kątowa, jeżeli przez rozstawienie rąk zwiększy on swój moment bezwładności do wartości $I_1 = 2,1 \text{ kg m}^2$

Odpowiedź: zmniejszy się o $\Delta\omega = 2\pi n_0 (1 - \frac{I_0}{I_1}) \approx -0,6 \text{ rad / sek}$

4. Wyznacz średnią siłę działającą na pocisk w lufie podczas wystrzału jeżeli prędkość wylotowa pocisku jest v , jego masa m a długość lufy L .

Odpowiedź: $F = mv^2 / 2 L$