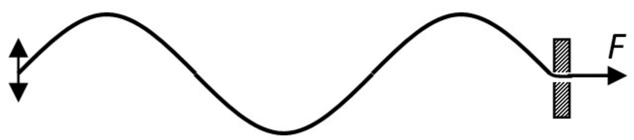
LXX OLIMPIADA FIZYCZNA
ZADANIA ZAWODÓW I STOPNIA
CZĘŚĆ I

ZADANIA CZĘŚCI I (termin wysyłania rozwiązań — 16 października 2020 r.)
Przy rozwiązywaniu wszystkich zadań możesz korzystać z Internetu,
pamiętaj jednak, że nie wszystkie znalezione tam informacje są prawdziwe.

CZĘŚĆ TESTOWA

Zadanie W1.



Struna napięta siłą F jest pobudzana na swoim lewym końcu do drgań harmonicznych (rys.). Przy pewnej wartości siły F struna drgała z większą amplitudą niż amplituda dla wartości nieco mniejszych niż F oraz nieco większych od F.

a) Czy przy ustalonej częstotliwości pobudzania opisana większa amplituda drgań struny wystąpi tylko dla jednej (J) wartości F, czy dla kilku (K) różnych wartości?
b) Gdy nieco zwiększono częstotliwość pobudzania, utrzymanie opisanej większej amplitudy drgań przedstawionych na rysunku wymaga zwiększenia (W), czy zmniejszenia (M) wartości F?

A. a) J, b) W
B. a) J, b) M
C. a) K, b) W
D. a) K, b) M

Rozwiązanie zadania W1: C.

a) Opisana sytuacja zachodzi, gdy w strunie powstaje fala stojąca, co zachodzi dla wielu wartości F.
b) Przy zwiększeniu częstotliwości zmniejsza się długość fali; aby ją z powrotem zwiększyć należy zwiększyć prędkość rozchodzenia się fali w strunie, co zajdzie, gdy odpowiednio zwiększymy F.

Zadanie W2.

Gdy patrzymy przez bardzo wąską szczelinę, obraz ulega rozmyciu. Przyjmijmy, że szczelina jest pozioma, a obraz obserwujemy w świetle czerwonym. Oglądamy obraz składający się z poziomych oraz pionowych linii.

A. Bardziej rozmywają się linie poziome, a w świetle zielonym rozmycie byłoby jeszcze większe.
B. Bardziej rozmywają się linie poziome, a w świetle zielonym rozmycie byłoby mniejsze.
C. Bardziej rozmywają się linie pionowe, a w świetle zielonym rozmycie byłoby jeszcze większe.
D. Bardziej rozmywają się linie pionowe, a w świetle zielonym rozmycie byłoby mniejsze.

Rozwiązanie zadania W2: B.

Dyfrakcja zachodzi w kierunku prostopadłym do szczeliny i jest tym większa, im większa jest długość fali. To oznacza, że prawidłową odpowiedzią jest B (światło zielone ma mniejszą długość fali niż czerwone).

Zadanie W3.

Mikroskop elektronowy pozwala dostrzegać mniejsze obiekty, niż mikroskop optyczny, gdyż

A. soczewki magnetyczne mogą być wykonane z większą precyzją, niż szklane.
B. elektrony mają rozmiary mniejsze od kwantów światła.
C. elektrony nie ulegają dyfrakcji, która pogarsza rozdzielczość mikroskopów optycznych.
D. w mikroskopach elektronowych nie występuje aberracja chromatyczna (rozszczepienie wiązki światła podczas załamania).
E. długość fali elektronów może być znacznie mniejsza od długości fali światła.

Rozwiązanie zadania W3: E.

Efekty dyfrakcyjne są tym mniejsze, im mniejsza jest długość fali używanej do obserwacji, zatem prawidłową odpowiedzą jest E.

Zadanie W4.

Spośród następujących sposobów oddziaływania na niepromieniotwórczą próbkę materiału:

a) zanurzenie próbki w kwasie siarkowym,
b) oziębienie jej do temperatury 1 K,
c) podgrzanie jej do temperatury 10000 K,
d) podgrzanie jej do temperatury 15 mln K,
e) podziałanie na nią mikrofalami we wnęce rezonansowej,
f) oświetlenie jej wiązką promieni nadfioletowych,
g) podziałanie na nią wiązką promieni γ,
h) podziałanie na nią wiązką powolnych neutronów (o energii kinetycznej 0,03 eV),
i) podziałanie na nią wiązką protonów o energii kinetycznej 30 eV,
j) podziałanie na nią wiązką protonów o energii kinetycznej 500 keV,

mogą wywołać promieniotwórczość próbki tylko:

A. a), c), d), f)
B. e), f), i), j)
C. d), g), h), j)
D. b), c), i), j)
E. a), e), g), h).

Rozwiązanie zadania W4: C.

Wywołanie promieniotwórczości wymaga odpowiednio dużej energii, co spełniają punkty: podgrzanie jej do temperatury 15 mln K, podziałanie na nią wiązką promieni γ, podziałanie na nią wiązką protonów o energii 500 keV. Dodatkowo wiązka powolnych neutronów może spowodować reakcje rozszczepienia (ponieważ są one neutralne elektrycznie, energia potrzebna do zbliżenia się do jądra na odpowiednią odległość jest minimalna) czy również wywołać promieniotwórczość próbki.

Zadanie W5.

Między okładki powietrznego kondensatora płaskiego naładowanego ładunkiem Q wstawiamy sztywny dielektryk, w taki sposób, że między dielektrykiem a okładką jest bardzo mały odstęp. Określ jak zmieni się siła działająca na jedną z okładek w następujących przypadkach:

a) Gdy kondensator jest odłączony od obwodu elektrycznego (okładki są izolowane).
   A. Wzrośnie
   B. Zmaleje
   C. Nie zmieni się
   D. Potrzebne są dodatkowe dane

b) Gdy kondensator jest podłączony jest podłączony do źródła stałego napięcia.
   A. Wzrośnie
   B. Zmaleje
   C. Nie zmieni się
   D. Potrzebne są dodatkowe dane

Rozwiązanie zadania W5: a) C., b) A.

Z prawa Gaussa, płaska płytka o powierzchni A naładowana ładunkiem Q wytwarza z obu swoich stron prostopadłe do swojej powierzchni pole elektryczne o natężeniu $E = \frac{Q}{2A}$. Gdy taka płytka jest okładką kondensatora płaskiego, pole z jednej jej strony (na zewnątrz kondensatora) jest równe 0, a zatem ta płytka jest w zewnętrznym (dla siebie) polu elektrycznym o natężeniu $\frac{Q}{2A}$. To znaczy, że działa na nią siła $E = \frac{Q^2}{2A}$. Przy ustalonym Q siła ta nie zależy od tego, czy między okładkami kondensatora jest kondensator , czy nie. Zatem w przypadku gdy kondensator nie jest podłączony do źródła napięcia, siła elektrostatyczna działająca okładkę nie zmieni się.
Gdy kondensator jest podłączony do stałego napięcia, włożenie dielektryka spowoduje wzrost pojemności kondensatora, a w konsekwencji – zgodnie ze wzorem $Q = CU$ – wzrośnie ładunek na okładce. Zatem w tym przypadku siła działająca na okładkę wzrośnie.

CZĘŚĆ NUMERYCZNA

Zadanie N1.

W powietrzu wydobywającym się z płuc podczas np. kaszlu czy kichnięcia znajdują się małe kropelki wody (potencjalnie mogące zawierać koronawirusa). Przyjmując, że rozmiar jednej z tych kropelek wynosi $r = (5-15)\mu m$, wyznacz czas, po jakim, w nieruchomym powietrzu, taka kropelka spadnie z wysokości $h = (1,0-1,5)m$ na ziemię.
Przyjmij, że siła oporu powietrza R działająca na taką kropelkę poruszającą się w nim z prędkością v jest określona prawem Stokesa

$$R = 6\pi r\mu v,$$

gdzie: μ jest współczynnikiem lepkości dynamicznej,
$\mu = 18,1\mu\mathrm{Pa}s$ dla powietrza o temperaturze $20°C$.
Pomiń parowanie wody z kropelki pomimo tego, że w typowych warunkach czas całkowitego odparowania rozważanych kropelek wynosi kilkanaście sekund.

Rozwiązanie zadania N1.

Siła ciężkości działająca na kropelkę wynosi $\frac{4}{3}\pi r^3\rho g$, gdzie $\rho = 1g/cm^2$ jest gęstością wody, a g - przyspieszeniem ziemskim. Zatem prędkość graniczna kropelki (czy w praktyce prędkość kropelki podczas całego spadku) wynosi: $v_{gr} = \frac{\frac{4}{3}\pi r^3\rho g}{6\pi r\mu} = \frac{2r^2\rho g}{9\mu}$. Dla $r = 10\mu m$ otrzymamy $v_{gr} = 0,012m/s$. Przy ruchu pod wpływem siły ciężkości czas osiągnięcia prędkości zbliżonej do prędkości granicznej jest bardzo mały, zatem można przyjąć, że kropelka spada ze stałą prędkością równą v_{gr}, a czas tego spadania wyniesie $t = \frac{h}{v_{gr}}$. Dla $h = 1,5m$ otrzymujemy $t = 122s$, czyli około 2 min.

Zadanie N2.

Na długą równię pochyłą, nachyloną do poziomu pod kątem $\alpha = (10-120)°$ spada pionowo mała kulka z punktu położonego na wysokości $h = (4-12)cm$ ponad powierzchnią równi i odbija się sprężyście od niej. Wyznacz odległość między pierwszym a $(4-6)$-tym punktem odbicia. Przyjmij, że przyspieszenie ziemskie $g = 9,81m/s^2$. Pomiń opór powietrza oraz przyjmij, że nie występuje tarcie kulki o równię, czyli że przy odbiciu kulka nie zaczyna się obracać.

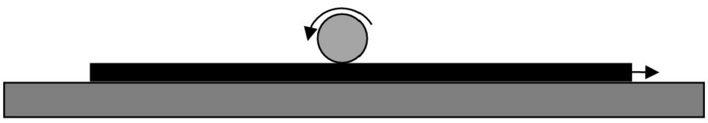
Rozwiązanie zadania N2.

Ruch kulki jest złożeniem ruchu prostopadłego do równi z przyspieszeniem $g\cos\alpha$ oraz ruchu stycznego do równi z przyspieszeniem $g\sin\alpha$. Odległość kulki od równi wynosi $h\cos\alpha$, a czas spadku na równię to $T = \sqrt{\frac{2h}{g}}$. Po uderzeniu o równię kulka odbija się od niej, oddala od niej na odległość $h\cos\alpha$, a potem znowu spada. Do n-tego odbicia upływa czas $t = (2n-1)T$. W tym czasie, skoro kulka porusza się wzdłuż równi z przyspieszeniem $g\sin\alpha$, przebywa drogę

$$\frac{1}{2}g\sin\alpha t^2 = \frac{1}{2}g\sin\alpha(2n-1)^2\frac{2h}{g} = \sin\alpha(2n-1)^2h$$

Zatem odległość między pierwszym, a n-tym punktem odbicia równa jest $D = 4n(n-1)h\sin\alpha$.

Zadanie N3.



Na poziomym podłożu znajduje się płaska płyta o masie M, a na płycie – walec o masie m i promieniu r. Początkowo płyta przesuwa się względem podłoża z prędkością v, a walec toczy się po niej z prędkością kątową taką, że jego oś nie przemieszcza się względem podłoża. Pomiędzy płytą a podłożem występuje tarcie powodujące, że po pewnym czasie płyta się zatrzymuje. Wyznacz wartość prędkości osi walca v_k po zatrzymaniu się płyty, zakładając, że walec toczy się bez poślizgu i do zatrzymania nie spadnie z płyty. Pomiń opór związany z toczeniem oraz opór powietrza.

Rozwiązanie zadania N3.

Na walec działa siła prostopadła do odcinka styczności i przyłożona w środku tego odcinka. Oznaczmy chwilową wartość tej siły przez T. Jest to jedyna pozioma siła działająca na walec, a zatem jego przyspieszenie a spełnia równanie ruchu

$$ma = T$$

Jednocześnie ta sama siła powoduje przyspieszenie kątowe walca ϵ zgodnie z II zasadą dynamiki dla ruchu obrotowego

$$I\epsilon = -Tr$$

gdzie $I = \frac{1}{2}mr^2$ jest momentem bezwładności walca względem jego osi; znak „–” jest konsekwencją faktu, że siła T jest przyłożona na dole walca. Ponieważ walec nie ślizga się po płycie, zachodzi $a = \epsilon r + a_p$, gdzie a_p jest chwilowym przyspieszeniem płyty.
Stąd i z powyższych równań

$$\left(1 + \frac{mr^2}{I}\right) a = a_p$$

Konsekwencją powyższego równania jest

$$\left(1 + \frac{mr^2}{I}\right) \Delta v = \Delta v_p$$

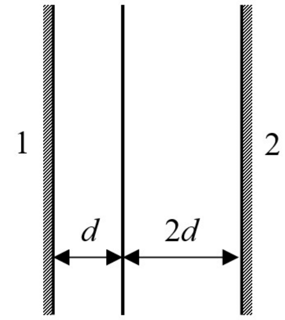
gdzie Δv jest całkowitą zmianą prędkości kulki, a Δv_p - całkowitą zmianą prędkości płyty. W naszym przypadku $\Delta v = v_k - 0$, natomiast $\Delta v_p = 0 - v$, zatem $|v_k| = \frac{1}{3}|v|$.

Zadanie N4.

Informacja. Moc promieniowania elektromagnetycznego P emitowanego przez ciało doskonale czarne o temperaturze T wyraża się wzorem Stefana-Boltzmanna:

$$\frac{P}{S} = \sigma T^4$$

gdzie $\sigma = 5,67 \times 10^{-8}\ Wm^{-2}K^{-4}$ jest stałą Stefana-Boltzmanna, S – wielkością powierzchni ciała emitującej promieniowanie. Ciało doskonale czarne pochłania całe padające na nie promieniowanie.



Dwie powierzchnie ciał doskonale czarnych są płaskie, równoległe i odległe od siebie o $3d$, a ich temperatury wynoszą T_1 i T_2. Między nimi, w odległości d od pierwszej powierzchni a $2d$ od drugiej, znajduje się cienka płyta metalowa (zob. rysunek), którą też można traktować jako ciało doskonale czarne. Po obu stronach płyty jest próżnia. Rozmiary powierzchni i płyty są znacznie większe od d. Oblicz ustaloną po długim czasie temperaturę T tej płyty.

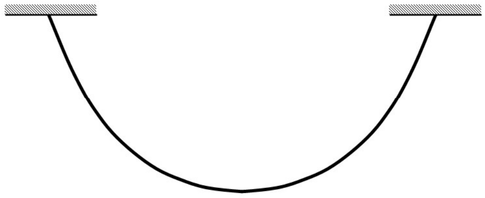
Rozwiązanie zadania N4.

Na wstępie zauważmy, że podane odległości między płytą a powierzchniami 1 i 2 nie mają znaczenia (o ile tylko rozmiary pionowe na rysunku są znacznie większe), gdyż cały strumień promieniowania wysyłanego przez którekolwiek z ciał musi trafić na sąsiednie ciało. Cienka płyta metalowa ma z obu stron jednakową temperaturę (szukaną) – oznaczmy ją przez T. Całkowita moc promieniowania emitowanego przez płytę na jednostkę powierzchni jest równa $\frac{P_e}{S} = 2^4$. Całkowita moc absorbowana na jednostkę powierzchni wynosi $\frac{P_a}{S} = \sigma(T_1^4 + T_2^4)$. Ponieważ (po długim czasie) temperatura płyty się nie zmienia moc emitowana jest równa mocy absorbowanej $\frac{P_e}{S} = \frac{P_a}{S}$. Stąd:

$$T = \sqrt[4]{\frac{1}{2}(T_1^4 + T_2^4)}$$

Przykładowa wartość końcowej temperatury płyty, obliczona dla wartości $T_1 = 3K$, $T_2 = 300K$, wynosi $T = 252K$.

Zadanie N5.

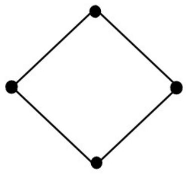


Jednorodna, cienka, wiotka lina jest przewieszona między dwoma, znajdującymi się na takiej samej wysokości punktami odległymi o d, patrz rysunek. Naprężenie liny w jej najniższym punkcie wynosi N. Wyznacz ciężar liny. Potrzebne dodatkowe dane wyznacz z rysunku.

Rozwiązanie zadania N5.

Rozważmy jeden z punktów zawieszenia liny. Pionowa składowa działającej na niego siły jest równa połowie całkowitego ciężaru liny, czyli $P/2$. Pozioma składowa działającej na ten punkt liny jest równa naprężeniu liny w jej najniższym punkcie, czyli N. Ponieważ na rozważany punkt lina działa siłą styczną do niej, kąt nachylenia tej liny względem pionu w punkcie zawieszenia spełnia równanie $\operatorname{tg}\alpha = \frac{N}{P/2}$. Zatem odczytując ten kąt z rysunku wyznaczymy ciężar liny jako $P = 2N \operatorname{ctg}\alpha$.

Zadanie N6.

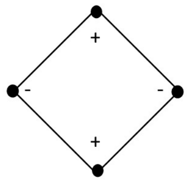


Cztery identyczne, cienkie, metalowe pręty są ze sobą połączone przegubowo, a chwili początkowej tworzyły kwadrat o boku a – patrz rysunek. Pręty pozostawały stale w płaszczyźnie prostopadłej do stałego pola magnetycznego o indukcji B. Opór elektryczny każdego pręta jest równy R, a przeguby idealnie przewodzą prąd. Zaczynając od chwili początkowej, a kończąc na chwili, gdy wszystkie pręty są do siebie równoległe, dwa przeciwległe przeguby zbliżały się do siebie ze stałą prędkością v.
Wyznacz wartość całkowitego ładunku elektrycznego, jaki przepłynął przez pręty.
Pomiń pole magnetyczne wytwarzane przez prąd płynący przez pręty.

Rozwiązanie zadania N6.

Zgodnie z prawem indukcji Faradaya, siła elektromotoryczna E indukowana w obwodzie jest równa $E = -\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$, gdzie $\Delta\Phi$ jest zmianą strumienia indukcji pola magnetycznego w ciągu krótkiego czasu Δt. W naszym przypadku B jest stałe, zatem $\Delta\Phi = B\Delta S$, gdzie ΔS jest zmianą powierzchni ograniczonej przez pręty.
Ponieważ opór elektryczny obwodu wynosi $4R$, natężenie I prądu płynącego w obwodzie spełnia równanie $4RI = -\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$, czyli $4RI\Delta t = 4R\Delta Q = -\Delta\Phi$, gdzie ΔQ jest ładunkiem, jaki przepłynął w obwodzie w czasie Δt. Ponieważ R jest stałe, to równanie obowiązuje dla wszystkich Δt, nie tylko małych. Zatem w naszym przypadku otrzymamy $|Q| = \frac{Ba^2}{4R}$.

Zadanie N7.



Cztery cząstki: dwie o ładunku dodatnim $+|e|$ i masie tak dużej, że można przyjąć, że są nieruchome, oraz dwie o ładunku ujemnym $-|e|$ i masie m każda spoczywają początkowo w wierzchołkach kwadratu o boku a – patrz rysunek. Wyznacz odległość między ujemnymi ładunkami w chwili, gdy ich prędkość będzie maksymalna.

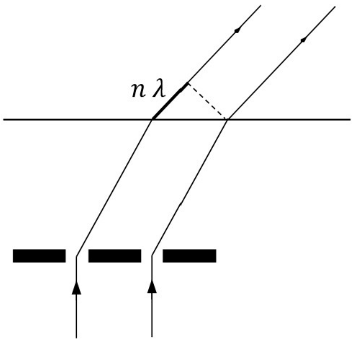
Rozwiązanie zadania N7.

Z symetrii wynika, że wypadkowa siła działająca na ładunki ujemne jest skierowana od jednego do drugiego. Jest ona równa

$$F = \left(2\frac{x}{(x^2+\frac{a^2}{2})^{3/2}} - \frac{1}{4x^2}\right)\frac{e^2}{4\pi\epsilon_0}$$

gdzie x jest połową odległości między cząstkami ujemnymi. Dla $x = \frac{\sqrt{2}}{2}a$, czyli w chwili początkowej ta siła jest dodatnia i powoduje zbliżanie się cząstek ujemnych do siebie. Następnie ta siła maleje i dla $x = \frac{a}{\sqrt{6}}$ jest równa 0. Przy dalszym zmniejszaniu się x ta siła staje się ujemna. Zatem największa prędkość ładunków ujemnych będzie dla odległości miedzy nimi równej $\frac{2a}{\sqrt{6}}$.

Zadanie N8.



Na dnie akwarium leży siatka dyfrakcyjna o stałej siatki d. Na siatkę, prostopadle do jej powierzchni, pada z zewnątrz (od dołu) wiązka światła laserowego o długości fali w powietrzu λ. Powierzchnia wody znajduje się w odległości h od siatki, a ekran w odległości $l > h$ od niej. h jest znacznie większe od λ, a l jest znacznie większe od h.
Wyznacz odległość x_1 między środkami zerowego i pierwszego prążka interferencyjnego na ekranie.
Uwzględnij, że ta odległość jest znacznie mniejsza od l. Współczynnik załamania światła dla wody wynosi $n = 1,33$.

Rozwiązanie zadania N8.

Ponieważ $l \gg h$ oraz powierzchnia wody jest równoległa do płaszczyzny siatki, drogi optyczne przechodzące przez wodę są w przypadku obu szczelin takie same (patrz rysunek). To znaczy, że w tym przypadku kąt α, przy którym zachodzi interferencja jest określony przez długość fali w powietrzu odległość między szczelinami siatki i spełnia standardowy wzór

$$d\sin\alpha = n\lambda$$

gdzie n jest liczbą całkowitą.
W naszym przypadku $n = 1$, $\sin\alpha \approx \frac{x_1}{l}$, zatem $x_1 = \frac{\lambda}{d}l$.
Np. dla $\lambda = 650nm$, $d = 20000nm$, $l = 1m$ otrzymamy $x_1 = 0,032m$.

Zadanie N9.

W idealnie sztywnym, szczelnym zbiorniku w kształcie walca o promieniu r i wysokości h znajduje się woda o temperaturze $4°C$. oraz mały balonik wypełniony powietrzem – również o temperaturze $4°C$. Balonik jest przyczepiony do wieczka walca, a oś walca jest pionowa. Początkowo balonik znajdował się w najwyższym punkcie zbiornika, objętość powietrza w jego wnętrzu wynosiła V_1, a ciśnienie p_1. Walec obrócono wokół osi poziomej o 180°, w wyniku czego balonik znalazł się na dnie. Wyznacz ciśnienie powietrza we wnętrzu balonika. Wynik podaj z dokładnością 5%. Pomiń energię i grubość powierzchni balonika oraz napięcie powierzchniowe wody. Jeśli potrzebne są dodatkowe dane, wyszukaj je w dostępnych Ci źródłach.

Rozwiązanie zadania N9.

Początkowo ciśnienie na górze zbiornika jest równe ciśnieniu wewnątrz balonika, a ciśnienie na głębokości z wynosi $\rho gz+p_1$. Zamiast obracanie walca, rozważmy (równoważny z punktu widzenia sytuacji końcowej) proces przemieszczania (za pomocą jakiejś siły zewnętrznej) balonika w dół, wzrastające ciśnienie spręża powietrze w baloniku. Ale ponieważ zbiornik jest sztywny, o tyle samo, o ile zmniejszy się objętość powietrza w baloniku, o tyle samo musi się zwiększyć objętość wody.
Ponieważ jednak woda jest bardzo mało ściśliwa, te zmiany objętości będą bardzo małe, a zatem ciśnienie wewnątrz balonika praktycznie nie ulegnie zmianie. To oznacza, że ciśnienie na głębokości z, na której znajduje się balonik jest równe p_1, a ciśnienie na górze naczynia $p_1 - \rho gz$. Jednak ujemne $p_1-\rho gz$ oznacza ujemne ciśnienie wody, a to nie może wystąpić – woda odrywa się od pokrywki naczynia a powstałą (teoretycznie) próżnię wypełnia para wodna. Zatem najniższe ciśnienie, jakie może wystąpić na górze naczynia jest równe ciśnieniu pary nasyconej w danej temperaturze p_{nas}.
Stąd ciśnienie na dnie naczynia, po przemieszczeniu tam balonika, równe ciśnieniu powietrza wewnątrz balonika, wynosi p_1 jeśli $p_1 \geqslant p_{nas} + \rho gh$, oraz $p_{nas} + \rho gh$ jeśli $p_1 < p_{nas} + \rho gh$.
Komentarz:
Dla rozważanych danych (podanych w formularzu internetowym) zachodził ten drugi przypadek; dodatkowo można pominąć p_{nas} w porównaniu z ρgh, zatem szukanie ciśnienie to ρgh.

Zadanie N10.

Metoda datowania radiowęglowego polega na porównaniu stosunku liczby atomów nietrwałego izotopu węgla ^{14}C do liczby atomów izotopów trwałych ^{12}C oraz ^{13}C w danej próbce organicznej. W czasie, gdy powstawała tkanka, z której pobrano próbkę (np. wyrosło drzewo), ten stosunek był taki, jak w danym okresie w powietrzu (bo rośliny pobierają węgiel z CO_2 z powietrza). Potem izotop ^{14}C ulega rozpadowi na azot, elektron i antyneutrino w reakcji $^{14}C \rightarrow ^{14} N + e^- + \bar{\nu}_e$ z czasem połowicznego rozpadu $T_{1/2} = 5740$ lat.
Przyjmując, że stosunek liczby atomów nietrwałego izotopu węgla ^{14}C do liczby atomów izotopów trwałych ^{12}C oraz ^{13}C w powietrzu wynosi x_0, ustal wiek próbki, w której taki stosunek jest równy x.
Uwaga: tak wyznaczony wiek jest tylko grubym przybliżeniem. W rzeczywistości należy uwzględnić, to że w różnych okresach czasu stosunek ilości ^{14}C do ilości ^{12}C oraz ^{13}C w powietrzu był różny. Służą do tego tzw. krzywe kalibracji, pochodzące z badania próbek organicznych o znanym wieku.

Rozwiązanie zadania N10.

Z prawa rozpadu promieniotwórczego wynika, że

$$x = x_0 2^{-\frac{t}{T_{1/2}}}$$

gdzie t jest czasem, jaki upłynął od momentu powstania danej substancji.
Stąd

$$t = T_{1/2} \log_2 \frac{x_0}{x}$$

Np. dla $x_0 = 1,0 \times 10^{-12}$ oraz $x = 0,60 \times 10^{-12}$ otrzymamy $t \approx 3000$ lat.