

LW Olimpiada Fizyczna

zawody II stopnia

ZADANIE 1

Pocisk w kształcie stożka o polu podstawy S i kącie rozwarcia 2α porusza się z prędkością v wzdłuż swojej osi (w stronę wierzchołka) w bardzo rozrzedzonym jednoatomowym gazie. Temperatura gazu jest na tyle niska, a prędkość v na tyle duża, iż można przyjąć, że atomy gazu są nieruchome. Gęstość gazu jest równa ρ .

Zakładając, że atomy gazu zderzają się z powierzchnią pocisku doskonale sprężysto i nie zderzają się ze sobą, obliczyć siłę oporu, jaka działa na pocisk. Powierzchnia pocisku jest idealnie gładka. Podaj wartość liczbową dla $\rho = 10^{-3} \text{ kg/m}^3$, $v = 7 \text{ km/s}$, $\alpha = 45^\circ$, $S = 0,01 \text{ m}^2$.

ROZWIĄZANIE

Zagadnienie będziemy rozpatrywali w układzie, w którym stożek jest nieruchomy.

Ponieważ zderzenie jest doskonale sprężyste, a powierzchnia stożka nieruchoma, atom gazu po zderzeniu będzie miał prędkość v skierowaną pod kątem 2α w stosunku do początkowej prędkości. Zatem zmiana składowej pędu atomu o masie m równoległej do osi stożka jest równa

$$\Delta p = mv(\cos 2\alpha - 1).$$

W czasie Δt ze stożkiem zderza się ΔN atomów gazu, przy czym

$$\Delta N = \frac{\rho}{m} v S \Delta t.$$

Zatem całkowita siła oporu działająca na stożek jest równa

$$F_{\text{oporu}} = -\frac{\Delta N \Delta p}{\Delta t} = (1 - \cos 2\alpha) \rho v^2 S = 2 \sin^2 \alpha \rho v^2 S.$$

Jej wartość liczbowa dla powyższych danych wynosi $F_{\text{oporu}} \approx 490 \text{ N}$.

ZADANIE 2

Wąska wiązka fulerenów – cząsteczek węgla C_{60} w kształcie piłki futbolowej – pada prostopadle na siatkę dyfrakcyjną o stałej sieci $d = 100 \text{ nm}$ (siatką dyfrakcyjną jest płytka z azotku krzemu

z wyciętymi równoległymi wąskimi szczelinami). Za siatką znajdują się detektory zliczające cząsteczki docierające do poszczególnych punktów płaszczyzny („ekranu”) znajdującej się w dużej odległości od siatki i równoległej do niej. Wskazania detektorów służą do wyznaczenia powstałego obrazu interferencyjnego.

■ a) Przyjmując, że rozkład prędkości cząsteczek (v) w wiązce jest rozkładem jednorodnym w zakresie $v \in \langle v_0 - \Delta v; v_0 + \Delta v \rangle$, wyznacz kąt ugięcia wiązki α_n odpowiadający położeniu środka prążka interferencyjnego n -tego rzędu oraz kąt $\Delta \alpha_n$ odpowiadający szerokości tego prążka (prążek jest obszarem, do którego dolatują cząsteczki). Podaj wartości liczbowe dla $n = 1$, $v_0 = 117 \text{ m/s}$, $\Delta v = 0,17v_0$. Rozważ tylko te prążki, dla których $\sin \alpha_n \approx \alpha_n$.

■ b) Jaki jest dopuszczalny rozrzut Δv prędkości cząsteczek w wiązce (przy ustalonym v_0), aby prążek n -tego rzędu był dobrze rozdzielalny, tzn. aby po obu jego stronach były miejsca, do których nie docierają cząsteczki?

Zakładamy, że każda z cząsteczek ma dokładnie określony pęd.

Masa atomu węgla jest równa $2,0 \cdot 10^{-26} \text{ kg}$, stała Plancka $h = 6,6 \cdot 10^{-34} \text{ Js}$.

ROZWIĄZANIE

■ a) Prążki interferencyjne pojawiają się, gdy różnica faz fal (w tym wypadku fal de Broglie’a) wychodzących z sąsiednich szczelin siatki jest równa wielokrotności 2π , czyli gdy kąt ugięcia wiązki α spełnia warunek

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

gdzie n jest liczbą całkowitą, a λ – długością fali de Broglie’a cząsteczki o masie m i prędkości v

$$\lambda = \frac{h}{mv}$$

(h jest stałą Plancka).

Dla wiązki cząsteczek o jednakowych prędkościach (i idealnej siatki dyfrakcyjnej, o dużej liczbie szczelin) każdy prążek jest nieskończenie cienki. Jednak w naszym przypadku, ze względu na różne prędkości

cząsteczek w wiązce, prążek n -tego rzędu będziemy obserwować dla kątów ugięcia od α_n^+ do α_n^- , gdzie

$$d\alpha_n^+ \approx d \sin \alpha_n^+ = n \frac{h}{m(v_0 + \Delta v)}$$

$$d\alpha_n^- \approx d \sin \alpha_n^- = n \frac{h}{m(v_0 - \Delta v)}.$$

Zatem kąt odpowiadający położeniu środka prążka n -tego rzędu jest dany wzorem

$$\alpha_n = \frac{1}{2} n \frac{h}{md} \left(\frac{1}{v_0 - \Delta v} + \frac{1}{v_0 + \Delta v} \right) =$$

$$= n \frac{h}{md} \frac{v_0}{v_0^2 - (\Delta v)^2},$$

a kąt odpowiadający szerokości tego prążka wzorem

$$\Delta\alpha_n = n \frac{h}{md} \left(\frac{1}{v_0 - \Delta v} - \frac{1}{v_0 + \Delta v} \right) =$$

$$= n \frac{h}{md} \frac{2\Delta v_0}{v_0^2 - (\Delta v)^2}.$$

Dla podanych wartości liczbowych otrzymamy (w radianach)

$$\alpha_1 \approx 4,8 \cdot 10^{-5},$$

$$\Delta\alpha_1 \approx 1,6 \cdot 10^{-5}.$$

■ b) Na ekranie, między n -tym a $(n+1)$ -szym prążkiem, będą miejsca, do których nie dolatują cząsteczki, jeśli

$$\alpha_n^- < \alpha_{n+1}^+,$$

czyli

$$n \frac{h}{md} \frac{1}{v_0 - \Delta v} < (n+1) \frac{h}{md} \frac{1}{v_0 + \Delta v},$$

co daje

$$\Delta v < \frac{v_0}{2n+1}. \quad (1)$$

Jeśli powyższa nierówność będzie spełniona, to również między $(n-1)$ -szym a n -tym prążkiem będzie obszar, do którego nie dolatują cząsteczki. Zatem wzór (1) jest szukanym warunkiem na dopuszczalny rozrzut prędkości.

ZADANIE 3

Rozważmy gumowy balonik, który po nadmuchaniu powietrzem ma kształt kuli.

■ a) Gdy promień balonika wynosił $r_1 = 0,1$ m, to wewnątrz panowało ciśnienie $p_1 = 1,1 \cdot 10^5$ Pa. Jakie ciśnienie panuje wewnątrz balonika, po nadmuchaniu go tak, by miał promień $r_2 = (3/2)r_1$? W obu przypadkach temperatura powietrza wewnątrz balonika jest równa temperaturze otoczenia i wynosi $T_0 = 300$ K. Ciśnienie powietrza otaczającego balonik jest równe $p_0 = 1,0 \cdot 10^5$ Pa.

■ b) Balonik o promieniu r_2 (czyli po nadmuchaniu zgodnie z pkt. a) zanurzono powoli w wodzie na taką głębokość, by jego promień zmalał do $r_3 = r_1$. Ile wynosi ta głębokość? Jakie są temperatura i ciśnienie wewnątrz balonika po zanurzeniu? Zakładamy, że powłoka balonika nie przepuszcza ciepła. Początkowa temperatura wewnątrz balonika była równa T_0 . Balonik przed zanurzeniem znajdował się tuż nad powierzchnią wody.

■ c) Jaką pracę wykonano w trakcie zanurzenia zgodnie z pkt. b)?

Energia sprężysta gumy, z której jest wykonany balonik, jest równa $E_s = (1/2)\alpha S^2$, gdzie α jest pewną stałą, a S – powierzchnią balonika. Balonik jest na tyle mały, że również po zanurzeniu w wodzie ma kształt kuli. Przyjmij, że powietrze zachowuje się jak gaz doskonały o molowym cieple właściwym przy stałej objętości $c_v = (5/2)R$, gdzie R jest uniwersalną stałą gazową. Guma, z której jest wykonany balonik, ma zaniedbywalną masę oraz zaniedbywalną pojemność cieplną. Zaniedbaj również gęstość powietrza w porównaniu z gęstością wody $d_w = 1000$ kg/m³. Przyspieszenie ziemskie $g = 9,8$ m/s².

ROZWIĄZANIE

■ a) W stanie równowagi, przy infitezymalnej zmianie promienia o dr , suma prac wykonanych przez siły ciśnienia zewnętrznego i wewnętrznego jest równa zmianie energii sprężystej balonika

$$(p - p_0)dV = dE_s,$$

czyli

$$(p - p_0)4\pi r^2 dr = \frac{1}{2}\alpha(4\pi)^2 4r^3 dr,$$

co daje

$$p - p_0 = 8\pi\alpha r.$$

Dla promieni r_1 i r_2 dostajemy

$$p_1 - p_0 = 8\pi\alpha r_1,$$

$$p_2 - p_0 = 8\pi\alpha r_2,$$

stąd

$$\frac{p_2 - p_0}{p_1 - p_0} = \frac{r_2}{r_1}.$$

Ostatecznie

$$p_2 = \frac{r_2}{r_1}(p_1 - p_0) + p_0 = 1,15 \cdot 10^5 \text{ Pa.}$$

■ b) Ponieważ w tym procesie nie ma przepływu ciepła, a zanurzenie odbywa się powoli, z równania adiabaty $pV^\kappa = \text{const}$ mamy

$$p_2 \left(\frac{4}{3}\pi r_2^3 \right)^\kappa = p_3 \left(\frac{4}{3}\pi r_3^3 \right)^\kappa,$$

gdzie p_3 jest ciśnieniem w baloniku po zanurzeniu go w wodzie (tak by miał promień r_3),

a $\kappa = (c_V + R)/c_V = 7/5$. Stąd

$$p_3 = p_2 \left(\frac{r_2}{r_3} \right)^{3\kappa} \approx 6,3 \cdot 10^5 \text{ Pa},$$

zatem ciśnienie wody na zewnątrz balonika jest równe

$$\begin{aligned} p_w &= p_3 - 8\pi\alpha r_3 = p_3 - 8\pi\alpha r_1 = \\ &= p_3 - (p_1 - p_0) \approx 6,2 \cdot 10^5 \text{ Pa}. \end{aligned}$$

W wodzie, na głębokości h , ciśnienie jest równe $p_0 + d_w g h$, zatem

$$h = \frac{p_w - p_0}{d_w g} \approx 53 \text{ m}.$$

Temperaturę wewnątrz balonika po zanurzeniu wyznaczmy, korzystając z równania stanu gazu doskonałego $pV = nRT$:

$$\begin{aligned} T_3 &= \frac{p_3 V_3}{nR} = \frac{p_3 V_3 T_0}{p_2 V_2} = \\ &= \left(\frac{V_2}{V_3} \right)^{\kappa-1} \cdot T_0 = \left(\frac{r_2}{r_3} \right)^{3(\kappa-1)} \cdot T_0 \approx 488 \text{ K}. \end{aligned}$$

■ c) I sposób

Praca W wykonana w tym procesie jest równa zmianie energii układu równej sumie zmian energii wewnętrznej gazu ΔE_g , energii sprężystości gumy balonika ΔE_s i energii objętościowej otoczenia ΔE_o

$$\Delta E_g = n c_V (T_3 - T_0),$$

$$\Delta E_s = 8\pi^2 \alpha (r_3^4 - r_2^4).$$

Energia objętościowa jest równa pracy potrzebnej do „rozepchnięcia” wody (lub innego ośrodka), tak by w nim zmieściło się dane ciało, i wynosi $E_o = pV$. (Łatwo sprawdzić, że dla ciała o stałej objętości zmiana energii objętościowej przy zanurzeniu ciała jest równa pracy wykonanej w tym procesie.) W naszym przypadku

$$\Delta E_o = -\frac{4}{3}\pi p_0 r_2^3 + \frac{4}{3}\pi p_w r_3^3,$$

zatem

$$\begin{aligned} W &= n c_V (T_3 - T_0) + 8\pi^2 \alpha (r_3^4 - r_2^4) + \\ &+ \frac{4}{3}\pi (-p_0 r_2^3 + p_w r_3^3). \end{aligned}$$

Ilość (liczba moli) gazu jest równa $n = p_2 V_2 / (RT_0)$,

stała $\alpha = (p_1 - p_0) / (8\pi r_1)$.

Pozostałe parametry już wyznaczyliśmy, zatem

$$\begin{aligned} W &= \frac{4}{3}\pi \frac{c_V p_2 r_2^3}{T_0} (T_3 - T_0) + \pi \frac{p_1 - p_0}{r_1} (r_3^4 - r_2^4) + \\ &+ \frac{4}{3}\pi p_w r_3^3 - \frac{4}{3}\pi p_0 r_2^3 = \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} &= \frac{4}{3}\pi \frac{c_V p_2 r_2^3}{R} \left[\left(\frac{r_2}{r_3} \right)^{3\kappa-3} - 1 \right] - \frac{\pi}{3} \frac{p_1 - p_0}{r_1} r_3^4 - \\ &- \pi \frac{p_1 - p_0}{r_1} r_2^4 + \frac{4}{3}\pi p_2 \left(\frac{r_2}{r_3} \right)^{3\kappa} r_3^3 - \frac{4}{3}\pi p_0 r_2^3 = \\ &= \frac{4}{3}\pi \frac{c_V + R}{R} p_2 r_2^3 \left[\left(\frac{r_2}{r_3} \right)^{3\kappa-3} - 1 \right] - \\ &- \frac{\pi}{3} \frac{p_1 - p_0}{r_1} (r_3^4 - r_2^4) = \\ &= \frac{4}{3}\pi \frac{c_V + R}{R} \left(p_0 + \frac{p_1 - p_0}{r_1} r_2 \right) r_2^3 \left[\left(\frac{r_2}{r_3} \right)^{3\kappa-3} - 1 \right] - \\ &- \frac{\pi}{3} \frac{p_1 - p_0}{r_1} (r_3^4 - r_2^4). \end{aligned} \quad (2)$$

Podstawiając wartości liczbowe, otrzymujemy, że szukana praca jest równa

$$W \approx 3,6 \cdot 10^3 \text{ J}.$$

■ c) II sposób

Siła wyporu działająca na zanurzony balonik jest równa

$$F_w = \frac{4}{3}\pi r^3 d_w g,$$

gdzie r jest promieniem balonika znajdującego się na głębokości z .

Związek między promieniem balonika a głębokością jest dany wzorem (p to ciśnienie wewnątrz balonika)

$$p_0 + d_w g z = p - 8\pi\alpha r = p_2 \left(\frac{r_2}{r} \right)^{3\kappa} - (p_1 - p_0) \frac{r}{r_1},$$

co pozwala zapisać:

$$d_w g dz = \left(p_2 \frac{(-3\kappa) r_2^{3\kappa}}{r^{3\kappa+1}} - \frac{p_1 - p_0}{r_1} \right) dr.$$

Zatem praca przeciw sile wyporu jest równa

$$\begin{aligned} W &= \int_0^h F_w dz = \\ &= \int_{r_2}^{r_3} \frac{4}{3}\pi r^3 \left[p_2 (-3\kappa) \frac{(r_2)^{3\kappa}}{r^{3\kappa+1}} - (p_1 - p_0) \frac{1}{r_1} \right] dr = \\ &= \frac{4}{3}\pi \int_{r_2}^{r_3} \left[p_2 (-3\kappa) \frac{(r_2)^{3\kappa}}{r^{3\kappa-2}} - (p_1 - p_0) \frac{r^3}{r_1} \right] dr = \\ &= \frac{4}{3}\pi \left[p_2 \left(\frac{-3\kappa}{3-3\kappa} \right) \frac{(r_2)^{3\kappa}}{r^{3\kappa-3}} - \frac{1}{4} (p_1 - p_0) \frac{r^4}{r_1} \right]_{r_2}^{r_3} = \\ &= \frac{4}{3}\pi p_2 \frac{c_V + R}{R} r_2^3 \left[\left(\frac{r_2}{r_3} \right)^{3\kappa-3} - 1 \right] - \\ &- \frac{\pi}{3} (p_1 - p_0) \frac{(r_3^4 - r_2^4)}{r_1}, \text{ co jest zgodne z (2)}. \end{aligned}$$

ZADANIE DOŚWIADCZALNE

Masz do dyspozycji:

- cienki drut z niemagnetycznego metalu,
- silny magnes stały,
- ciężarek o masie $m = (100,0 \pm 0,5)$ g,
- statyw, pręty stalowe, uchwyty,
- linijkę,
- generator napięcia sinusoidalnego o regulowanej częstotliwości,
- przewody elektryczne z zaciskami,
- papier milimetrowy.

Wyznacz gęstość liniową (masę na jednostkę długości) drutu.

Przyspieszenie ziemskie wynosi $g = 9,81 \text{ m/s}^2$.

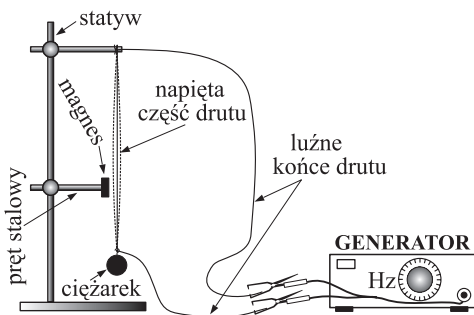
Wskazówka

Prędkość V fal poprzecznych w strunie o gęstości liniowej μ napiętej siłą F wyraża się wzorem

$$V = \sqrt{\frac{F}{\mu}}$$

ROZWIĄZANIE
Część teoretyczna

Zadanie można rozwiązać, badając częstotliwość drgań własnych drutu obciążonego ciężarkiem (rys. 1). Ciężarek należy zawiesić na statywie, wykorzystując tylko część drutu. Luźne końce drutu należy połączyć z zaciskami generatora za pomocą „krokodylków”. Należy zadbać, aby nie wprowadziło to dodatkowego naprężenia drutu. Na odcinek drutu o długości ΔL znajdujący się w pobliżu magnesu działa siła elektrodynamiczna F proporcjonalna do chwilowej wartości natężenia prądu I płynącego przez drut oraz indukcji pola magnetycznego B wytwarzanego przez magnes ($F = BI\Delta L$). Kierunek siły jest prostopadły zarówno do kierunku prądu jak i wektora indukcji B . Ponieważ przez drut płynie prąd zmienny, to zwrot siły zmienia się z częstotliwością zadaną przez generator. Częstotliwość prądu wytwarzanego przez generator można dobrać



Rys. 1

tak, aby zrównała się z częstotliwością drgań własnych drutu. W rezonansie nawet niewielkie zaburzenie periodyczne może doprowadzić do tak dużego wzrostu amplitudy drgań, że będzie można je zaobserwować bez żadnych dodatkowych przyrządów. Wtedy możliwe będzie odczytanie częstotliwości rezonansowej wprost ze skali generatora.

Jeśli potraktować drut jak strunę zamocowaną z dwóch końców, to długość fali odpowiadająca jego kolejnym drganiom własnym wyniesie:

$$\lambda_n = 2L/n, \quad (1)$$

gdzie n – liczba naturalna. Z drugiej strony długość fali λ można wyrazić przez prędkość V oraz częstotliwość f_n fali rozchodzącej się w strunie:

$$\lambda_n = \frac{V}{f_n}. \quad (2)$$

Po podstawieniu związku (2) do (1) i skorzystaniu ze związku $V = \sqrt{\frac{F}{\mu}}$ podanego we wskazówce do zadania, otrzymujemy wyrażenie na częstotliwość kolejnych drgań własnych układu:

$$f_n = \frac{1}{2L} \sqrt{\frac{F}{\mu}} n, \quad (3)$$

co można przedstawić w postaci:

$$f_n = f_1 n, \quad (4)$$

gdzie $f_1 = \frac{1}{2L} \sqrt{\frac{F}{\mu}}$ to częstotliwość drgania podstawowego.

Przed zastosowaniem tego wzoru w dalszych rozważaniach należy się zastanowić, czy rzeczywiście można potraktować drut obciążony ciężarkiem jak strunę zamocowaną z dwóch końców. Można do tego zagadnienia podejść na różne sposoby:

■ 1) Można sprawdzić doświadczalnie, że kolejne częstotliwości rezonansowe drutu są wielokrotnościami częstotliwości podstawowej i w ten sposób wykazać zasadność stosowania wzoru (3).

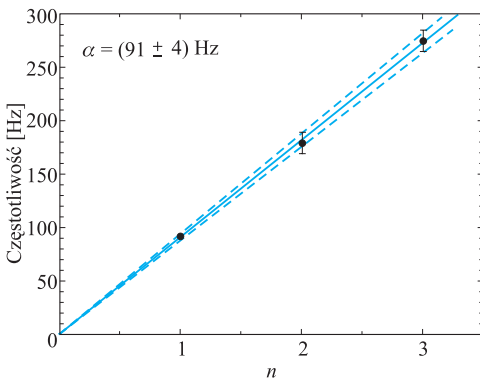
■ 2) Można argumentować, że drut jest bardzo cienki i dlatego można pominąć wpływ jego sztywności na częstotliwość drgań układu. Ponieważ ma on znikomą masę w porównaniu z masą ciężarka, to jego zamocowanie od strony ciężarka można uznać za sztywne. Dodatkowo niewielka masa drutu powoduje, że siłę naciągu drutu można uznać za stałą na całej długości jego napiętej części. Naciąg określony jest wtedy jedynie przez ciężar obciążnika. Przy spełnieniu powyższych warunków równanie (3) jest również spełnione i szukana gęstość liniowa struny wyrazi się wzorem

$$\mu = \frac{1}{4L^2} \frac{F}{f_1^2}. \quad (5)$$

Część doświadczalna

Obciążamy ciężarkiem drut i zawieszamy go na statywie tak, by zwiisał tuż przy magnecie. Magnes powinien być umieszczony na takiej wysokości, na której spodziewamy się strzałki drgań drutu. Dla drgań podstawowych ($\lambda = 2L$), będzie to w połowie drutu, dla drugiej częstotliwości własnej ($\lambda = L$) w odległości $1/4$ długości drutu, a dla trzeciej ($\lambda = 2/3 L$) odpowiednio w $1/6$ lub $1/2$ odległości od jednego z końców.

Po podłączeniu drutu do generatora ustawiamy najniższą możliwą częstotliwość prądu i powoli ją zwiększamy, aż do uzyskania rezonansu. W przypadku, gdy amplituda drgań jest zbyt duża i drut uderza o magnes, należy zwiększyć jego odległość od magnesu. Ze skali generatora odczytujemy wartości częstotliwości, dla których amplituda drgań drutu silnie wzrasta. W doświadczeniu wykonanym przez recenzenta użyto generatora G432 o oporności wyjściowej 50Ω . Bez obciążenia amplituda napięcia na wyjściu tego generatora wynosiła 5 V .



Rys. 2

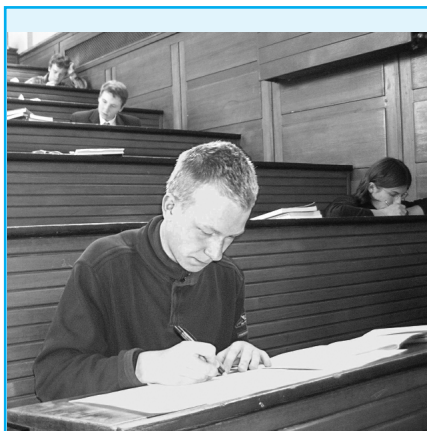
Dla drutu miedzianego o średnicy $0,15 \text{ mm}$ i długości części drgającej $L = (43,2 \pm 0,2) \text{ cm}$ (zmierzonej linijką), przy naciągu $F = mg = (0,98 \pm 0,005) \text{ N}$ wyznaczono częstotliwość drgania podstawowego drutu $f_1 = (92 \pm 2) \text{ Hz}$. Kolejne częstotliwości rezonansowe wynosiły odpowiednio $180 \pm 10 \text{ Hz}$, $275 \pm 10 \text{ Hz}$. Wyniki te możemy nanieść na wykres i dopasować prostą (rys. 2).

Z wykresu wynika, że w granicach niepewności odczytu zmierzone częstotliwości są równe kolejnym wielokrotnościom częstotliwości drgań podstawowych f_1 . Biorąc pod uwagę współczynnik nachylenia prostej $\alpha = (91 \pm 4) \text{ Hz}$, uzyskany z dopasowania do danych eksperymentalnych, i korzystając ze wzoru (4), otrzymamy $\mu = (1,60 \pm 0,14) \cdot 10^{-4} \text{ kg/m}$. Ponieważ już niepewność względna częstotliwości podstawowej drgań $\Delta f_1/f_1 \approx 0,02$ jest znacznie większa od niepewności względnej długości drutu i masy ciężarka $\Delta L/L \approx \Delta m/m = 0,005$, to bez uszczerbku dla dokładności wyniku końcowego gęstość liniową drutu można wyznaczyć bez pomiaru wyższych częstotliwości rezonansowych. Po podstawieniu danych do wzoru (5) uzyskujemy wtedy wartość $\mu = (1,55 \pm 0,07) \cdot 10^{-4} \text{ kg/m}$. Dla drutu o średnicy $0,15 \text{ mm}$ daje to gęstość objętościową $(8,8 \pm 0,4) \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3$, która zgadza się z wartością gęstości podawanej dla miedzi $8,95 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3$.

AUTORZY

- dr Jacek Jasiak – zadania teoretyczne,
- dr Andrzej Wyszomółek – zadanie doświadczalne.

Objaz z Komitetu Głównego Olimpiady Fizycznej i Wydziału Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego.



Fot. Paweł Jamiszewski

GRATULUJEMY!

zwycięzcy *LIV Olimpiady Fizycznej*

Sieciechowi Czajce,

uczniowie III klasy V Liceum Ogólnokształcącego im. ks. Józefa Poniatowskiego w Warszawie oraz jego nauczycielowi fizyki

Panu Andrzejowi Majerowskiemu.

Tradycyjnie listę laureatów podamy razem z zadaniami III etapu, czyli w następnym zeszyście czasopisma.

Redakcja