# LIV OLIMPIADA FIZYCZNA ETAP WSTĘPNY
## Zadania teoretyczne

**Rozwiąż dowolnie wybrane dwa z podanych niżej zadań:**

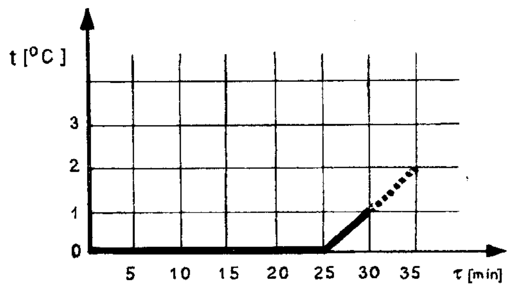
### ZADANIE T1

*Nazwa zadania:* „Zderzenia wagonów buforami"

A) Wagon o masie $m_1 = 2 \cdot 10^4$ kg toczy się bez tarcia z prędkością v = 10 km/h po prostym torze i uderza w wolnostojący na tym samym torze wagon o masie $m_2 = 3 \cdot 10^4$ kg. Na każde $10^4$ N siły przypada 1 cm przemieszczenia pary buforów pierwszego wagonu oraz 0,8 cm przemieszczenia pary buforów drugiego wagonu. Oblicz o ile cm zbliżą się do siebie wagony w czasie zderzenia, tzn. od chwili zetknięcia się buforów do momentu osiągnięcia najmniejszej odległości między wagonami? Opory ruchu i masa buforów są do zaniedbania.

*Nazwa zadania:* „Topnienie lodu w blaszanym naczyniu"

B) W blaszanym naczyniu, w temperaturze $0^{o}$ C znajdował się lód z wodą o łącznej masie m = 20 kg. Naczynie to wniesiono do mieszkania w chwili $\tau$ = 0. Okazało się, że temperatura wody w naczyniu zmienia się zgodnie z podanym wykresem ( ryc. 1). Ile lodu było w naczyniu w chwili $\tau$ = 0? Ciepło właściwe wody wynosi $c_w$ = 4200 $J \cdot (kg \cdot K)^{-1}$, zaś ciepło topnienia lodu – $c_l = 3{,}2 \cdot 10^5$ $Jkg^{-1}$.




Ry c. 1

Omów założenia poczynione przy rozwiązywaniu zadania.

*Nazwa zadania:* „Czas martwy licznika Geigera – Müllera"

C) Licznik Geigera - Müllera oraz współpracująca z nim aparatura elektroniczna mają ograniczoną zdolność rejestrowania szybko następujących po sobie zdarzeń. Licznik, który zarejestrował cząstkę, przez pewien stały odstęp czasu $\tau$ nie reaguje na następne zdarzenia. Dlatego, gdy częstość zdarzeń jest duża, licznik „gubi" cząstki wpadające w odstępach czasu mniejszych niż $\tau$. Ten odstęp czasu $\tau$, po którym licznik znów jest w stanie zarejestrować kolejną cząstkę, nazywa się czasem martwym. Przyjmujemy, że czas martwy licznika Geigera - Müllera nie zależy od rodzaju cząstek i szybkości zliczeń.

Rozważmy dwa podobne źródła promieniowania A i B zawierające pewne izotopy promieniotwórcze, emitujące po jednej cząstce w jednym rozpadzie. Ze źródłami tymi przeprowadzono niżej opisany eksperyment składający się z trzech pomiarów. Każdy pomiar wykonano w czasie t = 1000 s.

| Warunki pomiaru | ilość zliczeń w czasie t = 1000 s |
| --- | --- |
| w pobliżu licznika umieszczono źródło A | $N_A = 98541$ |
| obok źródła A umieszczono źródło B (licznik zlicza cząstki z obydwu źródeł) | $N_{AB} = 195022$ |
| usunięto źródło A (licznik zlicza cząstki ze źródła B) | $N_B = 101481$ |

Oblicz czas martwy licznika $\tau$ oraz rzeczywiste liczby cząstek $n_A$ i $n_B$, wysyłanych przez źródła A i B, wpadających do licznika w czasie pomiarów. Przyjmując dokładność zliczeń $\Delta N = \sqrt{N}$ podaj dokładność wyniku obliczeń czasu $\tau$.

## ROZWIĄZANIE ZADANIA T1

A) W momencie osiągnięcia najmniejszej odległości ustaje zbliżanie wagonów, czyli ich prędkości stają się takie same. Z zasady zachowania pędu mamy więc

$$m_1 v = (m_1 + m_2)v' \; , \tag{1}$$

a z zasady zachowania energii

$$\frac{m_1 v^2}{2} = \frac{(m_1 + m_2)v'^2}{2} + E_1 + E_2 \tag{2}$$

Praca zużyta na ściśnięcie buforów wynosi odpowiednio

$$E_1 = \frac{k_1 x^2}{2} \qquad (k_1 = 10^4 \text{ N / cm}) \tag{3}$$

$$E_2 = \frac{k_2 y^2}{2} \qquad (k_2 = 10^4 \text{ N / 0,8 cm}) \tag{4}$$

gdzie przemieszczenia buforów, równo odpowiednio x i y spełniają warunek $k_1 x = k_2 y$. Stąd $x = (k_2 / k_1)y$, a całkowite zbliżenie wagonów $d = x + y$,

$$d = \left(1 + \frac{k_2}{k_1}\right) y \, . \tag{5}$$

Z powyższych związków oraz z równań (1) – (4) otrzymujemy zależność przemieszczenia buforów drugiego wagonu od prędkości v,

$$y = v \frac{1}{\sqrt{1/m_1 + 1/m_2}} \cdot \frac{1}{\sqrt{1/k_1 + 1/k_2}} \cdot \frac{1}{k_2} \tag{6}$$

W czasie zderzenia wagony zbliżą się do siebie o

$$d = v\sqrt{\frac{1/k_1 + 1/k_2}{1/m_1 + 1/m_2}} \cong 41 \text{ cm} \, . \tag{7}$$

Oto kryteria, jakie zastosowano przy ocenianiu rozwiązań :

| | |
|---|---|
| zapis zasady zachowania pędu | 1 pkt. |
| zapis zasady zachowania energii kinetycznej | 1 pkt. |
| wzory na $E_1$ i $E_2$ | 1 pkt. |
| wzór na y | 2 pkt. |
| wzór na d | 2 pkt. |
| obliczenia liczbowe | 1 pkt. |

B) Z wykresu widać, że przez 25 minut temperatura mieszaniny wody z lodem nie ulegała zmianie i wynosiła $0^{o}$ C. W końcu 25 minuty lód zupełnie się stopił – od tej chwili w naczyniu była już tylko woda. W związku z wyższą od zera temperaturą otoczenia woda zaczęła się ogrzewać. Z nachylenia części wykresu po czasie $\tau_0$ = 25 min (dla $\tau \cong 25$ min) możemy określić szybkość dopływu ciepła do naczynia. Widać, że woda ogrzewała się z szybkością $\alpha$ = 0,2 K / min, a szybkość dopływu ciepła do naczynia wynosiła

$$\beta = \alpha m_w c_w = 16800 \text{ J / min} , \tag{1}$$

gdzie masa wody (począwszy od 25 minuty) wynosiła $m_w$ = 20 kg. Ciepło, jakie dopłynęło w ciągu 25 min jest zatem równe

$$Q = \beta \cdot 25 \text{ min} = 420000 \text{ J} . \tag{2}$$

Ciepło Q zostało zużyte na stopienie lodu znajdującego się w naczyniu w chwili $\tau = 0$, czyli $Q = c_1 m_1$, skąd wyznaczamy masę lodu w $\tau = 0$:

$$m_1 = \frac{Q}{c_1} = 1{,}31 \text{ kg} . \tag{3}$$

Założyliśmy, że :
1. Pojemność cieplna naczynia jest równa zeru
2. Temperatura w mieszkaniu jest stała
3. Podczas ogrzewania wody o jeden stopień szybkość dopływu ciepła do naczynia jest stała i taka sama jak podczas topnienia lodu.

Oto kryteria, jakie zastosowano przy ocenianiu rozwiązań :

| | |
|---|---|
| wzór na $\beta$ | 2 pkt. |
| wzór na Q | 2 pkt. |
| wzór na $m_1$ | 1 pkt. |
| obliczenia liczbowe | 1 pkt. |

C) Jeżeli licznik rejestruje N cząstek w ciągu czasu t, to przez czas $\tau N$ jest on nieczynny. Dostępny czas wynosi zatem $t - \tau N$ . Dla rozważanych trzech pomiarów mamy trzy równania

$$\frac{n_A}{t}\left(t - \tau N_A\right) = N_A \ , \tag{1}$$

$$\frac{n_{AB}}{t}\left(t - \tau N_{AB}\right) = N_{AB} \ , \tag{2}$$

$$\frac{n_B}{t}\left(t - \tau N_B\right) = N_B \ , \tag{3}$$

gdzie $n_{AB} = n_A + n_B$. Powyższy układ równań można rozwiązać dokładnie. Przyjmując jednak $\tau \langle\langle\ t / N$ zadowolimy się przybliżonym rozwiązaniem

$$\tau \cong t \frac{N_A + N_B - N_{AB}}{N_{AB}^2 - N_A^2 - N_B^2} \cong 2{,}8 \cdot 10^{-4} s \ .$$

Podstawiając obliczoną wartość $\tau$ do równań (1) i (3) otrzymujemy $n_A \cong 101310$ oraz $n_B \cong$ 104420. Dokładność wynosi $\Delta\tau/\tau \cong$ 13%.

Dla dwóch różnych źródeł o znacząco różnych natężeniach promieniowania czas martwy uzyskany opisaną tu metodą byłby obarczony większym błędem. Zauważmy też, że opisana metoda pomiaru $\tau$ zawiodłaby zupełnie, gdyby źródła promieniowały cząstki w regularnych odstępach czasu.

Oto kryteria, jakie zastosowano przy ocenianiu rozwiązań :

| | |
|---|---|
| wzór na $N_A$ | 2 pkt. |
| wzór na $N_{AB}$ | 2 pkt. |
| wzór na $N_B$ | 2 pkt. |
| wzór na $\tau$ | 3 pkt. |
| obliczenia liczbowe | 1 pkt. |

Źródło:
Zadanie pochodzi z czasopisma „Druk OF”

Komitet Okregowy Olimpiady Fizycznej w Szczecinie
www.of.szc.pl