L OLIMPIADA FIZYCZNA ETAP WSTĘPNY
Zadanie teoretyczne

Rozwiąż dowolnie przez siebie wybrane dwa spośród poniższych zadań:

ZADANIE T1

Nazwa zadania: „Armatka sprężynowa”

A)

- mechanika
- zasada zachowania pędu
- zasada zachowania energii

Stosunek mas pocisku i armatki sprężynowej wynosi α. Pocisk wystrzelony poziomo z armatki przymocowanej do nieruchomego stołu uzyskuje prędkość v_0. Jaką prędkość uzyska pocisk wystrzelony poziomo z nieumocowanej, początkowo nieruchomej armatki w przypadku, gdy będzie ona mogła się ślizgać bez tarcia po poziomej powierzchni stołu? Masa sprężynki jest do zaniedbania. Armatka może poruszać się jedynie w kierunku równoległym do linii strzału.

Nazwa zadania: „Szybka cząstka”

B)

- mechanika relatywistyczna
- siła Lorentza

Korzystając z relatywistycznego równania ruchu wyznacz tor, po którym porusza się szybka cząstka naładowana o ładunku q i masie spoczynkowej m_0 w jednorodnym polu magnetycznym $\vec{B}$ w przypadku, gdy pole to jest prostopadłe do prędkości początkowej cząstki równej $\vec{v}_o$.

Nazwa zadania: „Spalanie wodoru”

C)

- termodynamika
- I zasada termodynamiki
- przemiana izochoryczna
- przemiana izobaryczna
- bilans cieplny

W cylindrze zamkniętym tłokiem doskonale przewodzącym ciepło znajduję się jeden mol wodoru H_2 i ½ mola tlenu 0_2 w stanie gazowym. Układ ten jest w kontakcie cieplnym z otoczeniem o stałej temperaturze T_0. Proces powolnego, np. katalitycznego, całkowitego spalania wodoru można przeprowadzić przy zachowaniu stałego ciśnienia w cylindrze lub w stałej objętości. Wyznacz różnicę $Q_p - Q_v$ ciepeł oddawanych przez układ otoczeniu w obu tych procesach. Przyjmujemy, że rozważana mieszanina gazów a również para wodna (produkt spalania) są gazami doskonałymi.

ROZWIĄZANIE ZADANIA T1A

Energia napiętej sprężynki wynosi

$$E_0 = \frac{1}{2} m v_0^2 \tag{1}$$

gdzie *m* jest masą pocisku. W przypadku ślizgania się armatki z zasad zachowania energii i pędu mamy:

$$E_0 = \frac{1}{2} m v_0^2 + \frac{1}{2} M V^2 \tag{2}$$

oraz

$$mv = MV \text{ , (0,4 pkt)} \tag{3}$$

gdzie *M* jest masą armatki, a *v* i *V* oznaczają wartości prędkości pocisku i armatki względem stołu. Korzystając z powyższych równań otrzymujemy:

$$v_0^2 = v^2 + \alpha^{-1} V^2 = v^2 (1 - \alpha) \tag{4}$$

i ostatecznie

$$v = \frac{v_0}{\sqrt{1+\alpha}} \text{ . (0,6 pkt)} \tag{5}$$

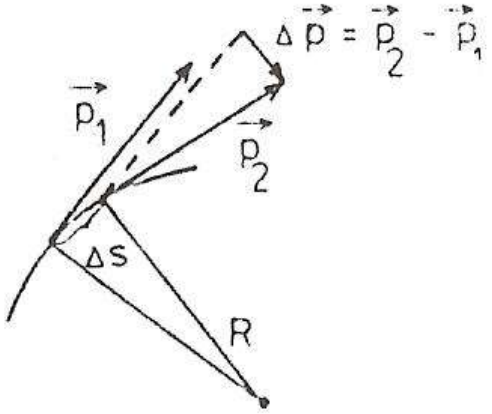
ROZWIĄZANIE ZADANIA T1B

Siła działająca na cząstkę naładowaną w polu magnetycznym jest prostopadła do prędkości cząstki, a stąd wynika, że energia kinetyczna oraz wartość pędu *p* cząstki nie ulegają zmianie. Z równań ruchu dla bliskich chwil t_1 i t_1

$$\vec{p}_2 - \vec{p}_1 = q\vec{v} \times \vec{B}(t_1 - t_2) \text{ , (0,2 pkt)} \tag{1}$$

gdzie $\vec{p}_1 = \vec{p}(t_1)$, $\vec{p}_2 = \vec{p}(t_2)$ leżą w płaszczyźnie prostopadłej do kierunku pola $\vec{B}$.

rys.1



Dla dwóch bliskich punktów krzywą gładką można przybliżyć przez pewien łuk styczny do krzywej w tych dwóch punktach. Niech promień tego łuku wynosi *R*. Z podobieństwa trójkątów (rys. 10) mamy:

$$\frac{|\Delta \vec{p}|}{p} = \frac{\Delta s}{R} = \frac{v \Delta t}{R} \text{ (0,2 pkt)} \tag{2}$$

oraz równania ruchu:

$$\frac{|\Delta\vec{p}|}{\Delta t} = qvB \quad \text{. (0,2 pkt)} \tag{3}$$

Zatem

$$qB = \frac{p}{R} = \frac{m_0 \gamma v}{R} \quad , \tag{4}$$

gdzie

$$\gamma = \frac{1}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}} \tag{5}$$

(c oznacza prędkość światła w próżni). Ostatecznie

$$R = \frac{m_0 \gamma v}{qB} \quad \text{. (0,4 pkt)} \tag{6}$$

Otrzymana wielkość nie zależy od punktu toru, co oznacza, że jest ona taka sama w każdym jego punkcie. Tor cząstki jest więc okręgiem o promieniu *R*. Wzór (6) różni się od nierelatywistycznego czynnikiem γ.
Widać, że w przypadku relatywistycznym zamiast masy m_0 należy wziąć $m_0\gamma$.

ROZWIĄZANIE ZADANIA T1C

Niech U_1 oznacza energię wewnętrzną 3/2 moli mieszaniny H_2 i O_2, a U_2 energię wewnętrzną 1 mola pary wodnej w temperaturze T_0. Jeżeli Q_v jest ciepłem oddanym przez układ podczas spalania H_2 przy stałej objętości, a Q_p – przy stałym ciśnieniu, to z I zasady termodynamiki dla procesu przebiegającego przy stałym ciśnieniu mamy

$$U_2 - U_1 = -Q_p - p\Delta V \quad \text{(0,2 pkt)} \tag{1}$$

i dla procesu przebiegającego w stałej objętości

$$U_2 - U_1 = -Q_v \text{, (0,2 pkt)} \tag{2}$$

gdzie $-p\Delta V$ jest pracą wykonaną nad układem przez siły zewnętrzne przy zmianie objętości o $\Delta V = V_2 - V_1$; V_1 jest objętością 3/2 moli mieszaniny H_2 i O_2.

$$V_1 = \frac{3RT_0}{2p} \quad \text{(0,2 pkt)} \tag{3}$$

oraz V_2 jest objętością jednego mola pary wodnej (powstającej w reakcji $1H_2 + ½O_2 = 1H_2O$)

$$V_2 = \frac{RT_0}{p} \text{, (0,2 pkt)} \tag{4}$$

gdzie R jest stałą gazową.
Różnicę Q_p-Q_v otrzymujemy odejmując stronami równania (1) i (2) oraz korzystając z równań (3) i (4):

$$Qp - Qv = -p\Delta V = pV_1 - pV_2 = \frac{1}{2}RT_o$$. (0,2 pkt) (5)

Źródło:
Zadanie pochodzi z „Druk z OF”

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