

XXXIV OLIMPIADA FIZYCZNA ETAP I

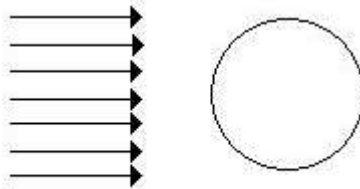
Zadania teoretyczne

ZADANIE T1

Nazwa zadania: „Skok linii śrubowej”

Wyobraźmy sobie następujący eksperyment w próżniowym laboratorium kosmicznym.

Jednorodną kulkę o promieniu 1 mm i powierzchni doskonale pochłaniającej promieniowanie oświetlamy silnym impulsem promieniowania laserowego (ryc.1). Promieniowanie to jest całkowicie spolaryzowane kołowo a odpowiadająca mu długość fali wynosi $\lambda = 10\mu\text{m}$. Pod jego wpływem pierwotnie nieruchoma (tj. spoczywająca w układzie laboratoryjnym) kulka zaczyna się poruszać ruchem postępowym i obrotowym.



Ryc. 1

Wyznacz skok linii śrubowej będącej torem dowolnego punktu kulki nie położonego na osi obrotu.

Uwaga: Monochromatyczne promieniowanie spolaryzowane kołowo można traktować jako strumień fotonów o jednakowym pędzie i momencie pędu. Kierunek momentu pędu jest równoległy do kierunku pędu fotonu a jego wartość wynosi $h/2\pi$ (h - stała Plancka).

ROZWIĄZANIE ZADANIA T1

Założmy, że w ciągu krótkiego czasu Δt kulka absorbuje $n\Delta t$ fotonów. Prowadzi to do przyrostu pędu środka masy kulki $\Delta p = m\Delta v = nh\Delta t / \lambda$. Stąd przyspieszenie środka kulki wynosi

$$a = \frac{nh}{m\lambda}.$$

W czasie Δt zwiększa się moment pędu kulki o $\Delta L = nh\Delta t / 2\pi$. Przyspieszenie kątowe kulki wynosi więc

$$\varepsilon = \frac{nh}{2\pi I},$$

gdzie $I = \frac{2}{5}mr^2$ oznacza moment bezwładności kulki.

Widać stąd, że stosunek przyspieszenia liniowego do kąтового jest równy

$$\gamma = \frac{4}{5}\pi r^2 / \lambda.$$

Wielkość ta jest stała w czasie. Oznacza to, że każdy punkt kuli (poza punktami leżącymi na osi obrotu) porusza się po linii śrubowej. Fakt ten nie zależy od kształtu impulsu laserowego, tj. od zależności natężenia światła lasera od czasu (od tego zależy prędkość liniowa i kąтова, ale nie kształt toru). W szczególności do obliczenia skoku można przyjąć, że oświetlenie jest stałe w czasie trwania impulsu. Ilość

absorbowanych fotonów na jednostkę czasu jest wtedy stała, stałe są też wtedy a i ε . Mamy więc

$$x = \frac{nh}{2\lambda m} t^2, \quad \varphi = \frac{nh}{4\pi I} t^2,$$

Gdzie x i φ oznaczają położenia: liniowe i kątowe. Zatem

$$x = \frac{4\pi r^2}{5\lambda} \varphi.$$

Skok śruby otrzymujemy kładąc $\varphi = 2\pi$. Dostajemy:

$$H = \frac{8\pi^2 r^2}{5\lambda} \approx 1,6m.$$

Kryteria ocen:

Wyznaczenie a	1pkt.
Wyznaczenie ε	1pkt.
Stałość stosunku przyspieszeń γ	1pkt.
Kształt toru i jego niezależność od kształtu impulsu	3pkt.
Wyznaczenie H	2pkt.
Wartość liczbowa H	1pkt.

Źródło:

Zadanie pochodzi z czasopisma „Fizyka w Szkole” maj-czerwiec 1985

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