

관성모멘트 측정과 각운동량 보존

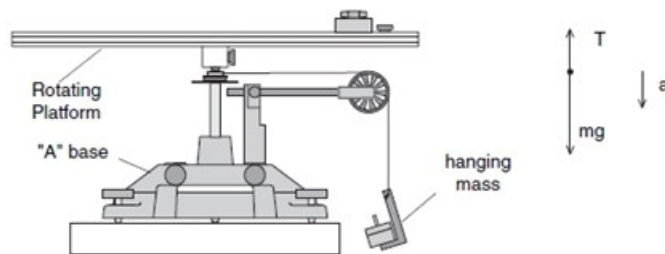
1. 목적

회전하는 물체의 관성모멘트를 실험을 통해 측정하고, 회전하는 물체의 관성모멘트가 변화하는 과정에서 각운동량을 측정하여 각운동량의 보존 여부를 알아본다.

2. 이론

(자세한 이론 설명은 실험 교재(일반물리학 실험)를 참조)

강체의 관성모멘트 I 는 $I = \int r^2 dm$ 으로 구할 수 있고, 외부 돌림힘이 없을 때, 강체의 각운동량 $L = I\omega$ 는 보존된다. 여기서 ω 는 회전각속도이다.



관성모멘트 측정장치

낙하하는 추의 질량을 m , 회전체의 관성모멘트를 I , 회전축의 반지름을 r , 실의 장력을 T , 장력이 도르래를 돌리는 돌림힘을 τ , 추의 낙하가속도를 a , 회전체의 회전각가속도를 α 라 하자. 운동법칙을 추와 회전체에 적용하면,

$$ma = mg - T$$

$$\tau = I\alpha = Tr$$

이고, 실이 미끄러지지 않는 조건에 의해 $a = r\alpha$ 이므로, 관성모멘트를 추의 가속도를 이용하여 표현할 수 있다.

$$I = \frac{\tau}{\alpha} = \frac{r^2 m (g - a)}{a} = mr^2 \left(\frac{g}{a} - 1 \right)$$

3. 실험장치 및 기구

- (1) 회전운동장치, 회전막대, 사각질량, 실,
- (2) 추걸이, 추, 실
- (3) 포토게이트(photogate)
- (4) 디스크, 링

4. 실험방법

A. 관성모멘트 측정

- (1) 추(100 g)와 추걸이의 질량 m 과 실을 감을 회전축의 반지름 r 을 측정한다.

- (2) 회전운동장치를 설치하고 회전막대의 수평을 맞춘다.
- (3) 회전막대 위에 사각질량을 고정한다. 사각질량의 질량중심이 회전축으로부터 10 cm 위치에 오도록 한다.
- (4) 회전축에 실을 감고 추를 추걸이에 매달아 기준위치에서 낙하시키면서 초시계를 사용하여 높이 h 를 떨어지는 동안의 시간 t 를 측정한다. 높이 h 와 시간 t 를 이용하여 추의 낙하가속도 a 를 구한다.
- (5) 과정 (2)~(3)을 5회 반복하여 가속도의 평균값을 기록하고, 이를 이용하여 회전체의 관성모멘트 I_1 를 계산한다.
- (6) 사각질량의 질량중심을 회전막대의 20 cm 위치에 고정시키고, 과정 (3)~(5)를 반복하여 회전체의 관성모멘트 I_2 를 구한다.

B. 회전막대+사각질량의 각운동량 보존

- (1) 사각질량에 실을 연결하여 회전막대에 끼워넣는다.
- (2) 사각질량이 회전막대 위에서 움직일 때, 사각질량의 질량중심이 회전축에서부터의 최대 거리가 20cm, 최소 거리가 10cm가 되도록, stop 나사를 회전막대에 고정시킨다.
- (3) 사각질량에 연결된 실을 회전축의 중심에 통과시키고, 실을 잡아당겼을 때 사각질량이 stop 나사 사이를 자유롭게 움직이는지 확인한다.
- (4) 회전축을 잡고 회전막대를 회전시킨다.
- (5) 사각질량의 질량중심이 20 cm 위치에 있고 회전속도가 안정되면 회전주기 T_2 를 측정한다. 이 때, 포토게이트는 pendulum 모드로 설정하고, 이 때 측정되는 시간은 $T/5$ 임을 유의한다.
- (6) 회전체가 회전하는 중에, 사각질량과 연결된 (회전축을 지나는) 실을 잡아당겨 사각질량의 질량중심이 10 cm에 오도록 한 후에 회전주기 T_1 를 측정한다.
- (7) 과정 (4)~(6)을 5회 반복하고, 사각질량의 질량중심이 10 cm와 20 cm 위치에 있을 때 각각의 각운동량을 I_1, T_1, I_2, T_2 를 이용하여 계산하고 이 두 값을 비교한다.

C. 디스크와 링의 각운동량 보존

- (1) 디스크를 회전축에 연결한다.
- (2) 회전축을 잡고 디스크를 회전시킨다.
- (3) 회전속도가 어느 정도 일정해지면 회전주기 T_1 를 측정한다.
- (4) 회전하고 있는 디스크 위에 링을 올려놓고 회전주기 T_2 를 측정한다.
- (5) 과정 (2)~(4)를 5회 반복한다.
- (6) 디스크와 링의 관성모멘트는 실험 A를 이용하여 측정할 수 있고, 또는 디스크와 링의 질량 M 과 반지름을 잴 후 각각 $I_{\text{disk}} = \frac{1}{2}MR^2$ (R : 반지름), $I_{\text{ring}} = \frac{1}{2}M(R_1^2 + R_2^2)$ (R_1 : 안쪽 반지름, R_2 : 바깥쪽 반지름) 식을 이용하여 계산할 수도 있다.
- (7) 링을 올려놓기 전과 올려놓은 후의 각운동량을 계산하여 비교한다.