제13회 아시아 물리올림피아드
인도 뉴델리
실험 경연
2012년 5월 2일 수요일

먼저 다음 주의 사항을 꼼꼼히 읽으십시오.

1. 두 실험 문제에 각각 2시간 30분이 주어집니다.
2. 지급된 펜과 장비만 사용하십시오.
3. 모든 용지 위쪽 칸에 **학생 번호**를 적으십시오.
4. 자료와 결과를 적어 넣을 답안지 묶음이 있습니다. 그 밖에 써도 되는 빈 용지가 지급됩니다.
5. 그래프 용지에 그래프를 그릴 때에는 연필만 쓰십시오.
6. 주 답안지에 빈 용지를 덧붙이면 덧붙인 용지마다 일련번호(**쪽 번호**)를 적으십시오. 사용한 빈 용지에는 문제 번호(***Question No.***)를 적어야 합니다.
7. 채점받고 싶지 않은 메모를 빈 용지에 썼으면 용지 전체에 걸쳐 커다랗게 '**X**'를 긋고, 번호 매기기에 넣지 마십시오.
8. 수치 결과는 알맞은 자릿수로 쓰십시오. 단위를 잊지 마십시오.
9. 답에는 주로 식, 숫자, 기호, 그래프, 그림을 쓰고 글은 되도록 적게 쓰십시오.
10. 실험이 끝나면 모든 용지를 다음 순서로 정리하십시오.
    a. 주 답안지
    b. 사용한 그래프 용지
    c. 사용한 풀이 용지
    d. '**X**' 표시를 한 용지
    e. 사용하지 않은 풀이 용지와 그래프 용지
    f. 인쇄된 문제지
11. 모든 용지를 봉투에 넣고 봉투를 책상 위에 두고 나가십시오.
12. **어떤 용지나 실험에 사용한 어떤 물품도 방 밖으로 가지고 나갈 수 없습니다.**

마찰

줄을 기둥이나 막대에 감았을 때 두 부분의 장력이 서로 다르면, 줄과 막대 사이의 마찰이 줄의 운동을 다스리는 역할을 한다(그림 1). 줄의 한쪽 끝에 매단 물체를 붙잡아 두는 데 다른 쪽 끝에 필요한 최소 힘은 마찰력 때문에 물체의 무게보다 작다는 것이 관찰된다. 막대에 감는 횟수를 늘리면 필요한 힘이 눈에 띄게 줄어든다. 뱃사람들은 배에 묶은 밧줄을 부두의 기둥에 감아 배의 움직임을 멈추는 데 이 생각을 쓴다고 알려져 있다.

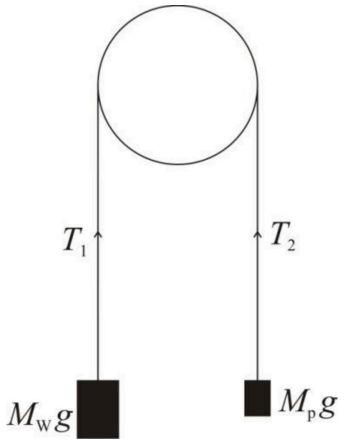


그림 1

목표:

하중 $W\,(=M_w g)$, 계를 평형으로 유지하는 데 필요한 최소의 힘 $P\,(=M_p g)$, 하나 이상의 막대에 닿아 있는 줄 부분이 이루는 각 θ, 이 세 양 사이의 관계를, 이 양들을 체계적으로 바꾸어 가며 탐구하고 식의 꼴로 나타낸다.

장치:

번호	품목	수량
1	가운데의 같은 연직 파이프 하나를 둘러싸고 네 변에 강철 파이프 네 개가 있으며, 모두 나무 받침대에 고정된 장치	1
2	수평 파이프 하나 앞에 단 아크릴판(1.5 mm 간격으로 선이 그어져 있음)	1
3	질량(M_{pan})이 옆면에 적힌 플라스틱 접시(받침대 포함)	1
4	손전등이 달린 돋보기	1
5	파란 눈금이 있는 흰 줄(다이얼 코드)	2개
6	분홍 줄	1개
7	다음 추가 든 추 상자	
	500.0 g	1
	200.0 g	2
	100.0 g	1
	50.0 g	1
	20.0 g	2
	10.0 g	1
	5.0 g	1
	2.0 g	2
	1.0 g	1
8	질량을 모르는 물체, M_u	1
9	고리가 달린 홈 추 걸이(추 하나 100.0 g, 모두 800.0 g)	1
10	청소용 천 한 장	1

파란 스위치를 밀어 손전등을 켜고 끌 수 있다. 선이 그어진 아크릴판은 줄의 움직임을 알아보도록 준 것이다. 아크릴판의 선을 줄의 움직임을 관찰하는 기준으로 삼을 수 있다.

		
그림 2(a) 나무 받침대에 단 강철 파이프	그림 2(b) 추 한 벌	그림 2(c) 플라스틱 접시
		
그림 2(d) 다이얼 코드	그림 2(e) 분홍 줄	그림 2(f) 손전등이 달린 돋보기
		
그림 2(g) 질량을 모르는 물체, M_u	그림 2(h) 고리가 달린 홈 추	그림 2(i) 전체 장치

실험 과정:

주의: 줄이 닿을 파이프 표면을 만지지 마십시오. 기름기가 묻으면 표면(파이프 표면과 줄 모두)의 마찰 성질이 바뀔 수 있습니다. 필요하면 청소용 천을 쓰십시오.

파트 1:

(주: 이 파트에서는 다이얼 코드를 쓰시오.)

홈 추 걸이를 하중 M_w로 쓴다. 주어진 다이얼 코드(질량은 무시할 수 있다)의 한쪽 끝에 하중을, 다른 쪽 끝에 (질량을 아는) 접시를 매단다. 추가 든 추 상자도 주어진다. 줄을 주어진 파이프 두 개 이상 위로 지나게 하거나 감아서 줄이 이루는 각 θ를 바꿀 수 있다(그림 3 참조).

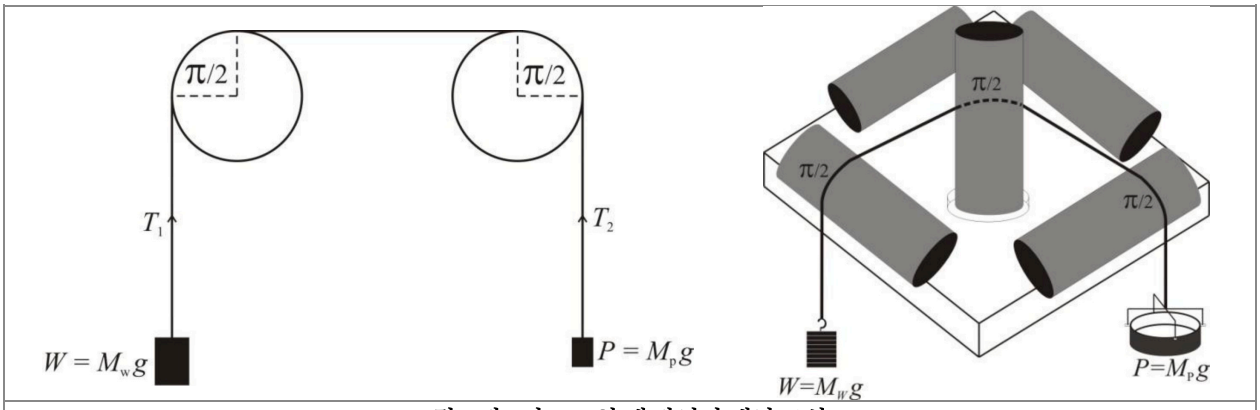


그림 3 각 π와 3π/2일 때 장치의 배치 모식도

줄이 가운데 기둥에 전혀 닿지 않고 평행한 두 막대 위를 지날 때 각 θ가 가장 작다(그림 3). 줄을 연직 기둥에 감고 당기는 힘의 위치를 옮기면 각 θ를 $\pi/2$씩 바꿀 수 있다. 하중 M_w는 선이 그어진 아크릴판이 달린 파이프에서 매달아야 한다.

각 θ를 늘리려면 줄을 가운데 연직 기둥에 감는다. 하중을 매단 줄이 파이프 위에서 미끄러지는지 보도록 투명 아크릴판을 준다. 손전등이 달린 돋보기로 줄이 파이프 위에서 미끄러지는지 볼 수 있다. 이상적으로는 하중 M_w가 막 내려가려는 순간(정지 마찰을 이겨 내는 순간)의 당기는 힘 M_p를 적어야 한다. 그러나 이는 가능하지 않다. 하지만 이 값이 들어 있는 구간 $[M_{p-}, M_{p+}]$는 구할 수 있다. 이 구간은 M_p 크기의 불확도를 나타내므로 되도록 작게 해야 한다.

$\theta = \pi$에서 주어진 추로 되도록 넓은 범위에 걸쳐 관측하시오. 관측값의 불확도를 어림하시오. 필요한 그래프를 그리고, 그래프의 결과를 합쳐 원하는 식을 얻으시오. 자료를 분석하여 P를 W와 θ로 나타내는 정량적 관계를 쓰시오. P의 값은

줄과 파이프 사이의 마찰에도 의존한다. 식에서 마찰을 나타내는 항을 찾아 주어진 계의 마찰 계수 μ와 같다고 두시오. 그 값의 확장 불확도를 어림하시오.

파트 2:

(주: 이 파트에서는 분홍 줄을 쓰시오.)

질량을 모르는 물체 M_u와 분홍 줄이 주어진다. 줄의 한쪽 끝에 질량을 모르는 물체를, 다른 쪽 끝에 접시를 매다시오. M_u와 μ_u를 구하는 데 필요한 식을 쓰시오. $\theta = \pi$에서 필요한 관측을 하여, 실험에서 얻은 관계로 물체의 질량과 분홍 줄과 파이프 사이의 마찰 계수를 구하시오. 결과의 확장 불확도를 어림하시오.

불확도 계산에 관한 주

1) 잴 양의 크기 X가 구간 $[X_1, X_2]$ 어딘가에 있으며 이 구간의 어떤 값이든 가질 확률이 같다고 관찰되면, 그 확률 분포를 균일 분포 또는 직사각형 분포라고 한다. 이런 분포의 표준 불확도는 $\frac{X_1 - X_2}{2\sqrt{3}}$이다.
2) 측정량의 합성 표준 불확도를 구한 뒤에는 결과를 확장 불확도와 함께 나타낸다. 확장 불확도를 합성 표준 불확도의 두 배로 잡으면 신뢰 수준은 약 95%이다. 확장 불확도를 나타내는 수는 (보통) 한 자리만 남도록 올림하고, 측정량의 크기를 나타내는 수는 마지막 자리가 확장 불확도와 같은 소수 자리가 되도록 알맞은 자릿수로 반올림한다.