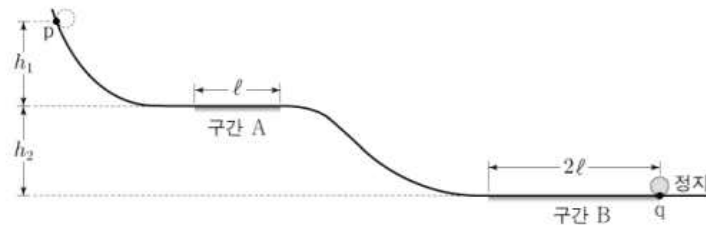


Theme 2. 마찰력

1. 마찰력이란?

7차개정 교육과정 상에서 마찰력은 깊게 다루어지는 부분이었습니다. 하지만, 그 이후로 물1, 물2에서 깊게 다루고 있지 않은 개념이며, 정성적으로만 설명하는 내용 중 하나입니다.

18. 그림은 점 p에 가만히 놓은 물체가 궤도를 따라 운동하여 점 q에서 정지한 모습을 나타낸 것이다. 길이가 각각 ℓ , 2ℓ 인 수평 구간 A, B에서는 물체에 같은 크기의 일정한 힘이 운동 방향의 반대 방향으로 작용한다. p와 A의 높이 차는 h_1 , A와 B의 높이 차는 h_2 이다. 물체가 B를 지나는데 걸린 시간은 A를 지나는데 걸린 시간의 2배이다.



다음과 같이 200618 물리 I에서 찾아볼 수 있습니다. 운동 방향의 반대 방향으로 일정한 힘이 작용하는 구간 A, B에서 물체가 마찰력을 받고 있음을 알 수 있죠.

물1, 물2에서 다루어지지 않아 중요하지 않다고 생각할 수도 있지만, 일반물리학에 없어선 안 될 내용입니다.

잡담이 길었네요. 이제 본격적으로 마찰력의 정의에 대해서 알아보시다.

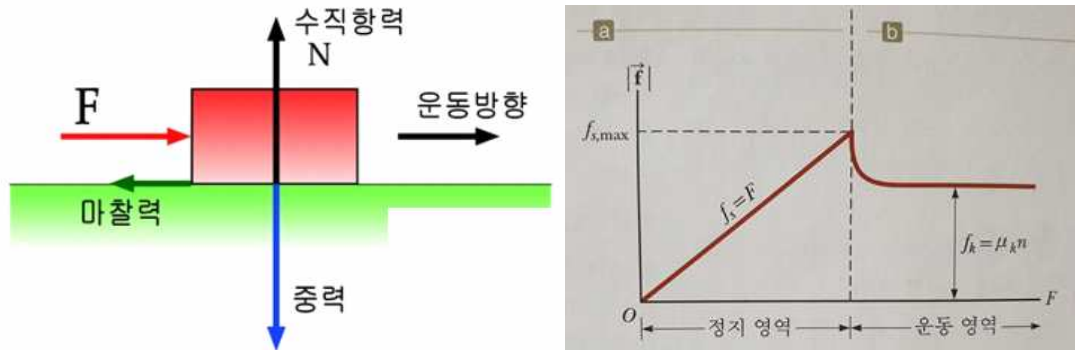
마찰력 $\equiv$ 두 물체의 접촉면 사이에서 물체의 운동을 방해하는 힘

위의 정의를 통해서 알 수 있는 점은, 마찰력은 물체의 접촉 시에만 작용하며, 마찰력이 작용하는 방향은 물체의 운동 방향의 반대 방향임을 알 수 있습니다.

2. 마찰력의 크기

$$F = \mu N$$

마찰력의 크기는 위의 식과 같이 마찰계수(μ)와 수직항력(N)의 곱으로 나타낼 수 있습니다. 마찰계수는 상수로, 물질들의 종류에 따라 다른 값을 가집니다.



왼쪽 그림은 외력을 받아 운동하는 물체에 작용하는 힘을 나타낸 것이고,

오른쪽 그래프는 물체에 작용하는 힘의 크기에 대한 마찰력의 크기를 나타냅니다.

그래프는 정지영역인 a 영역, 운동 영역인 b 영역으로 나누어져 있고,

두 영역은 각각 다른 마찰계수를 가집니다.

a 영역에서는 **정지마찰계수** - μ_s

b 영역에서는 **운동마찰계수** - μ_k

정지마찰계수는 물체를 운동시키는데 **필요한 최소한의 외력의 크기**를 결정합니다.

운동마찰계수는 물체가 운동할 때 작용하는 **마찰력의 크기**를 결정하는 데 쓰입니다.

정지영역에서는 물체에 작용하는 알짜 힘이 0이기 때문에

외력=마찰력의 관계가 성립합니다.

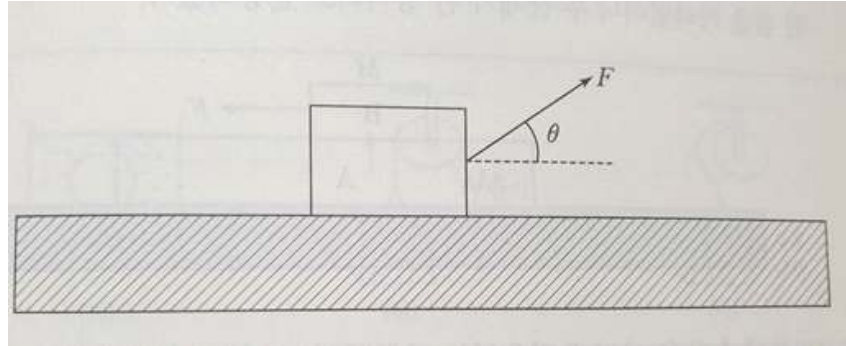
외력이 최대정지 마찰력보다 **커지는 경우**, 즉, $F > f_{s,\max} = \mu_s N$ 을 만족하면,

물체는 운동을 시작하고, 마찰력은 운동마찰력으로 크기는 $f = \mu_k N$ 입니다.

일반적으로 $\mu_s > \mu_k$ 이고, 마찰력은 접촉면의 넓이와는 무관합니다.

3. 다양한 상황에서 마찰력

1) 물체에 힘이 작용하는 경우



질량이 m 인 물체에 수평면과 θ 각도로 F 의 힘을 가하고 있다. 물체와 수평면 사이 정지마찰계수가 μ_s 라 할 때, 위와 같은 상황에서 물체가 정지상태에서 움직이기 위한 최소 힘의 크기를 구해보자.

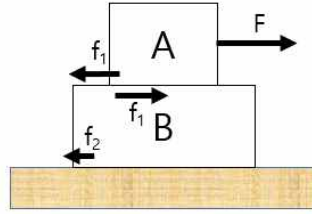
물체에 가해지는 y 축 방향의 힘이 평형을 이루고 있으니 $N + F\cos\theta = mg$ 이다.

$N = mg - F\cos\theta$ 이고, 최대 정지 마찰력은 $\mu_s N = \mu_s (mg - F\cos\theta)$ 이다.

x 축 방향으로 가해지는 힘의 크기가 최대 정지 마찰력보다 크거나 같아야 물체가 움직이니, $F\sin\theta \geq \mu_s (mg - F\cos\theta)$ 이다.

즉, F 의 최솟값은 $F = \frac{\mu_s mg}{\cos\theta + \mu_s \sin\theta}$ 이다.

2) 물체 2개가 움직이는 경우



그림과 같이 물체 2개가 움직이는 경우를 생각해보자.

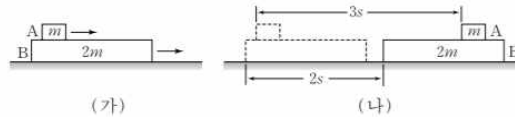
물체 A에게 오른쪽으로 힘 F 를 작용해 운동시키면,

물체 B는 물체 A에게 **왼쪽으로 마찰력** f_1 을 작용한다.

작용 반작용 법칙을 통해 물체 A는 물체 B에게 **오른쪽으로 마찰력** f_1 을 작용한다.

물체 B는 수평면과 마찰로 인해 **왼쪽으로 마찰력** f_2 를 받는다.

19. 그림 (가)는 수평면에서 운동하는 물체 B와 B 위에서 운동하는 물체 A의 어느 순간의 모습을 나타낸 것이다. 이 순간 A와 B의 속도는 같았다. A와 B의 질량은 각각 m , $2m$ 이고, A와 B 사이의 운동 마찰 계수는 μ_1 , B와 수평면 사이의 운동 마찰 계수는 μ_2 이다. 그림 (나)와 같이 (가)의 순간부터, B는 $2s$ 만큼 이동하여 정지하고 A는 $3s$ 만큼 이동하여 B보다 나중에 정지한다. A, B는 각각 정지할 때까지 등가속도 직선 운동을 한다.



$\frac{\mu_1}{\mu_2}$ 은? (단, B의 윗면은 수평면과 평행하고, 공기 저항은 무시한다.)

- ① $\frac{2}{3}$ ② $\frac{3}{4}$ ③ 1 ④ $\frac{4}{3}$ ⑤ $\frac{3}{2}$

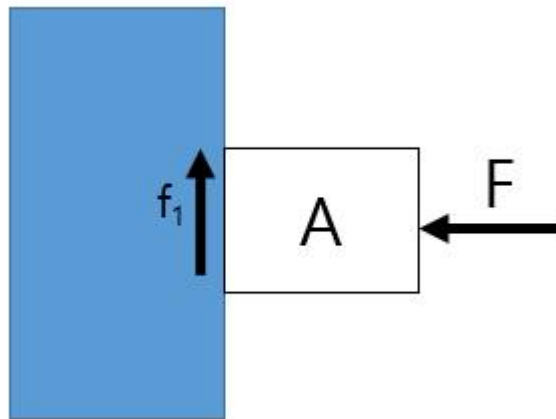
초기 A, B의 속도를 v 라 하자.

A의 가속도는 $\mu_1 g$ 이다. A는 $3s$ 만큼 움직인 이후 정지하니 $v^2 = 2\mu_1 g(3s)$ 가 성

립한다. B의 가속도는 $\frac{3m\mu_2 - m\mu_1}{2m}g$ 이고, $2s$ 만큼 움직이고 정지하니

$v^2 = 2 \frac{3\mu_2 - \mu_1}{2} g(2s)$ 이다. 두 식을 연립하면, $\frac{\mu_1}{\mu_2} = \frac{3}{4}$ 이다.

3) 벽에 물체가 붙어있는 경우



위와 같이 물체 A가 벽에 붙어있고, 힘 F가 물체 A에 작용하는 상황을 생각해보자.
물체 A의 질량이 m이고, 물체 A와 벽 사이의 정지마찰계수가 μ_s 이다. 물체를 정지
시키기 위한 힘 F의 최소 크기를 구해보자.

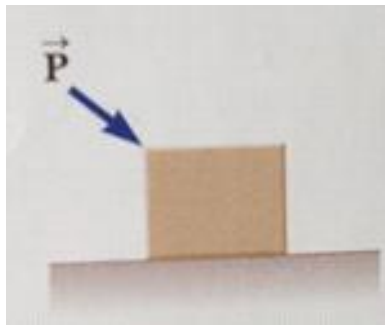
물체 A가 벽으로부터 받는 수직항력의 크기는 F이고, $\mu_s N \geq mg$ 를 만족하는 경

우에 물체는 정지하니 힘 F의 최소값은 $\frac{mg}{\mu_s}$ 이다.

연습문제

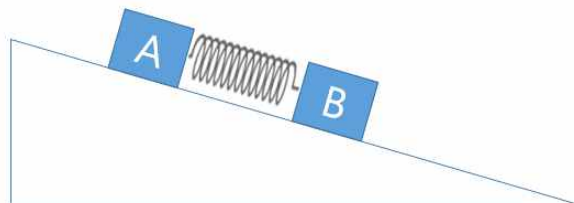
7차 개정 물리1 문제들을 참고하는 것도 큰 도움이 될 것입니다~~ ex) 121119

1. 그림과 같이 질량이 m 인 물체에 힘 P 가 작용하고 있다. 물체와 수평면 사이의 정지 마찰계수는 μ_s 이고, 아래로 θ 만큼 기울어진 방향으로 작용한다. 이때 상자를 움직일 수 있는 P 의 최솟값은? 또한, 어떤 크기의 힘 P 가 작용하더라도 상자를 움직일 수 없는 각도 θ 가 있을 때, θ 를 μ_k 에 관한 식으로 구하라.

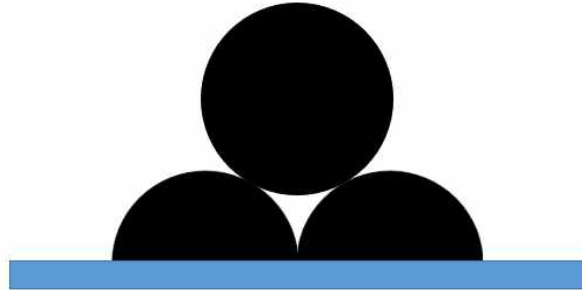


2. 위와 같이 질량이 2kg 인 물체 A,B가 기울기가 30° 인 빗면 위에 용수철로 연결되어 운동한다. 용수철 상수는 300 N/m 이고, 물체 A는 빗면과 운동마찰계수가 0.4 이며, 물체 B는 빗면과 마찰계수가 0.2 이다. 두 물체가 같은 가속도로 운동할 때, 그 가속도와 용수철의 길이 변화를 구하시오.

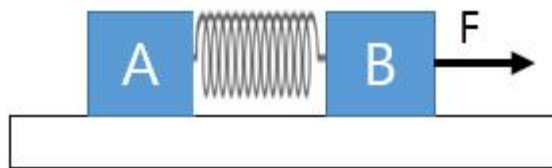
(300 CREATIVE PHYSICS PROBLEMS, LASZLO HOLICS, Problem 23)



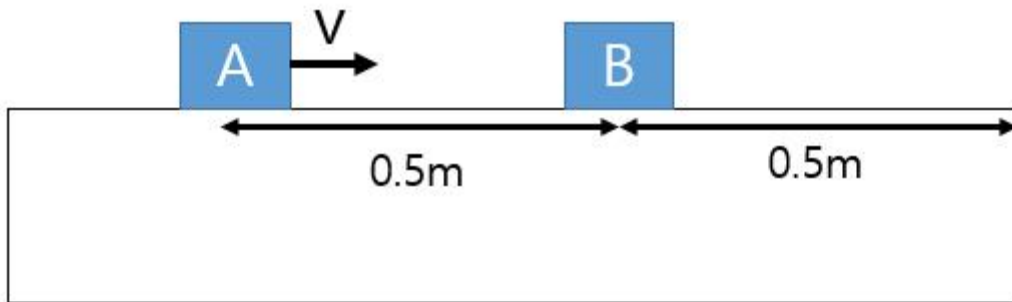
3. 그림과 같이 놓혀진 2개의 반원기둥 사이에 원기둥이 올려져 있다. 반원기둥과 원기둥 사이의 반지름과 높이는 같으며, 반원기둥의 밀도는 원기둥의 2배이다. 이와 같은 평형상태를 유지하기 위한 반원기둥과 수평면 사이 정지마찰계수의 최솟값은? (반원기둥과 원기둥 사이 마찰은 무시한다.)



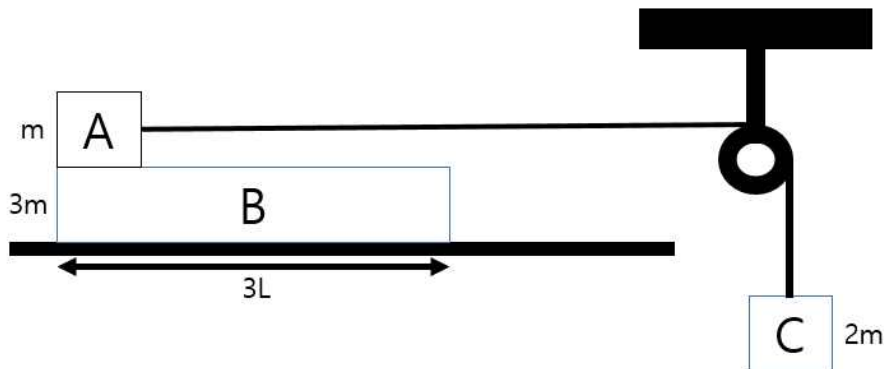
4. 그림과 같이 질량이 각각 $2m$, m 인 물체 A와 B가 수평면에 용수철로 연결되어 위치한다. 힘 F 를 주기 전 용수철은 평형상태에 위치한다. 물체 A,B와 수평면 사이의 정지 마찰계수와 운동 마찰계수는 각각 $\frac{3}{2}\mu$, μ 이다. 이때, 물체 A가 움직이지 않는 힘 F 의 최댓값을 구하시오.
(2016 중등 물리올림피아드 7번)



5. 질량이 5kg인 물체 A와 질량이 3kg인 물체 B가 0.5m 떨어져 수평면에 위치한다. 또한, 물체 B는 테이블 오른쪽 끝으로부터 0.5m 떨어져 있다. 물체 B는 멈춰있고, 물체 A는 속력 V 로 움직인다. A, B와 수평면 사이의 운동마찰계수는 $\frac{2}{g}$ 이며, 두 물체는 탄성 충돌한다. 이때, 물체 A가 테이블 오른쪽 끝에서 정지하는 경우와 물체 B가 테이블 오른쪽 끝에서 정지하는 경우에 각각 속력 V 를 구하시오. (단, 물체의 크기는 무시하며, 중력가속도는 g 이다.)
(300 CREATIVE PHYSICS PROBLEMS, LASZLO HOLICS, Problem 66)

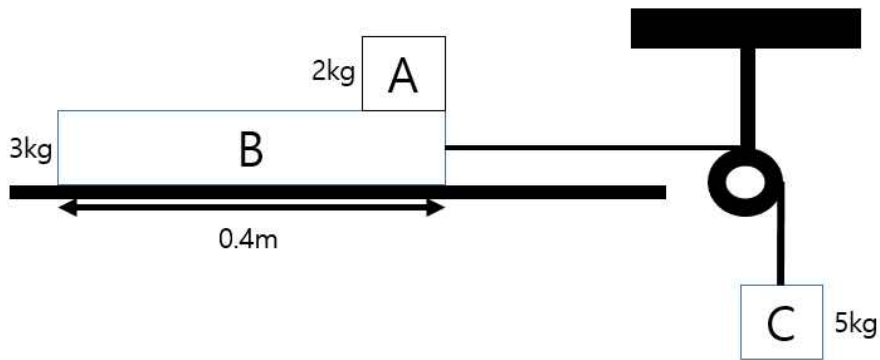


6. 길이가 $3L$ 이고 질량이 $3m$ 인 물체 B 왼쪽 끝에 질량이 m 인 물체 A가 올려져 있다. 물체 A는 물체 C와 도르래로 연결되어 있다. 물체 C를 잡고 있다 가만히 놓았더니 물체 A는 물체 B의 왼쪽 끝에서 오른쪽 끝까지 이동한다. A와 B 사이의 운동마찰계수는 μ 이고, B와 수평면 사이의 마찰은 없다. (물체 A의 크기와 도르래의 질량과 마찰은 무시한다.)
(1) 이때 걸린 시간은?
(2) 물체 B가 이동한 거리는?



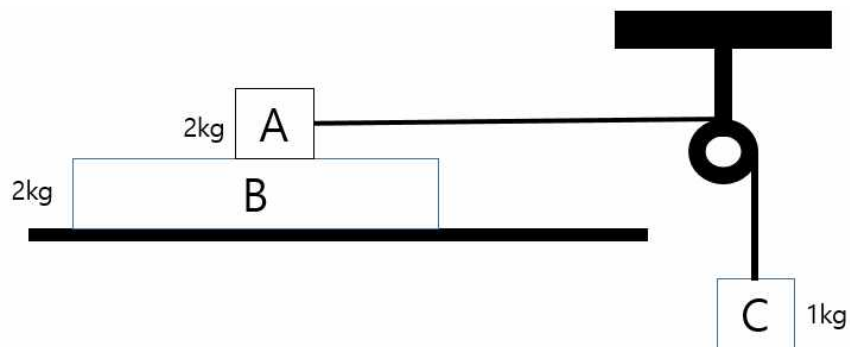
7. 질량이 2kg인 물체 A는 질량이 3kg이고 길이가 0.4m인 물체 B의 오른쪽 끝에 위치한다. 물체 B는 물체 C와 도르래로 연결되어 있다. 물체 C를 잡고 있다 가만히 놓았더니 0.8초 후, 물체 A는 물체 B의 왼쪽 끝으로 이동한다. 물체 A와 물체 B 사이의 운동마찰계수는 μ 이고, B와 수평면 사이의 마찰은 없다. μ 의 크기는? (중력가속도는 $g = 10m/s^2$ 이며, 물체 A의 크기, 도르래의 질량과 마찰은 무시한다.)

(300 CREATIVE PHYSICS PROBLEMS, LASZLO HOLICS, Problem 32)



8. 그림과 같이 질량이 2kg인 물체 A가 질량이 2kg인 물체 B 위에 올려져 있다. 물체 A는 물체 C와 도르래로 연결되어 있다. 물체 A와 물체 B 사이의 정지, 운동마찰계수는 0.35로 같으며, 물체 B와 수평면 사이의 정지, 운동마찰계수는 0.1이다. 이때, 물체 A,B,C의 운동을 설명하여라.

(300 CREATIVE PHYSICS PROBLEMS, LASZLO HOLICS, Problem 119)



9. 질량이 3kg 인 물체 A는 3m/s 로 이동하고 있고, 질량이 1kg 인 물체 B는 물체 A에 5m/s 로 떨어져 부딪힌다. 충돌은 매우 짧은 시간에 일어났으며, 이후 두 물체는 한 물체처럼 움직인다. 물체 A와 수평면 사이의 마찰계수가 0.2 일 경우, 두 물체가 움직이는 속력은 얼마인가?

(300 CREATIVE PHYSICS PROBLEMS, LASZLO HOLICS, Problem 26)

