

*Sir Issac Newton (1642 - 1727)*



## Chapter 5. 힘과 운동1

물체의 속도가 왜 변하는가?

물체의 작용하는 힘을 구하여 가속도를 구하는 방법을 알아본다.

Physics 1 1

## 가속도가 생기는 원인?

- 왜 물체의 속도가 변하는가?
  - ❖ 경험적 사실: 물체에 작용하는 힘(force, 상호작용) 때문이다.
  - ❖ Issac Newton (1642~1727): 힘과 가속도 사이의 관계를 처음으로 정립 - 뉴턴역학 (Newtonian Mechanics)

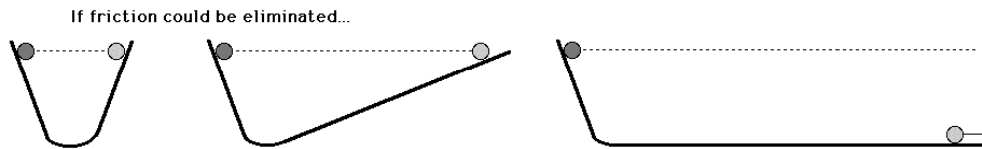


- 뉴턴역학의 한계
  - ❖ 빛의 속도에 가까운 고속운동 → 특수상대성 이론
  - ❖ 원자, 분자수준의 아주 작은 물체의 운동 → 양자역학(Quantum Mechanics)

Physics 1 2

## 뉴턴의 제 1 법칙

- Aristotele: 모든 물체는 정지하려는 특성이 있다.
  - 물체를 운동시키려면 힘이 작용되어야 한다 → wrong!
  - ❖ Galileo 사고실험: 관성의 법칙을 설명함.
    - 힘의 작용 없이도 공은 영원히 수평면을 굴러간다.
- Galileo : 힘을 받지 않는 물체는 정지해 있거나 등속도(직선)운동을 한다 → “관성의 법칙” = “뉴턴의 제 1법칙”
  - ❖ 관성(inertia): 물체가 현재의 운동상태를 바꾸지 않으려는 경향.
  - ❖ 질량은 관성을 정량화한 물리량이다.
- 관성계 (inertial frame) : 힘을 받지 않는 물체가 관성의 법칙을 만족하는 것처럼 보이는 좌표계
  - ❖ 관성계에 대해서 일정한 속도로 움직이는 기준계도 관성계이다
  - ❖ 비관성계: 힘을 받지 않고도 물체의 속도가 변하는 것처럼 보이는 좌표계



Physics 1 3

## Demo



줄의 어느 부분이 끊어지는가?

- 1) 서서히 당기는 경우
- 2) 빠르게 당기는 경우



Physics 1 4

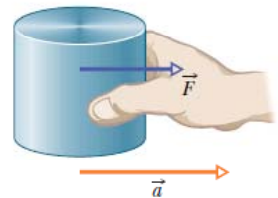
## 매일 보는(?) 관성의 법칙



Physics 1 6

## Force

- 물체를 가속시키는 원인이다.
- 힘의 벡터 물리량이다
  - ❖ 크기와 방향이 있다.
- 힘의 단위: 1kg의 물체에  $a = 1\text{m/s}^2$ 의 가속도를 만드는 힘의 크기를 1 **Newton(N)** 이라 함.
- **알짜힘(net force)** : 물체에 작용하는 힘이 둘 이상일 때 물체의 운동에 영향을 주는 힘은 모든 힘을 더한 (벡터합) 알짜힘이다

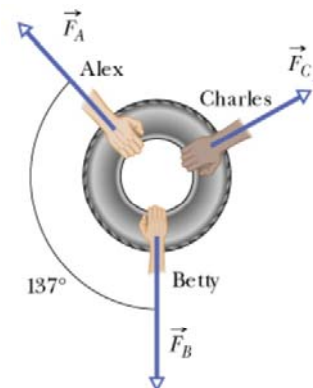


$$\vec{F}_{net} = \sum \vec{F} = \vec{F}_A + \vec{F}_B + \vec{F}_C$$

알짜힘 기호임

성분

$$\begin{cases} F_{net,x} = \sum F_x = F_{A,x} + F_{B,x} + F_{C,x} \\ F_{net,y} = \sum F_y = F_{A,y} + F_{B,y} + F_{C,y} \\ F_{net,z} = \sum F_z = F_{A,z} + F_{B,z} + F_{C,z} \end{cases}$$

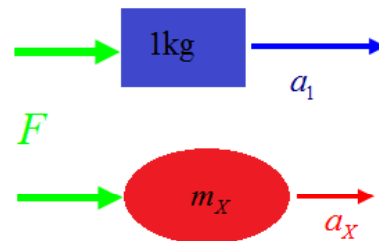


Physics 1 7

## Mass

- 질량은 물체가 가지는 물질의 양을 나타낸다.
- 같은 힘을 주더라도 질량이 큰 물체는 질량이 작은 물체보다 속도가 잘 변하지 않는다.
  - ❖ 질량이 클수록 운동상태의 변화에 대한 저항이 크다.
  - ❖ 질량은 물체의 관성에 대한 정량화된 척도를 제공한다.
  - ❖ 질량의 단위: kg
- 질량의 측정:
  - ❖ 같은 힘을 줄 때 질량이 클수록 가속도가 작다는 사실을 이용.
  - ❖ 질량( $m_X$ )을 측정하려는 물체에 힘을 주어 가속도( $a_X$ )를 측정하고, 동일한 힘을 1kg 물체에 주어 가속도( $a_1$ )를 측정하면,

$$\frac{a_X}{a_1} = \frac{1 \text{ kg}}{m_X} \longrightarrow m_X = \frac{a_1}{a_X} [\text{kg}]$$



Physics 1 8

## 뉴턴의 제 2 법칙

- 운동법칙: 물체에 힘을 주면 물체의 속도가 변한다.
  - ❖ 가속도 크기는 알짜힘(net force) 크기에 비례함:  $a \propto F_{\text{net}}$
  - ❖ 가속도 방향은 알짜힘 방향임.
  - ❖ 같은 힘을 작용할 때 가속도 크기는 질량에 반비례함:  $a \propto 1/m$

$$\vec{a} = \frac{\vec{F}_{\text{net}}}{m} \quad \longrightarrow \quad \boxed{\vec{F}_{\text{net}} = m \vec{a}} \quad \xleftrightarrow{\text{벡터식}} \quad \begin{cases} F_{\text{net},x} = ma_x \\ F_{\text{net},y} = ma_y \\ F_{\text{net},z} = ma_z \end{cases}$$

단위계	힘	질량	가속도	힘의 단위
SI	newton(N)	kilogram(kg)	m/s <sup>2</sup>	1 N = 1 kg · m/s <sup>2</sup>
CGS	dyne	gram(g)	cm/s <sup>2</sup>	1 dyne = 1 g · cm/s <sup>2</sup>
영국	pound(lb)	slug	ft/s <sup>2</sup>	1 lb = 1 slug · ft/s <sup>2</sup>

$$\therefore 1 \text{ N} = 1 \text{ kg} \cdot \text{m/s}^2 = (1000 \text{ g})(100 \text{ cm/s}^2) = 10^5 \text{ g} \cdot \text{cm/s}^2 = 10^5 \text{ dyne}$$

Physics 1 9

## Newton's 2<sup>nd</sup> law

물체에 작용하는 **힘**의 진정한 효과는 물체를 움직이게 하는 것이 아니라 **물체의 속도를 변화**게 하는 것이다.

Newton's Principia Mathematica (1687)

속도의 변화와 힘사이의 정량적 관계  
→ Newton's 2<sup>nd</sup> law

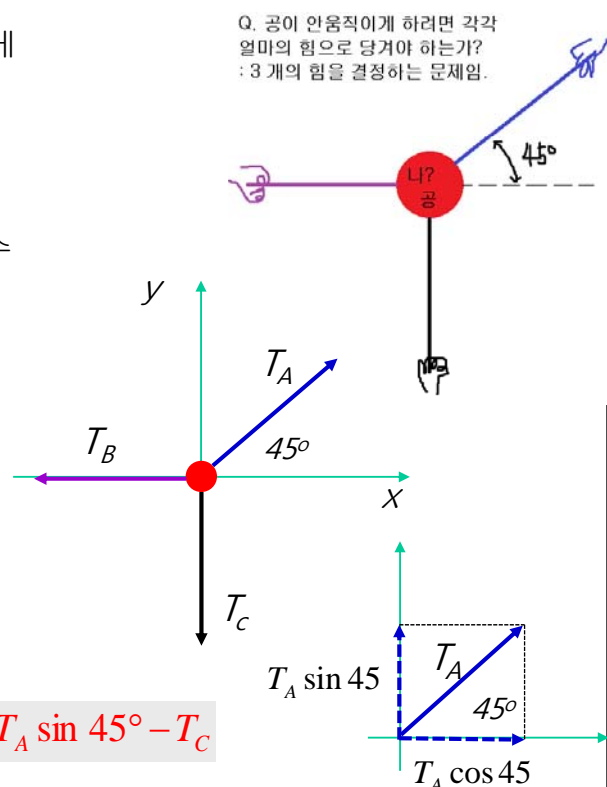
Physics 1 10

## 자유물체도: Free Body Diagram

- **자유물체도**: 물체에 작용하는 힘들을 쉽게 분석할 수 있도록 표현된 도식. 알짜힘을 쉽게 파악하여 가속도를 구하기 쉽다
  - 물체를 간단하게 도형으로 표현.
  - 편리한 좌표계를 잡는다 (여러 물체가 있을 때, 개별 물체마다 다르게 잡을 수 있음)
  - 분석하려는 물체에 작용하는 힘만 표시한다
    - 화살표로 힘의 방향 표시
    - 힘의 기호를 표시
    - 벡터기호는 필요 없음
  - 각 힘을 좌표축에 맞게 성분으로 분해하여, 알짜힘을 성분별로 구하기 쉽게 한다.

$$F_{net,x} = T_A \cos 45^\circ - T_B$$

$$F_{net,y} = T_A \sin 45^\circ - T_C$$



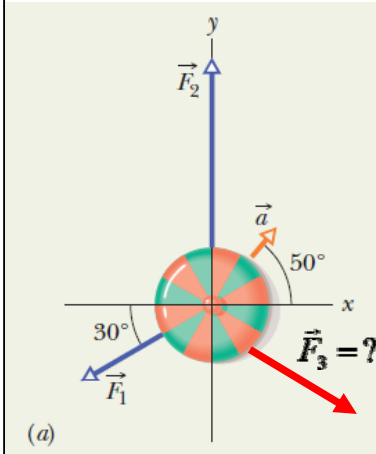
Physics 1 11

$F_1=10\text{N}$ ,  $F_2=20\text{N}$ 이고,  $2\text{kg}$  물체가  $a = 3 \text{ m/s}^2$ 의 가속도로 움직일 때 세번째 힘은 어떻게 작용하는가?

- 두 힘의 알짜힘 방향과 가속도 방향이 다르므로 세번째 힘이 있어야 한다.
- 가속도가 알려져 있으므로 뉴턴 2법칙을 이용하면 알짜힘을 알 수 있다

$$\text{운동방정식: } \vec{F}_{net} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \vec{F}_3 = m\vec{a}$$

$$\longrightarrow \vec{F}_3 = m\vec{a} - \vec{F}_1 - \vec{F}_2$$



$$\vec{F}_1 = -(10\text{N})\cos(30)\hat{i} - (10\text{N})\sin(30)\hat{j}$$

$$\vec{F}_2 = (20\text{N})\hat{j}$$

$$\vec{a} = (3\text{m/s}^2)\cos(50)\hat{i} + (3\text{m/s}^2)\sin(50)\hat{j}$$

$$F_{3,x} = ma_x - F_{1,x} - F_{2,x} = (2)(3\cos 50) - 5\sqrt{3} - 0$$

$$= 12.5 \text{ N}$$

$$F_{3,y} = ma_y - F_{1,y} - F_{2,y} = (2)(3\sin 50) - 5 - 20$$

$$= -10.4 \text{ N}$$

$$\vec{F}_3 = (12.5\text{N})\hat{i} - (10.4\text{N})\hat{j}$$

$$F_3 = \sqrt{F_{3,x}^2 + F_{3,y}^2} = 16.3\text{N}$$

$$\theta = \tan^{-1}\left(\frac{F_{3,y}}{F_{3,x}}\right) = -39.8^\circ$$

Physics 1 12

## Forces

- We will consider two kinds of forces:

- ❖ Contact force (접촉력):

- Frictional force
    - Tension force
    - Normal force
    - Spring force
    - Air resistance force
    - ...

- ❖ Action at a distance (원격작용):

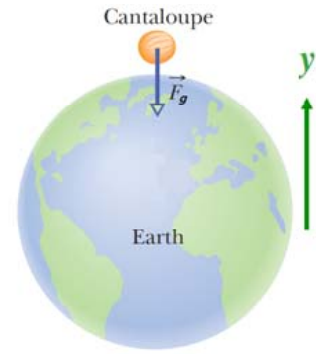
- Gravitational force
    - Electric force
    - Magnetic force
    - ...

Physics 1 13

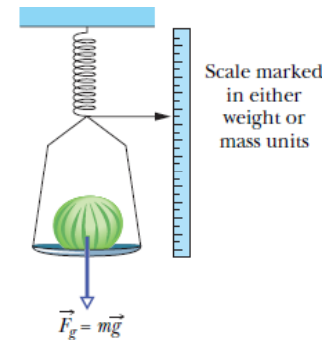
## 중력(Gravitational Force), 무게(Weight)

- 중력( $\vec{F}_g$ ): 지구가 물체를 끌어당기는 힘.  
 방향: 지구의 중심을 향함  
 크기:  $F_g = mg$   
 벡터형식(위방향+):  $\vec{F}_g = -F_g \hat{j} = -mg \hat{j} = m\vec{g}$

( $\vec{g}$  = 크기는  $g = 9.8 \text{ m/s}^2$ 이고 방향은 지구중심)



- 무게(Weight): 물체가 자유낙하 하지 않도록 받쳐주어야 하는 힘의 크기
  - 저울을 이용해서 잴 수 있다
  - 정지한 물체  $\Rightarrow W = mg$
  - 물체가 가속을 하면  $W \neq mg \Rightarrow W = \text{겉보기 무게}$

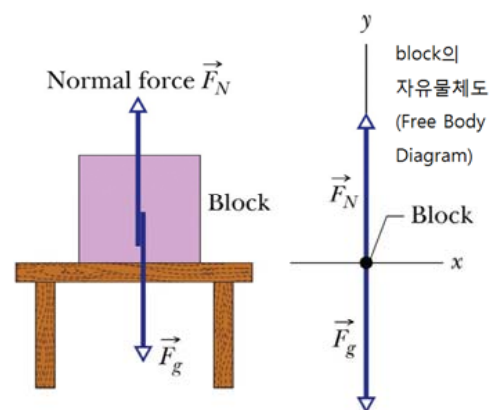


Physics 1 14

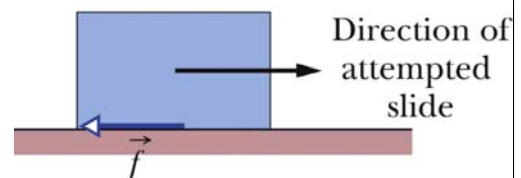
## 수직항력(Normal Force), 마찰력(Friction)

- 수직항력 ( $\vec{F}_N, \vec{n}, \vec{N}$ )  
 물체가 표면을 누르면 표면은 변형이 되면서 접촉면에 수직방향 힘으로 물체를 민다  
 $F_{net,y} = F_N - F_g = ma_y$   
 $\therefore F_N = m(g + a_y)$

$$F_N = mg \quad \text{if 정지}(a_y = 0)$$



- 마찰력( $f, f_s, f_k$ )  $\longrightarrow$  chap.6  
 물체가 다른 물체에 접촉하면서 운동을 시작하려고 할 때, 또는 운동하고 있을 때, 접촉면에 생기는 의도한 운동을 방해하는 힘

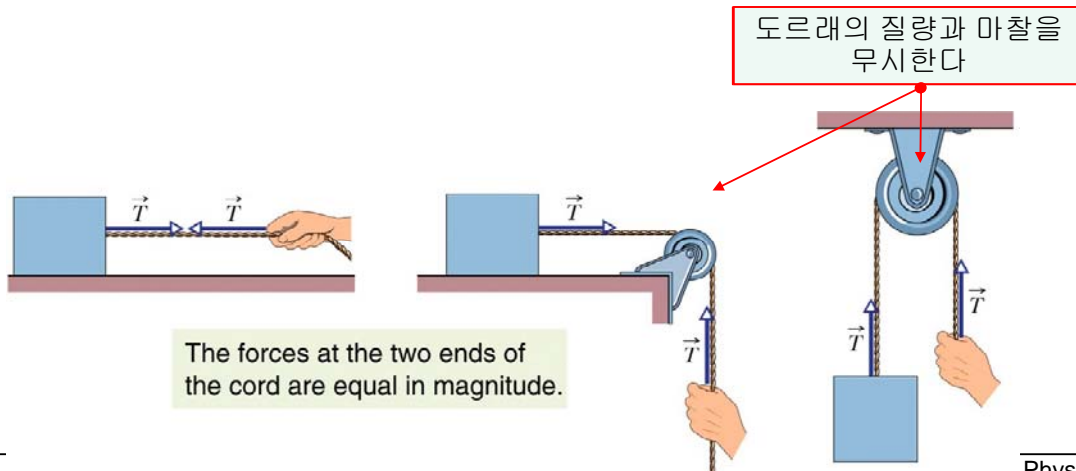


Physics 1 15

## 장력(Tension)

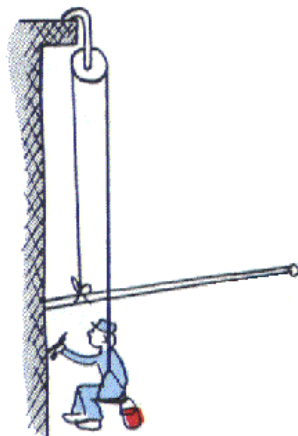
- **장력 ( $T, F_T$ ):** 물체를 매단 줄이 팽팽해질 때 줄의 양끝이 끌어 당기는 힘.

- ① 장력은 항상 줄의 방향임
- ② 항상 물체를 끌어당기는 방향임
- ③ 줄의 어느 지점에서나 같은 크기임
  - 줄의 질량은 무시할 하고
  - 줄은 늘어나지 않는 것을 가정.

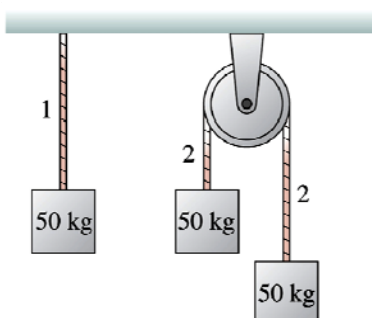


Physics 1 16

## 장력을 비교하면?



줄이 끊어질 가능성이 높은 경우는?

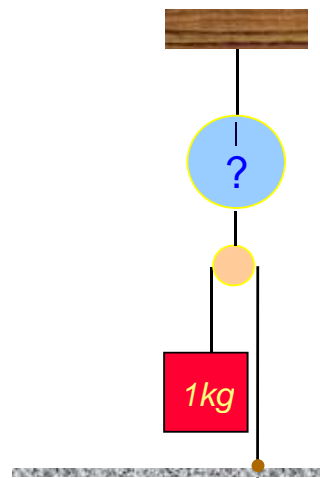
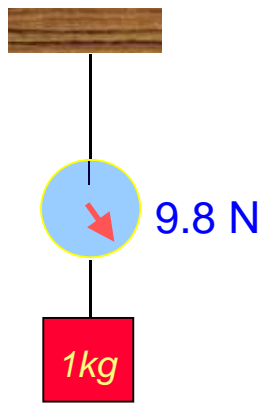


- a.  $T_1 > T_2$     b.  $T_1 = T_2$     c.  $T_1 < T_2$

Physics 1 17

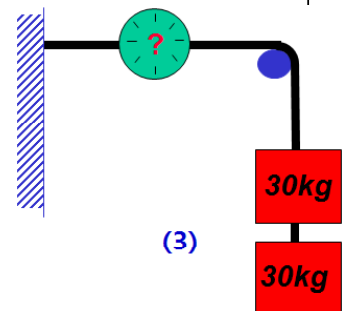
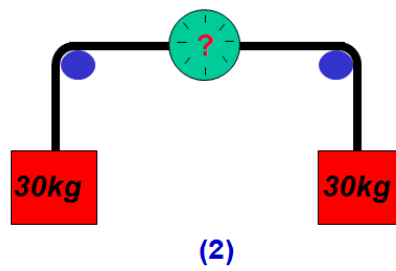
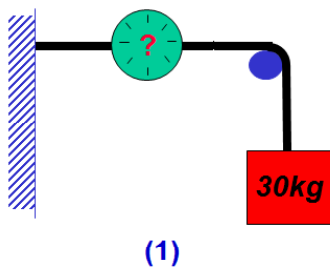


## 저울의 눈금은?



Physics 1 18

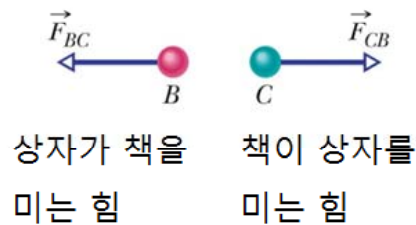
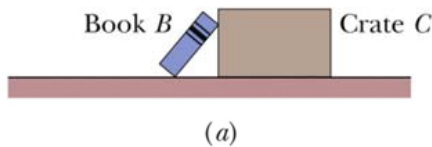
## 저울의 눈금은?



Physics 1 19

## 뉴턴의 제 3 법칙

- **작용-반작용의 법칙**: 상호작용을 하고 있는 두 물체 사이의 작용하는 힘의 본성을 설명하는 법칙이다
  - ❖ 두 물체 사이의 상호작용에서 각 물체는 다른 물체에 힘을 작용한다. 이들 두 힘은 크기가 같고 방향은 반대이다
  - ❖ 모든 작용에는 반드시 같은 크기의 반대 방향 반작용이 있다.
  - ❖ **작용과 반작용은 다른 물체에 작용한다!**



뉴턴의 3법칙 벡터표현:

$$\vec{F}_{BC} = -\vec{F}_{CB}$$

; -는 힘의 방향이 반대

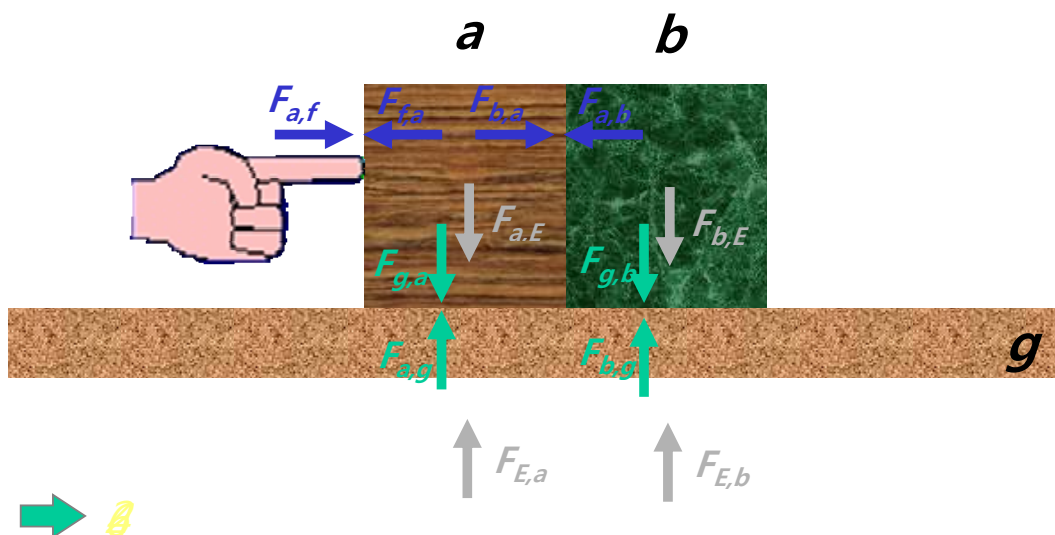
- 힘의 크기는 같다:  $F_{BC} = F_{CB}$
- $\vec{F}_{BC}$ ,  $\vec{F}_{CB}$ 가 작용하는 대상은 다르다

**\*  $\vec{F}_{AB}$  : B가 A에 작용**

Physics 1 20

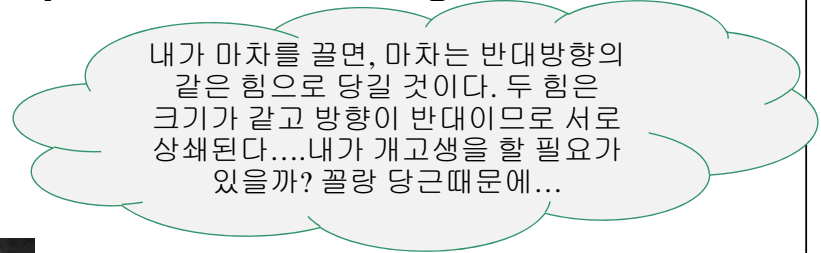
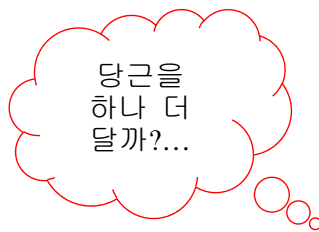
## 짝힘의 개수는?

Two blocks are being pushed by a finger on a horizontal frictionless floor. How many **action-reaction force pairs** are present in this example?



Physics 1 21

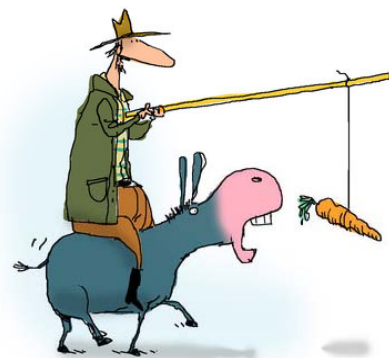
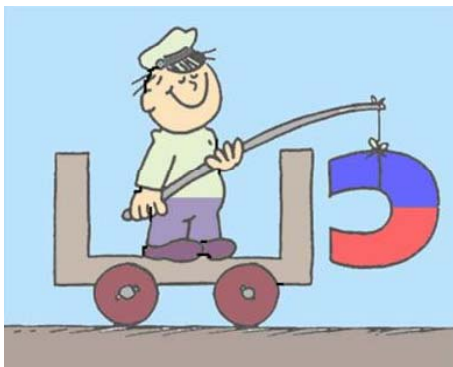
## Example of Bad Thinking



마차와 당나귀를 나누어서 생각하고 각자의 자유물체도를 그려보자

Physics 1 22

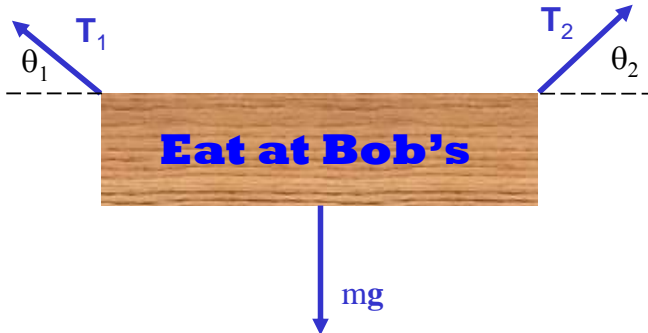
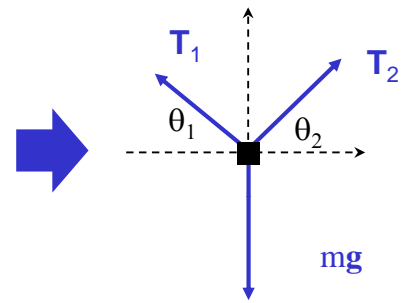
차는 앞으로 가는가?



옆 상황과 무엇이 다른가?

Physics 1 23

줄의 장력은?



• 간판 : 정지  $\rightarrow \vec{F}_{net} = 0$  (힘 평형문제)

$$\begin{cases} F_{net,x} = T_2 \cos \theta_2 - T_1 \cos \theta_1 = 0 \\ F_{net,y} = T_2 \sin \theta_2 + T_1 \sin \theta_1 - mg = 0 \end{cases}$$

미지수  $T_1, T_2$  and 식 2 개

답 : Sine 정리 (Lami's theorem)



알짜힘 = 0  $\Rightarrow$  힘벡터가 삼각형 만듦

Physics 1 24

## Exercise, Newton's 2nd Law

A woman is straining to lift a large crate, **without success**. It is **too** heavy. We denote the forces on the crate as follows:

$P$  is the upward force being exerted on the crate **by the person**

$C$  is the contact force on the crate **by the floor**, and

$W$  is the weight (force of the earth on the crate).

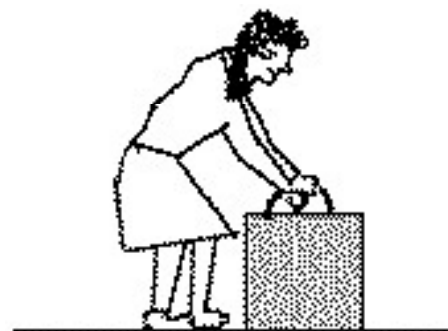
Which of following relationships between these forces is true, while the person is trying unsuccessfully to lift the crate? (Note: force up is positive & down is negative)

A.  $P + C < W$

B.  $P + C > W$

C.  $P = C$

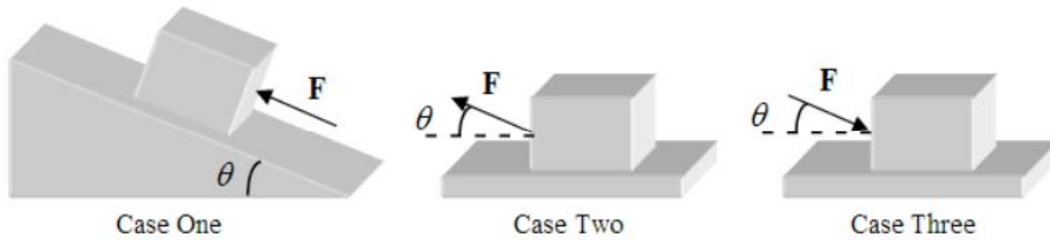
D.  $P + C = W$



상자의 자유물체도를 그려보아라

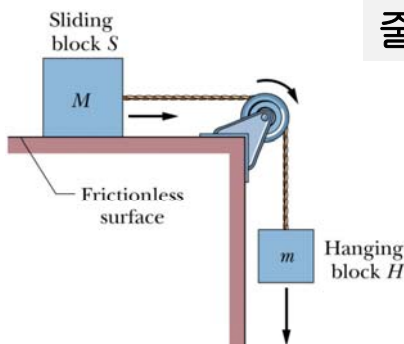
Physics 1 25

## 수직항력의 크기를 비교하면?



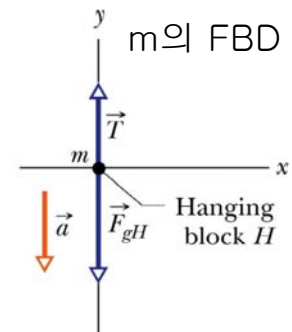
수직항력의 크기가 항상 물체의 무게가 아니다...

## 줄로 연결된 두 물체의 가속도는?

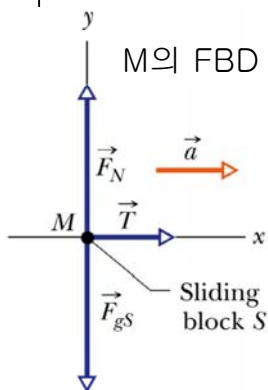


두 물체는 줄로 연결되어 있으므로 같은 크기의 가속도를 가져야 한다. 그런데 방향이 다르다.

M:  $a_x$ , m:  $a_y'$



• m 운동방정식: y-dir  
 $F_{net,y} = T - F_{gH} = ma_y' \dots (2)$



• M 운동방정식:  
$$\begin{cases} F_{net,x} = T = Ma_x \dots (1) \\ F_{net,y} = F_N - F_{gS} = 0 \end{cases}$$

미지수:  $T, a_x, a_y'$

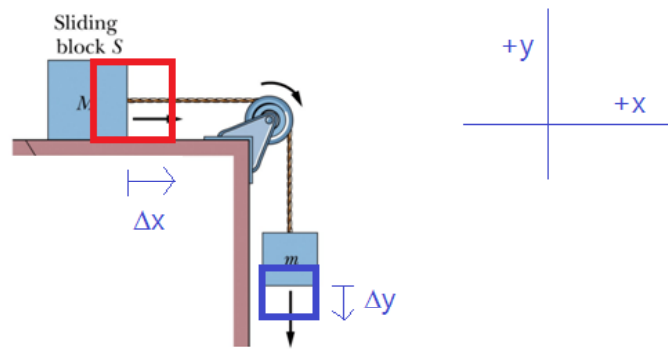
방정식: 2개

• Note, m-M 은 줄로 연결

$$\left. \begin{aligned} \Delta x &= -\Delta y' \\ v_x &= -v_y' \end{aligned} \right\} a_x = -a_y'$$

$\Rightarrow$  같은 크기

$$\left. \begin{aligned} \text{Let } a_x &= -a_y' = a \\ (1): T &= Ma, \\ (2): T - mg &= -ma \end{aligned} \right\} \therefore a = \frac{m}{M+m} g$$



Note,

$$\Delta x = +$$

$$\Delta y = -$$

$$|\Delta x| = |\Delta y|$$



$$\Delta x = -\Delta y$$

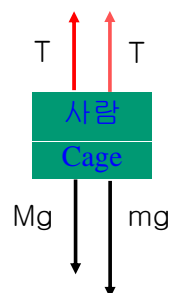
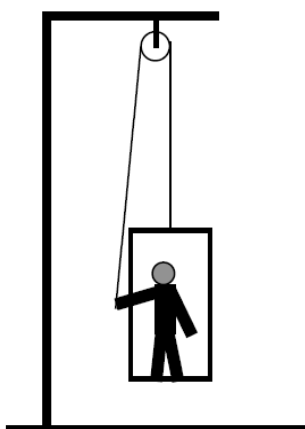
$$v_x = -v'_y$$

$$a_x = -a'_y$$

## 올라가려면 얼마의 힘으로 당겨야 하는가? (올라가기는 하는가?)

사람 손이 당기는 힘 = 줄의 장력

Cage(M)+사람(m)을 하나로 생각하면



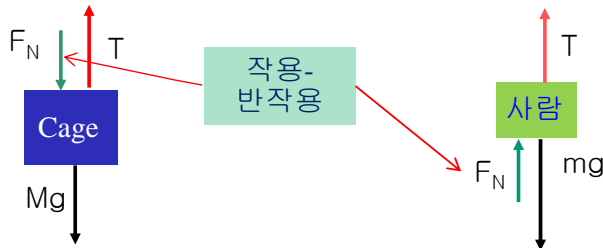
$$F_{net,y} = T + T - Mg - mg = (M + m)a_y \geq 0$$

$$\Rightarrow T \geq \frac{M + m}{2}g : \text{무게의 절반}$$

## 올라가려면 얼마의 힘으로 당겨야 하는가? (올라가기는 하는가?)

사람 손이 당기는 힘 = 줄의 장력

Cage(M)와 사람(m)을 분리해서 생각; Cage는 사람에게 수직항력( $F_N$ )을 위로 작용하고, 아래방향의 크기가  $F_N$ 인 반작용을 받는다.

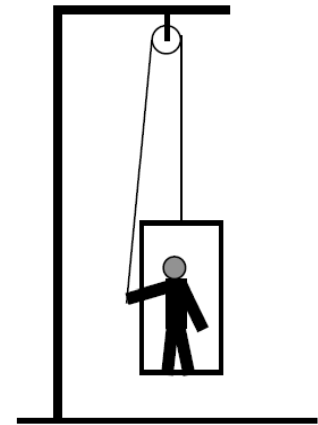


$$F_{net,y} = T - Mg - F_N \geq 0$$

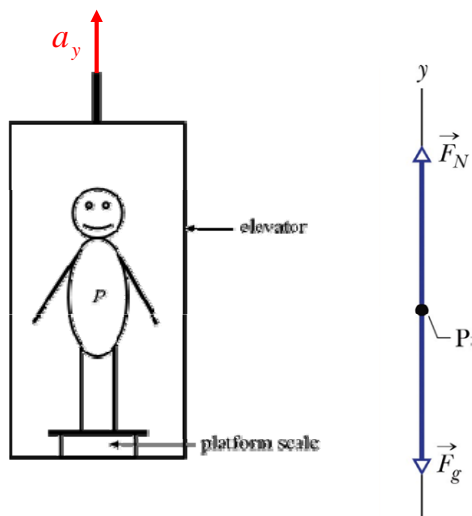
$$F_{net,y} = T + F_N - mg \geq 0$$

$$\Rightarrow T \geq \frac{M+m}{2}g$$

이 장치는 (7장)에서 취급할 단순기계의 일종이다. 도르래를 추가로 사용하면 더 적은 힘으로 움직일 수 있다.



## 엘리베이터 안에서 몸무게: "걸보기 무게"



- 사람 운동방정식: w.r.t 지상관찰자

$$\hat{j}: F_{net,y} = F_N - F_g = ma_y$$

$$\therefore F_N = F_g + ma_y = m(g + a_y)$$

$F_N$ : 물체가 떨어지는 것을 방지  
 $\Rightarrow$  저울이 재는 무게와 같다.

Note  $\begin{cases} \text{가속}(a_y > 0): F_N > mg \\ \text{감속}(a_y < 0): F_N < mg \end{cases}$

; 가속하는 계에서 재는 무게는  
 관성계에서 재는 무게와 다름

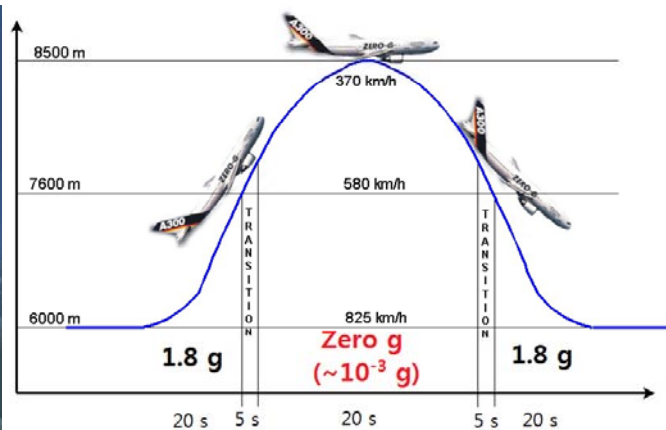
- 만약 엘리베이터 줄이 끊어진다면?

$$a_y = -g \text{ (아래방향 자유낙하)}$$

$$F_N = m(g - g) = 0: \text{저울눈금} = 0$$

$\Rightarrow$  사람은 **무중력**을 경험한다!

## Zero g



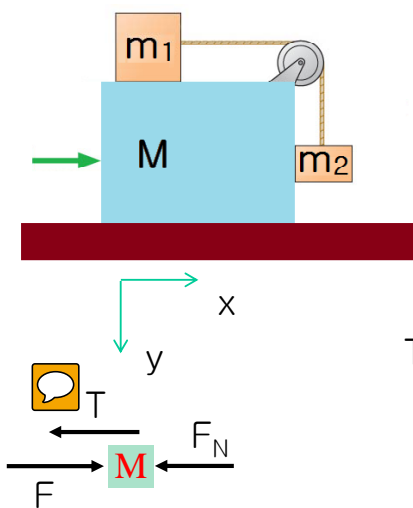
이 비행기나 시험 모두 좌절되어 있을 것이다.  
시험이 끝을 지점에 갈 수 없게 되어 있다.

Physics 1 32

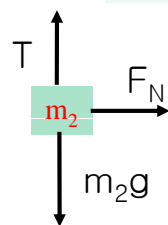
## Problem

M에 수평방향으로 일정한 힘 F를 주어서  $m_1$ 과  $m_2$ 가 M에 대해서 상대적으로 움직이지 않도록 하려한다(마찰은 없다).  $F = ?$

- 세 물체의 수평방향 가속도가 같다(a)
- $m_1, m_2, M$ 에 대해서 FBD를 그린다;



(1) M;  $x$ -방향운동만  
 $F_{net,x} = F - T - F_N = Ma$   
 (도르래 부분의 장력:  
 $\leftarrow$  and  $\downarrow$  방향으로  
 M에 힘을 작용함)

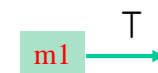


$$(2) m_2; \begin{cases} F_{net,x} = F_N = m_2a \\ F_{net,y} = T - m_2g = 0 \end{cases}$$

$$(1) \& (2) \rightarrow F = T + (M + m_2)a$$

$$(2) \rightarrow T = m_2g$$

$$(3) \rightarrow a = \frac{T}{m_1} = \frac{m_2}{m_1}g$$



$$(3) m_1; \quad x\text{-방향만}$$

$$F_{net,x} = T = m_1a$$

$$\rightarrow F = \frac{M + m_1 + m_2}{m_1}m_2g$$

Physics 1 33



## summary

- 뉴턴의 법칙
  - ❖ 1법칙(관성의 법칙) : 물체의 현재의 운동상태를 유지하려 한다...
  - ❖ 2법칙(운동법칙): 알짜힘이 물체의 속도를 변화시킴
  - ❖ 3법칙(작용-반작용 법칙): 힘을 주면 반드시 반작용을 돌려받는다!
- 자유물체도(FBD): 물체에 작용하는 알짜힘을 쉽게 구하게 함.
- 힘이 들어간 문제:
  - ❖ 물체에 작용하는 힘들이 어떤 것이 있는지 파악
  - ❖ FBD를 이용해서 알짜힘의 성분을 구함
  - ❖ 운동방정식에서 미지수가 몇 개이고, 방정식이 몇 개 있는가를 파악해야 한다.