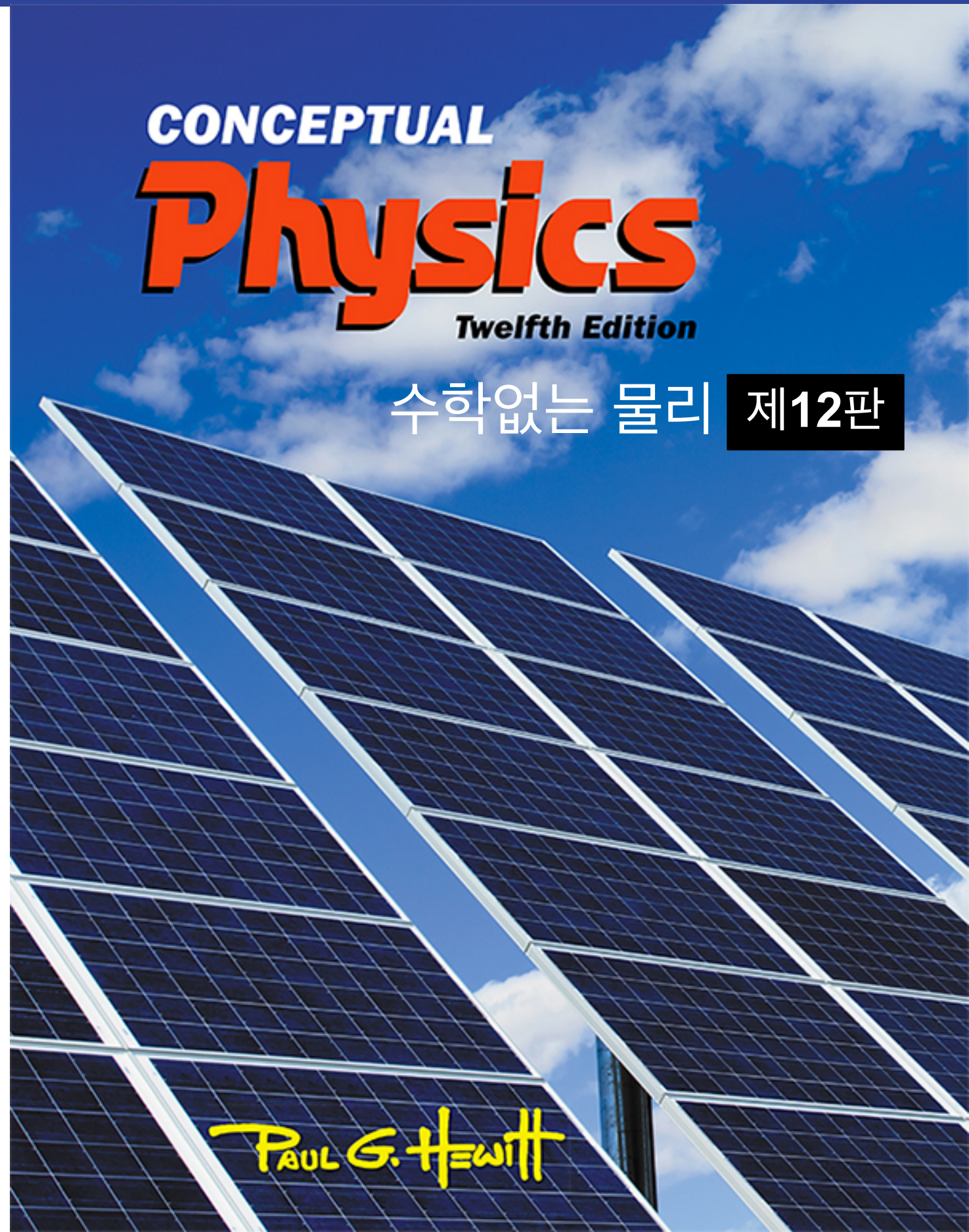


제10장:  
포물체와 위성의 운동  
Projectile and Satellite  
Motion



# 학습내용

- ◆ 포물체 운동
- ◆ 고속 포물체 – 위성
- ◆ 위성의 원궤도
- ◆ 타원궤도
- ◆ 케플러의 행성운동법칙
- ◆ 에너지 보존과 위성운동
- ◆ 탈출속력

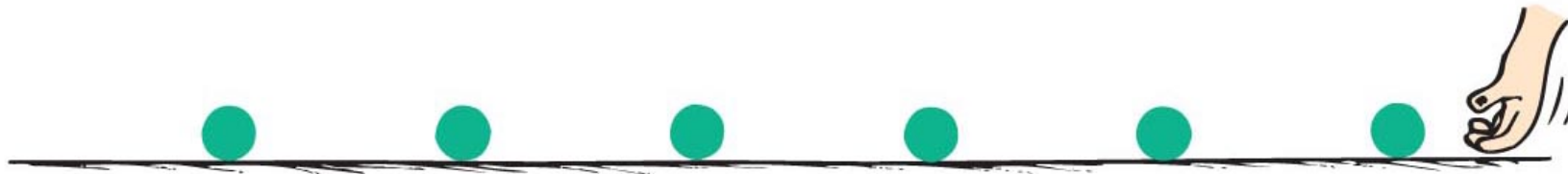
# 포물체 운동

- ◆ 중력이 없다면, 공중으로 던진 돌은 직선경로를 따라 움직일 것이다.
- ◆ 그러나, 중력이 있다면, 그 돌의 경로는 곡선으로 휘다.
- ◆ 포물체:
  - 적당한 방법으로 발사되어 중력의 영향 아래에서 자체의 관성으로 운동을 계속하는 물체

# 포물체 운동

◆ 포물체 운동은 다음의 간단한 두 개의 운동으로 분리됨

- 수평성분

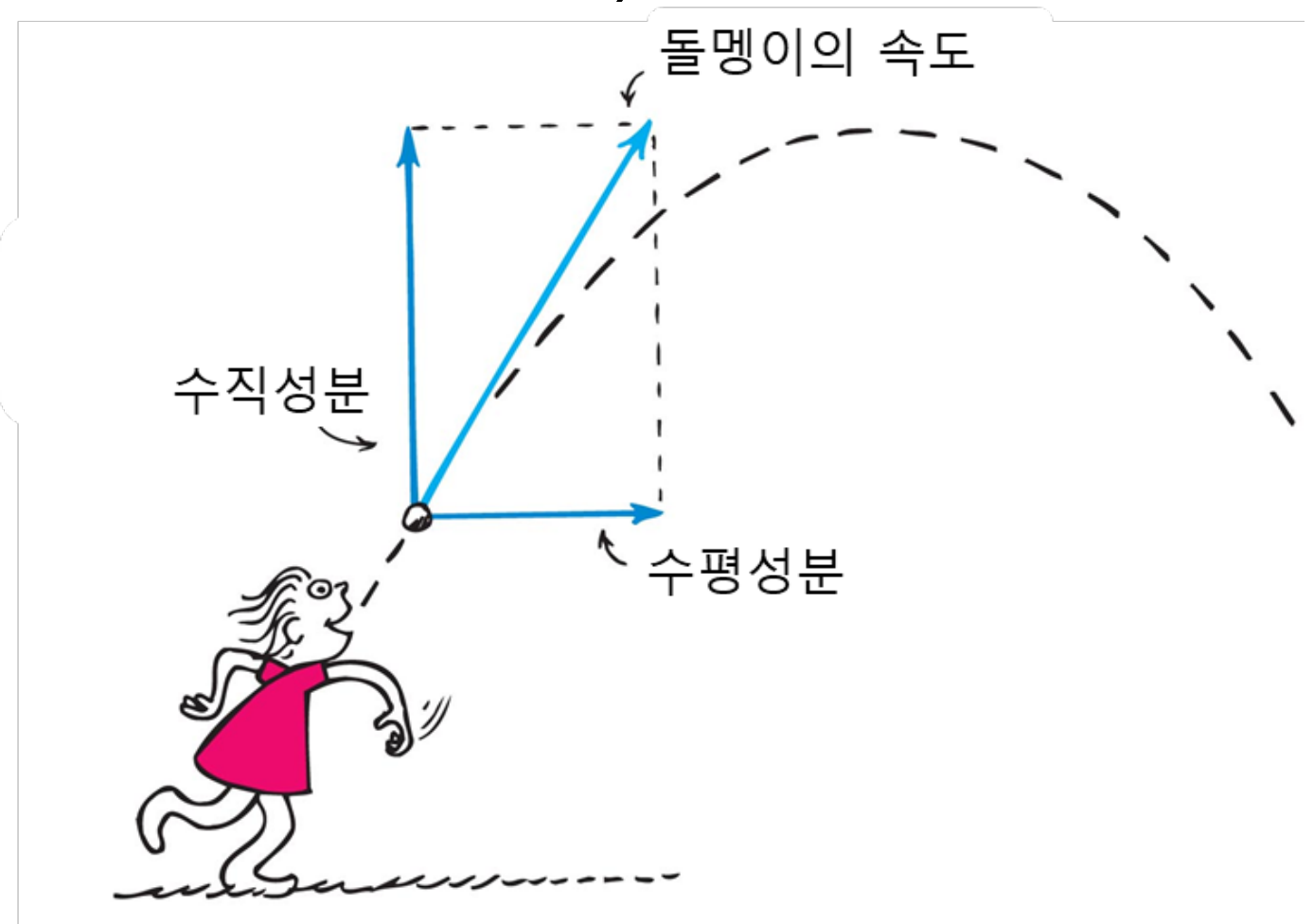


- 수직성분 (오른쪽 그림)



# 포물체 운동

- ◆ 수평면을 따라 공을 굴릴 때:
- ◆ 속도의 수평성분은 변하지 않음  
(공기 저항을 무시할 수 있을 때)
  - 공은 같은 시간에 같은 거리를 이동한다.  
(수평방향으로 작용하는 중력 성분이 없음)
  - 따라서 속도는 일정
- ◆ 포물체 운동의 각 성분은 서로 독립적이다.



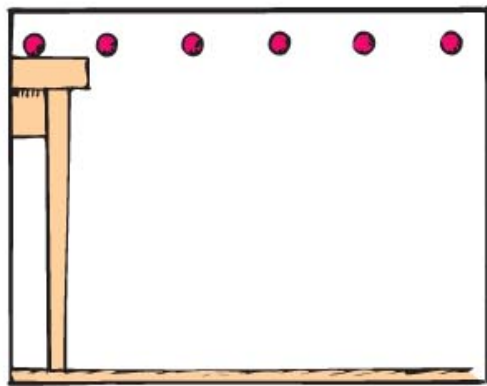


# 포물체 운동 - 수평으로 발사한 포물체

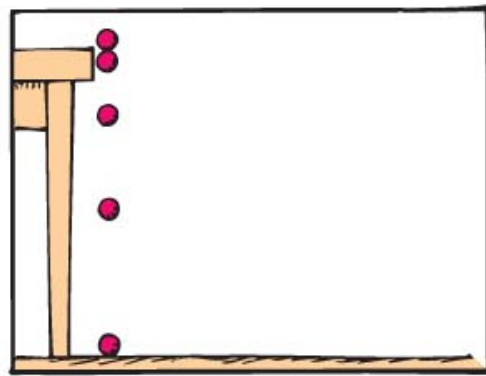
◆ 1초 동안 떨어진 거리가 점점 증가한다.

- 중력이 아래 방향으로만 작용하므로, 공의 가속도는 아래 방향만 있다.

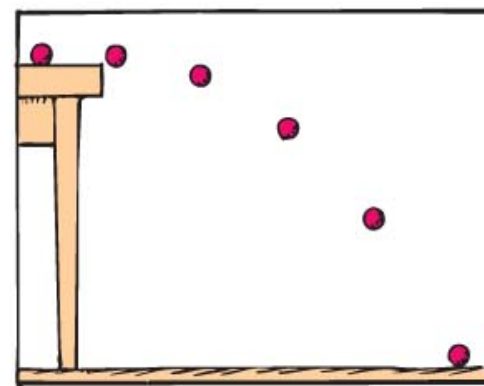
◆ 곡선 경로는 수평운동과 수직운동의 결합으로 이루어짐



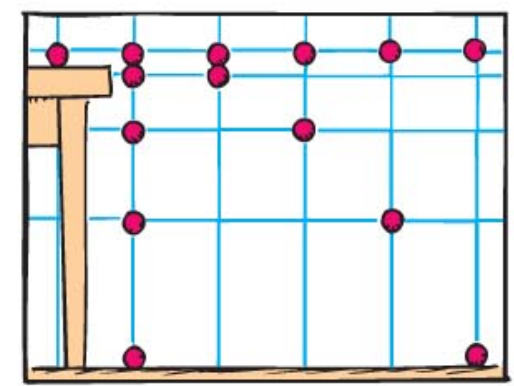
중력이 없을 때의 수평운동



중력에 의한 수직운동



수평운동과 수직운동의 결합

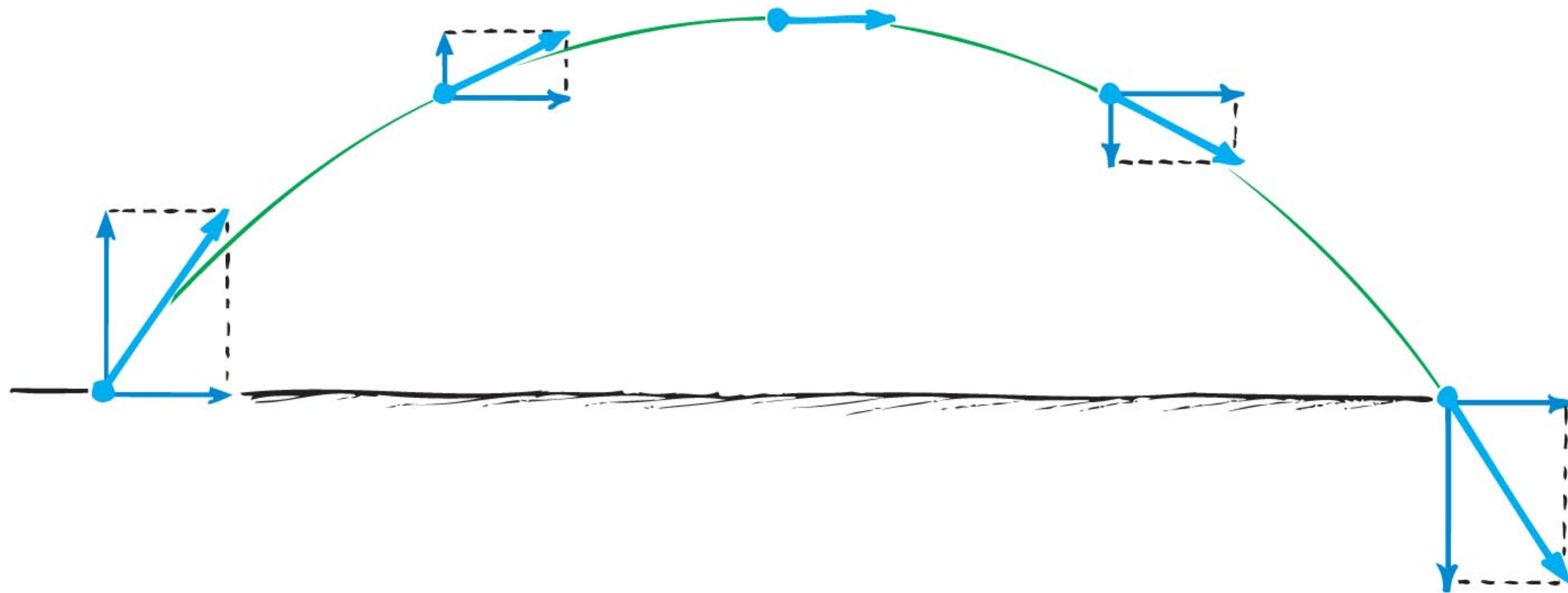


세 경우를 합친 모습

# 포물체 운동

## ◆ 포물선:

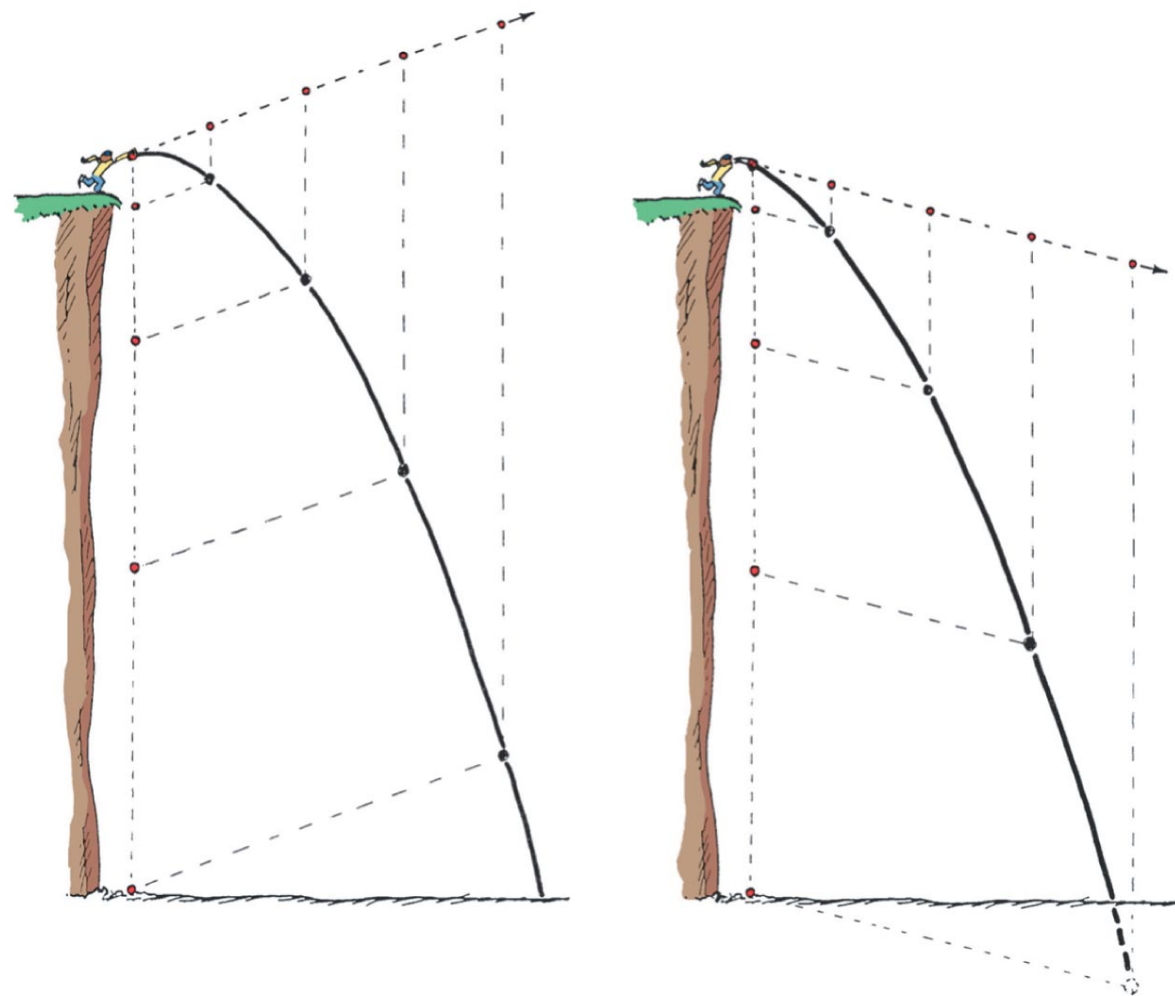
- 일정한 수평속도로 운동하는 동안 수직방향만으로 가속되는 포물체의 궤적



# 포물체 운동

◆ 어떤 각도로 발사한 포물체:

- 위 방향과 아래 방향으로 던진 돌의 경로
  - ▶ 수직성분과 수평성분은 서로 독립이다.

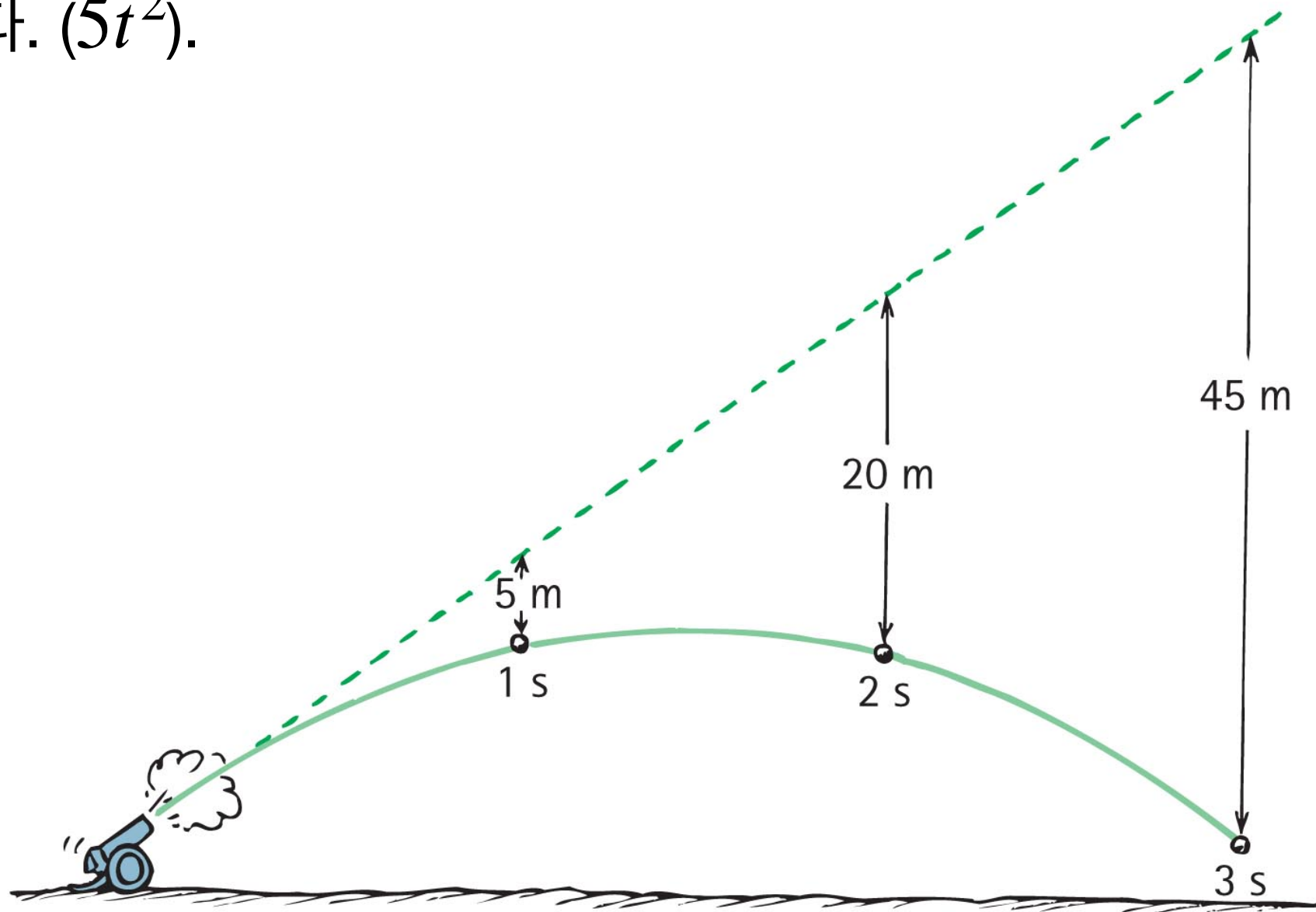




# 포물체 운동

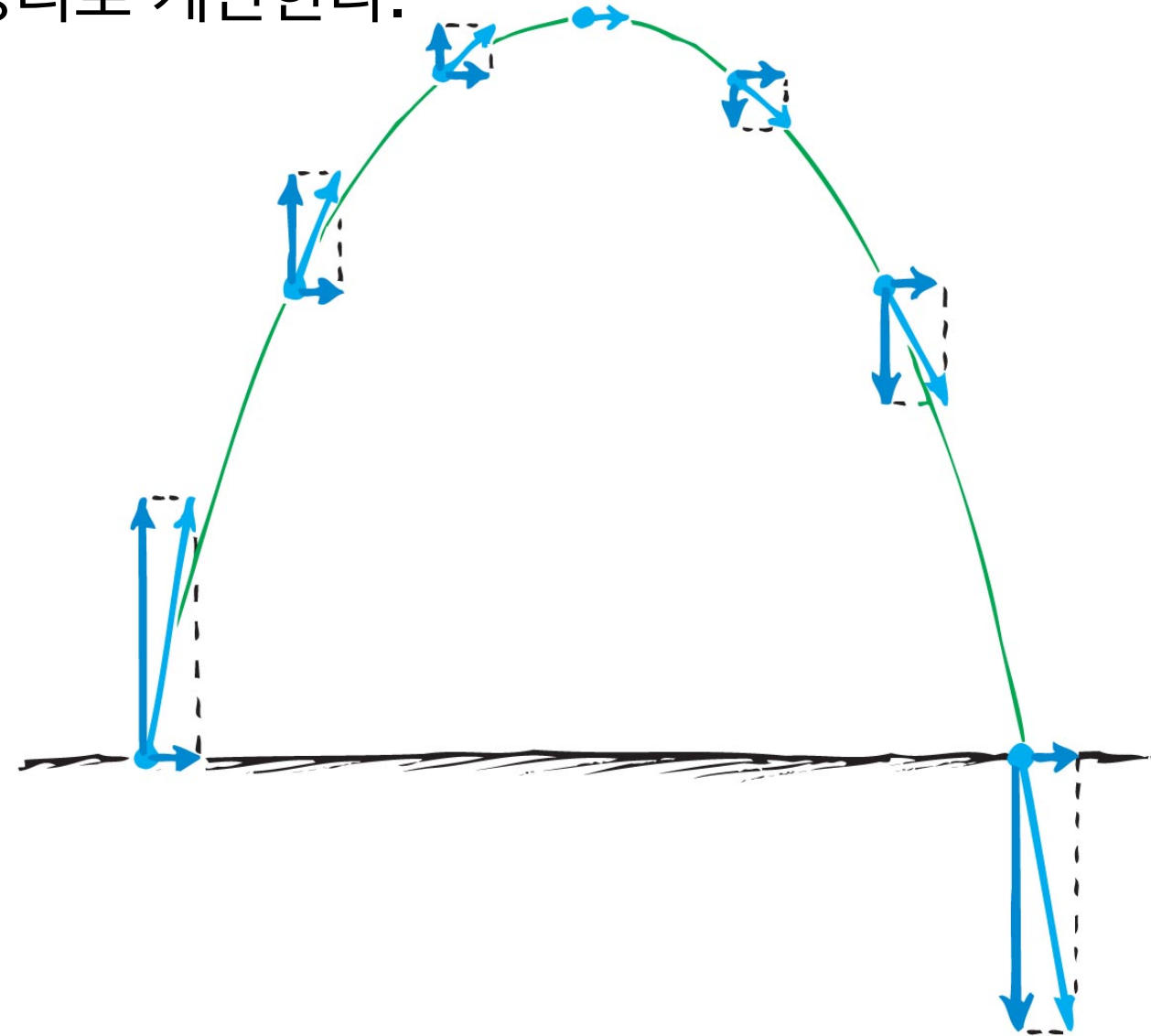
## ◆ 위 방향으로 쏘아진 포탄의 경로

- 포탄이 떨어진 수직 거리는 정지해 있다가 떨어진 것과 수직거리가 같다. ( $5t^2$ ).



# 포물체 운동

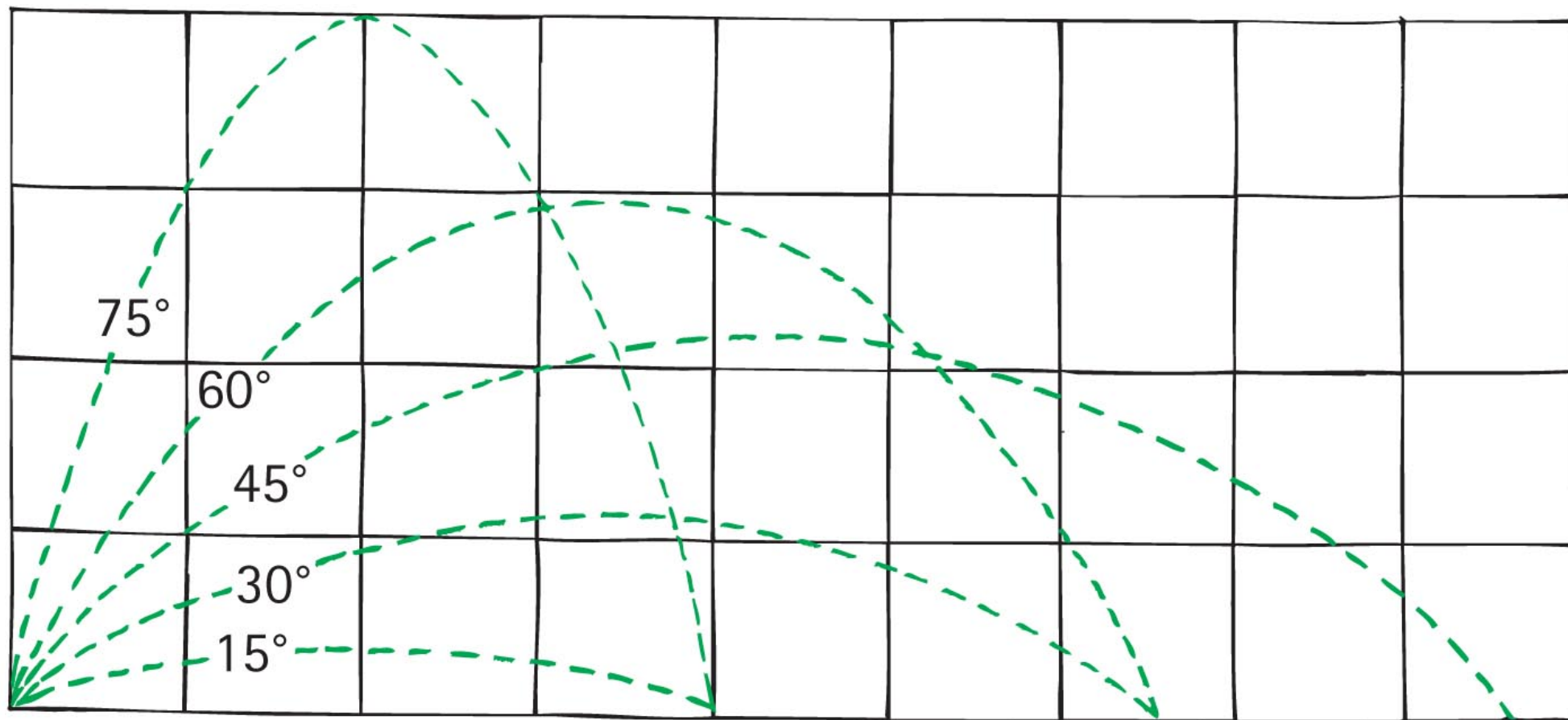
- ◆ 포물체의 경로는 포물선 궤적을 따름
  - 속도의 수평성분은 변하지 않음
  - 속도의 수직성분만이 변함
  - 임의의 점에서 속도는 피타고라스 정리로 계산한다.  
(직각사각형의 대각선)



# 포물체 운동

## ◆ 다른 수평거리

- 두 각도에 대해 같은 수평거리가 주어진다.
- 두 각도를 더하면  $90^\circ$ 가 된다.



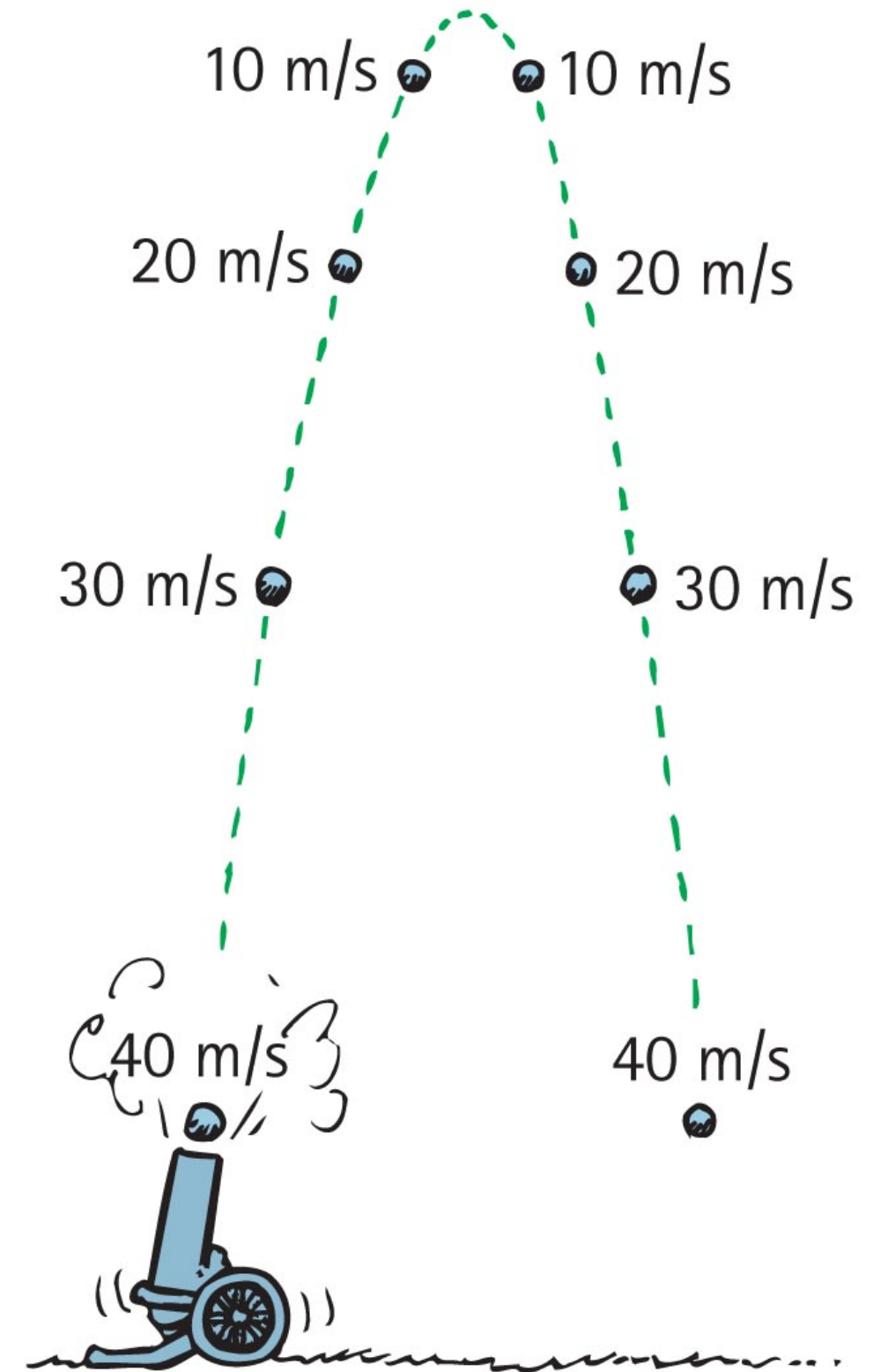
# 포물체 운동

## ◆ 다른 수평거리(계속)

- 공기 저항이 없다면 발사각이  $45^\circ$ 일 때 도달거리가 가장 길다.
- 공기 저항이 있다면 수평속력이 작아지므로 상승할 때보다 낙하하면서 날아가는 거리가 짧아진다. 야구공이 최대거리로 도달하려면  $25^\circ \sim 34^\circ$ 의 각도로 야구배트를 떠나야 함.  
골프공의 경우  $38^\circ$ 보다 작은 각도일 때 최대거리가 된다. (공의 회전도 최대거리에 영향을 미침 - 14장)

# 포물체 운동

- ◆ 공기저항이 없다면, 포물체가 최대 높이에 도달하는 시간은 처음으로 돌아오는 시간과 같다.



# 포물체 운동

## 확인문제

포물체의 속도는 수평성분과 수직성분으로 나타낼 수 있다. 공기저항이 없다고 할 때, 포물체의 경로를 따라 수평성분은 어떻게 되는가?

- A. 증가한다.
- B. 감소한다.
- C. 같게 유지된다.
- D. 정보가 충분하지 않다.



# 포물체 운동

## 확인문제

포물체의 속도는 수평성분과 수직성분으로 나타낼 수 있다. 공기저항이 없다고 할 때, 포물체의 경로를 따라 수평성분은 어떻게 되는가?

- A. 증가한다.
- B. 감소한다.
- C. 같게 유지된다.
- D. 정보가 충분하지 않다.

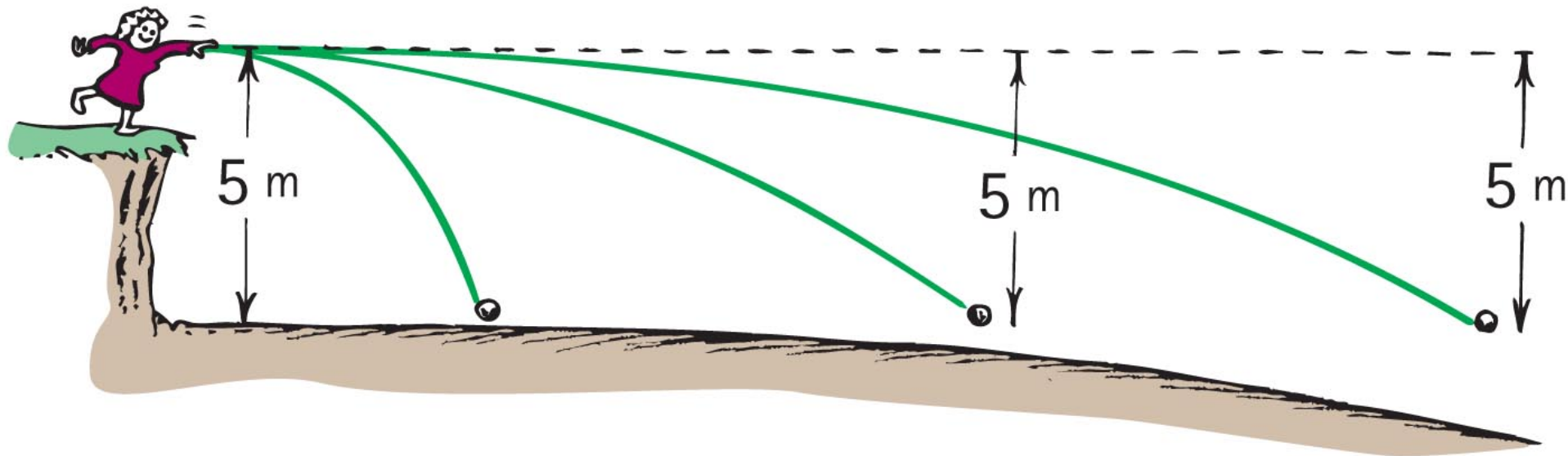
# 고속 포물체 — 위성

- ◆ 위성 운동은 고속 포물체의 한 예이다.
- ◆ 위성은 지표면이 아니라 지구 주위로 떨어지는 포물체
  - 궤도를 유지하기 위해 충분히 큰 접선 속도가 필요
  - 속력을 줄이는 저항이 없어서, 위성은 지구 주위를 무한정 돈다.

# 고속 포물체 - 위성 확인문제

공이 소녀의 손을 떠나고 1초 후에 얼마만큼 떨어지는가?

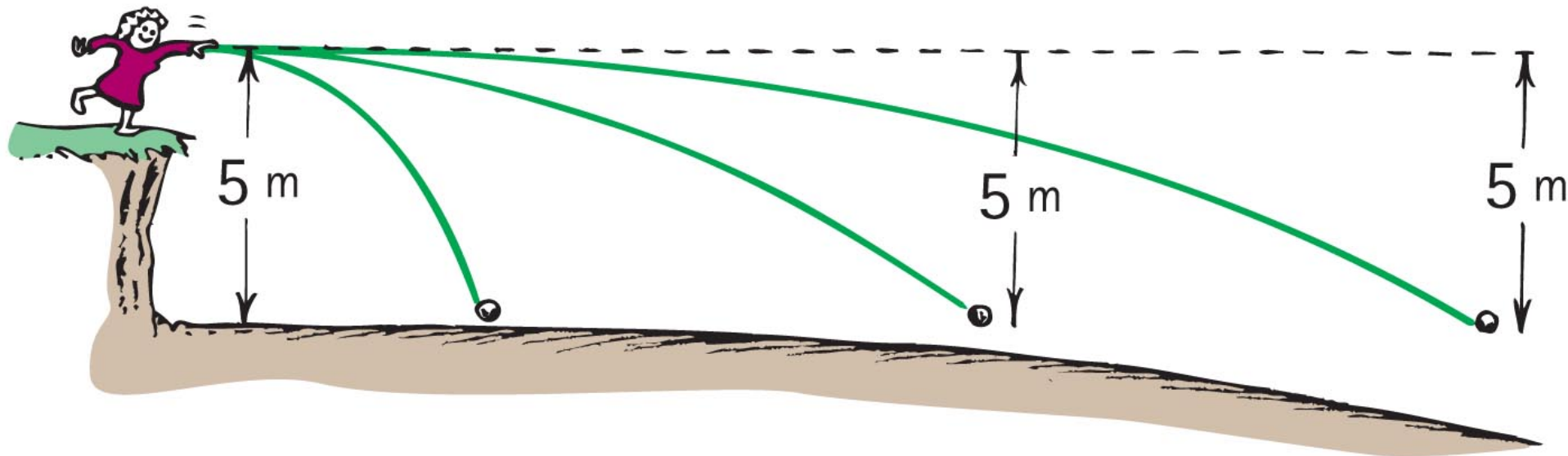
- A. 10 미터
- B. 점선 아래 5 미터
- C. 직선 경로 아래로 5 미터보다 적게
- D. 위 모두 답이 아님



## 고속 포물체 - 위성 확인문제

공이 소녀의 손을 떠나고 1초 후에 얼마만큼 떨어지는가?

- A. 10 미터
- B. 점선 아래 5 미터
- C. 직선 경로 아래로 5 미터보다 적게
- D. 위 모두 답이 아님

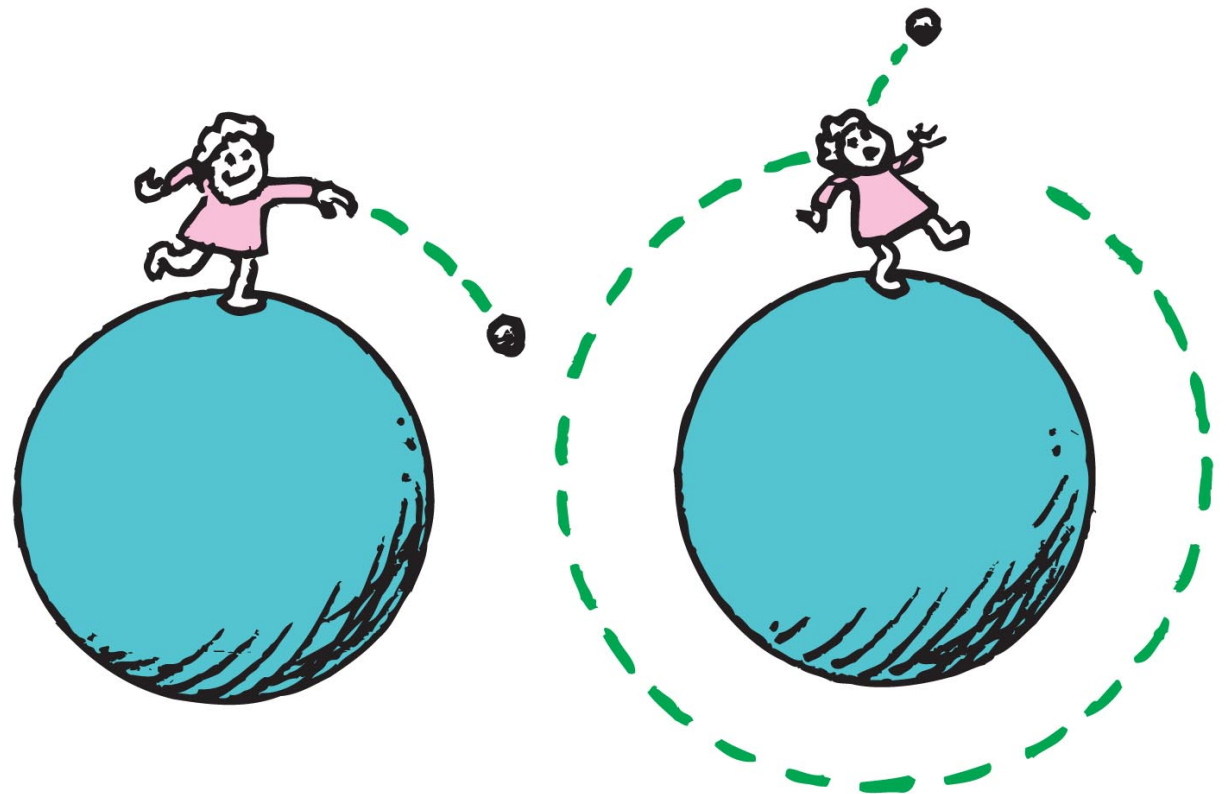


# 위성의 원궤도

## ◆ 위성의 원궤도

- 속력

- ▶ 떨어지는 거리가 지구의 곡률과 일치하도록 충분히 커야 함
- ▶ 일정 (방향만 바뀜)
- ▶ 중력이 변화시키지 않음



# 위성의 원궤도

## ◆ 위성의 위치:

- 공기저항이 거의 없는 지구 대기권 너머

➤ 예: 우주선은 대기의 영향을 받지 않는 150 km 이상의 고도까지 발사된다.  
(그러나, ISS조차도 약간의 공기저항 때문에 정기적으로 위로 추진시켜 궤도를 보정한다.)





# 위성의 원궤도

## ◆ 운동

- 중력에 수직인 방향으로 움직인다.

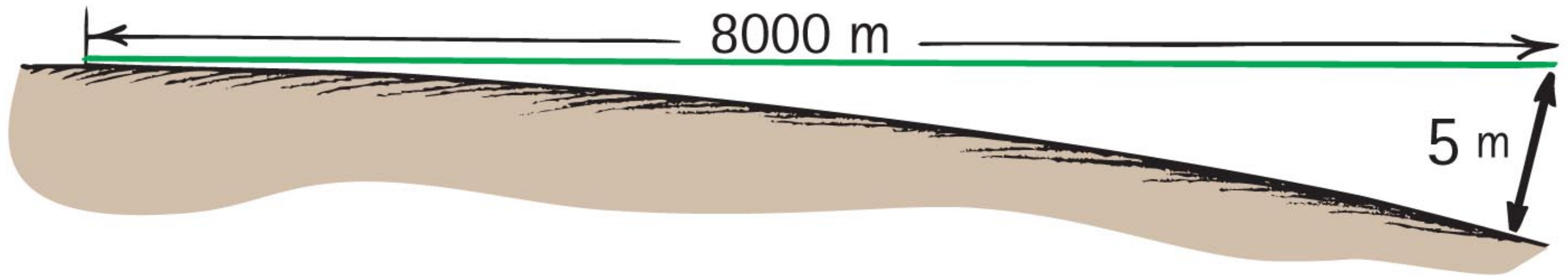
## ◆ 주기(지구를 한 바퀴 도는 데 걸리는 시간)

- ▶ 지구에 가까이 있는 위성—약 90분
- ▶ 더 높은 고도에 있는 위성—더 긴 주기 (속력은 줄어듦)
  - 지구 반지름의 5.6배 고도의 통신위성 - 24시간
  - 달 - 27.3일

# 위성의 원궤도

## ◆ 지구의 곡률

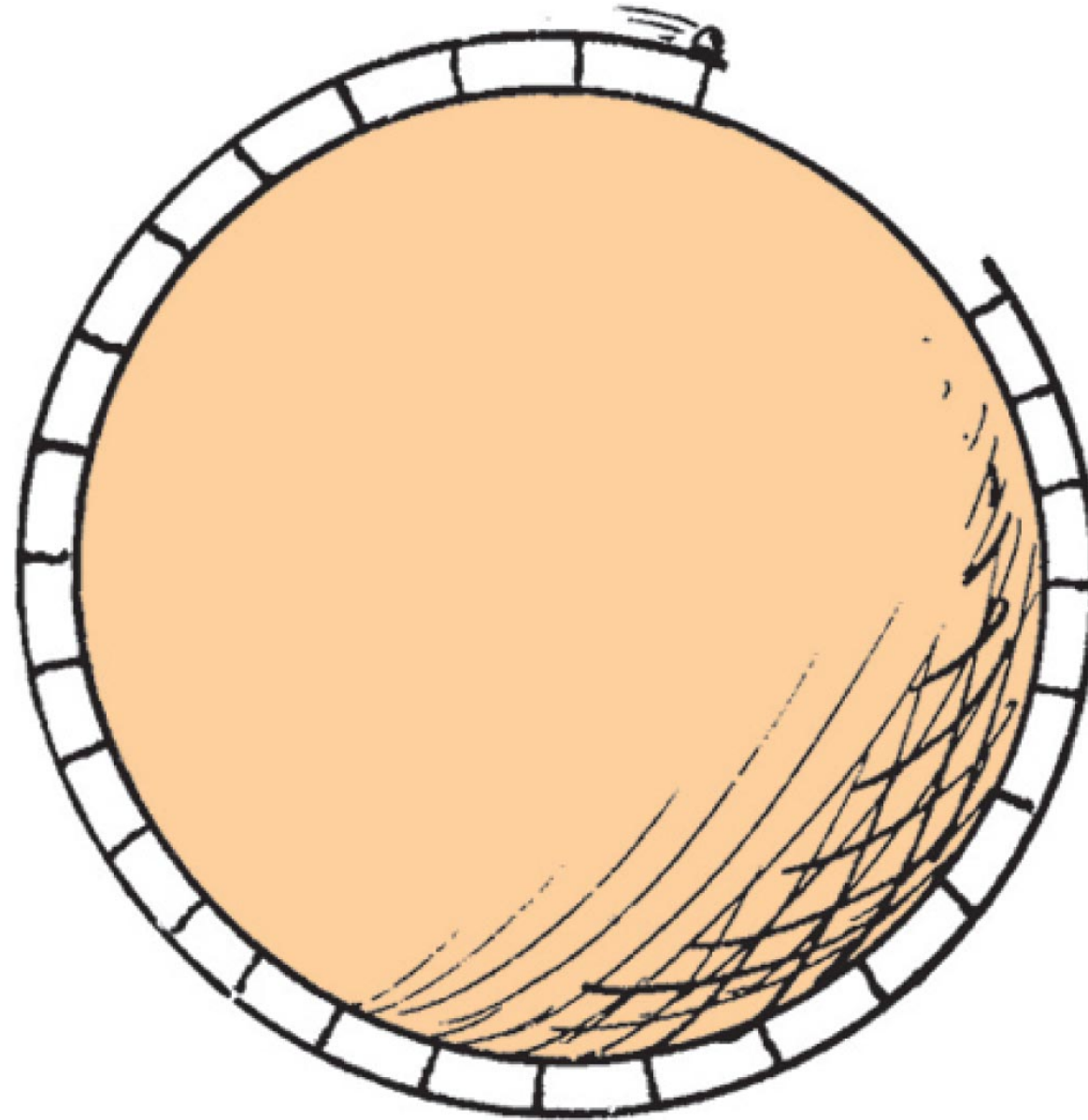
- 지표면은 8 km마다 직선 아래로 5 m씩 구부러져 있다.



# 위성의 원궤도

◆ 어떤 속력일 때 공이 빈 간격을 건너뛰겠는가?

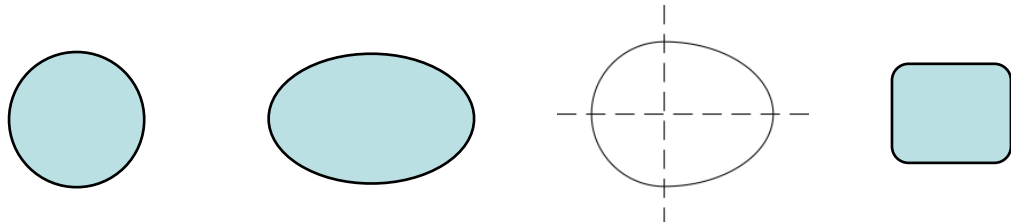
- 8 km/s



# 위성의 원궤도 확인문제

위성이 일정한 속력으로 움직일 때, 그 경로는 어떤 모양인가?

- A. 원
- B. 타원
- C. 거의 타원형의 계란형
- D. 사각형 모서리가 있는 원



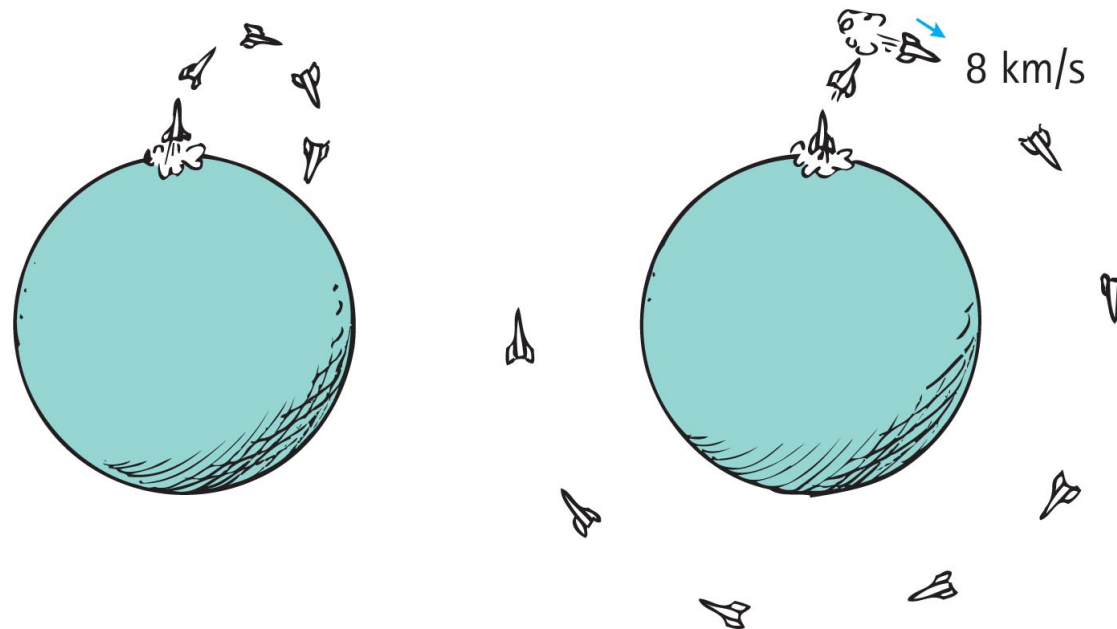
# 위성의 원궤도 확인문제

위성이 일정한 속력으로 움직일 때, 그 경로는 어떤 모양인가?

- A. 원
- B. 타원
- C. 거의 타원형의 계란형
- D. 사각형 모서리가 있는 원

# 위성의 원궤도

- ◆ 지구궤도로 물체를 진입시키기 위해
- ◆ 로켓의 방향
  - 처음에는 로켓을 수직으로 발사.  
높이 올라갈 수록 점점 수직방향에서 벗어나도록 조정
  - 일단 대기권을 벗어나면 수평방향으로 전환시켜서 궤도 속력을 갖도록 로켓을 재추진
- ◆ 로켓의 속력
  - 최종추력을 주어서 궤도 속력이 8 km/s 가 되게 한다.

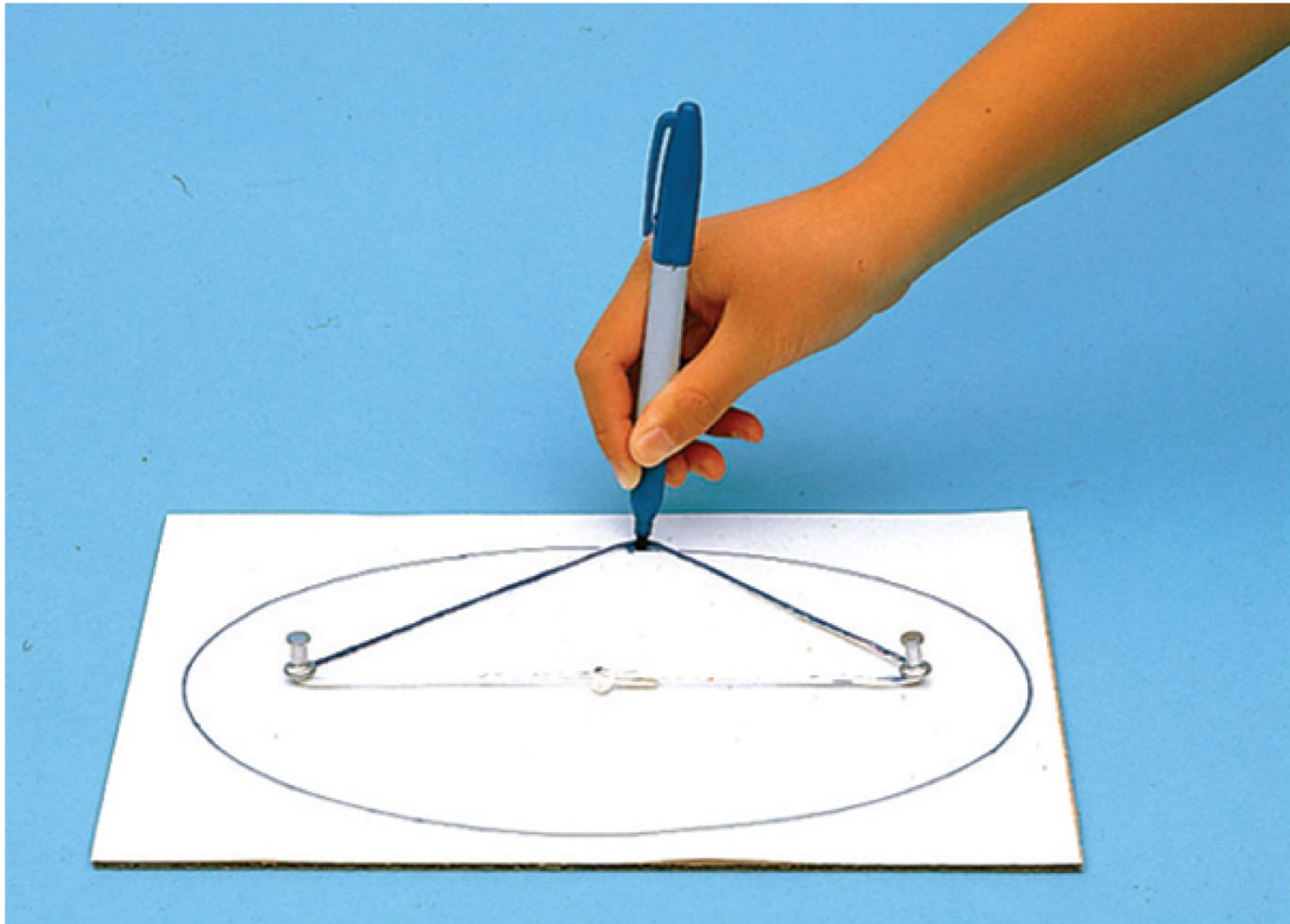




# 타원궤도

- ◆ 대기권 밖에서 포물체의 속력이  $8 \text{ km/s}$ 보다 커지게 되면 포물체는 원궤도를 벗어나 **타원궤도**를 따라 운동한다.
- ◆ 타원
  - 초점이라고 부르는 고정된 두 점까지 거리의 합이 일정한 폐곡선
    - ▶ 예: 원은 두 초점이 일치하는 타원의 특수한 경우임

# 타원궤도

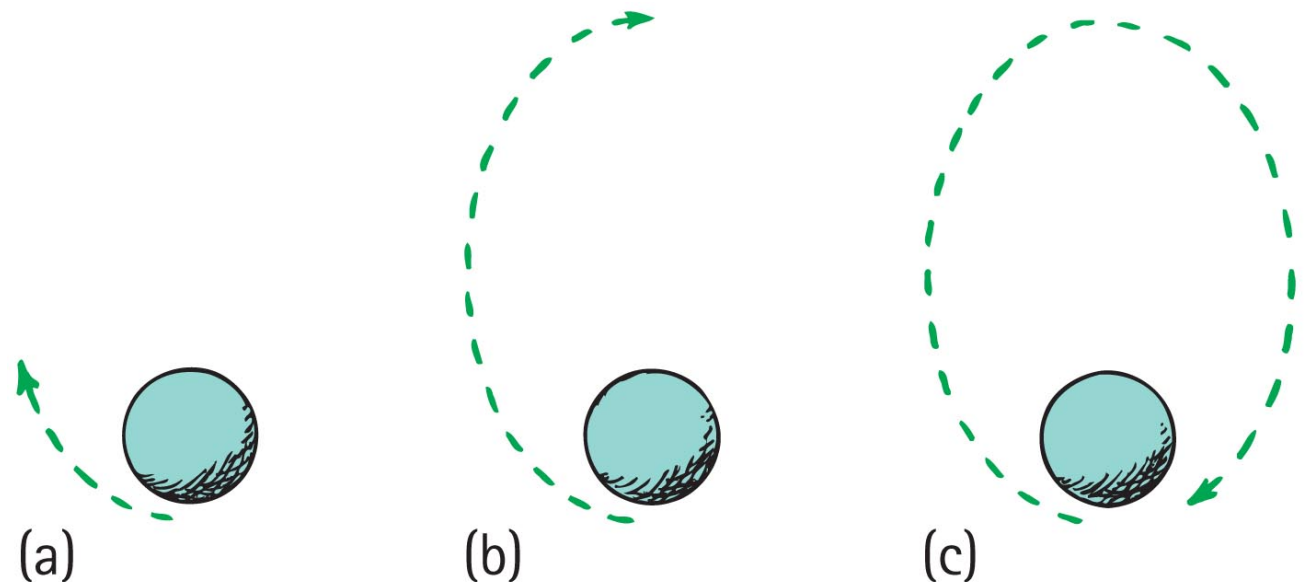


# 타원궤도

## ◆ 타원궤도

### ◆ 위성의 속력이 변한다.

- 처음에 속력이 원궤도에 필요한 속력보다 더 크다면, 위성은 원궤도를 벗어나서 지구로부터 멀어진다.
- 위성은 속력을 잃게 되어 지구를 향해 떨어진다.
- 결국 원래의 위치에서 같은 속력을 갖게 된다.
- 이 과정이 되풀이된다.



## 타원궤도 확인문제

타원궤도에 있는 위성의 속력은?

- A. 변한다.
- B. 일정하게 유지된다.
- C. 운동에 직각으로 작용한다.
- D. 위 모두 해당한다.

# 타원궤도 확인문제

타원궤도에 있는 위성의 속력은?

- A. 변한다.
- B. 일정하게 유지된다.
- C. 운동에 직각으로 작용한다.
- D. 위 모두 해당한다.

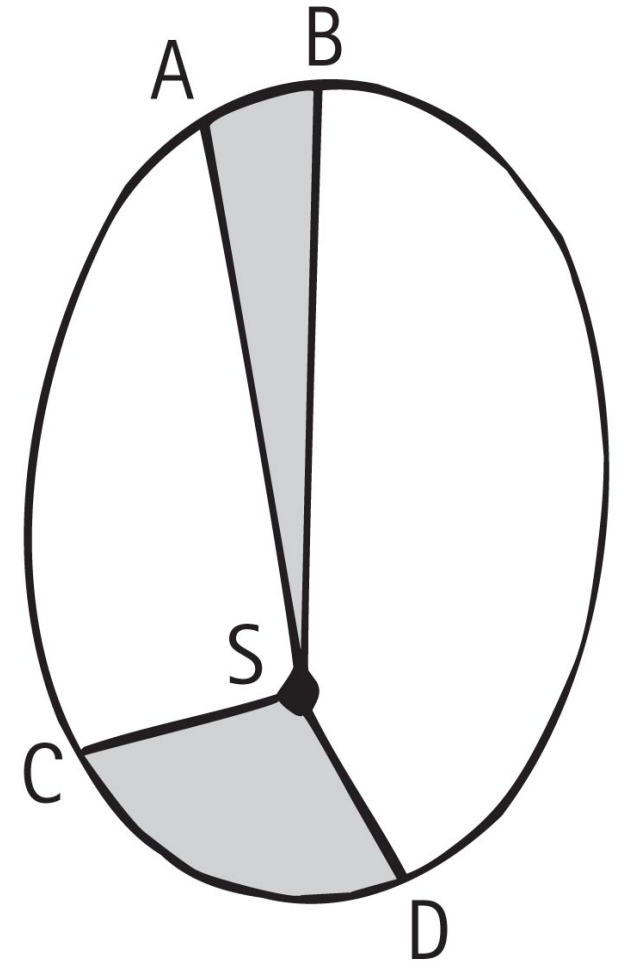
# 케플러(Kepler)의 행성운동법칙

- ◆ 케플러 - 덴마크의 유명한 천문학자인 티코 브라헤의 조교  
(브라헤는 세계 최초의 거대한 천문대의 책임자였다.)
- ◆ 브라헤가 정확하게 관측한 행성 위치에 대한 자료를 케플러가 분석
- ◆ 행성의 운동이 원운동이 아니라 타원운동임을 발견



# 케플러의 행성운동법칙

- ◆ 제1법칙: 태양주위를 돌고 있는 행성의 궤도는 태양이 한 초점인 **타원**이다. (타원궤도의 법칙)
- ◆ 제2법칙: 태양과 행성을 연결한 선은 같은 시간에 같은 면적을 스쳐간다. (면적속도 일정의 법칙)
- ◆ 제3법칙: 행성 주기의 제곱은 태양과 행성 사이의 평균 거리의 세제곱에 정비례한다. ( $T^2 = r^3$ ) (모든 행성에서) (조화의 법칙)



# 에너지 보존과 위성 운동

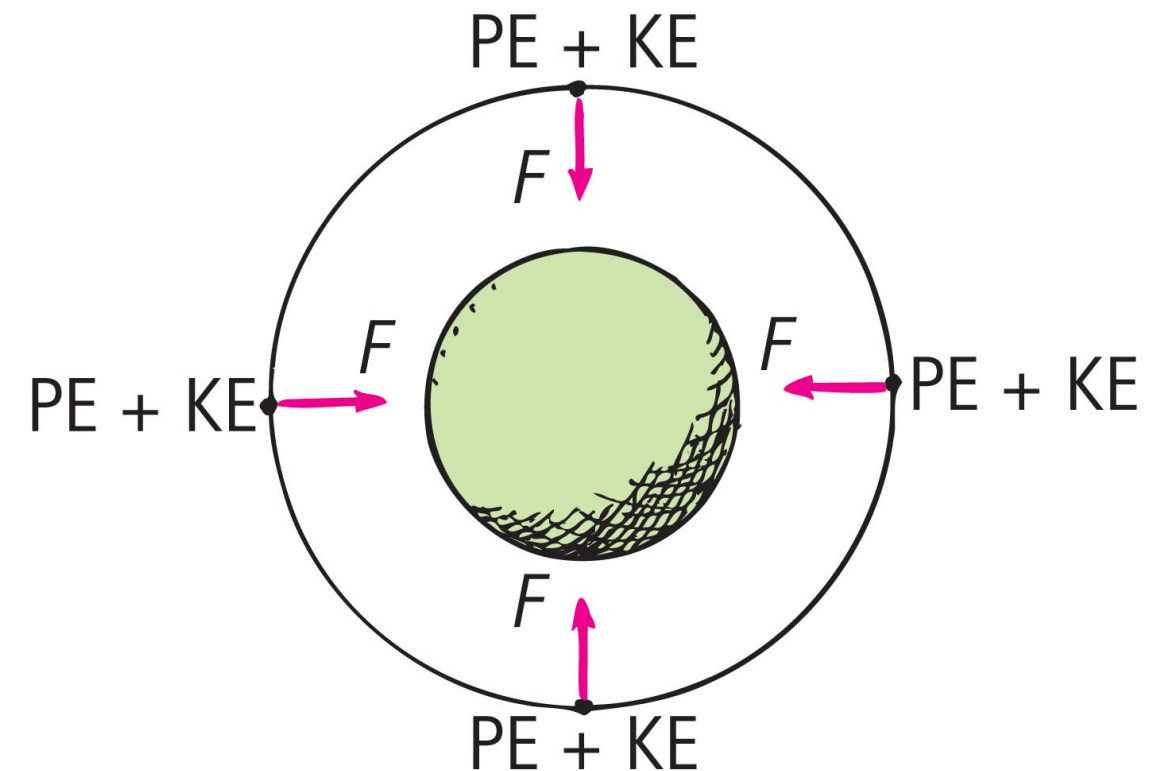
## ◆ 7장 내용 복습:

- 운동하는 물체는 운동에너지(KE)를 갖는다.
- 지표면에 있는 물체는 위치에 의한 퍼텐셜 에너지(PE)를 갖는다.
- 지구 궤도를 돌고 있는 위성은 운동에너지와 퍼텐셜 에너지를 갖는다.
  - ▶ 운동에너지와 퍼텐셜 에너지의 합은 궤도의 모든 점에서 일정하다.

# 에너지 보존과 위성 운동

◆ 원궤도에서 PE, KE, 속력:

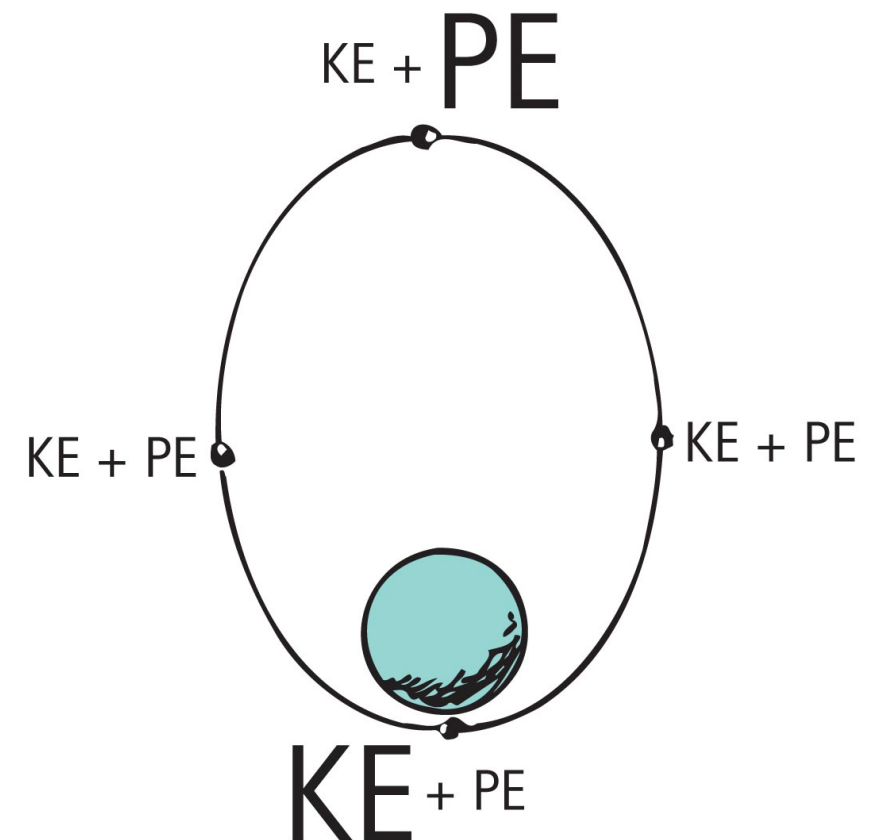
- 변하지 않음.
- 물체의 중심과 위성과의 거리는 변하지 않음  
→ PE는 모든 곳에서 일정
- 운동방향을 따라 작용하는 힘 성분은 없음  
→ 속력의 변화가 없음 ~ KE도 일정



# 에너지 보존과 위성 운동

## ◆ 타원궤도의 경우 (PE, KE, 속력 모두 변함)

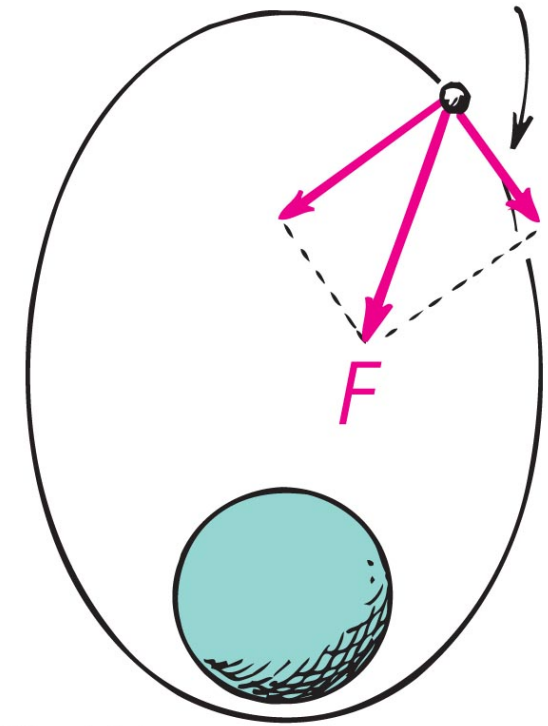
- 위성이 가장 멀리 있을 때(원지점), PE가 최대
- 가장 가까이 있을 때(근지점) PE는 최소
- PE가 가장 큰 곳에서 KE는 가장 작고, PE가 가장 작은 곳에서는 KE는 최대
- 궤도의 모든 점에서 KE와 PE의 합은 같다



# 에너지 보존과 위성 운동

- ◆ 위성이 높이 올라가고 중력에 거슬러 운동할 때 위성의 속력과 KE는 원지점에 도달할 때까지 감소한다.
- ◆ 원지점을 통과하면, 위성은 중력 성분과 같은 방향으로 운동하므로 속력과 KE는 증가한다. 그 후 위성이 근지점을 통과할 때까지 계속해서 증가하는 운동을 반복한다.

이 성분의 힘이  
위성에 일을 한다.



# 탈출속력

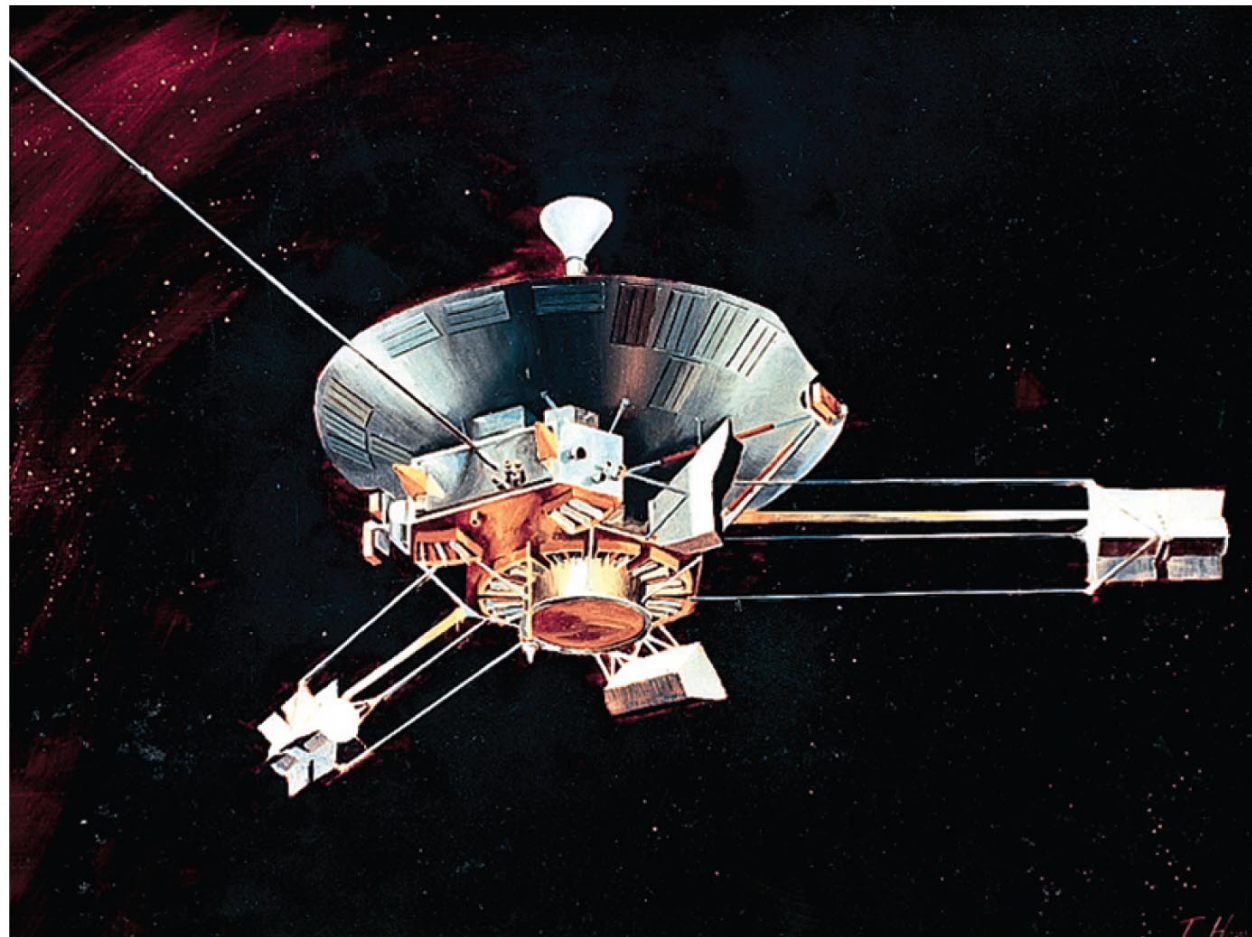
## ◆ 탈출속력

- 포물체, 우주탐사선 같은 물체가 이들을 끌어당기는 지구나 천체의 중력을 벗어나는 데 필요한 최소 속력



# 탈출속력

- ◆ 태양계를 벗어난 최초의 탐사선인 *Pioneer 10*호를 1972년 발사할 때의 처음 속력은 단지 15 km/s였음.
- 탐사선은 다가오는 목성의 궤도를 향해 발사되어 지구를 탈출한 후에 목성의 중력에 의해 속력을 얻음





# 탈출속력-태양계 행성표면에서

행성	질량(지구질량)	반지름 (지구반지름)	탈출속력 (km/s)
태양	333,000	618	109
태양(지구 궤도로부터의 거리)		23,500	42.2
목성	318	11	59.5
토성	95.2	9.1	35.5
천왕성	17.1	3.9	23.5
해왕성	14.5	4.0	21.3
지구	1.00	1.00	11.2
금성	0.82	0.95	10.4
화성	0.11	0.53	5.0
수성	0.055	0.38	4.3
달	0.0123	0.27	2.4



“본 강의 동영상 및 자료는 대한민국 저작권법을 준수합니다. 본 강의 동영상 및 자료는 상명대학교 재학생들의 수업목적으로 제작·배포되는 것이므로, 수업목적으로 내려받은 강의 동영상 및 자료는 수업목적 이외에 다른 용도로 사용할 수 없으며, 다른 장소 및 타인에게 복제, 전송하여 공유할 수 없습니다. 이를 위반해서 발생하는 모든 법적 책임은 행위 주체인 본인에게 있습니다.”