



2주차 결정론의 종말

2교시 결정론의 세계와 뉴턴역학

원숭이와 포수

나무에 원숭이가 매달려 있다.

포수가 원숭이를 향해 총을 쏘는 순간

영리한 원숭이가 나무에서 손을 놓고 떨어졌다면,

이 원숭이는 총에 맞을까? 안 맞을까?



예제 1)

무게가 비슷한 두 물체를 양손에 하나씩 들고 비교할 때, 여러 번 아래 위로 흔들어 본다.
왜 그렇게 할까?

풀이)

무게를 비교하기 위해서 손에 물체를 올려놓고 있으면, 실제로 물체를 드는 힘을 측정하는 것과 같습니다.
두 물체의 무게가 비슷하여 어느 것이 더 무거운지 구별하기 힘들 경우, 물체를 아래 위로 흔들어 봅니다.
이렇게 하는 것은 바로 뉴턴의 제 2법칙을 응용하는 것입니다.
즉, 아래 위로 흔들면서 물체를 가속시켜 보는 것입니다.
물체를 가속시켜보아 물체가 힘에 저항하는 정도(관성)를 측정하는 것입니다.
저항이 더 큰 물체의 무게가 더 무거우므로 결국 물체의 운동을 통해서 물체의 질량을 측정하는 것입니다.

예제 2)

승강기에 타고 있을 때 줄이 끊어진다면 어떤 경험을 하게 될까?

풀이)

보통 승강기는 안전 장치가 되어 있어 줄이 끊어져도 멈추게 하는 장치가 있습니다.

승강기에 어떠한 안전장치도 없다고 가정해 봅시다.

줄이 끊어지면 승강기와 승객은 자유 낙하할 것입니다.

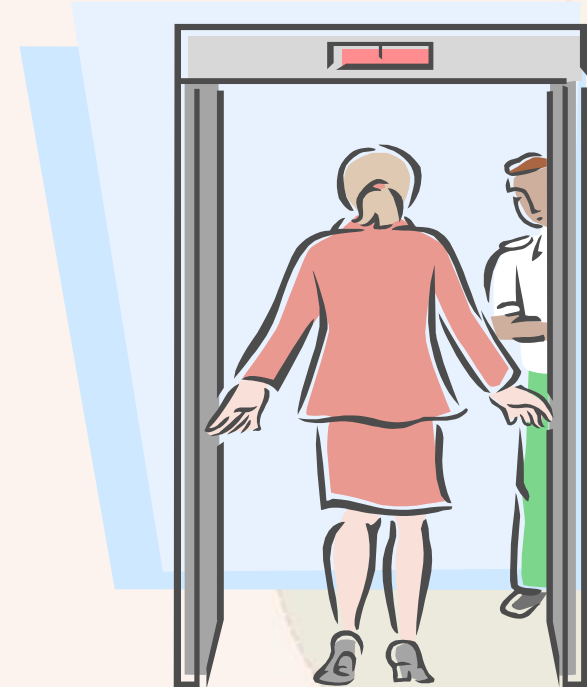
지구 궤도를 돌고 있는 우주선 안의 우주비행사도 역시 지구를 향해 자유낙하 합니다.

우주선의 자유낙하는 원운동으로 나타납니다. 자유 낙하하는 승강기 안에서는 자유롭게 떠 있으므로 한쪽 벽을 밀면 반대쪽으로 밀리게 됩니다.

따라서 승강기 안에서 자유 낙하하는 승객은 () 상태를 경험합니다.

물론 승강기는 순식간에 추락하므로 이런 경험은 순간적일 것입니다.

놀이공원에 가면 자유낙하를 이용한 다양한 놀이기구가 있습니다.



예제 3)

저울 위에 모래시계를 올려놓고 눈금을 보고 있다.
모래가 흘러내릴 때 저울의 눈금에 변화가 있겠는가?

풀이)

저울의 눈금은 변화가 없습니다.

모래시계는 공기 중으로 떨어지는 모래에 수직력을 작용하지 않습니다. 그러므로 눈금이 작아질 것이라고 생각할 수 있습니다. 그러나 이 사라진 무게는 모래가 모래시계의 바닥을 때리는 힘에 의해서 재생됩니다. 뉴턴의 제 2법칙에 의해 모래시계의 바닥은 모래의 무게보다 더 큰 위로 향하는 힘을 모래에 작용해서 떨어지는 모래가 정지하도록 합니다. 이것이 정확하게 공기 중에 있는 모래의 무게를 대체하게 되어 눈금의 변화는 없습니다.

물론 모래가 떨어지는 처음과 끝에서 약간의 요동이 있을 것입니다. 처음에는 약간의 모래가 공기 중에 있고 아직 바닥을 때리지 못한 짧은 시간 동안에는 눈금이 약간 줄어든 것입니다. 집에서 한 번 실험해 보세요.



2. 작용 반작용의 법칙

뉴턴의 운동 제3법칙
(작용 반작용의 법칙)

[물체 A가 물체 B에 힘을 작용하면
물체 B도 물체 A에 크기는 같고 방향이 반대인 힘을 작용한다.]
또는
[내가 당신을 밀면 당신 또한 나를 민다.]

자연에 존재하는 힘은 두 물체 간의 **상호작용(interaction)** 형태로 작용하며, 한 물체에만 힘이 작용하는 일은 없습니다. 작용 반작용의 법칙에 따르면 힘은 물체 사이에 존재하며 항상 ()으로 존재합니다. 한 물체에 작용하는 힘을 **작용**이라 하면, 상대방 물체에 작용하는 힘은 **반작용**입니다. 따라서 **작용력과 반작용력은 각각 다른 물체에 작용합니다.** 즉, 한 물체에 작용력과 반작용력의 힘 쌍이 동시에 존재할 수 없습니다. 이 사실을 깨닫지 못하여 가끔 엉뚱한 해석을 하는 경우가 있으므로 조심해야 합니다.

“작용과 반작용은 한 물체에 동시에 작용할 수 없다.”

예제 1)

헬리콥터의 날개는 왜 항상 두 세트로 되어 있는가?

풀이)

헬리콥터의 날개가 하나만 있는 경우를 생각해 봅시다.

날개가 회전하기 시작하면 뉴턴의 제3법칙에 따라 날개의 회전은 헬리콥터 본체에 반작용 힘을 가합니다. 따라서 헬리콥터 본체는 날개의 회전 방향과 반대 방향으로 돌게 됩니다. 이러한 본체의 회전을 막기 위하여 두 번째 세트의 날개를 장착하여 반대방향으로 회전시킵니다.

대부분의 헬리콥터에는 주날개의 회전 방향과 반대 방향으로 토크(돌림힘)를 가하는 보조 날개가 본체 꼬리 부분에 장착되어 있습니다.



<헬리콥터의 두 쌍의 날개>

예제 2)

말이 마차를 끌면 마차도 말을 뒤로 당긴다?

풀이) “말이 마차를 끌면 뉴턴의 제3법칙에 의해서 마차 또한 말을 뒤로 당긴다. 따라서 두 힘은 서로 상쇄되어 아무런 일도 일어나지 않는다.” 이 말이 옳은가?

뉴턴의 제3법칙을 잘못 이해한 대표적인 예입니다. 모든 작용에는 반드시 반작용 힘이 존재합니다.

그런데 작용과 반작용 힘은 항상 서로 다른 물체에 작용합니다. 서로 다른 물체에 작용하는 힘은 서로 상쇄될 수 없습니다. 따라서 물체의 운동을 설명할 때 그 물체에만 작용하는 힘을 합하여 알짜 힘을 구해야 합니다.

말과 마차를 가속시키는 힘은 지구와 말발굽 사이의 마찰력이고, 말이 지구를 뒤쪽으로 미는 힘이 반작용 힘입니다.



<말과 마차>

따라서 말의 근육에 의한 힘에 의해서 말발굽이 지구를 밀면 (이 힘은 지구가 받는다), 같은 크기의 반대 방향으로 작용하는 마찰력에 의한 힘이 말에게 작용합니다. 따라서 말이 받는 알짜 힘은 지구에 의한 앞으로 나가게 하는 힘에서 마차가 받는 마찰력을 빼면 됩니다.

합한 알짜 힘이 0보다 크므로 말과 마차는 앞으로 움직입니다.

예제 3)

우주공간에서 로켓을 점화하면 움직이지 않는다?

풀이) "우주 공간에서 로켓을 점화하면 공기 같은 밀 것이 없기 때문에 전혀 움직이지 않는다."
옳은 말인가?



로켓에서 나온 추진 가스가 지구를 밀기 때문에 로켓이 발사된다고 믿는 것은 흔히 범하기 쉬운 잘못입니다.

로켓의 추진력은 뉴턴의 제3법칙으로 설명할 수 있습니다. 로켓이 추진 가스를 뒤쪽으로 밀어내면, 추진 가스는 다시 로켓을 앞으로 밀니다. 이런 작용과 반작용은 로켓이 우주의 어느 곳에 있든 상관없으며 오히려 대기 중에서 운동할 때 마찰력을 극복하여야 하기 때문에 별도의 힘이 필요 합니다.

로켓의 추진력은 뿜어내는 가스의 속력이 크면 클수록 큰 힘을 낼 수 있습니다.

충돌

= 짧은 시간 동안(충돌 시간)에 물체들 사이에 매우 큰 힘이 작용하는 경우

$$\text{충격력} = (\text{물체의 질량}) \frac{(\text{충돌 후의 속도} - \text{충돌 전의 속도})}{(\text{충돌 시간})}$$

충돌에서 짧은 시간이란 상대적인 뜻을 가지고 있다.

예를 들면 자동차 충돌은 매우 짧은 시간에 일어나지만, 은하와 은하의 충돌은 매우 긴 시간 동안 일어난다. 그러나 우주의 시간으로 볼 때 은하와 은하의 충돌은 매우 짧은 시간에 해당한다.

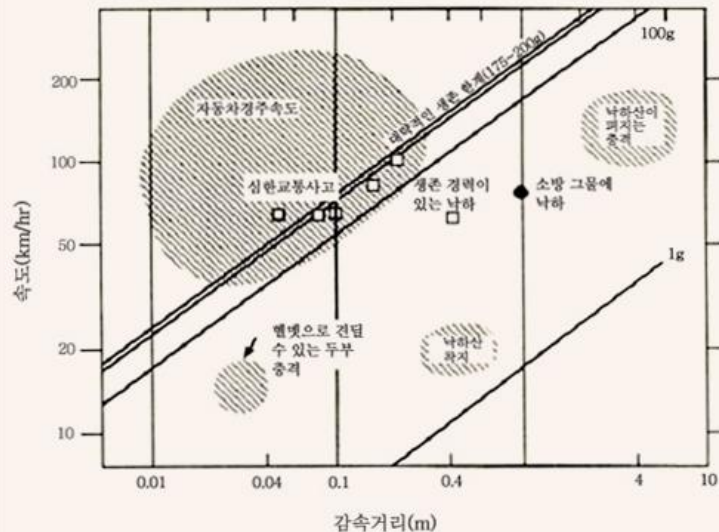
충돌이 일어나면 충돌하는 물체에 큰 힘이 가해 질 뿐만 아니라 물체의 운동에 변화를 초래한다.

충돌할 때 물체가 받는 힘을 **충격력**이라 한다.

✎ 충돌 ()을 늘이면 충격력이 줄어든다.

- 착지할 때 다리를 구부린다.
- 에어백을 이용한다.
- 낙하산을 사용한다.
- 헬멧을 사용한다.

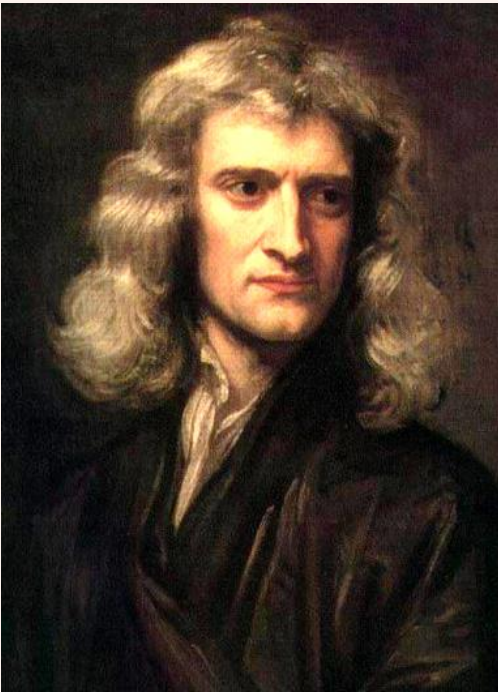
✎ 생존 한계 곡선 - 인체가 견딜 수 있는 가속도를 속도-거리 곡선으로 나타낸 그래프



◀ 인체에 가해지는 충돌에 대한 충돌 속도와 충돌 거리를 로그-로그로 그린 그림

3. 원숭이와 포수

뉴턴의 운동법칙에서 물체에 작용하는 힘을 알면 물체의 운동을 예측할 수 있습니다.
공기 저항을 무시할 때 지표면 근처에서 물체의 초기 위치, 초속도를 알면 임의의 시간에서 물체의 위치와 속도를 예측할 수 있습니다.
지표면에서 물체는 일정한 크기의 중력을 받기 때문에 물체의 가속도는 항상 일정합니다.
고등학교에서 물체는 포물선 운동을 한다고 배웠을 것입니다.
지표면에서 중력은 항상 지구 중심 방향을 향하고 있습니다.
따라서 물체가 운동하는 동안 속도의 변화는 지구 중심 방향 쪽으로 일어납니다.



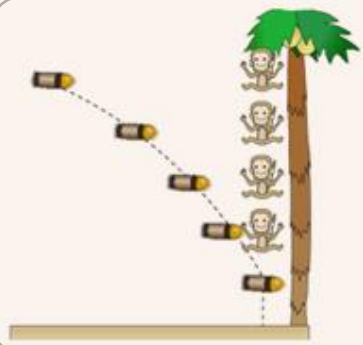
지표면에 **평행**한 방향을 **X축**, 지표면에 **수직**한 방향을 **Y축**이라 하면,
물체에 작용하는 힘은 **Y축** 방향의 힘만 존재합니다.

따라서 운동의 변화는 Y축에서만 일어나고,
X축의 운동은 처음 운동을 계속 지속합니다.
이처럼 물체의 운동을 각 축으로 ()하여 생각하면 편리합니다.

3. 원숭이와 포수

그림과 같이 나무 가지에 매달린 원숭이를 향해서 포수가 총을 겨누고 있습니다.

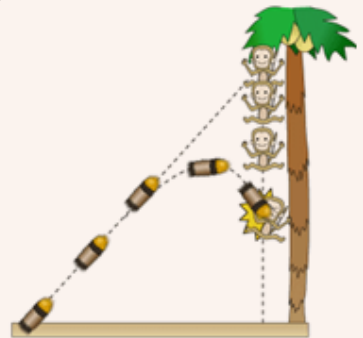
포수가 총을 발사하는 순간 영리한 원숭이가 손을 놓아 나무에서 떨어지면(자유낙하) 원숭이는 총에 맞을까요?



왼쪽 그림은 총과 원숭이가 같은 높이에 있는 경우이고, 오른쪽 그림은 원숭이가 높은 나무 가지에 매달려 있고 포수가 원숭이를 겨냥하여 총을 발사하는 경우입니다.

왼쪽 그림에서, 중력이 없으면 총알은 발사한 방향으로 곧장 날아갑니다.

그러나 지구의 중력 때문에 총알이 운동하는 동안 총알이 떨어진 거리와 원숭이가 떨어진 거리는 같습니다. 따라서 원숭이는 총에 맞습니다.



오른쪽 그림에서, 총알의 수평 초속도가 충분히 커서 원숭이가 있는 지점에 도달할 수 있다면 원숭이는 역시 총에 맞습니다. 즉, 총알이 포물선 운동하여 원숭이가 있던 나무 위치에 도달하는 순간 떨어진 원숭이는 바로 총알이 있는 위치에 도달합니다.

이런 신기한 현상은 물체의 수직 방향 운동은 그 물체의 수평방향 운동과 아무런 상관이 없기 때문에 일어납니다.

지금까지 결정론의 세계에 대해 알아보았습니다.

다음시간에는 결정론의 종말에 대해서 살펴봅시다.