

에너지 보존



장비

수 량	이 름	비 고
1	롤러코스트 완성장치	
2	포토게이트 헤드	
1	스마트 타이머	
1	줄자	

서론

자동차는 대기위치에서 출발하여 트랙의 여러지점(언덕, 골, 루프, 직선티랙)을 돌게 되며, 스마트 타이머에 연결된 포토게이트를 사용하여 트랙을 따라 여러지점에서 자동차의 속도가 측정된다. 측정 높이로 위치에너지를 계산하고 운동에너지는 속도로부터 계산된다. 트랙의 두 지점에 대해 총 에너지를 계산하고 비교해 본다.

자동차가 대기위치에서 출발하여 루프의 꼭대기를 겨우 지나는 높이를 에너지 보존과 구심 가속도로부터 예측할 수 있다. 그리고 실제 롤러 코스트에 대해서 예측을 시험해볼 수 있다. 또한, 자동차가 언덕 윗부분에서 출발하여 루프의 정점을 지나면, 루프의 정점에서 자동차의 속도를 측정할 수 있고, 겉보기 무게(수직항력)뿐 아니라 구심가속도도 계산할 수 있다.

이론

자동차의 총 에너지(E)는 운동에너지(K)와 위치에너지(U)의 합과 같다.

$$E = K + U \quad (1)$$

$$K = \frac{1}{2}mv^2 \quad (2)$$

여기서, m은 자동차의 질량이고, v 는 자동차의 속도이다.

$$U = mgh \quad (3)$$

여기서, g 는 중력에 의한 가속도이고, h 는 위치에너지가 0 으로 정의되는 지점 위쪽에 위치하는 자동차의 높이이다.

마찰을 무시한다면, 자동차의 총 에너지는 변하지 않는다. 에너지 보존의 법칙은 다음과 같이 말할 수 있다:

$$E = \text{일정} \Rightarrow K_{\text{initial}} + U_{\text{initial}} = K_{\text{final}} + U_{\text{final}}$$

단형 실험과정 (Step Procedure)

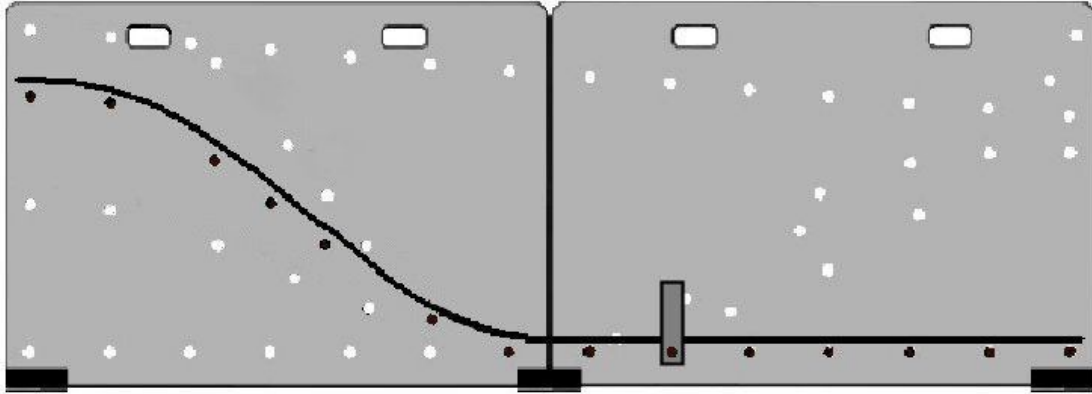


그림 1. 단 배열 (Step Configuration)

1. 그림 1 과 같이 트랙을 배치한다. 포토게이트를 아래쪽 직선 트랙 부위에 장착하여, 자동차가 직선 부분에 도달한 직후의 자동차 속도를 측정하도록 위치시킨다. 또한 직선틱의 끝부분에 케쳐(catcher)를 장착하여 자동차가 트랙의 끝부분에서 이탈하지 않도록 해준다.
2. 왼쪽에 있는 단 꼭대기에 미니 자동차를 놓는다. 자동차의 초기 높이(테이블에서 자동차 질량체의 중심부까지를 측정)를 측정하고, 자동차의 질량을 측정한다.
3. 자동차를 아래쪽의 평평한 트랙에 놓고 테이블로부터 자동차의 높이를 측정한다.
4. 자동차를 꼭대기에 놓고 출발시킨다. 포토게이트와 스카트 타이머를 사용하여 단 아래쪽에서 카트의 속도를 측정한다(Velocity 는 One Gate 모드로 설정한다).
5. 자동차의 초기 총 에너지를 계산한다.
6. 자동차의 최종 총 에너지를 계산한다.
7. 얼마만큼의 에너지가 손실되었는가? 손실되었다면 어디로 갔을까?
8. 손실된 총 에너지의 백분율을 계산한다. $\%손실률 = \frac{손실된에너지}{초기에너지}$
9. 50g 짜리 질량체를 자동차에 놓고 위의 2 ~ 8 단계의 과정을 반복한다.

질문

1. 자동차의 질량을 증가시키면 총 에너지가 어떻게 변할까?
2. 자동차의 질량을 증가시키면 아래쪽에 있는 자동차의 속도가 어떻게 변할까?
3. 자동차의 질량이 추가되거나 추가 되지 않았을 때, 어떤 자동차는 더 많은 에너지를 잃을까? 그 이유는?

루프형 실험과정 (Loop Procedure)

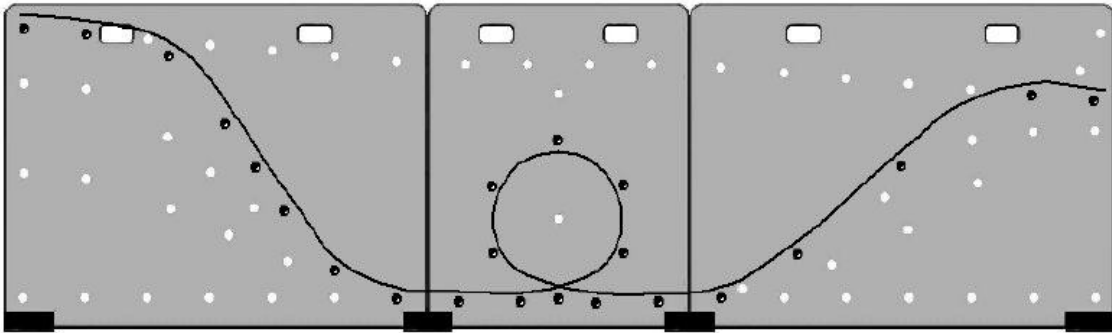


그림 4. 루프의 설치

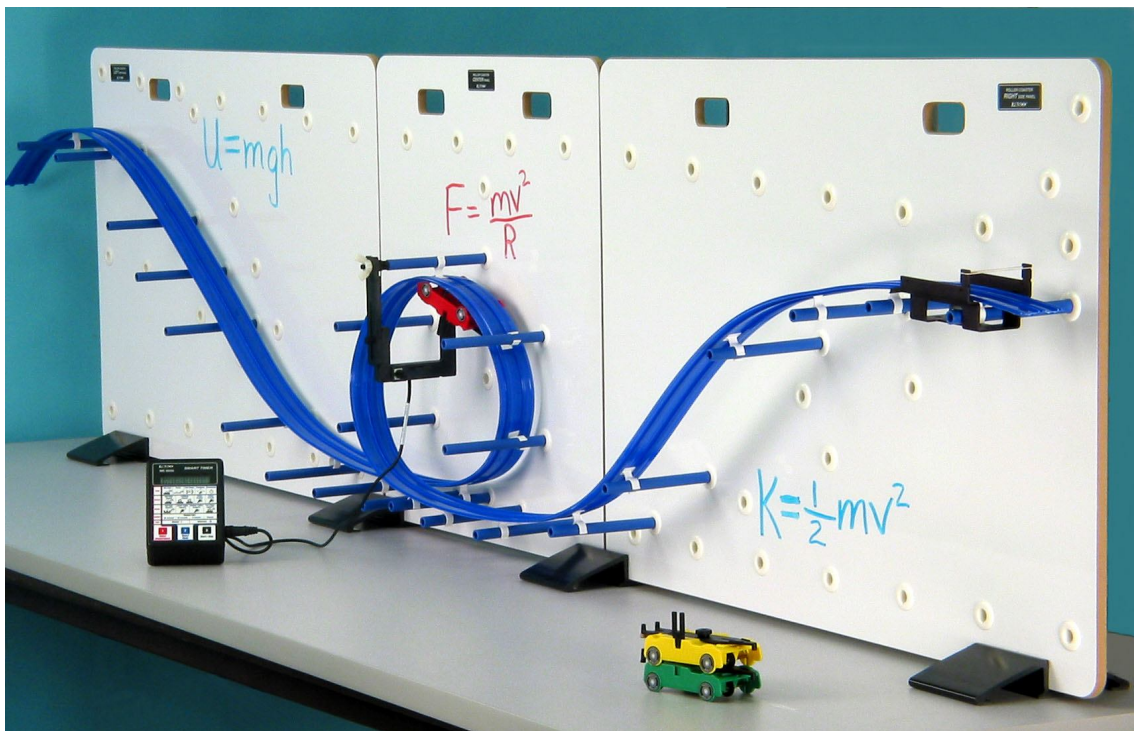


그림 5. 포트게이트의 위치

1. 그림 4와 5에서와 같이 트랙을 배열한다. 루프의 정점에 포토게이트를 장착한다. 또한 트랙의 끝부분에 케쳐(catcher)를 장착하여 자동차가 트랙의 끝부분에서 이탈하지 않도록 해준다.
2. 루프의 중앙에 못을 꽂는다. 미니 자동차를 루프의 정점에 놓는다. 중앙 못의 중심부에서 루프의 정점에 있는 자동차 질량체의 중심부까지의 거리를 측정한다(그림 6 참조).

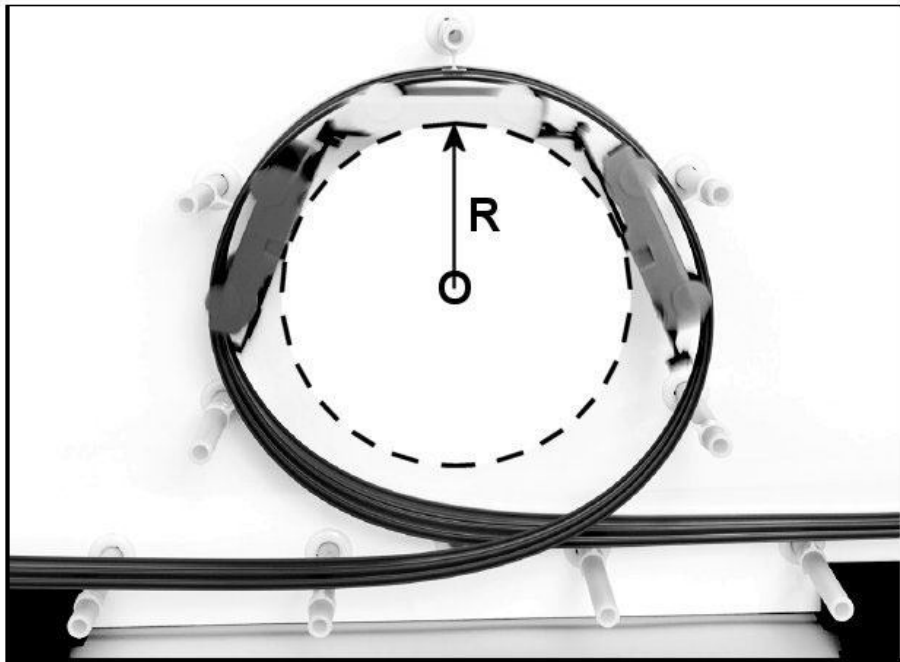


그림 6. 루프의 반지름

3. 루프의 정점에 있는 자동차 질량체의 중심부에서 테이블까지의 거리를 측정한다.
4. 에너지 보존을 이용하여, 자동차가 트랙의 왼쪽 끝에서 출발하여 루프를 완전히 돌 수 있는 최소 높이를 예측한다.
5. 루프에 그렸던 원의 상단으로부터 트랙의 왼쪽 편으로 수평 선을 그린다. 이 선으로부터 측정하여 Part 4 에서 계산된 출발위치를 표시한다.
6. 표시한 예측 위치에 자동차 질량체의 중심부가 오도록 하여 출발시킨다.

질문

1. 자동차는 완전히 돌았는가? 그렇지 않다면, 왜 그럴까? 그렇다면, 제대로 도는가? 아니면 너무 높게 시작했는가?
2. 자동차가 루프를 완전히 도는 출발 지점을 일단 결정하면, 트랙의 오른쪽에 도달하는 가장 높은 위치를 관찰하고 기록한다. 이론상으로, 이 위치는 어디가 될까? Part 5 에서 그린 수평선으로부터 이 위치는 얼마나 높거나 낮은가? 출발지점으로부터 손실된 높이를 이용하여 에너지 손실의 백분율을 계산한다.

$$\% \text{에너지손실율} = \frac{\text{손실높이}}{\text{출발높이}}$$

높은길/낮은길 실험(High Road/Low Road Procedure)

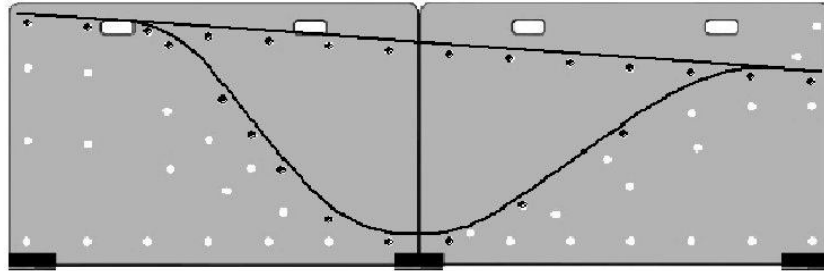


그림 10. 높은길/낮은길의 배치

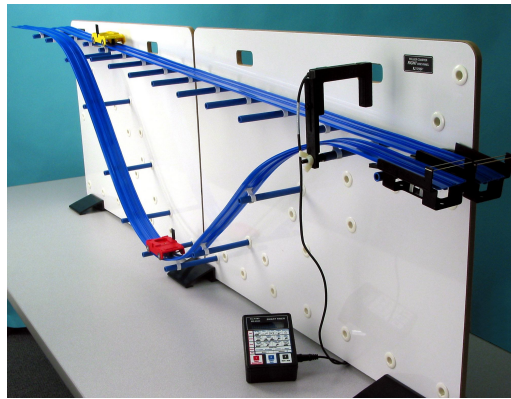


그림 11. 포토게이트 배치

1. 그림 10, 11과 같이 두 개의 트랙을 배열한다. 그림 11과 같이 두 트랙의 끝 부분에 포토게이트를 장착한다. 또한 트랙의 끝부분에 케쳐(catcher)를 장착하여 자동차가 트랙의 끝부분에서 이탈하지 않도록 해준다. 각 자동차들에 서로 가깝게 포토게이트 깃발을 장착하여 두 깃발이 포토게이트를 차단할 것이다.
2. 자동차들이 동시에 각 트랙의 왼쪽 끝에서 출발한다면, 어느 자동차가 오른쪽 끝에 가장 먼저 도달하는지 예측해 본다. 당신의 예측이 맞는지 시험해 본다.
3. 예측: 트랙의 오른쪽 끝에서 어느 자동차의 속도가 더 높을까?
4. 스마트 타이머의 속도를 Collision 모드로 설정한다. 스마트 타이머의 #3 버튼을 눌러서 타이머 작동준비를 한다. 자동차 두 대를 트랙의 왼쪽 끝에 놓고 출발시킨다.
5. 자동차가 포토게이트를 통과한 후에 스마트 타이머의 #3 버튼을 눌러서 계시를 멈춘다. 자동차의 속도가 표시될 것이다.

질문

1. 트랙의 오른쪽 끝에서 어느 자동차의 속도가 더 높을까? 위 결과는 에너지 보존으로 어떻게 설명할 수 있을까?
2. 어느 자동차가 트랙 끝에 가장 먼저 도달할까? 왜 그럴까?