

물리 1 및 실험 보고서

[결과보고서]

이차원 충돌 실험

소속	학번	이름	실험 조
AI 융합학부	20243265	김수현	6
실험날짜	2024.05.02.목요일	제출날짜	2024.05.09.목요일
담당교수	이동재	담당조교	-

1. 실험제목

이차원 충돌(선운동량 보존) 실험

2. 실험목적

두 물체가 충돌할 때 충돌 전후에 (선)운동량이 보존 되는지를 관찰하고 확인한다.

3. 실험이론

(선)운동량은 물체가 갖는 질량과 속도의 곱으로 정의되며, 벡터량이다, $\vec{P} = m\vec{v}$.

운동량의 변화는 물체가 받는 알짜힘과 같다. $\frac{d\vec{P}}{dt} = \frac{d}{dt}(m\vec{v}) = m\frac{d\vec{v}}{dt} = m\vec{a}$

따라서 계가 받는 알짜힘이 0이면 계 내부에서 계의 운동량은 일정하다. 이를 운동량 보존 법칙이라고 한다. 즉, 질점들로 이루어진 물리 계의 운동을 생각해 봤을 때 물리 계의 전체 운동량 $\vec{P}_{total} = \sum_i \vec{P}_i$

은 계를 이루는 질점 각각의 운동량을 모두 벡터 합한 것으로서, 내력의 작용 반작용 법칙이 성립하고 계에 작용하는 외력의 벡터합이 0이면 \vec{P}_{total} 은 시간에 따라 변하지 않고 일정하다.

질점들 사이의 충돌은 충돌 전후의 에너지 보존 여부에 따라 탄성 충돌과 비탄성 충돌로 구분한다. 탄성 충돌은 역학적 에너지가 보존되는 충돌이고, 비탄성 충돌은 역학적 에너지가 보존되지 않는 충돌이다. 특히 충돌 후에 질점들이 뭉쳐서 같이 움직이게 되면 완전 비탄성 충돌이라고 한다.

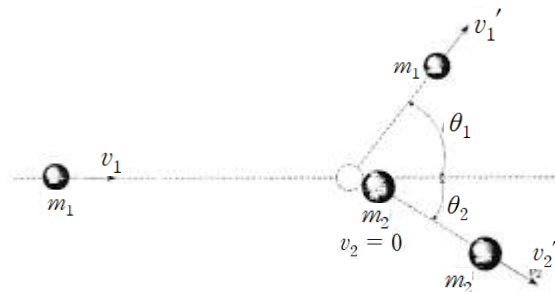


그림 1 이차원 충돌

그림 1의 예시를 통해 운동량 보존법칙과 탄성충돌, 비탄성충돌에 대해 생각해보자. 운동하는 방향으로 작용하는 외력은 없고, 두 질점이 충돌 시에 서로 주고받는 힘은 작용 반작용 법칙을 따른다고 가정하면, 충돌의 전후에 전체 운동량은 보존된다.

즉, 질점 m_1 이 입사하는 방향으로 $m_1v_1 = m_1v_1'\cos\theta_1 + m_2v_2'\cos\theta_2$

그에 수직되는 방향으로 $m_1v_1'\sin\theta_1 - m_2v_2'\sin\theta_2 = 0$

탄성 충돌의 경우에는 충돌 전후에 계의 운동에너지가 보존되므로

$$\frac{1}{2}m_1v_1^2 = \frac{1}{2}m_1v_1'^2 + \frac{1}{2}m_2v_2'^2$$

만약 m_1 과 m_2 가 같다면, $v_1^2 = v_1'^2 + v_2'^2$ 이므로 벡터 \vec{v}_1 , \vec{v}_1' 과 \vec{v}_2' 를 각각의 변으로 하는 삼각형은 직각삼각형이다. 따라서 $\theta_1 + \theta_2 = 90^\circ$.

비탄성 충돌의 경우에는 충돌 후 일반적으로 계의 운동에너지가 줄어든다. 줄어든 에너지는 물체를 변형시키는 데 쓰인다.

4. 관찰 및 결과

(1) 질량이 같은 쇠구슬들의 충돌 실험

- 질량: 입사구의 질량 $m_1 = 0.0359\text{kg}$, 표적구의 질량 $m_2 = 0.0359\text{kg}$
- 충돌 지점에서 바닥까지 수직거리: $H = 0.836\text{m}$

<표 1> 충돌 후 두 공의 위치

횟수	r (단위:m)	r_1 (단위:m)	r_2 (단위:m)	θ_1 (단위:°)	θ_2 (단위:°)
1	0.665	0.407	0.524	50.5	35.0
2	0.667	0.400	0.524	51.0	34.5
3	0.669	0.404	0.519	50.5	35.0
평균값	0.667	0.404	0.522	50.7	34.8

5. 분석 및 토의

(1) 질량이 같은 쇠구슬들의 충돌 실험

- 충돌 후 바닥에 닿을 때까지 걸린 시간(중력가속도 $g \approx 9.81\text{m/s}^2$): $T = \sqrt{\frac{2H}{g}} \approx 0.413\text{s}$

<표 2> 충돌 전후의 운동량의 크기

충돌 전 운동량 (단위: $\text{kg} \cdot \text{m/s}$)		충돌 후 운동량 (단위: $\text{kg} \cdot \text{m/s}$)	
입사구	표적구	입사구	표적구
$p_1 = m_1 \cdot r/T$	$p_2 = 0$	$p_1' = m_1 \cdot r_1/T$	$p_2' = m_2 \cdot r_2/T$
0.0580	0	0.0351	0.0454

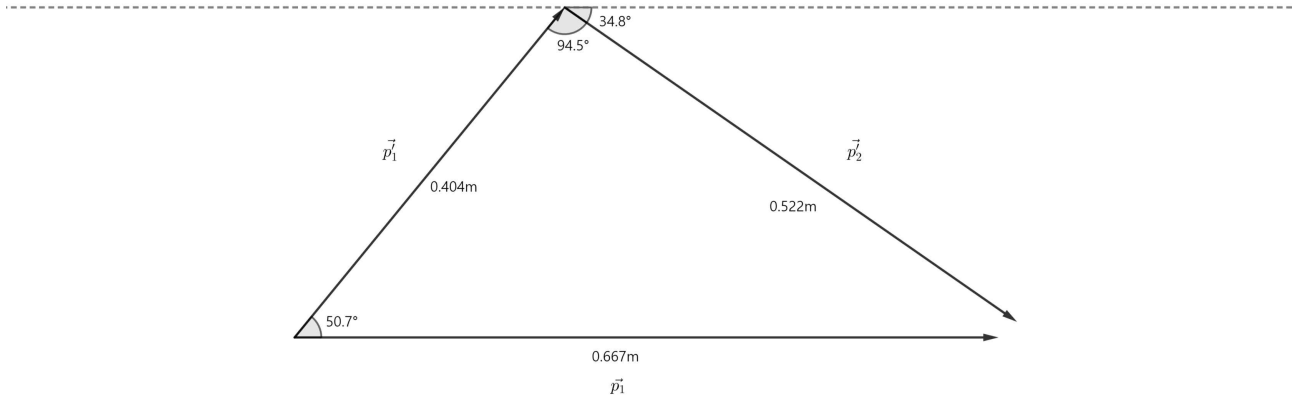
<표 3> 충돌 전후의 전체 운동량 비교

입사 방향의 운동량 성분 (단위: $\text{kg} \cdot \text{m/s}$)			입사 방향에 수직인 운동량 성분 (단위: $\text{kg} \cdot \text{m/s}$)		
충돌 전	충돌 후	충돌 전후의 차이	충돌 전	충돌 후	충돌 전후의 차이
p_1	$p_1' \cos\theta_1 + p_2' \cos\theta_2$		0	$p_1' \sin\theta_1 - p_2' \sin\theta_2$	
0.0580	0.0595	0.0015	0	0.0013	0.0013

<표 4> 충돌 전후의 운동에너지 비교

충돌 전 운동에너지 (단위: J)	충돌 후 운동에너지 (단위: J)	에너지 손실률
$\frac{p_1^2}{2m_1}$	$\frac{p_1'^2}{2m_1} + \frac{p_2'^2}{2m_2}$	
0.0469	0.0459	2.13%

• “운동량 벡터 도형”의 그림 첨부



[질문 1] <표 3>을 이용해 충돌 전과 후의 총 운동량을 계산하고 오차율을 구하라. 오차율이 발생하는 이유는 무엇인가?

$$(\text{총 운동량} = \sqrt{(\text{입사 방향 운동량})^2 + (\text{수직 방향 운동량})^2})$$

충돌 전 운동량: $0.0580 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$

충돌 후 운동량: $0.0574 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$

오차율: 1%

오차율이 발생하는 이유: 측정하는 과정에서 H 값 또는 r 값에 약간의 오차가 발생할 수 있다. 또는 구가 운동하는 과정에서 공기저항을 받아 오차가 발생할 수 있다.

[질문 2] <표 4>에서 충돌 전후 운동에너지의 변화가 있다면, 이유는 무엇인가?

: 두 구가 비탄성 충돌을 했다면 때문에 운동에너지가 보존되지 않고 감소했을 것이다. 또는 탄성충돌을 했더라도 충돌하는 과정에서의 마찰력 때문에 운동에너지가 감소했을 수 있다.

[생각해보기] 같은 질량과 같은 속력을 가진 진흙으로 되어있는 두 개의 공이 서로 정면충돌을 한 다음, 딱 붙어버리고는 정지하였다. 운동 에너지는 분명히 보존되지 않았다. 운동량은 보존되었는가?

: 두 개의 공에 외력이 작용하지 않았으므로 운동량 보존 법칙에 의해 운동량이 보존될 것이다.

6. 결론

약간의 오차가 존재하지만 이를 고려하면 이차원 충돌 실험을 통해 (선)운동량이 보존됨을 확인할 수 있었다. 또한 충돌 전후의 에너지 손실률이 굉장히 적고, $\theta_1 + \theta_2$ 이 90° 에 가깝기 때문에 실험 오차를 고려했을 때 탄성 충돌을 했을 가능성도 존재한다. H 값 또는 r 값을 좀더 정밀하게 측정할 수 있다면 오차를 줄여 (선)운동량이 보존됨과 탄성 충돌을 했음을 확인할 수 있을 것이다.

7. 참고문헌

김창배 외 8명, (2022), 대학물리학실험, 북스힐.

운동량 보존 법칙.(n.d.).서울시립대학교

[https://file.uos.ac.kr/upload/clacds/1-6.%EC%9A%B4%EB%8F%99%EB%9F%89%EB%B3%B4%EC%A1%B4%EB%B2%95%EC%B9%99\(%EC%B5%9C%EC%A2%85\)_upload_final.pdf](https://file.uos.ac.kr/upload/clacds/1-6.%EC%9A%B4%EB%8F%99%EB%9F%89%EB%B3%B4%EC%A1%B4%EB%B2%95%EC%B9%99(%EC%B5%9C%EC%A2%85)_upload_final.pdf)