

등가속도 운동, 마찰력

ㄱ) 목적

수평면에서 수레의 운동이 등가속도 운동이 되는지 관찰한다. 또한 경사면에서의 물체의 운동을 관찰하여 가속도가 일정한 운동이 되는지 검토한다.

이러한 운동 조건에서 마찰력의 효과는 분명하여 뉴턴의 운동방정식이 적용되는지 확인한다.

ㄷ) 원리

수평면에서 운동하는 수레에는 매우 작지만 속도와 반대 방향으로 작용하는 운동 마찰력이 있다.

따라서 운동하는 방향을 x 축으로 정하면

$$-f = ma \text{ 의 운동 방정식이 된다.}$$

수직 항력을 N 이라 하면 마찰력의 크기는

$$f = \mu_s N = \mu_s mg \text{ 의 비교적 작은 값으로 근사적으로 취급된다. 따라서 가속도는}$$

$$a = -\mu_s g \text{ 가 되어 등가속도 운동을 할 것으로 예상된다.}$$

경사면에서 운동하는 물체의 경우에,

<그림 a>와 같이 경사면을 따라 내려오는 물체의 경우에는

$$mg \sin \theta - f = ma_{\text{down}}$$

$$N - mg \cos \theta = 0, f = \mu_s N \text{ 이므로 아래와 같다.}$$

$$a_{\text{down}} = \frac{mg \sin \theta - f}{m} = g(\sin \theta - \mu_s \cos \theta)$$

반면 물체가 경사면을 따라 올라갈 때에는 <그림 b>와 같이

$$mg \sin \theta + f = ma_{\text{up}} \text{ 라 같이 마찰력의 방향이 바뀌어, 가속도는}$$

$$a_{\text{up}} = \frac{mg \sin \theta + f}{m} = g(\sin \theta + \mu_s \cos \theta)$$

가 되고 그 가속도의 크기가 증가한다.

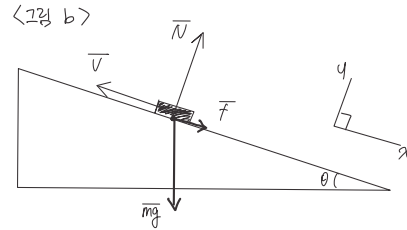
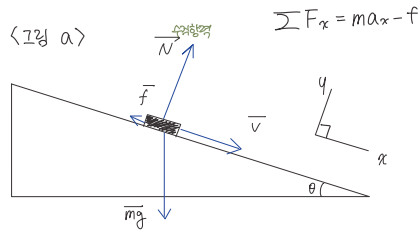
이들 가속도로부터 아래와 같이 마찰계수를 구할 수 있다.

$$a_{\text{up}} - a_{\text{down}} = \frac{2f}{m} = 2\mu_s g \cos \theta \quad \dots \textcircled{1}$$

수평면과 경사면에서 수레의 운동방향을 하향 마찰력으로 인한 속력의 감소를 측정하여 가속도를 계산할 수 있다.

수평으로 있는 트랙에서 탈출하더라도 심계로는 트랙이 약간 기울어져 있는 듯 하기 때문에

마찰력 또는 마찰계수를 구할 때에는 $\theta \approx 0, \cos \theta \approx 1$ 의 조건으로 ① 식을 사용하여 구하는 것이 실용적인 방법이다.



결과보고서

제목 : 구심력

건설시스템 공 학부 1 학년 학번 : 202320449 이름 : 조수빈
 날짜 : 3.20 조 : 1 공동실험자 : 민하영 박세빈

[1] 측정값 및 결과

실험 1 (일정한 구심력, 일정한 m , 반경 변화)

물체의 질량 : $m = 107g$
 추의 질량 : $M = 55g$ $F = Mg = 0.539 \text{ kg} \cdot \text{m/s}^2$

반경(r)	각속도(ω_i) (5회)	평균(ω_{av})	표준편차(σ_ω)	F_r ($mr\omega_{av}^2$)	ΔF ($F_r - F$)	$\frac{\Delta F}{F} \times 100\%$	$\frac{2\sigma_\omega}{\omega} \times 100\%$
13.5 cm	5.82 5.80 5.79 (rad/s)	5.82 (rad/s)	0.0239 (rad/s)	0.489 (N)	-0.05 (N)	-9.27 %	0.82 %
15.3 cm	5.70 5.75 5.74 (rad/s)	5.72 (rad/s)	0.0217 (rad/s)	0.535 (N)	-0.004 (N)	-0.74 %	0.75 %
16.0 cm	5.35 5.34 5.34 (rad/s)	5.36 (rad/s)	0.0305 (rad/s)	0.491 (N)	-0.048 (N)	-8.90 %	1.13 %
17.0 cm	5.06 5.10 5.08 (rad/s)	5.09 (rad/s)	0.0192 (rad/s)	0.471 (N)	-0.068 (N)	-12.61 %	0.75 %
19.0 cm	5.01 5.00 4.99 (rad/s)	5.00 (rad/s)	0.0100 (rad/s)	0.508 (N)	-0.031 (N)	-5.75 %	0.4 %

주의 : 단위 기록

$$N = \text{kg} \cdot \text{m/s}^2$$

$$\text{표준편차} \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n-1}}$$

각각 계산식 & 계산과정은

실험당일날 따로 만 써도 된다고 해서
 안씀니다

실험 2 (일정한 반경, m 일정, 구심력 변화)

반 경 : $r = \underline{\quad 19 \text{ cm} \quad}$
 물체의 질량 : $m = \underline{\quad 107 \text{ g} \quad}$

추의 질량 (M)	$F=Mg$	각속도(ω_i) (5회)	평균(ω_{av})	F_r ($mr\omega^2$)	$\frac{\Delta F}{F_r - F}$	$\frac{\Delta F}{F} \times 100\%$
25.5 g	0.250 (N)	$\frac{3.94}{3.64}$ $\frac{3.64}{3.64}$ (rad/s)	3.61 (rad/s)	0.264 (N)	0.015 (N)	6.02 %
55.1 g	0.540 (N)	$\frac{4.99}{5.03}$ $\frac{5.05}{5.01}$ (rad/s)	5.01 (rad/s)	0.510 (N)	-0.029 (N)	5.38 %

주의 : 단위 기록

[2] 토의

1. 질문에 대한 토의

질문 1. F 와 F_r 중 어느 값을 더 신뢰할 수 있는가?

A: F 가 더 정밀하다.

$F_r = mr\omega^2$ 에서 m 값은 측정할 때 저울로 측정하므로 계기차가 발생하지만 r 은 자로 측정하므로 계기차가 발생한다.

그리고 ω 는 광기학, 마찰등의 무면차가 발생한다.

$F = Mg$ 에서도 M 의 값은 측정할 때 저울로 측정하기 때문에 계기차가 발생하지만 F_r 보다 인차 발생 요인이 더 적으므로 F 가 더 정밀하다.

질문 2. 반경(r)을 바뀌가면서 측정한 상대오차($\frac{\Delta F}{F} \times 100(\%)$)는 반경 r 과 어떤 관계가 있을
 을까?

A: 상대오차는 (실험값 - 설계값)/설계값 $\times 100(\%)$ 이다. 따라서 오차는 실험값에서 발생할 것이다.

실험값 $F_r = mr\omega^2$ 이므로 F_r 에 오차가 발생하는 것은 r 에 오차가 발생하는 것과 관련이 있다.

하지만 전의 r 값을 측정했지만 윤반경에 의해 밖으로 밀려나 오차가 생길 수 있다.

또한 r 을 계속 변경하면서 실험을 하기 때문에 r 의 값을 인위적으로 바꿔주는 동안

계기차가 발생할 수 있다. 이 오차가 인차의 전파로 인해 상대오차로 오차가 전해진 것이다.

질문 3. r , ω 측정의 개별 값에 대한 상대오차는 각각 몇 %나 되는가? F_r 의 오차에 가장 크게 기여하는 변수는 무엇일까?

A: 실험 1에서의 상대오차는 2.31%, 2.67%, 2.98%, 3.33%, 3.80%이다.

실험 2에서의 상대오차는 각각

$F_r = mr\omega^2$ 이므로 1차항인 r 과 m 보다 2차항인 ω 가 F_r 의 오차에 미치는 영향이 크다.

또한 회전하는 장치에서 타이밍 맞추어 포토게이트의 버튼을 누르는 게 어렵으므로

버튼을 누르는 타이밍에 따라 오차에 차이가 생기기 마련이다.

질문 4. $2\sigma_\omega/\omega$ 와 $\Delta F/F$ 의 경향은 비슷한가? 비슷하다면 그 이유는 무엇인가?

2. 실험과정 및 결과에 대한 토의

이번 실험은 물체가 원운동 할 때 물체에 작용하는 구심력을 측정하는 실험이다. 실험 1에서는 반경 r 값을 바꿔가며 그에 따른 각속도와 구심력을 측정했고 실험 2에서는 추의 질량 M 을 변화시켜 그에 따른 각속도와 구심력을 구했다.

실험 1의 데이터를 살펴보자. m 값은 일정하게 유지하고 r 값의 크기만 증가하므로 각속도 값이 감소하는 것을 볼 수 있다. 공식 $F = mrw^2$ 에서 r 과 w 는 곱해지는 관계이기 때문에 반경의 값이 증가할수록 각속도 값은 감소한다. 단, 이러한 관계가 성립하려면 구심력이 일정하다는 조건 아래여야 한다. 그렇지만 직접 측정한 반경과 각속도의 평균 값으로부터 구한 구심력은 일정하지 않았다. 왜냐하면 반경이 짧아질수록 각속도가 증가하면 회전 속도가 빨라지게 되므로 그 만큼의 공기저항도 증가할 것이고, 파란색 플라스틱이 실험기구와 수평을 이룰 때 각속도를 측정해야 하는데 사람이 직접 측정하므로 각속도에 오차가 발생하였기 때문이다. 또한 구심력의 성분이 일직선이 아닌 평면 상태로 바뀌었기 때문에 오차가 발생하였을 것이다. 구심력을 측정할 때 무게를 x 축에만 걸어야 오차가 생기지 않는다. 그렇지만 물체가 회전하면서 y 축 양의 방향으로 위치가 조금 이동하게 되고 때문에 구심력의 성분이 x 축과 y 축으로 분산되어 오차가 발생하였을 것이다. 결과적으로 구심력은 반지름과 각속도에 비례하기 때문에 반지름의 크기가 커질수록 각속도가 작아지는 것을 알 수 있고 반지름이 작아질수록 오차가 커지는 것을 알 수 있다.

실험 2는 추의 질량을 변화시키는 것인데 이는 결과적으로 구심력의 변화를 야기한다. $F = Mg$ 에서 M 의 값을 증가시켰고 g 는 일정하므로 구심력은 증가하게 된다. $F = mrw^2$ 에서는 m 과 r 의 값을 일정하게 유지시키고 w 의 값을 측정했다. $Mg = mrw^2$ 이므로 좌변의 추의 질량 값이 증가함에 따라 우변의 각속도 값이 증가하였다. 이 실험에서 발생한 오차는 추의 무게를 측정할 때의 계기오차와 물체의 질량을 측정할 때의 계기오차, r 값의 계기오차가 존재한다. 또한 두 실험 모두에서 실험기구의 수평 조절의 문제가 있었기 때문에 오차가 발생하였을 것이다.

실험 1에서 여러 오차 요인들로 인해 상대 오차가 최고 12.61% 계산되었다. 아쉬운 결과이지만 이론적으로 공식에 사용된 비례 관계들을 학습할 수 있어 유익한 실험 시간이었다.

<참고문헌>

제 12판 물리학실험 아주대 출판부 p.29~31

대학 물리학 Raymond A.Serwy, John W.Jewatt. 2017