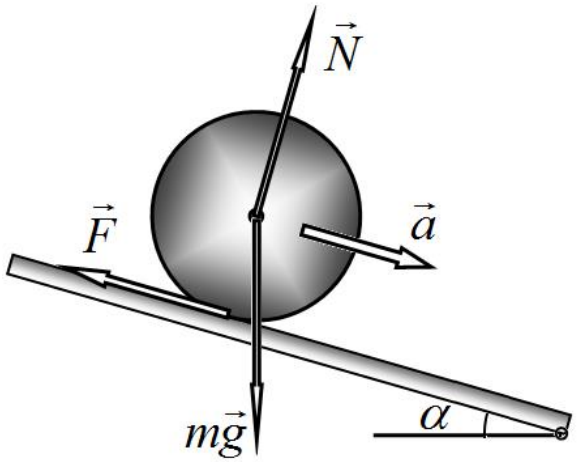
풀이
건조 마찰
실험 1: 미끄럼 마찰
이론 부분

1.1 원기둥 축의 가속도에 대한 식은 여러 방법으로 얻을 수 있지만, 모두 뉴턴 제2법칙을 바탕으로 한다. 원기둥이 기울어진 판을 따라 굴러 내려갈 때 원기둥에는 다음 힘이 작용한다. $m\vec{g}$ – 지구의 중력, $\vec{N}$ – 수직 항력, $\vec{F}$ – 마찰력.



A) 이 경우 마찰력은 일을 하지 않으므로, 역학적 에너지 보존 법칙의 식을 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$\frac{3}{4}mR^2V_c^2 = mgS\sin\alpha, \quad (1)$$

이 식은 원기둥이 자기 축 둘레로 회전하는 에너지를 고려한 것이다.

가속도를 구하기 위하여 이 식을 시간에 대해 미분하면 다음을 얻는다.

$$\frac{3}{4}mR^2 \cdot 2V_C a = mg\sin\alpha \cdot V_C. \quad (2)$$

여기서 $V_C = \frac{dS}{dt}$는 원기둥 축의 속력이고, $a = \frac{dV_C}{dt}$는 축의 가속도이다.

식 (2)로부터, 미끄러지지 않고 구를 때 원기둥 축의 가속도는 다음 식으로 나타난다.

$$a_1 = \frac{2}{3}g\sin\alpha. \quad (3)$$

이 식은 원기둥의 회전 운동 방정식을 써서 유도할 수도 있다.

B) 원기둥이 내려가는 동안 미끄러지면, 마찰력은 다음 식으로 정해진다.

$$F = \mu_s N = \mu_s mg\cos\alpha, \quad (4)$$

그러면 빗면에 투영한 뉴턴 제2법칙의 식은 다음 꼴이다.

$$ma = mg\sin\alpha - \mu_s mg\cos\alpha, \quad (5)$$

이 식으로부터 이 경우 원기둥의 가속도는 다음과 같다.

$$a_2 = g(\sin\alpha - \mu_s\cos\alpha), \quad (6)$$

1.2 미끄러지지 않는 운동은 판의 경사각이 어떤 임계값 α_{cr}보다 작을 때 일어난다는 것은 분명하며, 이 값은 여러 방법으로 구할 수 있다. 예를 들어 식 (3)과 (6)이 나타내는 가속도를 같게 놓아 구할 수 있다.

임계각을 얻는 다른 방법을 소개한다. 뉴턴 법칙의 식 (2)로부터 다음을 얻는다.

$$ma = mg\sin\alpha - F.$$

구한 가속도를 고려하여 정지 마찰력의 크기를 다음과 같이 나타내자.

$$F = mg\sin\alpha - ma = \frac{1}{3}mg\sin\alpha$$

그리고 이 힘이 미끄럼 마찰력을 넘지 않는다고 가정한다.

$$F < \mu_s N = \mu_s mg\cos\alpha\,.$$

마지막 부등식으로부터 다음을 얻는다.

$$\frac{1}{3}mg\sin\alpha < \mu_s mg\cos\alpha \quad \Rightarrow \quad tg\,\alpha < 3\mu_s\,. \tag{7}$$

따라서 임계각의 값은 다음 식으로 정해진다.

$$\alpha_{cr} = arctg\left(3\mu_s\right). \tag{8}$$

측정 자료 처리

1.3 문제에 주어진 측정 결과로 가속도를 계산하기 위하여, 공이 지나간 거리에 대한 식을 쓴다.

$$\begin{cases} S_1 = V_0 t_1 + \dfrac{a t_1^2}{2} \\ S_2 = V_0 t_2 + \dfrac{a t_2^2}{2} \end{cases} \quad \Rightarrow \quad \frac{S_2}{t_2} - \frac{S_1}{t_1} = \frac{a}{2}\left(t_2 - t_1\right). \tag{9}$$

그러면 가속도를 계산하는 식은 다음과 같다.

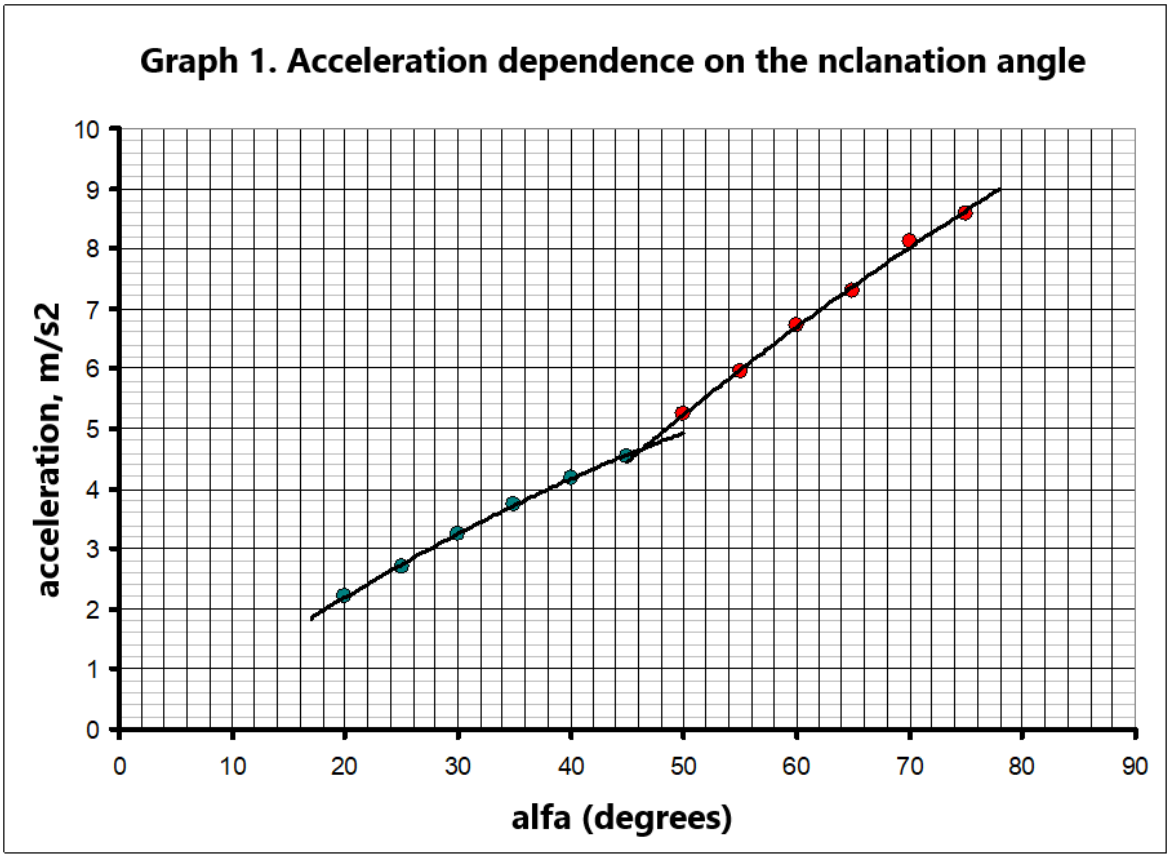
$$a = \frac{2\left(\dfrac{S_2}{t_2} - \dfrac{S_1}{t_1}\right)}{t_2 - t_1}. \tag{10}$$

식 (10)으로 가속도를 계산한 결과를 표 1에 나타내었다.

표 1. 가속도의 계산.

$\alpha°$	t_1, s	t_2, s	$a, \frac{m}{s^2}$
20	0.4546	0.7187	2.208
25	0.3936	0.6290	2.715
30	0.3462	0.5589	3.244
35	0.3229	0.5211	3.739
40	0.3358	0.5283	4.196
45	0.3084	0.4911	4.543
50	0.2682	0.4347	5.239
55	0.2816	0.4432	5.950
60	0.2600	0.4113	6.718
65	0.2461	0.3908	7.286
70	0.2308	0.3675	8.116
75	0.2218	0.3542	8.595

이 자료를 바탕으로 판의 경사각에 따른 가속도의 그래프 1을 그린다.



그래프를 보면 그래프가 서로 다른 두 갈래로 이루어져 있음을 똑똑히 알 수 있다. 작은 각에서는 운동이 미끄러짐 없이 일어나고(가속도는 식 (3)으로 나타남), 큰 각에서는 원기둥이 미끄러지므로 가속도는 식 (6)으로 나타난다. 이 두 그래프의 교점의 가로 좌표가 임계각이며, 그 값은 대략 다음과 같다.

$$\alpha_{cr} \approx 46^\circ .$$

참고: 원리적으로는 자유 낙하 가속도를 주지 않아도 되며, 작은 각에서의 가속도의 거동으로부터 이를 구할 수 있다. 그러나 이 문제에서는 그것을 요구하지 않는다.

얻은 관계는 대략 같은 결과를 주는 두 가지 방법으로 선형화할 수 있다. 이 방법들을 자세히 살펴보자.

풀이 1

1.4 변수 Y로 다음 조합을 택하면

$$Y = \frac{a}{g\cos\alpha}, \tag{11}$$

가속도에 대한 식으로부터 다음이 나온다.

$$\begin{cases} a_1 = \dfrac{2}{3} g\sin\alpha \\ a_2 = g\left(\sin\alpha - \mu_s \cos\alpha\right) \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} \dfrac{a_1}{g\cos\alpha} = \dfrac{2}{3} tg\ \alpha \\ \dfrac{a_2}{g\cos\alpha} = tg\ \alpha - \mu_s \end{cases},$$

곧 새 변수 Y는 $X = \mathrm{tg}\,\alpha$의 일차 함수이며, 다음과 같다.

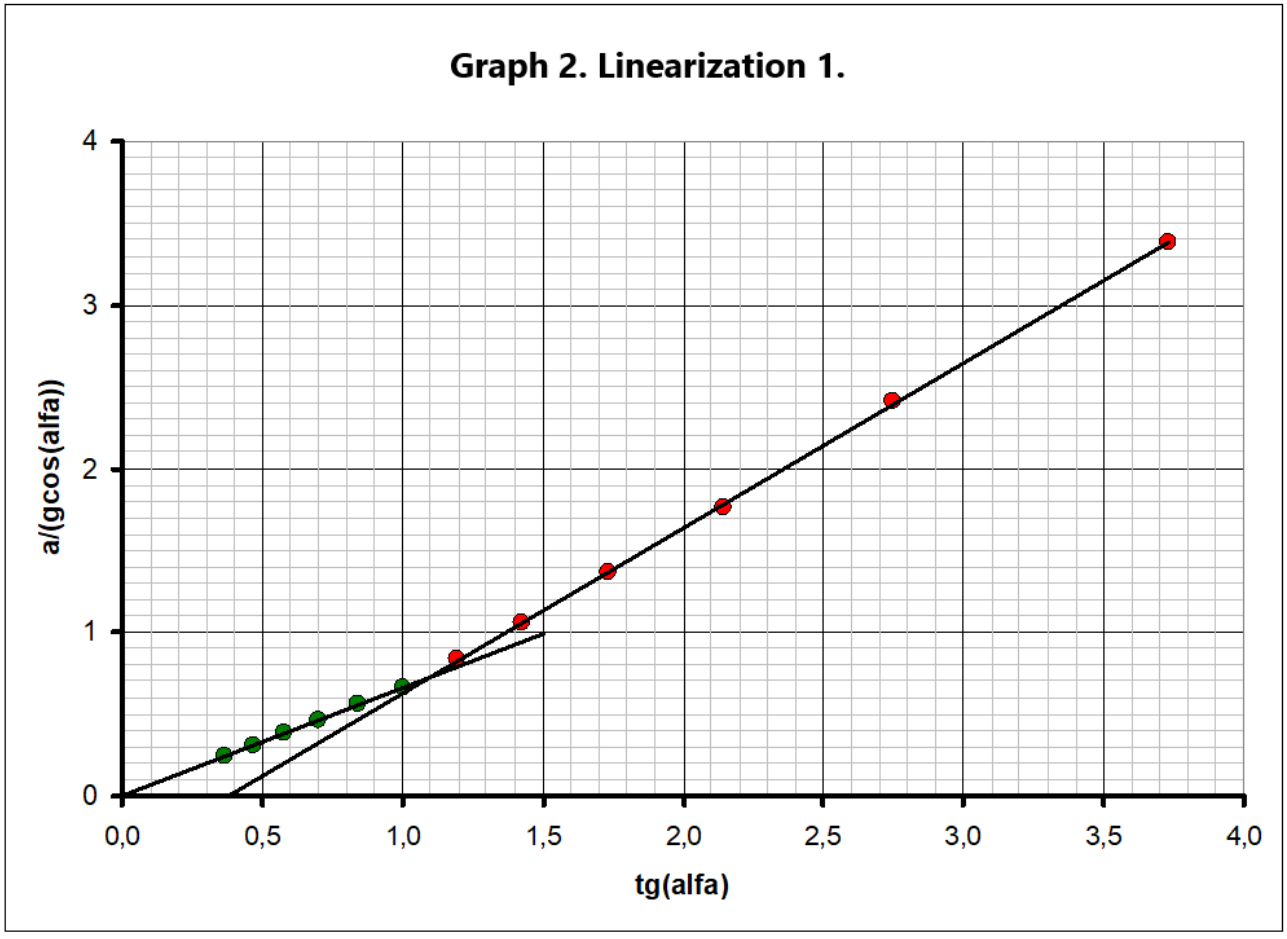
$$\begin{cases} Y = \dfrac{2}{3} X, & \alpha < \alpha_{cr} \\ Y = X - \mu_s, & \alpha > \alpha_{cr} \end{cases}. \tag{12}$$

선택한 변수의 계산값을 표 2에 나타내었다. 표에서 강조한 값은 미끄러지지 않는 운동에 해당한다.

표 2. 선형화 1.

$\alpha°$	$a, \frac{m}{s^2}$	$X = tg\,\alpha$	$Y = \frac{a}{g\cos\alpha}$
20	2.208	0.3640	0.2395
25	2.715	0.4663	0.3053
30	3.244	0.5774	0.3818
35	3.739	0.7002	0.4653
40	4.196	0.8391	0.5584
45	4.543	1.0000	0.6549
50	5.239	1.1918	0.8308
55	5.950	1.4281	1.0574
60	6.718	1.7321	1.3697
65	7.286	2.1445	1.7575
70	8.116	2.7475	2.4188
75	8.595	3.7321	3.3851

그래프 2는 선형화한 관계를 나타낸다.



1.5 실제로 두 관계 모두 선형이 된다. 이 관계를 다음 꼴로 나타낸다.

$$Y = cX + b\,. \qquad (13)$$

최소제곱법으로 이 관계의 계수를 계산하면 다음 결과를 얻는다.

미끄러짐 없이

움직일 때: $c_1 = 0.659 \pm 0.008$

$b_1 = 0.0004 \pm 0.005$’

미끄러질 때: $c_2 = 1.011 \pm 0.009$
$b_2 = -0.38 \pm 0.02$.

식 (12)로부터 미끄럼 마찰 계수는 다음과 같다.

$$\mu_s = -b_2 = 0.38 \pm 0.02 . \qquad (14)$$

계산한 우연 오차(약 10%)는 센서 사이의 거리와 운동 시간을 직접 측정할 때의 상대 오차보다 훨씬 크다는 데 유의하여라. 따라서 직접 측정의 오차는 무시할 수 있다.

1.6 임계각의 값은 위의 두 선형 관계를 같게 놓아 구할 수 있다.

$$\frac{2}{3}X = X - \mu_s \quad \Rightarrow \quad X_{cr} = tg\,\alpha_{cr} = 3\mu_s , \qquad (15)$$

또는

$$\alpha_{cr} = arctg\left(3\mu_s\right) = 0.855 = 49°$$

이 값의 오차는 다음과 같다.

$$\Delta a_{cr} = \frac{3\Delta\mu_S}{\left(3\mu_S\right)^2 + 1} = 0.03 ,$$

그리고 마지막으로 다음을 얻는다.

$$\alpha_{cr} = 0.86 \pm 0.03 = 49° \pm 2° . \qquad (16)$$

풀이 2

1.4 변수 Y로 다음 조합을 택하면

$$Y = \frac{a}{g\sin\alpha}, \qquad (17)$$

가속도에 대한 식으로부터 다음이 나온다.

$$\begin{cases} a_1 = \frac{2}{3} g\sin\alpha \\ a_2 = g\left(\sin\alpha - \mu_s\cos\alpha\right) \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} \frac{a_1}{g\sin\alpha} = \frac{2}{3} \\ \frac{a_2}{g\sin\alpha} = 1 - \mu_s ctg\,\alpha \end{cases},$$

곧 새 변수 Y는 $X = \mathrm{ctg}\,\alpha$의 일차 함수이며, 다음과 같다.

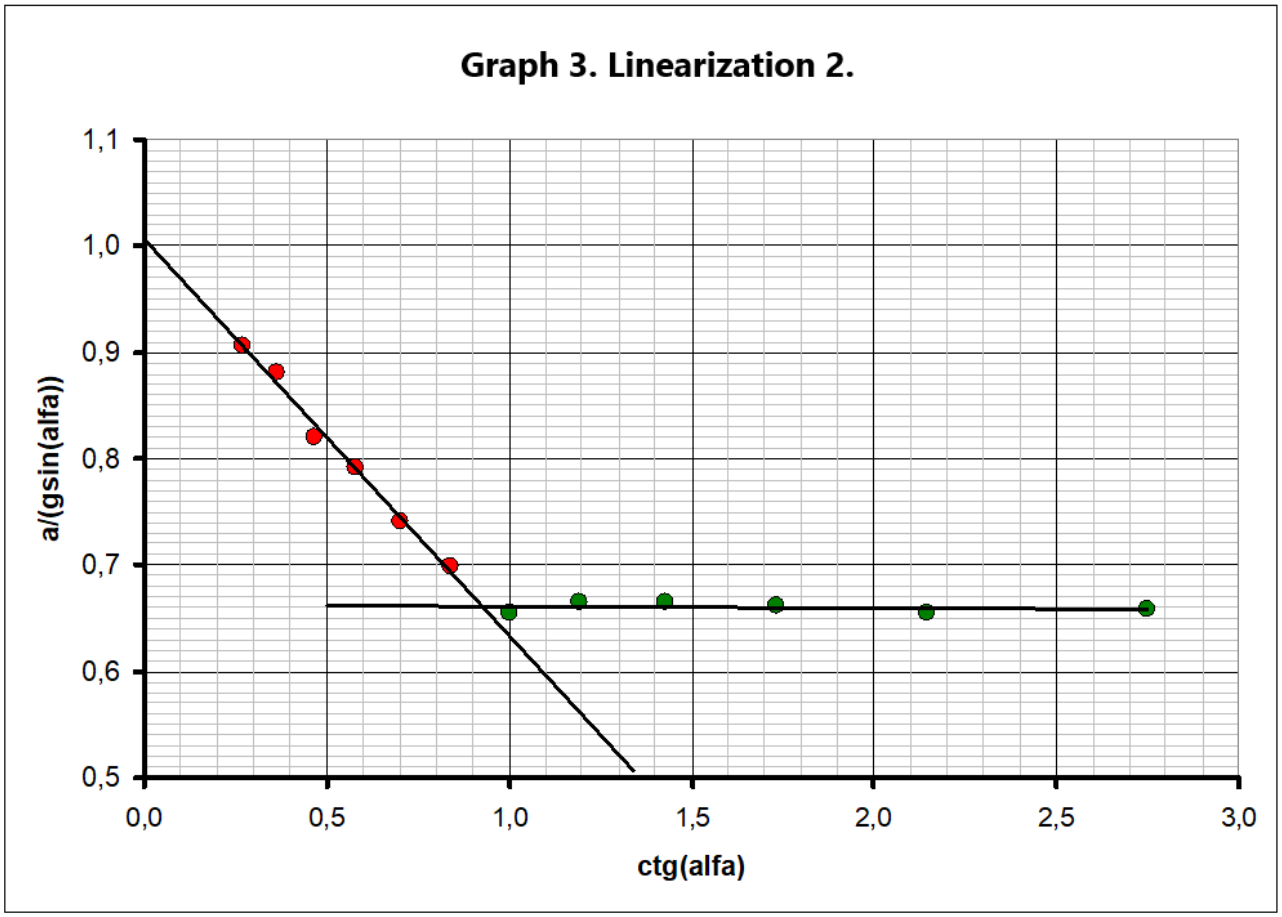
$$\begin{cases} Y = \frac{2}{3}, \quad \alpha < \alpha_{cr} \\ Y = 1 - \mu_s X, \quad \alpha > \alpha_{cr} \end{cases} . \qquad (18)$$

선택한 변수의 계산값을 표 3에 나타내었다. 표에서 강조한 값은 미끄러지지 않는 운동에 해당한다.

표 3. 선형화 2.

$\alpha°$	$a, \frac{m}{s^2}$	$X = ctg\,\alpha$	$Y = \frac{a}{g\sin\alpha}$
20	2.208	2.7475	0.6580
25	2.715	2.1445	0.6548
30	3.244	1.7321	0.6613
35	3.739	1.4281	0.6645
40	4.196	1.1918	0.6655
45	4.543	1.0000	0.6549
50	5.239	0.8391	0.6972
55	5.950	0.7002	0.7404
60	6.718	0.5774	0.7908
65	7.286	0.4663	0.8195
70	8.116	0.3640	0.8804
75	8.595	0.2679	0.9070

그래프 3은 선형화한 관계를 나타낸다.



1.5 실제로 두 관계 모두 선형이 된다. 이 관계를 다음 꼴로 나타낸다.

$$Y = cX + b. \qquad (19)$$

최소제곱법으로 이 관계의 계수를 계산하면 다음 결과를 얻는다.

미끄러짐 없이

움직일 때: $c_1 = -0.002 \pm 0.003$, $b_1 = 0.663 \pm 0.006$,

미끄러질 때: $c_2 = -0.38 \pm 0.02$, $b_2 = 1.01 \pm 0.01$.

식 (18)로부터 미끄럼 마찰 계수는 다음과 같다.

$$\mu_s = -c_2 = 0.38 \pm 0.02. \qquad (20)$$

이 경우에도 직접 측정의 오차는 무시할 수 있다.

1.6 임계각도 같은 방법으로 계산하면 다음을 얻는다.

$$\alpha_{cr} = arctg\left(3\mu_s\right) = 0.84 = 48°$$

이 값의 오차는 다음과 같다.

$$\Delta a_{cr} = \frac{3\Delta\mu_S}{\left(3\mu_S\right)^2 + 1} = 0.02,$$

그리고 마지막으로 다음을 얻는다.

$$\alpha_{cr} = 0,84 \pm 0,01 = 48° \pm 1°. \qquad (21)$$

실험 2: 구름 마찰

이론 부분

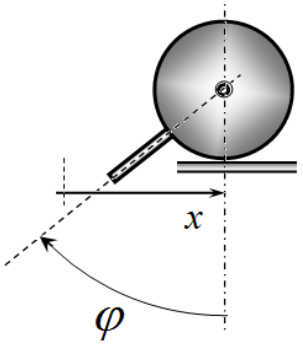
2.1 원기둥의 축이 거리 x만큼 움직이면 막대의 축은 다음 각만큼 기운다.

$$\varphi = \frac{x}{R}. \tag{22}$$

작은 진동의 주기를 계산하기 위하여 에너지 보존 법칙의 식을 쓴다.

$$\frac{3}{4}MV^2 + mgl(1-\cos\varphi) = mgl(1-\cos\varphi_0). \tag{23}$$

막대의 질량이 작으므로, 아래에서는 막대가 움직이는 운동 에너지를 무시한다.



한편 무거운 원기둥의 퍼텐셜 에너지는 일정하므로, 계의 퍼텐셜 에너지 변화는 막대의 퍼텐셜 에너지 변화와 같다. 작은 진동에서는 작은 각의 코사인에 대한 근사식 $\cos\varphi \approx 1 - \frac{\varphi^2}{2}$을 써야 하며, 그러면 식 (23)은 다음과 같이 간단해진다.

$$\frac{3}{4}MV^2 + mgl\frac{\varphi^2}{2} = mgl\frac{\varphi_0^2}{2}.$$

식 (22)를 이용하면 다음 식을 얻는다.

$$\frac{3}{4}MV^2 + \frac{mgl}{R^2}\frac{x^2}{2} = \frac{mgl}{R^2}\frac{x_0^2}{2}, \tag{24}$$

이것은 다음 주기를 갖는 조화 진동의 식이다.

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{3MR^2}{2mgl}}. \tag{25}$$

2.2 멈춘 점에서는 막대가 붙은 원기둥의 운동 에너지가 0이므로, 한 멈춘 점에서 다음 멈춘 점으로 갈 때의 퍼텐셜 에너지 변화는 마찰력이 한 일과 같다. 따라서 다음 관계가 성립한다.

$$mgl(1-\cos\varphi_k) = mgl(1-\cos\varphi_{k-1}) - \mu_r Mg|x_k - x_{k-1}|. \tag{26}$$

식 (22)의 회전각과 원기둥 변위 사이의 관계를 적용하면 구하는 관계를 얻는다.

$$\left(1-\cos\frac{x_k}{R}\right) = \left(1-\cos\frac{x_{k-1}}{R}\right) - \mu_r\frac{M}{ml}|x_k - x_{k-1}|. \tag{27}$$

2.3 처음 위치에서 k번째 멈춘 점까지의 모든 운동 구간에 대하여 (27)과 같은 관계를 더하면 결국 다음을 얻는다.

$$\left(1-\cos\frac{x_k}{R}\right) = \left(1-\cos\frac{x_0}{R}\right) - \mu_r\frac{M}{ml}S_k, \tag{28}$$

여기서 S_k는 원기둥이 k번째 멈춘 점까지 지나간 경로이다.

$$S_k = |x_0 - x_1| + |x_2 - x_1| + \ldots + |x_k - x_{k-1}| = \sum_{j=1}^{k}|x_j - x_{j-1}|. \tag{29}$$

처음 위치에서 막대는 연직 방향이다. 곧 $\varphi_0 = \pi$이므로 $x_0 = \pi R$이고, 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$R = \frac{x_0}{\pi}. \tag{30}$$

진동 주기의 식으로부터 다음과 같이 나타낼 수도 있다.

$$\frac{M}{ml} = \frac{T^2}{4\pi^2}\frac{2g}{3R^2} = \frac{T^2 g}{6\pi^2 R^2} = \frac{T^2 g}{6x_0^2}.$$

이 값들을 식 (28)에 대입하면 다음을 얻는다.

$$1-\cos\left(\pi\frac{x_k}{x_0}\right)=2-\mu_r\frac{T^2g}{6x_0^2}S_k\,. \tag{31}$$

따라서 값 $Y_k=1-\cos\left(\pi\frac{x_k}{x_0}\right)$는 경로 S_k에 선형으로 의존한다. 이 관계의 기울기 계수에는 구하려는 구름 마찰 계수와 다른 알려진 값들이 들어 있다. 물론 식 (31)의 1은 생략할 수 있다. 그러나 값 Y는 상수 인자를 빼면 퍼텐셜 에너지와 같으므로, 받아들인 정의에서는 관계 $Y(S)$가 더 바람직하다.

측정 자료 처리

2.4 진동 주기는 통상의 방법으로 계산한다.
다섯 번 진동하는 시간의 평균값을 계산한다: $\langle t_5\rangle=7.354\,s$;

이 값의 우연 오차도 계산한다: $\Delta t_5=2\sqrt{\frac{\sum_i\left(t_i-\langle t\rangle\right)^2}{n(n-1)}}=0.11\,s$.

그러면 진동 주기는 다음과 같다.

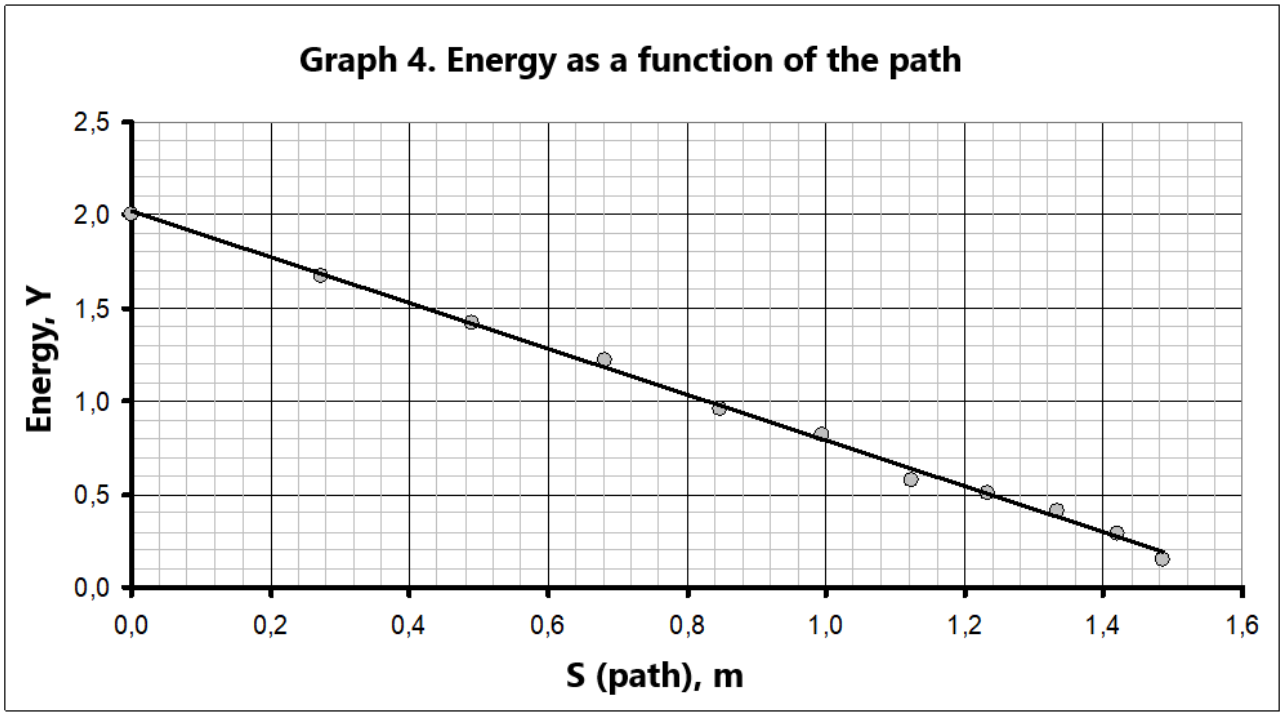
$$T=(1.47\pm0.02)\,s\,. \tag{32}$$

2.5 식 (31)에 나오는 양들을 계산한 결과를 표 4에 나타내었다.

표 4. 선형화.

k	x_k, cm	$\Delta S_k=\lvert x_k-x_{k-1}\rvert$, m	S_k, m	$Y_k=1-\cos\left(\pi\frac{x_k}{x_0}\right)$
0	15.8		0	2.000
1	-11.6	0.274	0.274	1.671
2	10.1	0.217	0.491	1.424
3	-9.0	0.191	0.682	1.217
4	7.7	0.167	0.849	0.960
5	-7.0	0.147	0.996	0.822
6	5.7	0.127	1.123	0.576
7	-5.3	0.110	1.233	0.506
8	4.7	0.100	1.333	0.406
9	-3.9	0.086	1.419	0.286
10	2.8	0.067	1.486	0.151

관계 $Y(S)$를 다음 그림에 나타내었다.



2.6 얻은 관계는 선형이며, 이는 사용한 이론 모형이 옳다는 것을 확인해 준다. 최소제곱법으로 계산한 이 그래프의 기울기 계수는 다음과 같다.

$$C = (1.23 \pm 0.02)\, m^{-1}.$$

이 계수에 대한 이론식을 이용하면 구름 마찰 계수의 값을 나타낼 수 있다.

$$C = \mu_r \frac{T^2 g}{6x_0^2} \quad \Rightarrow \quad \mu_r = C\frac{6x_0^2}{T^2 g} = 8.69 \cdot 10^{-3}. \tag{33}$$

이 값의 오차를 계산하기 위하여 간접 측정의 오차에 대한 식을 이용한다.

$$\Delta\mu_r = \mu_r \sqrt{\left(\frac{\Delta C}{\langle C\rangle}\right)^2 + \left(2\frac{\Delta T}{\langle T\rangle}\right)^2 + \left(2\frac{\Delta x_0}{\langle x_0\rangle}\right)^2} =$$
$$= 8.69 \cdot 10^{-3} \sqrt{\left(\frac{0.02}{1.23}\right)^2 + \left(2\frac{0.02}{1.47}\right)^2 + \left(2\frac{0.2}{15.8}\right)^2} = 3.8 \cdot 10^{-4} \tag{34}$$

최종 결과는 다음과 같이 쓴다.

$$\mu_r = (8.7 \pm 0.4) \cdot 10^{-3}. \tag{35}$$

부분	내용	점수	합계
실험 1: 미끄럼 마찰			**10.0**
이론 부분			**1.5**
1.1	미끄러지지 않는 운동:		**1.0**
	운동 방정식;	0.2	
	식 (3);	0.3	
	미끄러지는 운동:		
	운동 방정식;	0.2	
	식 (6);	0.3	
1.2	임계각의 값:		**0.5**
	미끄러지기 시작하는 조건: 정지 마찰력의 경곗값; 가속도 (3)과 (6)이 같음;	0.2	

	임계각과 마찰 계수 사이의 관계: 식 (7) 또는 (8);	0.3	
측정 자료 처리			**8.5**
1.3	가속도의 계산:		**2.5**
	가속도에 대한 식 (10);	0.2	
	모든 가속도를 계산했다(가속도 계산 식에 점수를 받았을 때만 채점한다); 점마다 0.1, 가속도 계산의 허용 오차는 ±0.01;	1.2	
	그래프 그리기(가속도 계산 결과에 점수를 받았을 때만 채점한다):		
	축의 이름과 눈금을 적었다;	0.1	
	모든 점을 그렸다;	0.1	
	매끄러운 곡선 두 개를 그렸다;	0.2	
	두 관계를 얻었다: 그래프에서 서로 교차하는 서로 다른 곡선 두 개가 보인다;	0.3	
	임계각의 값;		
	구하는 방법: 두 곡선의 교점;	0.2	
	수치: 허용 오차 ±1°;	0.2	
1.4	관계의 선형화:		**2.8**
	새 변수: 적절한 것: $\left(\frac{a}{\sin\alpha}, ctg\alpha\right), \left(\frac{a}{\cos\alpha}, tg\alpha\right),$ 및 이와 동등하여 선형 관계로 이어지는 것;	1.0	
	수치 계산: 새 변수 X, Y의 선택에 점수를 받았을 때만 채점한다; 올바르게 계산한 점마다 0.1, 허용 오차 ±0.02;	1.2	
	그래프 그리기(변수 X, Y의 계산 결과에 점수를 받았을 때만 채점한다):		
	축의 이름과 눈금을 적었다;	0.1	
	모든 점을 그렸다;	0.1	
	두 직선이 보인다;	0.2	
	두 직선을 그렸다;	0.2	
1.5	미끄럼 마찰 계수의 계산:		**1.9**
	선형 관계의 계수를 계산했다: 계수마다 0.2(모든 점에 대해 그래프로, 최소제곱법); 두 점으로 구하면 0.1; 이론값을 쓰면 점수를 주지 않는다;	0.8	
	선형 관계의 계수를 통한 마찰 계수의 식;	0.2	
	미끄럼 마찰 계수의 수치: 마찰 계수의 식에 점수를 받았을 때만 채점한다, 허용 오차 ±0.05;	0.4	
	오차의 식: 선형 관계의 계수만을 통해;	0.2	
	오차의 수치: 식에 점수를 받았을 때만 채점한다;	0.2	
	올바른 반올림;	0.1	
1.6	임계각의 값:		**1.3**
	계산 방법: 두 직선의 교점을 해석적으로 계산; 계수의 이론 수치를 써도 된다;	0.5	

	임계각의 수치: 구하는 방법에 점수를 받았을 때만 채점한다;	0.2	
	오차의 식: 직선 계수의 오차를 통해;	0.3	
	오차의 수치: 식에 점수를 받았을 때만 채점한다;	0.2	
	올바른 반올림;	0.1	
실험 2: 구름 마찰			**10.0**
이론 부분			**2.5**
2.1	작은 진동의 주기에 대한 식의 유도:		**0.5**
	처음 식: 동역학 방법 또는 에너지 방법;	0.2	
	작은 진동 근사;	0.1	
	주기에 대한 식 (25): 수치 인자가 틀리면 (-0.1);	0.2	
2.2	점화 관계:		**1.0**
	에너지 보존 법칙의 이용;	0.3	
	흔들림 각으로 나타낸 퍼텐셜 에너지의 식;	0.2	
	각과 좌표 사이의 관계;	0.1	
	점화 관계의 최종 꼴: 식 (27) 또는 그와 동등한 식;	0.4	
2.3	멈춘 점의 좌표에 대한 식:		**1.0**
	지나간 경로를 통한 에너지 변화의 식;	0.2	
	처음 좌표를 통한 원판 반지름의 결정;	0.2	
	작은 진동의 주기 식의 이용;	0.2	
	최종 관계: 식 (31) 또는 그와 동등한 식;	0.4	
측정 자료 처리			**7.5**
2.4	주기의 계산:		**1.0**
	주기에 대한 식;	0.2	
	주기의 수치, 허용 오차 ±0,01;	0.2	
	오차의 식;	0.2	
	오차의 수치;	0.2	
	단위를 적었다;	0.1	
	올바른 반올림;	0.1	
2.5	선형화:		**3.2**
	변수의 선택(측정한 알려진 값으로 나타낸다면 동등한 변수도 인정한다);	1.6	
	모든 점을 계산했다(변수 선택에 점수를 받았을 때만 채점); 점마다 0.1, 허용 오차 ±0.02;	1.1	
	그래프 그리기(점의 계산에 점수를 받았을 때만 채점한다):		
	축의 이름과 눈금을 적었다;	0.1	
	모든 점을 그렸다;	0.2	
	매끄러운 직선을 그렸다;	0.2	
2.6	구름 마찰 계수의 계산:		**3.3**
	마찰 계수의 계산 방법: 기울기 계수로 – 0.6; 1–2개 점으로 – 0.3;	0.6	
	구한 기울기 계수: 최소제곱법으로 – 0.5; 그래프로 – 0.4; 두 점으로 – 0.2; 허용 오차 ±0,05;	0.5	
	오차 계산 방법;	0.2	
	오차의 수치;	0.2	
	구름 마찰을 계산하는 식(기울기 인자만을 통해	0.3	

	구함);		
	구름 마찰 계수의 수치(식에 점수를 받았을 때만 채점한다); 오차 전파 규칙은 수치에는 적용되지 않는다!	0.5	
	오차의 식: 식에 들어 있는 모든 양의 오차를 고려했다;	0.6	
	오차의 수치;	0.2	
	올바른 반올림;	0.2	
	합계		**20.0**