제35회 국제 물리 올림피아드

한국 포항

2004년 7월 15일 ~ 23일

실험 경연

2004년 7월 19일 (월)

먼저 다음 안내를 꼼꼼히 읽으시오:

1. 주어진 시간은 5시간이다.
2. 주어진 펜만 쓰시오.
3. 답안 용지는 앞면만 쓰고, 상자 안에만 쓰시오.
4. 빈 답안 용지 말고도 답안 양식(Answer Form)이 있으며, 여기에 얻은 결과를 반드시 요약해야 한다.
5. 빈 답안 용지에는 측정 결과와, 문제 풀이에 필요하다고 여기는 것을 모두 적으시오. 글은 될 수 있는 한 적게 쓰고, 주로 식, 수, 그림, 그래프로 나타내시오.

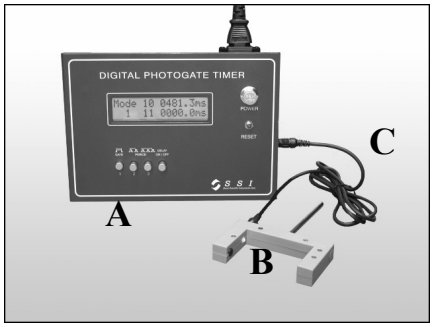
6. 모든 종이의 맨 위 칸에 국가 코드(Country Code)와 학생 번호(Student Code)를 적으시오. 또 빈 답안 용지마다 각 종이의 일련번호(Page Number)와 쓴 답안 용지의 전체 수(Total Number of Pages)를 적으시오. 채점받고 싶지 않은 메모용 종이는 종이 전체에 크게 X 표를 하고 번호에 넣지 마시오.

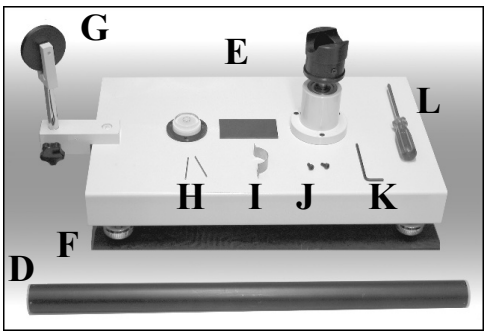
7. 실험이 끝나면 모든 종이를 다음 순서로 정리하시오:
   - 답안 양식 (맨 위)
   - 쓴 답안 용지 (순서대로)
   - 채점받고 싶지 않은 종이
   - 쓰지 않은 답안 용지
   - 인쇄된 문제지 (맨 아래)
8. 값의 오차 범위를 밝힐 필요는 없다. 그러나 실제 값과 얼마나 벗어났는지가 점수를 정한다.
9. 종이를 봉투에 넣고 모든 것을 책상 위에 두고 나가시오. 종이나 실험에 쓴 어떤 물건도 방 밖으로 가지고 나갈 수 없다.

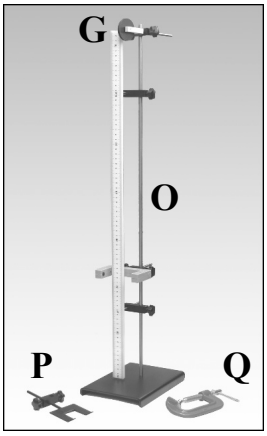
장치와 재료

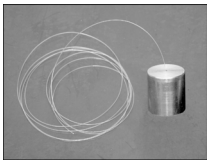
1. 주어진 장치와 재료의 목록

	이름	수량			이름	수량
A	광문 타이머	1		L	십자 드라이버	1
B	광문	1		M	실이 달린 추	1
C	연결 케이블	1		N	전자저울	1
D	역학 “블랙박스” (검은 원통)	1		O	자가 달린 스탠드	1
E	회전대	1		P	U자형 받침대	1
F	고무 패드	1		Q	C 클램프	1
G	도르래	2			자 (0.50 m, 0.15 m)	각 1
H	핀	2			버니어 캘리퍼스	1
I	U자형 판	1			가위	1
J	나사	2			실	1
K	육각 렌치 (L자형)	1			여분 (끈, 실, 핀, 나사, 육각 렌치)	









M



N

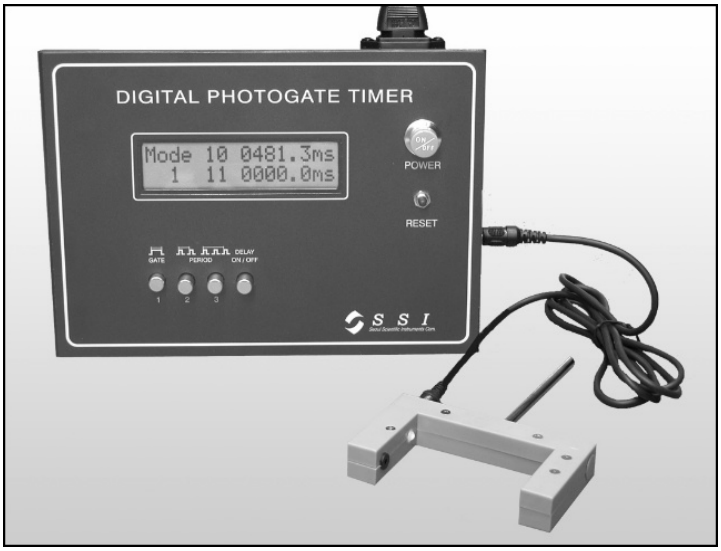
2. 광문 타이머 사용법

광문은 적외선 LED와 광검출기로 이루어져 있다. 광문을 광문 타이머에 연결하면 센서에 닿는 적외선이 가려지는 것과 관련된 시간을 잴 수 있다.

- 광문이 광문 타이머에 연결되어 있는지 확인하시오. “POWER” 단추를 눌러 전원을 켜시오.
- 한 번 가려지는 시간을 재려면 “GATE” 단추를 누르시오. 속력 측정에는 이 “GATE” 방식을 쓰시오.
- 잇달아 두세 번 가려지는 사이의 시간 간격을 재려면 해당하는 “PERIOD” 단추를 누르시오. 진동 측정에는 이 “PERIOD” 방식을 쓰시오.

- “DELAY” 단추가 눌려 들어가 있으면 광문 타이머는 매 측정 결과를 5초 동안 보여 준 뒤 스스로 초기화된다.
- “DELAY” 단추가 튀어나와 있으면 광문 타이머는 다음 측정이 끝날 때까지 이전 측정 결과를 보여 준다.
- 단추 위치를 바꾼 뒤에는 “RESET” 단추를 한 번 눌러야 바뀐 방식이 적용된다.

주의: 광문을 직접 들여다보지 마시오. 보이지 않는 적외선이 눈에 해로울 수 있다.



광문, 광문 타이머, 연결 케이블

3. 전자저울 사용법

• 바닥 다리를 맞추어 저울을 안정되게 놓으시오. (수평 표시기가 있지만, 저울을 완전히 수평으로 놓을 필요는 없다.)

• 저울 위에 아무것도 올리지 않은 채 “On/Off” 단추를 눌러 켜시오.

• 둥근 접시에 물체를 올리면 그 질량이 그램 단위로 나타난다.
• 접시 위에 아무것도 없으면 약 25초 뒤 저울이 저절로 꺼진다.



저울

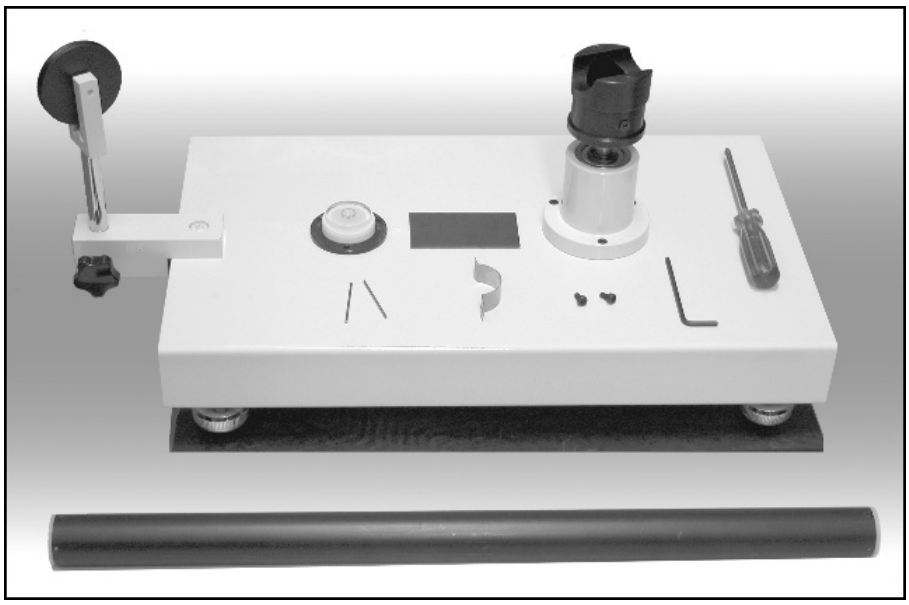
4. 회전대 사용법

• 바닥 다리를 맞추어 회전대를 고무 패드 위에 거의 수평으로 안정되게 놓으시오.

• U자형 판과 나사 두 개로 역학 “블랙박스”(검은 원통)를 회전 축대 위에 고정하시오. 나사는 육각(L자형) 렌치로 조이시오.

• 추에 달린 끈은 회전 축대 옆면의 나사에 고정해야 한다. 십자 드라이버를 쓰시오.

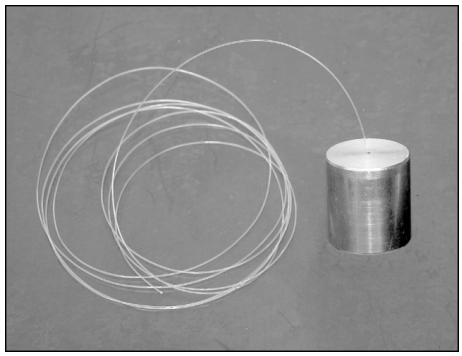
주의: 역학 “블랙박스”가 돌고 있을 때 너무 가까이 들여다보지 마시오. 눈을 다칠 수 있다.



역학 “블랙박스”와 회전대



회전 축대



실이 달린 추

역학 “블랙박스”

[문제] 역학 “블랙박스” 속 공의 질량과 두 용수철의 용수철 상수를 구하시오.

역학 “블랙박스”에 관한 일반 정보

역학 “블랙박스”(MBB)는 그림 1처럼 검은 원통관 속에서 두 용수철에 매달린 단단한 공으로 이루어져 있다. 두 용수철은 촘촘히 감긴 같은 용수철을 감은 수만 다르게 잘라 만든 것이다. 용수철의 질량과 늘어나지 않았을 때의 길이는 무시할 수 있다. 관은 균일하며, 똑같은 마개 두 개로 막혀 있다. 마개가 관 속으로 들어간 부분의 길이는 5 mm이다. 공의 반지름은 11 mm이고 관의 안지름은 23 mm이다. 중력 가속도는 g = 9.8 m/s²으로 주어진다. 공과 관의 안쪽 벽 사이에는 유한한 마찰이 있다.

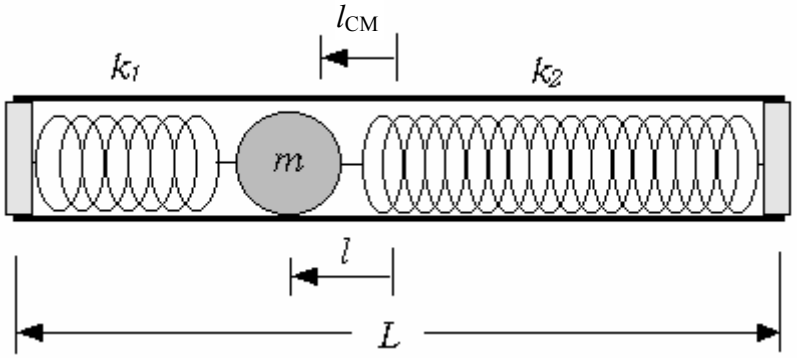


그림 1 역학 “블랙박스” (축척이 맞지 않음)

이 실험의 목적은 MBB를 열지 않고 공의 질량 m과 두 용수철의 용수철 상수 k_1, k_2를 알아내는 것이다. 이 문제의 어려운 점은, 질량 m과 공의 위치 l이 서로 얽혀 있어서 어떤 실험 하나만으로는 m이나 l을 얻을 수 없다는 것이다. 여기서 l은 마찰이 없을 때 MBB가 수평으로 놓여 평형을 이룰 때 관의 중심과 공의 중심 사이의 거리이다.

관심 있는 물리량은 아래에 적은 기호로 나타내야 한다. 다른 물리량이 필요하면 혼동을 피하도록 아래에 이미 정해진 것과 다른 기호를 쓰시오.

정해진 물리 기호

공의 질량: m
공의 반지름: r (= 11 mm)
공을 뺀 MBB의 질량: M
검은 관의 길이: L
마개가 관 속으로 들어간 길이: δ (= 5.0 mm)
MBB의 질량 중심에서 관 중심까지의 거리: lCM
공의 중심과 관의 중심 사이의 거리: x (MBB가 수평일 때 평형이면 l)

중력 가속도: g (= 9.8 m/s^2)
끈에 달린 추의 질량: m_0
추의 속력: v
추가 내려간 거리: h
끈이 감기는 회전 축대의 반지름: R
관성 모멘트: I, I_0, I_1, I_2 등
각속도와 각진동수: ω, ω_1, ω_2 등
진동 주기: T_1, T_2
유효 전체 용수철 상수: k
두 용수철의 용수철 상수: k_1, k_2
용수철의 감은 수: N_1, N_2

주의: MBB를 열려고 하지 마시오. 열면 실격되며 실험 경연 점수는 0점이 된다.

주의: MBB를 세게 흔들거나 떨어뜨리지 마시오. 공이 용수철에서 떨어질 수 있다. MBB가 고장 난 것 같으면 곧바로 감독관에게 알리시오. 점수에 영향 없이 한 번만 바꾸어 주며, 그 뒤로 바꿀 때마다 0.5점씩 깎인다.

PART-A 공의 질량과 위치의 곱 (m×l) (4.0점)

l은 그림 1처럼 MBB가 수평으로 놓여 평형을 이룰 때 관의 중심에 대한 공의 중심의 위치이다. 공의 질량 m과 위치 l의 곱의 값을 실험으로 구하시오. 이 값은 PART-B에서 m의 값을 정할 때 필요하다.

1. 식을 써서, m×l을 얻을 수 있는 방법을 제안하고 그 근거를 밝히시오. (2.0점)

2. m×l의 값을 실험으로 정하시오. (2.0점)

PART-B 공의 질량 m (10.0점)

그림 2는 회전 축대 위에 수평으로 고정된 MBB와, 한쪽 끝은 회전 축대에 감기고 다른 끝에는 추가 달린 끈을 보여 준다. 추가 떨어지면 끈이 풀리면서 MBB가 돈다. 이 실험에 해당하는 식을 PART-A에서 얻은 식과 엮으면 m에 관한 식을 얻을 수 있다.

공과 원통관의 안쪽 벽 사이에는 마찰력이 작용한다. 마찰과, 회전 운동에서 공이 미끄러지는 물리적 메커니즘은 복잡하다. 분석을 간단히 하려고 운동 마찰에 의한 에너지 소산은 무시해도 된다.

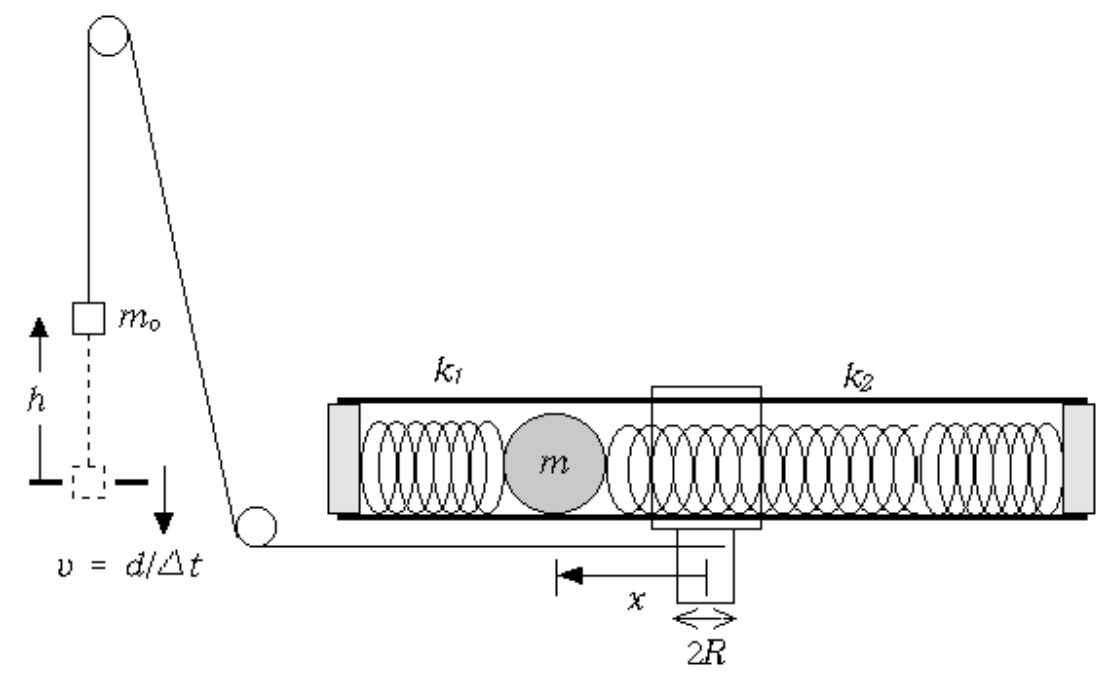


그림 2 역학 “블랙박스”의 회전 (축척이 맞지 않음)
MBB의 각속도 ω는 광문을 지나는 추의 속력 v로부터 얻을 수 있다. x는 회전축에 대한 공의 위치이고, d는 추의 길이이다.

1. 추가 내려간 거리 h를 여러 값으로 바꾸어 가며 추의 속력 v를 재시오. h = 1.0×10^{-2} m부터 4.0×10^{-1} m까지 전 범위를, 1.0×10^{-2} ~ 2.0×10^{-2} m 간격으로 각 h에서 v를 한 번씩만 재며 훑어보기를 권한다. m의 값을 구하기에 알맞은 꼴로 데이터를 그래프 용지에 그리시오. v와 h의 관계를 대강 파악한 뒤, 필요하면 측정을 되풀이하거나 데이터 점을 더해도 된다. MBB가 천천히 돌 때는 공과 관 사이의 마찰 때문에 공이 정적 평형 위치에서 미끄러지지 않는다. MBB가 충분히 빨리 돌면, 용수철이 약하므로 공이 관의 마개에 부딪혀 실제로 거기 머문다. 그래프에서 느린 회전 영역과 빠른 회전 영역을 찾아 표시하시오. (4.0점)

2. 느린 회전 영역에서 h가 v^2에 비례한다는 사실($h = C\,v^2$)과 측정이 들어맞음을 보이시오. 빠른 회전 영역에서는 측정으로부터 $h = A\,v^2 + B$임을 보이시오. (1.0점)

3. 반지름 r, 질량 m인 공의 중심을 지나는 축에 대한 관성 모멘트는 $2mr^2/5$이다. 공이 축에 수직으로 a만큼 옮겨지면 관성 모멘트는 ma^2만큼 늘어난다. 공을 뺀 모든 회전체의 전체 관성 모멘트를 기호 I로 나타내시오. 계수 C를 m, l 등 MBB의 매개변수로 나타내시오. (1.0점)

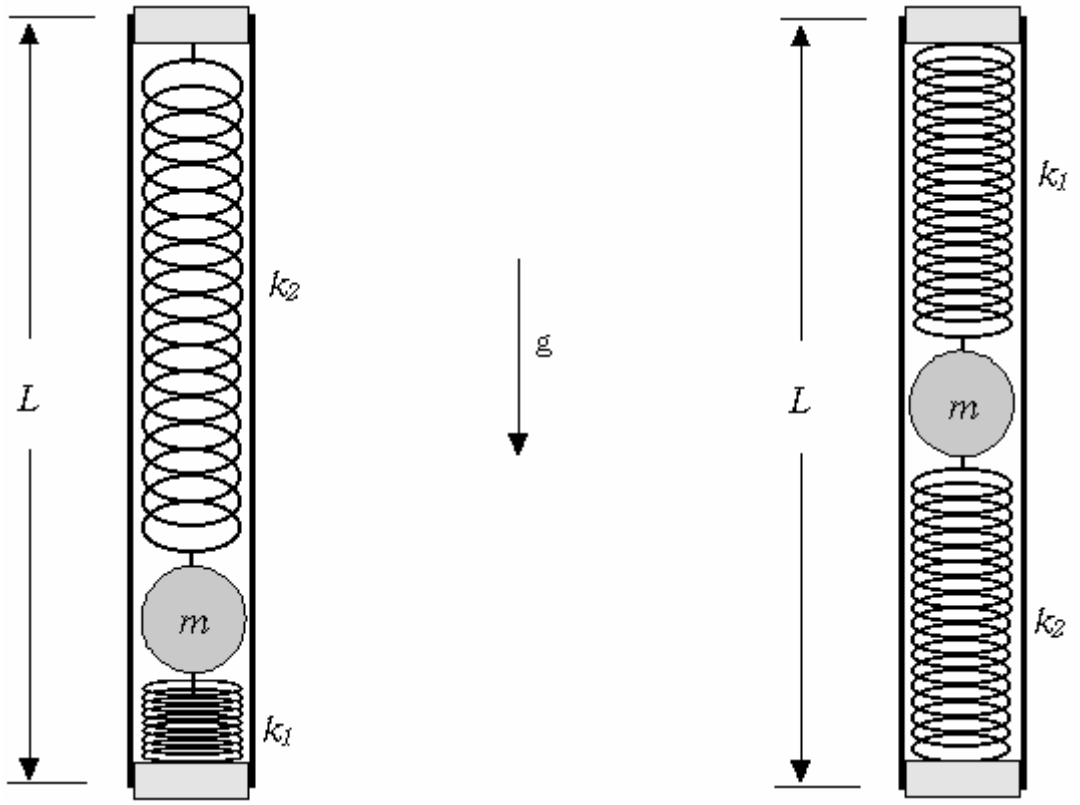
4. 계수 A와 B를 m, l 등 MBB의 매개변수로 나타내시오. (1.0점)

5. 측정과 PART-A에서 얻은 결과로 m의 값을 정하시오. (3.0점)

PART-C 용수철 상수 k_1과 k_2 (6.0점)

이 부분에서는 MBB를 강체 진자로 써서 작은 진동 실험을 해야 한다. MBB의 양 끝에는 작은 구멍이 두 개씩 있다. 구멍에 가는 핀 두 개를 꽂아 작은 진동의 회전축으로 쓸 수 있다. U자형 받침대는 스탠드에 클램프로 고정해 회전축을 받치는 데 쓴다. 작은 진동의 각진동수 ω는 ω = [돌림힘/(관성 모멘트 × 각)]^(1/2)로 주어짐에 주의하시오. 여기서 돌림힘과 관성 모멘트는 회전축에 대한 것이다.

PART-B와 비슷하게, 공을 뺀 MBB의 모르는 관성 모멘트 I_0를 피하려고 그림 3에 보인 두 실험 조건을 생각하시오.



(1) (2)

그림 3 역학 "블랙박스"의 진동 (축척이 맞지 않음)
위에 보인 두 배치의 작은 진동 주기 T_1과 T_2는 광문으로 잴 수 있다. 이 실험을 위해 핀 두 개와 U자형 받침대가 주어진다.

1. 그림 3(1)과 (2)에 보인 작은 진동의 주기 T_1과 T_2를 재어 각각의 값을 적으시오. (1.0점)

2. 두 배치의 작은 진동 각진동수 ω_1과 ω_2가 왜 다른지 식을 써서 설명하시오. 끝점에서 MBB에 수직인 축에 대한, 공을 뺀 MBB의 관성 모멘트를 기호 I_0로 나타내시오. 수평 평형 위치에서 공이 옮겨 간 거리를 기호 Δl로 쓰시오. (1.0점)

3. 앞의 결과에서 I_0를 소거하여 Δl을 구하시오. (1.0점)

4. PART-C 1~3과 PART-B의 결과를 엮어 두 용수철 계의 유효 전체 용수철 상수 k의 값을 구해 적으시오. (2.0점)

5. k_1과 k_2의 값을 각각 구해 적으시오. (1.0점)