실험 시험

2011년 1월 17일

먼저 이것을 읽으시오:

1. 실험 시험은 문제 한 개로 이루어져 있다. 이 시험의 시간은 3시간이다.

2. 제공된 펜만 사용하시오.
3. 수치 계산에는 프로그래밍 기능이 없는 자신의 계산기를 사용할 수 있다. 계산기가 없으면 올림피아드 주최 측에 요청하시오.
4. ***답안용지***(Writing sheet)***와 여분의 종이***가 제공된다. 여분의 종이는 풀이의 초안을 쓰는 데 사용할 수 있지만, 채점하지 않는다. 채점받을 최종 풀이는 ***답안용지***에 써야 한다. 글은 되도록 적게 쓰고, 주로 식, 수치, 그림, 그래프를 사용하시오.

5. ***답안용지***의 앞면만 사용하시오**.** 테두리 안쪽에만 쓰시오.
6. 각 용지 위쪽의 칸에 국가(***Country***), 학생 코드(***Student Code***), 문제 번호(***Question Number***), 각 용지의 일련번호(***Page Number***), 사용한 ***답안용지***의 총 매수(***Total Number of Pages***)를 적으시오. 채점받고 싶지 않은 메모에 빈 ***답안용지***를 사용했다면, 그 용지 전체에 큰 X 표시를 하고 번호를 매길 때 포함하지 마시오.

7. 시험이 끝나면 문제마다 모든 용지를 다음 순서로 정리하시오.
    - 사용한 ***답안용지***(순서대로)
    - 채점받고 싶지 않은 용지
    - 사용하지 않은 용지와 문제지

    용지를 봉투에 넣고 모든 것을 책상 위에 두시오. 어떤 종이나 장비도 시험실 밖으로 가져갈 수 없다.

변형, 이력 현상, 쌍안정성

기구와 장비: 고무줄, 기둥이 달린 나무 받침대, 나무 자, 100 g짜리 추 6개, 줄자, 실, 핀.

제1부. 늘이기 (4.5점)



그림 1

1.1 제공된 핀으로 고무줄을 나무 기둥의 한쪽 면에 고정하여라(그림 1). 매단 추의 중력에 따라 고무줄의 길이 L이 어떻게 달라지는지 측정하여라. 측정은 다음 두 가지 방법으로 하여라.
추를 거는 과정, 즉 추의 개수를 0개에서 6개까지 하나씩 늘리는 과정
추를 떼는 과정, 즉 추의 개수를 6개에서 0개까지 하나씩 줄이는 과정

1.2 추를 거는 과정과 떼는 과정에서 매단 추의 중력에 따른 고무줄의 상대 늘어남을 같은 그래프에 그려라.

제2부. 평형 (7.5점)

그림 2와 같이 자를 기둥의 연직 벽 가까이에 놓아라. 제공된 핀으로 고무줄을 자의 위쪽 끝에 붙여라. 고무줄의 다른 쪽 끝은 핀으로 기둥에 붙여라. 늘어나지 않은 상태에서 고무줄의 길이 l_0은 약 8 cm가 되어야 한다. 자의 아래쪽 끝에서 받침대의 연직 기둥 꼭대기까지의 거리(그림 2 참고)는 자의 길이와 같다. 추를 매달 수 있도록 자의 위쪽 끝에 실을 매어라.

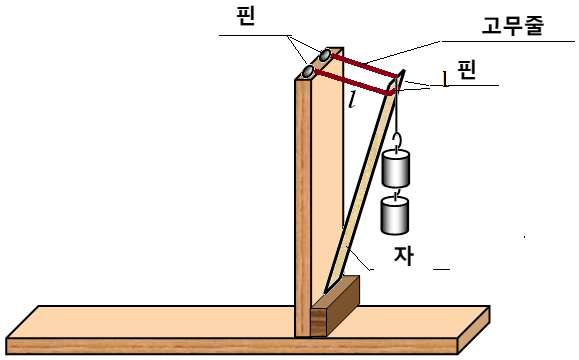


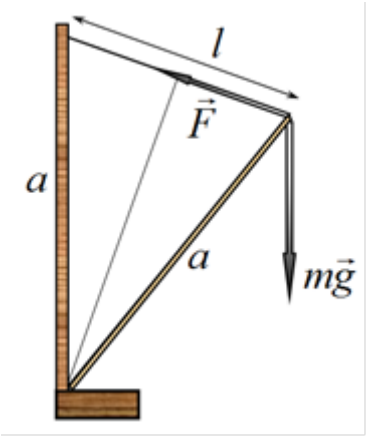
그림 2

주의! *추의 개수를 바꾸어 가며 고무줄의 길이 l을 측정해야 한다.*

고무줄을 붙일 때 양쪽의 길이가 같도록 하여라. 안전을 위해 고무줄을 핀에 여러 번 감아라. 실의 끝에 매듭을 짓고, 실을 핀으로 자의 위쪽 면에 붙인 다음 자의 위쪽 끝 너머로 걸쳐라.

모든 측정은 매우 조심스럽게 해야 한다. 추의 개수를 바꿀 때에는 자를 손으로 잡고 평형에 이를 때까지 천천히 아래로 내리거나 위로 올리되, 추가 진동하지 않도록 하여라. 자의 아래쪽 끝을 기둥을 따라 수평으로 살살 움직여서 추가 달린 자의 더 안정한 위치를 찾을 수 있다.

이론적 설명



2.1 위에서 설명한 대로 고정한 자의 평형 조건이 다음과 같음을 보여라.

$$F(l) = mg\frac{l}{a}, \qquad (1)$$

여기서 l은 고무줄의 길이, $F(l)$은 길이가 l일 때 고무줄의 탄성력, a는 자의 길이, mg는 매단 추의 중력이다.

2.2 이 실험 문제의 첫 부분에서 얻은 데이터를 이용하여, 추를 거는 과정과 떼는 과정에서 고무줄의 길이에 따른 탄성력의 의존 관계를 같은 그래프에 그려라. **이 부분의 실험에서 고무줄의 처음 길이는 앞의 제1부와 다르다는 것을 잊지 마라!** 같은 그래프에, 가능한 여섯 가지 추의 개수 각각에 대하여 $f(l) = mg\dfrac{l}{a}$의 그래프 6개를 그려라.

2.3 이 그래프들을 이용하여, 추를 거는 경우와 떼는 경우 두 가지에 대하여 여러 가지 추의 개수에서 평형 위치에 해당하는 고무줄의 길이 l을 구하여라. 추를 거는 과정(추의 개수를 차례로 늘림)과 떼는 과정(추의 개수를 차례로 줄임)에 대하여, 평형 위치에서의 고무줄 길이를 매단 추의 중력에 대한 그래프로 같은 그림에 그려라.

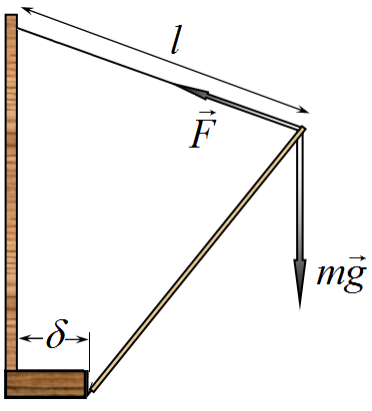
실험

2.4 평형 상태에서 고무줄의 길이 l이 매단 추의 중력에 따라 어떻게 달라지는지 측정하여라. 측정은 두 가지 방법, 즉 추를 거는 과정과 떼는 과정에 대하여 해야 한다.

2.5 2.3절에서 그린 그래프에, 실험으로 얻은 곡선을 그려라.

제3부. 쌍안정성 (3점)

자의 아래쪽 끝을 연직 기둥에서 멀어지게 옮기면(그림 3 참고), 고무줄이 어떤 길이이고 추가 어떤 개수일 때 자의 안정한 평형 위치를 두 개 찾을 수 있다(쌍안정성). 첫째 위치는 연직에 더 가깝고, 둘째 위치는 수평에 더 가깝다. 이 부분에서는 쌍안정성이 나타나는 조건을 구해야 한다.



자의 아래쪽 끝이 작은 거리 δ만큼 옮겨졌을 때, 평형 조건 (1)은 근사적으로 다음 식으로 나타난다는 것을 보일 수 있다(그러나 보일 필요는 없다!).

$$F(l) = mg\frac{l-\delta}{a}. \qquad (2)$$

3.1 2.3절에서 얻은 그림에, 안정한 평형 위치가 두 개 있음을 나타내는 함수 $f(l) = mg\dfrac{l-\delta}{a}$를 개략적으로 그리고, 그림에 두 평형 위치를 표시하여라.

함수 $f(l)$에서는 두 매개변수 m과 δ를 마음대로 바꿀 수 있다.

3.2. **고무줄의 자유로운 부분의 길이는 제2부에서와 같아야 한다.** 같은 추의 개수에서 자의 안정한 평형 위치 두 개를 실험으로 찾아라. 두 안정한 위치가 실제로 존재하는 추의 개수를 구하여 적어라. 두 평형 위치가 이루어질 때 고무줄의 두 길이를 측정하여 적어라.

두 평형 위치를 찾으려면, a) 자를 거의 연직으로 세운 다음 손으로 잡은 채 조금 내려가게 하고, b) 자가 거의 수평이 될 때까지 고무줄을 늘인 다음 손으로 살며시 잡은 채 천천히 올라가게 하여라. 이 과정을 여러 번 되풀이하여라!

쌍안정성을 찾을 때에는 고무줄의 자유로운 부분의 길이를 조금 바꾸어도 된다. 이 길이를 바꾸었다면 그 길이를 측정하여 새 값을 (cm 단위로) 적어라.