실험 시험

2026년 1월 12일

먼저 이것을 읽으시오:

1. 실험 시험은 문제 하나로 이루어져 있다. 이 시험의 시간은 4시간이다.
2. 제공된 펜만 사용하시오.
3. 수치 계산에는 프로그램 기능이 없는 자신의 계산기를 사용할 수 있다. 계산기가 없으면 올림피아드 주최 측에 요청하시오.
4. ***답안용지와 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.

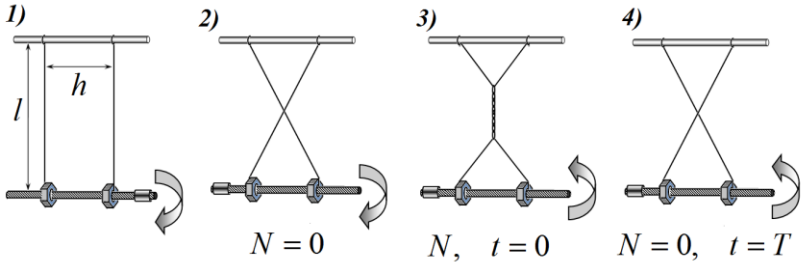
7. 시험이 끝나면 문제마다 모든 용지를 다음 순서로 정리하시오.
   - 사용한 ***답안용지***(순서대로)
   - 채점받고 싶지 않은 용지
   - 사용하지 않은 용지
   - 인쇄된 문제지

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

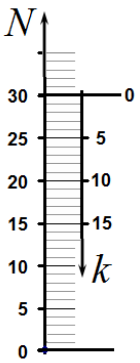
비틀림: 퍼텐셜 곡선 만들기

자유도가 하나인 역학계의 행동은 좌표에 따른 계의 퍼텐셜 에너지에 의해 완전히 결정되며, 이 관계의 그래프를 퍼텐셜 곡선이라고 한다. 많은 경우에 이 관계를 이론적으로 계산하는 것은 복잡하며, 때로는 불가능하기까지 하다. 이런 경우에는 실험 자료를 바탕으로 퍼텐셜 곡선을 얻을 수 있다.

이 실험에서는 수직인 실 두 가닥에 매달린 금속 막대가 자유롭게 회전할 때 좌표에 따른 퍼텐셜 에너지를 구해야 한다. 모든 실험에서 실의 길이 l과 실 사이의 거리 h를 일정하게 유지하여라.



측정은 다음 절차에 따라 하여라. 실이 수직인 처음 위치 (1)에서 막대를 반 바퀴 돌려 (2) 두 실이 서로 닿게 한다. 그런 다음 막대를 계속 돌려 실을 꼬면서 필요한 횟수 N만큼 완전히 돌린다 (3). 그 뒤 막대를 4분의 1바퀴 더 돌린 다음 놓는다. 풀리는 동안 막대가 다시 위치 (3)에 이르렀을 때에만 스톱워치를 작동시켜라. 그 뒤 위치 (4)까지 필요한 회전수만큼 도는 데 걸리는 시간을 측정하여라. 계산할 때에는 4분의 1바퀴를 더 돌렸더라도 처음 위치 (3)에서 막대의 각속도가 0이라고 가정하여라.



이 문제에서는 서로 관련된 두 좌표를 사용한다. N – 실을 꼴 때의 회전수로, 막대의 아래 위치 (2)에서 위쪽으로 센다. k – 실이 풀리는 동안 막대가 돈 회전수로, $N = 30$인 위치 (3)에서 아래쪽으로 센다. 좌표의 측정 단위는 "1바퀴"이다. 따라서 속도 V의 단위는 "초당 회전수"이고, 차원은 $[V] = \mathrm{s}^{-1}$이다. 에너지의 척도로는 속도의 제곱 $E = V^2$을 사용하는데, 이것은 막대의 회전 운동 에너지에 비례한다. 이 경우 에너지의 단위 $[E] = \mathrm{s}^{-2}$를 ***Ku***(카자흐스탄 단위, Kazakhstani unit)라고 부르자. 따로 "0" 위치를 정하지 않으면, 막대의 퍼텐셜 에너지는 $N = 30$일 때 위치 (3)에서 0으로 한다.

제1부. 이론적 도입

막대의 질량은 $m_1 = 50.0\ \mathrm{g}$이고, 너트 하나의 질량은 $m_2 = 6.4\ \mathrm{g}$이다.

1.1 에너지 단위 ***Ku***를 줄(J)로 나타내고 그 수치를 계산하여라.

측정할 때에는 막대가 k바퀴 도는 데 걸리는 시간 $t(k)$를 재야 한다. 이 관계가 대략 다음 식으로 나타난다고 하자.

$$t(k) = Ak^{\alpha},$$

여기서 A, α는 상수이다.

1.2 속도 $V(k)$와 ***Ku*** 단위의 운동 에너지 $E(k)$를 좌표 k의 함수로 계산하는 식을 유도하여라. k는 형식적으로 연속인 것으로 보아도 된다. 이들을 매개변수 A, α, k로 나타내어라.

퍼텐셜 에너지 U를 위치 (2)에서 0으로 하고, 좌표 N에 따른 퍼텐셜 에너지가 대략 다음 식으로 나타난다고 하자.

$$U(N) = BN^{\beta}.$$

막대가 처음 위치 (3)에서 아래 위치 (4)까지 풀리는 데 걸리는 시간을 T라고 하자. 이 조건에서 근사적인 관계 $T(N)$은 다음 식으로 주어진다.

1.3 지수 γ를 지수 β로 나타내어라.

제2부. 운동 법칙 조사

$N = 30$인 처음 위치 (3)에 막대를 놓아라. 막대를 놓고, 랩 기록 기능이 있는 스톱워치를 사용하여 막대가 처음 위치에서 k바퀴 도는 데 걸린 시간 $t(k)$를 기록하여라. $k = 0$에서 30까지의 범위에서 세 바퀴마다 자료를 얻으며 측정하여라.

2.1 측정한 값 $t(k)$를 표 1에 적어라.
2.2 운동 법칙 $k(t)$의 그래프를 그려라.

실험 자료로부터 막대의 속도를 계산하려면 다음 대칭 식을 사용하여라.

$$V(k) = \frac{6}{t(k+3) - t(k-3)}.$$

2.3 실험 자료를 이용하여 측정한 모든 좌표 k에서 운동 에너지 $E(k)$의 값을 계산하여라. 결과를 표 1의 "$E(k)$ (exp.)" 열에 적어라.
2.4 얻은 관계 $E(k)$의 그래프를 그려라. 이 그래프에 1번이라고 표시하여라.
2.5 막대의 퍼텐셜 에너지 $U(k)$의 식을 $E(k)$로 나타내어 써라.
2.6 로그 눈금을 사용하여 회전수 k에 따른 $t(k)$의 그래프를 그려라.
2.7 매개변수 A와 α의 값을 계산하고, 그 불확도를 추정하여라.
2.8 얻은 매개변수 A와 α의 값을 이용하여 1.2에 따라 운동 에너지 $E(k)$의 값을 계산하여라. 결과를 표 1의 "$E(k)$ (theor.)" 열에 적어라.
2.9 계산으로 구한 막대의 운동 에너지 $E(k)$의 관계를 2.4와 같은 그래프에 그려라. 이 그래프에 2번이라고 표시하여라.

제3부. 단계별 탐색

이 부분에서는 불확도를 추정하지 않아도 된다. 관계의 매개변수는 그래프를 이용하여 구하여라.

구간이 작을수록 근사(맞춤) 식이 운동을 더 정확하게 나타낸다. 이 부분에서는 좌표 N이 조금 변하는 구간들에서 막대의 운동을 조사해야 하며, 구간의 경계는 ***답안용지***에 주어져 있다. 큰 값이 처음 위치에 해당한다. 각 구간에서 운동 법칙, 곧 막대가 처음 위치에서 $k = 10$바퀴를 도는 동안의 시간들을 측정해야 한다. 주어진 좌표 N의 각 구간 안에서 좌표 k는 1에서 10까지 변한다. $\Delta k = 1$ 간격으로 측정하여라. 랩 기록 기능이 있는 스톱워치를 사용하여 막대가 한 바퀴 돌 때마다 시간을 기록하여라.

각 구간에서 얻은 관계 $t(k)$가 그 구간 고유의 매개변수 A와 α의 값을 갖는 함수 $t(k) = Ak^{\alpha}$로 대략 나타난다고 가정하여라. 이 매개변수의 값을 구해야 한다. 주어진 각 구간에 대해 다음 과제를 하여라.

3.1 막대가 처음 위치에서 k바퀴 도는 데 걸린 시간 $t(k)$의 값을 측정하여라.
3.2 로그 눈금을 사용하여 ***답안용지***의 준비된 칸에 관계 $t(k)$를 그려라.
3.3 마지막 여섯 점(k가 5에서 10까지인 값)을 지나는 맞춤 직선을 그어라.
3. 그린 직선 그래프를 이용하여 매개변수 A와 α의 값을 구하고, 그 값을 계산하는 데 쓴 식을 밝혀라.
3.5 좌표 k가 5에서 10까지 변할 때 막대의 운동 에너지 변화 $E_{5-10} = E(10) - E(5)$를 계산하여라. 이 양을 계산하는 데 쓴 식을 써라.

얻은 결과를 정리하여라. 이를 위해 막대가 처음 위치 $N = 30$에서 풀린다고 가정하여라.

3.6 이 부분에서 얻은 자료를 이용하여 $k = 5, 10, 15, 20, 25, 30$바퀴 돈 뒤 막대의 운동 에너지 $E(k)$의 값을 계산하여라. 이 부분에서 얻은 관계를 2.4의 그래프에 그려라. 이 그래프에 3번이라고 표시하여라.

제4부. 풀리는 시간

이 부분에서는 막대가 아래 위치 (4)까지 풀리는 전체 시간 $T(N)$이 처음 값 N에 따라 어떻게 달라지는지 조사해야 한다.

4.1 $N = 5, 10, 15, 20, 25, 30$일 때 회전수 N에 따른 막대의 전체 풀리는 시간 $T(N)$을 측정하여라.
4.2 $N = 10$일 때 풀리는 시간 측정의 불확도를 추정하여라. 이를 위해 이 시간을 적어도 다섯 번 측정하여라.
4.3 로그 눈금을 사용하여 얻은 관계 $T(N)$의 그래프를 그려라.
4.4 이 관계가 식 $T(N) = GN^{\gamma}$로 나타난다고 가정하고, 이 식의 지수 γ를 구하여라.
4.5 얻은 지수 γ의 값을 이용하여, 좌표에 따른 퍼텐셜 에너지의 식 $U = BN^{\beta}$에서 지수 β의 값을 계산하여라.

막대가 $N = 30$인 위치에서 풀리기 시작한다고 가정하여라.

4.6 $k = 5, 10, 15, 20, 25, 30$바퀴 돈 뒤 막대의 운동 에너지 $E(k)$의 값을 계산하여라. $E(k)$를 계산하는 데 쓴 식을 써라.

$k = 30$에서 운동 에너지의 값이 3.6에서 계산한 이 에너지의 값과 같아지도록 식 $U = BN^{\beta}$의 계수 B의 값을 정하여라.

4.7 이 부분에서 얻은 관계를 2.4의 그래프에 그려라. 이 그래프에 4번이라고 표시하여라.