제3회 아시아 물리 올림피아드

싱가포르

실험 경연 부분 B

(실험 경연은 부분 A와 부분 B 두 부분으로 이루어진다.
다음 실험은 부분 B이다)

날짜: 2002년 5월 10일

주어진 시간: 부분 B에 2½시간

다음 지시를 꼼꼼히 읽으시오

1. 이 실험에서는 실험 결과의 불확도를 나타내지 않아도 된다.

2. 주어진 펜만 쓰시오.
3. 답안지와 그래프 용지는 앞면만 쓰시오.
4. 답에는 글을 될 수 있는 한 적게 쓰고, 주로 식, 수, 그림으로 나타내시오. 요구하는 결과가 수치이면 최종 결과 밑에 물결선을 그으시오.
5. 빈 종이에는 모든 측정 결과와, 문제 풀이에 필요하고 채점받고 싶은 것을 모두 적으시오.

6. 그래프 용지를 포함해 쓴 종이마다 맨 위 칸에 이름(Name), 국가(Country), 학생 번호(Student No.), 문제의 부분 번호(Question Part No.), 각 종이(그래프 용지 포함)의 일련번호(Page No.), 각 문제에 쓰고 채점받고 싶은 종이의 전체 수(Total pages)를 반드시 적어야 한다. 채점받고 싶지 않은 메모용 종이는 종이 전체에 크게 ×표를 하고 번호에 넣지 마시오. 채점자 전용인 오른쪽 칸에는 아무것도 쓰지 마시오.

7. 시험의 이 절반인 2½시간이 끝나면, 시험의 다른 절반으로 넘어가기 전에 답안지와 그래프 용지를 쪽 번호 순서대로 스테이플러로 묶으시오.

목적

소리굽쇠의 각 갈래(갈래 끝 가까운 정해진 점)에 같은 질량을 물렸을 때 진동수가 어떻게 달라지는지 조사하고, 이로부터 갈래에 같은 방식으로 붙인 모르는 질량 한 쌍 X를 정한다.

스트로보스코프

이 실험에서는 스트로보스코프(스트로브)를 쓴다. 스트로브는 방전등이 아주 규칙적인 간격으로 짧은 시간 동안 세게 번쩍이게 할 수 있는 간단한 전자 장치이다. 스트로브를 쓰면 움직이는 물체에 직접 닿지 않고도 회전하거나 진동하는 물체의 진동수를 잴 수 있다.

주의: 스트로브는 수명이 있으며, 얻을 수 있는 최대 섬광 수로 정해져 있다. 쓰지 않을 때 켜 둔 채 내버려 두지 마시오.

등속 원운동을 하는 입자를 스트로브로 비춘다고 하자. 섬광 진동수가 운동 진동수의 정수배나 정수분의 일이면 입자는 멈춘 것처럼 보인다. 따라서 섬광의 진동수를 맞추면 입자의 원운동 주기를 정할 수 있다.
입자의 회전 진동수를 x Hz, 섬광 진동수를 y Hz라 하자. 그러면 잇단 두 섬광 사이의

시간 간격 1/y s 동안 입자는 각 2πx/y만큼 돈다.

y/x가 두 정수의 비로 나타낼 수 없는 무리수이면 입자는 멈춘 것처럼 보이지 않고, y/x가 가까운 어떤 유리수보다 조금 작은지 큰지에 따라 앞쪽이나 뒤쪽으로 천천히 도는 것처럼 보인다.

y/x = q/p(p와 q는 정수)이면 스트로브는 p번의 완전한 순환마다 q번 번쩍인다. 또 p와 q에 공약수가 없으면(이 글 전체에서 그렇다고 가정한다) 섬광마다 입자의 다른 위치가 보인다. 따라서 스트로브 빛 아래에서 입자는 q개의 정지 위치를 보인다.

q가 너무 커지면 회전하는 입자가 보이는 정지 위치의 수를 세기 어려울 수 있다.

회전하는 입자에 적용한 위의 이론은, 진동 운동을 회전 입자의 사영 운동과 같다고 보면 단순 조화 운동을 하는 소리굽쇠에도 비슷하게 적용할 수 있다. 회전하는 경우와

달리, 진동하는 물체는 반 순환마다 같은 경로를 반대 방향으로 되짚으므로, 아주 드물기는 하지만 진동 순환의 한 절반에서의 상이 다음 절반에서의 상과 겹칠 가능성이 있다. 그러면 상이 두 개가 아니라 하나만(세기는 두 배로) 기록된다. 실험 관찰에서 이런 우연한 겹침에 주의해야 한다.

기본 동기의 확인

관찰하는 장치가 회전하거나 진동하는 순환마다 램프가 한 번 번쩍여 물체가 한 정지 위치에 멈춘 것처럼 보일 때 기본 동기가 얻어진다. 그러나 섬광 진동수가 물체 운동 진동수의 정수분의 일(1/2, 1/3, 1/4 등)일 때도 비슷하고 구별할 수 없는 결과가 나온다는 것을 알 수 있다. 따라서 물체 운동 진동수를 전혀 모를 때 기본 동기를 맞추는 안전한 방법은, 여러 상이 보이는 높은 섬광 진동수에서 시작해 처음으로 상이 하나만 보일 때까지 섬광 진동수를 천천히 낮추는 것이다. 모든 측정에서 기본 동기를 확인할 때 이 방법을 쓰시오.

기본 진동수의 정수배

스트로브가 관찰하는 물체의 순환 진동수보다 높은 빠르기로 번쩍이면 기본 진동수의 정수배가 나타난다. 반대로 스트로브의 섬광 빠르기가 움직이는 물체보다 낮은 경우를 기본 진동수의 정수분의 일이라 한다.

램프가 입자 회전 진동수의 q배 진동수로 번쩍이면 여러 상이 보일 수 있다. 이때 회전하는 입자는 원둘레에 고르게 놓인 여러 정지 상으로 보인다. 진동수가 두 배, 곧 q/p = 2이면 π 라디안 떨어진 상 두 개가, 세 배, 곧 q/p = 3이면 2π/3 라디안 간격의 상 세 개가 생기는 식이다. 그러면 입자의 회전 진동수는 섬광 진동수를 보이는 상의 수로 나눈 값이다. 일반적으로 q > p > 1이면 스트로브는 입자 운동의 p순환마다 q번 번쩍이므로, 여전히 정지 위치는 q개이다.

기본 진동수의 정수분의 일

이때 q/p는 1보다 작다. 스트로브 진동수가 물체 운동 진동수의 정확히 1/p배(p > 1)이면, 물체는 섬광마다 p순환을 돌고 정지 상은 하나만 보인다. p > q > 1이면

스트로브는 물체 운동의 p 완전 순환마다 q번 번쩍이며, 보이는 정지 상의 수는 q이다.

소리굽쇠

소리굽쇠는 때린 뒤 배음 없이 기본 진동수로 진동하도록 만들어져 있다. 두 갈래는 모든 면에서 대칭이어서 완전히 반대 위상으로 움직이며, 어느 순간에나 가운데 손잡이에 크기가 같고 방향이 반대인 힘을 준다. 따라서 손잡이에 걸리는 알짜힘은 늘 0이어서 손잡이는 진동하지 않고, 손잡이를 꽉 잡아도 원치 않는 감쇠가 생기지 않는다. 같은 까닭으로 소리굽쇠의 갈래는 같은 위상으로 진동할 수 없다. 그러면 손잡이에 유한한 진동 힘이 걸려 진동이 아주 빨리 감쇠하기 때문이다.

각 팔에 같은 무게를 달면 소리굽쇠의 기본 진동수를 낮출 수 있다. 진동의 감쇠를 최소로 하려면 팔에 다는 짐이 대칭이어야 한다.

이렇게 짐을 단 소리굽쇠의 진동 주기 T는 다음과 같다:

$$T^2 = A(m + B)$$

여기서 A는 소리굽쇠 물질의 크기, 모양, 역학적 성질에 따라 정해지는 상수이고, B는 진동하는 각 팔의 유효 질량에 따라 정해지는 상수이다.

주어진 장치:

1. 디지털 표시창이 달린 스트로보스코프.
2. 소형 손전등.
3. 각 갈래에 31.6 g 추를 대칭으로 달고,
   추의 질량 중심이 각 갈래에 뚜렷이 표시한 점 P와 일치하는 소리굽쇠.
4. 떼어 낼 수 있는 손잡이 두 개가 달린 종이 집게 두 개. 손잡이는 집게를 여는 데만 쓰며, 실험할 때는 떼어 내야 한다.
5. 같은 질량의 모르는 추 한 쌍 X.
6. 다음과 같은 질량을 아는 추(쌍으로): 5 g, 10 g, 15 g, 20 g, 25g.
7. 보통 그래프 용지 (5장).

실험 단계

1단계: 기본 동기와 정수배 진동수 측정

(2.7점)

(a) 각 갈래에 원래의 31.6 g 질량을 단 소리굽쇠의 진동과 스트로브 섬광 사이의 기본 동기를 얻으시오. 질량을 잠시 떼어 내어, 질량의 질량 중심이 점 P(갈래에 표시되어 있으나 질량에 가려 있다)에 오도록 미리 물려 있는지 확인하시오. 그 기본 섬광 진동수를 기록하시오.

(b) 섬광 진동수를 기본 진동수보다 높게 유지하면서, (31.6 g을 단) 소리굽쇠 진동수의 정지 상이 보이는 섬광 진동수 읽은 값을 될 수 있는 한 많이 찾으시오. 각각의 q/p 값을 밝히시오.

(c) q/p를 유리 분수로 두고 (q/p가 커지는 순서로) 다음과 같이 데이터를 표로 만드시오:

스트로브 읽은 값	정지 상의 수	q/p 값

관찰한 모든 스트로브 섬광 진동수를 해당하는 소리굽쇠 진동수의 배수에 대해 직선 그래프로 그리시오. 그래프의 각 데이터 점에 그 q/p 값을 적으시오.

2단계: 정수분의 일 진동수 측정 (2.3점)

(a) 스트로브 진동수를 (31.6 g을 단) 소리굽쇠의 기본 진동수보다 낮게 유지하면서, 정지 상이 보이는 모든 스트로브 진동수 읽은 값을 얻으시오.

(b) 1번 문제와 같이, 다만 q/p가 작아지는 순서로 읽은 값을 표로 만들고, 관찰한 모든 스트로브 진동수를 해당하는 (31.6 g을 단) 소리굽쇠 진동수의 정수분의 일에 대해 직선 그래프로 그리시오. 그래프의 각 데이터 점에 그 q/p 값을 적으시오.

3단계: 모르는 질량 한 쌍 X 정하기 (5점)

(a) 각 갈래에서 31.6 g 짐 질량을 떼어 내고(그러면 갈래에 표시한 점 P가 드러난다), 짐을 달지 않은 소리굽쇠의 진동수를 얻으시오.

(b) 이어서 각 갈래에 질량을 아는 m = 5 g, 10 g, 15 g, 20 g, 25 g을 차례로 달고 소리굽쇠의 진동수를 얻으시오. 어느 경우에나 짐의 질량 중심이 점 P와 일치하게 하시오. 추에 적힌 m 값은 추 자체의 질량과 그것을 무는 데 쓴 종이 집게(손잡이 둘 다 뗀 것)의 질량을 합한 전체 질량임에 주의하시오.

(c) (b)에서 얻은 데이터로 결과를 표로 만들고 m에 대한 T^2의 그래프를 그리시오. 기울기와 m축 절편을 구하시오.

(d) 질량을 아는 짐을 모르는 질량 X로 바꾸고, 이 짐에서의 진동수를 얻으시오. X를 이끌어 내시오. 여기서도 X에는 종이 집게(손잡이 둘 다 뗀 것)의 질량이 포함됨에 주의하시오.