실험 경연

2001년 6월 30일 (토)

먼저 다음을 읽으시오:

1. 실험 경연에 주어진 시간은 5시간이다.
2. 주어진 펜만 쓰시오.
3. 종이는 앞면만 쓰시오.
4. 문제의 각 부분은 새 종이에서 시작하시오.
5. 각 문제에는 자유롭게 쓸 수 있는 빈 종이 말고도 답안 양식이 있으며, 여기에 얻은 결과를 반드시 요약해야 한다. 수치 결과는 주어진 데이터에 알맞은 자릿수로 적으시오.

6. 빈 종이에는 모든 측정 결과와 문제 풀이에 필요하다고 여기는 것을 모두 적으시오. 글은 될 수 있는 한 적게 쓰고, 주로 식, 수, 그림, 그래프로 나타내시오.

7. 쓴 종이마다 맨 위 칸에 국가 번호(Country no)와 국가 코드(Country code), 학생 번호(Student No.), 문제 번호(Question No.), 각 종이의 일련번호(Page No.), 각 문제에 쓴 빈 종이의 전체 수(Total No. of pages)를 적으시오. 각 답안 종이의 맨 앞에는 답하는 문제 번호와 부분 이름을 적으시오. 채점받고 싶지 않은 메모용 빈 종이는 종이 전체에 크게 X 표를 하고 번호에 넣지 마시오.

8. 시험이 끝나면 모든 종이를 다음 순서로 정리하시오:
   - 답안 양식
   - 쓴 종이 (순서대로)
   - 채점받고 싶지 않은 종이
   - 쓰지 않은 종이와 인쇄된 문제지

종이를 봉투에 넣고 모든 것을 책상 위에 두고 나가시오. 실험에 쓴 어떤 종이나 **물건도 방 밖으로 가지고 나갈 수 없다.**

회전하는 액체

이 실험은 세 기본 부분으로 이루어진다:

1. **회전하는 액체 표면의 모양 조사와 중력 가속도 정하기,**
2. **광학계로서의 회전하는 액체 조사,**
3. **액체의 굴절률 정하기.**

액체를 채운 원통 용기가 중심을 지나는 연직축 둘레로 일정한 각속도 ω로 돌면 액체 표면은 포물면이 된다(그림 1 참고). 평형에서 점 P(x, y)에서의 표면 접선이 수평과 이루는 각 θ는 다음을 만족한다.

$$\tan\theta = \frac{\omega^2 x}{g} \qquad \text{범위: } |x| \le R \tag{1}$$

여기서 R은 용기의 반지름이고 g는 중력 가속도이다.

$\omega < \omega_{max}$(ω_{max}는 회전하는 액체의 중심이 용기 바닥에 닿는 각속도)일 때 다음이 성립함을 더 보일 수 있다.

$$x = x_0 = \frac{R}{\sqrt{2}},\ y(x_0)=h_0 \tag{2}$$

곧, 회전하는 액체의 높이는 돌지 않을 때와 같다.

회전하는 액체 표면의 모양은 다음 식으로 정의되는 포물선이다.

$$y = y_0 + \frac{x^2}{4C} \tag{3}$$

여기서 꼭짓점은 V(0, y_0)에, 초점은 F(0, y_0+C)에 있다. 대칭축(광축)에 평행한 광선이 포물면에서 반사되면 모두 점 F에 모인다(그림 1 참고).

장치

- 액체 글리세린이 든 단단한 플라스틱 원통 컵. 컵의 바닥과 옆벽에 밀리미터 눈금이 붙어 있다.

- 가변 전압 전원으로 구동되는 작은 직류 전동기로 도는 회전대. 전압으로 각속도를 조절한다.

- 투명하거나 반투명한 밀리미터 눈금을 올려놓을 수 있는 투명한 수평 화면. 화면 위치는 연직과 수평 방향으로 맞출 수 있다.

- 받침대에 달린 레이저 포인터. 포인터의 위치를 맞출 수 있고, 포인터의 머리를 바꿀 수 있다.

- 레이저 포인터의 추가 머리.
- 자.
- 형광펜.
- 스톱워치. 왼쪽 단추는 초기화, 가운데 단추는 방식 선택, 오른쪽 단추는 시간 재기 시작과 정지.
- 1 mm당 500줄 또는 1000줄인 투과 격자.
- 수준기.
- 보안경.

중요한 주의 사항

- 레이저 빛을 직접 들여다보지 마시오. 거울 같은 표면에서 반사된 **레이저 빛도 위험할 수 있다. 안전을 위해 주어진 보안경을 쓰시오.**

- 실험하는 내내 글리세린이 든 컵을 조심해서 다루시오.

- 회전대는 미리 수평으로 맞추어 두었다. 수준기는 화면을 수평으로 맞출 때만 쓰시오.

- 실험하는 내내 공기, 액체, 화면, 컵 사이의 여러 경계면에서 반사되거나 굴절된 빛 때문에 화면에 점이 여러 개 보일 것이다. 반드시 올바른 빛살로 재시오.

- 액체를 돌릴 때는 회전 속력을 천천히 바꾸고, 재기 전에 액체가 평형에 이를 때까지 충분히 기다리시오.

실험

부분 1: 회전하는 액체로 g 정하기 [7.5점]

• 식 1을 유도하시오.
• 용기 속 액체의 높이 h_0과 용기의 안지름 2R을 재시오.

● 빛의 근원과 용기 사이에 화면을 끼우시오. 화면과 회전대 사이의 거리 H를 재시오(그림 2 참고).
• 빛살이 연직 아래로 향하여, 용기 중심에서 다음 거리인 곳의 액체 표면에 닿도록 맞추시오: $x_0 = \frac{R}{\sqrt{2}}$(용기 중심에서의 거리).
• 회전대를 천천히 돌리시오. 회전하는 액체의 중심이 용기 바닥에 닿지 않게 하시오.

• $x_0 = \frac{R}{\sqrt{2}}$에서는 액체의 높이가 ω에 관계없이 원래 높이 h_0과 같다는 것이 알려져 있다. 이 사실과, 여러 ω 값에서 x_0에서의 표면 각 θ를 잰 결과를 써서 중력 가속도 g를 정하는 실험을 하시오.

• 각 ω에 대해 잰 양과 계산한 양의 표를 만드시오.
• g를 계산하는 데 필요한 그래프를 그리시오.
● g의 값과 그 실험 오차를 계산하시오.
● 2R, x_0, h_0, H 값과 g의 실험값 및 오차를 답안 양식에 옮겨 적으시오.

부분 2: 광학계

이 실험 부분에서는 회전하는 액체를 상을 맺는 광학계로 다룬다. 표면의 곡률이 회전 각속도에 따라 달라지므로, 이 광학계의 초점 거리는 ω에 따라 달라진다.

2a) 초점 거리 조사 [5.5점]

- 레이저 빛이 용기 중심을 향해 연직 아래로 가도록 레이저 포인터를 맞추시오. 빛이 화면에 닿는 점 P를 표시하시오. 그러면 이 점과 컵 중심을 잇는 선이 이 광학계의 광축이 된다(그림 2 참고).
- 액체 표면은 포물면 거울처럼 행동하므로, 광축에 평행하게 들어온 빛은 반사된 뒤 광축 위의 초점 F를 지난다.
- 회전 속력을 조절해 초점을 화면 위에 오게 하시오. 회전 각속도 ω와 화면과 회전대 사이의 거리 H를 재시오.
- H 값을 바꾸어 위 단계를 되풀이하시오.
- 2R과 h_0의 잰 값, 각 H에서의 ω 값을 답안 양식에 옮겨 적으시오.
- 데이터를 알맞은 그래프로 그려 초점 거리와 각속도 사이의 관계를 구하시오. 결과를 답안 양식에 옮겨 적으시오.

2b) "상"(화면에 보이는 것)의 분석 [3.5점]

이 실험 부분에서는 이 광학계가 만드는 "상"의 성질을 분석한다. 이를 위해 아래 단계를 따르시오.

- 레이저 포인터의 머리를 시계 반대 방향으로 돌려 떼어 내시오.
- 새 머리(봉투에 들어 있다)를 시계 방향으로 돌려 끼우시오. 이제 레이저는 가는 빛살 대신 모양이 뚜렷한 무늬를 만든다.
- 빛살이 컵의 중심 부근에 거의 수직으로 닿도록 레이저 포인터의 위치를 맞추시오.
- 컵 가까이 놓인 수평 화면 위에 반투명 종이를 놓되, 레이저 빛은 종이를 지나지 않고 반사된 빛만 지나도록 하시오.
- 액체가 돌지 않을 때 광원 빛살과 액체에서 반사된 빛살이 만드는 "상"의 크기와 방향을 관찰하시오.
- 화면을 보면서 액체를 돌리기 시작해 회전 속력을 도달할 수 있는 최대 속력까지 천천히 높이시오. ω가 커지면서 "상"의 성질이 크게 달라지는 여러 진동수 범위가 보일 것이다. 이 관찰을 나타내도록, 그런 진동수 범위마다 답안 양식의 표에 줄을 하나씩 더하고 그 쪽에 설명된 알맞은 표기로 채우시오.

부분 3: 굴절률 [3.5점]

이 실험 부분에서는 격자를 써서 주어진 액체의 굴절률을 정한다. 파장 λ인 단색광이 회절격자에 수직으로 들어가면, 회절 무늬의 극대는 다음 식으로 주어지는 각 α_m에서 관찰된다.

$$m\lambda = d \sin \alpha_m \qquad (4)$$

여기서 m은 회절 차수이고 d는 격자 줄 사이의 거리이다. 이 실험 부분에서는 회절격자를 써서 레이저 빛의 파장과 액체의 굴절률을 정한다 (그림 3 참고).

- 격자로 레이저 포인터의 파장을 정하시오. 결과를 답안 양식에 옮겨 **적으시오.**
- 격자를 컵 중심에서 액체 속에 수직으로 담그시오.
- 레이저 빛이 컵의 옆벽에서 액체로 들어가 격자에 수직으로 닿도록 정렬하시오. 반대쪽 컵에 붙인 밀리미터
- 눈금에 생기는 회절 무늬를 관찰하시오. 필요한 거리를 재시오.

- 측정으로 액체의 굴절률 n을 계산하시오. (빛의 경로에 대한 플라스틱 컵의 효과는 무시하시오.) 실험 결과를 답안 양식에 옮겨 적으시오.
-

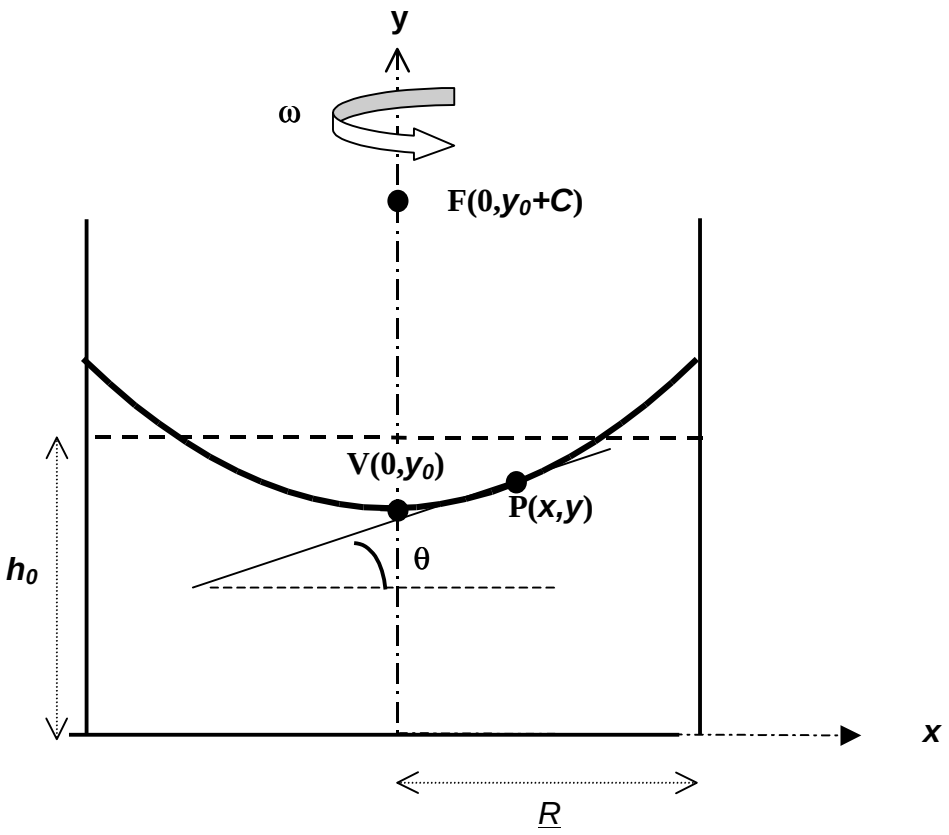


그림 1. 처음 높이 h_0, 반지름 R인 액체를 y축 둘레로 일정한 각속도 ω로 돌려 생긴 포물면에서, 점 P(x,y)에서의 경사각 θ, 꼭짓점 V, 초점 F의 정의.

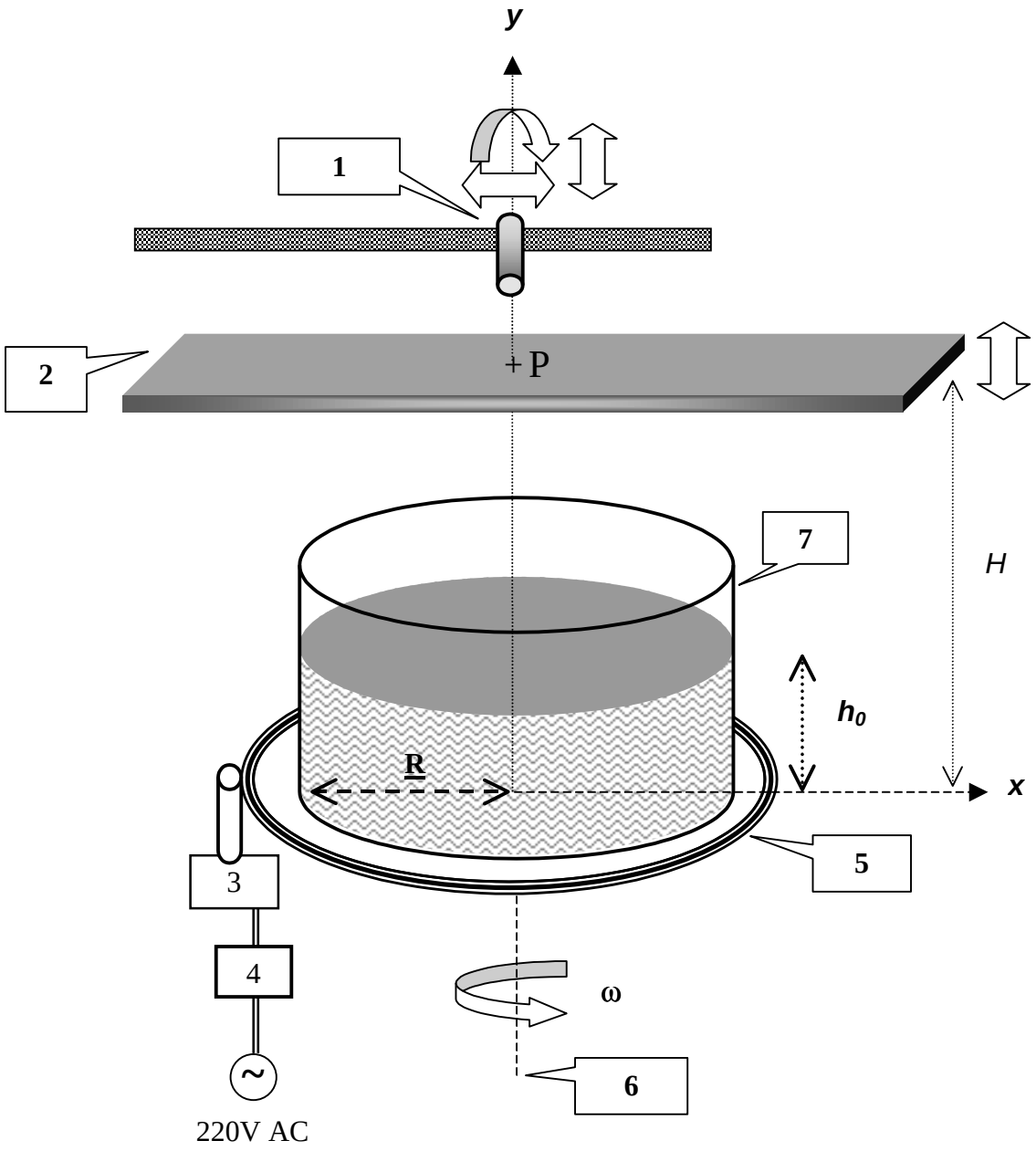


그림 2 부분 1과 2의 실험 장치.

1. 받침대 위의 레이저 포인터, 2. 투명 화면, 3. 전동기, 4. 전동기 조절기, 5. 회전대, 6. 회전축, 7. 원통 용기.

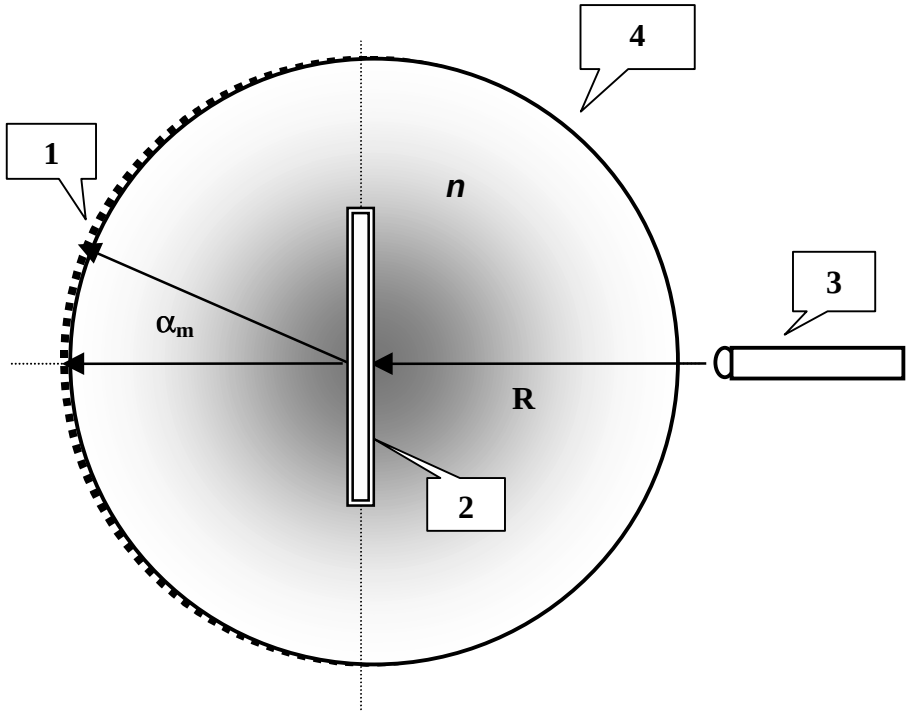


그림 3 액체 속 격자 실험을 위에서 본 그림.

1. 눈금 붙은 옆벽, 2. 받침 위의 격자, 3. 레이저 포인터, 4. 원통 용기.

국가 번호	국가 코드	학생 번호	문제 번호	쪽 번호	전체 쪽수

답안 양식

1) 회전하는 액체로 g 정하기

2R	x_0	h_0	*H*

g의 실험값:

2a) 초점 거리 조사

2R	h_0

H	ω

초점 거리와 ω 사이의 관계:

국가 번호	국가 코드	학생 번호	문제 번호	쪽 번호	전체 쪽수

2b) "상"의 분석

반사된 빛 때문에 화면에 보이는 것을 아래에 설명한 알맞은 표기로 나타내시오

ω 범위: 진동수 범위는 대략의 값만 필요하다.

방향 (투명 화면에서 본 물체 빛살과 비교하여):
뒤집힘 : **INV**
바로 섬 : **ER**

ω가 커질 때 크기의 변화:
커짐 : **I**
작아짐 : **D**
변화 없음 : **NC**

위에서 찾은 진동수 범위들에 대해:

화면이 초점보다 위에 있으면 "R"을 쓰시오.
화면이 초점보다 아래에 있으면 "V"를 쓰시오.

ω 범위	**방향**	**크기의 변화**	**"상"**
ω=0			

3) 굴절률

파장 =

n의 실험값 =