제11회 이베로아메리카 물리 올림피아드

코임브라, 브라질. 9월 23~30일, 2006-11-03

실험 1: 와인용 비중계

(10점)

목적

액체의 밀도를 서로 다른 두 가지 방법,
즉 정적 방법과 동적 방법으로 구한다.

서론

잘 알려진 전설에 따르면 시라쿠사의 히에론 왕은 아르키메데스에게
어떤 왕관이 순금으로 만들어졌는지 알아보라고 요청하였다.
아르키메데스는 왕관을 훼손하지 않고 답을 알아냈다.
그는 이를 생각하다가 부력의 법칙을 발견하였다.
그가 시라쿠사 거리를 달리며 "유레카! …
유레카!"("알아냈다! … 알아냈다!")라고 외쳤다는 이야기는 유명하다.

포르투갈은 훌륭한 와인을 생산하는 나라이다. 포도즙의 알코올 도수를 구할 때는
보통 아르키메데스 원리를 이용하는 *와인용 비중계*를 사용한다.

준비물

- 밀도를 모르는 액체가 담긴 큰 용기
- 큰 시험관
- 납 구슬
- 버니어 캘리퍼스
- 초시계
- 모눈종이
- 가위
- 저울(공동 사용)

주어진 값
중력 가속도: $g = (9{,}81 \pm 0{,}01)\ \mathrm{m/s^2}$ 납 구슬 하나의 질량: $m_{\mathrm{Pb}} = (0{,}88 \pm 0{,}01)\ \mathrm{g}$

주의 사항:

1 - 납 구슬을 시험관에 넣을 때 수직으로 떨어뜨리지 마시오. 시험관이 깨질 수 있다.

2 - 납은 삼키면 유독하다.
3 - 시험관 안으로 액체가 들어가지 않게 하시오!
4 - 저울은 질서를 지켜 사용하고, 다른 참가자와 대화하거나 방해를 일으키지 마시오.

측정 및 분석

A) 정적 방법:

1 - 빈 시험관의 질량을 측정하여라. 시험관이 수직으로 뜨기에
충분한 수의 납 구슬을 넣고, 넣은 구슬의 수를
기록하여라.

2 – 납 구슬을 추가하며 시험관이 잠기는 깊이(h)를
추가한 구슬 수(n)의 함수로 측정하여라.

3 - 모눈종이에 추가한 질량에 따른
잠기는 깊이의 그래프를 그려라.

4 - 측정 자료에서 액체의 밀도를 구하고,
그 실험 오차를 추정하여라.

B) 동적 방법:

바닥에 상당량의 납이 든 원통형 시험관이 수직으로 뜨고,
그 일부가 액체 밖으로 나와 있다고 하자. 이후에는
시험관이 원통형이라고 가정하여도 된다.

5 - 시험관을 평형 위치에서 수직으로 움직인 뒤 놓으면

단순 조화 운동을 하며, 그 주기가
다음 식으로 주어짐을 보여라.

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{M_{\text{total}}}{A\rho_{\text{L}}g}}$$

여기서 M_{total}은 시험관과 납의 전체 질량, A는 액면 높이에서의 단면적,
ρ_{L}는 액체의 밀도, g는 중력 가속도이다.
마찰력은 무시하여라.

6 - 시험관과 납으로 이루어진 계의 수직 진동 주기를
측정하여라. 전체 질량 M_{total}은 자유롭게 정하여도 된다. 선택한 질량 M_{total}과
측정한 주기 T를 각각의 오차와 함께 제시하여라.

7 - 측정 자료로 액체의 밀도를 구하고, 앞서 정적 방법으로
구한 밀도와 비교하여라. 두 방법으로 얻은
밀도가 서로 다를 경우 이를 설명할 수 있는
물리적 이유를 하나 이상 제시하여라.

실험 2: 발광 다이오드(LED)와 플랑크 상수 (10점)

목적

이 실험의 목적은 다음과 같다. • LED가 내는 빛의 파장 측정 • 플랑크 상수 결정

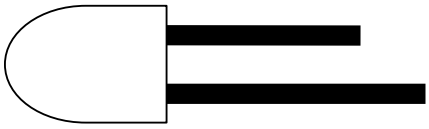
서론 발광 다이오드(LED (*Light Emitting Diode*))는 전류가 흐를 때 빛을 낸다. 다이오드를 이루는 반도체의 *n*형과 *p*형 영역 접합부에서 전자가 서로 다른 에너지 상태 사이를 전이하며 빛을 방출한다. 두 상태의 에너지 차이는 반도체 물질의 성질이다. 다이오드에 흐르는 전류는 순방향 바이어스일 때만 유의미하게 커진다. 이때 관습적 전류는 전위가 높은 *p*형 영역에서 낮은 *n*형 영역으로 흐르며 빛이 방출된다. 순방향으로 전위차(전압) *V*를 가하면 전자가 띠틈을 건너는 데 일 *W*가 필요하다. 이 일의 대부분은 방출 광자의 에너지로 전환된다. 다만 줄열과 접합부의 과정에 따른 작은 에너지 손실이 있다. 같은 종류의 LED에 **같은 전류가 흐르면** 이 손실은 거의 일정하다. 따라서,

$$W = E_{\mathrm{f}} + k \ ,$$

여기서 E_{f}는 방출된 광자의 에너지이고, k는 다른 에너지 손실을 나타내는 상수이다.

LED가 내는 빛은 거의 단색광이다. 반도체의 화학 조성을 바꾸면 다른 색의 빛을 내는 LED를 만들 수 있다. 흔한 LED는 갈륨, 비소, 알루미늄의 합금으로 만들어진다. 갈륨과 알루미늄의 비율을 바꾸면 가시광선과 적외선 영역에서 서로 다른 파장의 빛을 낼 수 있다.

시판 LED는 반도체가 플라스틱 안에 들어 있고 단자가 두 개이며, 긴 단자가 양극(*p*형 쪽)이다.



회절격자로 LED가 내는 빛의 파장 λ 를 구할 수 있다. 회절광의 세기가 최대인 각 θ_{n}은

격자 선 간격이 d일 때 다음 식을 만족한다.

$$d \sin \theta_n = n\lambda \qquad n\text{: 정수}$$

준비물

- 눈금자 • 흰 종이 • 받침대에 장착된 같은 종류의 LED 세트 • 9 V 전지 • 연결 전선과 악어 집게 • 가변저항(470 Ω) • 저항(220 Ω) • 저항(11,4 kΩ) • 멀티미터 2개 • 받침대에 장착된 회절격자(1000선/mm) • 모눈종이

주어진 값:
기본 전하량: $e = 1{,}602 \times 10^{-19}$ C
진공 중 빛의 속력: $c = 2{,}998 \times 10^{8}$ m s^{-1}
볼츠만 상수: $k_B = 1{,}381 \times 10^{-23}$ J K^{-1}

주의 사항:

1- LED가 손상될 수 있으므로 전류가 절대로 50 mA를 넘지 않게 하시오. LED를 보호하기 위해 220 Ω 저항은 **항상 LED와 직렬로 연결되어 있어야 한다**.

2- 멀티미터를 전류계나 전압계로 올바르게 사용하도록 측정 범위에 주의하시오. 잘못 사용하면 내부 퓨즈가 끊어져 실험 진행에 지장을 줄 수 있다.

안내

1 - 가변저항에는 단자가 3개 있다. 가운데 단자와 한쪽 끝 사이의 전압을 0에서 전지의 최대 전압까지 바꿀 수 있다.

2 - 제공된 LED의 특성은 다음과 같다.

표 1:

LED	λ / nm
파랑	470
초록	??
빨강	630
적외선	950

측정 및 분석 **A)** LED의 전기적 특성:

빨간 LED의 특성 곡선, 즉 LED에 흐르는 전류 I와 두 단자 사이 전압 V의 관계를 구한다.

1 - 빨간 LED에 가변 순방향 전압을 가할 수 있는 회로를 구성하여라. 측정 기기를 포함한 회로도를 제시하여라.

2 - 안전 한계를 지키면서 빨간 LED의 특성 곡선을 구하여라.

3 - 전류와 전압 사이의 *이론적* 관계는 다음과 같다.

$$I = I_0 \left(\mathrm{e}^{\frac{eV}{\eta k_\mathrm{B} T}} - 1 \right) \approx I_0 \, \mathrm{e}^{\frac{eV}{\eta k_\mathrm{B} T}}$$

여기서 I_0와 η 는 각 LED의 특성 상수, e는 기본 전하량, k_B는 볼츠만 상수, T는 주위 온도이다(T = 293 K로 놓아라).′이 근사식은 V > 50 mV에서만 유효하다.′전압이 일정 값보다 높아지면 내부 저항 때문에 실제 특성이 이 식에서 벗어난다. 빨간 LED의 η 와 I_0를 구하여라.

4 – LED들을 서로 직렬로 연결하고 11,4 kΩ 저항도 직렬로 연결한 뒤 9 V를 가하여라. LED 사이는 악어 집게로 연결하여도 된다. 회로의 전류를 제시하고 각 LED 양단의 전압 V를 표로 기록하여라.

B) 초록 LED의 파장 결정:

5 - 초록 LED 앞에 회절격자 받침대를 놓고, 정면 방향의 양옆에 밝은 극대가 나타나는지 눈으로 확인하여라. 흰 종이에

회절 무늬를 비추어 초록 LED가 내는 빛의 파장을 구하여라. 실험 방법, 측정값, 계산 과정 및 오차를 포함한 결과를 제시하여라.

C) 플랑크 상수 h의 결정:

6 - 표 1과 A, B에서 얻은 결과를 사용하여 플랑크 상수 h를 구하는 데 적절한 그래프를 모눈종이에 그려라.

7 - 그래프에서 플랑크 상수를 구하여라. 매우 정밀한 방법으로 구한 이 상수의 값은

$$h = 6{,}626 \times 10^{-34}\ \text{J s.})$$