Experiment

Q1-1

Korean (Korea (Republic of))

질량 측정 (10점)

이 실험 문제에서는 질량을 측정한다. 나아가 조화진동자의 공명 특성을 이용하여 질량을 측정한다.

아래는 부품 목록이다(그림 1). 부품이 둘 이상인 경우에만 개수를 [ ] 안에 적었다.

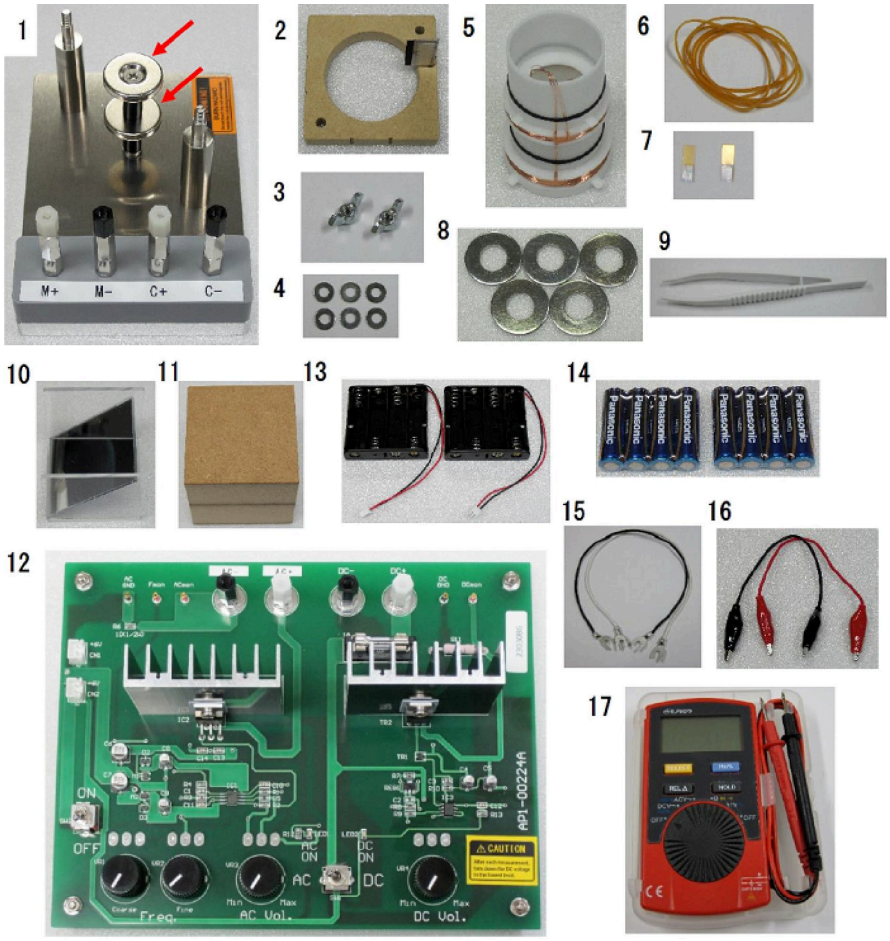


그림 1: 실험 장치 일습.

1. 받침대:
   주의: 받침대의 자석 장치는 자석 쌍의 중심 부근에서 높이 ±3 mm 이내로 높이에 무관한 균일한 지름 방향 자기장을 만든다.
2. (진동자) 지지대
3. 나비나사 [2]:
   주의: 받은 상태의 포장에서 2와 3을 1에서 떼어 내어 사용한다.
4. 심(와셔) [6]
5. 원통형 진동자
6. 고무줄 [6]
7. 표지 [2]
8. 추 [5]
9. 핀셋

10. 거울
11. 받침 블록
12. 전원 공급기(PS):
    DC 또는 AC 모드를 토글로 켠다.
    DC 모드에서는 정전류원으로 작동한다. "DC Vol"이라고 적힌 손잡이를 돌려 전류를 조절한다. 전류의 크기는 "DCmon"과 "DC GND" 사이의 전압에 환산 계수 1.00 A/V를 곱해 얻는다.
    AC 모드에서는 진폭이 고정된 전압원으로 작동한다. "AC Vol"을 돌려 전압을 조절한다. AC 전류는 "ACmon"과 "AC GND" 사이의 AC 전압에 환산 계수 0.106 A/V를 곱해 얻는다. 주파수(Freq.)는 "Coarse"와 "Fine" 조절 손잡이로 맞출 수 있다.
13. 건전지 홀더 [2]
14. 건전지 [8]
15. U자형 압착 단자선 [2]
16. 악어클립선 [2]
17. 디지털 멀티미터(DMM):
    손잡이를 돌려 "DCV", "ACV", "Hz" 중 알맞은 측정 모드를 고른다. 표시되는 AC 전압 값은 제곱평균제곱근(RMS) 값, 즉 실효값임에 유의하라.

계의 모형화

그림 2는 실험 장치를 단순화한 모형이다. 본질적으로 강제 진동을 받는 용수철-질량 진동자이다.

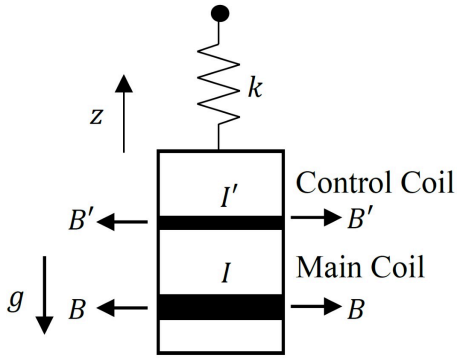


그림 2: 조화진동자 모형.

관련된 매개변수는 다음과 같다.

- M: (원통형) 진동자의 질량
- m: 추 하나의 질량
- N: 추의 개수
- g: 중력가속도
- k: 연직 운동에 관계된 유효 용수철 상수
- z: 진동자의 높이(또는 변위)
- z_e: 중력과 전자기력이 없을 때 힘의 균형이 이루어지는 진동자의 높이
- $B\,(B')$: 주 코일(제어 코일)에 걸리는 자기장
- $L\,(L')$: 주 코일(제어 코일) 도선의 길이
- $I\,(I')$: 주 코일(제어 코일)에 흐르는 전류
- α: 항력의 양의 계수

운동 방정식은 다음과 같이 주어진다.

$$(M+Nm)\frac{d^2z}{dt^2} = -(M+Nm)g - k(z-z_e) + BLI + B'L'I' - \alpha\frac{dz}{dt}. \qquad (1)$$

진동자의 설치

1. 받침대에서 지지대를 떼어 낸다. 고무줄 네 개를 격자 모양으로 지지대에 감는다(그림 3(a) 참조).
2. 원통형 진동자를 눈금 쪽에서 교차한 고무줄 사이의 사각 구멍에 넣는다. 도선 끝은 눈금의 반대쪽에 둔다(그림 3(b)).
3. 진동자는 고무줄 네 개와 작은 갈고리 여덟 개(그림 3(c)의 빨간 동그라미)로 지지대에 걸리도록 설계되어 있다. 제대로 설치하면 옆에서 볼 때 고무줄 고리 하나가 지지대 높이 위아래로 갈고리 두 개씩을 가지는 잘린 마름모를 이룬다.
   주의: 이 실험에서 고무줄에 의한 유효 힘은 훅의 법칙을 따른다고 가정해도 된다.
4. 나비나사 두 개로 지지대를 기둥에 대각선으로 다시 고정한다. 눈금은 단자 기둥의 옆이 아니라 위쪽에 똑바로 서 있어야 한다(그림 3(d)).
5. 진동자를 똑바로 세운다. 그 축은 연직으로 정렬되어 자석 장치와 축을 공유해야 한다.
6. 정지 상태에서 주 코일은 두 자석의 가운데 부근에 있어야 하며, 이는 아래쪽 자석의 윗면과 진동자의 아랫면 사이 거리가 3–5 mm임으로 확인할 수 있다(그림 3(e) 빨간 화살표). 낮으면 단자 기둥과 지지대 사이에 심을 넣는다(그림 3(f) 빨간 화살표). 높으면 자석의 기둥을 돌려 빼내고 기둥 아래에 심을 넣는다(그림 3(f) 노란 화살표).
7. 표지의 양면테이프 접착면을 드러낸다(그림 4(a)). 높이를 측정할 수 있도록 표지를 진동자의 작은 돌출 선반에 붙인다(그림 4(b)).
8. 거울을 받침 블록 위에 올린다(그림 4(c)). 거울을 통해 위에서 표지가 잘 보이도록 한다(그림 4(d) 빨간 동그라미).

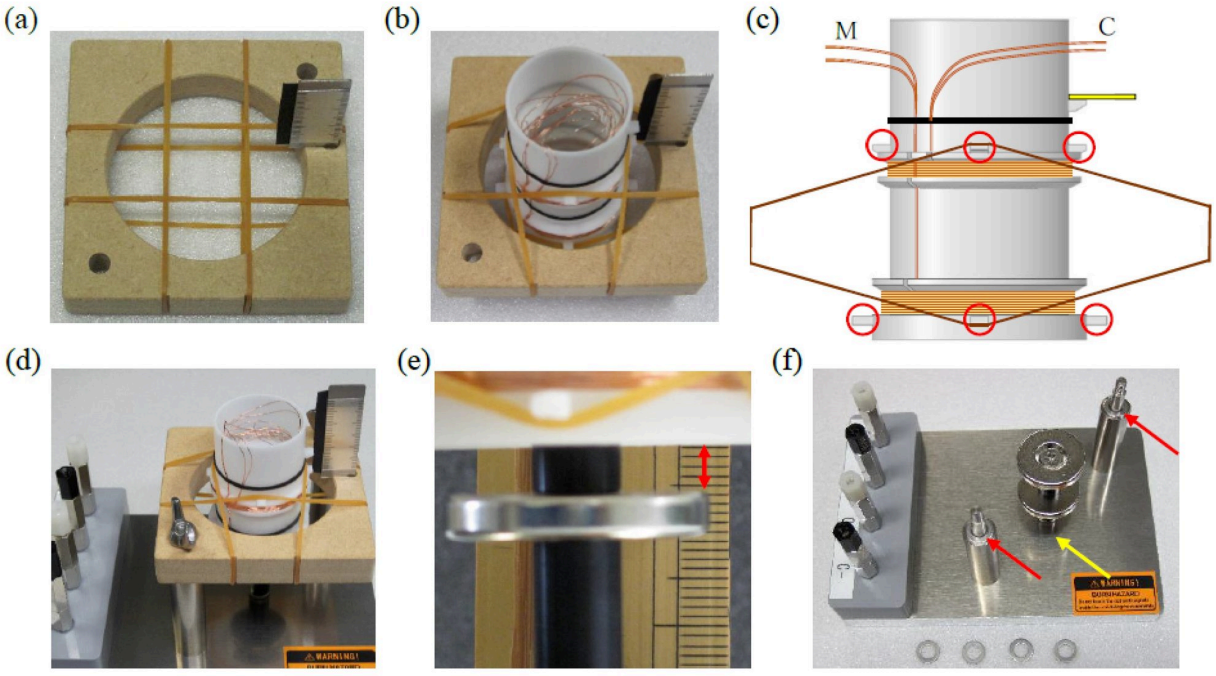


그림 3: 진동자의 설치.

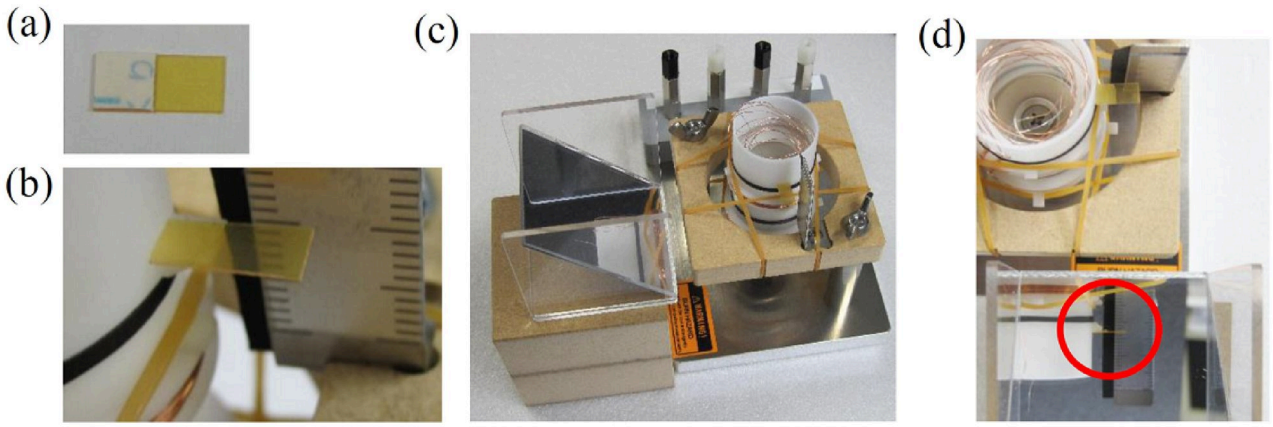


그림 4: 표지와 거울의 설치.

배선

1. 진동자 안쪽(그림 3(b))에서 주 코일(M)과 제어 코일(C)로 이어지는 올바른 도선 쌍을 찾아 살살 당긴다(그림 3(c)). 풀린 끝에서 에나멜이 벗겨져 있는지 확인한다.
2. 단자 기둥 M+와 M-의 나사를 풀어 틈을 만든다. 배선에는 아래쪽 틈을 사용한다(그림 5(a), (b)). 극성 확인은 곧 이어진다.
3. C+와 C-라고 적힌 단자 기둥도 같은 방식으로 배선한다(극성은 어느 쪽이든 무방하다).
4. 건전지를 홀더에 넣고 PS(CN1, CN2)와의 연결을 확실히 한다(그림 5(c)).
5. U자형 압착 단자선으로 단자 기둥 M+와 M-를 PS의 DC 출력(DC+와 DC-)에 연결한다.
6. DC를 토글로 켜고 PS의 전원을 넣는다.
7. "DC Vol." 손잡이를 돌려 전류를 조절한다. 진동자가 2 mm 이상 위로 움직이는지 확인한다. 아래로 움직이면 도선을 바꾸어 극성을 뒤집고 다시 시도한다.
   주의: 뜨거운 부품. 코일과 자석에 주의하라. 각 단계가 끝날 때마다 DC 출력을 최소로 낮춰 두라.

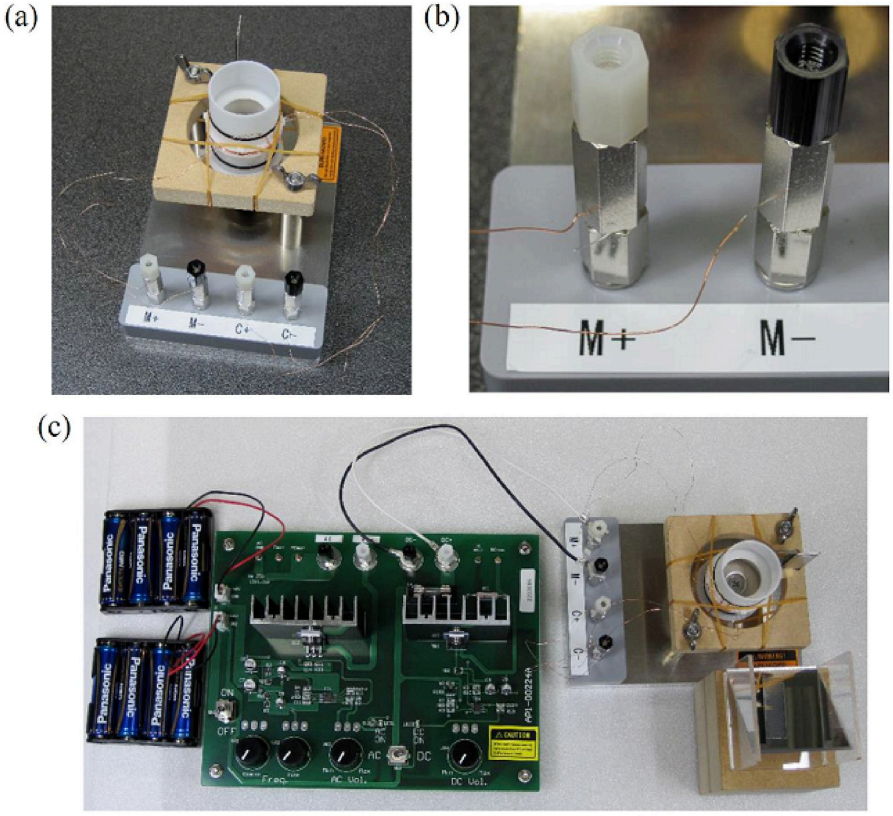


그림 5: (a), (b) 배선된 단자 기둥, (c) PS와 건전지를 포함해 전부 배선한 모습.

진동자 시험

1. 압착 단자선으로 M+, M- 단자 기둥을 AC 출력(AC+와 AC-)에 연결한다.
2. AC를 토글로 켜고 PS의 전원을 넣는다.
3. "AC Vol." 손잡이를 최소에서 시작해 4분의 1바퀴까지 시계 방향으로 돌린다. "Coarse" 조절 손잡이로 주파수를 맞추어 진동을 시작시킨다.
4. AC 출력 전압과 주파수를 조절하여 진폭이 약 $A = 3\ \mathrm{mm}$ 가 되게 한다(그림 6). 진동이 불안정하면 진동자 설정을 알맞게 조정한다.
5. M+와 M-를 떼어 내고 C+, C- 단자 기둥을 AC 출력에 연결한다.
6. PS의 전원을 넣어 다시 진동을 시작시킨다.

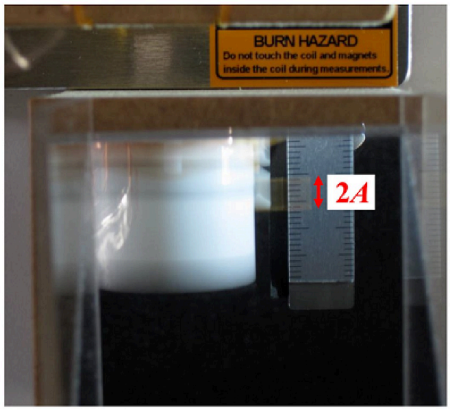


그림 6: 거울을 통해 본 진동의 모습.

파트 A. 훅의 법칙과 전자기력 (2.4점)

A.1	같은 원판형 자석 두 개의 N극을 마주 보게 두었을 때 만들어지는 자기력선을 답안지에 그려라.	0.4pt

A.2	M+와 M- 기둥을 DC 출력에 연결하라. 악어클립선으로 DMM을 단자에 연결하여 DC 전류를 읽어라(그림 7). 추가 없을 때($N = 0$) DC 전류가 0인 상태에서 진동자의 높이 z를 읽어라. 이를 표 A.2에 기록하라. 원통 안쪽 벽에서 튀어나온 원형 선반에 추 하나($N = 1$)를 올리고 진동자가 멈추는 높이 z를 기록하라. 진동자를 추가 없을 때의 자리로 되돌리려면 주 코일에 흐르게 해야 하는 DC 전류 I는 얼마인가? N을 5까지 늘려 가며 측정을 반복하여 표 A.2를 채워라.	0.6pt

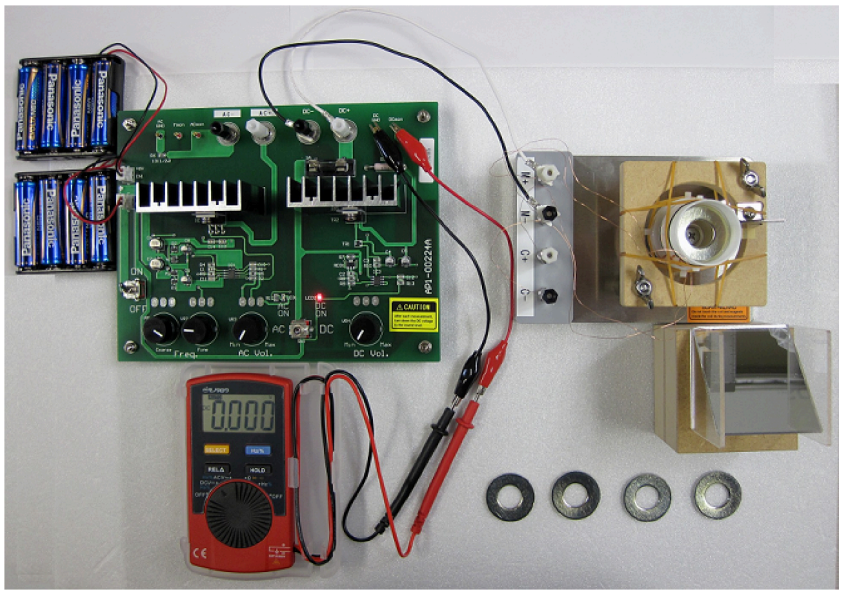


그림 7: DMM의 시험 리드를 연결한 모습. 오른쪽은 추를 올린 진동자.

A.3	추의 개수 N 과 높이 z 의 관계를 나타내는 그래프를 그려라. 그래프로부터 기울기 $a = \dfrac{\Delta z}{\Delta N}$ 와 그 불확도를 구하라.	0.7pt

A.4	추의 개수 N 과 전류 I 의 관계를 나타내는 그래프를 그려라. 그래프로부터 $b = \dfrac{I}{N}$ 로 정의되는 b 의 값과 그 불확도를 구하라.	0.7pt

파트 B. 유도 기전력 (3.0점)

B.1	추가 없는 상태에서 주파수 f 의 AC 전류를 제어 코일에 흘린다고 하자. 진동자의 높이가 시간에 따라 사인꼴로 $$z - z_0 = A\sin(2\pi f t) \qquad (2)$$ 와 같이 변한다고 할 때(여기서 z_0 는 힘이 균형을 이루는 높이이고 A 는 진동의 진폭이다), 주 코일에 유도되는 기전력의 진폭 V 에 대한 식을 써라.	0.2pt

B.2	C+와 C- 기둥을 AC 출력에 연결하라. 주파수를 읽기 위해 DMM을 "Fmon"과 "AC GND"에 연결하라. AC 주파수와 출력 전압을 모두 조절하여 알맞은 진폭의 안정한 진동을 만들어라. 주파수 f_B 를 측정하여 답안지에 기록하라. DMM을 단자 기둥 M+, M-에 연결하라. 주파수를 고정한 채 출력 전압을 바꾸어 가며 진동의 진폭 A 와 주 코일에 유도된 AC 전압 V' $(V' = V/\sqrt{2})$ 를 측정하라. 표 B.2를 알맞게 채워라.	0.5pt

B.3	진폭 A 와 전압 V' 의 관계를 나타내는 그래프를 그려라. 그래프로부터 $c = \dfrac{V'}{A}$ 로 정의되는 c 의 값과 그 불확도를 구하라.	0.7pt

B.4	B.3의 결과를 이용하여 BL 과 그 불확도를 계산하라.	0.4pt

B.5	A.3, A.4, B.4의 결과를 이용하여 m 과 k 의 값을 계산하고 그 불확도를 구하라. 필요한 곳에는 중력가속도 $g = 9.80\ \mathrm{m/s^2}$ 을 사용하라.	1.2pt

파트 C. 질량에 따른 공명 진동수 (2.3점)

다음 실험에서는 주 코일을 사용해 진동자를 구동한다. 연결을 그에 맞게 바꿔라.

C.1	추 N 개를 올린 진동자의 공명 진동수 f 에 대한 식을 써라. 운동 중의 용수철 상수 k' 을 사용하라. 이는 k 와 다르다.	0.2pt

C.2	주 코일에 AC 전원을 연결하여 진동자를 구동하라. 추의 개수를 $N = 0$ 부터 5까지 바꾸어 가며 공명 진동수 f 를 측정하고 그 값을 표 C.2에 적어라. 추가 튀지 않도록 하라.	0.5pt

C.3	C.2의 결과를 이용해 그래프를 그려 $\frac{M}{k'}$ 과 $\frac{m}{k'}$ 을 구하라. 구한 값을 답안지에 적어라. 추가로 계산해야 할 물리량이 있으면 표 C.2의 빈칸에 적어라.	1.0pt

C.4	$\frac{M}{m}$ 의 값은 얼마인가? B.5의 결과를 이용하여 M 과 k' 을 계산하라.	0.6pt

파트 D. 공명 특성 (2.3점)

진폭 F_{AC}, 진동수 f 의 주기적인 힘이 추가 없는 진동자에 작용할 때, 진동의 진폭 A 는 다음과 같은 공명 특성으로 잘 기술된다.

$$A(f) = \frac{F_{AC}}{8\pi^2 M f_0} \cdot \frac{1}{\sqrt{(f - f_0)^2 + (\Delta f)^2}}. \qquad (3)$$

여기서 $\Delta f = \frac{\alpha}{4\pi M}$ 이다. 이 식은 $|f - f_0| \ll f_0$ 가 성립하는 진동수 범위에서만 유효하다.

이 파트에서는 식 (3)이 항상 유효하다고 가정하고, 공명 특성을 이용하여 진동자의 질량 M 을 구한다.

D.1	주 코일에 AC 전원을 연결하여 진동자를 구동하라. 주파수와 출력 전압을 조절하여 알맞은 진폭의 공명을 만들어라. "ACmon"과 "AC GND" 사이의 AC 전압 V'_{AC} 를 답안지에 기록하라. B.4의 결과와 환산 계수 0.106 A/V를 이용하여 진동자에 작용하는 주기적인 전자기력의 진폭 F_{AC} 를 계산하라.	0.4pt

D.2	주파수 f 를 바꾸어 가며 진동의 진폭 A 를 표 D.2에 기록하라. 측정하는 동안 작용하는 힘의 진폭 F_{AC} 는 일정하게 유지해야 한다. 주파수 f 와 진폭 A 의 관계를 나타내는 그래프를 그려라.	0.9pt

D.3	D.1과 D.2의 결과를 이용하여 M 을 구하라.	1.0pt