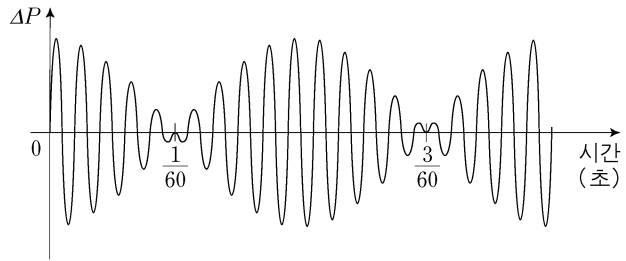


3. 그림은 압력 변화가 사인과 형태인 두 음파가 같은 세기로 관측점에 도달할 때 측정된 압력 변화 ΔP 를 시간에 따라 나타낸 것이다.

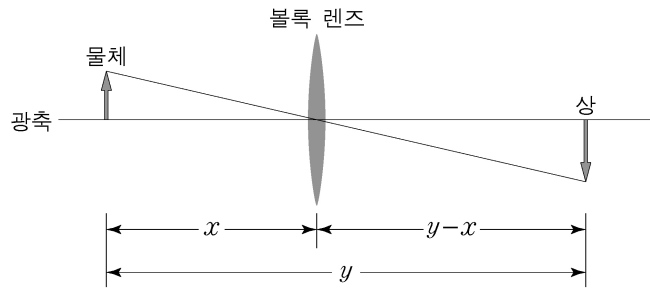


맥놀이 진동수 f_b 를 쓰고, 두 음파의 진동수를 구하시오.

(단, $\sin A + \sin B = 2\sin\left(\frac{A+B}{2}\right)\cos\left(\frac{A-B}{2}\right)$ 이다.) [2점]

4. 대기 중에서 ^{12}C 원자 개수에 대한 ^{14}C 원자 개수의 비율은 1.3×10^{-12} 이며, 이 비율은 지난 6만여 년 동안 일정하게 유지되고 있다. 살아 있는 생명체에서는 이 비율이 변하지 않으나 죽은 후에는 ^{14}C 의 핵붕괴에 의해 비율이 점차 줄어들게 된다. 어떤 죽은 동물의 뼈에서 ^{12}C 원자 개수 N_1 에 대한 ^{14}C 원자 개수 N_2 의 비율이 $\frac{N_2}{N_1} = 2.6 \times 10^{-13}$ 으로 측정되었다. ^{14}C 의 반감기는 5730년이고, 핵붕괴 식은 $N(t) = N_0 e^{-\lambda t}$ 이다. ^{14}C 의 붕괴 상수 λ 를 구하고, 이 동물이 측정 시점으로부터 몇 년 전에 죽었는지를 구하시오. (단, ^{12}C 는 새로 생성되거나 소멸되지 않는다고 가정하며, 로그 값은 계산하지 않는다.) [2점]

5. 그림은 공기 중에 놓인, 초점거리 f 인 얇은 볼록 렌즈의 중심으로부터 x 만큼 떨어진 위치에 수직으로 세워진 선형 물체의 도립 실상이 렌즈의 오른쪽에 맺힌 것을 나타낸 것이다.



물체에서 상까지의 거리를 y 라 할 때, 물체의 위치를 변화시키면서 선명한 상을 맺기 위한 물체에서 상까지의 최소 거리 y_m 을 f 로 나타내고, $y = y_m$ 일 때 맺힌 상의 횡배율 m 을 구하시오. (단, 횡배율은 상의 크기를 물체의 크기로 나눈 값이고, 모든 광선은 근축광선이다.) [2점]

6. 양(+) z 축 방향으로 진행하는 전자기파의 전기장이

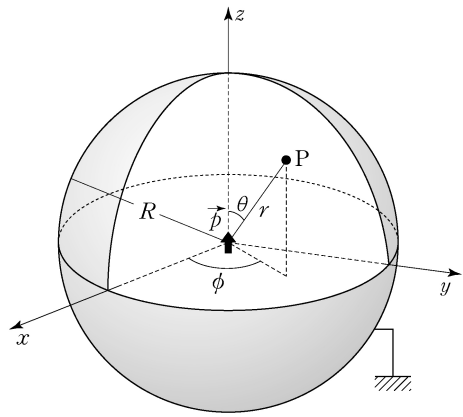
$$\vec{E}(z, t) = (E_0 \hat{x} + iE_0 \hat{y})e^{i(kz - \omega t)}$$

일 때, 이 전자기파의 편광 상태(종류와 방향)를 쓰시오. (단, E_0 은 실수인 상수이고, $e^{i\theta} = \cos\theta + i\sin\theta$ 이다.) [2점]

7. 그림은 접지되어 있고 반지름 R 인 얇은 도체 구 껍질의 중심에 전기 쌍극자 모멘트 $\vec{p} = qd\hat{z} = p\hat{z}$ (d 는 쌍극자의 두 전하 사이의 거리)인 쌍극자 한 개가 놓여 있는 것을 나타낸 것이다. 구 껍질 중심에 좌표계의 원점을 둘 때, 구 껍질 내부의 전위는 르장드르 다항식 $P_l(\cos\theta)$ 를 포함하는 다음의 함수 형태로 표현된다.

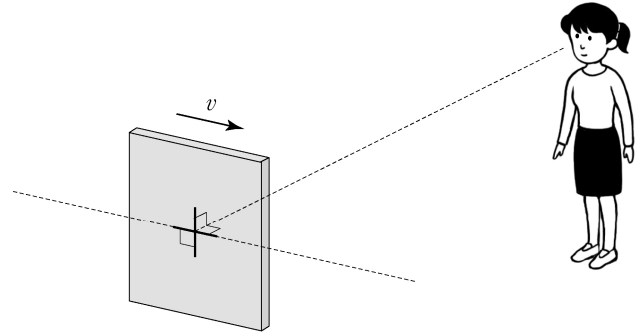
$$\varphi(r, \theta) = \sum_{l=0}^{\infty} A_l r^l P_l(\cos\theta) + \frac{p \cos\theta}{4\pi\epsilon_0 r^2}$$

여기서 A_l 은 상수, $P_0(\cos\theta) = 1$, $P_1(\cos\theta) = \cos\theta$, $P_2(\cos\theta) = \frac{1}{2}(3\cos^2\theta - 1)$, ... 이다.



이를 이용하여 $d \ll r < R$ 인 구 껍질 내부의 한 점 P에서의 전위 $\varphi(r, \theta)$ 를 구하시오. [2점]

8. 그림은 정지 질량이 m_0 이고, 한 변의 고유 길이가 d_0 인 수직으로 세워진 정사각형 판이 정지한 관측자 앞을 v 의 속력으로 지나가는 것을 나타낸 것이다.



$v = \frac{\sqrt{3}}{2}c$ 일 때, 관측자가 측정한 판의 면적과 운동 에너지를 각각 구하시오. (단, c 는 광속이다.) [2점]

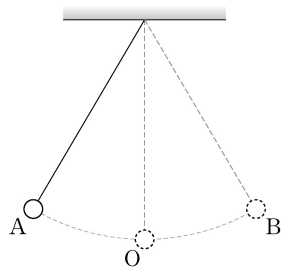
9. 다음은 단진자에 작용하는 힘에 대한 이해 수준을 평가하기 위한 [평가 목표], [평가 문항], [모범 답안] 및 [평가 기준표]이다.

[평가 목표]

단진자에 작용하는 힘의 상대적인 크기와 방향을 설명할 수 있다.

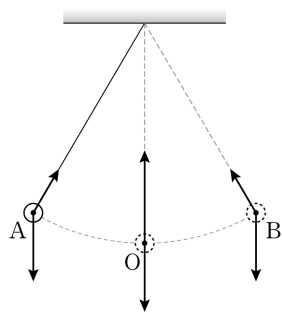
[평가 문항]

그림과 같이 실에 추를 매달아 옆으로 당겼다가 가만히 놓았더니 추가 A, B 사이를 단진동하였다. A, B는 각각 단진동에서의 최고점이고 O는 최저점이다.



위치 A, O, B에서 단진자에 작용하는 중력과 장력의 크기 및 방향을 화살표로 나타내시오.

[모범 답안]



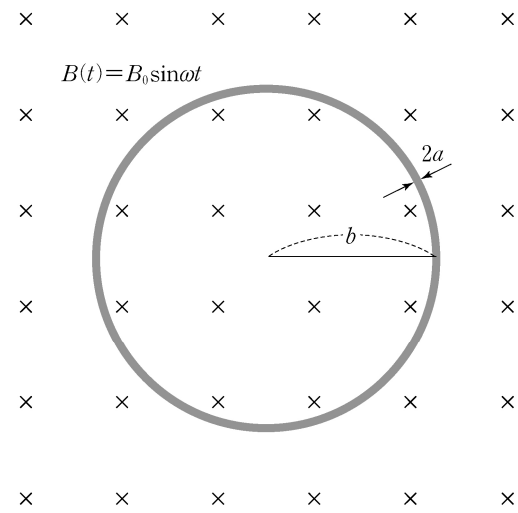
[평가 기준표]

| 평가 영역 | 평가 준거 | 배점 |
|-----------|------------------------------|----|
| 힘의 크기와 방향 | A, O, B에서 중력의 크기를 동일하게 그렸는가? | 1 |
| | A, O, B에서 중력의 방향을 옳게 그렸는가? | 1 |
| | A, B에서 장력의 크기를 동일하게 그렸는가? | 1 |
| | A, O, B에서 장력의 방향을 옳게 그렸는가? | 1 |
| 총점 | | 4 |

※ 평가 준거마다 조건을 모두 만족하는 경우에만 1점으로 채점한다.

단진자에 작용하는 힘에 대한 학생의 이해 수준을 보다 정확하게 평가하기 위해 [평가 기준표]를 보완하려고 한다. 이 때 [평가 문항]과 [모범 답안]을 고려하여 [평가 기준표]에 추가해야 할 평가 준거를 2가지 쓰시오. 또 채점 시 위와 같이 평가 준거를 세분화함으로써 얻을 수 있는 이점을 쓰시오. [4점]

10. 그림은 비저항 ρ , 반지름 a 인 도선으로 만들어진 반지름 b 인 원형 고리가 평면에 놓여 있고, 이 평면에 수직으로 균일한 자기장 $B(t) = B_0 \sin \omega t$ 가 걸려 있는 것을 나타낸 것이다.



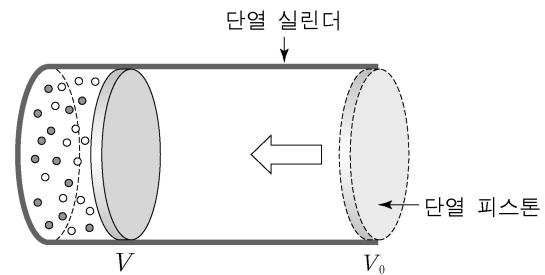
고리를 통과하는 자기 선속 Φ 와 고리에 유도되는 전류 I 를 풀이 과정과 함께 구하고, Φ 와 I 가 각각 0이 되는 두 시각의 최소 간격을 구하시오. (단, B_0 은 상수, $b \gg a$ 이고, 고리의 자체 유도 효과는 무시한다.) [4점]

11. 질량 m 인 입자가 다음과 같은 1차원 퍼텐셜 에너지 영향 아래에 있다.

$$U(x) = U_0 \left[\frac{x-a}{a} - 3 \left(\frac{x-a}{a} \right)^3 \right]$$

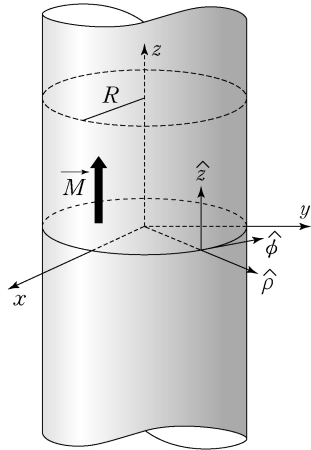
여기서 U_0 과 a 는 양의 상수이다. 입자가 받는 힘 $F(x)$ 와 이 퍼텐셜의 안정 평형점 x_0 을 구하시오. 이 입자가 $+x$ 방향으로 무한히 운동하기 위해 x_0 에서 입자의 속력은 최소한 v_m 보다 커야 한다. v_m 을 풀이 과정과 함께 구하시오. [4점]

12. 그림은 아르곤과 질소가 같은 몰 수로 혼합된 기체를 단열 실린더에 채운 후, 부피 V_0 , 온도 T_0 , 압력 P_0 인 초기 상태에서 준정적(quasistatic)으로 압축시켜 부피가 V 로 된 것을 나타낸 것이다.



계의 엔트로피 변화가 없음을 이용하여 $V = \frac{1}{4} V_0$ 일 때 온도 T 와 압력 P 를 풀이 과정과 함께 구하시오 (단, 기체를 이상 기체로 가정하며, 아르곤과 질소의 정적 몰 비열은 각각 $\frac{3}{2}R$, $\frac{5}{2}R$ 이고, R 는 기체 상수이다.) [4점]

13. 그림은 원통 좌표계에서 자기화(자화밀도) $\vec{M} = M_0 \hat{z}$ 로 균일하게 자화되어 있고, 중심축이 z 축과 일치하는 무한히 긴 원기둥 모양의 물체를 나타낸 것이다.



이 원기둥의 반지름이 R 일 때, 원기둥 내부와 외부의 자기장 $\vec{B}_{\text{내부}}$, $\vec{B}_{\text{외부}}$ 를 구하고, 그 결과와 스토크스 정리를 이용하여 원기둥 외부의 자기 벡터퍼텐셜 $\vec{A}_{\text{외부}}$ 를 풀이 과정과 함께 구하시오. (단, 그림의 $\hat{\rho}$, $\hat{\phi}$, \hat{z} 는 원통 좌표계의 단위벡터이다. 스토크스 정리는 $\int (\nabla \times \vec{A}) \cdot d\vec{a} = \oint \vec{A} \cdot d\vec{l}$ 이다.) [4점]

14. 스핀 각운동량 $\frac{\hbar}{2}$ 인 전자 한 개가 다음과 같은 규격화된 양자 상태에 있다.

$$\psi = \frac{1}{\sqrt{14}} \begin{pmatrix} 2 \\ 1-3i \end{pmatrix}$$

연산자 S_y 의 고윳값 $+\frac{\hbar}{2}$, $-\frac{\hbar}{2}$ 에 대한 고유 함수 $\chi_+ = \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{pmatrix} 1 \\ i \end{pmatrix}$, $\chi_- = \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{pmatrix} 1 \\ -i \end{pmatrix}$ 를 이용하여 S_y 의 측정값이 $\frac{\hbar}{2}$ 일 확률 P_+ 와 $-\frac{\hbar}{2}$ 일 확률 P_- 를 구하고, P_+ 와 P_- 값을 이용하여 이 전자에 대한 연산자 S_y 의 기댓값 $\langle S_y \rangle$ 를 풀이 과정과 함께 구하시오. [4점]

<수고하셨습니다.>