

2022 PNS 선발고사 (GPHO)

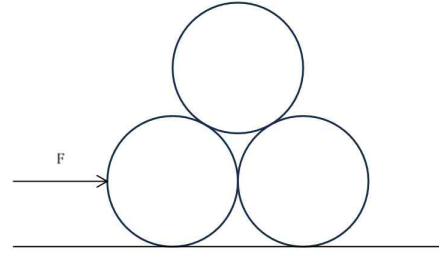
2022.03.17

학번 : _____

이름 : _____

1. 이 문제는 일반물리 개념을 확인하는 서로 관련없는 여러 기본문제들로 이루어져 있다. 다음 소문제들에 답하라. (1)~(3)은 역학, (4)~(6)은 전자기학 문제들이다.

(1) 질량 m , 반지름 R 인 세 개의 동일한 원통이 마찰없는 수평면 위에 그림처럼 놓여 있다. 하단의 원통에 수평방향으로 힘을 가할 때 세 원통이 떨어지지 않고 붙어서 운동할 수 있는 계의 가속도의 (a) 최솟값, (b) 최댓값을 구하라.
(단 중력가속도는 g)



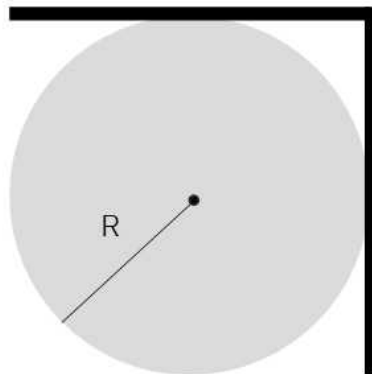
문제 1(1)

(2) 질량 m , 반지름 R , 관성모멘트 $\beta m R^2$ 인 불균일한 원통이 마찰 없는 평면에서 미끄러지고 있다. $t=0$ 에서 이 구는 초기속도 v_0 를 가지고 운동마찰계수 μ 인 마찰면으로 들어서고, 미끄러지다가 결국 구르게 된다. 이때 (a) 구름상태에 도달할때까지의 시간, (b) 그때까지 진행한 거리를 구하시오.



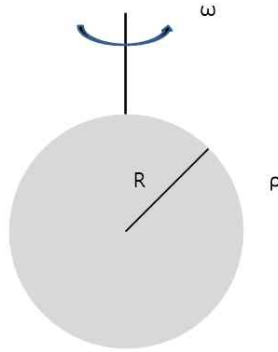
문제 1(2)

(3) 벽에 반지름 R 인 원이 고정되어 있다. (이 원은 회전하지 않고, 받침대 역할만 한다) 한변 길이가 $2R$, γ 자 모양의 물체가 그림처럼 원 위에 놓여있다. 이 물체가 평형을 유지하려면 물체와 원 사이의 정지마찰계수의 최솟값은 얼마인가?



문제 1(3)

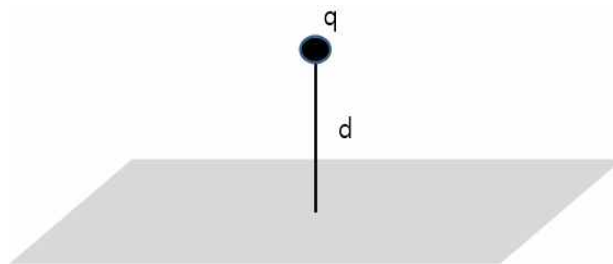
(4) 반지름 R 이고, 부피전하밀도가 ρ , 각속도 ω 로 회전하는 구의 자기쌍극자 모멘트를 계산하여라



문제 1(4)

(5) $(a,a,a), (-a,a,a), (a,-a,a), (a,a,-a), (-a,-a,a), (a,-a,-a), (-a,a,-a), (-a,-a,-a)$ 에 각각의 전하량이 q 인 전하들이 놓여 있다. 이때 $(b,b,b), (1.5b,1.5b,0), (3b,0,0)$ 을 지나는 전기선속을 b 의 함수로 구하여라

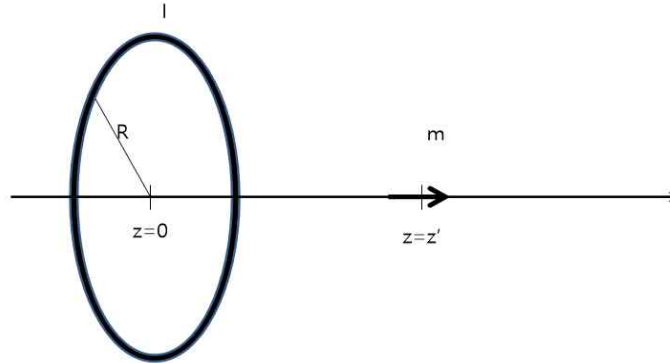
(6) 무한한 도체 평면에서 거리 d 만큼 떨어진 지점에, 전하량 q 를 가진 전하가 있다. 이 전하가 도체 평면에 유도되는 전하에 의해 받는 힘을 구하여라



문제 1(6)

2. 이 문항은 2021 겨울학교 시험문항을 변형한 것이다.

(1) 그림과 같이 저항이 없는 반지름 R , 자체유도계수 L 인 도선 고리가 있고, 이 도선 고리의 축(z 축)을 따라 자기쌍극자 m 이 있다 $z = \infty$ 에서 $z = z' (> 0)$ 으로 자기쌍극자를 끌고 오는 경우, 이 고리에 흐르는 전류의 크기와 방향을 구하라



문제 2(1)

(2) 위의 경우, 고리에 흐르는 전류를 I 라 하면 이로 인해 자기쌍극자가 받는 힘을 구하여라

(3) 이제 자기쌍극자의 질량을 M 이라 하고, 자기쌍극자를 평형점 근방에서 진동시킨다고 하자 이때의 각 진동수를 구하시오(비상대론적인 근사를 사용하시오)

(4) 자기쌍극자의 진동은 변위전류를 만들어 내고, 이 변위전류가 다시 자기장을 만든다. 그러나, 위의 문제를 풀 때 이것을 무시하였는데, 이것의 타당성을 정성적으로 간단히 서술하시오(힌트: 문제2-(3)에 답이 있다)

3. 다음 제시문을 읽고 문제에 답하시오.

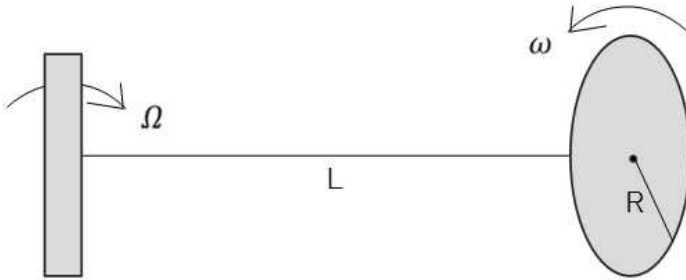
[제시문]

일반물리를 공부하면서 세차운동에 대해 배웠을 것이다. 세차운동이란 회전축이 시간에 따라 회전하는 운동을 말한다. 혹시 교과서에서 세차운동 각속도를 어떻게 구하는지 기억하는가? 이에 이용되는 주요한 공식은 다음과 같다.

$$\vec{\tau} = \frac{d}{dt} \vec{L}$$

즉 물체의 자전운동이 만드는 각운동량 \vec{L} 을 구하고, 세차운동에 따른 각운동량의 변화량을 구한뒤, 물체에 작용하는 토크를 구해 위 식을 이용하면 세차운동을 분석 할 수 있다. 3(1)은 위 내용의 간단한 적용이고 3(2)와 3(3)은 이 아이디어를 응용한 문제이다.

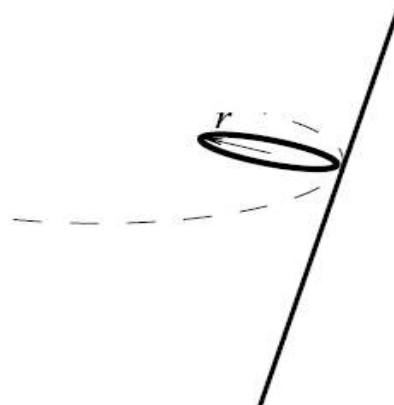
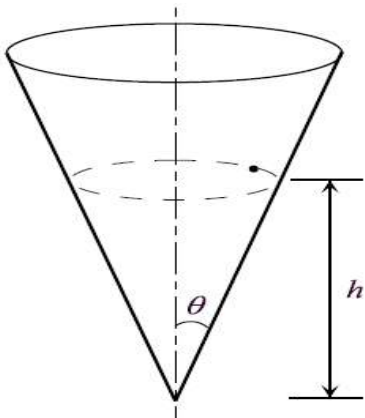
(1) 반지름 R , 질량 m 인 균일한 원판이 ω 의 각속도로 자전하고 있다. 이 고리가 길이 L 의 막대로 고정된 축과 연결되어 있다. 이때 세차운동 각속도 Ω 를 구하라.



문제 3(1)

(2) 반꼭지각 θ 인 속이 빈 원뿔에서, 꼭짓점에서 높이 h 인 단면(원)을 생각하자. 원뿔 내부에서 부드럽게 구르며 운동하는 반지름 r 의 작은 고리에 대해 다음이 성립할 때 원고리의 공전각속도를 구하시오. (단 $r \ll h \tan \theta$)

- 고리와 원뿔의 교점은 꼭짓점에서 높이 h 인 원 상을 운동한다.
- 원고리 평면과 원뿔면은 항상 수직이다. (그림참조)

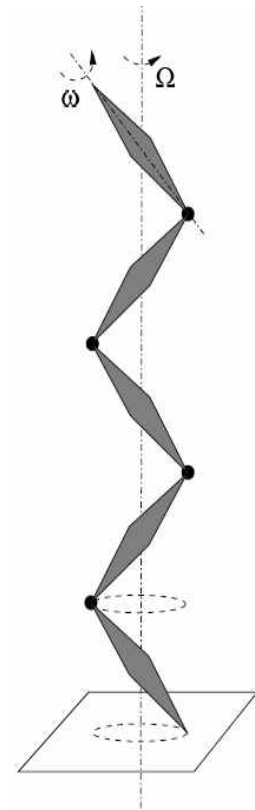


문제 3(2)

(3) 그림과 같이 놓여 있는 N 개의 물체를 생각하라. 이 물체는 길이 l , 질량 m , 회전관성 I 이며 대칭적이다. (즉 질량중심이 중심에 위치한다) 각각의 물체는 자신의 위아래 물체와 한점에서 접촉하며 모두 같은 각도로 기울어져 자전하고 있다.

이 계는 물체들의 질량중심을 지나는 축(그림의 점선)을 중심으로 회전한다. 이 타워가 무너지지 않을 때, 맨 꼭대기 물체의 자전각속도를 ω 라 하면 맨 아래 물체의 자전각속도를 구하라.

(Hint : 그림처럼 Ω 를 정의하고 n 번째 물체에 대해 분석하라)

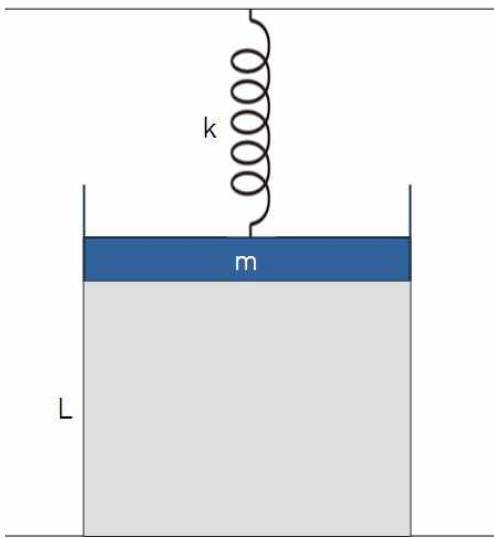


문제 3(3)

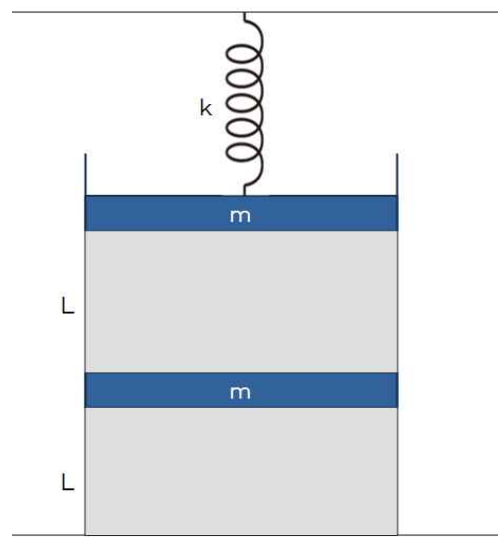
4. 내부에 비열비 γ 의 이상기체가 담긴 단면적 A , 질량 m 인 피스톤이 있다. 피스톤의 초기 높이는 L 이다. 피스톤의 위에는 용수철 상수 k 인 용수철이 천장과 연결되어 있다. 초기에 용수철은 자연길이 상태이고 외부는 진공 상태일 때 다음 물음에 답하라.

(1) 피스톤을 살짝 눌렀다 떼면 피스톤이 진동한다. 충분히 작은 진폭 x 에 대해 피스톤이 단진동함을 보이고 그 각진동수를 구하라. (단 기체는 단열 과정을 따른다)

(2) 용수철상수를 측정해보니 $k = \frac{\gamma mg}{L}$ 라고 한다. (1)의 피스톤이 2개가 결합된 피스톤을 생각하자. 위 피스톤을 x 만큼 위로 당기고 아래 피스톤은 x 만큼 아래로 눌렀다고 했을 때 그 각진동수를 구하라. (단 기체는 단열 과정을 따른다)



문제 4(1)



문제 4(2)

5. 다음 제시문을 읽고 문제에 답하시오. (5-(1)(2)(3)에 대해, 상대론적인 효과는 무시하여라)

제시문 1. 환산질량과 상대운동에 의한 운동에너지

2개의 물체가 움직이는 상황에서, 두 물체의 운동에너지는 질량중심의 운동에너지와 질량중심에 대한 상대운동에 의한 운동에너지의 합으로 나타낼 수 있다.

$$K = K_{cm} + K$$

$$\frac{1}{2}m_1v_1^2 + \frac{1}{2}m_2v_2^2 = \frac{1}{2}(m_1 + m_2)v_{cm}^2 + \frac{1}{2}\mu v_r^2$$

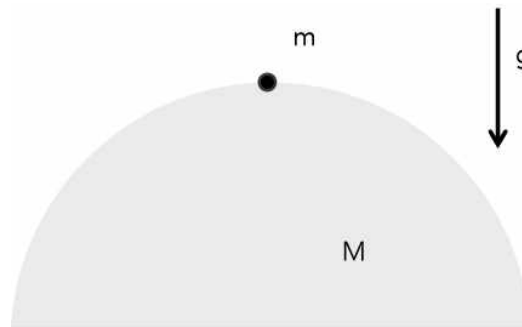
$$v_1, v_2 \text{는 벡터, } \mu = \frac{m_1m_2}{m_1 + m_2}, v_r = v_2 - v_1$$

제시문 2. cm frame 과 zmf(zero momentum frame)

고전역학에서, 질량중심좌표계의 경우 계의 입자의 운동량의 총합이 0이라는 것을 질량중심의 정의를 이용하여서 쉽게 증명할 수 있다. 고전역학과 상대론에서, zmf와 cm frame이라는 두 용어는 서로 혼용되어 사용된다.

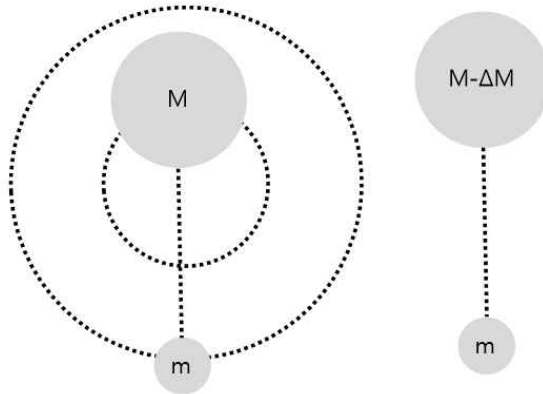
(1) 질량 M 인 반구가 있고, 반구의 정점에서 크기를 무시할 수 있는 질량 m 인 물체가 반구의 표면을 따라 떨어진다. $m \ll M$ 인 경우 질량 m 이 반구로부터 떨어지는 각도 θ_1 을 구하시오

(2) $m=M$ 인 경우 질량 m 이 반구로부터 떨어지는 각도 θ_2 를 환산질량을 이용해 구하시오



문제 5(1), 5(2)

(3) 질량 $m, M(m < M)$ 인 두 행성이 쌍성 원운동을 하고 있다. 갑자기 질량 M 인 행성 위의 관측자가 보았을 때 구대칭적으로 가스가 분출해 행성의 질량이 ΔM 만큼 줄어들었다. 이 이후에도, 두 질량이 속박되어 있을 ΔM 의 조건을 찾아라. (Hint : “속박되어 있음”의 정의는 무엇인가?)



문제 5(3)

(4) 이제 상대론적인 경우에 상대운동의 운동에너지에 대해 논해 보자 상대론적인 경우에도, cm frame과 zmf가 동일한가? 맞다면 증명하고, 아니라면 반례를 들어라

(5) 최소 에너지 문제 고에너지 양성자가 충돌하는 경우, 양성자가 양성자와 몇 개의 전하를 띤 파이온을 만들어낼 수 있다. Lab frame에서 총 에너지 E 의 양성자가 정지한 양성자와 충돌하는 경우를 생각하자. 이때 다음 반응을 일으킬 수 있는 최소 에너지 E_0 를 구하라

$$p + p \rightarrow p + p + 4\pi$$

(단, 양성자의 질량 m_p , 파이온의 질량 m_π , 광속 c 이다)



문제 5(5)

6. 이 문제는 회로 내부에서 일어나는 일에 관한 문제이다. (주의 : 이 문제를 양자역학적으로 다루려고 하지 마시오.)

(1) 저항에 관한 다음 제시문을 읽고 물음에 답하라.

[제시문1]

대부분의 물질에서 전류밀도 \vec{J} 는 단위 전하가 받는 힘 \vec{f} 에 비례한다 : $\vec{J} = \sigma \vec{f}$

σ 는 물질의 종류에 의해 정해지는 상수이고, 전도도라고 부른다. 여기서 \vec{f} 가 전기력인 경우를 보면

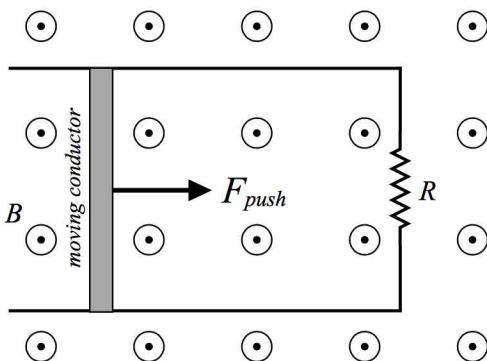
$$\vec{J} = \sigma \vec{E}$$

즉 옴의 법칙을 얻는다. 전기장이 일정하면 전자는 일정한 가속도를 가질 것이다. 그런데 전류 밀도는 도선 내부 전자들의 이동 속력에 비례하므로, 옴의 법칙은 전자의 이동속도가 일정하다고 주장한다. 이는 뉴턴법칙에 위배되는 것처럼 보인다. 무엇이 문제인걸까?

- (a) 물질 내 전자의 움직임에 대한 적절한 묘사를 통해 옴의 법칙이 뉴턴 법칙에 위배되지 않음을 설명하여라.
- (b) 저항체를 이루는 전자의 열운동 속력을 v , 평균자유경로를 λ , 전자의 전하량을 $-e$, 전자의 질량을 m 이라고 하자. 저항체에 전기장 \vec{E} 를 가했을 때 전자의 평균 이동 속력을 구하라.
- (c) 전자의 개수 밀도를 n 이라고 하자. 저항체의 전도도를 주어진 변수들로 표현하여라.

(2) 도선은 금속(전도도가 매우 큰 물질, $\sigma \rightarrow \infty$)으로 만들어진다. 옴 법칙을 바탕으로 금속 도선 내부의 전자가 받는 알짜힘이 얼마인지 이야기해 보시오.

(3) 전원 장치는 회로 내부의 전자를 밀어주는 장치이다. 전자를 밀어 주는 방식은 전원 장치의 종류마다 다를 수 있다. 간단한 전원 장치의 예시로, 균일한 자기장 내에서 등속 운동하는 **금속** 막대를 생각해 보자. 즉, 다음과 같은 회로도에서 움직이는 금속 막대 부분을 전원 장치로 보자는 의미이다.

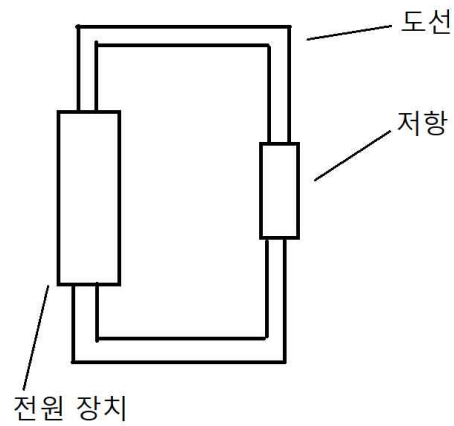


그림의 전원 장치에 에너지를 공급하는 것은 막대가 등속 운동 상태를 유지하도록 막대에 가해지는 힘이다. 막대 내부의 전자에 가해지는 **모든 힘**을 표시하라.

[Hint: 답을 점검할 때, 알짜힘이 올바른지를 확인하라.]

문제 6(3)

(4) 다음의 회로에서 전원 장치는 장치 내부에 있는 전자들을 일정한 힘으로 미는 장치이다. 전원의 기전력은 V 이고, 저항은 전도도 σ 인 물질로 만들어졌다. 전원 장치의 길이는 L , 저항의 길이는 l 이다. 전자의 질량을 m , 전자의 전하량을 $-e$ 라고 할 때, 회로의 모든 곳에서 전기장의 방향을 표시하고 그 크기를 구하라.



문제 6(4)

문제가 모두 끝났습니다.

조기 퇴실은 시험시작 1시간 후부터 가능합니다. 수고하셨습니다 ^^