

# 물리 면접구술고사 완벽 가이드

(서울대·포스텍용)

과학동아 2002년 11월~2005년 7월 및 2007년 1월~2008년 8월 연재분 통합

과학동아에 연재되었던 '심층면접 완벽가이드'를 여러분이 보기 쉽게끔 전면편집해서 새로운 책자로 제작했습니다. 저는 문서편집전문가가 아니기 때문에 편집상의 오류가 있을 수 있습니다. 그리고 수학·물리·화학·생물을 합해서 총 일천페이지가 넘는 방대한 양을 제한된 시간 내에 완료해야 했기 때문에 더욱 오류가 발생할 확률이 큼니다. 이 책자로 공부하다가 내용상의 오류를 발견하면 제게 연락주시면 즉시 수정해서 새로 올리겠습니다.

네이버→(teuksusy/teuksusy), 다음→(teuksu/포스텍학부모), 오르비→(teuksu/이명환)

하나포스메일→[teuksusy@hanafos.com](mailto:teuksusy@hanafos.com), 네이버 메일→[teuksusy@naver.com](mailto:teuksusy@naver.com)

제가 이렇게 면접구술고사 대비용 책자를 제작하는 이유는 가정형편은 빈한하나 서울대·포스텍에 진학하고 싶은 열정에 사무친 일반고 학생들을 위함입니다. 우수한 내신은 공부를 열심히 하면 올릴 수 있지만, 면접구술고사는 실력만으로는 힘들며, 기본원리와 문제풀이과정을 이해해야 합니다. 즉, 무조건 암기식으로 공부해서는 곤란하다는 의미입니다.

그런 면에서 '심층면접 완벽가이드'시리즈(수학·물리·화학·생물)는 다양한 기출문제와 저자(거의 서울대 및 포스텍 출신 전문교육가들입니다.)들의 충실한 해설을 곁들인 명작으로서, 이 책자에 실린 내용들을 전부 이해하면 상당한 수준까지 면접구술고사에 대비할 수 있습니다.

**그리고 이번 시리즈에서는 일체의 목차를 제공하지 않습니다.** 그 이유는 실제 면접구술고사에서 어느 항목에서 출제될지 전혀 예상하지 못하는 상황에서 잠깐 문제를 보고 개요를 파악하고 풀이해야 하기 때문에 미리 그런 훈련을 쌓아야 한다고 생각했기 때문입니다.

그러므로 이 책자로 공부한다고 생각하면 안되고, 어디까지나 실전대비용으로 활용하기 바랍니다.

아무쪼록 열공해서 서울대·포스텍에 진학하는 기쁨이 있기를 기원합니다.

-이명환 올림-

1. 우측 그림과 같이 지면에 비스듬히 던져 올린 공과 자유낙하시킨 물체가 만나기 위한  $v$ 와  $\theta$ 의 조건을 구하라.(단, 공기의 저항력과 전향력 등은 무시한다.)

## ▶ 출제 의도와 구술 어드바이스

운동의 수학적 기술(표현)에 대한 대표적 대상이 중력장 내에서의 자유낙하와 지면에 비스듬히 던져 올린 물체의 운동이다. 중력장 내의 운동도 여러가지 사례가 있지만 지면에 비스듬히 던져 올린 물체의 운동 분석에는 이동거리와 변위, 속력과 속도, 가속도, 등속운동과 등가속도운동, 스칼라와 벡터 등 운동의 기술 대부분의 요소가 총망라돼 있으므로 구술문항의 최대의 단골손님일 수밖에 없다.

## ▶ 배경지식

지면에 비스듬히 위로 던진 물체의 운동의 분석은 수평속도 성분과 수직속도 성분으로 분해한 뒤 분석해야 정확한 기술이 가능하다.

# 수평 속도 :  $V_x = V_0 \cdot \cos\theta$

수평 운동에 작용하는 힘이 없으므로 등속도 운동을 한다.

시간  $t$ 초 동안 이동한 수평거리  $s = V_0 \cdot \cos\theta \cdot t$

# 수직 속도 :  $V_y = V_0 \cdot \sin\theta - gt$

수직 운동에는 아래 방향으로 중력이 작용하므로 등가속도 운동을 한다.

시간  $t$ 초 동안의 수직 변위  $h = v\sin\theta \cdot t - \frac{1}{2}gt^2$

## ▶ 해설 및 모범답안

운동의 분석은 시간을 매개변수로 하고, 비스듬히 던져 올린 물체의 출발점을 좌표계의 원점으로 삼는다. 두 물체가 만나기까지 걸린 시간을  $t$ (초)라 하면,

(1) 만나는 지점의 높이 :

$$h - \frac{1}{2}gt^2 (\text{자유낙하}) = v \cdot \sin\theta \cdot t - \frac{1}{2}gt^2 (\text{지면에 비스듬히 던져 올린 공})$$

$$\therefore h = v \cdot \sin\theta \cdot t \Rightarrow t = \frac{h}{v \sin\theta} \dots\dots\dots \textcircled{1}$$

(2) 수평 이동거리 :

$$S (\text{자유낙하하는 물체는 불변}) = v \cdot \cos\theta \cdot t (\text{지면에 비스듬히 던져 올린 공})$$

$$\therefore t = \frac{S}{v \cos\theta} \dots\dots\dots \textcircled{2}$$

그러므로 ① ②에서 시간  $t$ 를 소거하면  $\tan\theta = \frac{S}{h}$ 이 된다.

그런데 여기서 각도의 조건( $\tan\theta = S/h$ )만 만족하면 무조건 두 물체가 만나는 것으로 나오는데 여기에 함정이 있다. 그것은 좌표계와 실제 상황의 차이이다. 좌표평면에서는 물체가  $x$ 축 위아래 어디나 이동

이 가능하지만 실제 상황에서는 지면 아래로의 이동이 불가능하기 때문이다. 그래서 다음의 두 번째 조건이 필요하다.

지면에 비스듬히 던져 올린 공의 속도는 두 물체가 지면에서 만나는 경우에 비해 크거나 같아야 한다. 즉 두 물체가 지면에서 만나는 조건을 구하면 아래와 같다 ( $t$ 는 지면에 도달하는데 걸리는 시간).

$$(1) \text{ 지면에 비스듬히 던져 올린 공의 최고점 도달시의 수직성분속도 } (v \cdot \sin\theta - \frac{g \cdot t}{2}) = 0 \dots\dots ①$$

$$(2) \text{ 지면에 비스듬히 던져 올린 공의 최고점 높이 } (v \cdot \sin\theta \cdot t/2 - 1/2g(t/2)^2) = h \dots\dots\dots ②$$

①에서  $t = \frac{2 \cdot v \cdot \sin\theta}{g}$  이고, 이를 ②에 대입하면,  $v = \frac{\sqrt{2gh}}{\sin\theta}$  이다. 여기서  $\tan\theta = \frac{S}{h}$  이므로

$$\sin\theta = \frac{h}{\sqrt{S^2+h^2}} \text{ 이 되어, 결국 } v = \frac{\sqrt{2gh} \cdot \sqrt{S^2+h^2}}{h} = \sqrt{\frac{2g(S^2+h^2)}{h}} \text{ 이다.}$$

$$\therefore v \geq \sqrt{\frac{2g(S^2+h^2)}{h}}$$

■ 정답 : (1) 각  $\theta$ 의 조건 :  $\tan\theta = \frac{S}{h}$ ,

$$(2) \text{ 속도 } (v) \text{의 크기 조건 : } v \geq \sqrt{\frac{2g(S^2+h^2)}{h}}$$

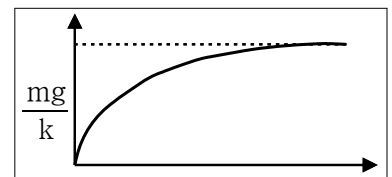
2. 초고층 빌딩에서 줄이 끊어져서 낙하하고 있는 엘리베이터가 있다. 이 엘리베이터가 어느 정도의 속도로 낙하하고 있는지를 밀폐된 엘리베이터 내부의 사람이 알 수 있는 방법을 말해 보라.

### ▶ 출제 의도와 구술 어드바이스

물리 구술고사 문제로 자주 등장하는 소재 중 하나가 자유낙하운동이다. 그러나 엘리베이터의 낙하는 실제 지구에서 일어나는 상황이고 공기의 저항력을 받기 때문에 엄밀한 의미에서 자유낙하운동이 아니다. 이 문제에 대한 분석을 순차적으로 생각한다면, 엘리베이터가 느리게 낙하할 때와 빠르게 낙하할 때의 차이점이 무엇인가를 분석해야한다. 다음으로 실제 상황에서 엘리베이터 속에 있는 사람이 할 수 있는 일이 무엇인가를 고민해봐야 할 것이다. 체중계를 이용한 다거나, 벽을 뚫고 밖을 본다는 등의 답변은 적절치 못하다.

### ▶ 배경지식

공기의 저항력은 공기의 밀도와 운동하는 물체의 속도, 단면적, 표면의 성질에 따라 달라지는데, 물체의 속도가 작을 때는 속도에 비례하는 크기( $F = kv$ )를 가지며, 속도가 클 때는 속도의 제곱에 비례하는 크기( $F = k'v^2$ )를 가진다. 그러나 속도가 음속(약 340m/s) 이상이 되면 이런 관계식의 적용도 불가능해진다.



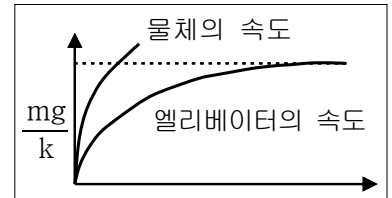
엘리베이터의 질량을  $M$ 이라 하면 낙하하는 엘리베이터가 받는 알짜힘은 중력( $Mg$ )과 공기의 저항력( $-kv$ )의 합력이다. 그러므로

$$a = \frac{\text{알짜힘}}{\text{총질량}} = \frac{mg - kv}{m} \text{ 이 되어 } a=0 \text{ 일 때 } v = \frac{mg}{k} \text{ 이고 이를 종단 속도라고 한다.}$$

## ▶ 해설 및 모범답안

엘리베이터 내부에 있는 사람이 손에 쥔, 밀도가 큰 물체를 가만히 놓아보면 된다. 낙하속도에 따라 달라지는 물리량으로는 단위 시간 당 변위(낙하거리)와 공기의 저항력 등이 있는데, 밀폐된 상황에서 변위는 확인할 수 없으므로 공기의 저항력 차를 이용해야 한다.

엘리베이터의 낙하속도를  $v$ , 질량을  $m$ 이라고 하면, 작용하는 알짜힘은 중력( $mg$ )과 공기의 저항력( $-kv$ )의 합력이다. 중력은 일정한 크기로 작용하지만 낙하속도의 크기가 크면 클수록 더 큰 공기의 저항력을 받으므로 엘리베이터의 가속도 크기가 감소한다. 하지만 엘리베이터 내부에 있는 사람이 물체를 가만히 놓으면 이 물체는 중력에 비해 아주 작은 크기의 공기의 저항력을 받기 때문에 가속도의 크기가 중력가속도( $g=9.8m/s^2$ )에 가깝다. 결국 엘리베이터의 속도가 작다면 물체는 거의 정지해 있는 것처럼 보이지만, 엘리베이터가 큰 속도로 낙하하고 있다면 물체는 엘리베이터 바닥에 빠르게 떨어진다.(우측 그래프 참고)



※ 이외에 가능한 답 : 엘리베이터가 빨리 낙하할수록 내부의 사람이 느끼는, 관절에 가해지는 압력(체중)은 증가한다. 이유는 엘리베이터의 낙하속도가 증가할수록 공기의 저항력이 커져서 엘리베이터의 가속도가 중력가속도보다 작아지므로, 중력가속도로 낙하하려는 사람의 관성력이 바닥에 작용하기 때문이다.

## ▶ 관련 문항

문제 3.

1. 빗방울이 중력에 의해 떨어지면 가속이 되어야 하는데 왜 일정한 속력으로 내려오는지 작용하는 힘과 관련시켜서 설명하라.
2. 허공에서 공을 놓았을 때, 지면에서 튀다가 최종적으로 멈추는 이유를 말하라.
3. 대학정문에 들어서는데, 비가 내리기 시작했다. 정문에서 시험장소까지의 거리는 약 5백m이다. 비를 적게 맞기 위한 경우를 다음 세가지에서 선택해 그 이유를 말하시오.  
(가) 걷는다 (나) 뛴다 (다) 걸으나 뛰나 같다.

## ▶ 출제 의도와 구술 어드바이스

이 질문에 단순히 “뛰어갈 때는 앞쪽에도 비를 맞기 때문에 같은 시간 동안 맞는 비의 양이 많지만 시간이 짧게 걸리기 때문에 결국 어느 경우나 비를 맞는 양은 같다” 라고 답하는 것은 출제자의 의도를 전혀 파악하지 못한 것이다. 사람의 속도를 변수로, 그 외 물리량을 상수로 설정해 수학적으로 증명할 수 있는 능력을 측정하고자 하는 출제의도를 짧은 시간 내에 파악해, 결국 뛴 때 비를 조금 맞는다는 것을 증명해야 한다.

## ▶ 배경지식

### 1. 운동의 수학적 기술

운동이란 물체의 위치가 시간의 경과에 따라 변하는 것을 말한다. 그러므로 운동을 수학적으로 표현하는 방법에는 단순히 물체가 이동한 거리나 위치의 변화뿐 아니라, 운동할 때의 빠르기

나, 속도의 변화 정도를 나타낼 수도 있다.

### (1) 벡터와 스칼라

① 벡터 : 크기와 방향을 동시에 가지는 물리량

ex) 변위, 속도, 가속도, 힘, 압력 등

② 스칼라 : 지정된 위치와 시각에서 크기 하나만으로 완전히 표시되는 물리량

ex) 이동거리, 속력, 온도, 밀도, 전위, 넓이, 부피 등

### (2) 가속도

운동하는 물체의 순간속도가 시간에 따라 변할 때 그 물체는 가속된다고 한다. 이 때 어떤 특정 시간간격  $\Delta t = t_2 - t_1$ 에 대한 평균가속도는  $\Delta v / \Delta t$ 로 정의한다. 즉,

$$\text{가속도 } a = \frac{\Delta v}{\Delta t}$$

가속도의 단위(차원)는 속도(m/s)를 시간(s)으로 나눈 것이며, 보통 제곱초 당 미터( $\text{m/s}^2$ )를 쓴다. 가속도는 운동을 표현하는 한 가지 방법으로도 중요하지만, 힘(알짜힘)과 항상 밀접한 관련을 맺고 있다는 면에서도 중요성을 갖는다. 어떤 물체가 큰 가속도로 운동한다면 그 물체는 상대적으로 큰 힘을 받고 있는 것이며, 가속도가 0이면 받는 힘의 크기도 0이어서 관성의 법칙을 따른다.

### ▶ 해설 및 모범답안

빨리 움직일수록 비를 적게 맞는다. 먼저 극단적인 예를 든다면 거북이처럼 속도가 극히 느린 경우에는 상당히 많은 비를 맞지만 아주 빨리 이동하는 경우(예를 들어 광속에 가까운 속도)에는 시간이 짧아서 일정한 양의 비만 맞게 되기 때문이다. 이를 수식으로 증명해 보자. 사람의 속도를  $v(\text{m/s})$ , 1초당  $1\text{m}^2$ 의 수평면에 내리는 비의 양을  $M(\text{Kg/s}\cdot\text{m}^2)$ , 이동거리는  $500(\text{m})$ , 사람의 윗면적을  $S_1$ , 앞면적을  $S_2$ 라 한다. 첫째 사람의 윗면이 맞는 비의 양은 윗면적( $S_1$ )×경과시간( $500/v$ )× $M$ (단위시간당 단위면적이 맞는 비의 양)에 비례한다. 맞는 비의 양은 결국 움직이는 속력( $v$ )에 반비례한다.

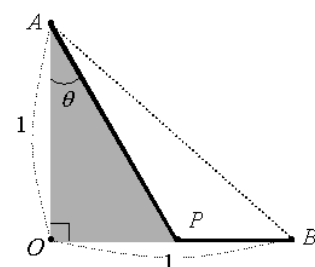
두번째 앞면이 맞는 비의 양은 앞면적( $S_2$ )×경과시간( $500/v$ )× $M \cdot v$ (단위시간당 단위면적이 앞면이 맞는 비의 양)에 비례하므로 움직이는 속력에 관계없이 일정하다. 왜냐하면 사람의 앞면이 맞는 비의 양은 움직이는 사람에 대한 비의 상대속도에 의해 결정되기 때문이다. 즉 상대속도의 수평성분인 사람의 속도( $v$ )에 비례해 비를 맞으나, 정해진 일정한 거리를 움직일 때 경과시간( $500/v$ )이 속도에 반비례하기 때문에, 앞면은 움직이는 속도에 상관없이 일정량의 비를 맞게 된다. 그리고  $S_1 \times 500/v \times M$ 의 차원(단위)이  $\text{Kg}$ 으로 비의 양의 차원과 같으므로 비를 맞는 양이 이 세 요소에 의해 결정됨을 알 수 있다. 결국 앞면이 맞는 비의 양은 걸어가나 뛰어가나 같지만 윗면은 걸어갈 때 더 많은 비를 맞으므로 뛰어갈 때 비를 덜 맞게 된다.

### ▶ 관련 문항

1. 떨어지는 물체와 지구는 작용, 반작용에 의해 서로 잡아당긴다. 이때 물체는 아래로 가속되지만, 지구는 위로 올라가지 않는다. 그 이유를 설명하시오.

4. 우측 그림에서 어떤 작은 물체가 A에서 B로 가장 빨리 미끄러져 내리는 경로 APB를 구하시오.(단 P는 항상 선분 OB 상에만 있고, 경로 상에서의 마찰은 무시한다.)

그림에서 경로 APB를 따라 A로부터 B에 도달하는데 걸리는 시간  $t$ 를  $\theta$ 의 함수로 구하고,  $t$ 가 최소일 때의  $\theta$ 값을 구하시오.



### ▶ 출제 의도와 구술 어드바이스

이 문제는 역학적에너지 보존원리를 이해하는가, 또한 함수의 최대·최소와 관련해 미적분의 기본 원리를 알고 있는가를 평가하기 위한 문제다.

### ▶ 배경지식

#### 1. 역학적에너지와 보존

\* 물체의 운동에너지와 위치에너지의 합을 역학적에너지라고 한다.

\* 마찰이나 공기의 저항을 무시할 때, 물체가 가지는 역학적에너지는 항상 일정하게 보존된다.

$$E_k + E_p = E'_k + E'_p = \text{일정} \Rightarrow \frac{1}{2}mv^2 + mgh = \text{일정 (중력장에서)}$$

$$\Delta E_k + \Delta E_p = 0 \Rightarrow \frac{1}{2}mv^2 + \frac{1}{2}kx^2 = \text{일정 (탄성력장에서)}$$

$$\Delta E_p = -\Delta E_k = -W = -F\Delta s \Rightarrow \frac{1}{2}mv^2 - \frac{GMm}{r} = \text{일정 (만유인력장에서)}$$

#### 2. 함수의 최대·최소값 구하기

\* 함수가 전체 구간에서 연속이고 미분 가능해야 한다.

\* 구간의 경계에서의 함수값과 미분이 0인 곳에서의 함수값을 비교하여 최대·최소값을 구한다.

### ▶ 해설 및 정답

먼저 시간을 구하면 아래와 같다.

#### (1) A점에서 P점까지의 경과시간

역학적에너지 보존원리에 의해 P점 도달시의 물체의 속도를 구한다.

$$mgh = \frac{1}{2}mv^2 \rightarrow m \times g \times 1 = \frac{1}{2} \times m \times v^2 \rightarrow v = \sqrt{2g}$$

$$\text{그러므로 평균속도 } \bar{v} = \frac{0 + \sqrt{2g}}{2} = \frac{\sqrt{2g}}{2} \text{ 이다.}$$

P점까지 경과시간( $t$ )은 빗면의 길이  $(1/\cos\theta) \div$  평균속도이므로  $2/\sqrt{2g} \cos\theta$ 이 된다. --- ①

#### (2) P점에서 B점까지의 경과시간

$$\text{거리}(1 - \tan\theta) \div \text{속도}(\sqrt{2g}) = 1 - \tan\theta / \sqrt{2g} \text{ --- ②}$$

$\therefore$  총경과시간 ( $T$ )는 ①+②이므로

$$T = 2/\sqrt{2g} \cos\theta + 1 - \tan\theta/\sqrt{2g} \text{가 된다.}$$

다음으로 최소의 시간이 걸리는  $\theta$ 의 값을 아래와 같이 구한다.

(1)  $f(\theta) = 2/\sqrt{2g} \cos\theta + 1 - \tan\theta/\sqrt{2g}$ 에서 주어진 조건상  $\theta$ 의 범위는 0보다 크고  $45^\circ$ 보다 작거나 같다. 그리고 이 함수는 경계범위 내에서 연속이고 미분가능하다.

(2)  $f'(\theta) = 2/\sqrt{2g} \times \sec\theta \tan\theta - \sec^2\theta/\sqrt{2g}$ 이므로  $f'(\theta) = 0$ 이 되는  $\theta$ 의 값을 구하면

$$2/\sqrt{2g} \times \sec\theta \tan\theta - \sec^2\theta/\sqrt{2g} = 0$$

$$\rightarrow 2/\sqrt{2g} \times \sec\theta \tan\theta = \sec^2\theta/\sqrt{2g}$$

$$\rightarrow 2\tan\theta = \sec\theta \text{에서 } \theta = 30^\circ \text{가 된다.}$$

따라서 정답은 경과시간  $T = 2/\sqrt{2g} \cos\theta + (1 - \tan\theta)/\sqrt{2g}$ 이고 경과시간이 최소가 되는 각  $\theta = 30^\circ$ 이다.

5. 기체가 들어 있는 밀폐된 상자의 무게는 진공 상태의 상자의 무게보다 무겁다. 즉 상자 안의 기체의 무게만큼 무겁다. 이를 증명하라.(가정 : 상자의 높이는  $h$ , 분자 1개의 질량은  $m$ , 상자의 바닥에 충돌하기 직전의 평균 속력은  $v$ , 중력 가속도는  $g$ 이다.)

### ▶ 출제 의도와 구술 어드바이스

밀폐된 상자에 무엇인가를 넣으면 그만큼 더 무거워진다는 점은 당연해 보인다. 하지만 고체나 액체처럼 구성 입자들끼리 서로 접촉하고 있어서 중력만큼 작용-반작용하는 경우와 달리 기체는 서로 떨어져 운동하고 있으므로 저울에 직접 힘을 가한다고 분석하기가 쉽지 않다.

기체(유체)의 역학관련 구술문항의 특징은 분자 하나의 운동을 얼마나 정확히 기술할 수 있으며, 이런 운동이 힘이나 운동량, 충격량 등의 벡터와 상호 연관돼 있는지를 분석하도록 요구한다. 운동과 힘의 관계를 묻는 문제가 자주 등장하는 이유는 한두 문항으로 수험생의 수학능력을 평가해야하는 구술고사의 한계 때문이라고 볼 수 있는데, 역학 관련 현상들을 평소 생활하면서 접할 때 얼마나 분석적 자세로 임했나를 평가함으로써 평가가 가져야할 타당성과 신뢰성을 확보하려고 하기 때문이다.

### ▶ 배경지식

1) 이상기체 상태 방정식

보일-샤를의 법칙에 의해 일정량의 기체는  $\frac{PV}{T}$  값이 기체의 종류에 관계없이 일정하다.

$$PV = nRT = \frac{N}{N_o} RT \quad (N_o: \text{아보가드로의수})$$

2) 기체의 분자 운동과 압력 : 분자들의 충돌(완전 탄성 충돌)

\* 분자가 1개일 때

$$F = \frac{\Delta v}{\Delta t} = 2mv_x \times \frac{v_x}{2l} = \frac{mv_x^2}{l} = \frac{mv^2}{3l}$$

\* 분자가 N 개일 때

$$F = \frac{Nmv^2}{3l}, P = \frac{F}{A} = \frac{Nmv^2}{3l^3} = \frac{Nmv^2}{3V} = \frac{1}{3}\rho v^2 = \frac{1}{3}nmv^2 = \frac{2}{3} \frac{N}{V} E_k$$

( $\rho$ : 밀도,  $N$ : 단위부피당 분자수)

3) 기체의 분자 운동과 온도

$$PV = \frac{N}{N_o} RT \text{ 와 } P = \frac{2}{3} \frac{N}{V} E_k \text{ 에서}$$

$$E_k = \frac{3}{2} \frac{R}{N_o} T = \frac{3}{2} kT \quad (k = \frac{R}{N_o} = 1.38 \times 10^{-23} J/K, k: \text{볼츠만상수})$$

\* 기체 분자 1개의 평균 운동 에너지는 기체의 종류에 관계없이 절대 온도에 비례한다.

$$E_k = \frac{1}{2} mv^2 = \frac{p^2}{2m} = \frac{3}{2} kT$$

### ▶ 해설 및 모범답안

우측 그림과 같이 실제 기체는 중력장 내에서 운동하므로 아랫면에 충돌할 때에 비해 윗면을 충돌할 때  $gt$ 만큼 속도의 크기가 감소한다.

$$\text{아랫면에 공기분자가 가하는 힘의 크기 } F = \frac{\Delta p}{\Delta t} = \frac{m \Delta v}{\Delta t} = \frac{2mv}{2t}$$

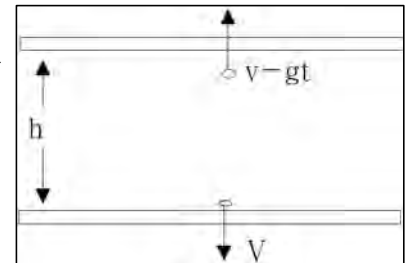
( $\because$  완전탄성충돌이므로  $\Delta v = 2v$ )

$$\text{윗면에 공기분자가 가하는 힘의 크기 } F' = \frac{\Delta p'}{\Delta t} = \frac{m \Delta v'}{\Delta t} = \frac{2m(v - gt)}{2t}$$

( $\because$  완전탄성충돌이므로  $\Delta v = 2(v - gt)$ )

$$\therefore F - F' = \frac{2mv - 2m(v - gt)}{2t} = mg$$

즉 기체로 밀폐된 상자는 빈 상자보다 중력( $mg$ )만큼 무겁다.

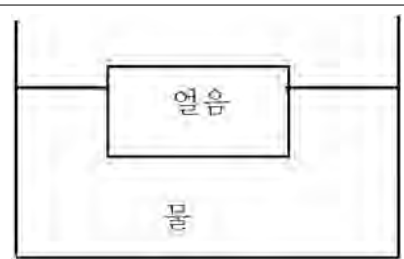


### ▶ 관련 문항

1. 양팔 저울의 한 쪽에는 2기압의 수소( $H_2$ ) 기체가 채워져 있는 풍선이 매달려 있고, 다른 쪽에는 같은 2기압 상태의 이산화탄소( $CO_2$ ) 기체가 매달려 있는 상태로 0점 조정(수평 상태)이 돼 있다. 수소 기체가 채워져 있는 풍선에서 기체가 빠져나가면 저울은 어느 쪽으로 기울겠는가?



6. 우측 그림과 같이, 질량이  $9m(\text{Kg})$ 이고 온도가  $50^\circ\text{C}$ 이며 밀도가  $1\text{Kg/L}$ 인 물에, 질량이  $m(\text{Kg})$ 이고 온도가  $-10^\circ\text{C}$ 이며 밀도가  $0.9\text{Kg/L}$ 인 얼음이 떠있다. 다음 물음에 답하라.



- (1) 얼음에 작용하는 모든 종류의 힘의 크기를 말하고, 얼음이 물에 잠겨있는 부분의 부피는 전체의 몇 %인지 말하라.
- (2) 얼음을 수면 아래로 눌렀다가 놓아서 원래 위치에 도달했을 때, 얼음의 가속도의 크기를 구하라.
- (3) 열평형 온도를 구하라.(단 단열 상태이며 얼음의 융해열은  $80\text{kcal/Kg}$ , 비열이  $0.5\text{kcal/Kg}\cdot\text{K}$ 이고 물의 비열은  $1\text{kcal/Kg}\cdot\text{K}$ 이다.)
- (4) 엔트로피 증가의 법칙을 설명해 보라.

### ▶ 출제 의도와 구술 어드바이스

이 문제는 고교 과정의 물리학 중 고전역학과 열역학에 대해 기본적으로 어느 정도 이해하고 있는지를 평가하고 있다. 현실적으로 면접 및 구술고사가 몇 개의 문항만으로 수험생을 평가할 수밖에 없기 때문에, 높은 배점에 따른 문항 타당성을 확보하기 위해 위 문제처럼 큰 주제의 제시문 아래 네다섯 개의 소문항으로 구성된 문항을 출제하는 경향이 최근들어 증가하고 있다. 한 문항에 5분 정도의 문제풀이 시간이 주어지기는 하지만 소문항의 개수를 생각한다면 구술 면접도 수능과 마찬가지로 시간과의 싸움이 중요한 전략이 될 수 있다. 또한 위의 소문항(4)번의 경우는 수험생이 물리학에 대해 공부한 깊이에 따라 답변이 천차만별일 수 있다. 면접 기출문제들이 수준이 낮다고 해서 준비도 교과서 수준으로 그친다면 면접에서 낭패를 볼 가능성이 있음을 잊지 말아야 한다.

### ▶ 배경지식

#### 1. 운동의 법칙

##### 1) 힘과 가속도의 법칙(운동 제2법칙)

어떤 순간 물체가 받는 개별적인 힘들을 합해 알짜힘(합력)을 구하면, 그 순간 물체의 가속도의 방향과 크기를 알 수 있다. 가속도의 방향은 힘의 방향과 같고, 가속도의 크기는 힘의 크기에 비례한다.

##### 2) 관성의 법칙(운동 제1법칙)

※ 운동 제1법칙인 관성의 법칙은 사실은 운동 제2법칙인 힘-가속도 법칙의 한 예에 불과하다. 즉 물체에 작용하는 여러 힘의 합력(알짜힘)이 0일 때  $F=ma$ 에서 가속도  $a=0$ 이 되므로 물체의 운동은 변화가 없게 된다. 정지해 있던 물체는 계속 정지하고 운동하던 물체는 계속 등속도로 운동하게 되는 관성의 현상이 나타나는 것이다. 예를 들어 음속 3배(마하 3는  $1020\text{m/s}$ )의 일정한 속도로 비행하고 있는 전투기의 경우 속도의 변화가 없으므로 가속도  $a=0$ 이어서 이 전투기에 작용하는 여러 힘의 합력(알짜힘)도 0이므로 관성의 법칙이 적용된다.

#### 2. 여러가지 힘-부력

유체(기체나 액체)속에 있는 물체 양끝에서 유체의 압력 차이 때문에 물체와 유체 사이에 발생하는 힘의 쌍

$$F = \rho_B V_A g (g : \text{중력가속도})$$

( $\rho_B$  : B의 밀도,  $V_A$  : A의 부피)

방향 : 물체는 B(유체)의 압력이 낮은 쪽으로 힘을 받는다.

### 3. 열역학

- ① 제1법칙 : 열에너지 보존 법칙. 기체에 공급한 열에너지는 내부에너지 증가량과 기체가 외부에 한 일의 합과 같다.

$$Q = \Delta U + P\Delta V$$

- ② 제2법칙 : 열은 항상 고온에서 저온으로만 흐르며 열을 전부 일로 만들 수 없다. 즉 엔트로피가 항상 증가하는 방향으로 변화가 일어난다.

- ③ 열기관과 냉동기 : 열기관은 열의 일부를 일로 바꾸는 기관이고, 냉동기는 외부에서 강제로 한 일에너지지를 이용해 내부의 열을 외부로 방출하는 기관이다.

4. 엔트로피는 물질계의 열적상태를 나타내는 물리량의 하나다. 이론적으로는 물질계가 흡수하는 열량  $dQ$ 와 절대온도  $T$ 와의 비  $dS = dQ/T$ 로 정의한다. 여기서  $dS$ 는 물질계가 열을 흡수하는 동안의 엔트로피 변화량이다.

열기관의 효율을 이론적으로 계산하는 이상기관에서는 모든 과정이 가역과정이므로 엔트로피는 일정하게 유지되지만, 일반적으로 현상이 비가역과정인 자연적 과정을 따르게 될 때는 엔트로피는 증가하고 자연적 과정에 역행할 때에는 감소하는 성질이 있다. 즉 자연현상의 변화가 자연적 방향을 따라 발생하는가를 나타내는 척도로 다뤄진다.

### ▶ 해설 및 모범답안

- (1) 얼음에 작용하는 주요 힘에는 중력과 부력이 있다. 이 두힘은 크기는 같고 방향이 반대여서 힘의 평형을 이루고 있다. 즉  $mg = \rho_B V_A g$  ( $\rho_B$  : 물의 밀도,  $V_A$  : 물에 잠겨 있는 얼음의 부피,  $g$  : 중력가속도)가 성립한다.

$$\therefore \frac{mg}{\rho_B g} = \frac{m \times 9.8}{1000 \times 9.8} = \frac{m}{1000} (\text{m}^3)$$

- (2) 얼음이 원래의 위치에 도달했을 때 받는 힘은 중력과 부력인데 이 두힘이 평형을 이루므로 얼음이 받는 알짜힘의 크기는 0이다. 그러므로 얼음의 가속도의 크기도 0이다.

- (3) 열량보존의 법칙에 의해 얼음이 흡수한 총열량은 더운물이 잃은 총열량과 같다. 그런데 얼음은 상태변화를 하므로 열평형 온도를  $x(^{\circ}\text{C})$ 라 하면 다음이 성립한다.

- ① 얼음이 녹으면서 흡수한 총열량 = 얼음 상태에서 흡수한 열량 + 상태변화(융해)에 흡수한 열량 + 녹아서 물의 상태로 흡수한 열량 =  $0.5 \times m \times 10 + 80 \times m + 1 \times m \times x$

- ② 물이 잃은 총열량 =  $1 \times 9m \times (50 - x)$

$$\therefore 0.5 \times m \times 10 + 80 \times m + 1 \times m \times x = 1 \times 9m \times (50 - x) \text{ 이므로}$$

$$x = 36.5^{\circ}\text{C}$$

- (4) 엔트로피란 자연계의 무질서도를 나타내기 위한 물리량을 말한다. 무질서도는 예측불가능성과 유사한 의미를 가진다. 예를 들어 온도가 다른 두 물체가 있을 경우에는 운동속도가

큰 분자가 어디에 있는지를 예측할 수 있는 가능성이 높지만, 두 물체가 접촉해서 열적 평형상태에 도달했을 경우에는 특정 속도를 가진 분자의 위치를 예측하기가 어려워진다. 자연스런 변화는 항상 예측가능성이 큰 질서 있는 상태에서, 낮은 무질서한 상태로 변화하려는 경향을 가진다. 이를 엔트로피 증가의 법칙이라 한다.

열역학에서 엔트로피(S)는 수학적으로 어떤 물체가 가진 열량(Q)을 물체의 절대온도(T)로 나눈 값으로 정의한다. 그러므로 엔트로피의 변화량은 다음과 같은 수식으로 표현된다.

$$dS = dQ/T$$

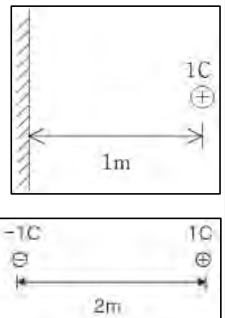
고온의 물체에서 저온의 물체로 열이 이동할 경우 고온의 물체의 엔트로피 감소량( $dQ/T_{\text{고}}$ )은 저온의 물체의 엔트로피 증가량( $dQ/T_{\text{저}}$ )보다 작으므로 전체적인 엔트로피 변화량은 양의 값을 갖는다. 냉장고의 경우 내부라는 특정 영역에서 엔트로피가 감소하지만 시스템 전체적인 측면에서 보면 전기에너지가 열에너지로 변하는 과정 때문에 엔트로피의 변화량은 양의 값을 나타낸다. 즉 자연스런 변화에서 엔트로피의 값은 항상 증가하려는 경향을 띤다.

## ▶ 관련 문항

1. 열역학 제 1·2 법칙을 설명해 보라.
2. '열기관의 효율을 높인다'는 말을 열역학 법칙과 엔트로피의 법칙으로 설명해보라.
3. 열역학 제3법칙을 들어보았는가?

7. 우측 그림과 같이 무한히 평평한 도체면의 한쪽에 양전하가 놓여있는 상황을 생각해 보자. 양전하가 도체로부터 받는 힘의 크기를 다음의 순서를 따라 풀어보라.

- (1) 전기력선의 모양을 도체의 성질에 주의해 그려보라.
- (2) 도체면 대신  $-1C$ 의 전하가  $2m$  떨어진 지점에 있을 때 전기력선을 그려보라.
- (3) (2)번 문제에서 양전하 주위의 전기력선의 모양을 (1)의 결과와 비교해보라.
- (4) 양전하가 도체로부터 받는 힘의 크기와 방향을 구하라.



## ▶ 출제 의도와 구술 어드바이스

쿨롱의 법칙은 전자기학의 시발점이 되는 중요한 법칙이므로 출제 빈도가 상당히 높은 분야다. 몇 개의 점전하들로부터 받는 힘의 크기를 구하는 문제는 힘의 합성 능력을 함께 묻는 좋은 문제가 된다. 전기력을 구하는 문제는 대개의 경우 전기력선을 잘 그리면 쉽게 문제를 풀 수 있는데, 특히 도체가 포함된 계에서 전기력을 구할 때는 전기력선을 그려서 문제를 풀면 훨씬 쉽게 풀리는 경우가 많다. 본 문제는 전기력선의 개념과 등전위면의 정의, 그리고 전기장 내에서 도체가 갖는 성질 등에 대한 높은 이해력을 요구하는 문제다.

## ▶ 배경지식

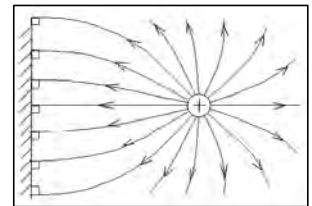
쿨롱의 법칙에 따르면 점전하로부터 받는 힘의 크기는 거리의 제곱에 반비례하고 방향은 반지름 방향으로 나타난다. 즉 양전하 주위의 전기력선은 점전하로부터 방사형으로 뻗어나가는 모양이 된다. 전기장 내에 도체가 들어가면 도체 내부의 자유전자들이 전기력을 받아 도체 표면에 재배치하게 되는데, 이 때 전자들이 모인 쪽은 음전하가 대전되고 반대쪽은 양전하가 대전

된다. 그 결과로 도체 내부에는 외부의 전기장과는 반대 크기의 전기장이 형성되고 도체 내부에는 전기장이 존재하지 않는다.

## ▶ 해설 및 모범답안

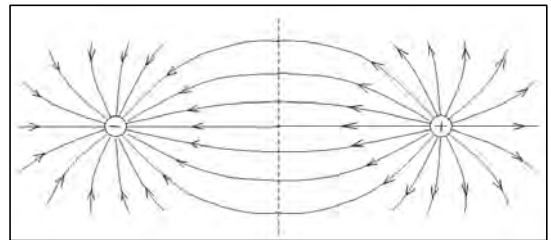
- (1) 전기력선은 단위전하가 받는 힘을 모든 공간상에서 표시해 준 것이다. 그래서 전기력선에서 그은 접선의 방향은 그 점에서의 전기장의 방향과 일치한다. 이러한 전기력선은 중요한 몇가지 특징이 있는데, 첫째 양극(양전하)에서 시작해 음극(음전하)에서 끝난다. 둘째 도중에 끊어지거나 만나지 않는다. 마지막으로 전기장의 세기는 전기력선의 밀도로 나타낼 수 있다는 것이다.

도체란 자유전자가 존재해 전기가 잘 흐르는 물질을 의미한다. 이런 도체가 전기장 내로 들어가면 도체 내부의 자유전자들은 전기장의 영향으로 도체의 표면으로 모이게 되는데 이것을 대전이라 부른다. 이런 전자들은 더 이상 움직이지 않을 때까지 전기장을 따라 이동하므로, 최종적으로는 도체의 표면에만 모이게 되고 도체 내부에는 전기장이 존재하지 않으며, 도체 표면에서는 항상 전기장이 수직하게 들어가거나 나오게 된다. 만일 도체 표면 전기장에 도체 표면방향 성분이 조금이라도 존재한다면 전자는 그 방향으로 흐를 수 있게 되므로 전자가 더 이상 움직이지 않을 때까지 대전된다는 처음 조건에 위배된다. 이런 전기력선과 도체의 특징을 생각하며 전기력선을 그려보면 우측과 같다.



- (2) 두 점전하가 만드는 전기력선도 같은 방법으로 그릴 수 있다.

- (3) (2)번 결과에서 중앙에 점선으로 표시된 부분을 등전위면이라 한다. 등전위면이란 단위 전하를 옮기는데 드는 일의 양이 같은 면으로, 전위가 같은 면을 의미한다. 등전위면은 항상 전기력선과 수직을 이루고 같은 등전위면 사이에는 전류가 흐르지 않는다. 이러한 등전위면은 점전하 주위에 구 형태로 수없이 많이 그릴 수 있는데, 위와 같이 같은 크기의 두 점전하의 중앙에는 무한히 넓은 평면 형태의 등전위면이 반드시 하나 존재한다. 이러한 등전위면 위에서는 어떤 위치에서든 전위가 같으므로 등전위면과 모양이 같은 도체를 등전위면을 따라 가져다 놓아도 주위의 전기력선에는 변화가 없다. 도체도 그 자체가 등전위면이기 때문이다. 따라서(1)번과(2)번에서 양전하 주위의 전기력선의 모양은 정확히 일치한다.



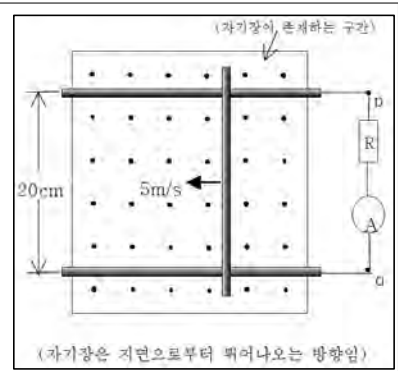
- (4) 양전하가 도체로부터 받는 힘의 크기는 도체 반대편에 크기가 같은 음전하로부터 받는 힘의 크기와 같다. 왜냐하면 두 경우 모두 양전하 주위에 똑같은 전기력선을 만들어 내기 때문이다. 따라서 정답은,

$$F = 9 \times 10^9 \text{ Nm}^2 \text{ C}^{-2} \times \frac{1\text{C} \cdot (-1\text{C})}{(2\text{m})^2} = -2.25 \times 10^9 \text{ N}$$

도체 쪽으로  $2.25 \times 10^9 \text{ N}$ 의 인력을 받는다.

8. 우측 그림과 같이 0.1T의 균일한 자기장 내에 도선으로 연결된 평행한 도체 막대를 설치하고 그 위에 등근 도체 막대가 5m/s의 속력으로 움직이고 있는 상황을 생각하자.

- (1) 전류계에 측정되는 전류의 세기를 구하라. 단 도체의 저항은 무시하고 도선의 저항 R은  $2\Omega$ 이다.
- (2) 도체 막대의 속력을 유지하기 위해 도체 막대에 가해줘야 하는 힘의 크기는 얼마인지 구하라.



### ▶ 출제 의도와 구술 어드바이스

전자기 유도현상과 로렌츠의 힘은 전자기학에서 가장 마지막에 다루는 분야다. 그런 만큼 전자기학의 모든 이론이 결합된 형태의 문제가 많이 출제된다. 이들은 각각 플레밍의 왼손, 오른손 법칙으로 대표되기도 하는데 이런 이유로 수험생이 혼동하기 쉬운 내용이기도 하다. 이럴 땐 전자기학의 가장 중요한 법칙 중 하나인 로렌츠의 법칙으로 문제 해결에 접근하는 편이 혼동하지 않고 문제를 풀 수 있는 열쇠가 된다. 즉 자연은 변화를 싫어한다는 큰 전제 조건에 따라 전기력이 유도되기도 하고, 도선이 힘을 받는다는 점을 고려하면 그 방향을 쉽게 유추할 수 있다.

### ▶ 배경지식

도체 주변의 자기장에 변화가 있을 때 도체 내부에는 전기장이 형성되는데 이것을 전자기 유도 현상이라 한다. 이 때 기전력의 크기는 자기장이 변하는 구간의 넓이와 자기장의 세기를 곱한 값(자기력선속)의 시간에 대한 변화율로 나타낼 수 있다. 즉

$$V = - \frac{\Delta(BS)}{\Delta t} = -Blv.$$

여기서(-)는 V의 방향이 자기력선속의 변화를 방해하는 방향으로 생긴다는 것을 의미한다. 또한 회로의 저항을 R로 두면 유도 전류 I는

$$I = \frac{V}{R} = \frac{Blv}{R}$$

가 된다.

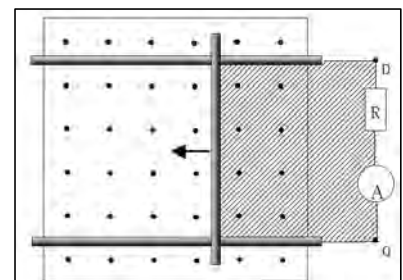
자기장에 수직으로 놓인 길이 l의 도선에 전류 I가 흐르면 도선은 로렌츠의 힘이라 불리는 전자기력을 받는다. 이 때 전자기력의 크기는

$$F = BIl \text{ 이다.}$$

### ▶ 해설 및 모범답안

- (1) 유도 기전력의 크기는 루프를 형성하는 회로 또는 도선의 내부를 지나는 자기장의 변화량에 의해서만 결정된다. 즉 위와 같은 구조에서 고려돼야 하는 점은 빗금 친 부분을 지나는 자기력선속이다. 자기장의 세기는 일정하므로 결국 면적의 변화량에 의해 기전력이 형성된다.

$$V = B \frac{\Delta S}{\Delta t} = Bl \frac{\Delta x}{\Delta t} = Blv$$



$$=0.1\text{T} \times 0.2\text{m} \times 5\text{m/s}$$

$$=0.1\text{V}$$

회로 전체의 저항은  $2\Omega$ 이므로 도체 막대에 흐르는 전류의 세기는,

$$I = \frac{V}{R} = \frac{0.1\text{V}}{2\Omega} = 0.05\text{A}$$

이다. 또한 전류의 방향은 증가하는 자기력선속의 변화를 방해하는 방향인 시계 방향이 된다. 즉  $p \rightarrow q$ 로 전류가 흐른다.

- (2) 자기장에 수직으로 놓인 도선에 전류가 흐를 때 전자기력의 크기는 로렌츠 법칙으로 구할 수 있다. 먼저 전자 하나가  $v$ 의 속도로 움직일 때 받는 힘의 크기는,

$$f = Bev$$

이고, 도선의 전류는

$$I = Sevn$$

이다.( $S$ 는 도선의 단면적,  $n$ 은 전자밀도)

도선의 길이가  $l$ 일 때 도선에 존재하는 전자의 총 개수를  $N$ 이라 하면,

$$N = Sl n$$

이므로, 도선이 받는 힘  $F$ 는

$$\begin{aligned} F &= fN \\ &= (Bev) \cdot (Sl n) = B \cdot Sevn \cdot l \\ &= BIl \end{aligned}$$

과 같이 구할 수 있다.

문제에서 주어진 값들을 대입하면,

$$F = 0.1\text{T} \times 0.05\text{A} \times 0.2\text{m} = 0.001\text{N}$$

이 된다. 로렌츠 힘의 방향은 플레밍의 왼손법칙으로 알 수 있지만, 로렌츠의 법칙에 따라 자기력선속의 증가를 방해하는 방향인 속도의 반대 방향으로 받게 된다. 따라서 도체 막대의 속력을 유지하기 위해서는  $0.001\text{N}$ 의 힘으로 끌어 주어야 한다.

## ■ 출제 경향 및 과목 대비 방안

수험생의 입장에서는 어떤 전형이든지 상관없이 자주 출제되는 과학의 중요 영역을 파악하고, 교과서 내의 중요 개념과 원리가 어떻게 응용되는지를 미리 점검해둔다면 좋은 평가를 받을 수 있다. 구술고사와 과학논술, 그리고 학업적성평가에서 만나게 되는 물리학과 역학이 가장 큰 비중을 차지하는데, 운동의 법칙과 여러가지 힘의 특징에 대해 묻는 문항이 대부분이다. 열역학이나 광학, 그리고 입자물리이론도 자연과학대학과 공과대학 등에서 폭넓게 출제되고 있다.

물리영역의 지난 3년 간 기출문제에서 볼 수 있듯이 단순 암기보다는 체계적 지식의 보유정도와 이해, 그리고 일상 생활 속에서 일어나고 있는 현상에 적용할 수 있는 능력을 평가하는 경우가 많다. 대부분 대학의 물리 문항은 고교 교과서 수준을 넘지는 않으나, 교과 개념이 실생활에 어떻게 적용될 수 있는지를 묻는 문항이 많으므로 항상 '왜 그럴까?'라는 분석적 사고가 평소 습관화돼야 한다.

문제 1. 수면 위에서 운동하는 물체는 대략 속도의 크기에 비례하는 물과 공기의 저항력을 받게 된다. 초민이가 타고 있는 무동력 보트의 운동에 대한 다음의 물음에 답하십시오(단 보트 전체의 질량을  $m(\text{Kg})$ , 물의 저항계수를  $k_1(\text{N}\cdot\text{s}/\text{m})$ , 공기의 저항계수를  $k_2(\text{N}\cdot\text{s}/\text{m})$ , 중력가속도를  $g(\text{s}/\text{m}^2)$ 라 한다).

- 1) 보트의 노를 저어서 낼 수 있는 최대 추진력이  $4\text{백N}$ 일 때, 보트의 최대 속도 크기를 구하라.
- 2) 최대 속력인 상태에서 초민이가 노를 그만 저었다면, 20초 후의 속도의 크기는 얼마이겠는가?
- 3) 보트가 최대 속력인 상태에서 추진력 없이 나아갈 수 있는 최대 거리는 얼마인가?

## ▶ 출제 의도와 구술 ADVICE

중력장 내 운동에서 공기저항을 고려한 운동의 응용문제다. 구술고사 문항은 교과서에서 다루지 않는 현상이라도 기본개념을 알고 있고 적용해서 풀 수 있는 문항이라면 출제가 가능하다.

이 문제에서 물리II의 어떤 기본개념이 활용되고 있는지, 그리고 어떻게 적용되는지를 분석해본다면, 또 평소 생활하면서 관찰 가능한 수많은 운동현상의 분석도 가능할 것이다.

## ▶ 배경지식

공기나 물과 같은 유체(fluid) 속에서 물체가 운동할 때는 유체의 밀도와 점성, 운동하는 물체의 단면적, 표면의 성질, 속도에 따라 달라지는 저항력을 받는데, 이를 식으로 나타내면 다음과 같다.  $F = -kv$ (여기서 음의 부호는 유체의 저항력이 물체의 운동방향과 반대임을 나타낸다)

## ▶ 해설 및 모범답안

- 1) 보트는 추진력과 저항력이 힘의 평형을 이룰 때까지 가속된다. 즉  $400(\text{N}) = k_1 \cdot v + k_2 \cdot v$

이므로 정답은  $v = \frac{400}{(k_1 + k_2)} \text{m/s}$ 이다.

- 2) 속력이  $v = \frac{400}{(k_1 + k_2)} \text{m/s}$ 인 상태에서 추진력이 작용하지 않으면 보트에 작용하는 알짜힘이  $-(k_1 + k_2) \cdot v$ 로 속도의 크기에 따라 변한다.

보트에 작용하는 알짜힘의 크기  $-(k_1 + k_2) \cdot v = ma$ 이므로  $a = \frac{-(k_1 + k_2) \cdot v}{m}$ 이고,  $a = \frac{dv}{dt}$

이므로 양변을 정리하면  $\frac{dv}{v} = -(k_1 + k_2)/m \cdot dt$ 가 된다. 양변을 적분하면,

$$\int_m^v \frac{dv}{v} = -\frac{(k_1 + k_2)}{m} \cdot \int_a^t dt$$

즉  $\ln\left(\frac{v}{v_p}\right) = -\frac{(k_1 + k_2)}{m}t$ , 물체의 속도는 시간에 따라

$v = v_p \cdot e^{-\frac{(k_1 + k_2)}{m}t}$ 로 변한다.(수학Ⅱ의 미적분의 원리 활용)

즉 20초 후의 속도의 크기는  $\frac{400}{(k_1 + k_2)} \cdot e^{-\frac{(k_1 + k_2)}{m} \cdot 20}$  (m/s)이다.

3) 보트는 속도의 크기가 0일 때까지 진행한다.

$$\begin{aligned} \text{이동거리 } S &= \int_0^t v dt = \int_0^t v_0 e^{-\frac{(k_1 + k_2)}{m}t} dt \\ &= \left[ v_0 \frac{-m}{(k_1 + k_2)} e^{-\frac{(k_1 + k_2)}{m}t} \right]_0^t \text{가 되므로} \end{aligned}$$

$t = \infty$ 이면,  $S = v_0 \frac{m}{(k_1 + k_2)}$ 이다.

정답 : 최대 이동거리  $= \frac{400}{(k_1 + k_2)} \times \frac{m}{(k_1 + k_2)} = \frac{400m}{(k_1 + k_2)^2}$  (m)

문제 2. 고등학생인 승우는 물리의 열역학 부분을 공부하면서 다음과 같은 사실을 알게 됐다.

[엔트로피는 물질계가 흡수하는 열량  $dQ$ 와 절대온도  $T$ 와의 비  $dS = dQ/T$ 로 정의한다. 여기서  $dS$ 는 물질계가 열을 흡수하는 동안의 엔트로피 변화량이다. 엔트로피는 일반적으로 현상이 비가역과정인 자연적 과정을 따르게 될 때에는 증가하고 자연적 과정에 역행할 때에는 감소하는 성질이 있다. 예를 들어 폭포수에서 물이 떨어지면 낙차에 비례하는 열이 발생해 물의 온도가 상승하므로 엔트로피는 증가하게 된다.]

- 1) 에너지 보존법칙의 한부분인 열역학 제1법칙을 이전 시간에 배웠던 승우는 혼란스러웠다. 어차피 우주의 에너지 총량이 변하지 않는다면 굳이 에너지 절약을 위해 노력할 이유가 없기 때문이다. 물리교사의 입장에서 승우에게 설명할 수 있는 사례와 원리를 말해 보라.
- 2) 승우는 이 이론에 대해 깊이 생각해본 후에 갈수록 환경문제가 심각해지고 있는 지구의 엔트로피를 감소시키기 위해 등산할 때마다 산 아래쪽에 있는 돌맹이를 주워서 산 정상에 옮기기로 마음먹었다. 그리고 주위 친구들에게 물건들을 항상 높은 위치로 올려놓으라고 알려줬다. 승우의 이런 생각에 대해 비판하라.

## ▶ 출제 의도와 구술 ADVICE

물리의 열역학 영역에서 면접관과 수험생이 대화를 주고받을 수 있는 주제가 열역학 제1·2법



적이다. 교과서 수준에도 미치지 못하는 학생과 시사적·교양적 문제인식의 수준까지 도달한 학생은 여러모로 대비될 것이다.

## ▶ 해설 및 모범답안

- 1) 온도 4백K인 물체에서 3백K인 물체로 1cal의 열이 이동했을 때 열에너지는 보존된다. 그러나 고온 물체의 엔트로피 감소량(1/400)은 저온 물체의 엔트로피 증가량(1/300)보다 작으므로 시스템 전체의 엔트로피는 증가한다. 이를 에너지의 유용성으로 설명해보겠다. 석탄과 석유와 같은 화석연료에는 태양에너지가 광합성에 의해 전환된 화학적 에너지가 저장돼 있는데, 이런 형태의 에너지는 쉽게 열에너지로 전환될 수 있다. 하지만 대기와 지표면에 화학적 에너지가 연소에 의해 변한 열에너지는 물의 증발 등 낮은 확률의 사례 외에는 다른 형태의 에너지로 전환되기 힘들다.
- 2) 높은 곳으로 옮겨진 돌멩이나 물체만 놓고 보면 역학적 에너지가 증가하므로 에너지의 유용성도 증가한다. 그러나 그런 변화를 일으킨 사람을 포함한 시스템 전체(예를 들어 지구)를 생각한다면 승우의 생각에는 오류가 있다. 왜냐하면 물체의 위치를 증가시키기 위해 인체 내의 생화학적 에너지가 근육의 수축과 이완에 의해 역학적 에너지로 전환돼야 하는데, 이 과정은 에너지 효율 100%가 아니다. 생화학적인 의미에서의 호흡은 미토콘드리아 또는 엽록체에서 이뤄지는 에너지대사를 말한다. 화학적인 기질의 산화환원작용에 의해 생화학적 에너지, 주로 ATP(아데노신 3 인산)를 얻는 것인데, ATP는 빛이나 열로 바뀌어 생체 기능을 유지하는 데 사용된다. 승우가 등산을 하기 위해, 또는 친구들이 물체를 높은 곳으로 올려놓기 위해서는 역학적 에너지 증가량 이상으로 생화학적 에너지를 소모하며 그 과정에서 열이 발생되기 때문에 엔트로피는 증가한다.

문제 3. 핵 하나와 전자 하나로 이뤄진 수소 원자를 생각하자. 보어의 가설에 따르면 전자가 특정한 궤도상에 있을 때 전자는 에너지 손실 없이 궤도상에서 회전 운동을 계속할 수 있으며 전자가 궤도간을 이동할 때 빛의 흡수나 방출이 일어난다고 했다. 수소 원자에서 전자가 첫번째 궤도와 두번째 궤도 간에 이동할 때 흡수되거나 방출되는 빛의 파장을 다음의 순서에 따라 구해보자.

- 1) r만큼 떨어진 위치에서 회전 운동하는 전자의 속력  $v$ 를 구하라.
- 2) 보어의 양자화 조건은 궤도의 원둘레가 전자의 물질파 파장의 정수배일 때 전자가 정상 상태에 있다는 것이다. 1)번 결과를 이용해 n번째 궤도의 반지름  $r_n$ 을 n에 관한 식으로 표현하라.
- 3) 반지름 r인 궤도를 도는 전자가 갖는 역학적 에너지의 크기는  $-ke^2/2r$ 이다. 전자가 두번째 궤도에서 첫번째 궤도로 내려올 때 방출하는 빛의 파장의 길이를 구하라.(단,  $2\pi^2mk^2e^4/h^2=2.18\times10^{-18}\text{J}$ ,  $h=6.6\times10^{-34}\text{Js}$ 이다.)

## ▶ 배경지식

보어의 양자화 가설이란 전자의 정상과 조건을 의미하는데, 궤도의 길이가 파장의 정수배가 되면 마치 정상과처럼 안정한 궤도에 있을 수 있다고 주장했다.

$$2\pi r = n\lambda \quad (n=1, 2, 3, \dots)$$

전자가 궤도 이동을 할 때는 빛을 흡수 또는 방출하게 되는데, 이때 빛의 에너지는 두 궤도 사이의 에너지 차이와 같다. 수소의 스펙트럼이 선스펙트럼인 이유는 특정한 궤도상에만 존재하

는 전자들이 궤도 이동을 할 때 특정한 에너지의 빛만을 방출하기 때문이다.

## ■ 해설 및 모범답안

1) 전자의 구심력은 전자와 핵 사이의 전기력이므로,

$$F = k \frac{e^2}{r^2} = \frac{mv^2}{r} \text{에서, } v = \sqrt{\frac{ke^2}{mr}} \text{ 이 된다.}$$

2) 보어의 양자화 조건과 물질파 파장 이론에 의하면,

$$2\pi r_s = n\lambda = n \frac{h}{mv_0} \text{이므로, } v_e = \frac{nh}{2\pi mr_e} \text{ 이 된다.}$$

1)번 결과와 비교해  $v$ 를 소거하면,

$$\frac{nh}{2\pi mr_e} = \sqrt{\frac{ke^2}{mr_e}} \quad \therefore r_e = \frac{n^2 h^2}{4\pi^2 m k e^2}$$

3)  $n$ 번째 궤도의 전자의 에너지는

$$E = -\frac{ke^2}{2r_e} = -\frac{ke^2}{2} \frac{4\pi^2 m k e^2}{h^2} \frac{1}{n^2} = -\frac{2\pi^2 m k^2 e^2}{h^2} \frac{1}{n^2}$$

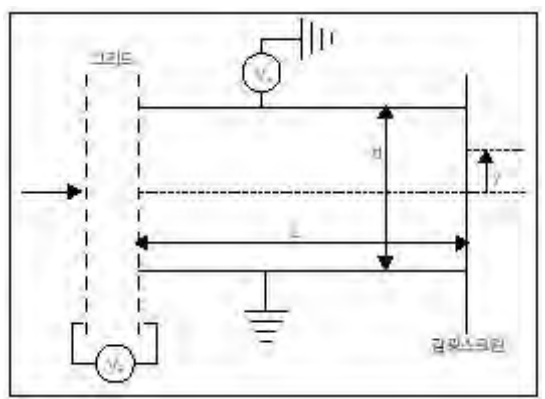
이므로, 두 번째 궤도에 있던 전자가 첫 번째 궤도로 떨어질 때 방출하는 빛에너지  $\Delta E$ 는,

$$\Delta E = E_2 - E_1 = \frac{2\pi^2 m k^2 e^2}{h^2} \left( \frac{1}{1} - \frac{1}{2^2} \right)$$

이다. 빛의 에너지는  $\frac{hc}{\lambda}$ 이므로, 빛의 파장을 구할 수 있다.

$$\lambda = \frac{hc}{\Delta E} = \frac{6.6 \times 10^{-34} \times 3 \times 10^8}{2.18 \times 10^{-18}} \cdot \frac{4}{3} = 1.2 \times 10^{-7} (m) = 120 (nm)$$

문제 4. 종류를 알 수 없는 어떤 전하가 전압  $V_2$ 가 걸린 두 그리드 사이에서 가속돼 전압  $V_1$ 이 걸린 평행판 사이로 평행판과 평행하게 입사됐다. 전하는 평행판을 지나는 동안 전기력을 받아 처음 입사 방향으로부터  $y$ 만큼 떨어진 위치에서 검출될 것이다. 이 때 이  $y$ 의 값을 주어진 변수로 표현하라(단 그리드로 입사되기 직전의 전하의 속력은 0이고, 질량을  $m$ , 전하량을  $q$ 로 둔다).



## ▶ 출제 의도와 구술 ADVICE

전기장이나 자기장 내에서 전하가 받는 힘에 관한 문제는 수능이나 내신에서도 많이 접하는 유형이다. 그러나 힘을 받은 전하의 운동을 기술하기 위해선 전자기학적 지식에 역학적 이론을

적용해야만 해결되므로 유기적인 이해력을 요하는 구술 문제로 출제될 가능성이 크다. 이 문제에서 두개 이상의 분야에서 익힌 이론과 공식이 어떻게 적용되고 있는지 분석해 본다면 이와 비슷한 유형의 문제를 접하더라도 자신감을 가질 수 있을 것이다.

## ▶ 해설 및 모범답안

전하의 질량을  $m$ , 전하량을  $q$ 라고 두자.

전하가 그리드를 지나는 동안 얻는 운동에너지의 크기는  $\frac{1}{2}mv^2 = qV_m$ 이 된다.

따라서 평행판 내로 입사되는 전하의 초속도  $v$ 는  $v = \sqrt{\frac{2|qV_m|}{m}}$  와 같이 쓸 수 있다.

$d$ 만큼 떨어진 평행판에  $V_m$ 의 전압이 걸려 있을 때 방사선은 가속도  $a$ 인 등가속도 운동을 한다.

이때 가속도의 크기는 뉴턴의 운동 법칙으로부터  $a = \frac{F}{m} = \frac{qE}{m} = \frac{qV_m}{md}$  이고, 방향은  $y$ 방향이다.

이제 이 방사선은 중력장에서 수평으로 던져진 물체와 같은 운동을 하므로 운동방향 성분을 구분해 풀어보자.

$x$  방향 : 초속도  $v$ 인 등속 직선운동을 한다. 길이  $L$ 인 평행판을 지나는데 걸리는 시간을  $t$ 라 두면,

$$t = \frac{L}{v} = L \sqrt{\frac{m}{2|qV_m|}} \text{ 이다.}$$

$y$  방향 : 시간  $t$  동안 가속도  $a$ 인 등가속 직선운동을 하므로, 이동거리  $y$ 는

$$y = \frac{1}{2}at^m = \frac{1}{2} \cdot \frac{qV_m}{md} \cdot \left( L \sqrt{\frac{m}{2|qV_m|}} \right)^m = \frac{L^m V_m}{4d V_m} \text{ 가 된다.}$$

## 플러스 정보

| 열과 일, 같지만 다른 개념 |

사람이 무거운 추를 들어올리려면 일을 해야 하고, 물을 끓이려면 열을 가해야 한다. 그런데 거친 표면을 열심히 문지르는 ‘일’을 하면 표면이 마치 ‘열’을 받은 것처럼 뜨거워진다. 전혀 다른 것 같았던 일과 열이 서로 연관돼 있는 것이다. 이런 사실을 처음 발견하고, 일과 열의 관계를 밝혀낸 사람이 바로 영국의 과학자 줄(1818-1889)이다.

| 줄의 실험장치 |

열역학의 제1법칙에서는 그런 일과 열을 합쳐서 ‘에너지’라는 새로운 개념을 정의한다. 에너지는 계의 상태가 변할 때 일이나 열의 형태로 나타낼 수 있는 추상적인 양을 나타낸다. 그 크기는 줄의 이름을 따라 줄(J)이라는 단위로 표시한다. 1줄은 어떤 물체를 1뉴턴(N)의 힘으로 1미터(m)만큼 움직이는데 필요한 일의 양이다. 1840년대 줄의 실험에 의해 물 1g의 온도를 1℃ 올리는 데 필요한 열은 4.18J의 일(1cal)에 해당한다는 사실이 밝혀졌다. 따라서 줄은 일과 열, 그리고 에너지를 나타내는 단위로 사용된다.

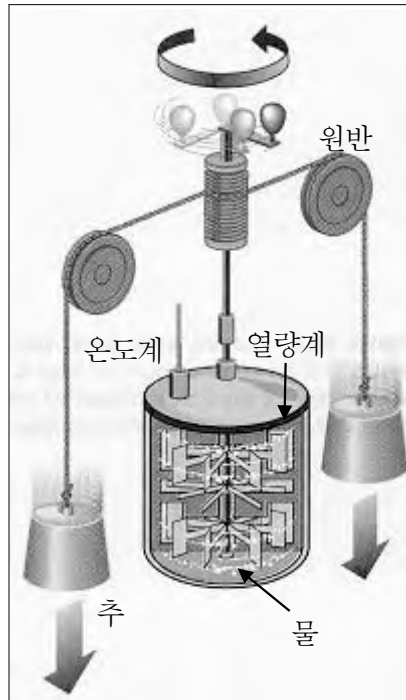
그렇다면 일과 열은 어떻게 다를까? 추를 들어올리는 일을 하면 추를 구성하고 있는 분자는 모두 같은 방향으로 움직인다. 하지만 물에 열을 가하면 물분자들은 점점 더 불규칙하게 움직

인다. 이처럼 계의 상태가 바뀌면서 주위에 있는 모든 분자들을 일정한 방향으로 움직이게 만든 것은 ‘일’이고, 불규칙적으로 움직이게 만들면 ‘열’이다. 즉 같은 양의 에너지를 소모하더라도 추를 들어올리면 일이 되고, 물을 열심히 저어서 물분자들이 아무렇게나 움직이게 만들면 열을 가해준 것으로 본다.

열역학에서는 에너지를 다음과 같이 정의한다. 에너지는 여러가지 형태로 존재할 수 있다. 또 다른 형태의 에너지는 서로 변환이 가능하다. 높은 곳의 물체가 아래로 떨어지면 위치에너지가 줄어드는 대신 운동에너지는 증가하는 것이 그런 예다. 또 움직이는 물체의 운동에너지는 충격을 통해서 다른 물체에 전달되기도 한다.

우리의 우주에서 에너지의 변환이나 전달은 가능하지만 전혀 새로운 에너지가 갑자기 생겨나는 일은 절대 있을 수 없다는 것이 열역학 제1법칙이다. 따라서 이를

‘에너지 보존법칙’이라고도 부른다. 우리는 대폭발(빅뱅)에서 생겨난 에너지를 ‘재활용’하면서 지금까지 이어져 왔고, 앞으로도 그럴 것이라는 뜻이다.



(그림1) 줄의 실험장치

1843년 줄은 그림과 같은 장치를 고안해 열량계에서 발생한 열량은 중력이 추를 낙하시키는데 한 일에 비례한다는 사실을 알아냈다.

추가 낙하하면 열량계 속에 있는 날개가 회전하면서 물을 휘젓는다.

이 때 날개와의 마찰에 의해 열이 발생해 물의 온도가 올라간다.

여기서 측정한 물의 온도로 물이 얻은 열량을 구할 수 있다.

## 2003년 02월호-물리 면접구술고사 완벽가이드

### ■ 출제 경향 및 단원 대비 방안

과학논술과 학업적성평가의 경우에도 실생활에서 경험할 수 있는 물리적 현상의 소재가 주로 힘·운동과 관련돼 있기 때문에 역학의 개념은 매우 중요하다. 예를 들면 말이 마차를 끌어가는데 원리를 물었던 성균관대의 2002학년도 과학논술문항이나, 달에 번지점프를 세울 때 고려해야 할 물리적 요소를 묻는 학업적성평가문항 등이 있다.

구술면접에서 역학 분야는 공통과학과 물리I·II에서 공통적으로 다루는 내용이 많이 출제된다. 면접 및 구술고사에서 만날 수 있는 역학 문항은 성격상 세가지로 분류할 수 있다.

첫째는 개념 자체를 아는 대로 설명해보라는 식의 문항이다. ‘뉴턴의 운동 제 1·2·3 법칙을 아는 대로 설명해보라’ ‘만유인력과 전기력의 공통점과 차이점에 대해 말해보라’ ‘작용·반작용 관계에 있는 두힘과 평형 관계에 있는 두힘의 공통점과 차이점을 설명해보라’ ‘역학적 에너지 보존의 법칙을 설명하라’등의 문항들이 출제됐다.

둘째는 역학적 개념에 수학적 기술을 적용해 정답을 구한 후에 면접관 앞에서 정답의 근거를 말하는 문항이다. ‘일정한 속도로 지면에 비스듬히 던진 물체의 수평도달거리를 최대로 할 수 있는 조건을 구하라’ ‘지표면에서 인공위성을 특정 고도까지 보내기 위한 최소한의 발사속도를 구하라’ ‘농구공이 농구장 바닥에 떨어질 때 시간에 따른 속도의 변화를 그래프로 그리고 설명하라’ 등의 문항들이 여기에 속한다.

셋째는 수험생이 대학의 물리개론서 수준까지 준비해야만 풀 수 있는 고난이도의 응용문항이다. ‘공기의 저항을 고려해 낙하하는 물체의 운동을 기술하라’ ‘물 속에서 공기방울이 받는 부력의 크기를 구하고, 종단속도를 구하라’ ‘용수철 위에 물체를 올려놓고 물체를 아래로 눌렀을 때, 물체가 용수철로부터 떨어질 조건을 구하라’등의 문항들이 대표적이다.

첫번째 영역은 교과서를 중심으로 꼼꼼히 준비하면 크게 어려울 것이 없으므로, 이번 호에서는 두번째와 세번째 영역의 문항을 대비해보자.

문제 1. 직선도로에서 속력이 증가하고 있는 버스 속에 타고 있는 승우는 한번 연직 위로 점프했을 때 자기 몸이 버스 바닥에 대해 1m 뒤쪽에 떨어지는 것을 경험했다. 다음의 물음에 답하라(단 중력가속도  $g=10\text{m/s}^2$ 으로 한다).

- (1) 버스기사가 속도계판을 보니 5초마다 속력이 36Km/시 증가했다. 버스의 총 질량이 6000Kg이라면 버스에 작용하는 알짜힘의 크기는 얼마인가?
- (2) 승우가 뒤쪽 1m 지점에 떨어질 때까지의 체공시간을 구하라.
- (3) 승우가 다리근육에 힘을 쥐 바닥을 누를 때 몸이 체공할 수 있는 조건을 말하라.
- (4) 승우의 체중이 50Kg중이고 버스 바닥에 힘을 가한 시간이 0.5초라면, 승우가 바닥에 0.5초 동안 가한 평균힘의 크기는 얼마인가?

### ▶ 출제 의도와 구술 ADVICE

중력장 내에서 관성력을 받는 물체의 운동에 대한 문항이다. 구술고사 문항은 한 가지 현상에 관련된 여러 소문항을 통해서 역학 전체를 평가하려는 속성을 가진 경우가 많다. 서로 다른 운동현상이라도 풀이에 필요한 개념이나 원리는 결국 대동소이하다. 그러므로 많지 않은 수의 문

항이라도 기본개념이 어떻게 연결돼 있는지를 정확히 분석하고 발표까지 준비한다면 자신감을 얻을 수 있을 것이다.

### ▶ 배경지식

관성력은 가속 운동하는 좌표계에서 운동의 법칙이 성립하기 위한 가상의 힘이다. 그러므로 외부의 정지좌표계에서 관찰하는 사람에게는 느낄 수 없는 힘이다.

- ① 좌표계(위 문제에서는 버스)의 가속도 방향과 항상 반대로 작용한다 ( $F = -ma$ ).
- ② 가상적 힘이므로 반작용력이 없다.
- ③ 원심력은 원운동에서의 관성력이며 구심력과 크기가 같다.
- ④ 가속도 운동을 하는 엘리베이터 안에서 단진자의 주기는 관성력의 방향에 따라

$$T = 2\pi \sqrt{l/g+a}$$

로 달라지고, 용수철 진자의 주기는 변함이 없다.

- ⑤ 종이 위에 있는 동전을 제자리에 있게 종이를 빼는 방법은 동전의 관성력( $-ma$ )이 종이의 최대정지마찰력( $\mu \cdot mg$ )보다 크거나 같게 한다 ( $\mu$ 는 마찰계수).

### ▶ 해설 및 모범답안

- (1) 버스에 작용하는 알짜힘  $\Sigma F = ma = 6000\text{Kg} \times (36000\text{m} \div 3600\text{s})/5\text{s} = 12000\text{N}$ 이다.

- (2) 승우가 수평방향  $2\text{m/s}^2$ 으로 가속하는 버스바닥에 대해 연직 위로 튕 후  $1\text{m}$ 만큼 뒤로 움직였으므로, 다음의 식이 성립한다.

$$1\text{m} = 1/2 \times 2(\text{m/s}^2) \times t^2 \quad (\leftarrow S = v_0 \cdot t + 1/2 \cdot a \cdot t^2)$$

$\therefore$  정답은 1초다.

- (3) 승우의 몸이 공중으로 떠올랐다는 것은 위쪽 방향으로 알짜힘이 작용했음을 의미한다. 승우가 바닥에 아래쪽 방향으로 가하는 힘만큼의 반작용력으로 바닥이 승우에게 위쪽 방향으로 가하므로 바닥에 가하는 힘은 최소한 체중이  $50\text{Kg}$ 중 이상이어야 한다.

- (4) 힘의 크기는 질량과 가속도를 구함으로써 알 수 있다. 바닥에  $0.5\text{초}$  동안 힘을 가할 동안의 가속도는 발이 바닥과 떨어지는 순간의 속도 크기를 구하면 알 수 있다. 연직으로 운동한 승우가  $1\text{초}$  후에 다시 바닥에 내려왔으므로, 공중으로 뜬 후  $0.5\text{초}$  뒤에 최고점에 도달한 것이다. 그러므로 다음의 식이 성립한다.

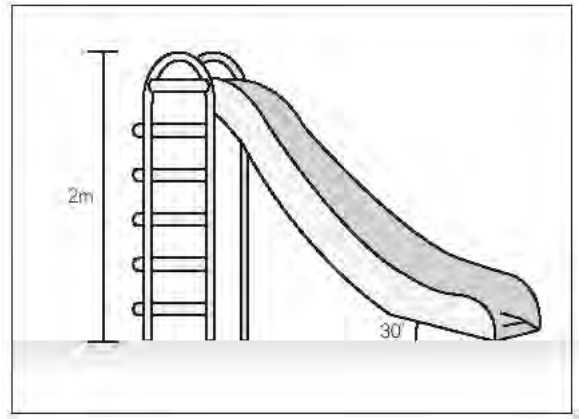
$$0 = v_0 - g \cdot t = v_0 - 10 \times 0.5$$

$$\therefore v_0 = 5(\text{m/s})$$

$0.5\text{초}$  동안에 속도의 크기가  $5(\text{m/s})$ 만큼 증가했으므로 가속도의 크기는  $10(\text{m/s}^2)$ 이다.

$\therefore \Sigma F = ma = 50\text{Kg} \times 10\text{m/s}^2 = 500(\text{N})$ 이고, 승우에게는 중력이  $50\text{Kg}$ 중 작용하므로 바닥에 가한 총 힘의 크기는  $1000(\text{N})$ 이다.

문제 2. 초등학교 운동장에 놀러간 초민이는 미끄럼틀을 보고 어릴 때 생각이 나서 타보았다. 다음 물음에 답하라(우측 그림과 같이 미끄럼틀의 높이는 2m, 지면과 미끄럼대의 각도가 30°이고, 초민이의 질량은 50Kg이다. 중력가속도는  $g(m/s^2)$ 이고, 공기의 저항은 무시한다).



(1) 초민이가 미끄럼틀 꼭대기에 올라가 운동장에서 주워온 납작한 돌멩이를 미끄럼대에 가만히 놓았더니 미끄러지지 않아 손으로 살짝 밀었더니 일정한 속력으로 내려갔다. 돌멩이와 미끄럼대와의 마찰계수를 구하라.

(2) 돌멩이를 따라 미끄러져 내려온 초민이는 아래쪽에서 돌멩이를 밀어서 미끄럼대의 꼭대기까지 보내는 놀이를 하였다. 돌멩이의 질량이 0.5Kg이라면 최소한 얼마만큼의 일을 해야 미끄럼대의 위쪽 끝까지 올라갈까?

### ▶ 출제 의도와 구술 ADVICE

역학 문항이 묻는 주요 원리는 크게 정량적인 것과 정성적인 것으로 나뉜다. 수학적 기술에 의해 정답을 구할 수 있는 것이 전자에 속하는데, 이에는 에너지 보존의 원리, 역학적 에너지 보존의 원리, 운동량 보존의 원리, 힘과 가속도·속도·변위와의 관계 등이 있다. 후자는 자연의 경향성과 관련된 원리로, 비가역성의 원리, 엔트로피 증가의 원리, 카오스 이론 등이 이에 속한다. 이런 원리들이 구술문항에 어떻게 적용되는지 분석해 본다면, 어느 순간에 출제자의 의도를 꿰뚫고 스스로 문항을 만드는 재미를 느낄 수 있을 것이다.

### ▶ 해설 및 모범답안

(1) 경사각이 30°인 빗면에서 물체가 등속도로 운동하는 경우이므로, 돌멩이에 작용하는 힘들의 합력이 0이 돼야 한다. 즉 물체에 작용하는 중력의 수평성분과 마찰력의 크기가 같다. 돌멩이의 질량을  $\mu \cdot m(Kg)$ 이라 하면, 다음의 식이 성립한다.

$$mg \cdot \sin 30^\circ = \mu \cdot mg \cdot \cos 30^\circ$$

$$\therefore \mu_{\text{운동}} = \tan 30^\circ = \sqrt{3}/3$$

(2) 돌멩이의 위치에너지 증가량과 미끄럼대 표면의 마찰력이 돌멩이에게 하는 일의 양만큼 돌멩이가 운동에너지를 가져야 한다. 그러므로 아래의 식이 성립한다.

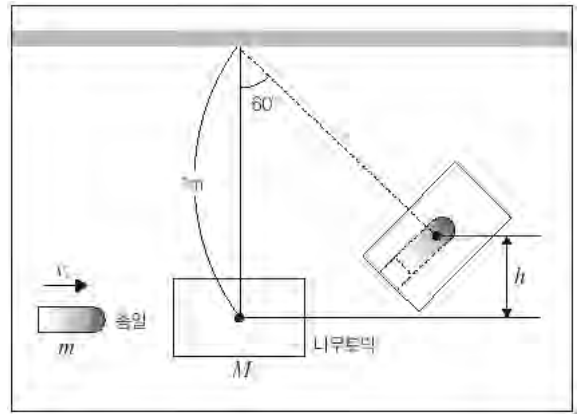
$$\cdot \text{위치에너지 증가량} : mgh = 0.5 \times g \times 2 = 1g(J)$$

$$\cdot \text{마찰력이 돌멩이에게 하는 일의 양} :$$

$$\text{마찰력} \times \text{이동거리} = \mu_{\text{운동}} \cdot mg \cdot \cos 30^\circ \times 2 \csc 30^\circ = \sqrt{3}/3 \times 0.5g \times \sqrt{3}/2 \times 2 \times 2 = 1g(J)$$

$$\therefore \text{정답은 } 2g(J) \text{이다.}$$

문제 3. 과학경시대회를 준비하느라 물리 공부에 전념하던 명섭이는 잠시 쉬는 시간에 TV를 켰다. TV에는 주인공인 듯한 남자가 나무에 매달린 나무토막에 연습 삼아 총을 쏘고 있었다. 줄에 매달린 나무토막의 질량은 1Kg 정도로 보였고, 줄의 길이는 1m였으며 인터넷에서 찾아본 총알의 질량은 0.02Kg이었다. 다음 물음에 답하라.



- (1) 나무토막에 총알이 박힌 후 줄이 연직 방향에 대해  $60^\circ$ 만큼 올라갔다면, 증가한 위치에너지의 양은 대략 얼마일것인가?(단 줄의 무게는 무시하며 중력가속도는  $g(m/s^2)$ 로 한다)
- (2) 총알이 나무토막에 박힐 때, 소리나 열에너지의 형태로 에너지가 손실되기 때문에 역학적 에너지는 감소한다. 그렇더라도 충돌 전후의 운동량은 서로 같은가? 그리고 그 이유를 설명하라.
- (3) 나무토막에 부딪히기 직전의 총알의 속력은 얼마일것인가?(단 총알이 박힌 후 줄에 매달린 채 운동한 나무토막은 에너지 손실은 없다고 가정한다)

### ▶ 출제 의도와 구술 ADVICE

운동량 보존의 원리, 충격량과 운동량과의 관계, 역학적 에너지 보존 원리를 평소에 충실히 익혀둬야 풀 수 있는 문항이다. 이들은 거의 대부분의 역학적 현상을 분석하기 위한 기본 원리이기 때문에 운동의 기술만큼이나 출제 비율이 높다.

### ▶ 배경지식

운동량(momentum)은 물체의 질량과 속도를 곱한 벡터량으로 운동의 세기(충격 정도)를 나타낸다.

$$\vec{P} = m\vec{v} (Kg \cdot m/s)$$

운동하는 물체를 정지시키기 위해서는 속도가 빠를수록, 질량이 클수록 큰 힘이 필요하다.

충격량(impulse)은 물체에 작용한 힘을 준 시간의 곱으로 힘의 시간적인 축적을 나타내는 벡터량이다.

$$\vec{I} = \vec{F} \cdot t = \int \vec{F} \cdot dt (N \cdot s)$$

충격량의 크기가 같더라도 힘이 작용하는 시간  $t$ 를 길게 하면 충격력  $F$ 를 높일 수 있다. 물체의 운동량의 변화량( $m\Delta\vec{v}$ )은 그 물체에 주어진 충격량과 같다.

### ▶ 해설 및 모범답안

- (1) 각도가  $60^\circ$ 이므로 올라간 높이는

$$1 - 1 \times \cos 60^\circ = (m) \text{이다.}$$

그러므로 증가한 위치에너지량

$$mgh = (1 + 0.02) \times g \times 1/2 = 0.51g(J) \text{이다.}$$



(2) 나무토막에 박힐 때, 총알이 나무토막으로부터 받는 힘의 크기와 나무토막이 총알에 가하는 힘은 작용-반작용 관계에 있고, 각각은 크기가 같고 방향이 반대이며 작용점이 상대편 물체에 있다. 그리고 총알이 나무토막에 힘을 가하는 시간과 나무토막이 총알에 힘을 가하는 시간도 같다. 충격량은 힘과 시간의 곱이므로 총알과 나무토막이 받은 충격량은 방향이 반대이고 크기는 같다. 그러므로 에너지 손실과 무관하게 운동량은 보존된다.

(3) 총알의 원래 속도를  $v(\text{m/s})$ , 나무토막에 부딪힌 직후 나무토막과 총알의 속도를  $V(\text{m/s})$ 라 하면,

· 첫째 역학적 에너지 보존 원리에 의해 다음의 식이 성립하므로  $V$ 를 구할 수 있다.

$$\frac{1}{2}(m+M)V^2 = (m+M) \cdot g \cdot \frac{1}{2} \text{이므로}$$

$$V = \sqrt{g}(\text{m/s})$$

· 둘째 총알이 나무토막에 박히기 전후에 운동량이 보존되므로 다음의 식이 성립한다.

$$mv = (m+M)V \text{이므로}$$

$$v = \frac{(m+M)V}{m}$$

$$= \frac{1.02 \times \sqrt{g}}{0.02} = 51\sqrt{g}(\text{m/s})$$

$\therefore$  나무토막에 부딪히기 직전의 총알의 속력은  $51\sqrt{g}(\text{m/s})$ 이다.

문제 4. 축구연습을 하던 한열이는 축구공을 여러 번 힘껏 차다가 문득 지면에 대해 공을 어떤 일정한 각도로 찼을 때 가장 멀리 날아가는 것을 알게 됐다. 다음의 물음에 답하라(단 공기의 저항은 무시한다).

- (1) 한열이가 질량  $m(\text{Kg})$ 인 축구공을 수평면과  $\theta$ 의 각으로 초속도  $V_0$ 로 차 올렸다. 중력가속도를  $g$ 라 할 때, 공의 최고 높이를 구하라.
- (2) 최고점에서의 운동에너지와 위치에너지의 비를 구하라(단 차올린 점을 기준점으로 한다).
- (3) 축구공을 가장 멀리 날아가게 할 수 있는 각도( $\theta$ )를 구하시오.

## ▶ 출제 의도와 구술 ADVICE

중력장 내에서 지면에 비스듬히 던져 올린 물체의 운동을 여러 요소로 분석하는 문항이다. 63빌딩 옥상에서 쇠구슬을 가만히 놓으면 과연 몇초만에 지면에 닿을지, 그리고 자유낙하를 이용해 자신이 사는 아파트의 높이를 구할 수는 있는지, 수평으로 날고 있는 비행기에서 물체를 가만히 놓았을 때 공기의 저항을 고려한 운동을 기술할 수 있는지를 점검해 보아야 한다.

## ▶ 배경 지식

지면에 비스듬히 위로 던진 물체의 운동은 속도의 수평성분과 수직성분으로 분해해서 분석해야 정확한 기술이 가능하다.

① 수평 속도 :  $V_x = V_0 \cdot \cos\theta$

수평 운동은 수평 방향으로 작용하는 힘이 없으므로 등속도 운동을 한다.

② 수직 운동 :  $V_y = V_0 \cdot \sin\theta - gt$

수직 운동에는 아래 방향으로 중력이 작용하므로 가속도가  $-g(m/s^2)$ 인 등가속도 운동을 한다.

### ▶ 해설 및 모범답안

(1)  $V_y = V_0 \cdot \sin\theta - gt = 0$ 에서  $t = \frac{V_0 \cdot \sin\theta}{g}$  이

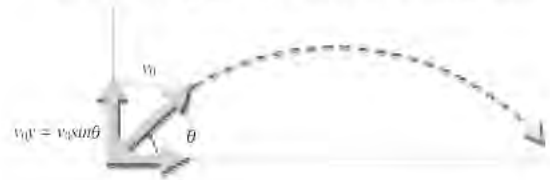
므로, 최고점의 높이는

$V_0 \cdot \sin\theta - \frac{1}{2}g \cdot t^2$ 에  $t$ 를 대입하면

$$\frac{(V_0 \cdot \sin\theta)^2}{g} - \frac{1}{2} \times \frac{(V_0 \cdot \sin\theta)^2}{g} = \frac{(V_0 \cdot \sin\theta)^2}{2g}$$

$\therefore$  정답은  $\frac{(V_0 \cdot \sin\theta)^2}{2g}$  (m)이다.

(그림 1) 속도  $V_0$ , 지면각도  $\theta$ 로 쏘아올린 포탄의 운동



(2) 최고점에서 속도의 수직성분이 0이므로 운동에너지는  $\frac{1}{2}m(V_0 \cdot \cos\theta)^2$ 이고 위치에너지는

$$mgh = \frac{mg(V_0 \cdot \sin\theta)^2}{2g} = \frac{1}{2}m(V_0 \cdot \sin\theta)^2 \text{이므로 운동에너지/위치에너지} = (\cot\theta)^2 \text{이다.}$$

(3) 축구공이 최고점까지 도달하는데 걸리는 시간이 (1)번 문항에서  $V_0 \cdot \sin\theta/g$ 이므로 지면에 떨어지는데 걸리는 시간은 2배인  $2V_0 \cdot \sin\theta/g$ 이다. 그러므로 수평도달거리

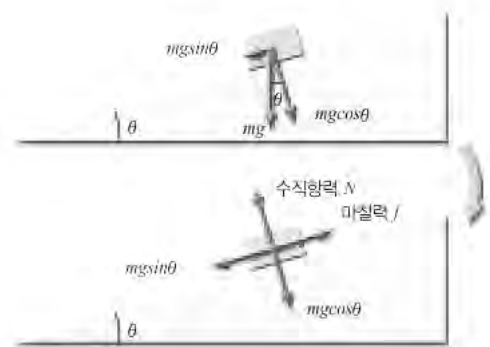
$$S = V_0 \cdot \cos\theta \times V_0 \cdot \sin\theta/g = V_0^2 \sin\theta \cos\theta/g$$

$$= \frac{V_0^2 \sin 2\theta}{2g} \text{가 되어 } \sin 2\theta \text{가 최대값을 가지는}$$

$\theta = 45^\circ$ 가 된다.

$\therefore$  지면에 대해  $45^\circ$  각도로 축구공이 날아가도록 차면 가장 멀리 간다.

(그림 2) 빗면에서의 운동 분석



## ■ 단원 출제 경향 및 대비 방안

고교 물리 교과서를 보면 열역학 부분은 이론 물리 그 자체인 것처럼 느껴진다. 수많은 개념과 원리, 그리고 끝없이 등장하는 관계식은 물리경시대회를 준비하는 학생에게조차 부담스럽게 여겨질 정도다. 그래서인지 구술면접이나 학업적성평가에도 출제빈도가 다른 영역에 비해서 낮은 편이다. 그러나 열역학은 한 부분 한 부분 곰곰이 생각하며 분석해보면 어느 하나 실생활과 동떨어진 내용이 없다. 모두 가장 실험적이고 경험적이다. 열과 온도의 개념 차이, 열량·열용량과 비열의 의미와 현상에의 적용, 열의 이동 방식, 기체의 상태방정식, 기체의 내부 에너지, 열기관의 원리와 열효율, 열에너지의 다른 형태 에너지로의 전환, 열손실, 열역학 제1·2법칙 등은 우리 주위에서 손쉽게 경험할 수 있기 때문이다. 열역학 부분을 부담스럽게 느끼는 이유는 여러 원리들을 개별적으로 외워 적용시키려 하기 때문이다. 하지만 각 원리들의 유기적 관계를 파악하고 실제 생활과 연관시켜 인식하도록 노력하면 다른 영역보다 편한 느낌이 들 것이다.

열역학에서 출제빈도가 높은 주제는 열역학 제 1·2법칙이다. ‘밀폐된 실내에 있는 냉장고 문을 열어 두면 실내 온도는 어떻게 되겠는가’ ‘엔트로피에 대해 설명하라’ ‘우주에 에너지 총량이 보존된다면 굳이 에너지를 절약할 이유가 있는가’ 등의 문제가 출제된 바 있다.

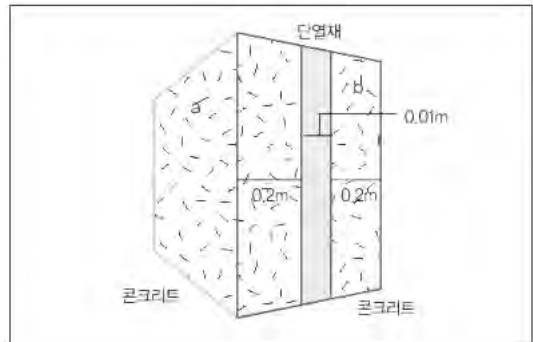
두번째로 ‘열기관의 문제점을 설명해 보라’, ‘난로에 의해 방이 훈훈해지는 것은 어떤 열이동 방식인가’, ‘9Kg의 50℃ 물에 1Kg의 영하 10℃ 얼음을 넣었을 때 열평형 온도는 얼마인가’, ‘100℃의 한증막 내에서는 화상을 입지 않으나 50℃의 열탕에서는 사람이 참기 어려운 이유를 설명하라’, ‘보일-샤를의 법칙과 이상기체 상태방정식에 대해 설명하라’ 등의 문항도 출제됐다. 이번 3월호에서는 주로 두번째 영역의 문항들에 대한 대비를 효율적으로 할 수 있도록 몇가지 사례를 살펴보자. 평범한 상황들이 어떻게 구술면접 평가문항으로 전환되는지를 중점적으로 살펴보고, 문제 해결에 필요한 개념이나 원리가 어떤 것인지 알아본다.

문제 1. 열역학을 공부하던 동욱이는 인터넷으로 난방과 관련된 기사를 검색하던 중 1998년 초 우리나라가 환율위기에 처해 국민 대부분이 생활고에 시달리던 당시 동아일보에 실린 다음과 같은 기사를 보게 됐다. 다음 물음에 답하라.

<기름값 인상으로 아파트 관리비도 요즘같은 불경기엔 여간 부담스럽지 않다. 평수를 줄일 경우 현재 20만원 안팎인 아파트 관리비를 줄일 수 있다는 계산이다. 일산의 경우 대형과 소형 구분 없이 아파트 급매물이 쏟아지고 있으며 최근엔 43평형 아파트가 전세 6천만원까지 나오고 있는 실정이다. 이는 25평형의 아파트 전세가와 비슷한 수준이다.>

1) 위 기사에서 난방비 때문에 큰 평수의 아파트보다 작은 평수의 아파트를 선호한다는 것은 몇가지 전제조건을 갖는다. 아파트 내부에서 외부로 빠져나가는 열량을 결정하는 요소들을 설명하고, 많은 비용을 들이지 않고도 난방비를 낮출 수 있는 방안에 대해 설명하라.

2) 동욱이가 자기 아파트의 벽을 조사해 보니 우측 그림과 같이 열전도율이  $1(\text{kcal}/\text{mh}^\circ\text{C})$ 인 콘크리트 내부에 열전도율이  $0.02(\text{kcal}/\text{mh}^\circ\text{C})$ 인 단열재가 있었고 두께가 각각 0.2(m), 0.01(m), 0.2(m)였다. 실내 벽면의 평균 온도는  $15^\circ\text{C}$ 였고, 실외 벽면의 평균온도는  $5^\circ\text{C}$ 였다. 단열재 양쪽 면의 온도를 구하고, 벽을 통해 단위 면적( $\text{m}^2$ ) 당 한 시간(h)에 빠져나가는 평균열량을 구하시오.



## ▶ 출제 의도와 구술 ADVICE

실생활에서 열에너지의 원리와 현상을 직접 느낄 수 있는 소재가 열의 이동이다. 열의 이동에는 전도와 대류 그리고 복사의 세가지 방식이 있으나, 대류는 고교 수준에서 분석하기 까다로운 현상이고 복사는 지구과학에서 자세히 다루므로 물리 구술고사에서는 열의 전도가 주로 출제되고 있다. 물리 교과서에 원리 위주로 설명된 상황들이 실생활에 어떻게 적용될 수 있는지를 분석해둘 필요가 있다.

## ▶ 배경지식

열의 전도

- 1) 물질의 이동을 수반하지 않고 열에너지가 고온부에서 저온부로 이동하는 현상이다. 온도가 높은 물체와 낮은 물체를 접촉시켜 놓으면 시간의 경과와 함께 둘 사이의 온도차가 없어지고, 결국에는 똑같은 온도가 된다 (열평형).
- 2) 미시적 관점으로 보면 분자들의 충돌에 의해 운동 에너지가 전달돼 저온 물체 분자들의 열운동이 활발해지는 것으로 설명된다.
- 3) 단면적  $A(\text{m}^2)$ , 길이  $L(\text{m})$ , 두 지점의 온도차가  $(T_{\text{고}} - T_{\text{저}})(^\circ\text{C})$ 인 두 열원 사이에  $t$ 초 동안에 전도되는 열량  $Q$ 는

$$Q = k \cdot A \frac{T_{\text{고}} - T_{\text{저}}}{L} t \quad (k: \text{열전도율})$$

## ▶ 해설 및 모범답안

- 1) 넓은 집일수록 겨울의 난방비나 여름의 냉방비가 많이 든다는 것은 그만큼 열이 전도될 수 있는 면적이 넓음을 의미한다. 그러나 면적 외에 실내외의 열 출입량에 영향을 미치는 요소는 몇가지가 더 있다. 예를 들어 실내 온도와 실외 온도의 차이( $T_{\text{고}} - T_{\text{저}}$ ), 벽이나 유리의 두께( $L$ )와 소재(열전도율인  $k$ ), 단열재 유무와 종류( $k'$ ), 빈틈을 통한 열대류와 주로 창문을 통한 복사 등이다. 벽의 두께를 늘리거나 단열재를 다시 시공하는 것은 많은 비용이 들므로, 실내의 온도를 낮춰 실내와 실외의 온도차를 줄이도록 내복을 항상 입거나 최대한 틈을 막고 출입문과 창문의 개폐 횟수를 줄여 열대류에 의한 열손실량을 줄여야 한다.
- 2) 실내에서 실외로 단위면적 당 단위시간 동안 전도되는 열량( $Q : \text{kJ/m}^2 \cdot \text{s}$ )은 벽 속의 어느 지점에서나 똑 같으므로, 단열재의 왼쪽 면의 온도를  $T_1$ , 오른쪽 면의 온도를  $T_2$ 라 하면 다음의 식이 성립한다.

왼쪽 콘크리트에 전도되는 열량=단열재에 전도되는 열량=오른쪽 콘크리트에 전도되는 열량

$$Q = 1 \cdot \frac{15 - T_1}{0.2} = 0.02 \cdot \frac{T_1 - T_2}{0.01} = 1 \cdot \frac{T_2 - 5}{0.2}$$

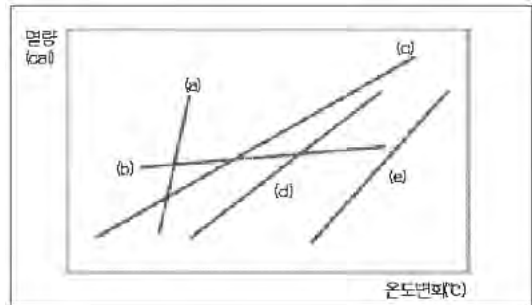
위 식을 연립해서 풀면  $T_1 = 115/9(^\circ\text{C})$ ,  $T_2 = 65/9(^\circ\text{C})$ 이다. 그리고  $Q = 100/9(\text{Kcal/h})$ 가 구해진다.

$\therefore$  단열재의 왼쪽 면의 온도는  $\frac{115}{9}^\circ\text{C}$ 이고, 오른쪽 면의 온도는  $\frac{65}{9}^\circ\text{C}$ 이며, 1시간 동안 벽

$1\text{m}^2$  면적을 통해 빠져나가는 열량은  $\frac{100}{9}\text{Kcal}$ 이다.

문제 2. 승민이는 아버지를 따라 처음으로 한증막이라는 곳을 가보게 됐다. 한참을 있던 중 한증막에 걸린 온도계를 보자 깜짝 놀라지 않을 수 없었다. 한증막의 온도가 무려 90℃나 됐기 때문이다. 40℃도 안되는 온탕에는 뜨거워 들어가지도 못했던 것과 비교하면 참으로 이상한 일이었다. 이런 의문을 다음의 문제를 통해 해결해 보자.

- 1) 다음 그림은 여러 가지 물질의 온도 변화에 따른 열량의 변화를 나타낸 그래프다. 열용량이 가장 큰 물질은?
- 2) 0℃의 물 200g에 100℃의 어떤 금속 50g을 담갔을 때 두 물체는 몇 ℃에서 평형을 이루겠는가?(단 물의 비열은 1cal/g, 금속의 비열은 0.2cal/g이다)
- 3) 기온이 100℃ 가까이 되는 한증막에 사람이 들어가더라도 쉽게 화상을 입지 않는 이유를 무엇인가?
- 4) 영화 ‘타이타닉’에는 북극해 물 속에 잠겨있던 남자 주인공은 죽고, 바다 위에 떠 있던 배 파편 위의 여자 주인공은 살아남아 구조되는 장면이 있다. 북극해역의 수온은 0℃~-1.8℃인데 반해 대기의 온도는 -20℃~-40℃이다. 그렇다면 남자주인공이 먼저 죽은 이 영화는 과학적으로 오류가 있는 것인가?



#### ▶ 출제 의도와 구술 ADVICE

열역학을 잘 하는 사람도 흔히 범하기 쉬운 실수가 바로 열과 온도를 혼동하는 일이다. 온도가 다른 물체가 인접해 있을 때 둘 사이를 이동하는 것은 온도가 아니라 열이다. 이 때 열의 이동 방법은 두 물체의 상태에 따라 대류, 전도 또는 복사의 형태를 띠고, 온도는 그 이동된 열의 양에 따라서 다시금 결정되는 물리량에 불과하다. 이 문제를 통해 온도와 열의 개념을 확실히 정립할 수 있어야 한다.

#### ▶ 배경지식

- 1) 온도란 물체를 구성하는 입자들의 운동(진동) 정도를 수량적으로 나타낸 것으로 차갑고 덥다는 감각의 정도가 아니다.
- 2) 열에너지란 물질의 상태나 온도를 변화시키는 원인이 되는 에너지다. 열량의 단위는 cal, kcal, J 등을 사용한다.
- 3) 열용량(heat capacity)은 어떤 물질의 온도를 1K 높이는데 필요한 열량이다.

$$H = \Delta Q / \Delta T = cm \text{ (단위 : kcal/K)}$$

#### ▶ 해설 및 모범답안

- 1) 정답은 (a)이다.  $\Delta Q = cm\Delta t$ 에서 열용량(cm)은  $\Delta Q / \Delta t$ 에 비례함을 알 수 있다. 즉 온도가 1℃ 변할 때 이동하는 열량이 큰 물질일수록 열용량이 크다. 그래프에서 기울기가 곧  $\Delta Q / \Delta t$ 를 의미하므로 기울기가 가장 큰(a)가 열용량 또한 가장 크다.
- 2) 물과 금속 사이에 이동한 열량을 구하면 쉽게 풀 수 있다.

물이 얻은 열량 = 금속이 잃은 열량

$$1\text{cal/g} \times 200\text{g} \times (T - 0) = 0.2\text{cal/g} \times 50\text{g} \times (100 - T)$$

$$\therefore T = 4.8^\circ\text{C}$$

3) 사람의 피부가 뜨거운 공기와 닿았을 경우와 같은 온도의 물에 닿았을 경우에 얻는 열량을 비교해 보면 된다. 이를 위해서는 공기와 물의 열용량을 비교해야 한다. 피부를 덮고 있는 공기나 물은 그 부피가 비슷하므로 공기의 질량이 훨씬 작다.

또한 비열에 있어서도 액체인 물에 비해 기체인 공기의 비열이 훨씬 작다. 즉 공기의 열용량(비열×질량)은 물에 비해 매우 작다는 점을 알 수 있다.

반면 사람의 몸은 70% 이상이 물로 이뤄져 있으므로 비열 또한 물과 비슷할 것으로 생각할 수 있다. 한증막에 들어가더라도 공기로부터 전달되는 열량이 피부의 온도를 높이기에는 워낙 작아 피부는 화상을 입지 않게 된다.

4) (3)번 문항과 같은 원리다. 사람이 동상을 입는 것은 단위시간 동안 단위면적을 통과해 나가는 열량이 체내의 항상성을 잃을 정도로 많을 때다.

북극해역의 공기 온도는 바닷물보다 낮으나 밀도가 작아서 여주인공의 피부와 충돌하는 공기 입자 수가 적다. 그리고 물 1L가 기화하면 부피가 약 1700배로 늘어나므로 공기의 열용량(질량×비열)이 바닷물보다 작다. 결국 열용량이 큰 바닷물 속에 있는 남자 주인공은 매초 당 빼앗기는 열량이 공기에 비해 많아 먼저 죽을 가능성이 훨씬 높다.

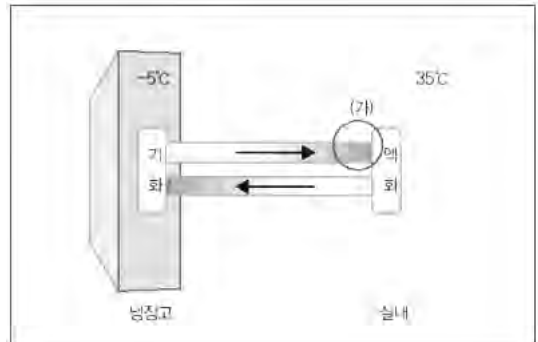
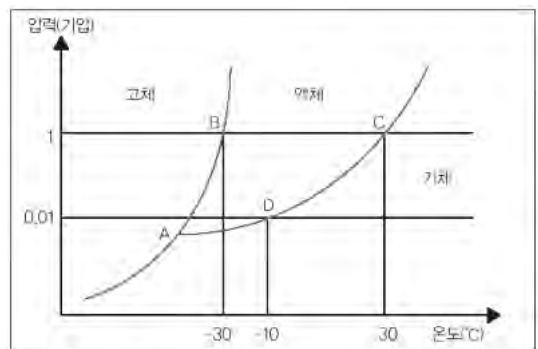
문제 3. 고등학교에 다니는 세현이는 더운 여름날 냉장고에서 음료수를 꺼내다 문득 이런 생각이 들었다. ‘냉장고 안이 이렇게 시원하니 냉장고 문을 열어두면 방안 전체가 시원해지겠다.’ 과연 세현이의 생각이 옳은지 다음의 문제를 풀며 확인해 보자.

1) 다음 중 흡열반응인 것을 모두 골라라.

- (a) 겨울이 돼 호수가 얼어붙었다.
- (b) 손등에 알코올을 떨어뜨리면 시원하다.
- (c) 밤사이 서리가 내렸다.
- (d) 차가운 컵 표면에 물방울이 맺혔다.
- (e) 봄이 되자 눈사람이 녹아버렸다.

2) 우측 그림은 냉장고의 냉매로 쓰이는 HFC의 상평형 곡선과 냉장고의 원리를 도식적으로 나타낸 그림이다. 그림에서 냉매가 낮은 온도에서 기화하고 높은 온도에서 액화하는 일이 가능한 이유를 상평형 곡선을 보고 설명해보라. 그리고 (가)지점에 압축기가 필요한 이유를 말해보라.

3) 냉장고 문을 열어두면 실내 온도는 어떻게 되는지 설명해보라.



## ▶ 출제 의도와 구술 ADVICE

물질의 상평형과 냉장고의 원리에 대한 문항이다. 구술고사는 이처럼 학교에서 습득한 내용을 일상생활에 적용해 사고하는 능력을 요구하는 속성을 가진 경우가 많다. 교과서에 등장하는 각종 열기관을 열의 이동으로만 표현된 대략적인 도표로 이해하는데 그치지 않고 그 속에 들어 있는 물리 법칙을 정확히 짚어 내는 버릇을 갖는 것이 구술에 자신감을 얻는 지름길이다.

## ▶ 배경지식

물질은 압력과 온도에 따라 여러가지 상태를 가진다. 어떤 상태에서부터 다른 상태로 변환되는 것을 상전이라 하는데 반드시 열의 이동을 동반한다. 이 때 열의 흡수가 일어나는 반응을 흡열 반응, 열이 방출되는 반응을 발열반응이라 한다. 흡열반응에 해당하는 상전이는 용해와 기화이고, 발열반응에 해당하는 상전이는 응고와 액화다.

냉장고는 냉매를 통해 낮은 온도에서 흡열반응, 높은 온도에서 발열반응을 시켜 저온에서 고온으로 열을 옮기도록 만들어진 제품이다. 이는 압력에 따라 냉매의 끓는점(또는 응결점)이 달라지는 점을 이용한 것이다. 즉 저온에서는 냉매의 압력을 낮추어 쉽게 기화할 수 있도록 하고 고온에서는 압력을 높여 응결점이 낮아지도록 하는 것이다. 이런 조절을 위해 냉장고에는 반드시 압축기가 쓰이는데 여기에 바로 ‘일’이 들어 간다.

## ▶ 해설 및 모범답안

- 1) (a) 응고-발열반응                      (b) 기화-흡열반응  
(c) 응고-발열반응                      (d) 액화-발열반응  
(e) 용해 또는 승화(고▶기)-흡열반응

∴ 정답은 (b)와 (e)이다.

- 2) 상평형 곡선에서 압력이 0.01기압일 때 냉매의 끓는점은  $-10^{\circ}\text{C}$ 이다. 즉 냉장고 내부를 지나는 냉매의 압력이 0.01기압 근방이 되면  $-5^{\circ}\text{C}$ 에서 기화할 수 있다. 냉매가 냉장고 외부(즉 실내)를 순환할 때 압력을 다시 1기압 근처로 만들면, 이때 냉매의 끓는점은  $30^{\circ}\text{C}$ 이므로  $35^{\circ}\text{C}$ 에서 액화할 수 있다. 이처럼 냉장고 내부에선 저압이, 냉장고 외부에선 고압이 유지되기 위해서는(가)의 위치에 압축기를 설치해 냉매를 화살표 방향으로 순환시키는 작용이 필요하다.

- 3) (2)번 문제에 따르면 냉장고는 냉매의 기화와 액화의 반복을 통해 냉장 효과를 만들어 낼 수 있다. 냉매의 양에 변화가 없다면 열역학 제1법칙에 의해 기화를 통해 흡수하는 열(기화열)과 액화를 통해 방출하는 열(액화열)의 크기는 서로 같을 것이므로 실내의 온도는 변함이 없을 듯하다.

그러나 냉매에 의한 열의 이동 외에 압축기에 의한 효과를 고려해야 한다. 압축기는 전기에너지를 이용해 냉매를 압축, 순환시키는 역할을 하지만 열효율 100%인 기관은 존재하지 않는다는 열역학 제2법칙에 따라 에너지의 일부를 열에너지의 형태로 방출하게 된다. 그러므로 결국 실내 온도는 점차 상승할 것이다.

### ■ 단원 출제 경향 및 대비 방안

심층구술면접 기출문제나 여러 대학의 예시문항을 보면, 내신 시험이나 수학능력평가 등의 지필고사와 평가 영역이 다르다는 점을 확인할 수 있다. 예를 들어 기출문제인 ‘고립된 도체 내부에 전기장이 존재할 수 있는지 그 이유를 설명해보라’를 살펴보자. 이 문항은 난이도 면에서는 교과서 수준을 넘지 않는다. 그러나 문제 출제 형식면에서는 지필고사와 다른 점이 있다.

지필고사에서 전기장에 대한 문항으로 출제됐던 사례를 보면 ‘전기장의 세기가  $2N/q$ 인 곳에서  $+3C$ 의 전하를 띠는 물체가 받는 전기력의 크기를 구하라’ ‘전위가  $6V$ 인 지점에 있던 전하량  $+3C$ ·질량  $2Kg$ 의 물체가 전위가  $0V$ 인 지점으로 이동했을 때의 속도를 구하라’와 같은 유형이 대표적이다. 이런 유형의 문제는 ‘전기장’이라는 개념을 제대로 알지 못하더라도 ‘ $F=qE$ ’ ‘ $(1/2)mv^2=q(V_1-V_2)$ ’라는 관계식을 암기하면 풀 수 있다. 반면 구술면접 문항은 지식의 암기가 아니라 이해나 적용을 묻는다. 전기장의 개념, 전기장의 세기에 대한 정의, 도체와 부도체의 차이점에 대해 정확하고 체계적인 지식을 보유하고 있어야만 질문에 제대로 답변할 수 있다. 전자기학과 파동이론 부분의 기출문제를 살펴보자. 첫째, 개념이나 원리 자체를 묻는 문항이 있다. ‘텔레비전에 자석을 대면 왜 화면이 찌그러지는지를 설명해보라’ ‘평행한 두 도선에 서로 같은 방향의 전류가 흐를 때와 서로 다른 방향의 전류가 흐를 때 어떤 현상이 나타나는가’ ‘고압의 전류가 흐르는 도선이 있다. 도선 한개를 양손으로 잡을 경우와 도선 두개를 양손으로 하나씩 잡을 경우 중 어느 것이 감전되는가, 그 이유를 설명하라’ ‘프리즘의 분산과 무지개의 공통점은’ 등의 질문이 이에 속한다.

둘째는 수리적 문제로, ‘직렬로 연결된 축전기의 합성용량을 구하고 각각에 걸리는 전압의 크기를 구하라’ ‘자기장 내에서 도선이  $2\pi$ (한바퀴)만큼 회전하는 동안 발생하는 유도기전력을 그래프로 나타내어라’ ‘수면파가 보강간섭되는 곳의 위치를 모두 구하라’ ‘전반사의 임계각을 구하라’ 등이 있다. 이번 4월호에서는 일상생활에서 경험할 수 있는 평범한 상황들이 어떻게 구술면접의 전자기·파동 평가문항으로 전환되는지를 살펴보고, 문제해결에 필요한 개념이나 원리가 어떤 것들이 있는지 분석해보자.

문제 1. 일주일 내내 과학경시를 준비하느라 제대로 쉴 수 없었던 하선이와 대영이는 일요일에 등산을 갔다. 한참 오르다가 넓은 바위에 걸터앉아 도시락을 먹던 중 그 바위 아래 틈에서 신문을 발견했다. 날짜를 보니 1971년 5월의 것이었다. 신문은 탈색되고 좀 지저분하긴 했지만, 그들은 신기해하며 내용을 읽어봤다. 신문의 내용은 다음과 같았다.

<기존 1백V에서 2백20V로의 전국적 승압 방침은 배전방식 개선위원회에서 결의한 안을 상공부에서 승인함으로써 확정됐다. 시험적으로 강원도 삼척군에서 실시했는데 순조롭게 진행됐다. 그러나 승압계획에 대해 서울, 부산 등 대도시에서 크게 반발했고 진정도 많이 들어왔다.>

- 1) 가전제품을 제대로 안전하게 사용하기 위해서는 정격전압에 맞추는 일이 중요하다. 또한 전기로 인한 화재를 예방하기 위해서도 중요하다. 그 이유를 설명하라.
- 2) 일반 가정의 전압이 높아지면 그만큼 위험해진다. 또한 기존 1백V 전용 가전제품을 사용할 수 없다. 따라서 전국적으로 저항이 심할 수밖에 없다. 그럼에도 불구하고 당시 정부가 승압을 강행하게 된 이유가 무엇이었을까를 설명하라. 그리고 승압을 하지 않고 문제점을 해결할 수 있는 방안에 대해 말하라.
- 3) 대영이와 하선이는 산 정상 부근에서 길을 잃고 추위에 떨어야 했다. 가진 것이라고는 배낭 속의 일회용 알루미늄 도시락과 1.5V 건전지 두개를 넣는 CD플레이어밖에 없다. 어떻게 하면 간단히 불을 지필 수 있는가?



## ▶ 출제 의도와 구술 ADVICE

전력은 공통과학이나 물리I·II에서 공통적으로 다루는 중요한 개념이며, 지필고사나 구술면접 할 것 없이 두루 자주 출제되고 있다.  $P=VI$ 라는 공식에 만족하지 말고 우리생활 곳곳에 응용되는 점들을 파악하고 사례별로 분석해줘야 한다.

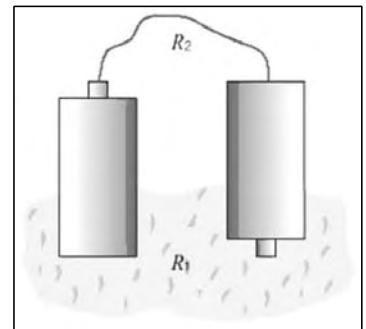
## ▶ 배경지식

- 1) 도선 내부에서 전자가 일정한 속력으로 운동하면서 전기 에너지를 소비하는 것은 공기 중에서 종단 속도로 낙하하는 빗방울의 역학적에너지가 감소하는 것과 비슷하다. 즉 도선의 양단에 전압을 걸어주면 도선 내부에는 전기장이 형성되는데 전자가 자유롭게 운동한다면 가속도 운동을 해야 하지만 원자들과의 충돌에 의해 에너지를 잃고 등속도 운동을 하게 된다. 이 과정에서 전기 에너지가 열에너지로 전환된다.
- 2) 전력은 단위시간(초) 동안 가전제품이나 전선 등의 저항에서 소비되는 전기 에너지의 양(J)으로 전압(교류에서는 실효전압)과 전류의 세기(교류에서는 실효전류)를 곱한 값이다.

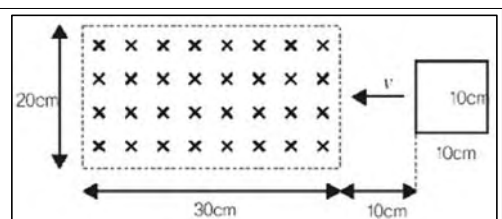
$$P=W/t=VI=I^2R=(V^2/R)$$

## ▶ 해설 및 모범답안

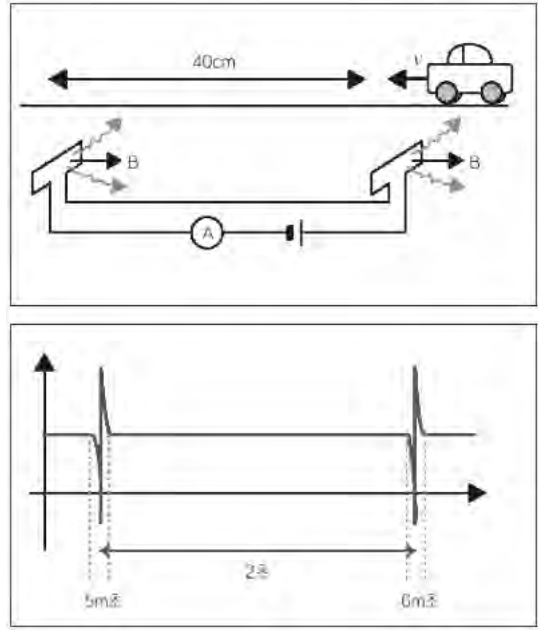
- 1) 가전제품이 제대로 작동한다는 것은 소비전력이 정해진 값(정격전력)과 같다는 의미다.  $P=VI$ 이고, 가전제품의 전기저항(R)이 일정하므로 전압(V)에 따라 전류의 세기(I)가 정해지기 때문에 정격전압을 걸어줘야 한다. 옥내배선의 저항의 크기를  $R(\Omega)$ 이라 하면 흐르는 전류의 세기(I)에 의해 배선 자체에 걸리는 전압의 크기(V)가 정해진다. 그러므로 배선에서의 손실전력(P)은 V와 I의 곱이므로  $I^2R$ 이 되고 R은 일정하므로  $I^2$ 에 비례하는 열이 전선에서 발생한다.
- 2) 생활수준이 높아지면서 가정에서 사용하는 가전제품의 수가 늘어난다. 또한 각 가전제품의 정격전력이 대체로 커지게 된다. 따라서 옥내 배선에 흐르는 전류의 세기가 증가한다. 1번 문항의 원리에 따라 전선에서 손실돼 열에너지로 전환되는 전력이 증가하므로 그만큼 화재의 위험이 커지게 된다. 전압을 2배로 증가시키면 같은 전류의 세기에서 사용할 수 있는 전력의 크기가 2배로 증가하므로 화재의 위험을 그만큼 낮출 수 있다. 승압하지 않고 더 큰 전력을 쓰기 위해서는  $P=VI=I^2R$ 에서  $I^2$ 의 증가만큼 R을 감소시켜야 하므로 전기저항이 작은 배선으로 교체해야 한다. 이를 위해서는 건물 전체 배선을 개선해야 하는 경우도 있으므로 비용이 상당히 들 수 있다.
- 3) CD플레이어를 뜯어서 전선을 합선시킬 때 발생하는 불꽃을 이용하든지, 아니면 다음의 방법을 쓴다. 알루미늄을 전기회로의 전선과 저항 역할을 하도록 한다. 전선 역할을 할 알루미늄( $R_1$ )은 저항이 작아야 하므로 넓은 폭을 그대로 쓰고, 저항 역할을 할 알루미늄( $R_2$ )은 소비전력이 커야 하므로 저항이 크도록 최대한 가늘게 찢는다. 그리고 이 둘을 건전지 두개에 우측 그림과 같이 직렬로 연결하면  $R_2$ 에서의 소비전력만큼 열이 발생해 불을 피울 수 있다.



문제 2. 이틀 전 현택이는 아빠가 운전하던 차를 타고 가다가 과속 단속을 위한 무인속도계 앞에서 급하게 감속하는 일을 경험했다. 이 일로 현택이는 속도를 측정하는 원리가 궁금해졌다. 아래 물음에 답하라.



- 1) 다음 그림과 같이 평행한 자기장을 향해서 정사각형 모양의 코일이 자기장에 수직인 방향으로 진행하고 있다. 코일에 유도되는 전류의 세기를 시간에 따른 그래프로 나타내보라. 단 자기장의 세기는 2T 이고, 코일의 저항은 5Ω, 코일의 속력은 20cm/s이다 (전류는 시계 방향으로 흐를 때를 +로 한다).
- 2) 위의 조건에서 정사각형이 아닌 원 모양의 코일로 같은 실험을 했을 경우 전류-시간 그래프는 어떻게 되겠는가?
- 3) 고속도로에서 흔히 볼 수 있는 무인속도계는 도로에 매설한 코일 위로 자동차가 지나갈 때 코일의 전류가 변한다는 정전기유도 현상을 이용해 자동차의 속도를 계산한다. 다음과 같이 전류가 측정됐을 때 자동차의 속도를 구해보아라.



### ▶ 출제 의도와 구술 ADVICE

전자기유도 현상을 응용한 문제들이 빈번히 출제되고 있다. 이는 고교 수준에서 충분히 이해될 정도로 간단한 원리면서 실생활에 그만큼 많이 응용되기 때문이다. 공식만 외우기보다는 원리 이해에 충실히 하는 것이 문제 해결에 도움이 된다.

### ▶ 배경지식

자기장에 수직하게 폐곡선을 이루는 도선이 지나가면 도선 내부에는 정전기력이 발생한다. 이것을 전자기유도 현상이라고 하는데, 유도기전력은 시간에 따른 자기력선속의 변화량이며, 기전력의 방향은 자기력선속의 변화를 방해하는 방향이다. 즉  $V = -(\Delta\Phi/\Delta t)$ 이다.

이때 자기장의 세기가 일정하면 자기력선속은 오직 자기장이 미치는 면적에만 비례하게 돼  $V = -(\Delta\Phi/\Delta t) = -B(\Delta S/\Delta t)$ 로 표현할 수 있다.

### ▶ 해설 및 모범답안

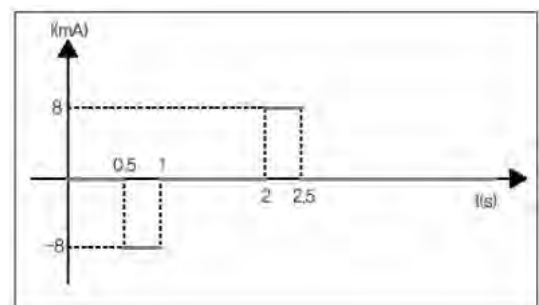
- 1) 코일 내부를 지나는 자기력선속이 변하는 구간에만 유도

$$V = -b \frac{\Delta S}{\Delta t} = -Blv$$

$$I = \frac{V}{R} = -\frac{Blv}{R} = -8mA \text{ 이다.}$$

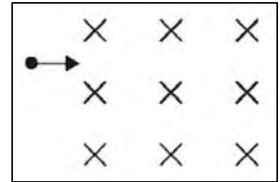
- 2) 코일이 원 모양일 때는 원의 중심부가 지날 때 면적 변화가 가장 크므로 유도전류도 그 때 가장 큰 값을 갖는 형태가 돼야 한다. 즉 유도전류 그래프는 다음과 같이 표현된다.

- 3) 그래프에서 전류가 급격하게 변하는 구간이 자동차가 코일 위를 지나는 순간이다. 전류로 인해 코일에 유도된 자기장이 금속 재질로 된 자동차에 의해



변화를 일으키고 그로 인해 다시 코일을 흐르는 전류에 변화가 생기는 것이다. 자동차의 속도는 이런 전류 변화가 두번 일어난 시간차와 두 코일 사이의 거리로부터 구할 수 있다. 즉  $v=L/t=40\text{m}/2\text{초}=20\text{m}/\text{초}=72\text{Km}/\text{시}$ 이다.

문제 3. 그림과 같이 평행한 자기장 속으로 수직으로 입사한 전하에 대해 다음 질문에 답하여라(단  $q>0$  이다).



- 1) 입자에 작용하는 로렌츠 힘의 크기는 얼마인가? 중력을 무시하면 입자는 반지름  $r$ 의 원운동을 하게 된다.  $r$ 을 주어진 변수로 나타내라.
- 2) 중력에 의해 이 입자가 등속 직선 운동을 하게 될  $m$ 의 조건을 구하라.
- 3) 중력이 없는 공간에서 이번에는 전기장을 곁어서 입자가 등속 직선 운동을 하도록 조정하고 싶다면 전기장의 크기와 방향은 어떠해야겠는가?

### ▶ 출제 의도와 구술 ADVICE

현대 2대 거대 과학 중 하나인 가속기 프로젝트는 로렌츠 힘을 통해 입자를 가속할 수 있었기 때문에 가능했다. 로렌츠 힘과 관련된 문제는 그 출제 빈도가 상당히 높다. 특히 다른 기본 힘과의 관련을 묻는다는 전하의 역학적 운동에 관한 응용문제가 출제될 가능성이 크다. 여러 응용문제를 통해 기본을 다져두는 것이 중요하다.

### ▶ 배경지식

자기장에 수직하게 입사한 전하는 로렌츠 힘을 받는다. 그 크기는  $F=Bqv$ 이고, 방향은 진행방향과 수직을 이루는 방향이다. 즉 입자는 원운동을 하게 되고, 로렌츠 힘은 바로 원운동의 구심력이 된다.

- 주기는 입자의 속력과 무관하다.
- 자기장에 평행하게 입사한 대전 입자의 경우 전자기력을 받지 않으므로 등속 직선운동을 한다.
- 자기장에서 운동하는 대전 입자는 항상 운동 방향과 수직인 힘만 받으므로 자기장이 하는 일은 없다.
- 자기장과 비스듬히 입사한 대전 입자는 자기장과 평행한 방향으로 등속 직선운동을 하며, 자기장과 수직인 방향으로 등속 원운동을 한다.

### ▶ 해설 및 모범답안

- 1) 로렌츠 힘의 크기는  $F=Bqv$ 이다. 이 로렌츠 힘에 의해 입자는 원운동을 하므로 로렌츠 힘이 곧 구심력으로 작용한다.

$$Bqv=mv^2/r$$

$$\therefore r=mv/Bq$$

- 2) 중력과 로렌츠 힘이 평형을 이루면 입자에 작용하는 합력은 0이 돼 입자는 등속 직선운동을 한다.

$$Bqv=mg\text{이므로 } m=Bp/g\text{이다.}$$

## 2003년 05월호-물리 면접구술고사 완벽가이드

5월호까지 연재되는 내용을 통해 1학기 수시모집 심층면접을 철저히 대비해보자. 이후 2학기 수시, 정시 등의 일정에 맞춘 내용이 계속 이어진다.

### ■ 단원 출제 경향 및 대비 방안

고교 물리교과서의 현대물리는 크게 파동이론과 입자이론 두부분으로 나뉜다. 파동이론은 역학과 마찬가지로 수리적인 문제가 많이 출제돼 왔다. 특히 파동의 간섭은 파동의 위상변화에 대해 정확히 이해하고 있어야만 답을 이끌어낼 수 있고, 그 과정이 모두 수리적이어서 물리학에서는 어려운 부분에 속한다.

파동은 역학적 파동과 전자기파로 구분하기도 한다. 역학적 파동이란 물질 안의 한 점에서 발생한 교란이 여러 방향으로 진동하는 매질 입자에 의해 전달되는 파동을 말한다. 그래서 파동을 눈으로 보거나 느낄 수 있는 것이다. 용수철의 파동, 수면파, 줄을 따라 전파되는 파동(현악기), 음파 등이 역학적 파동에 해당한다. 역학적 파동의 경우에는 파동을 전달해주는 매질이 반드시 필요하다. 줄, 용수철, 수면, 공기 등이 역학적 파동의 매질로, 이들이 탄성을 지니기 때문에 역학적 파동을 탄성파라고도 한다. 이는 우리가 생활하면서 주로 경험할 수 있는 것이므로, 교과서의 기본원리가 어떻게 적용될 수 있는지 살펴봐야 한다.

이와 달리 전자기파는 변하는 전기장과 자기장의 상호작용이기 때문에 어떤 종류의 매질도 필요 없으며, 물질에서보다 오히려 진공에서 더 잘 전파된다. 라디오파, 빛, X선 등이 전자기파에 해당한다. 전류가 단순히 전자의 흐름이 아니라 전자기파의 진행이라는 사실 정도는 알고 있어야 한다.

구술면접 문항으로 파동의 발생과 진행, 그리고 다른 파동과의 작용 등에 대해 묻는 질문이 많았다. 가장 자주 출제됐던 파동(빛)의 굴절과 간섭은 다양한 응용예제를 익혀둬으로써 완벽하게 준비해둬야 한다.

고교 수준에서 현대물리의 또다른 한 축인 입자이론은 화학에서도 중요시되므로 다소 어렵더라도 중요 주제 몇 개는 꼭 정리해둔다. 원자모형의 변천과 수소원자 스펙트럼, 그리고 나트륨이나 네온의 스펙트럼 등이 그것이다.

파동이론과 입자이론이 접맥된, 빛과 물질의 이중성은 관련된 현상이나 실험이 중요한데, 빛의 파동성을 증명하는 회절성, 간섭성 등과 입자성을 증명하는 광전효과, 콤프턴 효과 등이 있다.

전자기학과 파동이론 부분의 기출문제를 살펴보면 첫째 개념이나 원리 자체를 묻는 문항이 있다. ‘진동수, 주기, 진폭, 횡파와 종파를 설명해보라’ ‘전반사란 무엇인가’ ‘막힌 방 밖에서 문을 열고 소리를 외칠 때 소리가 크게, 그리고 울려서 들리는 이유는?’ ‘프리즘의 분산과 무지개의 공통점은?’ ‘범종의 맥놀이 현상에 대해 아는 대로 설명하라’ ‘빛의 이중성에 대해 설명하라’ ‘나트륨등과 헬륨등의 색이 다른 이유는?’ 등의 질문이 이에 속한다.

둘째 수리적 문제로서 ‘영(Young)의 간섭 실험에서 보강간섭이 일어나는 지점을 찾아라’ ‘전반사의 임계각을 구하라’ ‘수소 스펙트럼의 파장을 구하라’ 등이 있다.

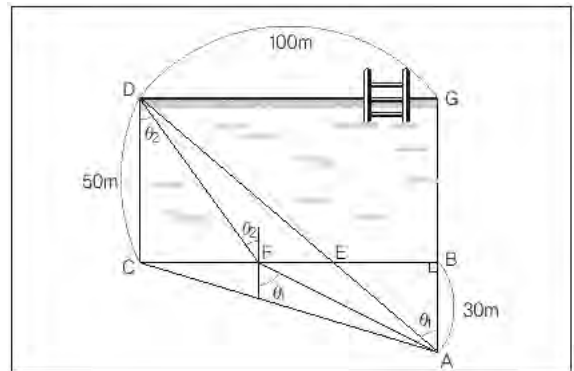
이번 5월호에서는 빛의 굴절과 물질의 이중성에 대해 살펴보자.

문제 1. 물리학 중에서도 파동부분을 특히 좋아하는 주희는 자신에게 호감을 갖고 있는, 같은 학교 경일이와 민철이 중 누구와 사귄지를 고민하다가 한 가지 계획을 세웠다. 가로 1백m, 세로 50m인 직사각형 수영장의 한쪽 모서리(그림에서 D)에 주희가 서있고, 모서리 C에서 직각으로 30m 떨어진 곳(A)에 민철이와 경일이가 서있다. 주희는 둘에게 자기에게 먼저 도착하는 사람과 사귀겠다고 말했다. 경일이는 수영은 못하지만 달리는 평균 8.1m/s로 민철이보다 빠른 편이다. 반면에 민철이는 달리기가 평균 8m/s이나 수영은 6m/s로 꽤 잘한다. 다음 물음에 답하라.

- 1) 경일이는 수영을 하지 않고 가장 빨리 가는 방법을 선택했다. 경일이가 주희에게 도달하는데 걸리는 시간을 구하라.
- 2) 경일이는 민철이가 달리기로는 자기를 이길 수 없으므로, A지점에서 D지점까지 최단거리인 직선으로 갈 것으로 생각했다. 민철이가 만약 경일이의 바람대로 최단거리로 갈 경우 주희에게 도달하는데 걸리는 시간은 얼마인가?
- 3) 사실 주희는 이 게임을 하기 전에, 마음 속으로 둘 중에서 누구 하나를 미리 선택했다고 볼 수 있다. 누구인가, 그리고 그 이유는?
- 4) 문제 3)의 결과를 빛의 굴절과 연관지어 설명해보라.

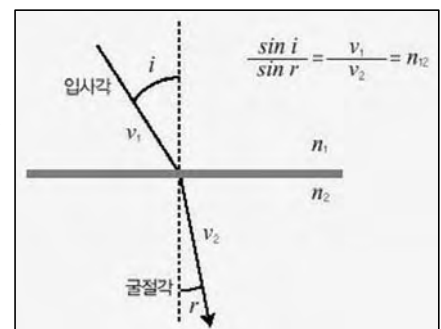
### ▶ 출제 의도와 구술 ADVICE

파동이론이 실생활 곳곳에 적용된다는 사실은 잘 알려져 있다. 그 중에 최소시간의 원리로 알려진 페르마의 원리도 많은 자연현상을 설명해줄 수 있다. 빛이 서로 다른 매질의 경계면을 통과할 때 굴절한다거나, 해안 근처에서 수심에 비례하는 속력을 가지는 파도가 곳 쪽으로 휘어지면서 에너지가 집중돼 침식이 일어나는 현상, 그리고 사막에서 신기루가 보이고 한여름철 아스팔트 표면이 거울처럼 보이는 현상 등이다. 우리가 생활하면서 경험할 수 있는 수많은 물리 현상 중에서도 파동과 관련된 것들은 수험생의 수리 능력까지 동시에 평가할 수 있어 구술면접에 자주 등장할 수밖에 없다.



### ▶ 배경지식

- 1) 페르마의 원리란 빛이 한 점에서 다른 점으로 진행할 때의 실제 경로는 다른 가상적인 경로에 비해 통과하는데 걸리는 시간이 가장 짧은 경로라고 표현된다. 페르마의 원리를 토대로 빛의 직진·반사 및 굴절의 법칙이 도출된다. 페르마의 원리는 역학에서 최소작용(最小作用)의 원리에 해당한다.
- 2) 스넬의 법칙 : 절대굴절률이  $n_1$ 인 매질에서  $n_2$ 인 매질로 빛이 진행할 때, 다음의 식이 성립한다 ( $n_{12}$ 는 매질1에 대한 매질2의 상대굴절률로서  $n_2/n_1$ 이다. 예로 공기에 대한 물의 상대굴절률은 약  $4/3 \approx 1.33$ 이며 이것은 빛이 공기에서 진행할 때와 물에서 진행할 때의 속도 크기의 비가 대략 4:3임을 의미한다.)



### ▶ 해설 및 모범답안

1) 경일이는 A지점에서 직선으로 C지점까지 가서 방향을 바꿔 곧장 D로 갈 것이다.

$$\text{경과시간 } t_{\text{경일}} = \frac{(\overline{AC} + \overline{CD})}{8.1} = \frac{\sqrt{100^2 + 30^2} + 50}{8.1} \approx 19.062(\text{초}) \text{이다.}$$

2) 민철이가 최단시간(직선거리)로 주희에게 갔다면 경과시간( $t_{\text{민철}}$ )은 다음과 같다.

먼저  $\overline{AD} = \sqrt{100^2 + 80^2}$  이고,  $\overline{BC}$ 와 만나는 점  $E$ 를 기준으로  $\overline{AE}$ 와  $\overline{ED}$ 의 길이의 비가 3 : 5이므로  $\overline{AE} \approx 48.023m$ ,  $\overline{ED} \approx 80.039m$ 이다. 즉  $t_{\text{민철}} \approx \frac{48.023}{8} + \frac{80.039}{6} \approx 19.343(\text{초})$ 이며, 경일이보다 늦다.

3) 주희는 민철이가 먼저 도착하리라는 것을 알고 있었다. 달리기와 수영의 속도 크기의 비가 4 : 3이므로 공기에서 물로 진행하는 빛의 경로와 최대한 유사하게 진행하면, 최단거리로 가는 것과 비교해서 시간을 줄일 수 있다. 예를 들어 C로부터 40m 떨어진  $F$ 를 경유해서 간다면 걸리는 시간은 아래와 같이 경일이보다 빠르다.

$$\overline{AF} = \sqrt{60^2 + 30^2} \approx 67.082, \quad \overline{FD} = \sqrt{40^2 + 50^2} \approx 64.031 \text{이므로}$$

$$\text{총 경과시간 } T_{\text{페르마}} \approx \frac{67.082}{8} + \frac{64.031}{6} \approx 19.057(\text{초}) \text{이다.}$$

4) 민철이가 A지점에 도달하는데 걸리는 시간( $t$ )은 각도  $\theta$ ( $\theta$ )로 나타낼 수 있다. 민철이가  $\theta_1$ (입사각)의 각도로 출발해서 물에 뛰어든 때  $\theta_2$ (굴절각)이었다면, 아래의 두 식이 성립한다.

$$30 \tan \theta_1 + 50 \tan \theta_2 = 100 \dots\dots\dots \textcircled{1}$$

$$\overline{AF} = \sqrt{(30 \tan \theta_1)^2 + 30^2}, \quad \overline{FD} = \sqrt{(50 \tan \theta_2)^2 + 50^2} \dots\dots\dots \textcircled{2}$$

경과시간  $t = \frac{\overline{AF}}{8} + \frac{\overline{FD}}{6}$ 이므로, ①에서  $\tan \theta_1 = x$ 로 두고 구한  $\tan \theta_2$ 를 ②식에 대입하면,

$$t = 30 \frac{\sqrt{1+x^2}}{8} + \frac{50 \sqrt{1+(10-3x)^2}}{6} \text{이 되므로, 함수의 최대·최소값을 구하는 미분법을 이용해}$$

$t$ 의 최소값을 구할 수 있으나, 이는 고교 과정을 벗어나므로 생략한다.

만약 수영장의 길이가 가로 70m, 세로 40m인 경우라면 민철이가 직감적으로 C로부터 30m 떨어진 점을 경유해 가면 빛의 경로와 일치한다는 것을 알 수 있고, 이때 구한  $\tan \theta_1 = x = 40/30$ 일 때, 시간 함수가 극소값을 가짐을 미분법을 통해 확인할 수 있다.

문제 2. 장차 노벨물리학상 수상에 강한 자신감을 갖고 있는 승현이는 역대 수상자들의 논문을 검토하던 중, 2001년도에 기체상태의 원자를 이용해 물질의 보즈-아인슈타인 응집상태(원자의 속력이 극히 작아지는 상태)를 실험적으로 구현한 업적을 인정받았다는 내용을 접했다. 잘 이해되지 않아 고민하고 있을 때 선생님이 다음과 같이 설명해주어 승현이는 수업시간에 배운 내용으로도 이 업적을 쉽게 이해할 수 있게 됐다. ( )부분에 승현이의 입장에서 선생님의 각 물음에 대한 답을 쓰시오(2002년도 서울대 기출문제의 응용).

1) 선생님 : 승현아, 빛의 파동성을 설명할 수 있는 현상에는 어떤 것이 있지? 그리고 빨간색 레이저 빛의 파장은 대략 얼마지?

승 현 : 그것과 보즈응집상태가 무슨 관련이 있어요?

선생님 : 일단 알고 있는 것부터 차근차근 짚어나가자.

승 현 : ( ).

2) 선생님 : 맞아. 그런데 20세기 초 빛의 파동성으로는 설명할 수 없는 현상들이 관측됐어. 예를 들어 광전효과가 있는데 이를 설명하기 위해선 빛이 파동이 아니라 입자여야 한다는 결론에 이르게 됐는데, 그 이유가 뭔지 알아? 그리고 입자의 파동성을 나타내는 현상이나 과학기기의 예를 말해봐.

승 현 : 갈수록 난감해지네요.( ).

3) 선생님 : 자, 이제 거의 다 왔어. 들어봐. 1923년 드브로이는 빛이 입자성을 가진다는 빛의 이중성을 좀더 일반화해 원자와 같은 입자도 파동성을 가지리라는 가설을 제시했지. 운동량이  $P=mv$  ( $m$ 은 질량,  $v$ 는 속력)인 원자의 상온에서의 물질파장을 구해봐. 얼마지(단 상온에서 질량이  $10^{-25}\text{Kg}$ 인 원자의 속력을  $60\text{Km/s}$ 로 하고 플랑크 상수는  $h=6\times 10^{-34}\text{J}\cdot\text{s}$ 이다)?

승 현 :  $\lambda=h/mv$ 이니까 계산하면,  $\lambda=h/mv=((6\times 10^{-34}\text{J}\cdot\text{s})/(10^{-25}\text{Kg}\times 10^{-4}\text{m/s}))$ 는  $10^{-13}\text{m}$  맞죠?

선생님 : 맞아, 역시 노벨상 후보답군! 그런데 이런 파장을 가진 원자의 파동성을 쉽게 관측할 수 있겠어?

승 현 : 힘들겠죠.

현 정 : 그럼, 원자의 속력을 거의 정지상태까지 낮추면 원자의 파동성은 커질까, 아니면 작아질까?

승 현 : ( ).

4) 선생님 : 2001년도에 노벨상을 받은 카를 와이먼, 볼프강 케테를레, 에릭 코넬 세 물리학자들은 상온의 원자 속력을  $0.006\text{m/s}$ 까지 낮출 수 있었어. 승현아, 이렇게 매우 느린 원자의 물질파장은 얼마지?

승 현 :  $10^{-6}\text{m}$ 이에요.

선생님 : 이 값은 가시광선의 파장과 거의 비슷한 값이니까 레이저 빔처럼 간섭현상을 관측할 수 있지 않을까?

승 현 : ( ). 아, 이제 알겠어요. 고마워요, 선생님.

## ▶ 출제 의도와 구술 ADVICE

현대물리 중에서도 입자에 대한 이론은 아직도 거대 규모로, 그리고 치열히 연구되고 있으므로 교과서의 내용이 보안될 날도 멀지 않았다.

현재 진행중인 분야에 대해 학습하기가 쉽지 않지만, 구술면접에 출제될만한 주제도 그만큼 한정돼 있으므로 빼놓지 말고 익혀두어야 한다.

## ▶ 배경지식

드브로이는 빛이 파동성뿐만 아니라 입자성을 가진다는 것에 착안해, 원자와 같은 입자(물질)도 파동성을 가지리라는 가설을 제시했다. 그후 운동량이  $P=mv$ ( $m$ 은 질량,  $v$ 는 속도)인 물질의 경우 상온에서의 파장  $\lambda$ =라는 사실을 알아냈다.

## ▶ 해설 및 모범답안

1) 빛은 일반적인 파동의 성질을 그대로 가지고 있으며 이를 빛의 파동성이라 한다. 즉 회절과 간섭이 그것인데, 회절이란 경로의 일부가 차단된 채 좁은 틈을 지나가는 빛이 점차 전 공간으로 퍼져나가는 현상을 의미하고, 간섭이란 파장이 같은 두빛이 만났을 때 그 위상차에 따라 빛이 소멸되거나 보강돼 새로운 강도로 표현되는 현상을 말한다. 이러한 빛의 파동성은 파동의 가장 큰 성질인 주기성을 의미하는 파장에 의해 크게 영향을 받는데, 파장의 길이에 따라 전파, 적외선, 가시광선, 자외선 등의 이름으로 불리기도 한다. 특히 가시광선의 경우 파장의 길이에 따라 각각 나타나는 색깔이 달라지는데, 가장 긴 파장을 갖는 빨간색 가시광선의 경우 그 값은 약  $8 \times 10^{-7} \text{m}$  가량 된다. 레이저는 고증폭된 단일파장의 전자기파를 의미할 뿐 나머지 성질은 빛의 성질과 일치한다. 따라서 빨간색 레이저 역시 약  $8 \times 10^{-7} \text{m}$  정도의 파장을 갖는다.

2) 금속에 빛을 쬔었을 때 전자가 튀어나오는 현상을 광전효과라 한다. 이때 튀어나오는 전자의 운동에너지는 빛의 세기가 아니라 빛의 진동수에 비례하고, 빛의 세기는 전자의 개수에만 영향을 준다는 것을 알게 됐다. 이것은 일반적인 파동의 에너지가 진폭(세기)의 제곱에 비례한다는 것과는 구별되는 결과였다. 즉 빛은 마치 입자처럼 하나하나 전자에 작용해 빛의 진동수가 충분하면 전자를 튀어나가게 할 수 있고, 진동수가 충분치 못하면 광전자를 만들 수 없으며, 빛의 세기는 그러한 입자로서의 빛의 개수를 의미하는 양이라는 결론을 내릴 수 있었다. 입자의 파동성을 나타내는 대표적인 현상으로 전자의 회절실험을 들 수 있다. 전자를 고른 고체 표면에 수직으로 입사해 튀어나온 전자의 양을 모든 방향에 대해 조사해보면 회절무늬가 나타나는 것을 알 수 있는데, 이는 개개의 고체 표면에서 튀어나온 전자들이 서로 간섭을 일으켜 특정한 방향으로 더 많은 전자가 나온 것처럼 보인 것이다. 이러한 현상을 이용해 전자 분광기라고 하는 과학기기를 만들 수 있는데 이 기기를 사용하면 전자의 간섭무늬로부터 알고자 하는 고체의 격자구조를 밝힐 수 있다.

3) 드브로이의 물질파 이론은  $P = \frac{h}{\lambda}$ 라고 하는 빛의 이중성에서 운동량을 일반적인 입자의 운동량으로 바꿔준 것에 불과하다. 따라서 운동량이  $P(=mv)$ 인 입자의 파장은  $\lambda = \frac{h}{mv}$ 로부터 구할 수 있다. 문제에 적용해보면,  $\lambda = \frac{h}{mv} = \frac{6 \times 10^{-34} \text{J}\cdot\text{s}}{10^{-25} \text{Kg} \times 6 \times 10^4 \text{m/s}} \times \frac{\text{Kg}\text{m}^2/\text{s}^2}{\text{J}} = 10^{-13} \text{m}$ 가 됨을 알 수 있다.



## 2003년 06월호-물리 면접구술고사 완벽가이드

이번 6월호에서는 물리 전반의 중요 주제를 다뤘다. 1·2번 문제는 과학논술에도 주로 출제되는 역학적 현상에 대한 분석, 3번 문제는 전자기학의 실생활에 대한 적용, 4번 문제는 현대물리 부분에서 가장 자주 출제되는 수소스펙트럼에 대한 이해에 대해 다뤘다. 7월호에서도 물리 전체 범위에 대한 정리가 가능하도록 구성할 예정이다.

문제 1. 야간 자율학습 시간에 공부를 하던 같은 반 서영이와 원표는 머리로 식히고 1학기 수시모집의 정보도 탐색할 겸, 학교 밖 PC방에 가기로 의기투합했다. 그들은 정문으로 나가기가 어려워 후문으로 갔는데, 문이 잠겨 있어서 1.5m 높이의 벽을 넘어야 했다. 체중이 40Kg중인 서영이가 가뿐히 착지하는 것을 보고 75Kg중인 원표도 뛰어내렸다가 다리관절에 심한 통증을 느껴야만 했다. 다음 물음에 답하라.

- 1) 같은 높이에서 떨어진 서영이와 원표가 착지할 때의 속도를 비교하라.
- 2) 만약 둘 모두 지면에 닿기 직전 똑같은 크기의 속도였다면, 지면으로부터 받는 충격량의 크기를 비교하라.
- 3) 같은 높이에서 뛰어내렸는데도 무거운 원표만 통증을 느낀 이유를 과학적 보편성에 기반해서 설명해보라.
- 4) 종종 높은 위치에서 떨어뜨린 달걀을 지면에서 누가 깨뜨리지 않고 받는가를 시험하는 대회를 접한다. 자신이 출전했다면 성공확률을 높일 수 있는 방법이 무엇일지를 위 문제들과 연계해서 말해보라.

### ▶ 출제 의도와 구술 ADVICE

구의 표면적과 체적에 관한 질문은 화학, 생물, 지구과학, 수학 등 여러 과목에서 출제된 바 있다. 그리고 중력장 내에서 운동하는 물체의 수학적 기술은 단연 출제 빈도가 높는데, 이는 한두 문항만으로 수험생을 평가해야 하는 전형에서 평가문항으로서 타당성을 확보하기 쉬운 이유에서다. 즉 역학 내 여러 원리들을 동시에 적용해야 문제를 해결할 수 있기 때문이다.

### ▶ 해설 및 모범답안

- 1) 무거운(질량이 큰) 원표나 가벼운 서영이나 낙하가속도는 중력( $mg$ )÷질량( $m$ )으로 같다고 생각할 수 있다. 그러나 이 문제에서는 공기의 저항을 무시하라는 등의 다른 전제조건이 없으므로 실제 상황에 기반해 분석해야 한다.  
낙하가속도는 알짜힘÷질량이고, 알짜힘은 중력-공기의 저항력이다. 여기서 공기의 저항력은 낙하하는 물체의 표면적에 대체로 비례하므로 크기(물체의 반지름)의 제곱에 비례한다. 그러나 체중은 크기의 세제곱에 비례하므로, 체중이 작은 물체일수록 중력에 비해 상대적으로 큰 공기의 저항을 받는다. 그러므로 체중이 큰 원표에 작용하는 알짜힘÷질량이 서영이보다 더 커서 착지할 때 더 큰 속도의 크기를 갖는다. 극단적으로 같은 높이에서 떨어진 코끼리가 개미보다 큰 가속도로 낙하하는 이치와 같다.
- 2) 물체에 작용하는 충격량은 힘( $F$ )×충격이 가해진 시간( $t$ )=질량( $m$ )×속도의 변화량( $\Delta v$ )이다. 따라서 지면에 닿기 직전 속도가 같다고 했기 때문에 원표와 서영이의 충격량 크기비는 이들의 질량비인 75:40이 된다.

- 3) 같은 속도로 지면에 닿는다 해도 무거운 원표가 착지할 때 충격량이 더 크다. 또한 1)번 문제에서 살펴본 바와 같이 속도의 변화량( $\Delta v$ )이 큰 것을 고려한다면 원표는 그만큼 더 큰 충격을 받는다. 이와 함께 다리 관절의 단면적은 사람 크기의 제곱에 비례하나 충격시 관절에 가해지는 힘의 크기는 체중(크기의 세제곱에 비례)에 비례하므로 원표의 다리관절이 받는 압력(알짜힘÷면적)의 크기가 더 크다.
- 4) 첫째 낙하할 때 공기의 저항을 최대로 받게 하기 위해서 크기(반지름)에 비해 질량(무게)이 작은 달걀을 선택한다. 둘째 달걀 표면에 고르게 힘을 받게 하기 위해서 손바닥을 달걀 모양으로 오므려서 받는다. 셋째 손바닥이 달걀에 충격을 가하는 시간을 최대한 늘려서 힘의 크기를 줄이도록 손바닥을 아래로 내리면서 달걀을 받는다. 넷째 노력이 최선이므로, 달걀 10판(3백개)을 사서 연습하면서 실패해서 깨뜨릴 때마다 흩어진 내용물을 먹는 벌칙을 정해놓는다.

문제 2. 잠실에 위치한 집으로 가기 위해 버스를 탄 예경이는 물리시간에 배운 상대속도에 대해 확인하고 싶은 충동이 생겨서 운동실험을 해봤다. 다음 물음에 답하라.

- 1) 시속 80Km로 등속도 운동을 하고 있는 버스 속에서 예경이가 열쇠를 가만히 놓았을 때, 관찰자 예경이의 입장에서 열쇠의 운동을 수학적으로 기술하라.
- 2) 버스가 정거장에 접근하면서 속도를 줄이고 있는 상황에서 열쇠를 가만히 놓았을 때, 관찰자 예경이 입장에서 열쇠의 운동을 기술하라(단 버스의 가속도는  $a(m/s^2)$ 이다).
- 3) 버스가 가속하고 있는 상황에서 점프해서 공중에 떠있는 동안 예경이가 열쇠를 가만히 놓았을 때, 관찰자 예경이의 입장에서 열쇠의 운동을 기술하라.

### ▶ 출제 의도와 구술 ADVICE

물리학에서 운동을 분석할 때는 몇가지 주의할 점이 있다. 일상생활에서 관찰되는 현상을, 물리 문제를 해결하는 과정에 그대로 적용하려는 경향이 그 중 하나다. 예를 들어 문제 3)의 경우 언뜻 생각하면 가속도 운동을 하는 버스 속에서, 체공중인 예경이가 열쇠를 가만히 놓고 관찰하면 열쇠가 뒤쪽으로 포물선 운동을 한다고 답하는 경우가 많다. 일상생활에서 흔히 그렇게 관찰되기 때문이다. 그러나 이 문제는 일상생활에서 포물선 운동으로 관찰되는 때와는 상황이 다르다. 열쇠를 관찰하는 예경이에게도 관성력이 작용한다. 따라서 버스 속에 고정돼 있는 다른 사람의 눈에는 예경이도 뒤쪽으로 포물선 운동을 한다. 즉 열쇠를 관찰하는 버스 속에 고정된 다른 사람의 눈에는 모두 뒤쪽으로 가속되는 운동을 하기 때문이다. 하지만 예경이가 보는 열쇠는 수평수직적인 이동이 없는 것처럼 보인다.

### ▶ 해설 및 모범답안

- 1) 관찰자인 예경이나 열쇠 모두 수평방향으로는 관성에 의해 시속 80Km로 등속도 운동을 한다. 때문에 예경이가 바라보는 열쇠는 수평방향으로 가속도의 크기가 0이다. 수직방향으로는 정지해 있는 예경이에 대해 열쇠가 자유낙하운동을 한다. 결국 열쇠는 수직방향으로 자유낙하하는 것처럼 보인다. 낙하거리  $H=gt^2$ 이다.
- 2) 관찰자인 예경이가 버스와 같이 감속하고 있을 때, 열쇠를 놓으면 열쇠는 관성에 의해 앞으로 이동하면서 낙하하므로 포물선 운동을 하는 것처럼 보인다.

수학적으로 표현하면, 수평방향에 대해 열쇠의 변위  $x=-(1/2)at^2$ 이 되고 수직방향에 대해서는 자유낙하하므로  $y=-(1/2)gt^2$ 이 돼 시간  $t$ 를 소거하면  $y=-(a/g)x$ 가 된다. 즉 열쇠는

버스 앞쪽으로 직선으로 떨어진다.

- 3) 예경이가 공중에 떠있을 때 열쇠는 정지한 것처럼 보인다. 그 이유는 버스 속에서 좌석에 앉아있는 사람의 눈에는 열쇠나 예경이나 채공중에 관성력에 의해 버스 운동 방향의 반대 방향으로 가속되는 운동을 하게 되는데, 이때 열쇠와 예경이 모두 수평적으로는 같은 크기의 가속도( $a=F/m=ma/m$ )를 가지게 되므로, 점프한 예경이의 눈에 열쇠는 수평 이동이 없는 것처럼 보인다. 그리고 수직 성분의 속도 또한 관찰자에 대한 열쇠의 상대적 운동이므로 열쇠의 속도와 예경이의 속도의 차이가 돼,  $v=열쇠의 속도-관찰자의 속도=(v_0+gt)-(v_0+gt)=0$ ( $v_0$  : 채공중인 예경이가 열쇠를 가만히 놓을 시점에서의 속도의 수직 성분,  $t$  : 열쇠를 가만히 놓은 후 경과시간)이 된다. 즉 예경이에게 열쇠는 수평 이동뿐만이 아니라 수직 이동도 없는 마치 정지한 것처럼 보인다.

문제 3. 전자기학 부분을 공부하며 여러 재미있는 현상을 물리 책에서 접한 정선이는 풍선을 가지고 놀던 중 풍선을 옷에 문지르면 정전기에 의해 풍선이 달라붙는다는 사실을 발견하고, 우측 그림과 같은 장치를 만들었다. 천으로 문지른 풍선에 실을 매달아 한쪽 끝을 바닥에 고정시킨 뒤 책받침을 위쪽으로부터 가까이 다가가면 풍선이 공중을 향해 뜨고, 책받침이 어느 거리 이상 멀어지면 풍선은 바닥으로 떨어진다.

정선이는 풍선이 떨어지지 않고 떠있을 수 있는 최대 거리를 구하기 위해 아래의 그림과 같이 풍선을 점전하로, 책받침을 도체 평면으로 바꾼 모형에 대해 문제를 풀어보기로 했다 (풍선은 지면으로부터 충분히 떨어져 있다고 생각한다).

- 1) 질량 10g의 풍선에 대전된 전하가  $10^{-6}C$ 이고, 책받침과 풍선의 거리가 5cm일 때, 실의 장력을 구하라(중력가속도는  $10m/s^2$ 이고, 도체 평면으로부터 h만큼 떨어진 전하 q가 받는 힘은  $-9 \times 10^9 \times (q^2/4h^2)N$ 이다. 실의 질량과 풍선에 작용하는 부력은 무시한다).
- 2) 풍선이 평형을 이룬 채 떠있을 수 있는 h의 최대값을 구하라.

## ▶ 출제 의도와 구술 ADVICE

쿨롱의 법칙이 일상생활에 적용될 수 있는 사례에는 정전기 현상이 있다. 또한 전자기 문제가 역학적인 현상과 관련해 출제되는 경우가 많으므로 이에 대한 대비를 충분히 해둬야 한다.

## ▶ 배경지식

두 전하( $q_1, q_2$ ) 사이에 작용하는 쿨롱 힘은 전하 사이의 거리( $r$ )의 제곱에 반비례하고 전하량의 곱에 비례한다.

$$F = 9 \times 10^9 \times \frac{q_1 q_2}{r^2}$$

전하( $q$ )로부터  $r$ 만큼 떨어진 거리에 무한한 도체 평면이 존재하면 도체 평면에는 반대 부호를 갖는 전하가 대전된다. 이때 공간상의 전기력선은 마치  $2r$ 만큼 떨어진 두 점전하 사이의 전기력선과 같은 모양이 돼서 점전하가 도체 평면으로부터 받는 힘은  $2r$ 만큼 떨어진 두 점전하 사이의 인력의 크기와 일치한다. 즉

$$F = -9 \times 10^9 \times \frac{q_1 q_2}{(2r)^2}$$

(단 (-)부호는 인력을 뜻한다)

### ▶ 해설 및 모범답안

1) 풍선이 받는 전기력의 크기

$$F_e = 9 \times 10^9 \times (10^{-6} \text{C})^2 / 4(0.05 \text{m})^2 = 0.9 \text{N}$$

풍선이 받는 중력의 크기

$$F_g = mg = 0.01 \text{Kg} \times 10 \text{m/s}^2 = 0.1 \text{N}$$

따라서 실의 장력은  $T = F_e - F_g = 0.8 \text{N}$

2) 실의 장력이 0이 될 때 풍선은 아래로 떨어지기 시작하므로 그때의  $h$ 값이 풍선이 떠있을 수 있는 최대거리가 된다. 즉 정전기력과 중력이 같다고 놓고 풀면,

$$9 \times 10^9 \times (10^{-6})^2 / 4h^2 = 0.1$$

$$\therefore h = 0.15 \text{m}$$

따라서 정답은 15cm이다.

문제 4. 수소 기체를 전기 방전시키면 불연속적인 스펙트럼이 나타난다. 다음 그림은 수소의 선스펙트럼 중 라이먼 계열(자외선 영역), 발머계열(가시광선 영역) 그리고 파셴계열(적외선 영역)을 나타낸 것이다. 그림을 잘 보고 다음 물음에 답하라.

1) 수소 원자가 바닥상태일 때의 에너지가  $-13.6 \text{eV}$ 라면 세번째로 높은 에너지 준위의 값은 얼마인가 (단 플랑크상수  $h = 6.63 \times 10^{-34} \text{Js}$ 이고,  $1 \text{eV} = 1.6 \times 10^{-19} \text{J}$ 이다)?

2) 위 그림에서 가시광선 영역의 (a)로 표기한 위치의 파장 값은 얼마인가?

### ▶ 출제 의도와 구술 ADVICE

수소 원자의 선스펙트럼은 현대물리 분야에서 가장 출제 빈도가 높은 내용이다. 현대물리의 큰 특징인 에너지의 불연속성, 원자모형 그리고 빛 에너지의 정의 등과 관련한 개념 위주의 문제에 철저히 대비하자.

### ▶ 배경지식

수소 원자 내에는 전자들이 가질 수 있는 불연속적인 에너지 상태가 있으며 높은 에너지 상태에 있던 전자가 낮은 에너지 상태로 떨어질 때 그 에너지 차이가 빛 에너지로 방출되므로 스펙트럼이 불연속적으로 나타난다.  $n$ 번째 궤도에 있던 전자가  $m$ 번째 궤도로 이동할 때 방출되는 빛의 파장은

$$E_n - E_m = hf = hc/\lambda$$

$$\therefore \lambda = hc/(E_n - E_m) \text{ (단 } E_n > E_m \text{)}$$

와 같이 구할 수 있다.

### ▶ 해설 및 모범답안

1) 바닥상태의 에너지를  $E_1$ , 두번째 에너지 준위를  $E_2$ 라고 하면 라이먼 계열(자외선)에서

$$E_2 - E_1 = hc/\lambda \text{ 다.}$$

$$\text{즉 } E_2 = (6.63 \times 10^{-34} [\text{Js}] \times 3 \times 10^8 [\text{m/s}]) / (122 \times 10^{-9} [\text{m}]) + E_1$$

이다. 여기서 첫번째 항의 단위는 J(줄)이므로 eV로 바꾼 뒤  $E_1 = -13.6\text{eV}$ 를 대입하면,

$$E_2 = -3.4\text{eV가 된다.}$$

마찬가지 방법으로 세번째 준위에서 두번째 준위로 전자가 이동할 때 방출한 빛은 발머계열에서 6백54nm에 해당되므로 위의 계산 과정을 반복하면

$$E_3 = -1.5\text{eV가 된다.}$$

- 2) (a)의 스펙트럼은 발머계열(가시광선)로서  $E_4$ 에서  $E_2$ 로 전자가 이동할 때 방출한 빛을 의미한다. 먼저  $E_4$ 의 값을 구하기 위해, 2)번의 결과와 파셴계열(적외선)의 선스펙트럼으로부터,

$$E_4 = (6.63 \times 10^{-34} \times 3 \times 10^8) / (1855 \times 10^{-9} \times 1.6 \times 10^{-19}) [\text{eV}] + (-1.5\text{eV})$$

$$\therefore E_4 = -0.83\text{eV다.}$$

이를 통해 (a)의 파장을 구하면

$$\lambda = hc / (E_4 - E_2)$$

$$= (6.63 \times 10^{-34} \times 3 \times 10^8) / (-0.83 + 3.4) \times 1.6 \times 10^{-19}$$

$$= 4\text{백}83\text{nm}$$

## 2003년 07월호-물리 면접구술고사 완벽가이드

이번 호에서는 지난 6월호에 이어 물리 전영역의 중요 주제를 다룬다. 1, 2번 문제에서는 과학논술에도 자주 출제되는 역학적 현상에 대해 분석한다. 그리고 3번 문제에서는 전자기학 부분의 전자기유도와 발전에 대한 적용, 4번 문제에서는 현대물리 부분 중 입자이론에 대해 살펴본다.

문제 1. 평소 자연현상에 대해 분석적인 경훈이는 미국 어학연수에서 만난 림스볼트라는 친구와 함께 박세리가 출전한 LPGA 대회를 보러 갔다. 다음의 두사람이 나눈 대화에 대해 비판하라.

- 1) 그린에서 박세리가 퍼팅한 골프공이 홀컵을 향해 굴러가고 있을 때 경훈이가 “저 공에 작용하고 있는 힘이 뭐지?”라고 물었다. 그러자 림스볼트가 “공이 굴러가고 있으니까 운동방향인 홀컵 쪽으로 작용하는 추진력이지”라고 답했다.
- 2) 다음 홀에서 박세리가 친 공이 공중에서 날아가고 있을 때 경훈이가 똑같은 질문을 했다. 이때 림스볼트는 “그거야 골프공이 날아가는 방향으로 추진력이 작용해야 하니까, 위로 올라갈 때는 위쪽으로 추진력이 작용하고 아래로 내려올 때는 아래쪽으로 추진력이 작용하는 것 아니겠어?”라고 답했다.
- 3) 경훈이는 표면에 덩플이라고 하는 홈이 파여있는 골프공을 유심히 바라보다가 갑자기 “매끄러워야 잘 날아갈텐데 왜 홈이 파져 있을까”하는 궁금증이 떠올랐다. 이를 들은 림스볼트는 그 자리에서 골프장을 뜨고 말았다.

### ▶ 출제 의도와 구술 ADVICE

구술면접이나 과학논술에 자주 등장하는 주제는 힘과 운동과의 관계, 그리고 역학적에너지와 관련된 것들이다. 물리를 배우는 중·고등학교 학생들이 현상적으로 보이는 운동 그 자체와 물체에 작용하는 힘을 연결시키는 경우가 많다는 연구결과들이 있다. 이 문제를 통해 물체에 작용하는 알짜힘의 방향에 의해 결정되는 것이 운동방향이 아니라 가속도의 방향임을 다시 한번 확인해보길 바란다.

### ▶ 배경지식

힘 : 물체의 운동을 변화시키는 원인이 되는 물리량.

가속도 : 단위시간(1초) 동안의 속도 변화량이며, 물체에 작용하는 알짜힘의 크기를 물체의 총 질량으로 나눠 구할 수 있다.

운동량보존의 법칙 : 외부 힘을 받지 않으면 물체는 서로 충돌하거나 융합되는 등 서로 상호 작용을 해도 작용 전과 작용 후의 운동량의 총합은 일정하게 보존된다는 법칙 ( $m_1v_1 + m_2v_2 = m_1v_1' + m_2v_2'$ ).

마그누스 효과 : 베르누이의 원리를 따르는 운동에는 축구에서의 코너킥 휘어차기, 야구에서 투수가 공에 회전을 주어 공의 진로를 휘어지게 만들기, 골프공을 칠 때 공 아래쪽을 쳐서 역회전시킴으로서 체공시간 늘리기 등이 있는데, 이런 현상을 ‘마그누스 효과’(Magnus effect)라고 한다.

### ▶ 해설 및 모범답안

- 1) 힘의 작용에 의해 속도가 변한다. 따라서 골프공의 속도변화를 통해 골프공에 작용하는 힘

을 알아낼 수 있다. 박세리가 친 골프공이 홀컵에 다가갈수록 느려졌다. 따라서 가속도는 운동방향과 반대가 된다. 즉 공에 작용하는 힘의 방향은 운동방향과 반대라는 것을 알 수 있다. 이런 힘에는 공과 지면 사이의 마찰력, 그리고 공에 작용하는 공기의 저항력 등이 있다. 만약 지면이 기울어져 있다면 공에 작용하는 중력과 지면이 떠받치는 수직항력이 힘의 평형 상태가 아니므로 공에는 지면에 대한 중력의 수평방향성분의 힘도 작용한다.

2) 중력장 내에서의 운동이므로 어떤 경우에도 공은 중력 방향(연직 아래쪽)으로 힘을 받는다. 그래서 속도의 변화는 항상 아래쪽이다. 또한 공기의 저항력은 골프공 운동방향의 반대 쪽으로 작용한다. 그 외에도 전향력이나 부력, 그리고 양력 등도 작용하나 중력이나 공기의 저항력에 비해 크기가 매우 작다.

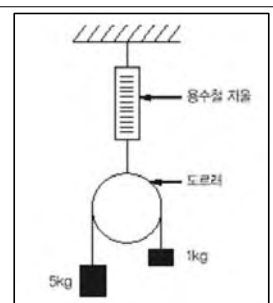
3) 공 윗부분과 아랫부분에 있는 덩플을 가운데 부분에 있는 덩플보다 더 깊게 만들면 공이 날아갈 때 역회전(공 아래쪽이 운동 방향과 반대 방향으로 회전)할뿐 아니라 좌우?튀는 것을 방지해 똑바른 방향으로 공을 멀리 날아가게 한다. 덩플이 있는 공이 역회전하며 운동하면 공 윗부분의 공기압력이 아랫부분 공기압력보다 낮게 된다. 따라서 공은 마그누스 효과에 의해 위쪽으로 양력을 받아 체공시간이 늘어나므로 더 멀리 비행한다.

그리고 일반적으로 공의 속도가 커지면 공기가 공의 표면을 따라 부드럽게 흐르지 못하고, 공의 중간쯤에서 공기의 흐름이 공의 표면에서 멀어진다. 이를 ‘경계층 박리’(separation)라고 하는데, 이때 공의 중간 이후부터 공기의 속도가 급격하게 떨어짐과 동시에 공기 흐름의 방향이 바뀐다. 이렇게 뭉툰한 물체의 뒤에서 공기의 흐름이 바뀌면 압력이 떨어져 공의 앞면에서는 높은 압력이, 뒷면에서는 낮은 압력이 작용해서 공은 멀리 날아가지 못한다. 그런데 공의 표면을 약간 울퉁불퉁하게 만들면, 공의 앞 표면에서 난류유동이 발생하게 돼 유체의 섞임이 활발하게 된다. 그래서 경계층 박리 현상은 공의 뒷면에서만 일어나게 되므로 낮은 압력을 갖게 되는 공의 표면이 줄어들게 돼 공기의 저항이 감소한다.

(참고 : 고교 교과서 수준인 역학적에너지보존의 원리나 운동량보존의 원리로도 설명이 가능하다. 비행기가 날기 위해서 날개가 뒤쪽으로 경사(앙각)져 있는데 그 이유가 공기의 역학적에너지(또는 운동량)를 중력 방향으로 변화시킴으로써 날개의 역학적에너지(또는 운동량)를 중력 반대 방향으로 변화시키기 위함이다. 마찬가지로 역회전하는 골프공의 윗면과 아랫면 각각에 대한 공기의 상대속도 크기가 아래쪽에서 더 크기 때문에 덩플이 공기의 전체적인 역학적에너지(또는 운동량)를 중력 방향으로 변화시키므로 공은 중력 반대 방향으로 힘을 받아 체공시간이 늘어난다.)

문제 2. 우측 그림과 같이 질량을 무시할 수 있는 도르래가 용수철 저울에 매달려 있다. 중력 때문에 추들이 움직이고 있을 때, 용수철 저울의 눈금은 얼마를 가리킬까. 6Kg중, 더 가벼운 무게, 아니면 더 무거운 무게를 가리킬까?

왜 그럴까?(2002년도 KAIST 예시문항)



## ▶ 출제 의도와 구술 ADVICE

물리학은 직감에 의한 문제해결 능력이 중요하다. 학습을 통해 알고 있는 지식이 문제해결을 위해 어떻게 적용되는지를 평소에 고민해보는 노력을 통해서 직감력을 키울 수 있다. 위 문제도 모범 답안과 같이 정확히 계산하면 답을 구할 수 있지만, 용수철 저울, 도르래와 줄, 그리고 두개의 추 사이의 작용-반작용을 생각해보면 직감적으로 답을 구할 수 있다.

## ▶ 배경지식

힘의 크기를 구할 수 있는 방법에는 여러 종류의 힘의 기본 관계식(예를 들어 탄성력( $f$ )=탄성계수( $k$ )×용수철의 변위( $x$ )이라는 관계식)를 이용하거나, 다른 역학적 요소와의 관계(예를 들어  $F=ma$  또는 충격량  $I=Ft=mv_2-mv_1$ )를 이용할 수 있다.

장력은 줄에 걸리는 힘인데 이는 줄을 구성하고 있는 원자나 분자들 간의 결합력이므로 줄의 무게를 무시한다면 줄의 어느 점에서나 크기가 같다.

## ▶ 해설 및 모범답안

이 문제의 경우 지필고사로 출제된다면, ‘두 추의 운동 가속도를 구하라’거나, ‘줄에 걸리는 장력의 크기를 구하라’는 형태여서 아래와 같은 과정을 통해 답을 유도할 수 있다.

양쪽 줄에 걸린 장력의 크기를 구하기 위해서는 5Kg(M)의 추와 1Kg(m)의 추에 작용하는 힘들의 합력(알짜힘)을 구해야 한다.

- ① 5Kg 추의 경우 아래쪽으로는 중력이, 위쪽으로는 장력이 작용한다. 따라서 아래와 같은 관계식이 성립해 장력의 크기를 구할 수 있다 (위쪽을+방향으로 설정).

$$F=T_5\text{Kg}+Mg=Ma_5\text{Kg} \quad (T_5\text{Kg는 } 5\text{Kg의 추에 작용하는 장력의 크기, } a_5\text{Kg은 } 5\text{Kg 추의 가속도})$$

여기서 두 추가 같이 운동하므로

$$a_5\text{Kg}=(5\text{Kg중}-1\text{Kg중}) \div (5\text{Kg}+1\text{Kg})$$

$$=39.2\text{N} \div 6\text{Kg}=19.6/3 \text{ m/s}^2$$

$$\therefore T_5\text{Kg}=Ma-Mg=5 \times 19.6/3 - 5 \times 9.8 = -16.3\text{N}$$

- ② 1Kg 추의 경우도 아래와 같은 관계식이 성립해 장력의 크기를 구할 수 있다 (위쪽을 +방향으로 설정).

$$F=T_1\text{Kg}+mg=ma_1\text{Kg} \quad (T_1\text{Kg은 } 1\text{Kg의 추에 걸린 장력의 크기, } a_1\text{Kg은 } 1\text{Kg 추의 가속도})$$

여기서  $a_1\text{Kg}$ 은  $a_5\text{Kg}$ 과 크기가 같고 방향이 반대이므로

$$\therefore T_1\text{Kg}=ma_1\text{Kg}-mg=-6.5-9.8=-16.3$$

따라서,  $T_5\text{Kg}=T_1\text{Kg}$ 이므로 도르래에 걸리는 장력

$T=T_5\text{Kg}+T_1\text{Kg}=-16.5+(-16.5)=-33(\text{N})$ 이다. 따라서 용수철 저울도 이 무게(힘) 33(N)을 가리킨다.

그러나 구술문항으로 출제된 이 문항은 지필고사와 달리 다음과 같이 주요 원리들의 적용만으로 간단하게 답을 이끌어낼 수 있다. 용수철 저울에 작용하는 힘의 크기는 도르래에 아래쪽 방향으로 작용하는 힘의 크기와 같다. 그리고 도르래에 아래쪽으로 힘을 미치고 있는 물체는 줄이므로 양쪽 줄에 걸린 장력 크기의 합이 결국 용수철 저울에 표시된다.

여기서 장력( $T$ )의 크기를 구해야 답이 가능하다. 그런데 이 문제에서 도르래는 회전하므로 줄에 걸리는 장력과 추에 작용하는 중력의 합력에 의해 각각의 추의 가속도가 결정되는 것에 주목해야 한다. 그리고 두 추가 줄로 연결돼 있어서 같은 크기의 가속도로 운동한다는 사실을 이용하면 다음과 같은 간단한 식이 성립한다.

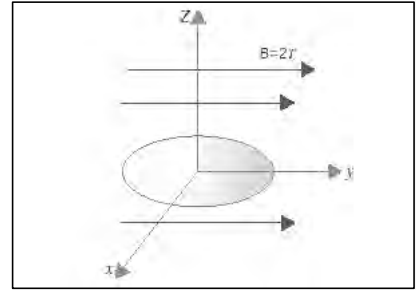
5Kg 추의 가속도의 크기=1Kg 추의 가속도의 크기이므로,



$(5\text{Kg중}-T)/5\text{Kg}=(T-1\text{Kg중})/1\text{Kg}$ 이 성립한다.

T값은 3Kg중보다 작다. 따라서 용수철저울에 표시되는 무게는 두 추 무게의 합인 6Kg보다 작을 수밖에 없다.

문제 3. 다음 그림과 같이 y축 방향으로 균일한 자기장이 흐르고 있고, xy평면에 원모양의 도선이 놓여있다. 다음 물음에 답하여라.



1) 다음 보기 중 도선에 유도전류가 발생하는 경우는 도선이 어떤 운동을 하는 경우인가?

- (ㄱ) y축 방향으로 30m/s의 속력으로 병진운동
- (ㄴ) z축 방향으로 30m/s의 속력으로 병진운동
- (ㄷ) x축을 축으로 600rad/s의 각속도로 원운동
- (ㄹ) y축을 축으로 600rad/s의 각속도로 원운동
- (ㅇ) z축을 축으로 600rad/s의 각속도로 원운동

2) 1)번의 답으로부터 도선에 유도되는 유도기전력의 최대값을 구하라. 단 도선의 단면적은  $2\text{백cm}^2$ 이다.

3) 위 도선의 일부를 잘라서 외부의  $6\Omega$  짜리 저항에 연결했을 때 이 회로의 소비전력은 얼마인가?

### ▶ 출제 의도와 구술 ADVICE

전자기유도 현상을 실생활에 응용한 대표적인 기기가 바로 발전기이다. 발전기의 원리를 비롯한 전류, 전력 등 일상에서 흔히 쓰는 용어들을 이용한 구술 문제가 많이 출제된다. 특히 소비 전력, 전력손실 등과 같은 전기에너지의 이용과 관련한 문제는 꼭 익혀두자.

### ▶ 배경지식

전자기유도 현상은 도선 주위의 자기장에 변화가 있을 때 도선에 전기장이 유도되는 현상을 의미한다. 실제 발전기 등에서는 자기장을 변화시키는 방법보다는 자기장 내의 코일을 회전시켜줌으로써 코일 내부를 지나는 자기력선속의 양에 변화를 주는 방법으로 전기를 생산해낸다. 그래서 발전기가 생산하는 전기는 시간에 따라 그 세기가 sin함수로 변하는 교류 전류의 형태다.

$$E = -N \frac{d\Phi}{dt} = -BAN \frac{d}{dt} \cos(wt + \phi) = BANw \sin(wt + \phi)$$

(단 N은 코일 감은 수,  $\Phi$ 는 자속밀도, A는 코일의 단면적, w는 코일의 각속도,  $\phi$ 는 위상)

### ▶ 해설 및 모범답안

1) 코일 내부를 통과하는 자기력선속이 변하는 경우를 찾으면 되므로 답은 (ㄷ).

2) 유도기전력은 sin함수의 형태를 띠므로 최대값은 sin함수의 계수 부분만 고려해주면 된다. 즉

$$E_{\max} = BANw = 2T \times 200\text{cm}^2 \times 1 \times 600\text{rad/s} = 24\text{V}$$

3) 소비전력은 실효전압( $E_0$ )과 실효전류( $I_0$ )의 곱으로 구할 수 있다. 실효전압은 최대전압/  $\sqrt{2}$  이므로 소비전력은

$$P = I_0 E_0 = \frac{E_{\max}^2}{2R} = 48\text{W} \text{이다.}$$

문제 4. 물리 시간에 종철이는 우주의 모든 물질은 원자라고 하는 단위 입자로 이뤄져 있고, 원자는 다시 핵과 전자로, 핵은 다시 양성자와 중성자라는 더 작은 입자들로 구성되어 있다는 것을 배웠다. 눈에 보이지도 않는 그 작은 입자들에 의해 우리의 몸과 집과 우주가 생성되고 존재한다는 사실이 너무도 신기했던 종철이는 문득 한 가지 의문이 들기 시작했다. 과연 내 몸속에는 몇 개의 양성자가 들어 있을까? 이 문제를 풀기 위해 종철이는 물리 선생님을 찾아갔다.

종철 : 선생님! 제 몸속에는 몇 개의 양성자가 있을까요? 구해보려고 해도 무엇부터 해야 할지 도무지 감이 잡히질 않아요.

선생님 : 그래. 종철이가 재미있는 의문점을 갖고 있구나. 선생님도 궁금한데 우리 같이 한번 풀어볼까?

종철 : 예!

선생님 : 먼저 우리 몸을 구성하고 있는 입자가 양성자 외에 어떤 것들이 있을까?

종철 : 중성자와 전자요.

선생님 : 그렇지. 이러한 중성자와 전자, 그리고 양성자는 원자를 구성하는 기본 입자들이지. 결국 우리 몸의 질량은 양성자와 중성자, 전자의 질량을 모두 더한 것과 같다는 말이 되겠네?

종철 : 하지만 전자의 질량은 다른 두 입자에 비해 무시할 만큼 작다고 배웠는걸요?

선생님 : 그렇지. 결국 우리 몸의 질량은 양성자와 중성자의 질량을 더한 값이 되는구나.

종철 : 또한 양성자와 중성자의 질량은 거의 같다고 했으니까 결국 양성자의 질량만 알면 양성자와 중성자의 개수는 구할 수 있겠네요?

선생님 : 그렇단다. 양성자 하나의 질량은 얼마나 될까? 힌트를 주자면 탄소는 양성자 6개와 중성자 6개로 이뤄져 있는데, 탄소 원자 1몰은 탄소의 원자량 12와 일치하는 12g이라는 사실에서 유추할 수 있을 거야.

종철 : 그럼 양성자 하나의 질량은 (ㄱ)Kg이네요.

선생님 : 그래 잘 풀었다. 이제 우리 몸을 구성하는 양성자와 중성자의 총 개수를 구해보자.

종철 : 음. 내 몸무게가 60Kg중이니까, 양성자의 질량으로 나눠보면, 답은 (ㄴ)개가 돼요.

선생님 : 그래. 그 중에서 양성자가 차지하는 비율이 얼마인지만 알면 우리 몸에 있는 양성자의 개수가 나오겠지?

종철 : 아! 그건 알 수 있어요. 핵 속에는 양성자와 중성자가 항상 같은 개수로 들어 있으니까 위에서 구한 답 중 반이 양성자의 개수네요!

선생님 : 아니, 한 가지 놓친 사실이 있단다. 수소 원자의 핵은 양성자 하나로만 이뤄져 있잖니? 수소는 또한 H<sub>2</sub>O를 구성함으로써 우리 몸의 70%를 이루고 있으니 무시할 순 없겠지?

종철 : 그렇다면 수소를 고려해서 양성자와 중성자의 개수비를 따져 봐야겠군요. 풀어보면 양성자의 비율은 (ㄷ)이 돼요.

선생님 : 잘 풀었다. 물론 수소는 물뿐만 아니라 다른 분자에도 존재하고, 또 어떤 원자는 핵 속에 중성자가 한두개 더 있는 것들도 있지만 그 양은 많지 않으니까 무시하도록 하자꾸나. 이제 우리 몸에 양성자 개수가 몇 개인지 알 수 있겠니?

종철 : (ㄹ)개요! 선생님 덕분에 쉽게 풀 수 있었습니다. 선생님 감사합니다.

## ▶ 해설 및 모범답안

ㄱ)  $0.012\text{Kg}/1\text{mol} \times 1\text{mol}/(6 \times 10^{23}) \div 12 = 1.67 \times 10^{-27}\text{Kg}$

ㄴ)  $60\text{Kg} \div (1.67 \times 10^{-27}) = 3.6 \times 10^{28}\text{개}$

ㄷ) H<sub>2</sub>O에는 양성자가 10개, 중성자가 8개 있으므로 양성자의 비율은 5/9.

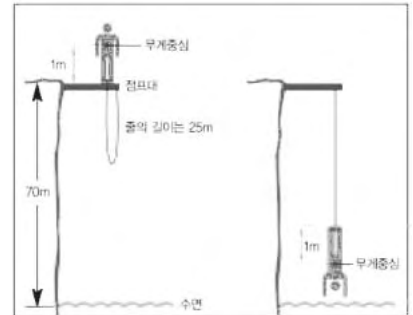
따라서  $0.5 \times 0.3 + (5/9 \times 0.7) \approx 53\%$

ㄹ)  $3.6 \times 10^{28} \times 53\% = 1.9 \times 10^{28}\text{개}.$

## 2003년 08월호-물리 면접구술고사 완벽가이드

이번 호에서는 역학·열역학 등 출제빈도가 높은 부분에 대해, 9월호에서는 전자기학과 현대물리 부분을 다룰 계획이다. 그리고 10월호는 2학기 수시모집 대비를 위한 총정리 특대호로 꾸민다. 이번 8월호 1·2·3번 문항에서는 과학논술에서도 자주 출제되는 역학적 현상에 대한 분석을 다뤘고, 4번 문제에서는 열역학이론에 대해 살펴본다

문제 1. 담력을 기르기 위해 승우는 애견 머독과 수상 번지점프장을 찾았다. 그런데 막상 점프대에서 뛰어 내리려고 하니 겁이 났다. 그래서 승우는 먼저 머독을 점프줄에 묶어서 천천히 내려봤다. 머독은 담담한 표정으로 가만히 내려갔는데, 줄을 다 내리니 수면으로부터 줄 아래쪽 끝점까지의 거리가 40m였다. 다음 물음에 답하라(점프대와 수면까지의 거리는 70m, 점프줄의 길이는 25m, 승우가 팔을 펼쳤을 때 신장은 2m이고, 승우의 체중은 50Kg중, 애견 머독의 체중은 승우의 절반인 25Kg중이다. 단 줄의 무게와 공기의 저항은 무시하며, 점프줄의 양쪽 끝은 각각 점프대와 승우의 발목에 묶여있고, 승우의 무게중심은 신장의 절반인 1m 지점에 있으며, 중력가속도의 크기는  $10\text{m/s}^2$ 으로 한다.).



- 1) 줄의 탄성계수를 구하고, 머독 대신에 승우를 점프줄에 매어 천천히 다 내렸을 때 승우의 손끝과 수면과의 거리를 구하라.
- 2) 승우가 점프대에서 똑바로 서있는 자세에서 가만히 낙하했을 때 승우의 손이 수면에 닿을 수 있는지를 판단하라.
- 3) 점프한 승우의 시간에 따른 속도의 변화를 간략히 설명하라.

### ▶ 출제 의도와 구술 ADVICE

번지점프를 소재로 한 과학논술과 구술면접 문제는 2002학년도 포스텍을 비롯해 2003학년도 성균관대와 서울대 등 여러 대학에서 꾸준히 출제돼 왔다. 그 이유는 중력장 내에서 번지점프를 하는 상황에서 물리학의 다양한 개념과 원리에 대한 질문이 가능하기 때문이다. 우리가 생활하면서 자주 접할 수 있는 물리적 소재에 대해 평소에 분석적 자세로 임하는 것이 중요하다.

### ▶ 해설 및 모범답안

- 1) 탄성계수는  $50\text{N/m}$ 이고, 손끝과 수면과의 거리는  $33\text{m}$ 이다.

$25\text{Kg}$ 중인 머독에 의해 점프줄이  $5\text{m}$  늘어났다. 따라서  $F = -kx = -25\text{Kg중}$ 이므로  $k = 50\text{N/m}$ 을 간단히 구할 수 있다. 그리고  $50\text{Kg}$ 중인 승우를 매달면 머독에 의해 늘어난  $5\text{m}$ 의 2배인  $10\text{m}$ 만큼 늘어나므로 줄의 아래쪽 끝점과 수면과의 거리는  $35\text{m}$ 이다. 승우가 팔을 펼쳤을 때 몸길이가  $2\text{m}$ 이므로 손끝과 수면과의 거리는  $33\text{m}$ 가 된다.

- 2) 수면에 닿는다.

점프한 승우는 알짜힘인 중력과 탄성력의 합력에 의해 운동하게 되며, 최저점에서 속도의 크기는 0이므로 역학적에너지 보존법칙에 의해 아래식이 성립한다.

‘최고점에서 최저점으로 낙하하면서 감소한 중력에 의한 위치에너지의 양=최저점에서의 탄성력에 의한 위치에너지’

그러므로 최저점에서 점프줄의 총 길이를  $h(m)$ 라 하면, 승우의 무게중심 변위가  $(h+2)m$ 이므로  $mg(h+2)=1/2 \times k(h-25)^2$ 이 성립한다.

$m$ 은  $50Kg$ ,  $g$ 는  $10m/s^2$ 이고,  $k$ 는  $50N/m$ 이므로

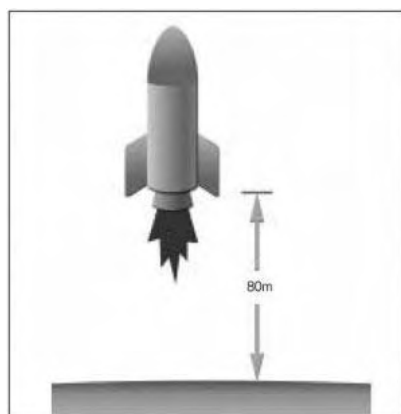
$50 \times 10 \times (h+2) = 1/2 \times 50 \times (h-25)^2$ 에서  $h$ 를 구하면 약  $70.3m$ 이다. 승우의 신장이  $2m$ 라는 점을 고려한다면 최저점에서 승우는 물 속에 있게 된다 (참고로 실제 상황에서는 공기 저항에 의한 역학적에너지 손실에 의해 점프줄이 늘어나는 길이가 줄어들므로 승우의 손끝이 아슬아슬하게 수면에 닿을 가능성이 있다).

3) 첫째, 점프줄의 원래 길이인  $25m$ 만큼 낙하할 동안은 승우에게 중력만 작용하므로 가속도의 크기가 중력가속도와 같이  $10m/s^2$ 이다.

둘째, 점프줄이  $35m$ 가 되기까지는 중력의 크기가 점프줄의 탄성력의 크기보다 크므로 아래 방향으로 가속하긴 하지만 줄이 늘어날수록 탄성력이 커지므로 가속도의 크기는 감소한다.

셋째, 줄이  $35m$ 보다 더 늘어난 이후에는 탄성력의 크기가 중력보다 크므로 승우는 감속하는데, 줄이 늘어날수록 감속의 정도(가속도의 크기)가 커진다.

문제 2. 우측 그림과 같이 행성의 표면으로부터  $80m$  상공에 정지하고 있는 질량  $1Kg$ 의 소형무인 로켓을 행성에 착륙시키고자 한다. 그런데 추진제를 단지  $5초$  동안밖에 사용할 수 없는 불의의 사고가 발생했다. 이러한 상황에서 즉시 추진제 사용을 중단하고 낙하하다가 표면으로부터  $62m$ 를 지나는 지점부터 추진제를  $5초$  동안 사용하기로 결정했다. 그렇다면 다음의 질문에 답하시오. 단 행성에서 중력가속도는  $g=1m/s^2$ 이며, 추진제의 사용에 따른 질량의 감소와 공기에 의한 마찰은 무시할 수 있다고 가정한다 (서울대 2003학년도 정시모집).



- 1) 추진제를 사용하는  $5초$  동안 등속운동을 하기 위해 요구되는 추진력의 크기와 방향을 구하시오.
- 2) 추진력에 의해  $5초$  동안 행해진 일의 양은 얼마인가?
- 3) 이런 방법으로 로켓이 행성 표면에 도달했을 때의 최종속도는 얼마인가?
- 4) 위의 착륙방법에서 추진제 사용고도  $62m$ 가 안전착륙 관점에서 볼 때 가장 적절한 고도라고 생각하는가? 그렇지 않다면 더 나은 방법에 대해 설명하시오.

## ▶ 출제 의도와 구술 ADVICE

위 문제도 구술면접이나 과학논술에 자주 등장하는 힘과 운동과의 관계, 그리고 역학적에너지 보존이 관련돼 있다. 정답을 보면 물리교과서 내 가장 보편적 개념과 원리를 묻는다는 것을 알 수 있다. 그러나 4)번 소문항처럼 직감에 의해 실마리를 찾지 않으면 상당히 고전할 수밖에 없는 문제들이 합격·불합격을 좌우하므로, 내신이나 수능과 같이 교과서 내용의 직접적 적용에 의해 풀 수 있는 문제뿐만 아니라 좀더 응용적인 문제들을 평소에 다뤄보고 브레인스토밍해보는 노력이 요구된다.

## ▶ 해설 및 모범답안

- 1) 추진력의 크기는 1N이며 방향은 중력의 반대 방향이다.

추진력의 크기는 로켓에 작용하는 중력과 같아야하며 방향은 반대여야 하므로 다음의 식이 성립한다.

$$F=ma=mg=1\text{Kg}\times 1\text{m/s}^2=1\text{Kg}\cdot\text{m/s}^2=1\text{N}$$

- 2) 30J이다.

로켓이 80m 상공에서 자유낙하해서 62m 지점에 도달했을 때 속도의 크기를 먼저 구하면,  $80-62=1/2\text{gt}^2$ 에서  $t=6(\text{s})$ 이 구해진다. 따라서 속도의 크기  $v=gt=1\times 6=6(\text{m/s})$ 가 된다. 이 후 5초간 등속도운동을 하므로 이 시간 동안 낙하한 거리  $H=vt=6\text{m/s}\times 5\text{s}=30\text{m}$ 이다.

최종적으로 30m만큼 이동할 동안 추진력에 의해 5초 동안 로켓에 행해진 일의 양  $W=F\cdot S=1\text{N}\times 30\text{m}=30\text{N}\cdot\text{m}=30\text{J}$ 이다.

- 3) 로켓이 행성 표면에 도달했을 때의 최종속도는 10m/s이다.

로켓은 30m만큼 6m/s 빠르기로 등속도 운동을 한 후에 다시 추진력이 작용하지 않아 자유 낙하하므로 이후 32m만큼 낙하할 동안 증가한 속도의 크기를 구해 6m/s에 더하면 된다.

32m 자유낙하하는데 걸리는 시간은  $32=v_0t+1/2\text{gt}^2$ 에서  $t=4\text{초}$ 이므로 4m/s만큼 증가한다 (또는  $v^2-v_0^2=2as$ 의 식을 이용해도 된다.)

그러므로 지표면에 도달할 때 속도의 크기는  $6+4=10(\text{m/s})$ 이다.

- 4) 62m는 적절한 고도가 아니다. 적절한 고도는 37m 낙하한, 지면으로부터 약 43m되는 고도이다. 이를 구하는 원리는 아래와 같다.

첫째, 로켓에 작용한 알짜힘과 이동거리의 곱만큼 일을 받고 이 일의 양만큼 운동에너지로 변한다.

둘째, 안전을 고려했을 때 로켓은 지면에 도달할 때 속도의 크기가 작을수록 좋다. 그래야만 충격량( $I=Ft=m\Delta v$ )을 최소화할 수 있기 때문이다.

이 두가지 점을 고려했을 때 직감적으로 로켓은 속도가 클 때 작용하는 알짜힘의 크기가 0이어서 그동안 행해진 일의 양도 0이어야함을 알 수 있다. 즉 정해진 80m를 낙하할 때 추진제를 다 사용한 5초가 경과됐을 시점에 지면에 도달하도록 하면 된다. 이 조건에서 추진 고도를 구하면 아래와 같다.

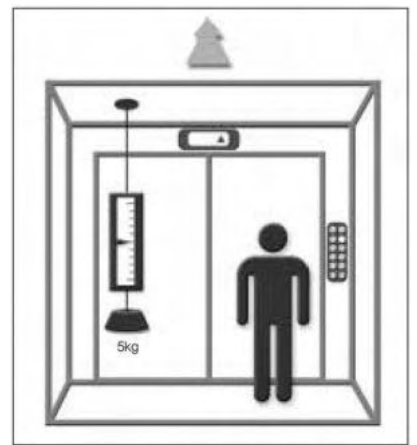
추진제를 사용하기 시작하는 시점을 낙하 후  $t$ 초라하고 그 후 5초간 더 등속도로 낙하한 후 지면에 닿았으므로 다음의 식이 성립한다.

$$80\text{m}=\frac{1}{2}\text{gt}^2+\text{gt}\times 5\text{초}(g=1\text{m/s}^2)\text{에서}$$

$$t^2+10t-160=0\text{이므로,}$$

$$t=\sqrt{-5+5^2+1\times 160}\text{ (약 8.6초)가 구해지고, 이 시간동안 낙하한 거리 }H=\frac{1}{2}\text{gt}^2\approx 37\text{m}\text{이다.}$$

문제 3. 셋별아파트 10층에 살고 있는 보람이는 물리시간에 사용한 용수철저울을 들고 엘리베이터를 타고 올라가던 중 시간에 따라 용수철저울의 추 눈금이 바뀐다는 사실을 발견했다. 보람이는 엘리베이터가 가속 또는 감속하면 그 안의 물체는 반대방향으로 관성력을 받는다고 물리시간에 배운 기억이 떠올라 다음과 같은 실험을 해보았다.



- 1) 용수철저울을 엘리베이터에 고정시킨 뒤 5Kg중의 추를 매달고 엘리베이터가 출발할 때부터 멈출 때까지의 시간에 따른 저울의 눈금값을 기록했더니 다음 그래프와 같았다. 처음 2초 동안 엘리베이터의 가속도를 구하라(단 중력가속도는  $10\text{m/s}^2$ 이다).
- 2) 2-9초 구간에서 엘리베이터의 속력은 얼마인가?
- 3) 엘리베이터의 시간-속력 그래프를 그리고 엘리베이터가 올라간 높이를 구하라.

### ▶ 출제 의도와 구술 ADVICE

엘리베이터는 관성력을 다루는 문제의 단골손님이다. 다양하게 변형된 문제가 출제되더라도 관성력의 기본 개념을 쫓아서 문제를 푼다면 크게 어려울 것이 없다.

### ▶ 해설 및 모범답안

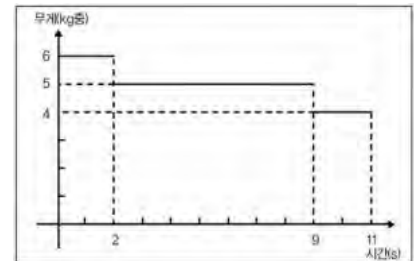
- 1) 정답은  $2\text{m/s}^2$ 이다.

$W=F=ma$ 로부터 가속도  $a$ 의 크기를 구할 수 있다. 즉

$$6g = 5 \times a \quad a = 1.2g \text{ (단 } g = 10\text{m/s}^2\text{)}$$

이때 가속도는 중력가속도와 엘리베이터에 의한 관성가속도의 합이므로, 엘리베이터의 가속도  $A$ 는

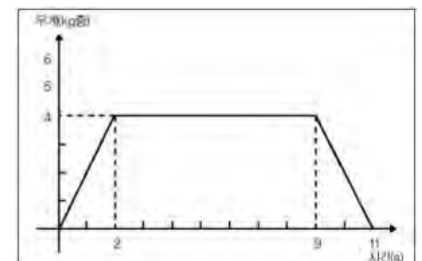
$$1.2g = g + A \quad A = 0.2g = 2\text{m/s}^2$$



- 2) 정답은  $4\text{m/s}$ 이다.

2-9초 구간에서 용수철저울의 눈금은 지상에서와 같은 5Kg중이므로 엘리베이터가 등속운동을 하는 구간이다. 2초 동안  $2\text{m/s}^2$ 의 가속도로 운동했으므로 2초 후의 속력은

$$v = at = 4\text{m/s} \text{이다.}$$



- 3) 9-11초 구간에서 엘리베이터의 가속도를 구하면

$$4g = m(g + A)$$

$$A = -0.2g = -2\text{m/s}^2 \text{이 된다.}$$

시간-속력 그래프에서 가속도는 그래프의 기울기가 된다는 사실에 주의해서 그래프를 그려보면 오른쪽과 같다.

그리고 엘리베이터가 올라간 높이는 시간-속력 그래프에서 아랫부분의 면적에 해당하므로 답은  $36\text{m}$ 다.

문제 4. 더운 여름철에 시원한 선풍기 바람을 맞으며 열역학 공부를 하던 수현이는 쉬는 시간에 문득 선풍기와 관련한 열역학적 현상은 어떤 것이 있을까 궁금해졌다. 다음 문제를 풀면서 열역학을 최종 마무리해보자.

- 1) 선풍기가 동작하는 동안 열에너지를 발생시키는 요인들을 찾아보고 에너지의 종류를 생각해보라.
- 2) 선풍기의 날개를 떼고 전동기의 축을 다른 발전기에 연결했을 때, 선풍기를 작동시키면 발전기에서는 선풍기를 돌리는데 든 전력이 재생산되겠는가 생각해보라.
- 3) 위 문제에 의하면 외부와의 열 교환이 없는 밀폐된 방 안에서 선풍기는 오히려 열을 발생시키고 있는데도 수현이가 시원함을 느끼는 이유를 설명하고, 열역학 제1법칙에 위배되지 않는지 생각해보라.

### ▶ 출제 의도와 구술 ADVICE

일상생활에서 일어나는 열역학적 현상들이 문제로 출제되면 당황하지 말고 열역학 법칙의 큰 개념인 에너지 보존법칙, 엔트로피 증가법칙의 기본 틀에서 출발하면 쉽게 풀 수 있다.

### ▶ 해설 및 모범답안

- 1) 선풍기는 ‘전기에너지’를 날개의 회전 운동에너지로 바꿔주는 역할을 한다. 외부로부터 전선을 통해 전력을 공급받아 전동기를 작동시켜 회전력을 얻어내는 것이다. 이때 열역학 제2법칙인 엔트로피 증가법칙에 의해 각 에너지들 중 일부는 비가역적으로 열에너지로 변하게 된다.  
먼저 전기에너지의 경우 도선이나 선풍기 내부의 회로에 존재하는 저항에서 열이 발생한다. 전기에너지가 역학적 에너지로 바뀐 뒤에는 전동기의 축이 회전할 때 전동기 몸체와의 마찰에 의해 열이 발생하고, 선풍기 날개가 회전할 때 공기와 마찰을 일으키므로 역시 열이 발생하게 된다.

따라서 답은 전기에너지 : 도선과 회로의 저항

역학적 에너지 : 마찰(회전축과 몸체, 회전날개와 공기)

- 2) 완전한 재생산은 불가능하다가 정답이다.

이상적인 경우라면 열역학 제1법칙인 에너지 보존법칙에 의해 ‘전기에너지’가 ‘역학적 에너지’로 바뀌고 그 ‘역학적 에너지’를 다시 ‘전기에너지’로 바뀌어도 총 에너지는 보존돼야 할 것이다. 그러나 현실에서는 1)번 문제에서 살펴본 것처럼 엔트로피 증가법칙에 의해 에너지가 전환될 때 비가역적인 열에너지 손실이 발생하므로 선풍기의 전동기로 다시 발전해도 처음에 선풍기에 넣어준 전력을 회수하기는 힘들다.

- 3) 정답은 ‘열역학 제1법칙에 위배되지 않는다’이다.

선풍기를 밀폐된 공간에 계속 켜놓으면 분명 실내온도는 증가할 것이다. 외부로부터 전력이 계속 공급되는 반면 외부로 빠져나가는 에너지는 없으므로 선풍기는 지속적으로 마찰열을 발생시킨다. 그러나 선풍기 바람이 시원하게 느껴지는 이유는 피부에 있던 물이 바람에 의해 증발하면서 피부의 열을 빼앗아 달아나기 때문이다. 즉 ‘역학적 에너지’가 물의 상태 변화에 쓰였으므로 에너지 보존에 위배되는 것은 아니다.

### ■ 2학기 수시모집의 물리 구술면접 대비방안에 대해서

이번 9월호에서는 물리 교과서의 후반부인 전자기학과 파동·입자이론 부분을 다뤘다. 물리 전반부에 비해 상대적으로 이해하기 힘든 난해한 개념이나 원리, 그리고 현상들이 즐비하지만, 현상과 원리를 연결시키는 연습을 제대로 한번 준비해 둔다면 면접고사실에서는 상대적으로 쉽게 문제를 풀고 고득점을 얻을 수 있다.

1·2번 문항에서는 전자기학 부분에서 출제 가능한 예제인 전자기유도와 전기회로 이론을, 3번 문항에서는 파동이론 중에서 빈도가 가장 높은 빛의 회절과 간섭 현상을 다뤘고, 마지막 4번에서는 최근 신소재로 주목받고 있는 수소저장 매체의 원리를 알아본다.

문제 1. 자동차를 운전할 때 안전에 큰 영향을 미치는 속도의 크기와 관련된 다음의 물음에 답하시오.

- 1) 80Km/h의 속도로 달릴 때 안전거리의 기준인 정지거리(공주거리+제동거리)가 80m라면, 1백Km/h의 속도로 달릴 때의 정지거리는 대략 얼마일까(단 자동차의 빠르기 외에는 차이점이 없으며, 운전자가 위험을 느끼고 브레이크를 작동하는데 걸리는 반응시간은 0.5초로 일정하다고 가정한다)?
- 2) 교류발전은 자석 내에서 코일이 회전할 때 발생하는 기전력(V)에 의한 것이다. 기전력의 크기를 좌우하는 요소들에 대해 설명해보라.
- 3) 자동차의 속도계는 바퀴축 위에서 회전하는 추에 작용하는 원심력으로 바늘을 작동시키는 방식도 있으나 근래에는 전자기학적 원리를 주로 이용한다고 한다. 속도계가 속도의 크기를 정확히 표현할 수 있는 방법에 대해 자신의 생각을 말해보라(2003년 서울대 수시모집).

### ▶ 출제 의도와 구술 ADVICE

구술면접의 질문 중에서 상대적으로 난이도가 높은 것은 기존의 교과서나 참고서에서 다루지 않은 실생활의 소재를 문제화한 것이다. 낯선 질문임에는 틀림없는 사실이지만 답변은 교과서 기본원리 수준이므로 해결과정에 대한 깊이 있는 연구가 필요하다.

### ▶ 해설 및 모범답안

- 1) 첫째, 공주거리는 0.5초 동안 자동차가 등속도로 진행한 거리이므로 속도의 크기에 정비례한다. 1백Km/h가 80Km/h의 1.25배이므로 공주거리도 정확히 1.25배다.

둘째, 제동거리는 자동차가 정지마찰력에 의해 등가속도 운동을 한 거리인데, 속도가 큰 만큼 경과시간도 비례해 길어진다. 그러므로 자동차가 멈추기까지 이동하는 거리는 속도의 제곱에 비례하므로 80Km/h로 달릴 때에 비해  $(1.25)^2$ 배로 늘어난다.

셋째, 더 빠른 속도에서 제동할수록 타이어와 지면 사이의 발열량이 증가해 타이어의 마찰계수를 줄이므로 자동차의 정지거리가 다소 증가한다.

따라서 마찰계수의 변화가 미미하다고 할 때 위 3가지를 종합하면, 1백Km/h로 달릴 때의 정지거리는 80m의 1.25배인 1백m보다는 더 크고  $(1.25)^2$ 배인 1백25m보다는 작을 것이라는 것을 알 수 있다.



2) 코일에 생기는 유도기전력(E)의 크기는 코일을 지나는 자속( $\Phi$ )의 시간적 변화율에 의해 결정된다.

즉  $E = -\frac{d\Phi_B}{dt} = -\frac{d}{dt}BLR\cos\theta = BLR\omega\sin\omega t$ 이므로, 발전기의 자석이 셀수록, 회전하는 막대 코일이 클수록, 그리고 코일이 빨리 회전할수록 기전력은 커진다.

3) 자기장 속에 전류가 흐르면 이 방향과 수직으로 힘을 받게 되는데 이때 받는 힘의 크기는 전류의 세기에 비례한다. 바로 이 사실을 이용한 것이 전류의 세기를 알 수 있도록 한 전류계다.

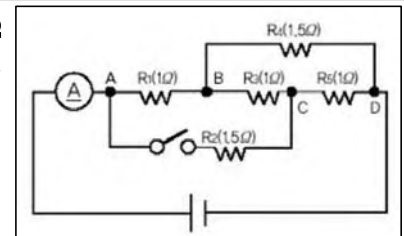
전류계를 보면 코일에는 용수철과 바늘이 부착돼 있으며 코일과 용수철의 토크가 평형이 될 때 코일이 정지하고 그 회전각은 전류에 비례하게 되므로 바늘이 가리키는 눈금에 따라 전류를 측정할 수 있다.

자동차의 속도계도 전류계의 원리를 따른다. 자동차 속도의 크기는 단위시간(초) 동안 바퀴 회전수와 바퀴의 바깥둘레를 곱해 구할 수 있다. 그런데 바깥둘레는 속도에 따라 거의 변하지 않으므로 속도계의 눈금은 회전수에 비례해 움직이도록 하면 된다.

그리고 회전수(또는 각속도)에 비례해 변하는 물리량으로 기전력의 크기가 있으므로, 회전축에 코일을 연결하고 이 코일이 자석 사이에서 회전하도록 하면 된다.

이때 속도가 클수록 큰 기전력이 발생하므로 전류의 세기가 증가하고 자석 내부의 전선은 큰 힘을 받게 되므로 바늘이 더 회전한다.

문제 2. 평소 전기전자공학계열 진학을 생각해 왔던 기성이는  $1\Omega$  짜리 금속저항 3개와  $1.5\Omega$  짜리 저항 2개로 아래와 같은 회로를 꾸며보았다 (2003년도 홍익대 수시모집 응용).



1) 위의 회로에서 스위치를 열고  $1.5V$ 의 전압을 걸어줬을 때 전류계(?)에 측정되는 전류의 세기는 얼마인가?

2) 저항4( $R_4$ )의 길이를 2배로 잡아늘인다면 저항3( $R_3$ )에 흐르는 전류의 세기는 어떻게 변하는가?

3) 기성이가 기존의 전지를 떼고 스위치를 닫은 후 전압을 모르는 전지를 연결했더니 전류계가  $1A$ 를 가리켰다. 전압의 크기는 얼마였겠는가?

### ▶ 출제 의도와 구술 ADVICE

2003학년도 2학기 수시모집을 치렀던 서울대 전기전자공학부는 학업적성평가와 별개로 실시한 기본소양 평가 문제로 전기저항에 대해 물었다.

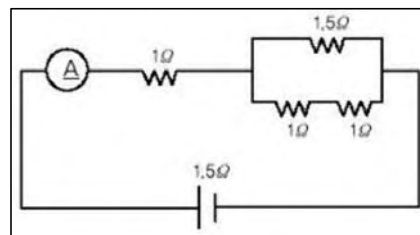
‘저항의 크기와 온도와의 관계는 무엇인가, 그리고 저항체의 길이를 2배로 잡아늘인다면 저항의 크기는 어떻게 변하는가?’ 등이었으며, 이는 자연계열 수험생에게 요구되는 기본소양 또한 전공적성과 크게 다르지 않음을 보여준다.

### ▶ 해설 및 모범답안

1) 회로를 알기 쉽게 표현하면 우측과 같다.

먼저 병렬로 연결된 부분의 합성저항을 구하면,  
 $\frac{1}{R} = \frac{1}{1.5} + \frac{1}{1+1}$  에서 R은 약 0.86Ω이므로, 전체저항의 크기는 1+0.86=1.86(Ω)이다.

∴ 전류의 세기  $I = \frac{1.5V}{1.86\Omega} \approx 0.81A$ 이다.

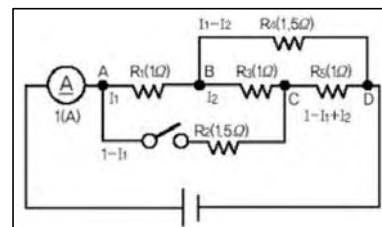


2) 저항체의 길이를 2배로 잡아늘이면 저항체의 단면적도 반으로 줄어들기 때문에 저항값은 원래의 4배인 6Ω이 된다. 1)번 문항과 같은 방법으로 병렬연결 부분의 저항을 구하면 1.5Ω이므로 전체저항의 크기는 2.5Ω이 된다.

그러므로 전류계에 나타나는 전류의 세기는  $1.5V/2.5\Omega = 0.6A$ 이며, 저항3(R<sub>3</sub>) 쪽으로는 전체 전류의 6/8에 해당하는 0.45A가 흐른다.

3) 전하량 보존 법칙과 에너지 보존 법칙의 일종인 전위차(V) 원리를 이용한 풀이과정은 아래와 같다.

첫째, ‘전류가 갈라지거나 모이는 지점 전후의 전류의 세기는 항상 같다’는 전하량 보존의 원리를 적용하면, 각 지점에 흐르는 전류의 세기를 우측 그림과 같이 나타낼 수 있다.



둘째, A~C 구간에서 두 지점 간 전위차는 전선에 관계없이 일정하므로 아래식이 성립한다.

$$I_1 \times 1\Omega + I_2 \times 1\Omega = (1 - I_1) \times 1.5\Omega$$

$$\therefore 2.5I_1 - 3.5I_2 = 1 \quad \text{..... ①}$$

그리고 B~D 구간 역시 전위차의 식을 쓰면 다음과 같다.

$$I_2 \times 1\Omega + (1 - I_1 + I_2) \times 1\Omega = (I_1 - I_2) \times 1.5\Omega$$

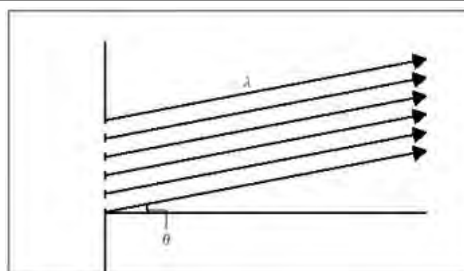
$$\therefore 1.5I_1 - 2.5I_2 = 1 \quad \text{..... ②}$$

식①과 식②를 연립해 풀면  $I_1 = 5/9(A)$ ,

$I_2 = 1/9$ 이므로 R<sub>5</sub>에 흐르는 전류의 세기는 5/9(A)이다.

∴ 문제에서 요구한 전압은 A~D 구간 전위차이므로 A~C 구간 전위차 6/9(V)와 C~D 구간 전위차 5/9(V)의 합인 11/9이다.

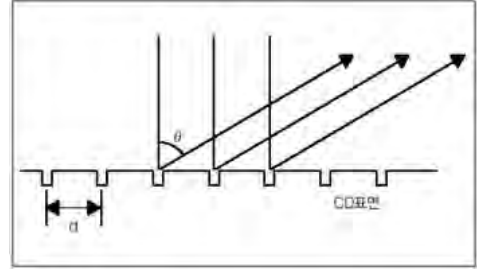
문제 3. 붉은색 레이저 포인터를 갖고 놀던 영란이는 우연히 책상에 놓인 오빠의 CD에 레이저를 비추면 여러개의 빛이 반사돼 나타난다는 사실을 발견했다. 영란이는 신기해 대학에 다니는 오빠에게 원리를 물어보았더니 놀랍게도 물리시간에 배운 빛의 회절과 간섭현상에 의한 것이었다. 또한 영란이도 쉽게 이해할 수 있는 내용이었다. 기뻐하는 영란이에게 오빠는 다음과 같은 문제를 내주었다.



“CD표면을 향해 레이저를 수직으로 입사시키면 과연 몇 개의 상이 반사돼 나올까? 다음의 순서를 따라서 문제를 풀어라.”

1) 격자 간격이  $d$ 인 회절 격자에 파장이  $\lambda$ 인 빛이 입사했을 때 보강간섭이 일어나는 조건은 무엇인가?

2) CD 표면은 미세한 홈이 동심원 모양으로 나있는 구조로 되어 있는데 1mm당 약 5백개의 홈이 나 있다. 레이저 포인터의 파장이 6백50nm(나노미터,  $1\text{nm}=10^{-9}\text{m}$ ) 정도라고 할 때, 레이저를 수직으로 입사하면 몇 개의 상이 반사돼 튀어나올까(단 정반사되는 빛은 포함하지 않는다)?



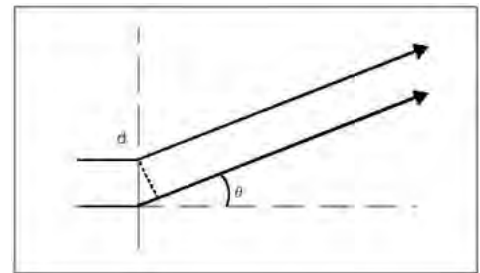
### ▶ 출제 의도와 구술 ADVICE

빛의 회절과 간섭을 다루는 문제다. 간섭무늬가 나타나는 이유와 조건은 파동 단원에서 반드시 출제되는 문제이므로 눈을 감고도 풀 수 있도록 숙지하고 있어야 한다.

### ▶ 해설 및 모범답안

1) 간섭무늬가 생기는 원인은 빛의 경로차에 의한 위상차의 발생 때문이라고 추약할 수 있다. 즉 경로차를 올바르게 찾으면 문제를 거의 다 푼 것이라 봐도 무방하다. 회절 격자의 경우 인접한 두 슬릿을 지나온 빛의 경로차만 구해주면 모든 슬릿에 대해서도 똑같이 적용시킬 수가 있다.

경로차가 파장의 정수배에 해당되는 방향이 보강간섭에 의한 밝은 간섭 무늬가 나타나는 위치다. 따라서 답은  $d\sin\theta=n\lambda$  ( $n=0, 1, 2, \dots$ )이다.



2) CD 표면으로 입사된 빛은 미세한 홈에서 회절현상을 보이고 위상차에 의해 보강 또는 소멸 간섭을 일으켜 간섭무늬를 만들어낸다. 그림에서 인접한 격자에서 회절된 두빛의 경로차는 회절 격자에서와 마찬가지로  $d\sin\theta$ 이므로 보강간섭이 일어날 수 있는 가능한  $\theta$ 의 개수가 상의 개수가 된다.

$$d=1/500\text{mm}=2\mu\text{m}(\text{마이크로미터}, 1\mu\text{m}=10^{-6}\text{m})=2000\text{nm}$$

$$d\sin\theta=n\lambda(n=0,1,2,\dots)$$

$$\sin\theta=n\lambda/d$$

$$\therefore \sin\theta=n\times 0.325$$

여기서 상이 생길 수 있는 방향은 반사각이  $-90^\circ < \theta < 90^\circ$ 인 영역이므로,

$$\text{결국 } -1 \leq \sin\theta \leq 1 \therefore -3.1 < n < 3.1$$

$n=0$ 은 정반사되는 빛을 의미하므로 결국 가능한 정수  $n$ 의 개수는 모두 6개, 즉 6개의 상이 생긴다.

문제 4. 얼마 전 한 일간지에 다음과 같은 과학기사가 소개됐다. 이 기사를 읽고 다음의 문제를 풀어보자.

“미국의 한 연구소에서 최근 탄소나노튜브에 수소를 저장하는 새로운 기술을 개발해 탄소나노튜브가 수소 저장매체로 사용될 날이 조만간 다가올 전망이다. 탄소나노튜브는 탄소 원자들로 이뤄진 직경 1~3nm(나노미터,  $10^{-9}\text{m}$ ) 정도에 길이 수십  $\mu\text{m}$ 의 긴 파이프와 같은 구조를 갖는 신소재로서 10여년 전 일본의 한 과학자에 의해 발견됐다. 그 이후 많은 과학자들에 의해 수소를

저장하기 위한 저장매체로서의 가능성이 제기되고 있었는데, 이번에 개발된 기술은 기존의 수소 저장량을 5배 가까이 향상시킬 수 있는 획기적인 것으로 평가되고 있다.”

- 1) 탄소나노튜브는 그림과 같이 다발 형태로 존재한다. 직경이 1nm인 탄소나노튜브의 경우 수소 분자들은 0.35nm의 간격으로 한줄로 채워지게 된다. 탄소나노튜브들이 거의 빈틈이 없이 뭉쳐있어서 있다고 가정하고 수소분자가 튜브의 내부를 가득 메우고 있다고 가정했을 때 1mm<sup>3</sup>에 들어갈 수 있는 수소분자의 개수는 얼마인가?
- 2) 수소기체를 단순 압축해 1)번의 결과와 같은 정도의 밀도를 유지하려면 얼마의 압력이 필요한가? 단 0℃, 1기압에서 수소분자가 차지하는 부피는 22.4L이다.

### ▶ 출제 의도와 구술 ADVICE

최근의 과학 동향에 관한 구술 문제가 많은 학교에서 제출되고 있다. 특히 그 해의 노벨상에 관한 문제나 첨단 과학 분야의 최근 업적을 고등학교 수준의 지식으로도 이해할 수 있을 정도의 난이도로 접근해보는 사례가 늘고 있다. 본 단원을 통해 나노과학의 중요한 탐구대상인 탄소나노튜브에 관해 알아보자.

### ▶ 해설 및 모범답안

- 1) 탄소나노튜브는 2nm 간격으로 육각형 구조로 뭉쳐있으므로 탄소나노튜브 하나가 차지하는 면적을 구하기 위해 다음을 먼저 살펴보자.

그림과 같이 인접한 탄소나노튜브 3개의 중심을 연결하면 한변이 2nm인 정삼각형이 만들어지고, 그 정삼각형 내부에는 탄소나노튜브 1/2개가 존재하게 된다 (60°씩 3조각=180°).

삼각형의 면적은

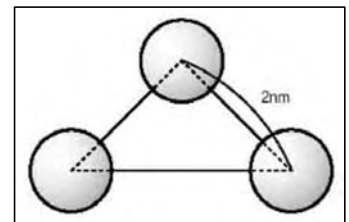
$$1/2 \times 2\text{nm} \times 2\text{nm} \times \sin 60^\circ \approx 1.7\text{nm}^2 = 1.7 \times 10^{-12}\text{mm}^2$$

이므로, 탄소나노튜브 하나가 차지하는 면적은  $3.4 \times 10^{-12}\text{mm}^2$ 이다.

탄소나노튜브 내부에 한줄로 채워진 수소분자의 간격이 0.35nm라고 했으므로 수소분자 하나가 차지하는 부피는 결국,

$$3.4 \times 10^{-12}\text{mm}^2 \times 0.35\text{nm} \times 1\text{mm} / 10^6\text{nm} = 1.2 \times 10^{-18}\text{mm}^3$$

즉 1mm<sup>3</sup>에 존재하는 수소 분자의 개수는,  $1 / (1.2 \times 10^{-18}\text{mm}^3) = 8.5 \times 10^{17}$ 개다.



- 2) 1)번의 조건에서 22.4L에 존재하는 수소분자의 개수를 구하면,

$$8.5 \times 10^{17} \times 22.4\text{L} \times 10^6\text{mm}^3 / 1\text{L} = 1.9 \times 10^{25} \text{ 개다.}$$

0℃, 1기압에서 수소 1몰(즉,  $6 \times 10^{23}$ 개)이 차지하는 부피가 22.4L이므로 위 결과와 비교하면,  
 $(1.9 \times 10^{25}) / (6 \times 10^{23}) = 31.5$

즉 1)번의 결과는 0℃, 31.5기압 정도의 압력에 해당하는 수소 밀도를 의미한다.

## 2003년 11월호-물리 면접구술고사 완벽가이드

이번 호에서는 물리적 현상을 소재로 했던 과학논술과 구술면접 기출문항에 관련되는 인물과 서적을 소개한다. 그리고 기출문제 풀이에 해당하는 서적 내 내용을 거의 변형 없이 옮겨 놓았다. 과학논술과 심층면접을 효과적으로 대비하기 위해서라도 직접적으로 관련된 교양서적은 필히 읽어두기 바란다.

문제 1. 중력은 질량을 가진 모든 물체 사이에 작용하는 인력이며, 전기력은 대전된 물체 사이에 작용하는 힘이다. 중력과 전기력의 공통점과 차이점을 설명하시오. 떨어지는 물체와 지구는 작용, 반작용에 의해 서로 잡아당긴다. 이때 물체는 아래로 가속되지만, 지구는 위로 올라가지 않는다. 그 이유를 설명하시오(2002학년도 경희대 자연계열 과학논술, 2003학년도 고려대 이학부 심층면접, 2004학년도 성균관대 과학논술 등).

▶ 관련된 책 : 파인만의 여섯가지 물리이야기

지은이 : 파인만

출판사 : 도서출판 승산

본문 내용 : p170-180

▶ 저자 소개

미국 이론물리학자. 뉴욕 출생. 매사추세츠공대와 프린스턴대를 나와, 1945년 코넬대 이론물리학 조교수를 거쳐 1951년 캘리포니아공대 교수가 됐다. 1965년 양자전자역학의 인력이론 연구로 J.S.슈윙거·도모나가 신이치로와 함께 노벨물리학상을 받았다. 그가 창안한 파인만 다이어그램은 이론물리학에 널리 사용되고 있다. 저서 ‘일반 물리학 강의 (1964)’는 교과서로서 높이 평가받고 있다.

▶ 책 소개

고등학교 물리Ⅱ나 화학Ⅱ를 이수한 학생이라면 누구나 편안하고도 재미있게 읽을 수 있다. 서문에도 자세히 설명돼 있지만, 수학적 표현을 거의 사용하지 않고도 자연현상에 대해 독창적이고도 쉽게 분석하고 있다. 또한 물리학자의 글이면서도 생물학과 화학, 지구과학 등 자연과학 전반에 대해 그의 깊은 사고를 책 여러 곳에서 보여주고 있어 흥미롭다.

▶ 본문 내용

| 동역학의 발전 |

케플러가 행성의 운동에 관한 세계의 법칙을 발견하는 동안, 갈릴레이는 일반적인 운동의 법칙을 연구하고 있었다. 당시에 제기됐던 가장 커다란 의문은 ‘무엇이 행성을 공전하게 만드는가?’하는 것이었다 (그 무렵에 제시됐던 이론 중 하나는 ‘눈에 보이지 않는’ 천사들이 날개를 펼치며 뒤에서 행성을 밀어 앞으로 진행하게 만든다는 황당무계한 가설이었다. 여러분은 이제 이 이론이 수정됐음을 명백히 보게 될 것이다. 행성이 곡선운동을 하려면 보이지 않는 천사들은 계속해서 날아가는 방향을 바꿔야 한다. 그리고 행성 근처에서 날개를 가진 비행체가 발견된 사례는 지금까지 단 한번도 보고 된 적이 없다. 그러나 이것만 눈감아 준다면 지금의 이론은 천사이론과 아주 비슷하다!)....(중략).

## | 뉴턴의 중력(만유인력)법칙 |

뉴턴은 운동의 법칙을 완벽하게 이해한 최초의 인간이었다. 그는 자신의 이해를 바탕으로 “모든 행성들의 운동을 관장하고 제어하는 것은 태양이다”라는 놀라운 결론에 이르게 되었다. 이 놀라운 천재 물리학자는 케플러의 두번째 법칙, 즉 행성이 같은 시간동안 동일한 면적을 쓸고 지나간다는 관측 결과를 수학적 논리로 증명하는데 성공했다. 그것은 바로 ‘행성에 가해지는 모든 힘은 오로지 태양을 향하는 방향으로만 작용한다’는 가설로부터 자연스럽게 유도되는 결과였던 것이다 (여러분은 곧 이 사실을 증명할 수 있을 것이다) 그 다음으로 케플러의 세번째 법칙을 분석해보면, 행성의 거리가 멀어질수록 작용하는 힘은 약해진다는 것을 어렵지 않게 알 수 있다. 태양까지의 거리가 서로 다른 두개의 행성을 비교한 결과, 행성에 작용하는 힘은 태양까지의 거리의 제곱에 반비례한다는 사실이 알려졌다. 뉴턴은 이 두가지 법칙을 적절히 결합하여 ‘임의의 두 물체 사이에는 물체를 잇는 선분 방향을 따라 서로 잡아당기는 힘이 작용하며, 힘의 크기는 두 물체 사이의 거리의 제곱에 반비례한다’는 또 하나의 결론을 유도해낼 수 있었다.

뉴턴은 주어진 하나의 사실을 일반화시키는 데에도 천재적인 능력을 갖고 있었다. 그는 이러한 성질이 행성과 태양뿐 아니라 더욱 광범위하게 적용된다는 것을 간파했던 것이다. 당시에도 목성의 위성은 망원경으로 관측되어 그 존재가 이미 알려져 있었으며, 마치 지구의 달처럼 목성의 주위를 공전하고 있다는 것도 잘 알려져 있었다. 뉴턴은 태양-행성의 운행법칙이 여기에도 적용된다는 사실을 간파했으며, 또한 지구가 우리를 잡아당기는 힘까지도 이와 동일한 맥락에서 이해될 수 있다고 생각하였다. 결국 뉴턴은 신중한 사고 끝에 “모든 물체는 다른 모든 물체를 끌어당기고 있다”는 범우주적 법칙을 발견하게 이른다...(하략).

문제 2. 1885년 다임러가 가솔린 엔진을 자동차에 장착한 이래 인류는 그 발전을 위해 노력해 왔다. 아래의 제시문들은 과학적 지식들이 자동차와 어떻게 연관돼 있는지를 보여주는 단편적인 예들이다. 제시문을 읽고 각각의 문항에 대하여 구체적이고 논리적으로 서술하시오 (2004학년도 1학기 수시모집 성균관대 자연계열 논술).

### ▶ 관련된 책 : 끝없는 공간이동

엮은이 : 김태호      출판사 : 도서출판 성우      본문 내용 : p90-97

### ▶ 책 소개

숫자와 공식으로 표현되는 어렵고 재미없는 과학이 아니라, 친구 사귀듯 다가갈 수 있는 과학을 표방해, 일상생활에서 자주 접하는 소재를 통해 과학의 매력에 빠져들 수 있도록 했다. 과학동아 본지에 게재됐던 운동과 관련된 기사를 중심으로 인체와 자연의 관찰, 운동과 기술, 역사와 문화로 구분해 재미있게 설명하고 있다. 중학생 이상이면 읽는데 별 어려움은 없으리라 생각된다. 과학논술과 구술면접에 나올 수 있는 생활소재적인 과학적 현상과 원리는 거의 모두 다루고 있다.

### ▶ 본문 내용

| 자동차, 스스로 움직인다?! |

연료 60% 공기저항에 소비

보통의 자동차가 시속 85Km로 달리고 있다면 연료의 60%는 공기저항을 이기는 데 사용된다. 따라서 자동차를 공기역학적으로 적절히 잘 설계한다면 공기저항을 크게 줄여서 연비를 높일 수 있을 것이다. 오늘날의 자동차들이 가볍고 날렵하게 생긴 이유가 바로 공기역학적인 고려를 했기 때문이다.

차체를 낮추고 앞유리를 완만하게 하면 공기저항을 줄여 유리하기도 하거니와 보기에도 날아갈 것 같이 경쾌해 보인다. 특히 앞으로 자유자재로 형체를 만들 수 있는 플라스틱으로 된 자동차가 일반화되면 공기역학적으로도 더욱 안정된 자동차가 선보일 것이다. 힘들여 프레스하고 때로는 수천군데나 용접을 해야 하는 강철과 달리 플라스틱은 주형으로 찍어서 생산할 수 있다....(중략).

| 마찰력은 접촉면적과 유관하다? |

물리교과서에서는 마찰력이 접촉면적과 무관하다고 한다. 그러나 이 말은 완벽하게 단단한 표면일 때만 옳다. 자동차 타이어 같이 위에서 누르는 힘에 따라 모양이 변하는 경우에는 접촉면적이 클수록 마찰력도 커진다.

따라서 경주용 자동차에는 접촉면적을 넓히기 위해 홈 없이 완전히 매끄러운, 슬릭이라는 타이어를 사용한다. 마찰이 작으면 바퀴의 회전속도가 빨라졌을 때, 노면에서 미끄러져 바퀴가 헛돌기 때문이다. 보통 타이어에 나있는 홈은 젖은 도로에서 마찰력을 증가시키기 위한 것이다. 홈이 나있지 않다면 도로와 바퀴 사이에 얇은 물의 층이 생기는 수막현상이 더 심해진다. 타이어의 홈은 물이 이곳을 타고 흘러나가게 하기 위해 만들어진 것이다. 그러나 자동차 경주는 마른 도로에서만 하므로 이러한 홈은 필요 없다. 대신 접촉면을 넓혀서 접지력을 좋게 하기 위해 홈 없는 타이어를 사용한다.

문제 3. 도선이 균일한 자기장 내에서 한 바퀴 회전하는 동안 발생하는 유도기전력을 그래프로 나타내어라(2002년 포스텍 물리 문제).

▶ 관련된 책 : 소매치기도 뉴턴은 안다

지은이 : 최상일

출판사 : 도서출판 한승

본문 내용 : p258-259

▶ 책 소개

이 책에 수록된 ‘이야기’들은 대부분 <포스텍신문>, <포스텍소식지> 등에 게재된 적이 있는 글들이다. 우리 주위에서 흔히 경험할 수 있는 현상을 통하여 과학자에 요구되는 지적 능력의 개발에 도움이 되는데 주안점을 둔 책이다.

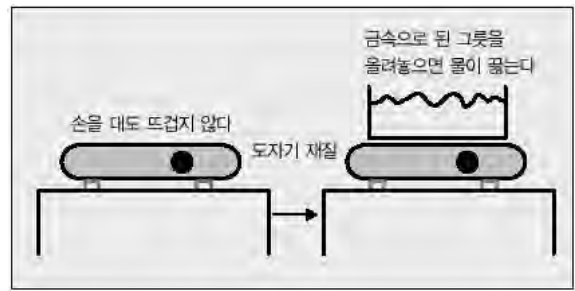
▶ 본문 내용

| 뜨겁지 않아도 물은 끓는다. |

내가 어릴 때에는 음식을 만드는 데는 부엌에서 장작으로 군불을 지피든지 화로에 숯을 피우는 것이 대부분이었고, 전기를 사용하는 것으로는 전기풍로라는 것을 가끔 볼 수 있었다. 전기풍로는 전기저항이 큰 금속 전선(니크롬선)에 전류를 보내면, 전기 에너지가 효율적으로 열에너지로 변하여 전선이 뜨거워지는 것을 이용하는 것이다. 실제로 빨갛게 달아올라 있는 니크롬

선 위에 요리할 것을 올려놓도록 되어 있다. 오랫동안 각국에서 많이 사용되어 온 전기 레인지는 이 전기풍로와 같은 원리이다.

최근에 와서는 여러 종류의 조리기구가 널리 사용되고 있다. 흰 도자기 같은 것으로 되어 있어 손을 대보면 전혀 뜨겁지 않고 좀 따뜻할 정도인데 금속으로 된 주전자를 올려놓으면 얼마 지나지 않아 끓게 되는 ‘인덕션 레인지’라는 것이 있다. 뜨겁지도 않은 것이 어떻게 물을 끓일 수 있을까?



-해설 : 전류가 흐르는 주위에는 자기장이 생긴다. 전류가 흐를 수 있는 물체 속에 전기장이 생기면 전류가 흐른다. 전류가 흐르면 열이 발생한다. 이 관계는 [변화하는 전류 → 변화하는 자기장 → 변화하는 전기장 → 변화하는 전류 → 열발생]으로 종합할 수 있다. 이 관계를 이용한 것이 ‘인덕션 레인지’이다.

흰 세라믹 뚜껑 아래에는 전선으로 된 코일이 있고 스위치를 넣으면 이 코일의 전선에 전류가 흐른다. 그러면 자기장이 생긴다. 그런데 가정에 들어와 있는 전류는 교류이기 때문에 전류의 방향과 크기가 정기적으로 바뀐다. 우리나라나 미국에서는 1초에 60번 바뀌는 전류이다. 따라서 자기장도 1초에 60번 바뀐다. 이 자기장은 세라믹을 통과하여 그 위에 놓여 있는 주전자나 냄비 바닥으로 들어간다. 이 자기장이 변화하므로 주전자나 냄비의 금속 바닥에 전류가 흐른다. 금속 안에 전류가 흐르므로 거기에서 열이 발생하여 물을 끓이는 것이다.

세라믹은 전기의 도체가 아니기 때문에 전류가 흐르지 않는다. 그래서 스위치를 넣어도 세라믹 뚜껑은 뜨거워지지 않는다. 그래서 도자기 그릇이나 플라스틱 그릇으로는 물을 끓일 수 없다. 이런 불편한 점이 있지만, 스위치 끄는 것을 잊고 있어도 뜨거워지지 않기 때문에 어린아이들이 화상을 입을 염려가 없다는 장점이 있다.

문제 4. 끓는 물에 몸이 닿으면 피부에 화상을 입지만 한증막에서는 실내 온도가 100℃ 이상 돼도 화상을 입지 않는다. 그 이유를 설명하라(2002학년도 수시모집 포스텍).

▶ 관련된 책 : 생활 속의 과학이야기(물리편)

저자 : 이준희, 신재수

출판사 : MJ미디어

본문 내용 : p291-294

▶ 책 소개

저자가 교양 물리 강의 시간에 학생들이 재미있어 하던 문제들의 일부를 수록해 놓은 것으로 수식보다는 물리의 개념과 과학적인 상식을 일상생활에서 일어나는 현상을 통해 재미있게 설명한 책이다.

▶ 본문 내용

| 열의 전달 |

집안의 문은 대부분 나무로 되어 있고 나무문을 열고 닫는 손잡이(문고리)는 금속으로 되어 있다. 더운 여름날 집안에서 나무문의 금속 손잡이를 잡으면 시원하게 느껴지지만 나무문에 손



을 대면 손잡이보다 덜 시원하다. 이 이유는?

1. 열의 전도차이
2. 열의 대류차이
3. 열의 복사차이

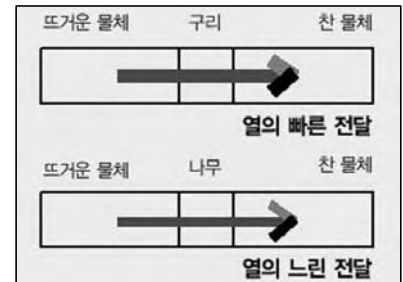
-해설 : 답 1

열이 이동하는 방법에는 전도, 대류, 복사가 있다. 전도는 접촉하고 있는 물체 중 더운 물체에서 찬 물체로 열이 전달되는 현상으로 주로 고체에서 일어난다.

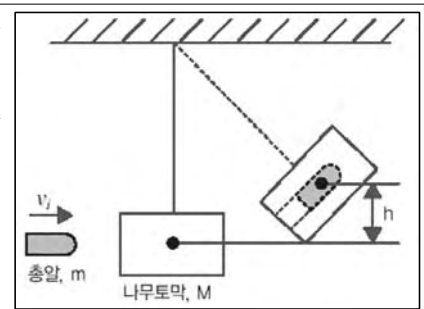
예를 들어 음료수가 들어있는 캔(강통)을 얼음 위에 놓으면 열은 캔에서 얼음으로 흘러간다. 이로 인해 캔과 음료수는 차가워진다.

금속이 가열되면 자유전자들이 이동하여 원자나 분자와 충돌하여 원자나 분자의 진동에 의해 열이 전달된다. 열은 단지 분자의 운동이며 그 자체가 강响? 아니다. 즉 물질을 이루는 구성 입자의 진동에너지로 나타내는 것이다 (진공은 원자나 분자가 없기 때문에 전도가 전혀 일어나지 않는다). 열을 잘 전도하는 물질인 열의 도체는 ‘은>구리>금>알루미늄>철’ 순이고 열을 잘 전도하지 않는 물질인 열의 부도체는 공기, 유리, 물, 나무, 솜 등이 있다.

더운 날 금속과 나무를 손으로 잡으면 금속을 잡는 손이 훨씬 시원하게 느껴진다. 또한 추운 날에는 금속을 잡는 손이 훨씬 차갑게 느껴진다. 금속은 원래 차갑기 때문에 그렇다고 생각하는 사람들도 있다. 그렇다면 금속과 나무에 같은 열을 가한 후 만져 보면 금속이 더 뜨겁다. 금속은 원래 차갑다면 같은 열을 가했기 때문에 금속이 더 차가워야 한다. 금속은 원래 차갑다는 것은 잘못된 생각이다. 금속은 열을 잘 전달하기 때문에 손의 열을 쉽게 빼앗아가고 나무는 열을 잘 전달하지 못하기 때문에 손의 열을 빼앗을 수가 없다. 그러므로 우리의 열을 잘 빼앗아 가는 금속 손잡이가 더 시원하게 느껴진다...(하략).



문제 5. 줄에 매달린 질량  $M$ 의 나무토막에 질량이  $m$ 인 총알이 날아와 박혔다. 이때 나무토막이 처음 위치에서  $h$ 만큼 위로 움직였다. 총알의 속력을 계산하시오(단 줄의 무게는 무시한다).



▶ 관련된 책 : 물리가 날 미치게 해

저자 : 크리스토퍼 아르고츠키, 프랭클린 포터(옮긴이 : 김영태)

출판사 : 도서출판 한승      본문 내용 : p244-246

▶ 책 소개

여기에 소개한 퍼즐들은 재미를 위한 것들이다. 얼마나 많이 풀 수 있느냐는 중요하지 않다.

독자를 당황하게 하면서도 동시에 호기심을 불러일으키기에 충분한 매력이 있는 책.

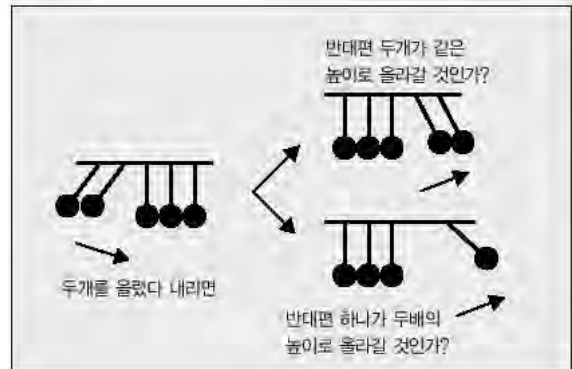
▶ 본문 내용

| 회장님의 장난감 : 뉴턴의 요람 |

-문제 : 다섯개의 강철공으로 이뤄진 인기 있는 장난감이 있다. 모두 동일한 크기와 질량을 가진 공이 일렬로 서로 접촉한 채 줄에 매달려 있다. 한쪽 끝에 있는 공 하나를 뒤로 당겼다가 놓으면 반대쪽 끝에 있는 공 하나가 위로 올라간다. 같은 쪽에 있는 공 두개를 당겼다가 함께 놓으면 다른 끝에 있는 공 두개가 같이 위로 올라간다. 공 세개를 당겼다가 같이 놓으면 반대쪽 공 세개가 함께 위로 올라간다. 이처럼 이 공들이 계산을 아는 게 분명하다! 어떻게 이 공들이 이런 일을 할 수 있을까?

-해설 : 이 장난감은 운동량 보존과 에너지 보존의 원리를 보여준다. 왼쪽에 있는 두개의 공을 높이  $h$ 에서 정지시켰다가 놓으면 속도  $v$ 로 다른 공과 충돌한다. 따라서 충돌 전의 전체 운동량은  $2mv$ 가 된다. 충돌 후 왼쪽 세개의 공은 정지하고 오른쪽 두 개의 공이 속도  $v$ 로 움직여 전체 운동량이 충돌 전과 정확히 같은  $2mv$ 가 된다.

에너지 또한 보존된다. 충돌 직후의 전체 운동 에너지는  $\frac{1}{2}mv^2 + \frac{1}{2}mv^2 = mv^2$ 로 충돌 직전의 전체 운동 에너지와 같다. 왜 한개의 공이 속도  $2v$ 로 튀어오르지 않을까? 이 경우 나중 운동량이  $2mv$ 가 되어 운동량 보존은 만족된다. 그러나 나중 운동 에너지가  $\frac{1}{2}m(2v)^2 = 2mv^2$ 이 되어 에너지가 보존되지 않는다.



## 2003년 12월호-물리 면접구술고사 완벽가이드

### ■ 단원 출제 경향 및 대비 방안

이번 12월호에서도 11월호에 이어 물리적 현상을 소재로 했던 과학논술과 구술면접 기출문항과 관련되는 인물과 서적을 소개한다. 그리고 제시한 기출문제의 풀이에 해당하는 서적 내 내용은 거의 변형 없이 옮겨 놓았다. 과학논술과 심층면접을 효과적으로 대비하기 kV漫?捉?직접 관련된 교양서적들은 필히 읽어두기를 바란다.

문제 1. 63빌딩 꼭대기에서 같은 크기의 구(球)모양의 납 1Kg과 솜털 1g을 동시에 초기속력 0으로 가만히 떨어뜨리면 납이 먼저 지면에 도달한다. 우리 주위가 공기가 없는 진공상태라면, 납과 솜털 중 어느 것이 먼저 지면에 도달하겠는가 (2004학년도 1학기 수시모집 숙명여대 자연계열 국문면접 물리 선택문항 등)?

### ▶ 관련된 책 : 아인슈타인도 몰랐던 과학 이야기

지은이 : 로버트 L. 윌크

출판사 : 해냄

본문 내용 : p294-296

### ▶ 저자 소개

1928년 미국 브루클린 출생. 미 피츠버그대 화학과 명예교수로 과학의 대중화에 많은 공헌을 했다. 코넬대에서 박사학위를 취득했고, 플로리다대 등에서 강의를 했으며, 오크리지국립연구소와 시카고대 엔리코페르미연구소에서 핵화학을 연구하기도 했다. ‘사회에 대한 과학의 충격’(Impact : Science on Society) ‘화학의 이해’(Chemistry Explained) 등의 저서가 있고, 많은 신문과 잡지에 과학기사를 기고하고 있다.

### ▶ 책 소개

책 목차에 나와 있듯이 일상생활에서 경험할 수 있는 현상들에 대해 수식을 전혀 쓰지 않고도 편안하게 이해할 수 있도록 쓴 책이다. 실제 상황을 집 주변, 부엌, 차고, 시장, 시원한 야외 등으로 구분해 과학이야기를 하고 있고 있으며, 고등학생 정도면 읽는데 어려움이 없으리라 생각된다. 저자가 원래 화학과 출신이라 화학적 현상에 대한 분석이 많은데, 물리적 현상의 경우 오히려 화학자 입장에서 설명하기 때문에 더 정확하고 쉽게 이해될 수 있으리라 판단된다.

### ▶ 본문 내용

| 낙하하는 BB건의 총알 |

세계에서 가장 높은 건물 꼭대기에서 BB건의 총알(지름 5-6mm의 플라스틱 구슬)을 떨어뜨려서 사람 머리를 맞으면 그 사람은 죽을까요?

아닙니다. 세계에서 가장 높은 시카고의 시어즈타워(443m-책이 발간되던 1998년 당시) 밑을 지나가는 사람들은 걱정할 필요가 없습니다. 안전모를 썼든 안 썼든 플라스틱 구슬을 떨어뜨려보는 순수한 과학실험으로 인해 위험에 빠질 염려는 거의 없으니까요. 물풍선이라면 얘기가 좀 다르겠죠.

질문하신 분은 분명히 ‘중력가속도’를 생각하고 계시군요. 중력가속도 때문에 떨어지는 물체는 시간이 지남에 따라 속도가 더욱 빨라지죠. 물체는 떨어지는 동안 한순간도 쉬지 않고 중력에 끌리기 때문에 속도가 더 붙어서 계속 빨라지는 것입니다. 이것은 손수레를 미는 것과도 같습니다. 계속 밀어 쫓히면 손수레는 더욱 빨리 가겠죠. 자동차에서도 엔진이 계속 힘을 가하면 가속이 됩니다.

그렇다면 떨어지는 시간만 충분하다면 플라스틱 구슬도 총알과 같은 속도에 도달하지 않을까요? 빛의 속도는 어떨까요? 실제로 중력가속도 방정식에 맞추어 계산해보면 어떤 물체든 떨어지기 시작해서 443m에 이르면 속도가 시속 334Km에 달합니다. 밑에 있는 사람은 정말 조심해야겠죠.

그런데 한 가지 주의할 것이 있습니다. 위의 계산은 꼭대기와 바닥 사이에 아무것도 없다는 것을 전제로 한 것입니다. 그러나 뭔가가 있습니다. 공기입니다. 그리고 공기를 헤치고 나아가야 하기 때문에 떨어지는 물체는 항상 이론상의 값보다 속도가 줄어듭니다. 이제 서로 반대되는 두개의 힘이 있다는 것을 알 수 있습니다. 물체의 속도를 늘리려는 중력과 그것을 방해하는 공기의 힘입니다. 서로 상반되는 힘이 모두 그렇듯이 이 두 힘도 일종의 수학적 타협안을 내놓습니다. 공기는 중력의 힘을 같은 비율로 잡아먹어서 떨어지는 시간이 얼마나 길든 결국 궁극적인 속도의 한계를 정합니다. 그러니까 어느 지점까지는 계속 빨라지다가 거기서부터는 일정한 속도로 떨어진다는 것이죠.(중략)

물론 떨어지는 물체의 파괴력을 결정하는 것은 속도만이 아닙니다. 그것은 운동량입니다. 운동량은 속도에 질량을 곱한 것입니다. 볼링공의 경우 지면에 도달하는 순간의 속도가 총알처럼 빠르지는 않지만 무게가 워낙 무겁기 때문에 엄청난 피해를 입힐 수 있습니다. 이 정도는 이미 알고 계시겠죠.

문제 2. 고압의 전류가 흐르는 도선이 있다. 도선 한개를 양손으로 잡을 경우와 도선 두개를 양손으로 하나씩 잡을 경우 중 어느 것이 감전되는가, 그 이유를 설명하라. 또 평행한 두 도선에 서로 같은 방향의 전류가 흐를 때와 서로 다른 방향의 전류가 흐를 때 어떤 현상이 나타나는가 (2002학년도 부산대 의예과 심층면접 물리 선택문항 등)?

▶ 관련된 책 : 재미있는 물리여행 2편(빛-전기와 자기-상대성 이론-양자)

지은이 : 루이스 엡스타인, 폴 휴이트 공저

출판사 : 김영사      본문 내용 : p378-379, p449-450

#### ▶ 책 소개

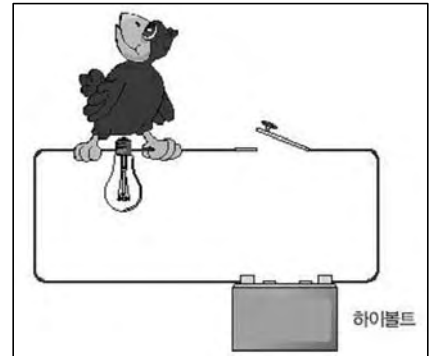
별도로 소개하기가 무안할 정도의 책이다. 1988년 처음 출간된 이후 무수히 많은 예비과학자들의 필독서였다고 해도 과언이 아닐 것이다. 서울대 소광섭 교수의 ‘추천의 글’에 언급돼 있듯이 원제목이 ‘Thinking Physics’인 이 책은 물리의 핵심이 되는 ‘생각들’을 문제 형식을 빌어서 독자들에게 ‘물리를 생각하도록’ 유도해주고 있다. 여러 물리 이론들에 대한 호기심은 있으나 수학이 부족해 좀더 깊게 공부할 수 없는 고교생이나, 일반 교양인뿐만 아니라 물리학도들에게도 신선한 충격을 주는 책이다.

#### ▶ 본문 내용

### | 고압선 위의 참새 |

참새가 그림과 같이 전구를 다리 사이에 두고 앉아 있다면 이런 경우에 참새는

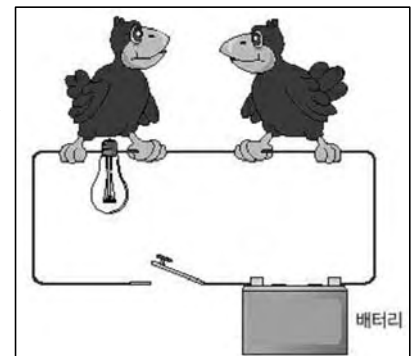
- a) 스위치를 끄면 충격을 입을 것이다.
- b) 스위치를 켜면 충격을 입을 것이다.
- c) 스위치의 개폐에 관계없이 충격을 입을 것이다.
- d) 세 경우 모두 충격을 입지 않을 것이다.



해답 : 정답은 b)다.

스위치를 열면 스위치의 한쪽 전선은 예컨대 12 V가 되고 반대쪽의 전선은 전부 0V가 된다. 참새는 한쪽 전선 위에 있으므로 새에게는 전압차가 없다. 이제 스위치를 닫는다. 그러면 전류가 흐르게 되고 전구의 저항을 통해서도 흐른다. 전류의 일부는 우회해 새를 통해 흐르고 참새는 전기 충격을 받는다.

회로에서 전압차는 항상 전류의 막다른 골목 부분에 존재한다. 스위치가 열렸을 때 막다른 골목은 스위치다. 스위치가 닫힌 막다른 골목은 저항만 남게 된다. 전압차는 저항의 양 끝에 나타난다. 이 불쌍한 참새는 하필이면 다리를 그 전압차에 걸쳐 두고 있다.



이제 그림에서 스위치가 닫혔을 때 전구를 다리 사이에 끼고 있는 참새만이 전기 충격을 받게 된다는 것을 이해할 수 있으신지?

### | 자기 원인 |

한 쌍의 전선에 전류가 흐를 때 전선의 전류가 같은 방향이면 자기적인 인력이 나타나고, 반대 방향이면 척력이 나타난다. 이 자기력은

- a) 균형이 깨진 정전기력의 상대론적 결과이다.
- b) 질량-에너지 등가의 결과이다.
- c) 자연의 근원적인 힘이다.
- d) 이 세 가지가 다 해당된다.
- e) 이 중 어떤 것도 아니다.



해답 : 정답은 a)다.

자기력은 상대론적 길이 수축에 의한 정전기적 전하 밀도의 상대적 증가에 의해 나타난다. 길이 1m의 전선은 그 안에 있는 전자의 수만큼 양성자를 가지고 있어 순 전하는 0이 된다. 이것은 전류가 흘러도 마찬가지다. 왜냐하면 전선의 한쪽 끝을 통해 나가는 전자의 수만큼, 다른 한쪽 끝을 통해 전자가 들어오기 때문이다.

그러나 이 전선은 평행하게 인접한 전선 속을 움직이는 전자에게 어떻게 보일까? 각 전선 속의 전자에게 다른 전선 속의 전자는 상대적으로 정지한 것으로 보인다. 전자들은 같은 방향으로 같은 평균 속도로 움직이기 때문이다. 그러나 전자의 흐름에 반대 방향으로 움직이는 것으로 보이는 양성자의 경우는 그렇지 않다.(전자에게) 지각된 전선의 상대론적 거리 수축으로 인

해, 인접한 양성자에 비해 큰 양성자 밀도를 보게 된다. 반대 부호의 전하는 정전기적 인력이 작용하므로 전선은 서로 끌어당기게 된다. 우리는 이것을 ‘자기 인력’이라 부른다. 그러나 흥미롭게도 이것은 간단한 정전기학에 기초를 두고 있다.

이제 전류가 반대로 흐를 때 전선 사이의 척력을 설명할 수 있으신지?

**정지한 전선**

전류가 있는 없는 전선 속의 전자는 이웃한 전선에서 같은 밀도의 양전하와 음전하를 본다. 전자는 순효과를 느끼지 못한다.

**움직이는 전선**

그러나 두 전선에 모두 전류가 흐르면 움직이는 전자는 다른 전선에서 순 양전하 밀도를 느끼게 된다. 전자는 인력을 느낀다.

**문제 3. 엘리베이터 내에서 체중의 변화를 엘리베이터의 운동에 따라 설명하라(2003학년도 동국대 자연계열 심층면접 공통문항 등).**

▶ 관련된 책 : 소매치기도 뉴턴은 안다

저자 : 최상일 출판사 : 도서출판 한승 본문 내용 : p109-122

▶ 저자 소개

포스텍 물리학과 교수. 경상북도 선산군 출생. 서울대 화학과를 나와 동대학원에서 이학석사학위를 받고, 1960년에 브라운대에서 화학전공으로 이학박사학위를 받았다. 그 후 그곳과 시카고대에서 박사후 연구원으로 근무했다. 이 기간 동안의 연구결과가 높이 평가받아 노스캐롤라이나대 물리학과 조교수로 부임해 1989년 포스텍에 부임할 때까지 30년 가까이 재직했다. 학자로서의 업적을 인정받아 미국 물리학회 펠로우로 선출되고 한국과학기술한림원 종신회원으로 활동하고 있다.

▶ 책 소개

이 책에 수록된 ‘이야기’들은 대부분 <포항공대신문>, <포스텍소식지> 등에 게재된 적이 있는 글들이다. 우리 주위에서 흔히 경험할 수 있는 현상을 통해 과학자에 요구되는 지적 능력의 개발에 도움이 되는데 주안점을 둔 책이다.

▶ 본문 내용

| 인력 엘리베이터 |

얼마 전에 텔레비전에서 방영되는 영화를 볼 기회가 있었다. 영화 제목이나 줄거리가 전혀 생각나지 않는 걸로 보아 그리 재미있는 것은 아니었나 보다. 그런데 꼭 한 장면의 기억이 생생하다. 인력 엘리베이터를 타고 올라가는 장면이다. 이것은 엘리베이터를 전기모터를 사용하여 끌어올리는 것이 아니고, 타고 있는 사람이 밧줄을 당겨서 끌어 올리는 장치이다. 나무로 만든 사람이 탈 수 있는 간단한 우리(상자)와 높은 곳에 설치된 도르래 그리고 이 도르래 위에 걸쳐있는 밧줄로 이루어진 엘리베이터이다.(중략)

이 문제의 답을 구하기 전에 좀더 간단한 문제를 생각하자. 높은 나뭇가지에 도르래를 달고 그 위로 밧줄을 걸쳐서 한쪽 끝은 한개의 무릎?짐짝에 매고, 다른 끝을 내가 당겨서 이 짐짝을 끌

어울리는 경우를 생각하자. 이 경우에 내가 당겨 올릴 수 있는 무게에는 한계가 있다. 내가 당겨 올릴 수 있는 가장 무거운 것은 얼마나 무거울까. 내 몸무게보다 무거운 것을 당겨 올릴 수 없으며, 내가 당겨 올릴 수 있는 가장 무거운 것은 내 몸무게와 같다. 도르래에 걸린 밧줄 양쪽에 걸린 무게가 같으면 움직이지 않고, 한쪽이 크면 큰 쪽으로 움직이기 때문에 짐이 내 몸보다 무거우면 내 몸이 공중에 떠버리기 때문이다.

이번에는 짐 위에 올라타고 위와 같은 밧줄을 당기는 경우를 생각하자. 이 경우가 바로 인력 엘리베이터와 같은 것이다. 엘리베이터가 짐짝에 해당하는 것이다. 이 때에도 엘리베이터가 나보다 더 무거우면 내 몸이 공중에 뜬다. 그러나 엘리베이터가 내 몸보다 가벼우면 끌어올릴 수 있다. 짐을 실었을 때 엘리베이터가 내 몸보다 가벼우면 끌어올릴 수 있다. 짐을 실었을 때 엘리베이터와 짐의 무게의 합이 내 몸무게보다 작으면 끌어올릴 수 있다. 그러므로 엘리베이터를 가볍게 할수록 더 무거운 것을 실어나를 수 있다.

| 왜 체중을 쟀 때 가만히 있어야 할까 |

체중을 재려고 저울위에 올라서서 움직이면 표시판에 나타나는 숫자가 바뀐다. 무엇 때문일까 하는 질문이 나온다. 물체의 움직임과 힘의 문제이므로 뉴턴의 3개 법칙을 적용하여 이 질문에 답을 할 수 있다.

뉴턴의 제1법칙에 의하면 ‘관성계에서는 물체에 힘이 작용하지 않으면 물체는 정지해 있거나 일정한 속도로 움직인다’. 제2법칙에 의하면 ‘관성계에서 물체에 힘이 작용하면 가속하며, 가속하면 힘이 작용하고 있다’. 제3법칙에 의하면 ‘물체 A가 다른 물체 B에 힘을 작용하면, B가 A에 크기가 같고 반대방향인 힘을 작용한다’.

사람이 저울에 올라서면 저울이 사람을 미는 힘의 크기가 표시판의 숫자로 나타난다. 제3법칙에 의하면 이 힘의 크기는 사람이 저울에 작용하는 힘과 같다.

사람이 정지해 있으면 사람의 중심에 작용하는 힘의 총합은 0이라야 한다. 사람에게 지구의 중력은 아래로 작용하고 저울이 미는 힘은 위로 작용하지만, 이 두 힘은 크기가 같기 때문에 서로 상쇄하여 사람 중심에 작용하는 힘의 총합은 0이다.(하략)

#### 문제 4. 전력에 대해 아는대로 설명하라(2003학년도 포스텍 심층면접 물리 선택문항 등).

▶ 관련된 책 : 전자기-맥스웰의 스파크(선생님도 놀란 과학뒤집기 17)

저자 : 백종민

출판사 : 도서출판 성우

본문 내용 : p66-82

▶ 책 소개

이 책은 전기와 자기의 성질을 고교 과정 수준에서도 이해할 수 있도록 알기 쉽게 풀어쓴 책이다. 전기와 자기가 인체에 미치는 영향, 전기와 자기를 이용한 무선통신, 정보저장, 미래의 교통수단 등 일상 생활에서 자주 접하게 되는 문제를 다루고 있다. 특히 인간, 자연, 기술, 역사, 생활 분야로 나눈 각 단원의 마지막에서 소개하는 전기와 자기를 이용한 실험들은 그 자체로 좋은 구술 문제가 될 수 있으니 하나도 놓치지 말자.

▶ 본문 내용

| 송전 : 고압으로 보내는 까닭 |

예전에 강원도에서 30대 남자의 사망사고가 있었다. 사인은 감전. 그는 저수지에서 낚싯대를 들고 자리를 옮기다가 고압전선에 감전됐던 것이다. 이 사고로 한전은 감전사고를 유발했다는 의심을 받았다. 6만6천V나 되는 고압전선을 불과 8m 높이에 설치했을 뿐 아니라 낚시꾼들의 왕래가 잦은 저수지 근처였음에도 불구하고 감전위험 표지판도 세우지 않았기 때문이다. 이런 사고를 접할 때마다 왜 위험하게 높은 전압을 사용해서 송전을 할까 하는 의문이 생긴다. 그냥 가정에서 쓰는 전압으로 송전하면 안 되는 이유라도 있는 것일까.(중략)

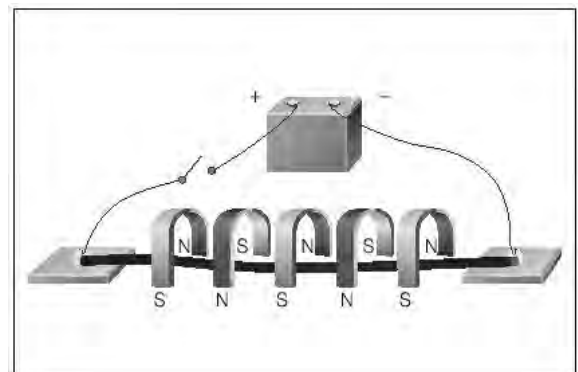
송전사업을 처음 시작한 사람은 에디슨으로 그는 직류를 사용했다. 그러나 전력손실이 커서 기껏해야 발전소 주위 3-4Km까지 밖에 송전할 수 없었다. 이에 반해 웨스팅하우스는 교류를 이용해 장거리 송전에 성공했다. 교류의 특징은 변압기를 사용해 전압을 자유자재로 바꿀 수 있다는 점이다. 또한 교류는 고전압으로 송전한 뒤 가정에 배급하기 전에 다시 전압을 내리면 전력 손실을 줄일 수 있는 장점도 지니고 있다. 전류를 송신하는 입장에서 가장 중요한 점은 가능한 한 손실을 없애는 것이다. 전류를 파이프 안에 흐르는 물이라고 생각하자. 물이 많이 흐를수록 그 흐름을 막는 저항이 강해져 물의 흐름은 더뎈다. 하지만 물의 양을 줄이고 압력을 높인다면 물은 더욱 효율적으로 흐를 수 있다. 마찬가지로 원리가 전류에도 그대로 적용된다.(하략)

### | 파도타는 호일 |

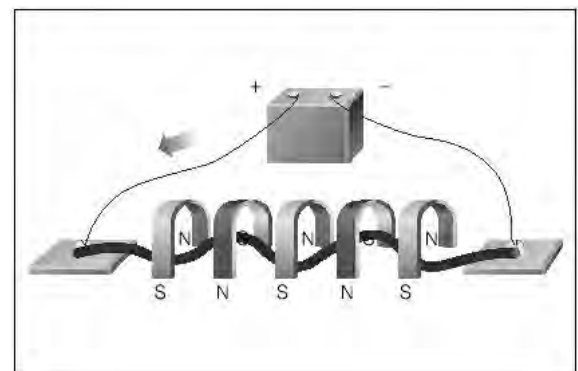
우측 그림과 같이 가늘고 긴 알루미늄 호일의 양쪽 끝을 받침대에 고정시킨 뒤, 말굽자석의 방향을 번갈아가며 호일 위에 얹어놓는다. 호일의 양쪽 끝에 전기를 흘려주었을 때 호일의 모양은 어떻게 변하겠는가?

자석의 힘이 미치는 영역을 자기장이라고 하며, 자기장의 방향은 N극에서 S극으로 향한다. 자기장안에 전류가 흐르는 도선을 놓으면 도선은 힘을 받아 자기장의 세기 그리고 자기장의 방향에 따라 달라진다. 전류의 방향과 자기장의 방향이 직각일 경우 힘이 가장 크고, 평행일 경우는 힘을 받지 못한다.

이 힘의 방향은 ‘플레밍의 왼손 법칙’으로 알아낼 수 있다. 왼손의 세 손가락을 서로 직각이 되도록 펼쳤을 때, 둘째 손가락이 자기장의 방향, 셋째 손가락이 전류의 방향을 가리키도록 하면 엄지손가락이 힘의 방향이 된다.



움직이는데, 그 힘의 크기는 전류의 세기,





## 2004년 01월호-물리 면접구술고사 완벽가이드

이번 호에서는 7차 교육과정 물리 교과서의 전체 영역에서 작년까지 자주 출제된 원리에 기반한 문제들을 다뤘습니다. 전반적으로 이해하기 힘든 난해한 개념이나 원리, 그리고 현상들이 물리학에는 즐비하지만, 현상과 원리를 연결시키는 연습을 제대로 해둔다면 어떤 종류의 평가를 치르더라도 문제를 편안하게 풀 수 있을 것입니다.

### 1. 분수를 알자-에너지 이론

서울 한강에 있는 월드컵 분수대는 63빌딩 높이(2백47m)와 거의 맞먹는 2백m의 물줄기를 뿜어 올릴 수 있는 초대형 분수대로, 야간조명 장치도 갖춰 관광객들 사이에서 명물로 꼽히고 있다.

- 1) 분수대에서 물줄기가 뿜어져 올라갈 수 있는 최대 높이를 결정하는 요소들에 대해 설명해보라.
- 2) 가격이 동일한 전기 물펌프가 있는데, 하나는 정격소비전력이 5KW이고 다른 하나는 20KW다. 어떤 것을 선택해야 할까?
- 3) 승우가 월드컵 분수대를 찾아가서 2백m 물줄기를 뿜어 올리는 분수기의 전동기를 보니 정격 소비전력이 2만KW이고, 전기에너지를 역학적에너지로 전환시키는 비율인 에너지효율이 50%라고 적혀 있었다. 과연 뿜어져 나오는 물의 양은 매초 얼마이며 속도는 몇 m/s이겠는가 (단 분수기 내의 마찰력이나 공기의 저항은 무시하며, 중력가속도  $g=10\text{m/s}^2$ 으로 한다)?

### ▶ 전문가 클리닉

생활주변에서 관찰되는 거의 모든 현상들이 과학논술이나 구술면접의 문항소재가 될 수 있습니다. 사실 낭만적인 분수대까지 딱딱하게 물리적으로 분석할 필요가 있을까 싶죠? 하지만 일반적 사람들이 그냥 보고 넘기기 쉬운 현상에도 과학자들이 문제인식을 하고 탐구함으로써 문명이 발달해온 역사를 생각할 때 이런 부분에까지 신경을 써서 분석해둔다면 수능이나 면접 준비에 도움이 되리라 봅니다.

### ▶ 예시답안

- 1) 물줄기 높이에 비례하는 에너지(위치에너지= $mgh$ )가 필요합니다. 따라서 필요한 요소들로 첫째는 단위시간(s) 동안 뿜어져 나오는 물의 질량이고, 둘째는 물이 상승하면서 손실되는 에너지의 양을 좌우하는 공기 저항력의 크기이며, 셋째는 물이 관(노즐)을 지나면서 손실되는 열에너지의 양에 영향을 미치는 마찰력의 크기이고, 넷째는 전기에너지를 역학적에너지로 전환시켜주는 물펌프의 소비전력과 에너지효율입니다.
- 2) 상황에 따라 선택이 달라질 수 있습니다. 전력은 단위시간(s) 동안 소비하는 전기에너지의 양(J)이므로 전력이 큰 펌프일수록 일의 능률이 크다는 장점이 있으나 그만큼 비용이 많이 듭니다. 또한 소비전력에 대한 역학적에너지 전환 비율인 에너지효율까지 고려해야 필요에 맞는 선택이 가능하리라 봅니다.
- 3) 전력 $\times 50(\%)$ =최고점에서 물줄기의 위치에너지=분출 지점에서 물이 가진 운동에너지입니다. 따라서 다음의 식이 성립합니다.

$$20000 \times 1000 (\text{J/s}) \times 0.5 = m (\text{Kg}) \times 10 (\text{m/s}^2) \times 200 (\text{m}) = 1/2 \times m \times v^2$$

결국 물의 질량은 5,000(Kg)이고, 물의 속도는  $20\sqrt{10}$  (m/s)입니다.

## 2. 사유(思惟)의 힘-단위(unit)의 이해

지난해 말 법원에서는 이색적인 현장검증을 실시했다. 여러개의 사과상자에 넣은 현금 40억원을 대형차인 다이너스티 승용차에 다 실을 수 있는지, 그리고 다 실을 수 있다면 차가 제대로 달릴 수 있는지를 확인하기 위해서였다. 이런 실험을 요청한 변호인 측은 그 많은 돈을 승용차 한대에 다 싣기도 힘들고, 또한 싣더라도 제대로 달리지 못할 것으로 확신하고 있었다고 한다.

1) 만원권 지폐 한장의 질량은 대략 얼마인가?

2) 만원권 지폐 40만장(40억원)의 질량은 대략 얼마인가? 그리고 이들을 승용차에 다 싣고 달릴 수 있겠는가?

3) 40억원이 차지하는 부피는 대략 얼마일까? 그리고 40억원을 나누어 담은 사과상자를 차에 다 실을 수 있는지를 다음의 차 제원을 참고해 답하시오(단 만원권 지폐의 밀도는  $0.5\text{g/cm}^3$ 다).

구분	길이(mm)	구분	길이(mm)
전장	4,990	실내장	1,950
전폭	1,810	실내폭	1,490
전고	1,445	실내고	1,160
윤거전	1,545	최저지상고	160
윤거후	1,550	공차중량(kg)	1,651

## ▶ 전문가 클리닉

과학에서는 단위만 제대로 알고 있어도 그 단위와 관련된 개념이나 원리를 마스터했다고 합니다. 예를 들어 가속도의 단위인  $\text{m/s}^2$ 을  $(\text{m/s})/\text{s}$ 로 이해하고 있는 학생은  $\text{m}$ 와  $\text{s}^2$ 을 단절적으로 보는 것이 아니라 단위시간(s) 동안의 속도변화량( $\text{m/s}$ )으로 인식합니다.

초중등교육과정에서는 단위들을 순차적으로 익혀나가기 때문에 과학교과서에 단위를 다루고 있는 별도의 단원이 없습니다. 하지만 고등교육과정인 대학에서는 교재에 단위의 의미와 중요성, 그리고 종류들을 설명하는 단원이 별도로 있을 만큼 중요시 합니다. 지난해 동국대 자연계열 과학논술 문항으로 단위의 필요성과 용도에 대해 물었던 것도 같은 맥락이라고 할 수 있습니다.

위 문제의 경우 기지(既知)의 객관적 사실만 가지고서도 현장검증을 하기 전에 결과를 미리 알 수 있다는 점에서 과학적 사고의 실용성을 다시 한번 느낄 수 있게 합니다.

1)번 문제에서 만원권 지폐 한장의 질량을 바로 맞히는 사람은 무게에 대한 감각이 탁월한(즉 역치가 아주 작은) 사람이거나 화폐제조를 직업으로 하는 사람뿐일 겁니다. 한장의 질량이 너무 작아 알아내기 힘들다면 1백장 한다발의 질량을 먼저 생각해 보면 안될까요?

## ▶ 예시답안

1) 만원 한장의 질량은 너무 작아 어렵짐작도 힘들므로 1백장 한다발의 질량을 먼저 생각해 보겠습니다. 1백장의 질량은 2백mL 우유(약 2백g)보다는 훨씬 가볍고 50g인 과자 한봉지보다는 무거우므로 대략 1백g 정도라고 판단할 수 있습니다. 그러므로 만원권 지폐 한장의 질량은 대략 1g입니다.

2) 먼저 40억원의 총 질량은  $1\text{g} \times 40\text{만} = 40\text{만g} = 4\text{백Kg}$ 입니다. 이 질량은 건장한 성인 남자 5명 정도의 값이므로 대형 승용차가 주행하는데 전혀 어려움이 없으리라 생각됩니다.

3) 종이의 밀도가  $0.5\text{g/cm}^3$ 이므로 4백Kg인 돈의 부피는  $400 \times 1000(\text{g}) \div 0.5\text{g/cm}^3 = 800,000\text{cm}^3 = 0.8\text{m}^3$ 입니다. 다음으로 사과상자를 실을 수 있는 자동차 실내와 트렁크의 부피를 구하면 다음과 같습니다. 먼저 실내 부피는 대략 실내장×실내폭×실내고이므로  $1.95(\text{m}) \times 1.49(\text{m}) \times 1.16(\text{m}) \approx 3.37(\text{m}^3)$ 이며, 트렁크의 부피는 대략(차 전체의 길이-실내의 길이)÷3×실내폭×(실내고÷2)이므로 약  $0.9(\text{m}^3)$ 입니다. 둘의 부피를 합하면 대략  $4.27(\text{m}^3)$ 이며 이 중 최소한 절반 이상은 사과상자를 실을 수 있는 공간이므로  $2.135\text{m}^3$ 가 적재 가능 공간의 최소한의 부피입니다. 결국 부피 면에서도 돈을 차에 싣는데는 문제가 없습니다.

### 3. 전기에너지의 보관소 축전기-전기와 자기

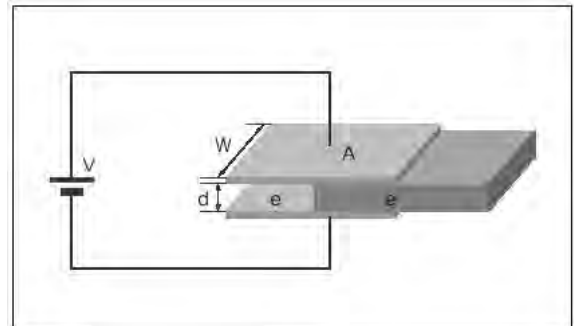
두개의 금속판을 마주보게 해 축전기 실험을 하던 경미는 축전기에 전압이 걸려있을 때 우연히 두 금속판 사이에 유전율이 다른 기름종이를 조금 끼워 넣으려고 하니 기름종이가 어떤 힘을 받고 있음을 느꼈다. 이 현상을 설명하기 위해 다음 물음에 답하시오(단 기름종이와 금속판간의 마찰력은 무시한다).

1) 면적이 A인 두 금속판이 d 만큼 떨어져서 축전기를 이루고 있다. 두 금속판 사이는 진공상태일 때 축전기의 전기용량을 식으로 표현해보라. 단 진공에서 유전율은 e이다.

2) 축전기에 전압 V를 가했을 때 축전기에 대전되는 전하량의 크기와 축전기에 저장되는 전기에너지의 크기를 구하라.

3) 전압이 가해진 상태에서 이 축전기에 유전율이  $e'(e' > e)$ 이고 두께가 d인 기름종이를 절반 끼워 넣으면 전하량의 크기와 전기에너지의 양은 어떻게 되겠는가?

4) 3)번과 같은 상황에서 기름종이는 힘을 받을 것인가? 힘을 받는다면 어느 방향으로 힘을 받을 것인지, 그리고 그 이유는 무엇인지 설명해보라.



### ▶ 전문가 클리닉

축전기의 작용에 관한 질문은 수도 없이 접해보았을 것입니다. 아울러 축전기와 관련된 법칙이나 공식도 귀가 닳도록 듣고 외우고 했을 것입니다. 그러므로 1)번과 2)번 문항은 쉽게 답변할 수 있겠죠.

하지만 3)번 문항부터는 상당히 생소하게 느껴질 것입니다. 하지만 이것도 알고보면 축전기에서 가장 많이 다뤄지는 축전기의 연결에 대한 문제와 다르지 않다는 것을 알 수 있습니다. 조금만 회로의 모양을 바꿔놓아도 상당히 다른 형태의 문제가 됩니다. 이러한 문제를 쉽게 풀기 위해서는 공식에 치중하는 암기식 학습에 그치지 말고 본질적 개념과 원리 이해를 위해 깊이 있게 학습해야 합니다.

4)번 문항에서 많은 학생들이 혼돈을 겪게 됩니다. 전기회로 문제에 ‘운동’이 첨가된 형태의 문제를 접해보지 못했기 때문입니다. 그러나 물체의 운동은 결국 물체가 가진 역학적에너지의 변화와 관련된 것이라면 이를 더욱 확장시킨 전기에너지와 관련한 물체의 운동도 가능할 것입니다. 이러한 형태의 문제가 구술시험에 자주 등장하는 문제입니다. 수험생이라면 이러한 문제를 접하더라도 당황하지 않고 자연의 본질을 생각하며 문제에 접근하는 능력을 길러야 합니다.

## ▶ 예시답안

1) 축전기에 있어 전기용량이란 두 금속판에 얼마나 많은 전하가 모일 수 있는냐는 것을 의미합니다. 즉 같은 전압을 걸었을 때 대전되는 전하의 양은 금속판의 면적에 비례하고, 금속판의 간격에 반비례 할 것입니다. 금속판의 간격은 금속판 사이의 전기장 세기에 반비례하므로 전기용량에 반비례하는 것입니다. 이때 비례상수를  $\epsilon$ 라고 두면  $\epsilon$ 는 금속판 사이 물질의 고유한 양으로 유전율이라 부릅니다. 전기용량을  $C$ 라고 두면,  $C=\epsilon A/d$ 가 됩니다.

2) 축전기에 전압  $V$ 를 가하면 일정한 시간 후에 축전기 양단에는  $Q$ 만큼의 전하량이 모이게 됩니다. 전기용량이란 단위전압에 대해 대전되는 전하량을 의미하므로 즉  $C=Q/V$ 입니다. 따라서 이 문제에서 축전기에 대전되는 전하량  $Q$ 는,

$$Q=CV=\epsilon AV/d \text{가 됩니다.}$$

축전기에 저장되는 전기에너지의 양은  $QV/2$ 입니다. 이는  $CV^2/2$ 로 표현해도 같습니다. 따라서 이 문제의 정답은  $\epsilon AV^2/2d$ 입니다.

3) 금속판 사이에 절반이 유전율  $\epsilon'$ 인 물질로 채워졌을 때 전체 전기용량을 구하기 위해서는 축전기가 병렬로 연결된 회로의 전체 전기용량을 구하는 방법을 이용하면 됩니다. 축전기가 병렬로 연결되어 있을 때 전체 전기용량은 각 축전기들의 전기용량의 합이 됩니다. 이 문제에선 면적이  $A/2$ 이고 유전율이 각각  $\epsilon$ ,  $\epsilon'$ 인 두 축전기가 병렬로 연결된 것으로 생각할 수 있으므로, 전체 전기용량  $C_t$ 는,

$$\begin{aligned} C_t &= C/2 + C'/2 \\ &= \epsilon A/2d + \epsilon' A/2d \\ &= (\epsilon + \epsilon') A/2d \text{가 됩니다.} \end{aligned}$$

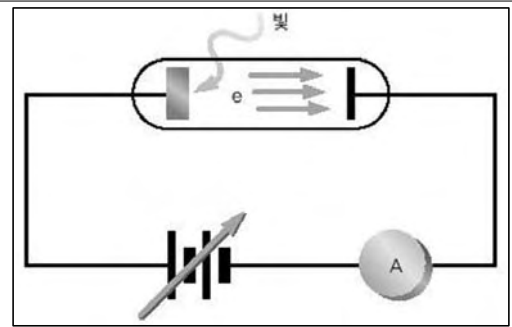
4) 유전율이  $\epsilon'$ 인 물질이 금속판 안으로  $\delta x$ 만큼 더 들어갔을 때 전기에너지가 얼마나 변하는지 생각해봅시다. 금속판의 폭을  $w$ 라고 하면 유전율  $\epsilon'$ 인 물질이 차지하는 금속판의 면적은  $w\delta x$  더 늘어나게 되고 유전율  $\epsilon$ 인 물질이 차지하는 부분은  $w\delta x$  더 줄어들게 되므로, 전기에너지의 변화량  $\delta E$ 는,

$$\begin{aligned} \delta E &= \epsilon' w \delta / 2d - \epsilon w \delta / 2d \\ &= (\epsilon' - \epsilon) w \delta / 2d > 0 (\epsilon' > \epsilon \text{이므로}) \end{aligned}$$

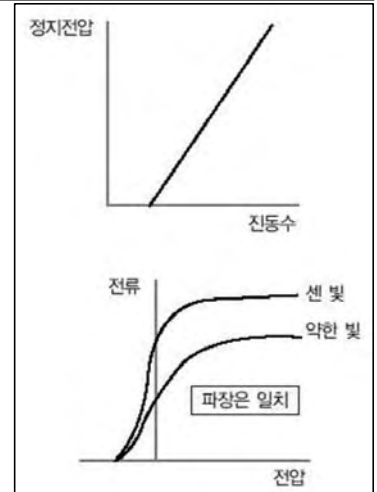
가 돼 전기에너지는 더 증가함을 알 수 있습니다. 전압이 일정하므로 축전기는 더욱 많은 에너지를 저장하기 위한 방향, 즉 유전율  $\epsilon'$ 인 물질을 축전기 내부로 끌어당기는 힘을 받게 됩니다. 그러므로 물질은 내부로 빨리 들어가는 힘을 받고 있음을 알 수 있습니다.

#### 4. 빛의 또다른 모습 광전 효과-현대물리

고등학교 1학년 회철이는 과학 역사에 관심이 많다. 그러던 중 상대성이론으로 유명한 아인슈타인이 정작 노벨상은 광전효과를 연구한 업적으로 받았고 상대성이론으로는 노벨상을 받지 못했다는 사실을 알게 됐다. 상대성이론보다 더 뛰어난 업적으로 인정받은 광전효과에 대해 알아보기 위해 물리II에 나오는 광전효과에 대해 공부해보기로 했다. 다음 물음에 답하시오.



- 1) 빛이 파동임을 증명하는 현상들을 두가지 들어보라.
- 2) 에너지는 파동의 진동수에 비례하고 진폭의 제곱에 비례한다. 이 사실로부터 빛의 에너지를 식으로 표현해보아라.
- 3) 그림은 광전효과 실험 장치이다. 빛을 받은 금속 표면에서 전자가 튀어나와 반대쪽 전극에 닿게 되면 전류계에는 전류가 측정될 것이다. 금속에서 튀어나온 여러 전자들 중 최대 속도를 가진 전자의 속도가  $v_{\max}$ 일 때, 전류가 전혀 흐르지 않도록 하기 위한 최소한의 역전압의 크기를 구하라. 이 역전압의 크기를 정지전압이라 한다.
- 4) 다음 두 그래프는 빛의 파장과 진폭에 따른 정지전압의 크기를 나타낸 그래프이다. 이 그래프로부터 빛의 에너지를 식으로 표현해보아라. 파동의 에너지와 어떻게 다른가, 그리고 그 이유는 무엇인지 설명해보아라.



#### ▶ 전문가 클리닉

현대물리학은 빛의 이중성이 발견되면서부터 도입됐다고 볼 수 있습니다. 즉 측정 기술의 발전과 전자기학의 여러 이론이 완성되면서 빛이 파동성뿐만 아니라 입자성도 띠고 있다는 사실이 발견되면서 학계에 큰 반향을 불러일으켰고, 미세한 세계를 표현하기 위한 이론의 도입이 필요해졌습니다. 물질의 이중성에 관한 문제는 대개 그러한 현상이 발견되기 시작할 당시의 여러 실험결과들을 논리적인 추론을 따라 재검증해보는 형태로 많이 출제돼 왔습니다. 따라서 수험생들도 물질의 이중성을 이미 알고 있다는 입장에서 문제에 접근할 것이 아니라 그 당시 물리학자들의 고민을 생각하면서 스스로 새로운 이론을 만들어 가듯이 문제를 풀어야 합니다. 즉 기존의 지식을 토대로 얼마나 논리적으로 이야기를 전개해 최종결론을 유도해내는가 하는 능력을 묻는 문제로 출제되고 있습니다. 실험을 이해하고 본인이 직접 분석하는 능력을 길러보시기 바랍니다.

#### ▶ 예시답안

- 1) 좁은 틈을 빠져나온 빛은 '회절'현상에 의해 틈의 크기보다 더 넓게 퍼져나갈 수 있습니다. 파장의 길이가 같고 임의의 위상을 가진 빛이 서로 만나면 '간섭'현상을 일으킵니다. 회절과 간섭은 모두 파동이 보이는 대표적인 성질입니다. 따라서 빛은 파동입니다.
- 2) 빛의 에너지를  $E_{\text{빛}}$ 이라고 한다면,

$$E_{\text{빛}} = kA^2 f \quad (k \text{는 비례상수, } A \text{는 진폭, } f \text{는 진동수}) \text{입니다.}$$

- 3) 전자의 질량을  $m_e$ 라고 두면, 전자의 최대 운동에너지는  $m_e v_{\max}^2 / 2$ 이고, 전압  $V$ 가 걸린 전기장을 지나가는 전자가 받는 에너지는  $eV$ 이므로,

$$m_e v_{\max}^2 / 2 = eV$$

따라서  $V = m_e v_{\max}^2 / 2e$ 가 정지전압의 크기입니다

## 2004년 02월호-물리 면접구술고사 완벽가이드

이번 호는 면접 및 구술고사에 가장 자주 출제되는 역학적 현상을 다뤘습니다.

### 1. 나는 새도 떨어뜨린다-운동의 기술

고려의 태조 왕건과 생사고락을 함께 하고 그를 위해 대신 죽은 신숭겸 장군은 3마리의 새를 활로 한꺼번에 맞춰서 떨어뜨렸다고 한다. 이 내용은 2002년 TV 드라마에서 방영된 적이 있다. 그렇다면 신 장군에 대해 수평방향으로 1백m 북쪽에서 고도를 일정하게 유지하며 정확히 동쪽으로 10m/s로 날고 있는 새가 있다고 하자. 그리고 신 장군이 지면에 대해 30°각도로 활을 쏘아 날아가는 새를 맞췄다. 다음 물음에 답하시오(단 신 장군은 40m/s의 속력으로 활을 날렸으며, 공기의 저항력과 전향력 등은 무시하고,  $g=10\text{m/s}^2$ 으로 한다).

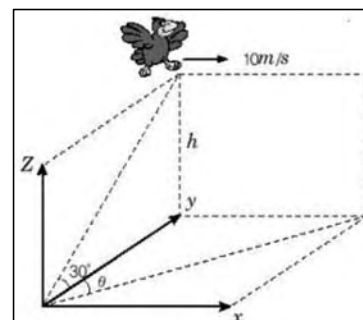
- 1) 화살은 북쪽 방향에 대해 몇도로 동쪽으로 날아갔을까?
- 2) 시위를 떠난 화살이 새를 맞히기까지 걸린 시간을 구하시오.
- 3) 지면에 대해 새가 얼마의 고도로 날고 있었을까?

### ▶ 전문가 클리닉

새를 떨어뜨린다니 안될 말이지만, 옛날 고려시대로 돌아가서 생각해본다면 그리 문제가 되지는 않겠죠? 공중에 고정된 물체라면 활을 어떻게 쏘지 정하는 것이 어렵지 않겠으나 날고 있는 새라서 고려할 점이 많을 것 같군요. 중력장 내 운동은 일상생활에서 경험할 수 있는 가장 흔한 물리적 현상입니다. 특히 지면에 비스듬히 던져 올린 물체의 운동은 이동거리와 변위, 속력과 속도, 가속도, 등속운동과 등가속도운동, 스칼라와 벡터 등 운동을 기술하는 대부분의 요소가 총망라돼 있습니다. 때문에 한두 문항으로 수험생을 평가하는 구술면접에 자주 출제됩니다. 위 문제는 활을 어느 방향으로 쏘아야 새를 맞힐 수 있는가를 묻는 문제이므로 활을 쏘 때 현재 새를 보고 있는 북쪽 방향에 대해 어느 각도( $\theta$ )로 동쪽으로 쏘지를 변수로 설정해야만 정답을 이끌어낼 수 있지 않을까요? 새가 고정돼 있다면 평면상의 운동의 기술로 풀이가 가능하지만 새가 날고 있는 상황이라 공간좌표를 활용한 입체적 접근이 필요합니다.

### ▶ 예시답안

다음 그림과 같이  $\theta(0<\theta<90^\circ)$ 와 새의 고도  $h$ 를 설정하고  $x$ (새가 향한 동쪽 방향),  $y$ (처음 새를 보는 북쪽 방향),  $z$ (연직 방향)에 대한 운동방정식을 세웁니다. 화살은  $x$ 와  $y$ 방향으로는 등속도 운동을 하고  $z$ 방향으로는 가속도가  $-g(=-9.8\text{m/s}^2)$ 인 등가속도 운동을 합니다.  $x$ 방향 속도성분은  $40\cdot\cos30\cdot\sin\theta$ 이고,  $y$ 방향 속도성분은  $40\cdot\cos30\cdot\cos\theta$ 이며,  $z$ 방향 속도성분은  $40\cdot\sin30-g\cdot t$ ( $t$ 는 경과시간)이므로 다음의 식이 성립합니다.



	화살의 시간( $t$ )에 따른 위치	새의 시간( $t$ )에 따른 위치
<b>x좌표</b>	$40 \cdot \cos 30 \cdot \sin \theta \cdot t$	$10 \cdot t$
<b>y좌표</b>	$40 \cdot \cos 30 \cdot \cos \theta \cdot t$	100
<b>z좌표</b>	$40 \cdot \sin 30 \cdot t - \frac{1}{2}gt^2$	$h$

각 좌표에 대한 연립방정식인

$$40 \cdot \cos 30 \cdot \sin \theta \cdot t = 10 \cdot t \dots\dots\dots ①$$

$$40 \cdot \cos 30 \cdot \cos \theta \cdot t = 100 \dots\dots\dots ②$$

$$40 \cdot \sin 30 \cdot t - \frac{1}{2}gt^2 = h \dots\dots\dots ③$$

①식에서  $\sin \theta = \frac{1}{2\sqrt{3}}$ 로 구해지므로  $0 < \theta < 90^\circ$ 의 조건에서  $\cos \theta = \frac{\sqrt{11}}{2\sqrt{3}}$ 입니다.

식②에  $\cos \theta = \frac{\sqrt{11}}{2\sqrt{3}}$ 을 대입하면  $t = \frac{10}{\sqrt{11}}$ 이 구해집니다.

마지막으로  $t = \frac{10}{\sqrt{11}}$ 을 ③식에 대입하면  $h = \frac{200}{\sqrt{11}} - \frac{500}{11}$ 입니다.

그러므로 정답은,

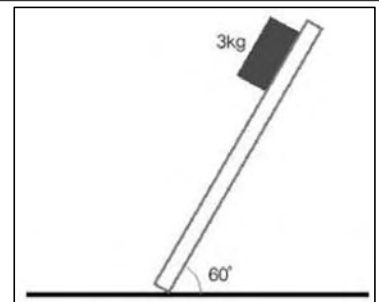
1)  $\theta$ 의 조건 :  $\sin \theta = \frac{1}{2\sqrt{3}}$  (단  $0 < \theta < 90^\circ$ )

2) 시간  $t = \frac{10}{\sqrt{11}}$  (초)

3) 새의 고도  $h = \frac{200}{\sqrt{11}} - \frac{500}{11}$  (m)입니다.

## 2. 시작은 항상 어렵다-정지 마찰력

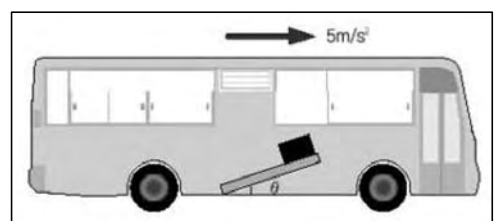
창수는 얼마전 뉴스에서 비탈에 세워 둔 트럭이 저절로 굴러 내려와서 사람을 다치게 했다는 사고를 들었다. 그때 창수는 ‘물리 시간에 배운 최대 정지 마찰력 공식을 이용하면 비탈의 기울기를 알 수 있겠구나’하는 생각을 했다. 다음 문제를 통해 최대 정지 마찰력을 구해보자(중력가속도는  $10\text{m/s}^2$ 으로 한다).



1) 3Kg의 물체가 나무판자 위에 놓여있다. 나무판자의 한쪽 끝을 서서히 들어올린다. 나무판자와 지면이 이루는 각도가  $60^\circ$ 가 되자 물체가 움직이기 시작했다. 물체와 나무판자 사이의 최대정지 마찰계수를 구하라.

2) 이번엔 똑같은 나무판자와 물체를 갖고 엘리베이터 안에서 같은 실험을 해보았다. 엘리베이터가 마침 위로  $2\text{m/s}^2$ 의 가속력으로 움직이고 있다면, 물체가 움직이기 시작할 때 나무판자와 엘리베이터의 바닥면이 이루는 각도는 어떻게 되겠는가? 1)의 결과와 비교해보아라.

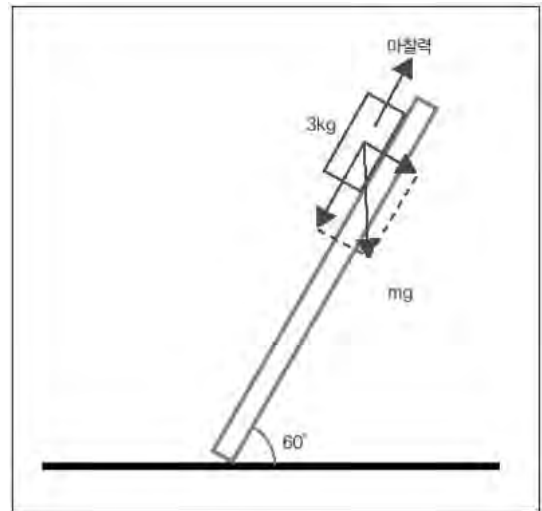
3) 버스를 타고 같은 실험을 한다고 가정해보자. 버스는  $5\text{m/s}^2$ 의 가속력으로 달리고 있고, 나무판자를 버스의 길이방향과 평행하게 둔 채 버스의 앞부분으로 향해있는 부분을 들어올린다. 그렇다면 나무판자와 버스 바닥면이 이루는 각도가 얼마일 때 물체가 움직이기 시작하겠는가? 1)의 결과와 비교해보아라.



## ▶ 전문가 클리닉

역학 문제를 풀다보면 마찰력을 무시하고 문제를 푸는 경우를 많이 접하게 됩니다. 그러나 일상생활에서 마찰력은 우리와 너무나 가까이 존재하고 불필요한 경우보다 반드시 필요한 경우가 많습니다. 사람이 지면을 걷거나 건물을 세우거나 옷을 만드는 등의 모든 행위가 마찰력을 적절히 이용함으로써 가능합니다. 앞서 뉴스에서도 마찰력이 조금만 더 있었다라면 트럭이 미

끄러지는 사고는 일어나지 않았겠죠. 최근 역학 문제를 간단히 하기 위해 무시해 왔던 마찰력이 문제로 많이 출제되고 있습니다. 특히 다양한 상황에서 물체의 마찰력이 어떤 작용을 하고 어떤 변화를 일으키는지와 관련한 문제가 출제 가능성이 높습니다. 이번에 채택한 예상 문제는 가속되는 공간에서 물체의 정지 마찰력이 어떻게 달라지는지를 통해 마찰력이 오로지 두 물체의 접촉면의 성격에 의해 결정되는 물체의 고유한 양이라는 단순 암기 문장을 한번 뒤집어보도록 하겠습니다. 이를 통해 개념을 제대로 이해하고 있는지를 확인해볼 수 있습니다. 문제를 푸는데만 급급해 하지 말고 그 결과가 무엇을 말하고 있는지를 고민해보는 것이 실전 구술시험에서 좋은 성적을 얻을 수 있는 밑거름이 될 것입니다.



### ▶ 예시답안

- 1) 최대정지 마찰력이란 물체가 움직이기 시작하는 순간에 물체에 작용하는 마찰력을 의미합니다. 이때 물체가 받는 알짜힘은 0이 된다는 사실로부터 최대정지 마찰력과 최대정지 마찰계수를 구할 수 있는데, 이 문제에서는 나무판자를 기울이면서 물체가 움직이기 시작하는 기울기로부터 최대정지 마찰계수를 구할 수 있습니다. 즉, 그림으로부터 빗면 방향으로 받는 힘=마찰력이므로

$$mg\sin 60^\circ = \mu_m mg\cos 60^\circ$$

따라서 최대정지 마찰계수는  $\mu_m = \tan 60^\circ = \sqrt{3}$  이다.

- 2) 위로 가속하는 엘리베이터를 타고 있는 물체는 아래로 같은 크기의 관성력을 받습니다. 그래서 엘리베이터 안에서 느끼는 중력은  $12m/s^2$ 이 됩니다. 1)에서 중력가속도의 크기는 최대정지 마찰력의 계산에 관여하지 않으므로 위로 가속하는 엘리베이터에서 같은 실험을 하면 결과도 같게 나옵니다. 즉 나무판자의 기울기가  $60^\circ$ 가 됐을 때 물체는 움직이기 시작합니다.

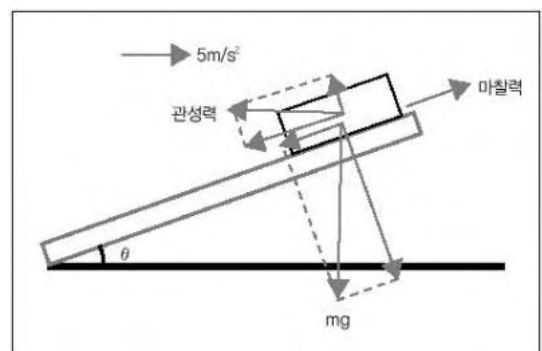
- 3) 가속하는 버스 안에서 물체와 나무판자는 가속도의 반대방향, 즉 버스 뒷방향으로  $5m/s^2$ 의 가속도를 받습니다. 따라서 물체가 받는 힘을 모두 구해보면, 그림과 같고, 물체가 빗면 방향으로 받는 힘과 마찰력이 같아질 때 물체는 움직이기 시작하므로,

$$mg\sin\theta + ma\cos\theta = \mu_m (mg\cos\theta - ma\sin\theta)$$

$$g\tan\theta + a = \mu_m (g - a\tan\theta)$$

$$\tan\theta = \frac{\mu_m g - a}{g + \mu_m a} = \frac{10\sqrt{3} - 5}{10 + 5\sqrt{3}}$$

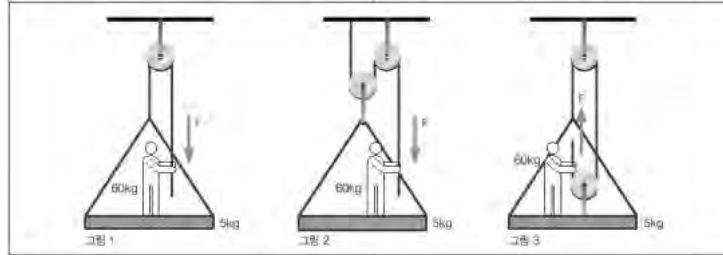
$\theta \approx 33.4^\circ$  입니다.





### 3. 무동력 엘리베이터-힘의 평형

지수는 등교하는 길에 빌딩 유리창을 닦는 사람들을 보았다. 그들은 빌딩 옥상에 설치된 도르래에 줄을 연결하고 그 줄에 매달린 나무판자에 앉아 직접 줄을 잡아 오르내리며 유리를 닦고 있었다. 지수는 저런 수동식 엘리베이터를 움직이려면 얼마의 힘이 필요할지, 도르래 여러개를 사용하면 힘을 줄일 수 있을지를 물리 시간에 배운 힘과 운동의 원리를 이용해서 풀어보고 싶었다. 다음 그림을 보고 문제를 풀어보자(중력가속도는  $10\text{m/s}^2$ 으로 한다).



- 1) <그림1>과 같은 무동력 엘리베이터를 생각하자. 엘리베이터가 공중에 정지해 있으려면 탑승자가 적어도 얼마의 힘으로 줄을 잡아당기고 있어야 할까? 단 줄의 무게는 무시한다.
- 2) 도르래 2개를 이용해 무동력 엘리베이터를 구동시키는 경우를 생각해보자. <그림2>와 같은 형태의 엘리베이터를 유지하기 위한 힘을 구하라(도르래의 무게는 무시한다).
- 3) 이번에는 도르래 2개를 <그림3>과 같이 연결한 경우를 생각해보자. 엘리베이터가 높이를 유지하려면 얼마의 힘으로 당겨야 할까? 그리고 왜 그런지 설명해보라.

#### ▶ 전문가 클리닉

힘의 평형을 구하는 문제는 모든 역학 문제의 기본이라고 볼 수 있습니다. 어떤 물체의 운동을 기술하기 위해서는 그 물체가 받는 알짜힘(합력)을 구해야 하고, 알짜힘이 0일 때 그 물체는 힘의 평형상태에 있다고 말하기 때문입니다. 그런데 이제껏 보아온 힘의 평형 문제들은 힘을 주는 대상과 힘을 받는 대상이 독립적인 경우가 대부분이었기 때문에 힘을 구하기가 쉬웠습니다. 하지만 두 대상이 서로 연결돼 있어 상호작용을 하고 있는 경우엔 문제가 좀더 어려워집니다. 문제에 등장하는 모든 대상이 받는 힘을 구하고, 그 힘이 미치는 범위를 주의깊게 찾아보지 않으면 엉뚱한 답이 나올 수 있습니다. 이런 경우에 속하는 무동력 엘리베이터 문제의 핵심은 줄을 잡아당기는 사람이 자신도 그 반대방향으로 잡아당겨지고 있다고 하는 작용반작용 법칙이 적용된다는 사실입니다. 즉 자신이 얼마의 무게로 엘리베이터와 자신을 잡아당긴다면 그 힘은 오히려 자신의 무게를 그만큼 줄여주는 역할을 하게 된다는 뜻입니다. 그래서 그만큼 힘의 소모를 줄일 수 있게 돼 엘리베이터의 구동이 가능해지는 것입니다. 예시답안을 보지 않고 문제를 풀 수 있다면 힘의 평형에 대해선 웬만큼 정리가 됐다고 봐도 되겠습니다.

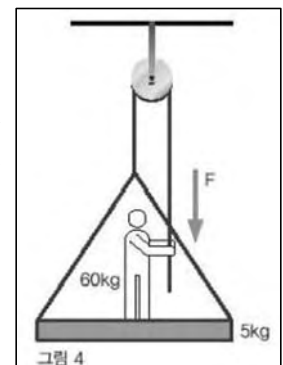
#### ▶ 예시답안

- 1) 다음의 <그림4>와 같이 힘을 표시하면 문제를 쉽게 풀 수 있습니다. F의 힘으로 줄을 잡아당기면 그 힘은 도르래를 통해 사람과 엘리베이터에 작용합니다. 그와 동시에 F라는 힘을 줄에 가한 반작용으로 줄은 사람을 F라는 힘으로 위로 잡아당기므로 사람의 무게는 F만큼 줄어들게 됩니다. 따라서 힘이 평형을 이루기 위해서는,

$$2F = (m + M)g$$

$$F = \frac{(m + M)g}{2} = 325\text{N이 됩니다.}$$

(단, 사람의 무게는 Mg, 나무판자의 무게는 mg입니다.)



2) 다음 <그림5>를 보면,

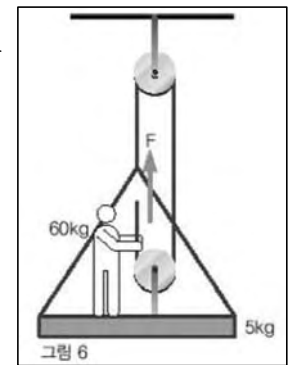
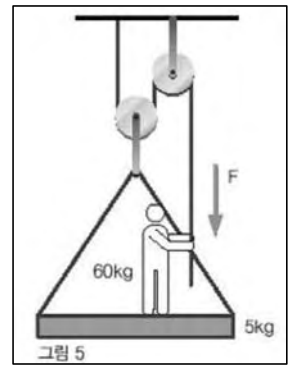
$$3F = (m+M)g$$

$$F = \frac{(m+M)g}{3} \doteq 216.7\text{N}$$

3) 아래 <그림6>과 같이 힘을 그려봅시다. 단 유의할 점은 줄을 잡아당기는 힘의 방향이 바뀐 만큼 줄이 사람에게 가하는 힘의 방향 또한 사람의 무게를 덜어주는 방향이 아니라 무게를 더 증가시키는 힘으로 작용한다는 점입니다. 그에 유의하여 문제를 풀어보면,

$$3F = F + (m+M)g$$

$$F = \frac{(m+M)g}{2} = 325\text{N}$$



## 2004년 03월호-물리 면접구술고사 완벽가이드

이번 3월호에서는 과학논술의 단골손님인 역학적 현상의 일례로 수레역학을 분석했고, 심층면접 최고의 난이도로 꼽히는 서울대와 포스텍의 역학 관련 기출문제를 풀이했습니다. 특히 올해 입시를 치르는 학생이라면, 세 문항 모두 실전문항인 만큼 예시답안을 미리 보지 않더라도 깔끔하게 풀고 조리있게 발표할 수 있는지를 이번 호를 통해 최종 점검해보는 기회를 가졌으면 합니다.

### 1. 말 ‘괄량’이 길들이기-운동의 법칙(2003년도 성균관대 과학논술 기출문제의 응용)

제주도에 살고 있는 고등학생 동암에게는 평소 끔찍이 아끼는 ‘괄량’이라는 말이 있다. 괄량은 평소 사물과 현상에 대해 분석적인 자세를 갖고 있는 특별한 말이다. 그래서 동암은 괄량과 곧잘 논쟁을 한다. 어느날 동암은 신문에서 남제주군 산방산 근처 해안가에서 발견한 화석들이 구석기 시대에 현생인류가 어떻게 한반도에 유입됐는지를 보여주는 중요한 실마리여서 획기적 발굴이라는 기사를 본다. 그리고선 동암은 직접 확인해보려고 그곳으로 괄량을 몰고 갈 준비를 하는데...

동암 : 이라! 괄량아, 이제 앞으로 가자.

괄량 : 주인님, 어차피 앞으로 가지 못할 텐데 제가 왜 혼자 힘을 씁니까?

동암 : 왜 앞으로 나가지 못한다는 것이야?

괄량 : 주인님은 뉴턴의 제3법칙, 작용과 반작용의 법칙도 모르세요? 제가 수레를 앞으로 끌기 위해 힘을 주면 수레도 반드시 같은 크기의 힘으로 저를 뒤로 잡아당겨요. 그러니 제가 힘을 준들 수레는 움직이지 않을 거예요.

동암 : 너는 너와 수레 사이에 작용하는 역학만 생각하는구나.

이 대화에서 동암이가 괄량을 설득할 수 있는 방법은 무엇일까. 말이 수레를 끌어 앞으로 갈 수 있는 힘의 원리를 생각해보며 다음 질문에 답하시오.

- 1) 뉴턴의 제1법칙(관성의 법칙)은 제2법칙의 일부에 불과하다는 논리에 대해 아는대로 설명하시오.
- 2) 뉴턴의 제3법칙인 ‘작용-반작용’과 ‘힘의 평형’의 차이점을 서술하시오.
- 3) 주어진 상황에서 말-수레 사이의 주고받는 힘 이외에 말과 수레의 움직임과 관련해 뉴턴의 제3법칙상 작용-반작용의 쌍으로 묶을 수 있는 힘들에 대해 기술해보시오.
- 4) 말의 입장에서 뉴턴의 제2법칙( $F=ma$ )을 적용해보고자 할때, 외력  $F$ 에 해당하는 힘으로 는 어떤 것이 있을까?
- 5) 위의 답안들을 종합해 괄량을 설득할 수 있는 동암의 말을 서술하시오.
- 6) 말이 마차를 끌고 가기 위해서는 에너지가 필요하다. 지구상의 생명체들이 사용하는 에너지의 원천인 태양에너지가 어떤 과정을 통해 수레를 끄는데 필요한 에너지로 변환되는지를 간단히 서술하시오(원 문항에서는 영어로 서술하도록 함).

### ▶ 전문가 클리닉

과학논술에 물리의 역학 부분이 곧잘 등장하는 것은 잘 알려진 사실입니다. 자연현상 중 실생활에서 흔히 경험할 수 있는 것이 힘과 운동입니다. 그래서 수험생이 평소에 얼마나 분석적 자세를 갖고 있는지를 평가하기에 힘과 운동은 더할 나위 없이 안성맞춤인 주제입니다.

이 문제에서 말이 좀 건방져 보이기 는 하지만, 말 ‘괄량’을 논리적으로 설득시킬 수 있는 적절한

한 답변을 찾지 못한다면 ‘말보다도 못한 인간’이 될 처지네요. 이런 과학논술 문항에서 알 수 있듯이 역학은 물·화·생·지의 구분을 넘어서 물체의 변형과 운동의 변화를 설명하는 중요한 자연현상입니다. 자연계열 학생이라면 명쾌하게 설명할 수 있어야 합니다.

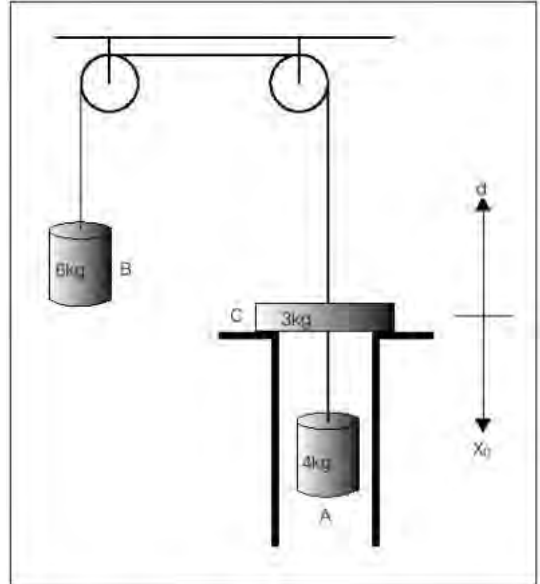
## ▶ 예시답안

- 1) 뉴턴의 제1법칙은 물체에 외력이 작용하지 않는다면, 즉 물체에 작용하는 여러 힘들의 합력인 알짜힘이 0이라면 정지한 물체는 계속 정지해 있고, 운동하던 물체는 등속운동을 계속 한다는 법칙입니다. 제2법칙은 질량이  $m(\text{Kg})$ 인 물체에  $F(\text{N})$ 만큼의 알짜힘이 작용하면  $F/m$ 의 가속도운동을 한다는 법칙입니다. 따라서 작용하는 힘의 크기가 0일 경우 가속도의 크기도 0이 돼, 관성의 법칙과 동일하게 정지해 있던 물체는 계속 정지상태로 있게 되고, 운동하던 물체는 속도의 크기나 방향의 변화가 없는 등속운동을 하게 됩니다.
- 2) 작용-반작용의 법칙은 A라는 물체가 B라는 물체에게  $F(\text{N})$ 의 힘을 가하면 B도 A에게 똑같은 크기면서 방향이 반대인 힘, 즉  $-F(\text{N})$ 의 힘을 가한다는 것입니다. 그러므로 힘  $F$ 와  $-F$ 는 각기 B와 A에 작용점이 있습니다. 반면에 힘의 평형은 동일한 물체에 둘 이상의 힘이 작용하더라도 그 힘들의 합력이 0이어서 물체가 관성의 법칙을 따르게 되는 상태를 의미합니다. 결국 작용-반작용의 법칙은 힘의 평형과 별개의 차원인 것입니다.
- 3) 첫째, 말의 입장에서 보면 말이 수레를 당기는 힘(작용력)에 대해 수레가 말을 되당기는 힘(반작용력) 외에, 지구가 말을 당기는 만유인력(작용력)에 대해 말이 지구를 당기는 만유인력(반작용력)이 있습니다. 또한 말의 체중만큼 지면을 누르는 힘(작용력)에 대해 지면이 말을 떠받치는 수직항력(반작용력) 역시 작용-반작용의 관계입니다. 마지막으로 말이 앞으로 가기 위해 말발굽으로 지면을 뒤쪽 아래로 미는 힘(작용력)과 지면이 말발굽을 앞쪽 위로 되미는 힘(반작용력) 또한 작용-반작용의 법칙이 적용됩니다.  
둘째, 수레 입장에서든 말의 경우와 동일하게 작용-반작용의 법칙이 적용됩니다. 수레에 작용하는 지구의 만유인력(작용력)과 수레가 똑같은 크기의 힘으로 지구를 당기는 만유인력(반작용력), 수레가 지면을 무게만큼 누르는 힘(작용력)과 지면이 수레를 같은 크기로 떠받치는 힘(반작용력), 수레바퀴가 굴러가며 지면을 뒤로 미는 힘(작용력)과 지면이 수레를 앞으로 되미는 힘(반작용력) 모두 작용-반작용의 관계입니다.
- 4) 말 ‘괄량’이의 경우 중력과 수직항력은 힘의 평형 관계이므로 외력에 해당하지 않습니다. 그러나 말이 앞으로 가기 위해 말발굽으로 지면을 뒤쪽으로 미는 힘(작용력)의 반작용으로 지면이 말발굽을 앞쪽 위로 되미는 힘(반작용력)은 외력에 해당합니다. 이 힘이 수레가 말을 뒤로 당기는 힘보다 클 경우 말은 앞으로 나아갈 수 있습니다. 그리고 말 내부 근육의 수축과 이완 작용에 의한 힘도 말을 앞으로 나가게 합니다.
- 5) “괄량아, 너는 단순히 수레와 너 사이에 작용하는 힘만 생각하고 있구나. 물론 네가 수레를 끌면 같은 크기의 힘으로 수레가 너를 끄는 것이 사실이다. 그러나 너에게 작용하는 힘은 그것 말고도 여러 가지가 있다. 예를 들어 너의 발이 지면을 뒤로 밀면 지면 또한 너의 발을 앞으로 되밀게 되며, 네 몸속의 근육이 ATP에 저장된 생체에너지로 소비하면서 수축과 이완작용을 반복하면 너를 앞으로 나아가게 하는 힘이 작용하게 된단다. 말로 태어났음에도 불구하고 평소 분석적 자세로 사물의 현상을 대하는 것은 훌륭하지만 버는 익을수록 고개를 숙이는 법. 제대로 알지 못하면서도 계속 억지를 부리면 말총 다 뽑아버린다, 알겠지?”
- 6) 태양으로부터 온 빛에너지가 생산자인 식물의 광합성 과정을 통해 포도당에 저장됩니다. 즉 빛에너지가 화학에너지로 전환되는 것입니다. 그리고 포도당은 식물을 먹은 말의 소화와 흡수 과정을 통해 근육세포 등으로 이동합니다. 마지막으로 세포 내에서 호흡과정을 통해

ATP가 ADP로 전환되면서 ATP에 저장돼 있던 화학에너지가 근육의 수축과 이완작용을 일으키는 역학적에너지로 전환됩니다.

## 2. 오르락 내리락 도르래 시소-운동량 보존(2004학년도 서울대 정시모집 기출문제)

다음 그림과 같이 두개의 도르래를 지나 물체 C(질량 3Kg)의 중심을 관통하는 밧줄로 연결돼 있는 물체 A(질량 4Kg)와 물체 B(질량 6Kg)가 있다. 물체 A는 초기에  $x_0=1.0\text{m}$  위치에서 정지되어 있다가 운동을 시작한 후, 상승하면서 물체 C와 완전 비탄성충돌(반발계수  $e=0$ )을 했다. 이후 물체 A와 물체 C는 함께 상승하면서 최고점 d에 도달하게 되고, 다시 하강하면서 물체 C는 선반의 턱에 걸려 분리되며, 물체 A만 최저점에서 순간속도가 0이 될 때까지 하강했다 (단 중력가속도는  $g=10\text{m/s}^2$ ).



- 1) 물체 A가 물체 C와 부딪히기 직전의 물체 A의 속력을 구하시오.(단 1번에서 4번까지의 모든 문제풀이의 답은 분수형태도 무방).
- 2) 물체 A가 물체 C와 부딪힌 직후의 물체 A의 속력을 구하시오.
- 3) 이후 물체 A와 물체 C가 함께 움직인 최고점까지의 거리를 구하시오.
- 4) 최고점에서 물체 A와 물체 C가 함께 하강하면서 선반의 턱에서 물체 C는 분리가 된다. 이후 하강을 지속하던 물체 A가 정지하게 되는 최저점의 위치를 구하시오.

### ▶ 전문가 클리닉

역학 문제로 가장 많이 등장하는 도구가 도르래입니다. 도르래로 연결된 두 물체에 작용하는 중력은 결국 두 물체의 운동방향을 반대로 이끄는 작용을 하기 때문에 전체 시스템의 운동을 기술하기 위해서는 힘의 합력을 구해야 한다는 결론에 도달하게 됩니다. 따라서 많은 도르래 문제들은 힘의 합력을 구하고, 그로부터 물체의 가속도를 구하면 되는 형태가 대부분이었습니다.

이 문제는 한걸음 더 나아가 합력을 구한 다음부터는 지면에서의 운동과 똑같이 기술할 수 있으므로 운동량 보존법칙이나 에너지 보존법칙을 묻는 문제로 확장할 수 있음을 보여주고 있습니다. 중요한 것은 충돌로 인한 운동량의 변화는 충돌하는 바로 그 물체만 겪는 것이 아니라 줄로 연결된 다른 쪽 물체도 한 시스템처럼 변해야 한다는 것입니다. 줄이 고무줄처럼 늘어나지 않는 한 도르래를 통해 연결된 두 물체는 항상 같은 합력을 받고 같은 가속력을 가지며 같은 속력을 가져야 한다는 점만 명심한다면 아무리 복잡하게 엮어놓은 문제라도 쉽게 풀 수 있습니다.

### ▶ 예시답안

- 1) 먼저 B가 아래로 내려오는 방향을 (+)로 생각하기로 합니다. 그러면 A와 B가 받는 합력은

$$(6\text{Kg}-4\text{Kg})\times 10\text{m/s}^2=20$$

따라서 전체 시스템의 가속도는

$$a=20\text{N}/10\text{Kg}=2\text{m/s}^2$$

$v_0=0$ 이므로  $x_0(=1.0\text{m})$ 만큼 올라갔을 때 시스템의 속력은

$$v = \sqrt{2ax_0} = \sqrt{2 \times 2(\text{m/s}^2) \times 1.0(\text{m})} = 2(\text{m/s}) \text{입니다.}$$

- 2) A와 C가 부딪힌 직후 완전비탄성 충돌에 의해 A와 C는 함께 이동을 시작합니다. 즉 전체 시스템은 C가 더해져 총 질량이 13Kg이 되므로 운동량 보존법칙에 따르면,

$$10\text{Kg} \times 2\text{m/s} = 13\text{Kg} \times v'$$

$$v' = (20/13)\text{m/s} \text{이 됩니다.}$$

- 3) A와 C가 충돌한 직후의 전체 시스템이 받는 합력과 가속도를 다시 구해야 합니다. 즉

$$F = (6\text{Kg} - 7\text{Kg}) \times 10\text{m/s}^2 = -10\text{N}$$

$$a' = F/N = -10/13\text{m/s}^2$$

이므로, B가 올라가는 방향으로 가속도를 갖게 됩니다. 이제 초속도가  $v'$ 이고, 가속도가  $a'$ 인 물체 A의 최고점  $d$ 는,

$$d = (v'^2 - v^2)/2a = (10/13 \text{ m/s})^2 \div (20/13 \text{ m/s}^2) = 5/13 \text{ m} \text{입니다.}$$

- 4) 이제 A와 C는 다시 하강을 시작하고 C는 선반에 걸리고 A만 내려갈 것입니다. 3번 문제에 따르면 전체 시스템의 가속도는  $10/13 \text{ m/s}^2$ 이고,  $20/13 \text{ m}$ 내려와 C가 선반에 닿기 직전의 속력은  $20/13 \text{ m/s}$ 가 될 것입니다. 이 위치에서 순간적으로 C는 A로부터 떨어져 나가고 운동량 보존법칙을 적용하면 2번 결과의 역순이 돼 A와 B로 이뤄진 원래 시스템의 속도는  $2\text{m/s}$ 가 되고, 가속도는 다시  $2\text{m/s}^2$ 이 됩니다. 그러므로 A가 내려갈 수 있는 최대 거리는 A가 처음 출발했던 위치가 됩니다. 자세히 살펴보면 결국 이 시스템 전체에는 에너지 보존법칙이 적용돼 처음 출발 했던 상태로 되돌아오는 운동을 하고 있음을 알 수 있습니다.

### 3. 소행성에서의 절대 불문율(不問律)-높이뛰기는 제발 하지 마세요!-역학적에너지 보존 (2003학년도 포스텍 심층면접 기출문제)

- 어떤 소행성에서 매우 낮게 물체를 던졌더니 그 물체가 소행성의 주위를 원을 그리며 운동했다. 같은 물체를 지구에서도 매우 낮게 던졌더니 원을 그리며 운동했다. 그 두 운동의 주기가 같을 때 소행성과 지구의 물리량을 비교하여라(단 소행성과 지구상에서 물체의 고도는 행성의 반지름에 비해 무시할 수 있을 정도로 매우 작고 모든 저항은 무시한다).
- 지구상에서 연직상방으로 물체를 던졌더니 높이  $R_E$ 만큼 올라갔다 떨어졌다. 그 소행성에서 같은 속도로 연직 상방으로 물체를 던졌더니 그 물체는 다시 떨어지지 않고 날아가 버렸고, 그보다 조금이라도 느린 속도로 던지면 물체는 다시 제자리에 떨어졌다. 이 조건으로부터 두 행성의 질량비  $M_P / M_E$ 를 나타내어라(단  $R_E$ 는 지구의 반지름,  $M_P$ 는 소행성의 질량,  $M_E$ 는 지구의 질량이다).

## ▶ 전문가 클리닉

중력이 작용하는 공간에서 물체의 운동을 기술하는 문제입니다. 중력은 한 중심을 향하는 힘이 기 때문에 물체의 위치에 따라 시시각각 힘의 방향이 바뀐다는 특이한 성질을 지니고 있습니다. 그리고 바로 이러한 점 때문에 중력장내의 물체는 원운동을 할 수 있게 됩니다. 원운동에 필요한 구심력이 바로 중력이 되는 것이죠. 그리고 중력장에서 빼놓을 수 없는 것이 탈출속도입니다. 탈출속도라 함은 두 물체가 일정한 거리를 유지하거나(제1 탈출속도) 점점 멀어지고 있기 위한 최소 속도(제2 탈출속도)를 말하는 것으로 행성으로부터 벗어나고자 하는 과거의 오랜 욕망 때문에 많이 제기된 문제들입니다. 탈출속도는 저마다 물체의 운동에너지나 힘의 평형 문제와 밀접하게 연관돼 있으므로 이런 방향으로 접근하는 것이 문제해결에 도움이 됩니다.

이번 문제는 탈출속도를 구하면 반대로 임의 행성의 여러가지 성질을 알아낼 수 있다는 아이디어를 담고 있습니다. 알고 있는 것과 모르고 있는 것을 잘 구분해 차분히 문제를 풀면 그리 어려운 문제가 아님을 눈치챌 수 있습니다.

▶ 예시답안

- 1) 행성에서 물체가 원을 그리며 돌기 위해서는 행성에 의한 중력의 크기가 원운동을 위한 구심력의 크기가 같아야 합니다. 즉

$$\frac{mv^2}{R} = \frac{GMm}{R^2} \quad \therefore v = \sqrt{\frac{GM}{R}}$$

이 됩니다. 선속도  $v$ 를 갖는 물체의 주기는  $T = \frac{2\pi R}{v}$ 이므로, 소행성과 지구 표면에서 원운동하는 물체의 주기가 같다는 조건으로부터,

$$2\pi R_P = \sqrt{\frac{R_P}{GM_P}} = 2\pi R_E \sqrt{\frac{R_E}{GM_E}}$$

$$\therefore \frac{R_P^3}{M_P} = \frac{R_E^3}{M_E}$$

의 관계가 성립함을 알 수 있습니다. 반지름의 세제곱은 그 행성의 부피와 비례합니다. 그리고 질량을 부피로 나누면 행성의 평균밀도가 되므로, 결국 위의 식은

$$\rho_P = \rho_E$$

즉, 소행성과 지구를 구성하는 물질의 평균밀도가 같다는 것은 의미하고 있습니다.

- 2) 먼저 지구에서 던져올린 물체의 초속도를 구합니다. 던져올린 물체의 역학적 에너지 보존 법칙으로부터,

$$-\frac{GM_E m}{R_E} + \frac{1}{2}mv^2 = -\frac{GM_E m}{2R_E}$$

$$\therefore v = \frac{\sqrt{GM_E}}{R_E}$$

가 됩니다. 같은 속도로 소행성에서 던지면 물체는 떨어지지 않고 우주로 날아가 버리고, 그보다 조금이라도 작은 속도의 물체는 소행성으로 다시 떨어진다고 했으므로 이 속도는 바로 소행성의 탈출속도가 됩니다. 즉,

$$\frac{1}{2}m \left( \sqrt{\frac{GM_E}{R_E}} \right)^2 = \frac{GM_P m}{R_P}$$

$$\therefore \frac{M_P}{M_E} = \frac{R_P}{2R_E}$$

- 1)번 결과로부터  $\frac{M_P}{M_E} = \left( \frac{R_P}{R_E} \right)^3$ 이므로  $\frac{R_P}{R_E} = \frac{1}{2\sqrt{2}}$ 입니다. 따라서

$$\therefore \frac{M_P}{M_E} = \frac{1}{2\sqrt{2}} \text{입니다.}$$

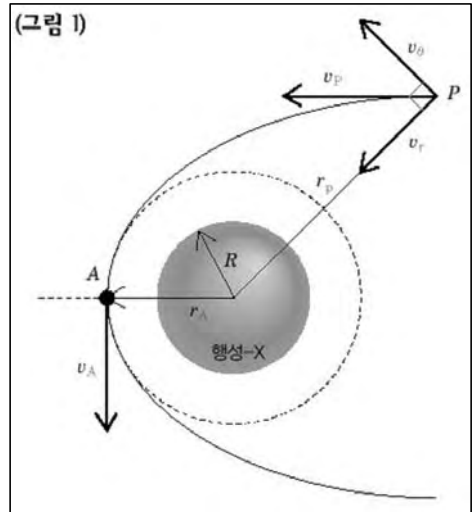
## 2004년 04월호-물리 면접구술고사 완벽가이드

이번 호에서는 과학논술의 단골손님인 역학적 현상 중에 역학적 에너지와 운동량보존의 원리에 의한 우주항공과학을 소재로 했습니다. 이번에 소개되는 문제는 2004학년도 성균관대 기출문제입니다. 심층면접의 고난도 문제로 종종 등장하는 부력과 열에너지에 대한 예상문제를 마련했습니다.

### 1. 또 한번 일구어낸 ‘세계 최초’-역학적 에너지와 운동량의 보존(2004학년도 성균관대 기출문제)

한국의 ‘동아우주과학국’에서는 2010년 7월 18일 발견된 태양계 외부의 행성-X 탐사를 위해, 2020년 7월 25일 우주 탐사선(동아 1호)을 전라남도 고흥반도에 위치한 우주 발사 기지에서 발사했다. 행성-X는 지구상에 최초 생명체가 나타났을 때와 비슷한 환경을 갖고 있어 생명의 기원을 이해하는데 중요한 단서를 제공할 수 있으리라 추정된다.

동아 1호는 행성-X의 궤도에 진입한 후 근일점(<그림 1>의 A점)에 이르렀을 때 탐사로봇(과학둥이)을 행성의 표면에 착륙시켰다. 과학둥이는 생명 기원의 연구를 위한 시료 채취 및 기초분석을 수행해 동아우주과학국에 제반 자료를 전송했다. 주어진 세 제시문을 참조해 동아 1호가 아래 <제시문 3>과 같은 조건에 있었을 때,



- 1) 과학둥이를 행성-X에 착륙시키기 위해 접근했던 A점과 행성의 중심 O 사이의 거리  $r_A$ 를 구하시오.
- 2) 역사에 남을 과학둥이를 지구로 다시 귀환시키려고 한다면 순간 추진력에 의해 최소한 어느 정도의 속력으로 과학둥이를 행성 표면에서 발사시켜야 할까?

#### ▶ 제시문

1. 질량이 각각 M, m인 두 물체 사이에는 두 물체가 갖는 질량의 곱에 비례하고, 두 물체 사이의 거리 제곱에 반비례하는 만유인력이 작용한다. 그 크기는 다음 식과 같다.

$$F=G(Mm/r^2)=mg$$

여기서 만유인력상수  $G=6.67 \times 10^{-11} \text{Nm}^2/\text{Kg}^2$ 이고, g는 질량이 M(Kg)인 행성 표면에서의 중력가속도다.

2. 여러 종류의 에너지는 자연현상의 변화에 따라 하나의 형태에서 다른 형태로 변환된다. 이들 에너지의 상호변환과정에서 에너지는 새로이 발생하거나 소멸되지 않고, 그 총량은 항상 일정하게 보존된다. 예를 들어 우주 탐사선이 갖는 역학적 에너지는 마찰 등에 의한 에너지 손실을 무시하면

$$mv^2-G(Mm/r)=\text{일정}$$

으로 쓸 수 있다. 또한 운동량 및 각운동량도 보존된다. 예를 들어 각운동량 보존법칙은  $mrv\theta=\text{일정}$ 으로 나타낼 수 있다.

3. 행성-X의 표면에서의 중력가속도  $g=6.4\text{m/s}^2$ 이고, 반경은  $R=1\text{천Km}$ 이다. 그리고 <그림 1>에 도시한 바와 같이 행성-X의 중심점 O로부터  $r_p=5\text{천Km}$  떨어진 한 점 P를 지날 때 동아 1호가 갖는 속력은  $v_p=3\text{천6백Km/hr}$ 이다.  $v_p$ 의 O방향 성분은  $v_r=0.6 v_p$ , 그리고 이에 수직 방향으로의 속도성분은  $v_\theta=0.8 v_p$ 이다. 이 조건들과 <제시문 1, 2>를 참조하면 동아 1호가 행성-X에 가장 가까이 다가가는 점 A와 O 사이의 거리  $r_A$ 를 구할 수 있다.



## ▶ 전문가 클리닉

만유인력에 의한 위치에너지만 등장하면 질겁하는 학생이 많습니다. 역학적 에너지 보존의 원리가 역학적 현상들을 분석하는데 가장 중요한 원리임을 알면서도 ' $mgh + 1/2 mv^2 = \text{일정}$ '에만 익숙하다보니 ' $mv^2 - G Mm/r = \text{일정}$ '은 보기만 해도 어렵다고 느끼기 때문입니다. 그러나 알고 보면 둘 모두 똑같은 원리에 대한 다른 표현 방식에 불과하므로 이번 기회에 탄성력에 의한 위치에너지( $1/2 kx^2$ )까지도 완벽히 마스터한다면 후환을 없앨 수 있습니다. 아시아 최초의 유인우주선 발사 성공은 중국에 양보했지만 태양계 외부의 행성 탐사는 여러분이 세계 최초로 성공시키리라 믿습니다.

## ▶ 예시답안

- 1) 먼저 제시문1과 3에서, 행성-X 표면에서의 중력이 만유인력이므로 행성의 질량  $M$ 을 구하기 위한 다음의 식이 성립합니다.

$$mg = G Mm/R_2 \text{이므로}$$

$$M = g R_2 = 6.4(m/s^2) \times (1000 \times 1000)^2 \approx 9.6 \times 10^{22} \text{ Kg}$$

다음으로 제시문2와 3을 참고하고, P점과 A점에서의 탐사선에 역학적 에너지 보존원리를 적용하면 다음의 식이 성립합니다.

$$1/2 m(3600 \times 1000/3600)^2 - G mM/(5000 \times 1000)$$

$$= 1/2 m \times v_A^2 - G GM/r_A \text{에서}$$

$$5 \times 10^5 - GM/(5 \times 10^6) = 1/2 v_A^2 - GM/r_A \dots\dots\dots \textcircled{1}$$

마지막으로 제시문2, 3을 참고하고, P점과 A점에서의 탐사선에 각운동량 보존원리를 적용하면 다음 식이 성립합니다.

$$mr_P v_\theta = m \times r_A \times v_A \text{이므로}$$

$$m \times (5000 \times 10^3) \times (3600 \times 10^3/3600) \times 0.8$$

$$= m \times r_A \times v_A \text{에서}$$

$$4 \times 10^9 = r_A \times v_A \dots\dots\dots \textcircled{2}$$

①에  $G$ 값과 행성-X의 질량  $M = 9.6 \times 10^{22}$ 을 대입한 후 ②와 연립해 풀면

$$v_A \approx 3.1 \times 10^3 (m/s) = 11160 (Km/hr)$$

$$r_A \approx 1300 (Km) \text{가 구해집니다.}$$

- 2) 과학둥이를 행성의 중력장으로부터 벗어나게 하면 되므로 발사 후 탐사선의 운동에너지의 양이 행성-X 표면에서의 만유인력에 의한 위치에너지 값과 같으면 탈출이 가능합니다. 그러므로 다음의 식이 성립해야 합니다.

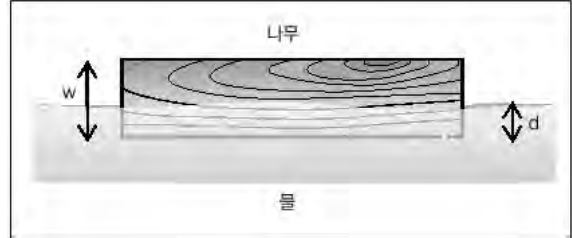
$$\frac{1}{2} mv^2 = \frac{GmM}{R} \text{에서 } v = \sqrt{\frac{2GM}{R}} \text{이므로,}$$

$$v \approx 3579 (m/s) \text{입니다.}$$

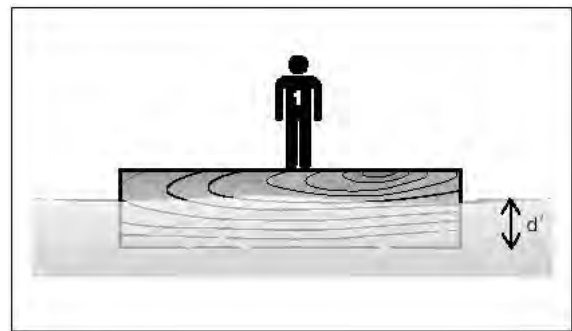
## 2. 물 위의 통나무 굴리기-부력

윤수는 TV 프로그램에서 두 사람이 물 위에 뜬 통나무 위에 올라가서 서로를 물에 빠뜨리는 시합을 하는 것을 보았다. 그 육중한 통나무 위에 두 사람이 올라서도 물 위에 떠있는 것이 신기했던 윤수는 실제로 통나무 위에 사람이 올라서면 통나무가 얼마나 가라앉을지가 궁금했다. 또한 통나무 위에서 사람이 걸어가자 통나무는 반대 방향으로 움직이는 것을 보고는 어떤 물리학의 원리가 숨어 있는지 알아보기로 했다. 다음 물음에 답하여라.

1) 우측 그림과 같이 두께가  $w$ 인 직사각형 나무 판자가 물에 떠 있을 때 나무판자에 작용하는 힘을 표시해라. 그리고 나무판자가 물에 잠긴 길이  $d$ 를 구하라(단 나무의 비중은  $0.5\text{g/cm}^3$ ,  $w=30\text{cm}$ , 물의 비중은  $1.0\text{g/cm}^3$ 으로 한다).



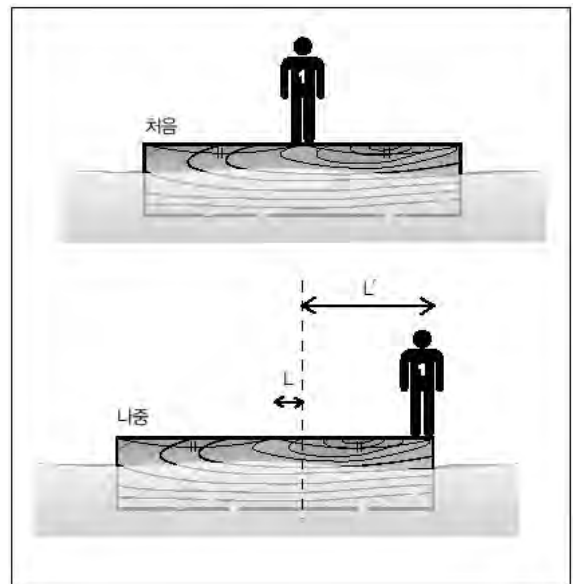
2) 이 나무판자에 한 사람이 올라섰을 때, 물에 잠긴 부분의 길이  $d'$ 를 구하라(단 사람의 질량은  $60\text{Kg}$ , 나무판자의 면적은  $3\text{m}^2$ 이다).



3) 사람이 천천히 걸어서 나무판자의 끝으로 갔을 때, 나무판자는 처음 위치로부터 얼마나 이동하게 될까(단 나무판자의 길이는  $3\text{m}$ 이고, 사람은 처음에 나무판자의 한 가운데 위치하고 있었다).

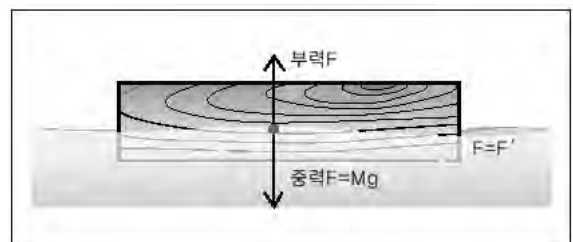
### ▶ 전문가 클리닉

부력은 고3 학생들도 여러 힘들 중에서 까다롭게 여기는 힘의 종류입니다. 하지만 배가 물 위에 뜰 수 있는 이유에서부터 지각이 맨틀 위에 떠있는 모습을 설명할 수 있는, 우리 주위 가까이 존재하는 힘입니다. 또한 힘(force)이라는 개념의 이해 정도를 제대로 평가할 수 있는 좋은 소재라는 면에서 구술면접에 종종 등장하고 있습니다. 그리고 물체의 상태나 운동의 변화는 항상 물체에 작용하는 여러 힘들의 합력인 알짜힘에 의해 결정되는 만큼 시스템 전체 내에서 작용하는 모든 힘들을 알아내어 운동방정식을 세우는 것이 중요합니다.



### ▶ 예시답안

1) 먼저 나무판자가 평형 상태에 있으므로 합력이 0이 되도록 해야 합니다. 그리고 문제에서 주어진 조건을 잘 읽어보고 수면의 모양을 통해 중력 가속도의 방향을 예측해야 합니다. 그리고 암묵적으로 문제에서 무시하고 있는 힘의 종류를 파악해야 합니다. 예를 들면 주위의 공기에 의한 부력이나



나무판자와 물 분자사이의 미시적인 힘은 여기서 다루지 않음을 알아야 합니다. 의외로 간

단한 문제이지만 답변은 가능한 구체적일수록 좋은 평가를 얻습니다.

나무판자가 가라앉은 깊이  $d$ 는 부력의 정의를 이용해 쉽게 풀 수 있습니다. 부력의 크기는 물에 잠긴 부분의 부피와 같은 부피를 갖는 물의 무게로부터 구할 수 있습니다. 즉,

$$F = mg = \rho_w A g$$

$$= 0.5 \text{g/cm}^3 \times 30 \text{cm} \times A g$$

$$F' = \rho' d A g$$

$$= 1 \text{g/cm}^3 \times d \times A g$$

(단,  $\rho$ 는 나무의 밀도,  $\rho'$ 은 물의 밀도,  $A$ 는 나무판자의 면적입니다)

평형상태를 유지하기 위해서는  $F = F'$ 이므로,  $d = 15 \text{cm}$ 입니다.

- 2) 사람이 올라서게 되면 1)번 문제에서  $F$ 가 증가하는 효과를 기대할 수 있습니다. 나무판자의 표면을  $\text{cm}^3$  단위, 사람의 질량을  $\text{g}$ 단위로 바꾸어서 문제를 풀면 수월하게 풀 수 있습니다.

$$F = F'$$

$$\rho_w A G + m G = \rho' d' A G$$

$$0.5 \text{g/cm}^3 \times 30 \text{cm} \times 30000 \text{cm}^2 \times G + 60000 \text{g} \times G$$

$$= 1 \text{g/cm}^3 \times d' \times 30000 \text{cm}^2 \times G$$

$$\therefore d' = 17 \text{cm}$$

(단,  $G$ 는 중력가속도,  $m$ 은 사람의 질량)

- 3) 다시 1번 문제를 살펴보면, 나무판자가 받는 합력은 0입니다. 즉 외부에서 아무런 힘도 받지 않고 있으므로 전체 시스템의 무게중심의 위치는 시간이 지나도 변함이 없어야 합니다. 그림에서 점선의 위치는 처음 사람이 서 있던 위치, 즉 무게중심의 위치를 의미하고, 그것으로부터 사람은  $L'$ , 나무판자는  $L$ 만큼 이동합니다. 따라서 각 거리에 질량을 곱한 값은 서로 같아야 합니다. 그런데 사람이 나무판자 위를 걸어간 거리( $L + L'$ )은  $1.5 \text{m}$ 이므로,

$$M L = m L'$$

$$450000 \text{g} \times L = 60000 \text{g} \times (1.5 \text{m} - L)$$

$$L \approx 0.18 \text{m}$$

( $M$ 은 나무판자의 질량,  $m$ 은 사람의 질량)

즉, 나무판자는 처음 위치로부터 약  $0.18 \text{m}$  이동한다.

### 3. 맥반석 달걀을 먹으려면 참고 기다려라-열역학

둘리는 달걀을 아주 좋아한다. 아주머니께서 집을 비우신 어느 날, 둘리가 달걀을 원 없이 먹어 보자는 생각에 압력 밥솥을 꺼내어 달걀 10개를 채워 넣었다. 달걀을 빨리 먹겠단 일념으로 밥솥에 물을 채우는 등 마는 등 하며 물을 끓이기 시작했다. 10여 분간 끓인 후 밥솥을 열어보니 달걀들 중 절반만이 물에 잠겨있고, 나머지는 물 밖으로 드러나 있었다. 둘리는 어차피 물이 끓으면서 증발한 수증기들이 압력 밥솥을 가득 메우고 있었으니까 물 밖에 드러난 달걀들도 다 익었으리라 판단하고 맨 위의 달걀을 집어 들고 머리에 탁 하고 부딪혔다. 그런데, ‘탁’이 아니라 ‘퍽’... 웬일인지 둘리의 머리가 생 달걀로 뒤범벅이 되고 말았다. 다음 물음에 답하라.

- 1) 1백℃ 수증기 1백g과 0℃ 얼음 1백g을 섞고 외부로부터 열을 차단시키면 몇 ℃의 물이 만들어지겠는가? 단 물의 비열은 1cal/g℃이고, 물의 융해열은 80cal/g, 기화열은 5백40cal/g이다.
- 2) 1백℃ 수증기 1L와 30℃ 물 1L를 섞고 역시 외부로부터 열을 차단시키면 몇 ℃의 물이 만들어지겠는가? 단 1백℃ 1기압에서 수증기의 밀도는 0.8g/L이다.
- 3) 1번과 2번의 결과를 비교하고, 달걀이 끓는 물에서 잘 익고, 1백℃ 수증기에서는 잘 익지 않은 이유를 설명해봐라(실제 압력 밥솥 내부의 수증기는 온도가 1백20℃, 압력이 1.5기압 가량 된다고 알려져 있다. 그렇지만 달걀은 역시 수증기만으론 잘 익지 않는다).

#### ▶ 전문가 클리닉

생활 속 열역학 소재를 다룬 문제입니다. 물리학적 현상들 중에는 상식과 크게 다른 경우가 많습니다. 면접문항들 중에는 그런 사례를 놓치지 않고 다루는 경우가 많습니다. 예를 들어, ‘온도가 80℃가 넘는 증기탕에서는 사람이 견딜만한데, 40℃가 조금 넘는 고온탕에서는 견디기 힘든 이유가 무엇인가?’라는 기출문제도 그러한 범주에 속합니다. 매사 접하는 현상들마다 일일이 분석하기는 힘들겠으나, 석학들의 고민이 배어 있는 교양서적들을 중심으로 분석·정리해 둔다면 분명한 맥을 잡을 수 있으리라 생각합니다.

#### ▶ 예시답안

- 1) 수증기와 얼음이 만나 물이 만들어지는 반응에서는 무엇보다 물질의 상태변화가 많이 일어나므로 단계적으로 풀어나가야 합니다. 먼저 얼음 1백g이 융해되는데 필요한 열량은

$$Q(\text{얼음} \rightarrow \text{물}) = 80\text{cal/g} \times 100\text{g} = 8\text{kcal}$$

이고, 이 열량으로는 0℃ 물 1백g이 만들어집니다. 이 물을 1백℃까지 올리는데 필요한 열량은

$$Q = cmt = 1\text{cal/g}^\circ\text{C} \times 100\text{g} \times 100^\circ\text{C} = 10\text{kcal}$$

입니다. 즉, 0℃ 얼음이 1백℃ 물이 되는데 총 18kcal가 필요합니다. 1백℃ 수증기 1백g이 모두 액화할 경우 내놓을 수 있는 총 열량은

$$Q(\text{물} \rightarrow \text{수증기}) = 540\text{cal/g} \times 100\text{g} = 54\text{kcal}$$

나 되므로, 18kcal를 내기 위해선 약 33.3g만 액화하고, 나머지는 수증기 상태를 유지해도 됩니다. 따라서 정답은, 0℃ 얼음과 1백℃ 수증기 1백g을 섞으면 1백℃ 물 1백33.3g과 1백℃ 수증기 66.7g의 혼합물이 됩니다.

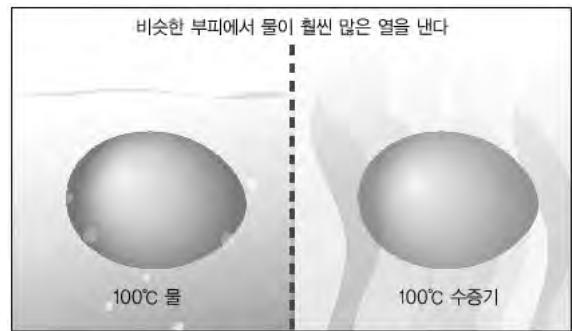
- 2) 1백℃ 수증기 1L의 질량은 고작 0.8g에 불과합니다. 이 수증기가 30℃ 물 1L(=1천g)와

열교환을 해서 최종적으로  $T^{\circ}\text{C}$  물이 된다고 했을 때,  $1^{\circ}\text{C}$  수증기가 내놓는 총 열량과  $30^{\circ}\text{C}$  물이 얻는 총 열량이 서로 같다는 관계식으로부터  $T^{\circ}\text{C}$ 를 구할 수 있습니다.

$$\begin{aligned} & 540\text{cal/g} \times 0.8\text{g} + 1\text{cal/g}^{\circ}\text{C} \times 0.8\text{g} \times (100 - T) \\ & = 1\text{cal/g}^{\circ}\text{C} \times 1000\text{g} (T - 30) \\ & T \approx 30.5^{\circ}\text{C} \end{aligned}$$

입니다.

- 3) 1) 문제에서 물의 액화열(기화열)은 너무나 크기 때문에  $1^{\circ}\text{C}$ 의 수증기 중 일부만 액화하여도  $0^{\circ}\text{C}$  얼음을  $1^{\circ}\text{C}$  물로 바꿔놓을 수 있을 정도입니다. 즉,  $1^{\circ}\text{C}$  수증기가 지닌 열량이 엄청난 값이라는 착각을 불러일으킵니다. 그러나 2) 문제를 보면 같은 부피의 수증기와 물이 만났을 때 수증기가 내놓을 수 있는 열량이란 극히 미비해서 물의 온도를 겨우  $0.5^{\circ}\text{C}$  높여줄 뿐입니다. 이



것이 바로 핵심입니다. 달걀을 수증기로만 익히고자 할 때 달걀과 열교환을 하는 수증기의 양이 얼마나 되나 생각해봐야 합니다. 수증기가 달걀 표면에서 액화할 때 내어놓는 열에너지로 달걀이 익어간다고 했을 때, 압력 밥솥 내부의 부피는 극히 제한돼 있습니다. 끓는 물로부터 부족한 수증기를 계속 보충해준다고 하더라도 10여분 간의 조리 과정에서 달걀 표면을 거쳐가는 수증기의 총질량은 얼마되지 않습니다. 즉, 달걀을 익히는데 충분한 정도의 열량을 수증기로부터 얻기 위해서는 많은 시간이 소요됨을 알 수 있습니다. 그러나 액체인 물은 밀도가 높아서 달걀과 비슷한 정도의 부피면 달걀과 비슷한 질량을 가집니다. 따라서 같은 시간 동안 훨씬 많은 열에너지를 달걀에 전달해줄 수 있고, 결과적으로 달걀의 온도도 금세 올라가게 됩니다. 이것이 달걀을 끓는 물에서 삶는 이유입니다.

## 2004년 05월호-물리 면접구술고사 완벽가이드

이번 5월호에서는 물리 후반부의 전자기학을 주제로 예상문제들을 실었습니다. 과학논술과 심층면접에 자주 출제되는 영역은 아니지만 역학 못지 않게 실생활과 관련한 개념과 원리가 상당히 많아 꼼꼼히 정리해둬야 할 부분임에는 틀림없습니다. 특히 2005학년도 수능 과학탐구의 경우 종합적 사고력을 측정하는 문항이 과거에 비해 더 확장될 것으로 예상되므로 한 가지 현상이나 개념에 대해 깊이 있고 긴 호흡으로 분석해두는 습관을 가져야 할 것입니다.

### 1. 나일강에 가다-발전의 원리

고등학생 '나 일강'은 지난 겨울방학을 활용해 이집트에 다녀왔다. 나일강가에 서서 든 첫 느낌은 고대 그리스 역사학자 헤로도토스가 말한 '이집트는 나일강의 선물'이라는 느낌 그 자체였다. 고2 때 재미있게 읽었던 소설 '람세스'의 주인공 람세스 2세의 행적을 좇아 강 하류 하이집트를 출발해서 상이집트로 거슬러 올라갔다. 여기저기 화려했던 고대 문명을 직접 확인하며 소설을 읽을 때와는 비교도 되지 않는 감동을 만끽했다. 그리고 19세기 말 당시 세계 최대 규모로 완공된 아스완댐과 이 공사로 인해 수장될 뻔했던 아부심벨 사원도 둘러봤다. 아스완댐이 완공되기 전에는 매년 범람하는 나일강이 약 10억t 이상의 상류의 비옥한 흙을 싣고 와 하류에 내려놓고 지중해로 흘러갔으며, 범람이 끝나는 계절에는 충분한 햇빛과 비옥한 토지를 이용한 농사가 이뤄져 이집트의 삶의 근원이 됐다는 관광안내문의 내용도 읽어봤다. 다음 물음에 답하시오.

- 1) 수력발전은 댐에 간혀있는 물의 위치에너지를 전기에너지로 전환시키는 것이다. 댐의 물이 어마어마한 양의 에너지를 가지게 된 과정을 2백자 내외로 간단히 설명하시오.
- 2) 역학적 에너지를 전기에너지로 전환시키는 교류발전에서 유도기전력(전압)의 크기를 결정하는 요소에 대해 설명하시오.
- 3) 아스완댐의 총 저수량은 55억 $m^3$ 다. 이보다 10배인 5백50억 $m^3$ 의 물이 일년 내내 균일한 양으로 방출돼 수력발전이 이뤄진다면 전력(P)은 얼마일겠는가 (단 물의 낙차는 5m이고 물이 가진 역학적 에너지의 절반이 전기에너지로 전환된다고 가정한다)?
- 4) 수력발전은 화력발전이나 원자력발전과 같은 다른 방식의 발전에 비해 무공해 (Clean) 이미지를 가지고 있다. 그러나 의외로 댐건설에 따른 피해도 심각하다. 수력 발전을 위해 댐을 건설하는 것의 장단점을 아스완댐 건설과 연결지어 설명하라.

### ▶ 전문가 클리닉

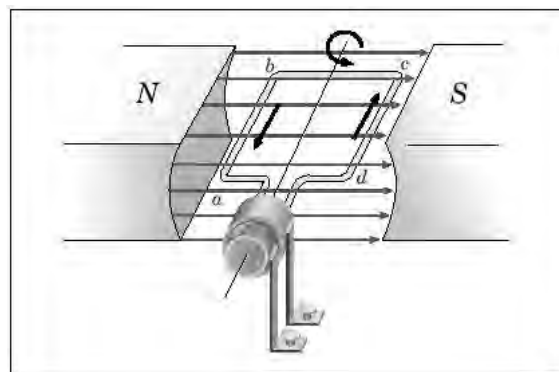
지난 20세기 이후 전자기학 연구에서 이론 화려한 업적들은 그 자체적인 의미도 대단하지만 다른 학문분야의 획기적 발달에도 지대한 역할을 했다는 면에서 큰 의미를 가집니다. 현재의 첨단 문명은 전자기학의 기반 위에서 형성된 만큼 교과서 물리를 공부하다보면 응용 사례들을 많이 접할 수 있습니다. 전자기학은 감각을 통해 인지하기 힘들고 적절한 실험장비가 제대로 갖춰져 있는 학교도 거의 없어서 학습자가 사고를 통해 개별적 원리들을 파악해 나가야 합니다. 그러므로 수험생이 이해하기 쉽지 않은 전자기학(파동이론 포함)에서 어느 정도 자신의 능력을 보일 수 있느냐가 대학 입학의 승패를 가른다고 볼 수도 있습니다.

### ▶ 예시답안

- 1) 먼저 태양에너지에 의해 육지와 바다의 지표면에 있던 물이 증발하게 됩니다. 증발한 수증기는

대기순환에 의한 자연적 상승이나 산(山) 등의 장애물에 의한 강제적 상승에 의해 부피가 팽창하는 단열과정을 겪게 되고, 이 과정에서 기온이 하강해 이슬점에 도달하면 구름이 생성되고 비가 내립니다. 즉 댐에 고여 있는 물의 역학적 에너지의 근원은 태양에너지입니다.

- 2) 교류발전의 원리는 다음과 같습니다. 균일한 자기장에서 자기장에 수직인 축을 중심으로 코일을 회전시키면 코일 내부를 지나는 자속의 변화를 방해하는 방향으로 유도기전력이 발생하게 됩니다. 이를 교류전압이라 하며, 이때 흐르는 전류를 교류전류라고 합니다. 교류발전기에서 코일에 전류가 흐르게 되면, 코일은 자기장에서 힘(플레밍의 왼손 법칙)을 받게 되고 이때 받는 힘은 코일의 운동을 방해하는 방향으로 나타납니다. 따라서 이 힘을 이



기고 계속 코일을 회전시키기 위해서는 외부에서 일을 해 주어야 하며, 이때 해준 일만큼 전기 에너지가 생깁니다. 코일면이 각속도  $\omega$ 로 회전해 자기장과 수직인 위치에서 각 만큼 회전했을 때, 코일면을 지나는 자속  $\Phi(BS)=\Phi_0\cos\theta=\Phi_0\cos\omega t$  ( $B$ 는 자기장의 세기,  $S$ 는 코일면의 단면적)이 됩니다. 여기서  $\Phi_0$ 는  $\theta=0$ 일 때 즉 코일면이 자기장과 수직일 때 코일면을 지나는 자속으로 자속의 최대량이라 할 수 있습니다. 유도기전력은 자속의 시간적 변화율이므로,

$$E = -\frac{d\Phi_B}{dt} = -\frac{d}{dt}BLR\cos\theta = BLR\omega\sin\omega t = BS\omega\sin\omega t$$

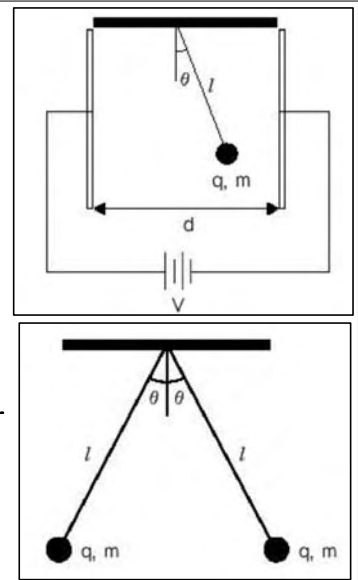
가 됩니다. 즉 자기장의 세기와 코일면의 단면적, 그리고 코일의 회전각속도가 유도기전력의 크기를 결정합니다.

- 3) 먼저 물  $5\text{백}50\text{억m}^3$ 의 위치에너지를 구하면 물  $1\text{m}^3$ 이  $1\text{천Kg}$ 이므로  $mgh=5.5\times10^{10}\times10^3(\text{Kg})\times9.8(\text{m/s}^2)\times5(\text{m})=2.695\times10^{15}(\text{J})$ 입니다. 이 양의 절반이 전기에너지로 전환되므로 매년 댐의 수력발전에 의해  $1.3455\times10^{15}\text{J}$ 의 전기에너지가 발생합니다. 전력은 단위시간(초)당 생산되는 전기에너지의 양이므로 총 전기에너지를 1년으로 나눈 값인  $1.3455\times10^{15}\text{J}\div(365\text{일}\times24\text{시간}\times3600\text{초})=42728944.7(\text{W})$ , 즉 약 4만3천KW(킬로와트,  $1\text{KW}=1000\text{W}$ )가 정답입니다.

- 4) 아스완댐 건설에 따른 이익은 지속적으로 일정한 물을 공급할 수 있게 돼 나일강의 홍수를 제어하게 됐고, 나일 강변에 더 많은 경작지가 만들어지고 다모작이 가능해졌다는 것입니다. 또한 수력발전을 통해 전기가 생산되고, 인공호수가 만들어져서 레크리에이션과 주변지역 수산업도 활성화됐습니다. 뿐만 아니라 이집트와 수단 여행을 수월하게 하는 등 많은 긍정적인 효과를 얻을 수 있었습니다. 그러나 댐 건설은 생태계 및 주위환경에 미친 부정적인 영향도 큼니다. 먼저 나일 강변의 수많은 유적지가 물에 잠겼고, 수장 위험에 처해진 유물들을 옮기는데 막대한 비용이 들었습니다. 댐에 갇힌 물의 일부가 증발로 인해 계속 감소되는 문제도 있습니다. 그리고 댐이 모래와 진흙의 흐름을 막아 하류로 흘러가는 물이 영양분과 모래를 제대로 운반하지 못하기 때문에 농토에 영양분을 공급하기 위해 인공비료를 사용해야 하고, 모래를 이용해 벽돌을 만들어 왔던 사람들은 더 많은 모래를 얻기 위해 경작지를 파헤쳐야 합니다. 또한 갇혀있는 댐의 물에 다량의 식물성플랑크톤이 번식하므로 이 물을 식용으로 사용하기 위해서는 더 많은 양의 염소를 이용해 소독해야 했습니다. 만약 댐이 붕괴될 경우로 인한 인명 및 재산 피해 등도 간과할 수 없습니다. 우리나라에 있는 댐들도 이와 비슷한 장단점을 가지고 있습니다.

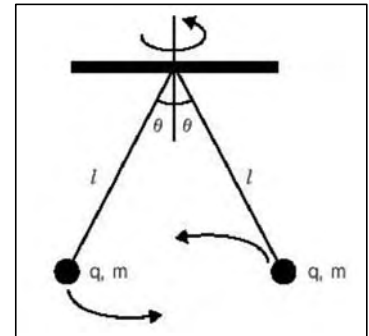
## 2. 가까이 하기엔 너무 먼 전하-전기력

- 1) 그림과 같이 중력이 미치는 공간의 균일한 전기장 내에서 대전된 구가 줄에 매달려 있다. 구는 전기력에 끌려 천장으로부터 각도  $\theta$ 를 이룬 채 기울어져 있을 때, 각도  $\theta$ 를 주어진 값들로 표현하라.
- 2) 그림과 같이 두 대전된 구가 천장의 같은 지점으로부터 같은 길이의 줄로 연결돼 있다. 대전된 구의 전하량이 같을 때 구를 매단 줄이 받는 장력  $T$ 의 크기를 구해라.
- 3) 2)번 문제에서 두 대전된 구가 서로 마주한 채 중심축을 따라 회전하기 시작했다. 회전선속도를  $v$ 라 할 때 실의 장력  $T$ 는 어떻게 되는지 역시 주어진 값들로 표현하라.



### ▶ 전문가 클리닉

대전된 물체는 서로 끌어당기거나 밀어내는 성질이 있다는 정전기 현상으로 인해 전하의 존재가 밝혀졌고, 그로부터 오늘날의 전자기학과 첨단 전자공학이 발전했다는 사실은 주지의 사실입니다. 크거나 무게를 직접 느낄 수 없는 ‘전하’라고 하는 물리적 현상으로부터 전혀 새로운 분야가 개척됐다고 볼 수 있습니다. 전하 또는 전하를 띤 물체가 운동 역학적으로 어떤 변화를 보이는가에 대한 질문이 전자기학을 배울 때 주로 접하게 되는 문제이고 중요한 기초가 됩니다. 예를 들어 전하와 전하 사이에 작용하는 쿨롱의 힘으로부터 물체는 운동을 할 수 있고, 그것은 마치 중력장에서 물체가 운동하듯이 전하에만 작용하는 전기장이 존재한다는 개념으로 설명할 수 있습니다. 또한 이는 운동역학과 유사한 면이 많기 때문에 전자기적 측면과 운동 역학적 측면을 고루 점검할 수 있는 구술 면접의 단골 메뉴입니다. 기초적인 문제를 다뤄보고 심화학습을 준비하도록 합시다.



### ▶ 예시답안

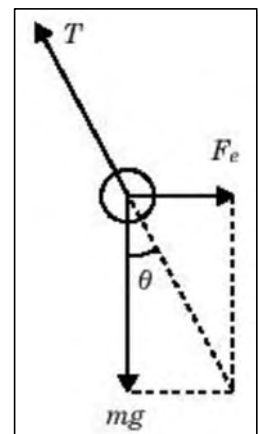
- 1)  $d$ 만큼 떨어진 평행판에 전압  $V$ 가 걸려있을 때 두 평행판 사이에 흐르는 전기장의 세기는,  $E=V/d$ 입니다. 따라서 균일한 전기장 내에서 전하  $q$ 가 받는 힘의 크기는  $F_e=qE=qV/d$ 가 됩니다. 또한 구는 아래 방향으로 중력을 받고 있으므로, 실에 걸린 장력의 방향을 고려해보면,

$$\tan\theta = \frac{F_e}{mg} = \frac{qV}{mgd}$$

$$\text{또는 } \theta = \tan^{-1}\left(\frac{qV}{mgd}\right) \text{이 됩니다.}$$

- 2) 각각의 구는 1)번 문제와 마찬가지로 중력 방향의 힘과 수평방향의 힘이 실의 장력과 평형을 이루고 있다. 대신 이번에는 수평방향의 힘이 전기장에 의한 것이 아니라 이웃한 전하로부터 받는 척력이 된다. 즉 두 유리구 사이의 거리는  $d=2l\sin\theta$ 이므로,

$$F_e = kq^2/d^2 = kq^2/(4l^2\sin^2\theta) \text{이다.}$$





따라서 1)번 풀이의 그림처럼

$$T^2 = F^2 + (mg)^2$$

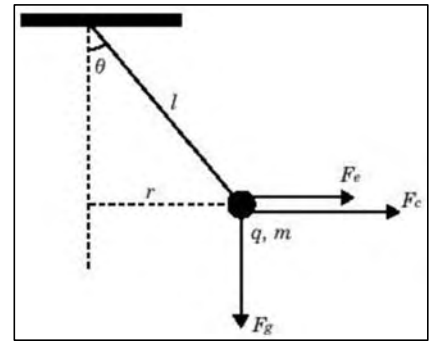
$$T = k^2 q^4 / (4l^4 \sin^4 \theta) + m^2 g^2 \text{ 이 됩니다.}$$

- 3) 2)번 문제에서 유리구에 작용하는 힘에 ‘원심력’이 더 추가된 상황입니다. 원심력을 구하기 위해 원운동의 선속도와 회전 반지름을 알면 되는데 여기서 회전 반지름은 유리구를 매단 줄이 아니라 회전축으로부터 수직으로 떨어진 거리라는 점만 유의하면 어렵지 않게 문제를 풀 수 있습니다. 즉,

$$F_e = \frac{kq^2}{4l^2 \sin^2 \theta}, \quad F_c = \frac{mv^2}{r} = \frac{mv^2}{l \sin^2 \theta}, \quad F_g = mg$$

$$\therefore T = \left( \frac{kq^2}{4l^2 \sin^2 \theta} + \frac{mv^2}{l \sin^2 \theta} \right)^2 + m^2 g^2$$

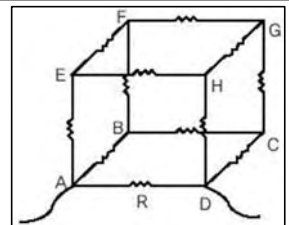
(단  $F_e$ 는 전기력,  $F_c$ 는 원심력,  $F_g$ 는 붕력)



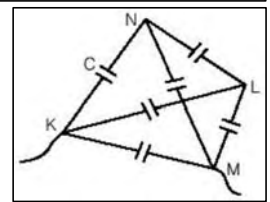
### 3. 엉킨 실을 풀어내는 법칙-키르히호프의 법칙

다음 여러가지 3차원 회로에서 전체 저항과 전체 전기용량을 구해봐라.

- 1) 다음 정육면체 구조의 회로 각 변에 균일한 저항 R이 연결돼 있을 때, A와 D 사이의 전체저항을 구하라.



- 2) 다음 정사면체 구조의 회로 각 변에 균일한 축전지 C가 연결돼 있을 때 K와 M 사이의 전체 전기용량을 구하라.



### ▶ 전문가 클리닉

저항이나 축전지가 여러개 연결돼 있는 회로를 분석하기 위해서는 먼저 전체 저항이나 전체 전기용량을 구해야 합니다. 그래야만 회로에 흐르는 전체 전류를 알 수 있고, 다시 그 전류로부터 저항이나 축전지 하나하나에 흐르는 전류를 구할 수 있기 때문입니다. 하지만 복잡하게 얽힌 회로에서 전체저항을 구하기가 까다롭습니다.

그때 써먹을 수 있는 유용한 법칙이 바로 키르히호프 법칙입니다. 키르히호프 법칙은 (1) 닫힌회로를 한바퀴 돌아 제자리에 오면 전압강하가 0이 돼야 한다는 것, 그리고 (2) 한 점으로 들어오는 전류의 양과 그 점으로부터 나가는 전류의 양은 같아야 한다는 것입니다. 즉 어떠한 회로를 거치더라도 다시 원래의 자리에 돌아왔다면 그 위치의 전위는 달라져 있어선 안된다는 것이고, 저항이 없는 곳에선 전류는 보존돼야 한다는 기본 원리로부터 만들어진 것입니다. 복잡한 회로를 분석하는 필수 도구인 키르히호프 법칙을 철저히 익혀두고, 아울러 특별한 경우에 키르히호프 법칙을 쓰지 않고 문제를 푸는 간단한 방법도 익혀둡시다.

### ▶ 예시답안

- 1) 오른쪽 그림과 같이 각 저항을 지나는 전류를 구분해서 표기합니다. 이때 전류의 방향은

임의로 정해도 좋으며 대신 결과가 (-)가 되면 전류의 방향은 반대임을 의미합니다. 먼저 구조의 대칭성을 고려하면 다음의 결과를 쉽게 생각해 낼 수 있습니다.

$$i_1=i_5=i_3=i_{12}, i_6=i_7=i_9=i_{11}, i_2=i_{10}$$

꼭지점 몇 군데에서 전류보존 공식을 써 보면,

$$i=i_1+i_5+i_4=2i_1+i_4$$

$$i_1=i_6+i_2$$

$$i_8=i_6+i_7=2i_6$$

이 됩니다. 그림에서 윗면을 감싸는 폐회로와 앞면의 폐회로에 대한 전위 공식을 쓰면,

$$i_6R+i_8R+i_9R-i_2R=0$$

$$i_1R+i_2R+i_3R-i_4R=0$$

전류 관계식을 넣어서 정리해보면,

$$i_2=4i_6, i_1=5i_6$$

$$i_4=14i_6$$

$$\therefore i=i_1+i_5+i_4=24i_6$$

이 됨을 알 수 있습니다. 전체 저항을 알기 위해 위의 회로는 다음과 같이 생각할 수 있습니다.

즉  $i'=10i_6$ 이므로  $R'=\frac{7}{5}R$ 이고 전체 저항은

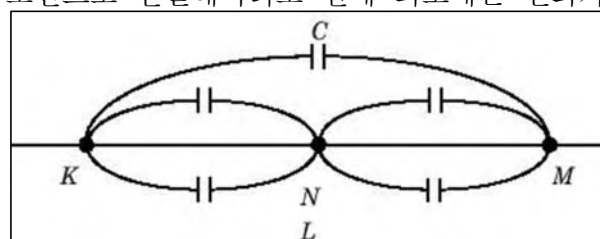
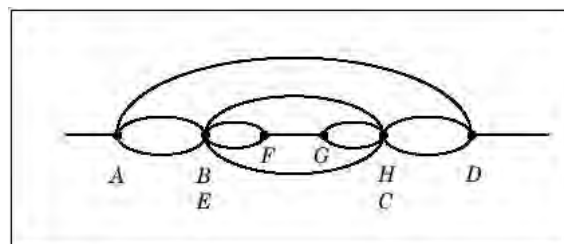
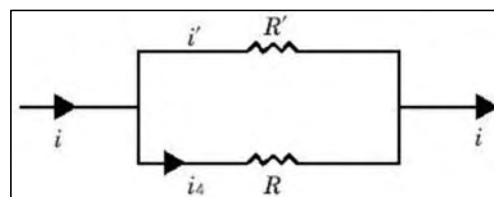
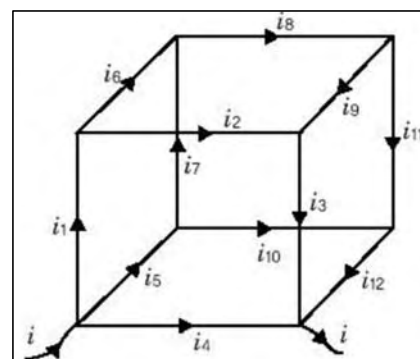
$$R_t = \frac{1}{\frac{1}{R} + \frac{5}{7R}} = \frac{7}{12}R \text{ 이 됩니다.}$$

다른 방법으로 이 문제를 풀어봅시다. 문제 그림에서 E점과 B점, H점과 C점은 각각 대칭이므로 전위가 같습니다. 즉 두 점 사이를 저항이 없는 전선으로 연결해도 같다는 의미가 됩니다. 그 원칙에 의해 회로를 평면상에 구현해 보면, 위의 그림과 같아서 쉽게 전체 저항을 구할 수 있습니다. 즉 등전위점을 찾는 것만으로도 회로 분석은 한 층 쉬워집니다.

- 2) 역시 등전위점을 찾아서 풀어보도록 하겠습니다. 주어진 그림에서 등전위점은 N과 L입니다. K에서 출발한 전류가 N과 L 어느 위치로 가나 똑같음을 알 수 있습니다. N과 L이 등전위점이므로 그 사이의 축전지에는 아무런 전하도 저장되지 않으며, N과 L을 그냥 도선으로 연결해버려도 전체 회로에는 변화가 없게 됩니다. 이에 따라 회로도들 간단히 구현해 보면, 우측 그림과 같이 나타낼 수 있습니다.

전기용량 합성법에 의해 풀어보면 전체 전기용량  $C_t$ 는,

$$C_t = C + \frac{1}{\frac{1}{2C} + \frac{1}{2C}} = 2C$$

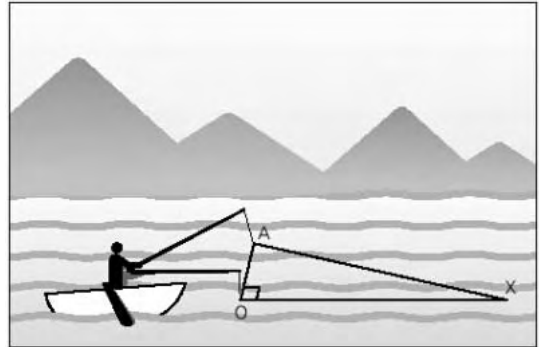


## 2004년 06월호-물리 면접구술고사 완벽가이드

이번 호에서는 파동이론과 입자물리 등 현대물리 분야를 다뤘습니다. 학교 진도가 아직 이 부분까지 나가지 않아 내용이 생소한 수험생도 많겠지만 대학별고사가 고등학교 현실을 고려해서 출제되는 것이 아닌 만큼 주요 개념과 원리만큼은 미리 익혀두시길 바랍니다. 특히 1학기 수시모집에 응시하는 수험생의 경우는 필히 알아둬야 합니다.

### 1. 물결 무늬에도 과학이(한양대 2002학년도 기출문제 응용)

바람 한 점 없는 화창한 초여름 춘천 소양호에 놀러 가서 배를 탄 한일이는 문득 물리 시간에 배운 파동의 간섭 원리를 확인하고 싶었다. 그래서 다음 그림과 같이 긴 막대기 두개를 이용해서 거리가 3m 떨어진 두 점파원(A, O)으로부터 위상이 같은 정상적인 물결파(사인파) 두개를 만들었다. 두 물결파 모두 파장은 1m다. 다음 물음에 답하시오(단 두 점파원에 의해 직접 도달되는 파만 고려한다).



- 1) 한일이가 수면파 생성을 위해 막대를 2초당 1회씩 진동시켰다면 수면파의 속도는 얼마일 것인가?
- 2) 하나의 수면파만 고려했을 때, 점파원이 마루(최대 위상)인 상태에서 점파원으로부터  $x(m)$ 만큼 떨어진 곳의 파동의 위상  $y(x)$ 를 사인함수로 나타내시오.
- 3) 점 O로부터  $x(m)$ 만큼 떨어진 곳에서 두 수면파의 경로차  $\Delta x$ 를  $x$ 의 함수로 나타내고,  $\lim \Delta x$ 를 구하시오(단 삼각형 AOX는  $\angle AOX$ 가  $90^\circ$ 인 직각삼각형이다).
- 4) 한일이가 가만히 보니 O-X축 상에서 전혀 수면이 진동하지 않는 곳과 각 수면파보다 훨씬 큰 진폭으로 진동하는 곳이 정해져 있었다. 두 수면파가 보강간섭해 진폭이 커진 곳의 위치를 모두 구하시오.

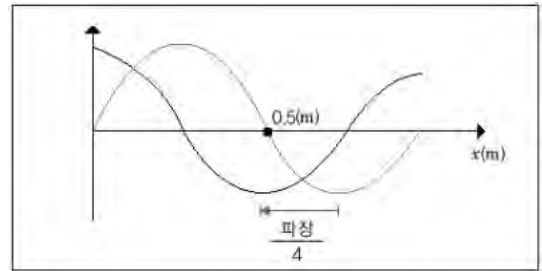
### ▶ 전문가 클리닉

파동에 대한 그간의 심층면접 질문들은 ‘파동이란 무엇인가?’ ‘파동을 기술하는 물리량 중 파장, 진폭, 주파수, 주기, 위상 등의 의미를 설명하시오’ ‘빛의 이중성에 대해 설명하시오’ ‘빛의 간섭 현상에 대해 설명하시오’ ‘신기루 현상을 설명해보라’ 등 개념과 원리를 묻는 유형과 위 문제처럼 수리적 해결능력까지 묻는 유형으로 구분된다. 극히 추상적인 파동이론은 고등학생 인지수준으로 완벽히 이해하는 것은 거의 불가능하지만 자주 접하는 현상들과 교과서 내 개념원리를 서로 연결짓는 연습을 꾸준히 해둔다면 파동 관련 문제들을 어렵지 않게 해결할 수 있을 것이다.

### ▶ 예시답안

- 1) 한일이가 만든 수면파의 파장이 1m이고 진동수가 0.5Hz(회/초)이므로 파의 속도는  $v = f\lambda = 0.5 \times 1 = 0.5(m/s)$ 입니다.
- 2) 우측 그래프와 같이 파장이 1m이고 진동수가 0.5Hz인 파동의 원래 사인곡선을 x축 상에서-파장

/4 만큼 이동한 것과 같으므로 점 O로부터 x(m)만큼 떨어진 곳의 위상  $y(x)=\sin(2\pi(x+0.25))$ 가 됩니다.



- 3) 세점 A, O, X를 꼭지점으로 하는 직각삼각형의 빗변의 길이가  $\sqrt{x^2+3^2}$  이므로 경로차  $\Delta x = \sqrt{x^2+3^2} - x$  입니다.

$$\lim \sqrt{x^2+3^2} = x \text{ 이므로 } \lim (\sqrt{x^2+3^2} - x) = 0, \\ \text{즉 } \lim \Delta x = 0 \text{ 입니다.}$$

- 4) 보강간섭이 되려면 경로차가 파장의 정수배가 돼야 합니다. 즉 파장 1m의 정수배가 되면 됩니다.

$$\Delta x = \sqrt{x^2+3^2} - x = n \times 1(m) \quad (n=1, 2, 3, \dots)$$

좌변의 x를 우변으로 이항시키면  $\sqrt{x^2+3^2} = x+n$ 이 되고 양변을 제곱하면  $x^2+9 = x^2+2nx+n^2$ 입니다. 따라서  $x = \frac{9-n^2}{2n}$ 에서  $x \geq 0$ 이므로 이를 만족하는 n은 1, 2, 3 밖에 없습니다.

$$n \text{이 } 1 \text{이면 } x=4(m)$$

$$n \text{이 } 2 \text{ 이면 } x=5/4=1.25(m)$$

$$n \text{이 } 3 \text{ 이면 } x=0(m) \text{ 즉 원점인 O점입니다.}$$

따라서 정답은 O점, O점으로부터 1.25m와 4m 떨어진 곳입니다.

## 2. 자이로드롭이 고장난다면(2004학년도 서울대 정시문제 응용)?

철승이네 가족은 5월 가정의 달을 맞아 놀이공원으로 가족여행을 갔다. 여러가지 놀이기구 중에서도 고공에서 자유 낙하하는 자이로드롭이 가장 스릴 있고 재미있었다. 몇번이고 자이로드롭을 타던 철승이는 문득 이곳에 정전이 난다거나 자이로드롭을 지탱하는 줄이 끊어진다고 하면 어떻게 하든 의문이 생겼다. 자이로드롭이나 엘리베이터와 같이 고공에서 추락할 위험이 있는 기구가 아무런 전력 공급 없이도 스스로 안전하게 멈추게 하기 위해 전자기 유도 현상이 이용된다. 다음 문제를 풀어보자.

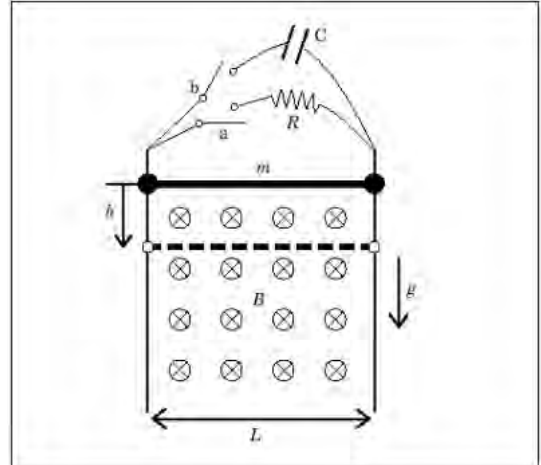
- 1) 질량이 m이고 길이가 L인 쇠막대가 지표면에 수직으로 세워진 평행한 레일에 놓여있고 레일 면과 수직하게 균일한 자기장 B가 걸려있다. 스위치 a나 b를 닫고, 쇠막대가 낙하하는 동안 쇠막대에 흐르는 전류의 방향을 표시하고, 쇠막대에 작용하는 힘의 종류와 방향을 표시해라(단 자기장의 방향은 지면으로 들어가는 방향이다).
- 2) 스위치 a를 닫고, 쇠막대를 정지상태로부터 자유낙하시켰다. 레일이 충분히 길다고 했을 때 쇠막대의 종단속력을 주어진 값들로 표현하라(단 쇠막대와 레일의 마찰은 무시한다).
- 3) 스위치 b를 닫고, 쇠막대를 정지상태로부터 자유낙하 시켰다. 쇠막대가 h만큼 내려왔을 때 쇠막대의 속력은 어떻게 되겠는지 주어진 값들로 표현하라.
- 4) 추락하는 자이로드롭이 안전하게 지상에 착륙하기 위해 전자기 유도 현상을 이용하고자 한다면 어떤 점을 고려해야 할지 논의해보라.

## ▶ 전문가 클리닉

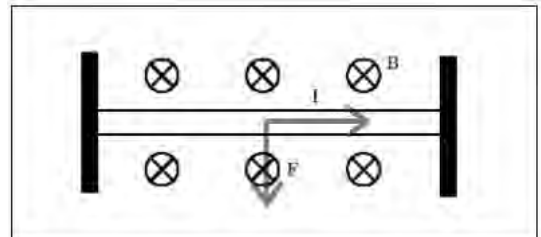
전자기 유도 현상은 구술시험의 단골 출제 메뉴입니다. 전자기 유도 현상은 전자기학과 역학을 연결시켜주는 거의 유일한 통로이며 힘과 운동에 관한 이해력도 함께 판단할 수 있기 때문입니다. 거의 매년 교과형 심층면접을 치르는 대학들에서 출제됩니다. 특히 2004학년도 서울대 구술면접에서는 역학적 에너지와 전기 에너지 사이의 에너지 변환에 대한 이해도를 묻는 난이도 있는 문제가 출제돼 많은 수험생들을 당황시켰습니다. 전자기 유도 현상의 기본원리를 완벽하게 익히고 보다 다양한 문제들을 많이 접해보려는 노력이 꼭 필요합니다.

## ▶ 예시답안

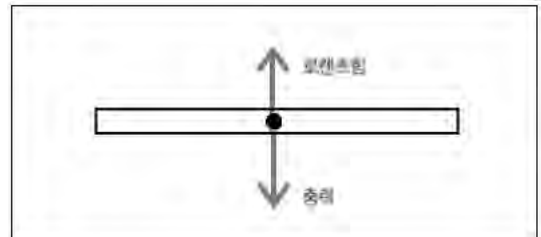
- 1) 전자기 유도 현상에서 유도 기전력 또는 전류의 방향은 ‘플레밍의 오른손 법칙’으로부터 구할 수 있습니다. 검지를 자기장 방향으로 두고, 엄지를 힘의 방향, 즉 여기서는 중력방향으로 댔을 때 중지가 가리키는 방향이 쇠막대에 흐르는 전류의 방향이 됩니다. 따라서 전류는 왼쪽에서 오른쪽으로 흐릅니다.



전류가 흐르는 도선이 자기장 영역에 들어가면 로렌츠 힘을 받습니다. 이때 로렌츠 힘의 방향을 알아내기 위해 ‘플레밍의 왼손 법칙’을 사용합니다. 즉 왼손 중지를 전류방향으로, 검지를 자기장 방향으로 했을 때 엄지가 가리키는 방향이 도선이 받는 로렌츠 힘의 방향입니다.



위 문제에 적용시켜보면 로렌츠 힘의 방향은 윗방향이 됩니다. 따라서 쇠막대가 받는 힘의 종류와 방향은 우측 그림처럼 표현할 수 있습니다.



이것은 또한 이렇게 해석할 수도 있습니다. 렌츠의 법칙에 따르면 자연은 변화를 거스르는 방향으로 작용하므로 중력에 의해 아래로 잡아 당겨지는 쇠막대에 대해 그 변화를 거스르는 방향인 중력 반대방향으로 로렌츠의 힘이 작용하는 것입니다.

- 2) 위 1)번 문제를 살펴보면 쇠막대에 작용하는 두 힘, 중력과 로렌츠 힘이 같으면 쇠막대는 등속운동을 하게 되는데 그때의 속력이 바로 종단속력입니다. 쇠막대가 종단속력  $v_t$ 로 움직이고 있을 때 양단에 유도되는 유도기전력  $V$ 는

$$V = \Delta(BA) / \Delta t = BLv_t \text{ 이므로 로렌츠 힘의 크기는}$$

$$FL = BIL = B(BLv_t/R) \quad L = B^2L^2 / R * v_t \text{입니다.}$$

‘ $FL(\text{로렌츠힘}) = Fg(\text{중력})$ ’일 때 일정한 속력으로 추락하므로 종단속력  $v_t$ 는  $v_t = \frac{mgR}{B^2L^2}$ 입니다.

- 3) 저항대신 축전지를 연결하면 쇠막대가 낙하하는 동안 양단에 유도된 유도기전력이 열에너

지로 소멸하지 않고 축전지에 저장됩니다. 에너지 보존법칙을 적용하면 쇠막대가 정지상태로부터 h만큼 낙하하는 동안 감소한 위치 에너지는 쇠막대의 운동에너지와 축전지의 전기 에너지로 변환됩니다. 따라서 속력을 구해보면

$$mgh = \frac{1}{2} mv^2 + \frac{1}{2} CV^2 = \frac{1}{2} mv^2 + C(BLv)^2$$

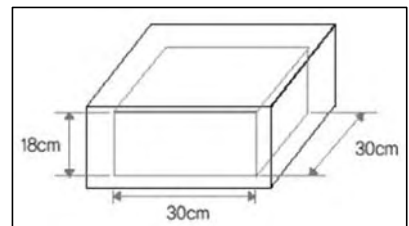
$$\therefore v = \sqrt{(2mgh/m + CB^2L^2)} \text{가 됩니다.}$$

- 4) 자이로드롭이 추락하면 높은 곳에서 지니고 있던 위치 에너지가 모두 운동 에너지로 변환되면서 큰 속력으로 땅에 떨어지기 때문에 탑승객은 큰 충격을 받을 수 있습니다. 속력을 늦추기 위해선 위치 에너지를 다른 형태의 에너지로 전환시킬 필요가 있습니다. 가장 쉬운 방법은 마찰을 이용하는 것이지만 마찰은 일정하지가 않고 시간이 지남에 따라 변화할 수 있으므로 부적합합니다. 전자기 유도현상을 이용한다면 강한 자기장 내에서 움직이는 도체는 내부에 유도된 전류로 인한 로렌츠 힘을 받게 돼 속력을 적당히 늦출 수 있습니다. 이때 나머지 에너지들은 회로에서 열 에너지 또는 축전지의 전기 에너지로 변환될 것입니다. 2) 번과 같은 회로에서는 자기장이 클수록, 회로의 저항이 작을수록, 유도 기전력이 발생하는 구간(여기서는 쇠막대의 길이)을 크게 할수록 종단속력이 작아져 보다 안전하게 착륙할 수 있습니다. 그러나 종단속력에 다다르기 위해 요구되는 낙하길이가 지나치게 길어지면 아무 소용없으므로 3)번과 같이 축전지를 함께 적용해 자이로드롭이 땅에 닿기 전에 이러한 종단속력에 다다를 수 있도록 설계해야 합니다.

### 3. 전자레인지에 숨겨진 과학

평소 전자레인지로 맛있는 요리를 똑딱 만들어 주시는 경수 어머니는 어느날 경수에게 전자레인지가 어떤 원리로 음식을 데우는지 물어보셨다. 경수는 인터넷을 검색해 마이크로파를 음식에 쏘아서 물분자를 진동시켜 온도를 높인다는 사실을 알아냈다. 하지만 경수는 새로운 의문이 생겼다. 마이크로파도 일종의 파장이기 때문에 자칫 서로 간섭을 일으켜 상쇄될 수도 있지 않을까 하는 의심이 생긴 것이다. 그런데 마이크로파를 상쇄시키지 않고 전자레인지 내부에 오랫동안 존재하도록 하기 위해 정상파 조건을 이용한다. 다음 물음에 답하라.

- 1) 전자레인지 내부공간의 모양을 살펴보니 우측과 같았다. 마이크로파는 전자레인지 내부에서 정상파를 이루며 존재한다. 전자레인지의 각 벽면을 마디로 하는 정상파 중에 파장이 가장 긴 마이크로파의 파장 길이는 얼마인가?



- 2) 마이크로파는 전자기파의 일종이다. 1)번 결과에서 얻은 마이크로파의 진동수는 얼마인가 (단, 공기 중에서 전자기파의 속력은  $3 \times 10^{10} \text{cm/s}$ 이다)?
- 3) 물분자는 산소원자와 수소원자가 스프링으로 연결돼 진동하는 것으로 가정할 수 있다. 이 스프링의 고유진동수와 일치하는 전자기파를 쏘아주면 물분자의 진동이 커져서 결국 열이 발생하게 된다. 위에서 구한 마이크로파의 진동수로부터 산소원자와 수소원자에 결합력을 주는 스프링 상수를 구하라(단 수소원자의 질량은  $1.67 \times 10^{-27} \text{Kg}$ 이고, 산소원자의 질량은 수소원자에 비해 무한히 크다고 가정한다).

### ▶ 전문가 클리닉

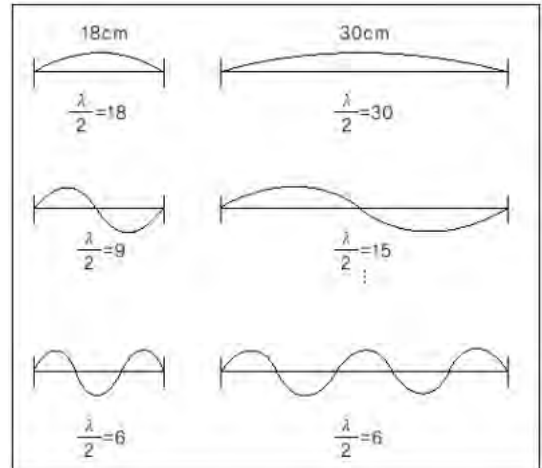
일상생활에서 흔히 전자 장비들의 기본 원리는 고등학교 물리만으로도 대부분 충분히 이해할 수 있습니다. 이미 전에도 냉장고나 에어컨, 선풍기, 텔레비전과 같은 가전제품의 원리들을 열

역학이나 전자기학 측면에서 다른 적이 있습니다. 이번 호에서는 전자기의 원리를 파동이론과 입자이론의 측면에서 다뤘습니다. 아주 심도 있는 분석은 어렵겠지만 고교 물리 수준의 기초적인 원리를 이해한다면 충분히 문제를 해결할 수 있을 것입니다. 또한 주변에서 볼 수 있는 친숙한 현상들을 그냥 지나치지 말고 물리적으로 분석해보는 습관을 기르면 구술 면접 준비에 큰 도움이 될 것입니다.

## ▶ 예시답안

- 1) 전자레인지 내부에는 세 방향으로 정상파가 존재할 수 있으며 직육면체의 세 변의 길이는 정상파의 반파장 길이의 정수배가 되리란 것을 짐작할 수 있습니다. 그런 정상파 가운데 가장 파장이 긴 것을 구하기 위해 다음 그림을 통해 생각해봅시다.

반파장의 길이가 6cm일 때 전자레인지 내부 모든 곳에서 정상파를 이룰 수 있습니다. 따라서 파장이 가장 긴 정상파의 파장의 길이는 12cm입니다.



- 2) 파동의 속력과 진동수와 파장은 다음과 같은 관계를 만족합니다.

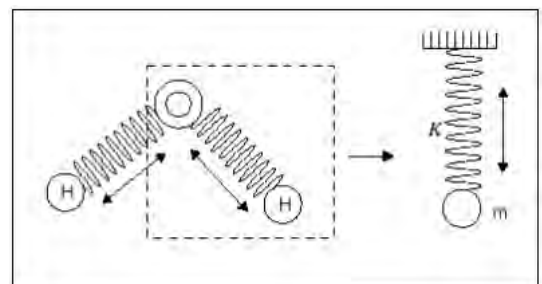
$$v = \lambda f \text{ (f는 진동수)}$$

따라서 마이크로파의 진동수를 구하면

$$f = v/\lambda = 3 \times 10^{10} \text{ cm/s} / 12 \text{ cm} \approx 2.5 \times 10^9 \text{ Hz} = 2.5 \text{ GHz}$$

입니다.

- 3) 물분자 내에서 수소원자가 진동하는 형상을 그림과 같이 용수철에 매달린 물체의 운동으로 표현할 수 있습니다. 이 용수철의 고유진동수가 2.5GHz일 때 스프링 상수는 다음과 같이 구할 수 있습니다.



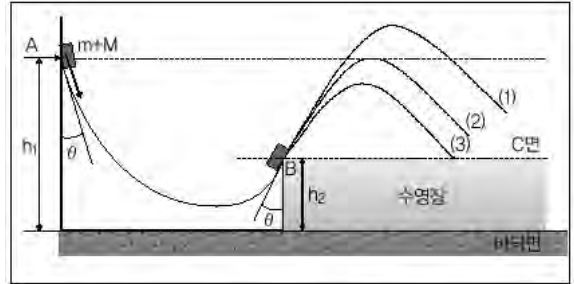
$$T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k}} \text{ 이고, } T = \frac{1}{f} \text{ 이므로 } f = \frac{1}{2\pi} \cdot \sqrt{\frac{k}{m}}$$

## 2004년 07월호-물리 면접구술고사 완벽가이드

이번 호에서는 경사면에서의 운동, 낙하운동, 선풍기의 원리, 자기장 내에서 전하의 운동 등의 현상을 다루며, 역학적에너지 보존원리, 힘과 운동, 열역학 법칙과 로렌츠의 힘 등의 주요 개념원리를 설명했습니다. 특히 역학적에너지 보존원리와 힘과 운동은 과학논술 문제에서도 여러 번 등장했기 때문에 이를 준비하는 수험생들은 확실하게 정리하시기 바랍니다.

### 1. 공부가 장난인가요?-역학적에너지 보존원리(2004학년도 1학기 한양대 수시모집의 응용)

우측 그림의 놀이기구는 바퀴를 단 심해잠수정(총 질량  $M(Kg)$ )으로 미끄러져 내려간 후 수영장에 빠져 잠수한다. 한 가지 특이한 점은 잠수정의 위쪽 지붕 바깥에 공기와 평균밀도가 같은 풍선이 줄에 매달려 있는데, 탑승자가 언제든지 풍선의 줄을 끊을 수 있다. 질량  $m(Kg)$ 인 승우가 탑승해 다음 그림과 같이 마찰이 없는 곡면을 따라 A지점에서부터 미끄러져 내려왔다. 양쪽 경사면은 동일한 경사각을 가지며, 바닥면에서 A지점까지의 높이는  $h_1$ , B지점까지의 높이는  $h_2$ 이다. 다음 질문에 답하시오(단  $h_1 > h_2$ 이며 공기의 저항은 무시하고, 중력가속도는  $g$ 로 한다).



- 1) B지점에 도달했을 때 잠수정의 속도의 크기를 구하시오.
- 2) 잠수정이 B지점을 통과한 후 그림의 (1), (2), (3) 중 어떤 경로를 따라 운동하겠는가? 그 이유는 무엇인가?
- 3) 잠수정이 B지점을 통과한 후 B지점의 수평면(C면)으로부터 최고도달높이를 구하시오.
- 4) B지점 통과 후 승우가 어떤 위치에서 풍선의 줄을 끊으면 풍선이 위아래로 이동하지 않고 고도를 유지하겠는가?

### ▶ 전문가 클리닉

심층면접이나 과학논술에서 번지점프, 청룡열차, 자이로드롭 등은 자주 등장하는 소재입니다. 재미 삼아 타는 놀이기구지만 그것의 원리를 정확하게 설명해야 하는 상황이라면 ‘추억은 멀고 질문지는 가깝다’라는 생각이 절로 들만 하겠죠? 그러나 살아있는 지식이란 교과서에서 익힌 원리가 실제 현상에 적용돼 유기적으로 연결되어야 하는 것이 아닐까요?

### ▶ 예시답안

- 1) 역학적에너지 보존원리에 의해 A지점에서 물체의 위치에너지와, B지점에서의 위치에너지와 운동에너지의 합이 같으므로 다음의 식이 성립합니다.

$$(m+M)gh_1 = (m+M)gh_2 + \frac{1}{2}(m+M)v^2$$

( $v$ 는 B지점에서의 속도의 크기)

$$\therefore v = \pm \sqrt{2g(h_1 - h_2)}$$

이 식에서  $h_1 > h_2$ 이기 때문에  $v$ 는 0이 아닌 양의 값  $\sqrt{2g(h_1 - h_2)}$ 이 답입니다.



- 2) (2)의 경로로 운동합니다. B지점에서 잠수정은 C면에 대해  $(90^\circ - \theta)$ 의 각도를 가지고  $\sqrt{2g(h_1 - h_2)}$ 의 속력으로 비스듬히 던져 올린 물체의 운동을 합니다. 그리고 역학적에너지 보존 원리를 고려했을 때 B지점에서 잠수정의 수평방향의 속도는  $\sqrt{2g(h_1 - h_2)} \cdot \cos(90^\circ - \theta)$ 입니다. 수평방향으로는 이 속도를 유지하며 등속도 운동을 하기 때문에 경로 (1)처럼 최고점의 높이가  $h_1$ 보다 더 높거나 경로 (3)처럼  $h_1$ 보다 더 낮을 수 없습니다. 따라서 경로 (2)가 정답입니다.
- 3) C면에 대해  $(90^\circ - \theta)$ 의 각도를 가지며  $\sqrt{2g(h_1 - h_2)}$ 의 속력으로 비스듬히 던져 올린 물체의 최고높이를 묻는 문제입니다.  $2g(h_1 - h_2)$ 의 수직성분  $\sqrt{2g(h_1 - h_2)} \cdot \sin(90^\circ - \theta)$ 를 초속도( $v_0$ )로 하고, 나중속도( $v$ )가 0이 될 때까지 상승한 높이를 구하면 됩니다.  $v^2 - v_0^2 = 2aS$  관계식을 활용하면  $0^2 - (\sqrt{2g(h_1 - h_2)} \cdot \sin(90^\circ - \theta))^2 = 2gS$ 이고,  $(\sqrt{2g(h_1 - h_2)} \cdot \sin(90^\circ - \theta))^2$ 를 A라 하면  $S = \frac{A}{2g}$ 입니다. 따라서 정답은 '잠수정이 C면에 대해  $\frac{A}{2g}$  (여기서 A는  $2g(h_1 - h_2) \cdot \sin^2(90^\circ - \theta)$ ) 만큼 올라간 후 다시 내려온다'입니다.
- 4) 정답은 3)번 문항의 답,  $\frac{A}{2g}$  (여기서 A는  $2g(h_1 - h_2) \cdot \sin^2(90^\circ - \theta)$ )과 동일합니다. 풍선이 위아래로 움직이지 않으려면 풍선의 수직방향 운동속도가 0이고, 풍선에 수직방향으로 작용하는 힘들의 합력이 0이어야 합니다. 최고점에서는 두 조건을 모두 만족시킵니다.

## 2. 면접만 하면 떨어진다?—중력장 내의 운동(2004학년도 2학기 동국대 수시모집)

- 1) 빗방울이 대기 중에서 지표면으로 떨어질 때 빗방울 속도는 중력가속도와 시간의 곱에 비례해 무한히 증가하지 않는다. 이유를 설명하시오.
- 2) 우리의 대기가 다른 가스 성분으로 이뤄졌다면 빗방울의 속도는 어떻게 될까?
- 3) 물과 기름 그리고 아무것도 채우지 않은 3m의 기다란 유리관 속에서 조그만 구슬을 낙하시키면 구슬의 낙하 속도는 어떻게 달라질까?

### ▶ 전문가 클리닉

심층면접 물리 문항에는 유난히 '떨어진다'라는 표현이 많습니다. 가뜰이나 긴장되는 면접에서 그다지 듣고 싶은 표현은 아니지만, 물체의 운동과 힘의 관계를 질문할 수 있는 적절한 소재임에는 틀림없습니다. 공이 떨어지고, 빗방울이 떨어지고, 놀이기구가 떨어지고...

이 문제 출제자의 의도는 수험생이  $v=gt$  및 공기의 저항에 따른 효과 등 기본적인 물리법칙을 이해하고 논리적으로 유추할 수 있는지를 알아보는 것입니다. 더 구체적으로는 다음과 같은 내용을 중심으로 수험생을 평가합니다.

- 공기저항이 없을 때 속도  $v$ 는 중력가속도( $g$ )×낙하 시간( $t$ )에 비례한다.
- 공기의 저항이 작용하면 속도는 시간에 일차식으로 비례해 계속 증가하지 않는다. 왜냐하면 속도가 클수록 공기의 저항력( $F=-kv$ ;  $k$ 은 저항계수)은 속도에 비례하기 때문이다. 따라서 결국 빗방울 속도는 일정하게 유지된다.
- 대기의 성분에 따라 빗방울에 대한 저항력은 달라진다. 따라서 대기의 성분에 따라 종단속도에 도달하는데 걸리는 시간뿐만 아니라 종단속도 값도 달라진다.
- 전술한 물리 지식과 함께 본인의 사고과정을 논리적으로 기술할 수 있는지가 평가된다.

### ▶ 예시답안

- 1) 빗방울의 속도가 커질수록 빗방울 운동방향의 반대방향으로 작용하는 공기의 저항력( $F=-kv$ )도 증가합니다. 이 저항력의 크기가 빗방울에 작용하는 중력( $w=mg$ )의 크기와 같아지면 빗방울에 작용하는 알짜힘은 0이 됩니다. 따라서 그 때부터는 가속되지 않고 일정한 속력으로 떨어집니다.
- 2) 대기가 다른 가스 성분으로 이뤄졌다면 저항계수  $k$ 가 달라지므로 종단속도를 구하는 식  $mg=kv$ 에서  $v$ (종단속도) 값도 달라집니다. 예를 들어  $CO_2$ 같은 분자량이 큰 기체로 대기가 짙은 금성이라면 공기의 저항력과 중력이 평형을 이룰 때 빗방울의 속도가 작기 때문에 지구에서의 낙하와 비교해서 천천히 떨어집니다.
- 3) 구슬은 아무것도 채우지 않은 유리관, 물로 채운 유리관, 기름으로 채운 유리관 순으로 낙하 속도가 늦어집니다. 왜냐하면 진공에서는 저항력이 작용하지 않고, (문제에서의 기름을 점성이 큰 식용유라고 간주하면) 기름은 점성 때문에 물보다 저항계수가 크기 때문입니다. 즉 저항계수는 공기나 물, 기름 등 유체의 점성에 대체로 비례하는데 기름은 물보다 점성이 커서 물체에 더 큰 저항력을 작용하므로 기름에서 구슬이 제일 느리게 낙하합니다. 또한 저항계수는 저항력을 받는 물체의 단면적이나 표면상태에 영향을 받습니다.

### 3. 뜨거운 선풍기? 시원한 선풍기!-열역학 법칙

더운 여름에 시원한 선풍기 바람을 맞으며 열역학 공부를 하던 바람이는 문득 선풍기에는 어떤 열역학적 원리가 숨어있을까 궁금해졌다. 다음 문제를 풀면서 열역학을 공부해보자.

- 1) 밀폐된 공간에서 선풍기를 장시간 틀어놓으면 실내의 온도가 약간 상승한다. 선풍기가 동작할 때 열에너지를 발생시키는 요인들을 찾고, 다른 형태의 에너지 손실은 없는지 찾아봐라.
- 2) 선풍기의 날개를 떼고 전동기의 축을 곧바로 발전기에 연결한 후 선풍기를 작동시키면 전동기에서 발전기가 선풍기를 돌릴 수 있는 전력이 재생산되는지 생각해보고 열역학 제1법칙과 제2법칙에 입각해서 설명하라.
- 3) 외부와의 열 교환이 없는 밀폐된 방 안에서 선풍기는 오히려 열을 발생시킴에도 불구하고 바람이가 시원함을 느끼는 이유를 설명하고, 이것이 열역학 제1법칙에 위배되는지 생각해봐라.

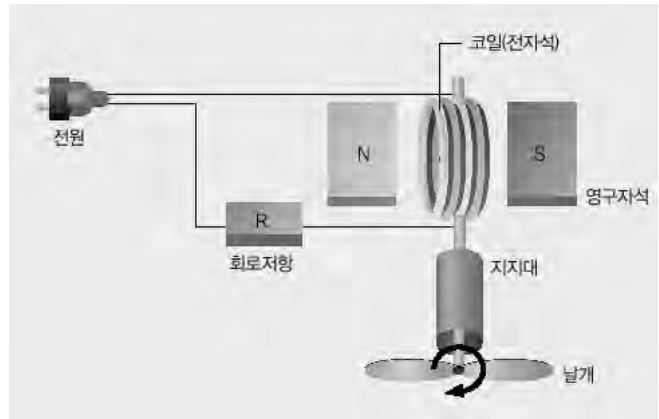
### ▶ 전문가 클리닉

열역학관련 내용을 마무리할 수 있는 좋은 문제입니다. 열역학 법칙의 이해 정도와 이 법칙을 현상에 접목시킬 수 있는 능력을 묻고 있습니다. 열역학 법칙은 에너지 보존에 관한 제1법칙과 엔트로피 증가에 관한 제2법칙이 가장 중요합니다. 그러나 현상적으로는 이 두 법칙이 서로 대립되는 것처럼 보일 때도 있습니다. 즉 제1법칙을 따르자니 제2법칙에 위배되고, 제2법칙에 따르자니 제1법칙에 위배되는 것처럼 보입니다. 그러나 두 법칙은 항상 성립해야 하기 때문에 간과하고 지나친 부분이 없는지 살펴봐야 합니다. 일상생활에서 흔히 접하는 열역학적 현상을 통해 열역학 법칙을 정확히 이해해 봅시다.

### ▶ 예시답안

- 1) 선풍기의 내부를 대략적으로 살펴보면 다음과 같습니다. 선풍기에서는 외부에서 공급된 전류가 회로를 거쳐 코일에 흘러 영구자석으로부터 회전력을 받아 날개를 회전시킵니다. 이때 열역학 제2법칙인 엔트로피 증가법칙에 따라 에너지의 일부는 비가역적으로 다른 형태의

에너지로 변환되는데 대부분은 열에너지로 변환됩니다. 즉 도선이나 선풍기 내부의 전기회로에 존재하는 저항에서 열이 발생합니다. 그리고 전기에너지가 역학적에너지로 바뀌면 전동기의 축이 회전할 때 지지대와 마찰에 의해 열이 발생하고, 선풍기 날개가 회전할 때도 공기와 마찰을 일으키므로 역시 열이 발생합니다. 물론 열에너지 외에도 교류전류는 외부로 전자기파를 방출시키므로 이것도 에너지 손실에 기여합니다. 특히 전동기의 핵심부품인 코일에서는 다량의 자기장을 만들어내므로 이로 인한 에너지 손실도 간과할 수 없습니다.

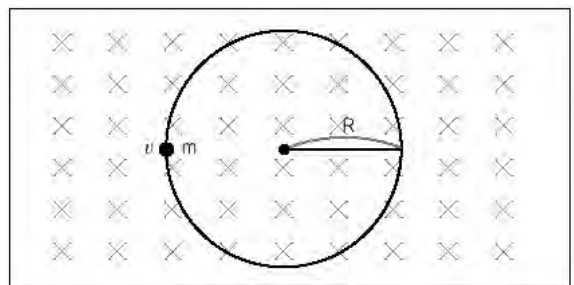


- 2) 이상적인 경우라면 열역학 제1법칙인 에너지 보존법칙에 따라 선풍기에 공급된 전기에너지가 역학적에너지에 해당하는 전동기의 회전운동으로 바뀌고 그 역학적에너지를 다시 전기에너지로 전환 해도 총 에너지는 보존돼야 합니다. 그러나 1)번 문제에서 살펴본 것처럼 실제로 엔트로피 증가법칙에 의해 에너지가 전환될 때 비가역적인 에너지 손실이 발생하므로 1백%의 효율을 기대할 수 없습니다. 그러므로 선풍기의 전동기를 이용해 다시 발전을 해도 처음에 선풍기에 넣어준 전력을 회수하기는 불가능합니다. 참고로 휘발유를 태워 엔진을 구동하는 자동차의 경우 회전력의 일부를 전기에너지로 바꿔 배터리에 저장합니다. 그러나 자동차 내의 에어컨 가동을 위해서는 냉매를 압축시키는 압축기의 모터를 구동시켜야 하는데 이때는 엔진의 회전력으로 직접 모터를 구동시킵니다. 왜냐하면 에너지의 형태를 변환시키는 횟수를 줄여 에너지 손실을 줄이기 위함입니다.
- 3) 선풍기를 밀폐된 공간에 계속 켜놓으면 분명 실내온도는 증가합니다. 외부로부터는 전력이 계속 공급되지만 외부로 빠져나가는 에너지는 없고, 선풍기는 지속적으로 저항열과 마찰열을 발생시키기 때문입니다. 그럼에도 불구하고 선풍기 바람이 시원하게 느껴지는 이유는 피부에 있던 수분이 바람에 의해 증발하면서 피부의 열을 빼앗기 때문입니다. 즉 피부의 온도가 내려가서 신체의 열에너지는 감소했지만, 그 에너지는 수분이 기화하는데 쓰인 것이므로 전체 에너지는 보존되고 열역학 제1법칙에 위배되지 않습니다.

#### 4. 전기장 방향으로 가지 못하는 전하-전자기학, 로렌츠의 힘

그림과 같이 균일한 자기장 속에서 전하가  $+Q$ 인 입자가 자기장에 수직한 평면을 따라 선속도  $v$ 로 원운동을 한다. 전하에 대한 다음 질문에 답해라(단  $\times$ 는 자기장이 지면의 위에서 아래로 향함을 나타내고, 중력에 의한 효과는 무시한다).

- 1) 자기장의 세기를  $B$ 라고 할 때 입자에 작용하는 로렌츠 힘의 크기를 구하고 입자의 회전방향을 설명하라(시계 방향 또는 반시계 방향으로 표현).
- 2) 원운동의 궤도 반지름  $R$ 을 전하의 질량과 전하량 그리고 자기장의 세기로 표현해라(단 전하의 질량은  $m$ 으로 표기한다).



- 3) 이때 자기장과 수직한 방향으로 아주 약한 전기장을 걸어주면 입자의 운동은 어떻게 되는지 그림으로 그려봐라.
- 4) 전기장의 세기를 점점 증가시키면 어느 순간부터 전하는 등속직선운동을 하게 된다. 이때 전기장의 세기는 얼마일까?

## ▶ 전문가 클리닉

전자기학 부분에서는 로렌츠 힘에 관한 문제를 출제했습니다. 물리2는 학교에서 아직 배우지 않았을지도 모르지만 물리1의 ‘전기와 자기’ 단원을 확실히 이해한다면 별무리 없이 풀 수 있는 문제입니다. 로렌츠 힘과 전자기 유도현상과 관련된 부분은 전자기학에서 가장 많이 출제되는 내용입니다. 즉 아주 익숙한 내용인 동시에 다양한 형태의 문제가 출제될 수 있는 분야입니다. 가능한 많은 문제를 풀어보고 각각의 기본원리와 공식을 철저히 파악하는 것이 실전에 대비하는 가장 좋은 방법입니다. 어렵지 않고 자주 접하는 내용이지만 다시 한번 점검해 보도록 합시다.

## ▶ 예시답안

1) 균일한 자기장 속으로 입사한 전하는 로렌츠 힘을 받습니다. 이때 힘의 방향은 항상 전하의 운동 방향에 수직으로 작용하므로 전하는 원운동을 합니다. 로렌츠 힘의 크기는  $F=BQv$  이고, 전하의 운동방향은 로렌츠의 법칙을 따릅니다. 원운동을 하는 전하는 오른손 법칙이 정하는 방향으로 새로운 자기장을 만들어 내는데, 이 자기장의 방향이 처음에 걸어준 자기장의 방향과 반대가 되도록 전하의 회전방향이 결정된다는 것이 로렌츠의 법칙입니다. 문제의 +Q입자가 반시계 방향으로 회전하면 새로운 자기장이 지면 아래에서 위로 발생하므로 이 입자는 반시계 방향으로 회전합니다.

2) 원운동을 하는 전하가 받는 구심력이 곧 로렌츠 힘이므로 궤도 반지름을 구하면

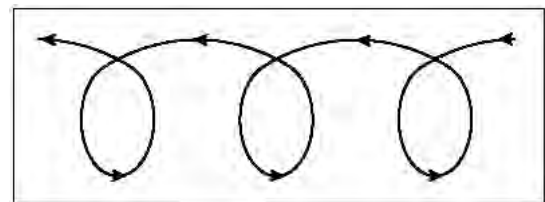
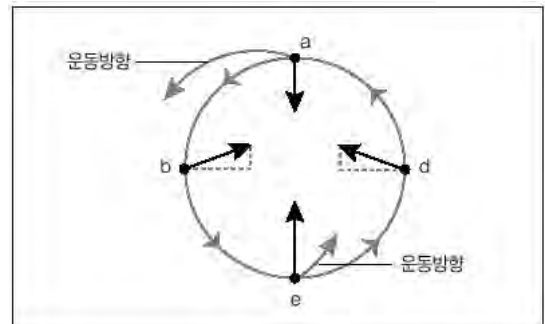
$$\frac{mv^2}{R} = BQv, \quad R = \frac{mv}{BQ} \text{가 됩니다.}$$

3) 우선 원운동의 각 위치에서 입자가 받는 힘이 어떻게 달라지는지 생각해 봅시다. 편의상 전기장의 방향은 밑에서 위로 가해졌다고 가정합니다.

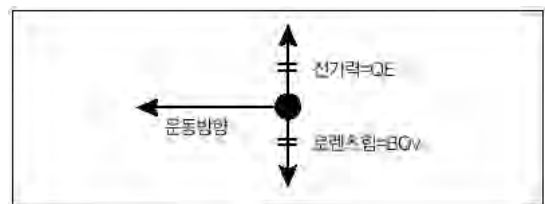
전하는 원의 중심을 향하는 로렌츠 힘 이외에도 전기장 방향으로 전기력을 받습니다. 그리고 그 크기는 로렌츠 힘에 비해 아주 작습니다. 이때 a, b, c, d 지점에서 전하가 받는 합력을 따져보면

a위치에서는 구심력이 작아지고, c위치에서는 구심력이 더 커집니다. 따라서 a위치에서는 궤도 반경이 더 커지려고 하고, c위치에서는 궤도 반경이 더 작아지려는 경향을 보입니다. 즉 우측 그림과 같이 각 지점에서의 힘의 크기가 달라집니다.

이런 경향을 감안해서 입자의 운동 궤적을 그려보면 다음과 같습니다.



4) 위 3)번 문제를 참고하면 전기력이 로렌츠 힘과 상쇄돼 전하가 등속운동을 할 수 있는 지점은 전하가 a위치를 지날 때입니다. 전기장의 세기는  $QE=BQv$ 이므로  $E=Bv$ 입니다.



## 2004년 08월호-물리 면접구술고사 완벽가이드

이번 호에서는 1학기 수시모집이 8월까지 진행되는 점을 감안해서 ‘일렉트로웨팅’(Electrowetting) 현상을 이용한 첨단기술과 관련된 과학논술 예상문제와 고교 수준의 수학·과학 지식을 연결 지을 수 있는 교과형 과학논술 예시문항을 분석했습니다. 그리고 2번 문항에서는 심층면접에서 자주 출제되는 역학·열역학 영역의 예상문제로 삼페인 축포에 대한 문제를 실었습니다.

### 1. 유독 과학논술에서 자주 만나는 첨단기술-표면장력과 광학

가브리엘 리프만은 컬러사진기를 개발해 1908년 노벨물리학상을 받은 과학자다. 리프만 박사가 오늘날 새롭게 주목을 받는 것은 1870년대에 전기로 표면장력을 제어할 수 있다는 사실을 처음 발견했기 때문이다.

수조에 물을 담은 후 그 안에 가는 관을 넣으면 물이 수조 안 수면보다 더 높게 올라간다. 모세관 현상이다. 이때 수면의 높이는 관의 벽 쪽이 높고 중심이 낮다. 리프만 박사는 벽면이 금속으로 된 수조와 관을 사용했고, 수조와 모세관 속 물에 전기를 통하게 했다. 그러자 관 안의 수면에 변화가 일어났다. 관의 벽면과 가운데 수면 사이의 높이차가 커졌다. 즉 관의 벽 쪽 수면은 더욱 높아지고, 가운데 부분은 더욱 낮아졌다. 리프만 박사는 이를 ‘전기모세관’ 현상이라고 이름 붙였다. 즉 전기를 걸어줌으로써 물의 표면장력에 변화가 일어나 수면의 모양이 달라졌던 것이다.

리프만 박사의 전기모세관 현상은 1백년간 응용되지 않았다. 전기모세관 현상 자체에 별다른 응용성이 보이지 않았기 때문이다. 전기모세관 현상은 1V 정도의 낮은 전압에서만 일어난다. 전압이 높아지면 물에 전기가 흘러 기포가 발생하면서 물이 분해된다. 그러던 것이 1990년대 들어 ‘일렉트로웨팅’이라는 현상으로 새롭게 주목을 받게 됐다. 프랑스의 물리학자 브루노 버지 박사는 높은 전압에서 표면장력을 제어할 수 없다는 문제점을 해결했다. 그는 금속과 물이 직접 닿지 않도록 전기가 통하지 않는 절연체를 머리카락 두께보다 수백배 얇게 금속에 코팅하는 방법을 사용했다.



금속판에 절연막을 씌우고 그 위에 물을 한 방울 떨어뜨린다. 그런 다음 금속판과 물방울에 전기를 걸어준다. 그러면 전압의 변화에 따라 물방울의 표면모양이 달라진다. 전압이 높아질수록 물방울이 퍼져 마치 표면이 더 젖는 것처럼 보인다. 버지 박사는 이 현상을 전기로 물을 적신다는 의미에서 ‘일렉트로웨팅’이라고 이름 붙였다. 이제는 낮은 전압뿐 아니라 수십 볼트의 높은 전압에서도 물방울의 표면모양을 맘대로 조절할 수 있게 됐다. 과학자들은 혈액 한 방울로 진단하는 랩온어칩, 새로운 개념의 디스플레이, 차세대 모바일 카메라 렌즈 등의 개발에 이를 활용하려고 한다

(과학동아 5월호에 게재된 기사 ‘물방울, 카메라와 종이를 확 바꾼다’에서 발췌).

다음의 주어진 제시문들을 참조해 4가지 사항을 기술하시오.

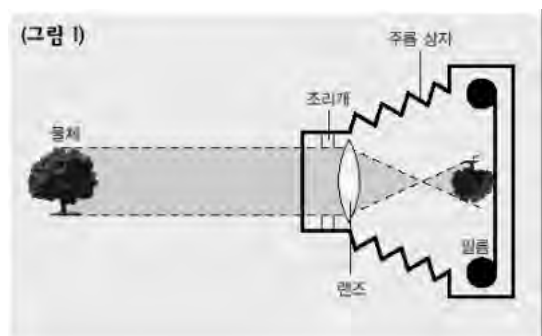
- 1) 물의 표면장력이 다른 물질에 비해 큰 이유
- 2) 물보다 밀도가 훨씬 큰 면도날이 물 위에 뜰 수 있는 이유
- 3) 일렉트로웨팅 현상을 이용해 만든 명시거리(D)가 15cm인 볼록렌즈에 전압 0.1V을 걸고, 길이가 1cm인 물체를 관찰할 때 물체가 가장 선명하게 보이는 물체의 길이
- 4) 일렉트로웨팅 현상을 이용해 만든 액체렌즈가 삽입된 카메라폰의 장점

#### [제시문]

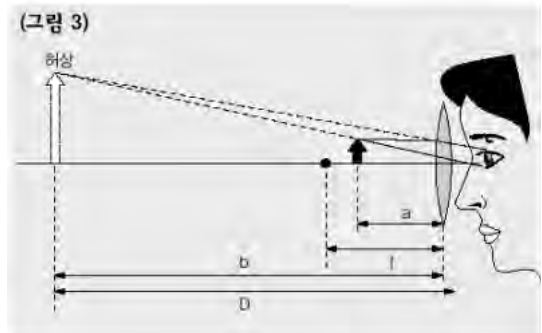
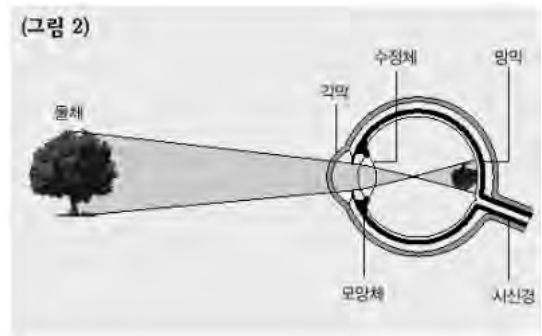
1. 표면장력은 표면에서 그 표면적이 작아지도록 작용하는 힘이다. 물방울·비누방울의 입자가 둥근 것은 이 현상 때문이다. 일반적으로 표면장력은 주어진 액체 내부 입자 사이에 작용하는 인력과 그 액체가 접한 기체·고체·액체에 의존한다. 특히 기체·액체, 기체·고체의 경계면을 표면이라 하는데, 표면장력은 두 상태 사이의 경계면에 생기는 면적을 축소하도록 작용하는 힘, 즉 계면장력의 일종이다. 표면장력이 생기는 것은 표면에서의 액체분자 분포와 배열 방향이 상의 내부와 다르기 때문이다. 액체 내 분자는 그 주위에 존재하는 분자로부터 인력을 받고 있는데, 표면의 분자는 그 주위 분자 수가 내부 분자에 비해 절반이고, 받는 인력도 절반이다. 이 사실은 표면 분자가 내부 분자에 비해 여분의 에너지를 가졌음을 의미한다. 이같이 표면 분자상태가 표면장력을 결정하고 있다. 면도날이 떠 있는 것은 표면장력 때문이다. 만일 액체의 표면을 넓히려면 이 장력에 저항해야한다. 액체의 단위면적 표면을 만드는데 필요한 일의 양도 표면장력과 같다. 대부분 액체의 표면장력은 상온 주변에서 온도에 비례해 약해진다. 액체의 온도가 상승하면 분자의 열운동이 활발해져 분자간 거리가 증대하고, 이 때문에 분자 간 인력이 작아져 표면장력이 약해진다. 임계온도가 되면 표면장력은 0이 된다. 수은의 표면장력은 매우 크고, 물의 표면장력도 다른 유기용매에 비해 크다 (‘파스칼대백과사전’에서 인용).

2. 휴대전화용 카메라는 휴대전화의 한쪽 귀퉁이에 부착할 정도로 작아야 하기 때문에 성능이 그다지 좋지 않다. 카메라 렌즈는 유리나 플라스틱으로 만들어진다. 문제는 카메라폰 렌즈가 아주 작아야 하기 때문에 유리나 플라스틱으로 된 렌즈로는 초점을 자유자재로 맞추거나 줌 기능까지 포함시키기가 어렵다. 현재는 팔을 뻗어서 자신의 얼굴을 찍을 수 있을 정도의 거리로만 초점이 제한돼 있다. 바로 이 문제를 해결하기 위해 유리나 플라스틱과 같은 단단한 물질 대신에 액체를 사용한 렌즈가 등장하고 있다. 액체렌즈의 원리는 눈이 초점을 맞추는 것과 같은 방식이다. 눈은 가까운 곳을 볼 때 수정체를 두껍게 만들어 렌즈의 곡면을 좀 더 볼록하게 만든다. 반면 먼 곳을 볼 때는 수정체를 얇게 해 렌즈의 곡면을 좀 더 평평하게 만든다. 액체렌즈는 물과 기름으로 만들어진다. 물과 기름의 경계면을 일렉트로웨팅 현상으로 조절해 모양에 변화를 준다. 이를 통해 초점을 5cm부터 무한대까지 자유자재로 맞출 수 있다.

3. 카메라의 구조(그림1)는 사람 눈의 구조(그림2)와 비슷하다. 사람이 눈의 피로를 느끼지 않고 물체를 오랫동안 명확하게 볼 수 있는 거리를 ‘명시거리(D)’라



하며, 건강한 눈의 명시거리는 25cm이다. 노안이 되면 수정체의 탄성이 약해지고 모양근이 노쇠해 수정체의 두께를 자유로이 조절할 수 없게 되므로 먼 거리에 있는 물체는 건강한 눈과 같이 잘 보이지만, 가까이 있는 물체는 잘 보이지 않는다. 따라서 가까이 있는 물체를 볼 때는 볼록렌즈로 된 돋보기안경을 써야 한다. 돋보기는(그림3)과 같이 작은 물체를 초점거리 안에 놓아 확대된 허상을 명시거리에 생기도록 한다. (그림3)에서 눈을 렌즈에 '가까이 대고' 물체를 볼 때 렌즈로부터 허상까지의 거리  $b$ 는 명시거리  $D=25\text{cm}$ 와 같으므로  $1/a-1/D=1/f$ ,  $m=D/a$ 에서 돋보기의 배율( $m$ )은  $m=D/f+1$ 로 주어진다. 돋보기는 초점거리가 짧을수록 배율이 커지지만 실제로는 20배 정도가 가장 크다.



4. 철수는 일렉트로웨팅 현상을 이용해 만든 볼록렌즈로 길이가 1cm인 물체를 관찰하고 있다. 돋보기의 제품설명서를 보니 전압의 크기( $V$ )를 조절하면 돋보기의 곡률이 변해 초점거리도 마음대로 변화시킬 수 있다고 적혀 있었다. 설명서에 “초점거리  $f=20 \times V+3(\text{cm})$ ”라고 언급돼 있었다.

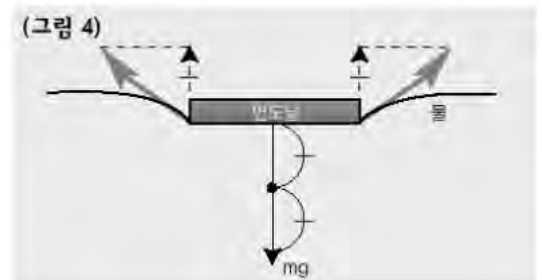
## ▶ 전문가 클리닉

과학논술에서 표면장력이나 일렉트로웨팅 현상, 광학렌즈의 원리 등의 내용 자체가 중요한 것은 아닙니다. 그보다는 과학논술 문항이 어떤 과정과 논리에 따라 출제됐는지를 파악하고, 제시문의 내용을 얼마나 핵심적으로 요약할 수 있는지가 중요합니다. 또한 고등학교 과정에서 배운 수학·과학적 원리들을 문제에 유기적으로 적용시켜 완성도 높은 답안을 어느 정도 수준으로 작성할 수 있는지를 스스로 평가해본다면 더욱 효과적일 것입니다.

대부분 대학이 과학논술고사를 통해 영어 실력도 평가하는데 제시문2나 제시문3은 실제 논술고사에서는 영어지문으로 출제될 가능성이 높습니다. 평소 첨단과학기술에 관련된 영문기사나 과학논술 기출문제의 영어지문을 해석해두는 것이 필요합니다.

## ▶ 예시답안

1) 표면장력은 유체의 표면에 위치한 입자들이 내부에 존재하는 입자들과 달리 유체 내부로 힘을 받기 때문에 나타나는 현상이다. 그러므로 유체를 구성하는 입자들 간의 인력이 클수록 유체 내부로 힘을 받아 표면장력의 크기도 증가한다. 물은 수소 두 원자와 산소 한 원자가 약  $105^\circ$ 로 결합하고 있어 수소원자들 쪽은 양전하를, 산소원자 쪽은 음전하를 띠는 극성구조를 이룬다. 그리고 물분자 사이에서는 수소원자가 중간역할을 해 전기음성도가 큰 산소 두 원자가 결합을 이루는데 이를 수소결합이라 한다. 물은 수소결합에 의해 물분자 간 인력이 다른 유체들에 비해 크므로 표면장력 또한 클 수밖에 없다.



2) 면도날이 수면 아래쪽으로 중력을 받는데도 떠 있는 이유는 이 힘과 위쪽 방향으로 작용하는 힘인 표면장력이 평형 상태를 이루기 때문이다. 면도날

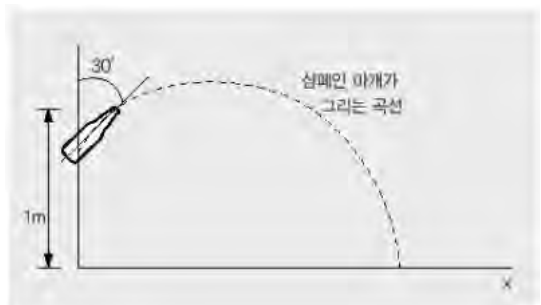
의 재질이 소수성(疏水性)이어서 면도날을 물위에 놓으면(그림4)와 같이 수면이 아래쪽으로 굽고, 표면장력의 수직성분은 위쪽 방향이 돼 면도날에 작용하는 중력을 상쇄시킨다.

- 3) 전압의 크기가 0.1V이면 제시문4의 설명서에 의해 렌즈의 초점거리  $f=20 \times 0.1 + 3 = 5(\text{cm})$ 가 된다. 제시문3에서 명시거리가  $D(\text{cm})$ 인 사람이 초점거리가  $f(\text{cm})$ 인 렌즈를 이용해 물체를 볼 때 돋보기의 배율  $m=D/f+1$ 으로 주어졌다. 이 식에  $D=15\text{cm}$ ,  $f=5\text{cm}$ 를 대입해 구한 배율은  $m=15/5+1=4$ 가 된다. 즉 1cm 길이의 물체를 4cm로 4배 확대해서 볼 때 물체를 가장 선명하게 볼 수 있다.
- 4) 핸드폰의 특성상 카메라 렌즈의 크기도 작아야 한다. 그래서 유리나 플라스틱으로 된 렌즈로는 초점을 자유자재로 맞춘다거나 줌 기능까지 포함하기가 어렵다. 그러나 일렉트로웨팅 현상을 이용해서 만든 액체렌즈는 전압의 크기에 따라 렌즈곡률 즉 초점거리를 쉽게 바꿀 수 있다. 액체렌즈에서는 물과 기름이 렌즈가 된다. 카메라폰으로 가까운 곳을 촬영할 때는 액체렌즈의 곡면을 좀더 볼록하게 만들고, 먼 곳을 촬영할 때는 곡면을 좀더 평평하게 만들면 된다. 이 변화를 통해 초점을 5cm부터 무한대까지 자유자재로 맞출 수 있다. 즉 인체의 눈이 초점을 맞추는 것과 동일한 방식이다. 경제적 관점에서도 액체렌즈 제작에 필요한 재료들은 물과 기름, 그리고 전극장치와 전압조절 장치뿐이므로 가격이 저렴할 것이라 추측된다.

## 2. 샴페인 축포-역학, 열역학

형환은 TV에서 축제나 파티장에서 샴페인을 터뜨리는 모습을 자주 보았다. 그때 샴페인 입구를 막고 있던 코르크 마개는 보기도 무서운 속력으로 튀어나가서 아주 위험해 보였다. 과연 공기의 압력이 코르크 마개를 얼마나 빨리 날려버릴 수 있을까 궁금해 하던 형환은 다음과 같은 모형을 세워서 마개의 속력을 예측해 보기로 했다.

- 1) 속이 빈 용기를 생각하자.  $0^\circ\text{C}$ , 1기압에서 마개는 아무런 힘을 받지 않고 입구의 좁은 원통에 들어가 있다. 이때 마개를 고정시키고 용기의 온도를  $100^\circ\text{C}$ 까지 올리면 내부 압력은 얼마가 되겠는가 (단 외부로의 열손실은 없다고 가정하고, 1기압= $10^5\text{N/m}^2$ 이다)?



- 2) 이 상태에서 마개를 붙잡고 있던 손을 놓으면 마개는 내부 압력을 받아 서서히 미끄러져 밖으로 빠져나온다. 마찰력을 무시하면 마개가 입구를 완전히 빠져나가는 순간의 속력은 얼마가 될까(마개의 질량은 20g이고, 입구의 면적은  $3\text{cm}^2$ 이며, 주둥이의 길이는 3cm이다. 좁은 원통의 부피는 용기 전체의 부피에 비해 무시할 정도로 작다고 가정한다)?
- 3) 이 샴페인을 수직 방향에 대해  $30^\circ$  기울어진 채 들고 있었다면 마개는 수평 방향으로 얼마나 멀리 날아갈 수 있을까? 마개가 빠져나가는 순간 샴페인 병의 위치는 지상에서 1m 높이에 있었다 (단 중력가속도는  $10\text{m/s}^2$ 이다).

## ▶ 전문가 클리닉

열역학과 역학을 혼합한 문제입니다. 열역학에서 다루는 주요한 물리량인 압력이 물체에 작용했을 때 물체의 역학적인 운동이 어떻게 바뀔 것인가에 관한 문제입니다.



문제는 크게 어렵지 않으나 일상생활에서는 흔한 현상들을 지금까지 배운 물리지식을 이용해 어떤 모형을 세워 근사치를 구해낼 것인가에 대해 깨닫는 것이 중요합니다. 가끔 이런 모형은 실제 주변에서 일어나는 현상과는 다소 차이가 날 수 있지만 보다 복잡한 현상을 풀기 위해 반드시 거쳐야 하는 기초공사와 같은 역할을 담당합니다. 스스로 현상을 관찰하고 풀어보는 습관을 들인다면 이번 입시에서 합격의 샴페인을 터뜨릴 수 있으리라 생각합니다.

## ▶ 예시답안

- 1) 보일-샤를의 법칙에 따르면 부피가 일정할 때 기체의 압력은 온도에 반비례합니다.  $0^{\circ}\text{C}$  ( $273\text{K}$ )일 때 1기압이던 기체의 온도를  $1^{\circ}\text{C}$  ( $373\text{K}$ )로 증가시키면

$$1\text{atm}/273\text{K} = x/373\text{K}, x = 1.4\text{atm}$$

즉 1.4기압이 됩니다.

- 2) 마개가 받는 힘을 먼저 구합니다. 마개는 외부로부터 1기압, 용기 내부로부터 1.4기압을 받고 있으므로 마개가 받는 총압력은 0.4기압입니다. 입구의 면적이  $3\text{cm}^2$ 이므로 마개가 받는 힘은

$$F = PA = 0.4\text{atm} \times 3\text{cm}^2 = 0.4 \times 10^5 \text{N/m}^2 \times 3\text{cm}^2 = 0.4 \times 10 \text{N/cm}^2 \times 3\text{cm}^2 = 12\text{N}$$

마개가 주둥이를 빠져나갈 때까지 기체로부터 받는 일은 마개의 운동 에너지가 되므로, 마개의 속력은

$$12\text{N} \times 0.03\text{m} = \frac{1}{2} \times 0.02\text{Kg} \times v^2, v^2 = 36,$$

$v = 6\text{m/s}$ 가 됩니다.

- 3) 지표면에 대해  $60^{\circ}$  각도로 던져진 물체의 수평이동거리를 구하기 위해 먼저 초속도의 수직 성분으로부터 물체의 비행시간을 구합니다.

$$s = v_{0y}t - \frac{1}{2}gt^2$$

$$-1 = 6\sin 60^{\circ}t - \frac{1}{2} \times 10 \times t^2$$

$$5t^2 - 3\sqrt{3}t - 1 = 0$$

$$t = \frac{3\sqrt{3} \pm \sqrt{47}}{10} \cong 1.2\text{s} (\because t > 0)$$

수평이동거리는 초속도의 x방향 성분에 비행시간을 곱하면 되므로 답은  $x = v_0xt = 6\cos 60^{\circ} \times 1.2 = 3.6\text{m}$ 입니다.

## 2004년 09월호-물리 면접구술고사 완벽가이드

이번 호부터는 2학기 수시모집에 대비해 물리관련 과학논술이나 심층면접 문항들을 주제별로 다루려고 합니다. 첫번째 문제에서는 첨단기술과 고교수준의 수학·과학 지식을 연결하는 과학논술 예상문제를 출제했습니다. 그리고 두번째는 심층면접에서 자주 출제되는 역학문제를 분석했습니다.

### 1. 참을 수 없는 바이러스의 가벼움-단진동과 나노기술

나노기술을 응용한 새로운 바이러스 검출 장치는 바이러스의 몸무게를 직접 측정하는 방식으로 작동한다. 외관은 다이빙대처럼 생겼다. 사람이 다이빙대에 올라가면 몸무게에 따라 다이빙대가 흔들리는 정도가 달라지는 것처럼 나노다이빙대에 놓인 바이러스 혹은 박테리아의 무게에 따라 진동주파수가 달라진다. 바이러스가 무거워질수록 다이빙대의 진동 주파수는 줄어든다. 레이저 광선을 나노다이빙대에 쏘면 진동주파수 변화에 따라 반사되는 레이저의 형태가 달라진다. 이를 측정해 다이빙대에 어떤 물체가 있는지 알 수 있다.

미 코넬대 연구팀은 이 장치를 이용해 박테리아 중 대장균의 무게(6백65펩토그램(fg))를 측정했다. 1펩토그램(fg)은 1천조분의 1g, 즉 1015분의 1g이다. 바이러스는 대장균보다 더 가볍다. 일반적으로 바이러스 개체 하나의 무게는 약 10아토그램(ag)이다. 아토그램은 펩토그램의 1천분의 1, 즉 1018분의 1g이다. 연구책임자인 해럴드 크레이그헤드 교수는 나노다이빙대에 얹혀진 6ag의 금입자를 측정하는데 성공하고, 바이러스 검출까지 가능성을 증명했다.(과학동아 5월호에서 발췌)



▶ 주어진 제시문을 참조해 다음 4가지 사항을 기술하시오.

- 1) 등속원운동을 이용해 단진동의 시간에 따른 변위와 속도, 그리고 가속도와 주기 등을 수학적으로 표현하시오.
- 2) 바이러스를 검출할 때 나노다이빙대가 기존 방법보다 유용한 이유를 설명하시오.
- 3) 인체 바이러스와 컴퓨터 바이러스의 유사점과 차이점을 설명하시오.(이화여대 2002년 자연계열 심층면접 공통문항)
- 4) 무게가 6백65펩토그램(fg)인 박테리아 대장균이 탄성계수  $k$ 가 0.1(Kg/s<sup>2</sup>)인 나노다이빙대에 올려졌을때의 진동주기를 구하시오(나노다이빙대의 진동이 단진자운동이라고 가정한다).

### [제시문]

1. 미 퍼듀대 바시르 교수는 미 물리학회가 발행하는 ‘어플라이드 피직스 레터스’ 2004년 3월 8일자에서 “나노다이빙대를 이용하면 바이러스를 검출하기 위해 이전처럼 DNA를 추출할 필요 없이 인체에 해로운 바이러스를 개체 하나까지 신속하게 검출해낼 수 있다”고 밝혔다. 연구팀은 다음 단계로 나노다이빙대 위에 특정 바이러스에만 결합하는 항체를 부착시켜 원하는 바이러스만 검출해낼 계획이다.

또다른 새로운 바이러스 검출 장치로는 나노칩이 있다. 미 생명공학기업인 바이오포스사와 아이오와주립대, 디모인대 공동연구팀은 가로세로 6mm인 실리콘칩 표면에 수백종류의 바이러스 특이 항체들을 심은 ‘비리칩’(ViriChip)을 개발했다. 비리칩에 혈액 한방울만 떨어뜨리면 그 안

에 든 바이러스들이 자신과 꼭 들어맞는 항체에 달라붙게 된다.

영국 물리연구소가 발행하는 ‘나노테크놀로지’ 2004년 1월 20일자에 발표된 논문에 따르면 나노칩에 달라붙은 바이러스는 원자력현미경으로 포착할 수 있다. 원자력현미경에는 탐침이 붙어 있는 나노미터(nm, 1nm=10<sup>-9</sup>m) 단위의 다이빙대가 있다. 탐침이 칩에서 바이러스가 붙은 부분을 지나가면 움직임이 달라지고, 이를 레이저 광선으로 분석해 그 모양을 관찰하는 것이다. 바이오포스사의 에릭 헨더슨 박사는 “기존의 바이러스 검출법은 많은 양의 혈액 샘플과 DNA를 추출, 분석하는 시간이 필요했던 반면 비리칩은 단 한 방울의 혈액으로 즉석에서 바이러스 유무를 확인할 수 있다”고 밝혔다.

2. 바이러스는 1898년 소의 발과 입에서 발생하는 수포성 질환을 연구하던 과정에서 우연히 발견됐다. 당시 과학자들은 바이러스를 곰팡이나 박테리아와 같은 병원균의 일종으로만 생각했다. 하지만 세균여과기에 걸러지지 않았기 때문에 바이러스의 존재를 눈으로 확인할 수 없었다. 그래서 일정기간 동안 바이러스는 “여과성 병원체”라 불렸다. 바이러스의 모습을 발견한 최초의 인물은 1935년 미 과학자 스탠리였다. 그는 담배잎에 모자이크병을 일으키는 바이러스 병원체를 추출해 큰 화제를 불러일으켰다. 병원체를 순수한 형태로 추출해보니 단백질과 같은 단순한 고분자 물질로 보였기 때문이다. 바이러스가 생물인지 무생물인지에 대한 논란은 여기서 시작됐다. 바이러스 혼자서는 아무런 증식 활동을 벌일 수 없다. 오직 생물의 세포내에서만 생존하며 기생생활을 한다. 대상은 무차별적이다. 동물과 식물, 미생물 등 세포가 있는 곳이면 어디든 침입한다. 바이러스는 크기가 매우 작아 전자현미경으로만 볼 수 있다. 예를 들어 동물 바이러스의 평균 크기는 20~2백nm에 불과하다. 바이러스의 모양은 대개 둥글지만, 이따금씩 길쭉한 막대형도 있다. 내용물 역시 간단하다. 자신의 유전정보를 담은 핵산(DNA나 RNA)과 단백질 껍질로 구성됐을 뿐이다. 바이러스는 다양한 방식으로 구분된다. 숙주에 따라 동물(광견병 등), 식물(담배모자이크병 등), 곤충(누에병 등), 사람(천연두, 간염, 에이즈 등) 바이러스로 구분하기도 하고, 발병되는 속도에 따라 급성과 만성으로 나뉘기도 한다. 학문적으로는 대개 유전자의 형태에 따라 분류한다.(과학동아 1999년 7월호에서 발췌)

3. 일직선상에서 물체가 주기적으로 왕복하는 운동을 ‘단진동’이라고 한다. 그리고 그네처럼 일직선상은 아니지만 중력장에서 반복적으로 운동하는 경우를 ‘단진자운동’이라고 한다. 어떤 물체들에 힘을 가해 모양을 변형시키면 원래의 상태로 되돌아가는 힘이 나타나는데, 이를 ‘탄성력’이라고 한다. 탄성력은 변형된 변위에 비례하며, 항상 변위에 대해 반대 방향이다. 단진자의 탄성주기는  $T=2\pi(\frac{m}{k})$ (m은 물체의 질량, k는 탄성계수)이다.

## ▶ 전문가 클리닉

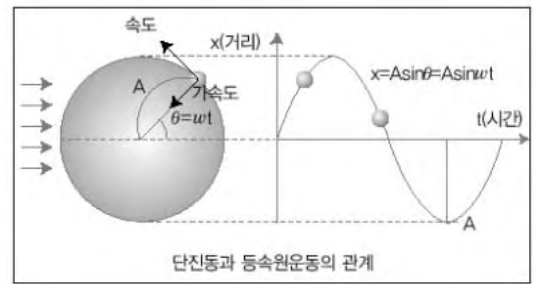
나노다이빙대를 이용한 바이러스 검출법은 21세기 첨단과학기술 분야를 선도하고 있는 NT(나노기술)의 한 가지 응용사례입니다. NT분야 자체가 고유한 학문영역은 아니지만, 과학기술분야에서 ‘크기의 혁명’을 일으키고 있습니다. 또한 나노기술은 무수히 많은 연구분야에서 활용됩니다.

이 문제를 통해 첨단과학과 고교 수준의 교과지식이 어떻게 연결될 수 있는지 살펴보길 바랍니다.

## ▶ 예시답안

1) 위 그림과 같이 등속원운동을 하는 물체의 왼쪽에서 평행한 빛을 비추고, 오른쪽 스크린에 생기는 그림자의 운동을 살펴보면 시간에 따른 그림자의 위치가 사인함수 꼴로 나타난다.

또한 속도와 가속도 벡터의 그림자 성분을 분석해 보면, 모두 단진동의 속도·가속도 성분과 일치한다. 원운동의 반지름을  $A(m)$ , 각속도를  $\omega(rad/s)$ 라 하면 단진동운동은 다음과 같이 표현된다.



① 시간에 따른 변위  $x = A \sin \theta = A \sin \omega t$

② 시간에 따른 속도  $v = \frac{dx}{dt} = A\omega \cos \omega t$

③ 시간에 따른 가속도  $a = \frac{dv}{dt} = -A\omega^2 \sin \omega t$

④ 단진동운동의 주기  $T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k}}$  ( $m$ 은 물체의 질량,  $k$ 는 탄성계수)로 나타난다

( $\because$  복원력은  $-kx = ma = m(-A\omega^2 \sin \omega t) = -m\omega^2 x = -m(\frac{2\pi}{T})^2 x$ 이다).

2) 이전에는 바이러스의 종류를 밝히기 위해서 바이러스의 DNA를 추출해 염기서열을 알아내야 했으므로 많은 양의 혈액이 필요했다. 더 심각한 문제는 시간이 많이 경과된 후에 결과를 알 수 있다는 것이다. 그러나 나노다이빙대를 이용하면 항체와 결합한 바이러스 자체를 다이빙대에 올려놓고 진동수를 이용해 무게를 알아내므로 결과를 신속하게 알 수 있다.

3) 인체 바이러스와 컴퓨터 바이러스의 유사점은 첫째 모두 숙주에 해당하는 생물이나 컴퓨터 내에서만 활성화된다는 것이다. 둘째 기하급수적으로 번식 또는 전파되고, 셋째 숙주에게 피해를 입히는 경우가 많다. 마지막으로 대상이 무차별적이라는 공통점이 있다.

차이점은 첫째 인체 바이러스는 핵산과 단백질로 구성되어 있으나, 컴퓨터 바이러스는 컴퓨터 메모리에 가상적으로 존재한다. 둘째 인체 바이러스는 스스로 돌연변이를 일으켜 변종이 자주 생기나 컴퓨터 바이러스는 프로그래머에 의해서만 변종이 생길 수 있다. 셋째 인체 바이러스는 물질이 전혀 존재하지 않는 곳에서도 생존할 수 있으나, 컴퓨터 바이러스는 컴퓨터나 저장매체를 떠나서는 존재할 수 없다.

4)  $T = 2\pi \sqrt{\frac{665 \times 10^{-15} \times 10^{-3}}{0.1}} \approx 5.124 \times 10^{-8} (s)$

## 2. 포탄에 숨겨진 비밀-포물선 운동

평소 호기심이 많은 영재는 어떻게 하면 공중에서 낙하하는 물체를 지상에서 포탄을 쏘아 맞출 수 있을지 생각했다. 즉 위 그림처럼 수평방향으로 L만큼 떨어진 지점에서 H의 높이에 있는 물체가 자유낙하 할 때 어떤 각도로 그리고 얼마의 초기속력으로 포탄을 발사해야 하는지를 알아보려한다. 이때 중력가속도는  $g$ 이고 공기저항은 없는 것으로 가정하며, 포탄은 물체의 낙하와 동시에 발사된다고 하자.(서울대 특기자 전형 기출문제)



- 1) 물체가 자유낙하를 하는 경우에 어떤 각도와 초기속력으로 포탄을 쏘아 이 물체를 명중시킬 수 있을까? 무중력 상태인 경우와 비교해 설명하시오.
- 2) 이 물체가 지표면에 도달하기 전에 명중시키려면 포탄은 최소 어떤 속력 이상으로 발사돼야 할 것이다. 이 최소발사속력은 L, H 와 어떤 관계가 있는가? 만일 수평거리 L과 높이 H가 각각 2배로 늘어나면 이때 필요한 최소발사속력은 원래보다 얼마나 더 커야 하는지 설명하시오.
- 3) 만일 동일한 실험을 중력이 지구중력의 1/6인 달 표면위에서 행하면 발사각도와 최소발사속력은 어떻게 달라지는지 설명하시오.
- 4) 실제로 1)번에서 얻은 결과에 의존해서 실험을 수행하면 그 결과는 우리가 계산했던 것과 달라질 수 있다. 그 원인을 설명하시오.

### ▶ 전문가 클리닉

서울대 특기자 전형 중 역학 분야에서 출제됐던 문제입니다. 다른 여러 문제집이나 참고도서에서 많이 다뤄졌던 유형이기 때문에 낯설지는 않을 것입니다. 하지만 쉬운 문제일수록 평가자는 더 핵심적이고 엄밀한 답을 요구하므로 긴장을 늦추지 말아야 합니다. 또한 문제에서는 직접적으로 요구하지 않았으나 수험생은 숨겨진 역학법칙을 짚어낼 수 있는 능력을 보여줘야 합니다.

### ▶ 예시답안

- 1) 중력장 내에서 비스듬히 쏘아 올려진 물체의 운동을 기술하는 문제는 수직성분과 수평성분을 구분하면 쉽게 풀립니다. 두가지 성분으로 구분하는 이유는 중력이 수직방향으로 작용하므로 수평성분의 운동은 중력가속도와 관련없이 기술되기 때문입니다. 문제에서 포탄의 초기속도를 수평성분과 수직성분으로 분리하면  $v_{0x}=v\cos\theta$ ,  $v_{0y}=v\sin\theta$ 가 됩니다. 포탄이 물체를 맞추기 위해서는 포탄이 수평거리 L만큼 갔을 때 포탄의 높이가 물체의 높이와 같아야 합니다. 우선 포탄이 수평거리 L만큼 가는데 걸리는 시간  $T_L$ 은  $\frac{L}{v_{0x}} = \frac{L}{v\cos\theta}$ 입니다.

그리고 이 시간 동안 포탄의 y방향 위치는

$$\begin{aligned} y_m &= v_{0y}T_L - \frac{1}{2}gT_L^2 \\ &= v\sin\theta \cdot \frac{L}{v\cos\theta} - \frac{1}{2}g\left(\frac{L}{v\cos\theta}\right)^2 \end{aligned}$$

이 됩니다. 그리고 역시 같은 시간 후의 물체의 위치는

$$y_b = H - \frac{1}{2} g T_L^2$$

$$= H - \frac{1}{2} g \left( \frac{L}{v \cos \theta} \right)^2$$

$y_m = y_b$  일 때 포탄은 물체에 명중하게 되므로 결국

$$v \sin \theta \frac{L}{v \cos \theta} - \frac{1}{2} g \left( \frac{L}{v \cos \theta} \right)^2 = H - \frac{1}{2} g \left( \frac{L}{v \cos \theta} \right)^2$$

$$L \tan \theta = H \quad \therefore \tan \theta = \frac{H}{L}$$

임을 알 수 있습니다. 이 결과는 물체를 명중시키는데 포탄 속력의 크기는 관련 없이 포탄의 초기 방향만이 중요하다는 것을 말해줍니다. 물론 위 문제를 푸는 과정에서 속력이 분수의 분모로 들어가게 되므로 ‘속력은 0이 아닌 양수’라는 조건과 물체가 무한히 낙하 운동을 계속할 경우라는 조건이 붙습니다. 그러므로 만약 바닥이 존재하고 포탄의 속력이 너무 느린 경우에는 포탄이 물체를 맞히기 전에 물체가 바닥에 닿게 될 것입니다.

무중력 상태일 때는 포탄을 어떻게 쏘아 될까요? 무중력 상태에서는 중력가속도가 0이므로 물체는 H높이에 멈춰있습니다. 따라서 포탄을 물체 방향으로 임의의 속력으로 쏘아도 됩니다. 즉 포탄의 속력은 0보다 큰 임의의 값이고, 포탄의 방향은  $\tan \theta = 1$  일 때 포탄은 항상 물체를 맞힙니다. 이 결과는 중력이 있거나 없거나 처음 포탄의 방향만 물체가 있던 위치를 향한다면 언젠가는 물체를 맞히게 된다는 것을 알려줍니다.

- 2) 지표면이 있는 경우라면 어떻게 될까요? 이때는 물체가 바닥에 닿거나 포탄이 바닥에 떨어지면 더 이상 운동을 할 수 없습니다. 즉 바닥에 닿기 전에 물체를 맞출 수 있는 조건이 필요합니다. 1)번 풀이에서 포탄이 수평거리 L을 가는 동안 물체는 최대 H만큼만 떨어진다면 포탄과 물체는 만날 수 있습니다. 그러므로 최소발사속력  $v$ 는

$$T_L = \frac{L}{v \cos \theta} = \frac{\sqrt{H^2 + L^2}}{v} \quad (\because \cos \theta = \frac{L}{\sqrt{H^2 + L^2}})$$

$$0 = H - \frac{1}{2} g \left( \frac{\sqrt{H^2 + L^2}}{v} \right)^2$$

$$\therefore v = \sqrt{\frac{g(H^2 + L^2)}{2H}}$$

이 됩니다. 위 풀이과정에서  $\theta$ 의 값은 이미 알고 있으므로 H와 L에 관한 식으로 바꿨습니다. 즉  $v$ 가  $v = \sqrt{\frac{g(H^2 + L^2)}{2H}}$  보다 큰 값일 때 포탄은 물체에 명중합니다. 또한 H와 L의 크기가 동시에 두배가 되면 최소발사속력은 원래의  $\sqrt{2}$ 배가 됩니다.

- 3) 1)번 풀이에서 포탄이 물체를 맞추기 위한 조건은 발사 방향에만 의존할 뿐 포탄의 속력이나 중력가속도의 크기에는 무관함을 보였습니다. 그러므로 이 실험을 중력이 지구의 인 달 표면에서 하더라도 결과에는 변함이 없습니다. 더욱이 무중력 공간에서도 같은 결과가 나옴을 1)번 풀이에서 이미 설명했습니다.

## 2004년 10월호-물리 면접구술고사 완벽가이드

이번 호는 역학과 열역학 영역에서 기출문제들을 분석했습니다. 동일한 내용에서 다양한 질문들이 출제될 수 있다는 점에 유의해 여러가지 유형의 문제들을 찾아보고 풀어본다면 논술면접 문제해결능력이 상당히 향상될 것입니다.

### 1. 남다르지 않으면 면접에서도 미끄러진다-역학적에너지·운동량보존(2002년 포스텍 물리 선택문제 응용)

1학기 수시모집에서 원하던 대학에 합격해 마음의 여유를 되찾은 오대환은 어학연수겸 미국으로 여행을 갔다. 뉴욕 시내를 둘러보다가 이름이 '부셔'(Busher)라는 같은 또래의 미국인을 사귀어 같이 다녔다. 한참 둘러보다가 더위도 식히고 드라마 '파리의 연인' 속 한장면도 재연할 겸 아이스링크로 들어갔다. 그곳은 평범한 빙상경기장이었지만 특이하게도 경기장 한 가운데 미끄럼틀이 놓여있었다. 호기심이 발동한 대환은 부셔의 만류에도 불구하고 신발도 갈아 신지 않고 얼음 위를 걸어가 미끄럼틀 계단을 따라 위로 올라갔다. 미끄럼틀은 빙판에 고정돼 있지 않아서 올라가기 힘들었다.

다음 오대환의 질문들에 대한 부셔의 답변에 문제점이 있는지, 없는지를 말하고 문제점이 있다면 정정하십시오. 단 전제조건들은 다음과 같다.

- ① 모든 종류의 마찰력이나 공기의 저항력은 무시한다.
- ② 대환의 체중 : 50Kg중
- ③ 미끄럼틀의 질량 : 1백Kg
- ④ 미끄럼틀의 높이 : 3m
- ⑤ 미끄럼대와 바닥이 이루는 각도 : 45°
- ⑥ 아이스링크의 직선 길이 : 40m
- ⑦ 중력가속도 :  $g=10\text{m/s}^2$

1) 대환 : 부셔야, 내가 미끄럼대를 따라 미끄러져 내려가 바닥에 도착했을 때 나의 속도는 얼마일까?

부셔 : 넌 어째 그것도 모르냐? 한국 고교과정에서 역학적에너지 보존법칙도 가르치지 않냐? 네가 미끄럼틀 위나, 아래에 있을 때 역학적에너지는 보존되므로 다음 식이 성립해.

$$mgh = \frac{1}{2}mv^2 \text{에서 } v = \sqrt{2gh} \text{ 이므로 } v = \sqrt{2 \times 10 \times 3} = 2\sqrt{15} \text{ (m/s)}$$

대환 : 상당히 빠르네. 어째 그럴 것 같지 않은데. 뭔가 이상해.

2) 대환 : 만약 우리 둘 다 미끄럼틀 위에 있다가 내가 먼저 미끄러져 내려가 바닥에 닿은 직후 네가 미끄러져 내려온다면 바닥에 도달했을 때 너의 속도는 어떻게 구할 수 있을까?

부셔 : 대환아, 내가 아까 설명했잖아. 내 체중이 얼마든 상관없이 3m 높이에서 내려오면 네가 내려올 때와 같이  $2\sqrt{15}(\text{m/s})$ 가 된단다.

대환 : 또 뭔가 이상해.

3) 대한의 권유로 부셔도 미끄럼틀 위에 올라온 후 실제로 대한이가 먼저 내려가고 부셔가 내려갔더니 부셔는 빙상에 멈췄다.

대한 : 어떻게 이런 현상이 일어날 수 있을까?

부셔 : 넌 과학적 탐구방법에서 부차적 변인들을 통제해야한다는 것도 모르냐? 중력장 내 운동의 경우 마찰력이나 공기저항력 등을 무시하기 때문에 정확한 기술이 불가능하다는 것쯤은 알고 있겠지? 그러나 실제상황에서는 이런 힘들이 작용하므로 이론적으로 다룬 운동의 기술과는 다를 수밖에 없어. 한마디로 요약하면 내가 미끄러져 내려올 때 공기의 저항이 작용했고, 또 미끄럼대 표면에서 마찰력도 작용했으므로 멈추게 된거야. 알겠지?

대한 : 역시 원가 이상해.

4) 미끄럼틀을 다시 빙상 한 가운데에 위치시킨 후 대한이 혼자 미끄럼틀 위에 올라갔다 (단 미끄럼대 끝부분을 곡면 처리해서 대한이가 바닥에 닿기 직전 속도와 같은 크기로 수평하게 운동한다고 가정한다).

대한 : 만약 내가 미끄럼대에서 빙판 위로 미끄러져 내려가 원래 미끄럼틀이 있던 위치에서 20m 떨어진 울타리에 부딪힌다면 미끄럼틀은 몇 초 후에 반대쪽 울타리에 충돌할까?

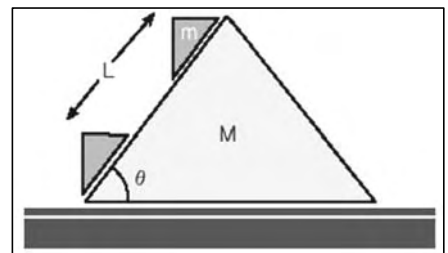
부셔 : 음 그건 그러니까... 그다지 어려운 질문은 아니지만 지금은 내가 피곤하니까 며칠 쉬고 생각해보자.

대한 : 그래(웃음).

### ▶ 전문가 클리닉

이 문제는 다음 문제를 응용한 것입니다. 문제를 재미있게 변형하려 했는데 다시 읽어보니 썰렁해진 것 같군요. 역학적에너지 보존원리나 운동량보존원리는 수많은 과학적 현상들을 설명할 수 있는 강력한 도구이므로 개념과 원리뿐만 아니라 다양한 사례까지 필히 익혀두시길 바랍니다.

우측 그림과 같이 작은 프리즘이 큰 프리즘의 한 빗면을 L만큼 미끄러져 내려왔을 때 큰 프리즘이 움직인 거리를 구하라. 프리즘들 사이의 마찰력, 큰 프리즘과 밑면과의 마찰력은 무시한다.



위 문제의 정답은  $mL \cos\theta / (M+m)$ 입니다. 큰 프리즘의 속도를  $V$ , 작은 프리즘의 수평성분 속도를  $v$ 라 하면 바닥을 기준으로 한 작은 프리즘의 속도는 큰 프리즘에 대한 작은 프리즘의 상대 속도( $V_{\text{큰작}}=v-V$ )가 됩니다. 수평방향에 대해 운동량보존을 적용하면  $0=MV+mV_{\text{큰작}}=MV+m(v-V)$ 이며  $(v-V)$ 와  $V$ 는 반대방향이므로  $V$ 의 방향을 (+)라 하면  $V=(m / (M+m)) v$ 가 됩니다.  $v=L \cos\theta / t$ 이므로 양변에 경과시간  $t$ 를 곱하면 위에서 언급한 정답이 도출됩니다.

### ▶ 예시 답안

1) 부셔의 답변은 잘못됐습니다. 첫째 속도는 벡터량인데 부셔는 방향을 언급하지 않았습니니다. 둘째 미끄럼틀은 대한이가 가한 힘에 대해 반대 방향으로 가속되므로 미끄럼틀 위에서 가지고 있던 중력에 의한 위치에너지 값과 바닥에 도달했을 때 대한이와 미끄럼틀이 가진 운동에너지의 합이 같아야 합니다. 즉 대한이의 체중을  $m(\text{Kg중})$ , 바닥에 도달했을 때 대한이



의 속도값을  $v(m/s)$ , 미끄럼틀의 속도값을  $V(m/s)$ 라 하면 다음 식이 성립합니다.

$$mgh=1/2(mv^2+MV^2)\text{에서}$$

$$50\times10\times3=1/2\times50\times v^2+1/2\times100\times V^2$$

대한이의 속도는 미끄럼틀이 고정됐을 때 도달속도인  $2\sqrt{15}(m/s)$ 보다 작을 수밖에 없습니다. 속도를 구하기 위해 대한이와 미끄럼틀에 대한 운동방정식을 세우면 다음과 같습니다.

미끄럼틀의 가속도를  $a$ , 대한이의 가속도를  $b$ 라 하면

$$\text{* 미끄럼틀 : } Ma=N\times\sin45^\circ\text{-----}\text{①}$$

\* 오대한에게 작용하는 빗면 방향의 힘 :

$$mg\times\sin45^\circ+ma\times\cos45^\circ=mb\text{-----}\text{②}$$

( $\because$  우측 그림처럼 대한이에게 작용하는 힘들은 중력  $mg$ 와 미끄럼틀로부터 받는 수직항력  $N$ , 그리고 관성력  $-ma$ 를 받기 때문입니다)

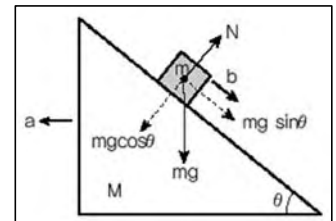
$$\text{* 오대한에게 작용하며 빗면에 대해 수직방향인 힘 : } N+ma\times\sin45^\circ=mg\times\cos45^\circ\text{----}\text{③}$$

$$\text{①, ②, ③에서 } a=mg\sin45^\circ\times\cos45^\circ/M+m\sin^245^\circ=6(m/s^2),$$

$$b=(M+m)g\sin45^\circ/M+m\sin^245^\circ\approx8.49(m/s^2)$$

대한이가 내려올 때까지 걸린 시간  $t$ 를 구하면 다음과 같습니다.

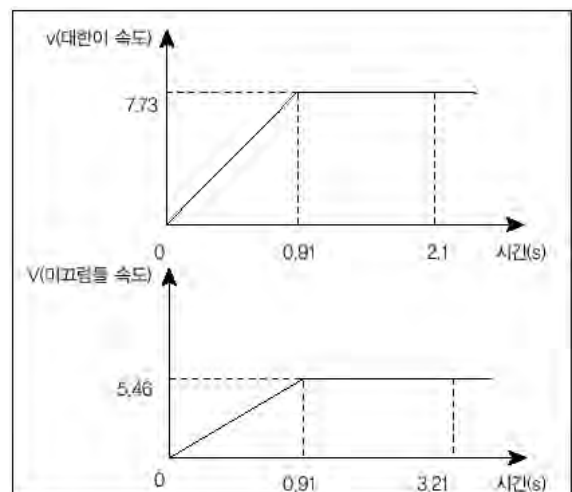
$$2\sqrt{3}=\frac{bt^2}{2}\text{에서 } t=\sqrt{\frac{4\sqrt{3}}{b}}\approx0.91(\text{초})$$



바닥에 도달할 때 대한이의 속도는  $v=bt\approx8.49\times0.91\approx7.73(m/s)$ (즉  $2\sqrt{15}(m/s)$ )입니다. 그러나 미끄럼틀이 수평방향으로  $V=at=6\times0.91=5.46(m/s)$ 으로 운동하기 때문에 미끄럼틀에 대한 대한이의 상대속도인  $(v-V)$ 를 구하면  $\frac{7.73}{\sqrt{2}}(m/s)$ 입니다. 그리고 이것이 정답입니다.

- 2) 위의 1)과 같은 원리로 부서의 속도를 구할 수 있습니다. 미끄럼틀이 대한이의 운동방향과 반대방향으로 움직이는 상황에서 부서가 빙상 바닥에 닿을 때 속도는 대한이보다 작은 값을 가지므로 부서의 답변은 잘못됐습니다. 부서와 미끄럼틀이 같은 속도로 운동하는 상태에서 부서가 반대방향으로 미끄러져 내려오는 상황 역시 1)과 같이 운동방정식을 세우면 바닥에 도달할 때의 부서의 속도를 구할 수 있습니다.

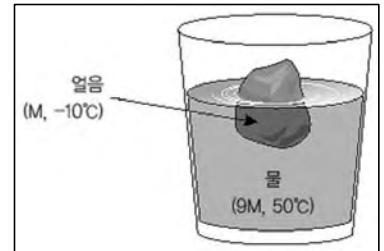
- 3) 실제 상황에서 미끄럼틀을 내려오는 사람이 공기의 저항력이나 마찰력에 의해 바닥에 멈추는 경우는 드뭅니다. 특히 전제조건에서 공기의 저항력이나 마찰력은 무시한다고 했으므로 부서의 답변은 틀립니다. 2)번 문항에서 부서의 체중이 적당한 값을 가지면 부서 속도의 수평성분과 미끄럼틀 속도의 크기가 같아져 바닥에 대한 부서의 수평속도가 0이 되므로 바닥에 도달한 부서는 멈출 수 있습니다.



- 4) 대한이의 속도-시간 그래프와 미끄럼틀의 속도-시간 그래프를 그리면 다음과 같습니다. 둘 모두 0.91초 동안은 등가속도 운동을 하고 이후부터 울타리에 충돌할 때까지 등속도운동을 하므로 20m 이동하는데 걸린 총시간을 구할 수 있습니다. 대한이는 2.1초, 미끄럼틀은 3.21초 걸리므로 대한이가 울타리에 충돌한 후 약 1.11초 후에 미끄럼틀이 반대쪽 울타리에 부딪힙니다.

## 2. 빙하에 숨겨진 물리 법칙-역학, 열역학(서울대 특기자 전형 기출문제 응용)

그림과 같이 컵 속에 질량 9M인 50℃ 물 위에 질량 M인 -10℃ 얼음이 움직이지 않고 떠 있다. 여기서 물과 얼음은 외부와 열교환을 하지 않는 고립된 열역학계를 이룬다고 가정하자.



- 1) 얼음에 작용하는 알짜힘의 크기는 얼마인가? 또 얼음에 작용하는 힘들을 열거하고, 각 힘에 대한 작용-반작용의 짝을 말하라(단 대기압은 없다고 가정한다).
- 2) 물이 얼음에 작용하는 힘은 얼음이 밀어낸 부피만큼의 물 무게다. 물 속에 잠긴 얼음 부피는 전체 얼음 부피에서 얼마에 해당하는가 (물의 밀도는  $1\text{g/cm}^3$ 이고, 얼음의 밀도는  $0.9\text{g/cm}^3$ 이다)?
- 3) 얼음의 모양이 단면적 A, 길이 L인 원기둥이고 수면에 수직한 방향으로 떠 있다고 가정하고 손으로 얼음을 x만큼 살짝 눌렀을 때 얼음이 받는 알짜힘의 크기는 얼마인가? 이때 갑자기 손을 떼면 얼음은 위아래로 왕복운동을 한다. 이때 주기를 예측하라(단 중력가속도는  $1\text{천cm/s}^2$ 이다).
- 4) 열, 온도, 내부에너지의 개념을 사용해 위 고립계(물+얼음)가 얼음이 녹으면서 열적 평형 상태로 도달하는 열역학적 과정을 설명하라.
- 5) 얼음이 다 녹았을 때 전체 물의 온도는 얼마인가 (단 얼음의 비열은  $0.5\text{cal/g}^\circ\text{C}$ , 얼음의 융해열은  $80\text{cal/g}$ 이다)?
- 6) 이와 같이 얼음이 녹아 전체가 물이 되는 과정에서 얼음과 물 각각의 무질서도(또는 엔트로피) 증감과, 전체 계의 무질서도 증감에 대해 설명하고, 이를 열역학 제2법칙 관점에서 설명하라.
- 7) 6)번 문제를 푼 학생에게 계속되는 질문 : 구슬 5개를 10개의 구멍에 넣는 방법의 수를 구하라. 단 모든 구슬과 모든 구멍은 구별이 가능하다. 이번엔 5개의 구슬 중 3개의 구슬을 8개의 구멍에 넣고, 나머지 2개의 구슬을 다른 2개의 구멍에 넣는 방법의 수를 구하라. 첫번째는 물분자(구슬)가 자유롭게 모든 위치(구멍)를 돌아다니는 상태를 표현한 것이고, 두번째는 자유로운 물분자와 결정을 이뤄 자유도가 낮은 얼음분자가 공존하는 상태를 표현한 것이다. 두 경우에 대해 각각의 경우의 수를 무질서도와 연관지어 설명해라.

## ▶ 전문가 클리닉

역학과 열역학 영역을 절묘하게 결합시켜 2002학년도 서울대학교 특기자 전형 문제로 출제됐던 문제입니다. 구슬면접의 특징을 잘 보여주는 문제인 만큼 쉽더라도 현장에서 답하는 기분으로 풀어보시길 바랍니다. 특히 7)번 문제는 과학논술 영역에서도 출제될 수 있는 수준의 문제입니다. 열역학 제2법칙을 확실하게 이해해야만 비슷한 유형의 문제도 손쉽게 해결할 수 있습니다.

## ▶ 예시 답안

- 1) 얼음은 물 위에 떠서 움직이지 않으므로 힘의 평형상태임을 알 수 있습니다. 즉 얼음에 작용하는 알짜힘은 0입니다.

중력장 내에서 얼음은 지표면 방향으로 중력을 받습니다. 그리고 얼음을 떠 받치는 물에 의해 부력을 받습니다. 각 힘에 대한 작용-반작용의 짝은 다음과 같습니다.

- a. 중력 : 지구가 얼음을 당기는 힘-얼음이 지구를 당기는 힘
- b. 부력 : 물이 얼음을 밀어 올리는 힘-얼음이 물에 작용하는 힘

한 가지 주의할 점은 중력과 부력이 작용-반작용의 짝이 아니라는 것입니다. 중력과 부력은 모두 '얼음'에 작용하는 힘이며, 크기는 같고 방향이 반대이므로 '평형'을 이루고 있을 뿐입니다. 작용-반작용의 짝은 두 사물 간에 같은 크기의 힘을 주고받는 경우이므로 힘의 평형과는 상관없습니다.

- 2) 얼음 부피를  $V$ 라 하고, 물 속에 잠긴 비율을  $a$ 라 하면 물 속에 잠긴 얼음의 부피는  $aV$ 입니다. 물 속에 잠긴 얼음 부피에 해당하는 물의 무게가 바로 얼음이 받는 부력입니다. '중력=부력'의 관계로부터

$$0.9(\text{g/cm}^3) \times V = 1(\text{g/cm}^3) \times aV$$

$$\therefore a = 0.9$$

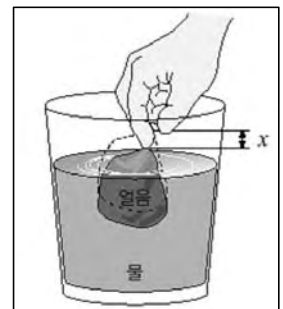
즉 물 속에 잠긴 얼음 부피는 전체부피의 0.9에 해당합니다.

- 3) 얼음이  $x$ 만큼 더 잠기면 얼음이 받는 부력은  $1000\text{Kg/m}^3 \times 10\text{m/s}^2 \times xA$  만큼 더 증가합니다. 즉  $1\text{만} \times Ax(\text{N})$ 입니다. 이는  $F=kx$ 의 형태이므로 일종의 탄성력이고, 탄성계수는  $1\text{만} \times A$ 입니다. 용수철의 주기공식으로 얼음의 진동주기를 구하면

$$T = 2\pi \sqrt{m/k} = 2\pi \sqrt{M/10000A}$$

그런데 얼음 부피를  $V$ 라 두면  $M = 900\text{Kg/m}^3 \times V$ 이므로  $T = 0.6\pi \sqrt{L}$ 입니다.

- 4) 온도가 다른 두 물질이 접촉하면 온도가 높은 물질로부터 온도가 낮은 물질로 열이 이동합니다. 따라서 온도가 높은 물질은 온도가 내려가고 온도가 낮은 물질은 열을 흡수해서 온도가 올라가는데 두 물질의 온도가 같아질 때까지 열의 이동은 계속됩니다. 더 이상 열이 이동하지 않는 상태를 열적 평형상태라고 합니다. 얼음은 물로부터 열을 흡수해 온도가 올라가고  $0^\circ\text{C}$ 에서 상태변화를 일으켜 물이 됩니다. 그래도 두 물질 사이에 온도차가 존재하면 계속해서 온도가 올라가다가 어떤 온도에 이르면 더 이상 열의 이동은 일어나지 않습니다.



- 5) 열량보존의 법칙을 적용합니다. '얼음이 얻은 열량=물이 잃은 열량'이므로 최종온도를  $T^\circ\text{C}$ 라 하면

$$(0.5\text{cal/g}^\circ\text{C} \times Mg \times 10^\circ\text{C}) + (80\text{cal/g} \times Mg) + (1\text{cal/g}^\circ\text{C} \times Mg \times T^\circ\text{C}) = 1\text{cal/g}^\circ\text{C} \times 9Mg \times (50 - T)^\circ\text{C}$$

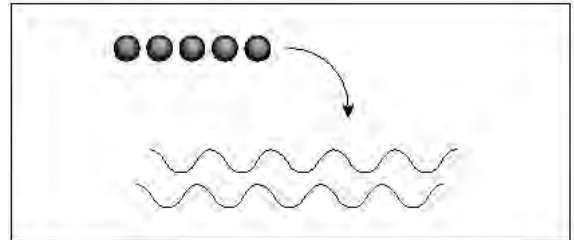
정리하면  $5 + 80 + T = 450 - 9T$ 이므로  $T = 36.5^\circ\text{C}$ 입니다.

6) 물이 얼을 잃고 온도가 내려가는 현상은 무질서도(엔트로피)가 감소하는 현상입니다. 그러나 고체상태의 얼음이 녹아 액체상태인 물이 되고, 이 물의 온도가 올라가면 얼음의 무질서도는 증가한 것입니다. 각각의 무질서도는 어느 한쪽이 증가하면 다른 한쪽은 감소합니다. 그러나 두 물질을 하나로 생각해 전체 계의 무질서도를 고려하면 항상 증가합니다. 열역학 제2법칙에 의하면 열역학적 현상은 계의 엔트로피가 감소하지 않는 방향으로 일어나므로 얼음과 물이 섞이는 반응에서도 계의 엔트로피는 감소하지 않아야 합니다.

7) A : 5개의 구슬을 10개의 구멍에 넣는 방법의 수

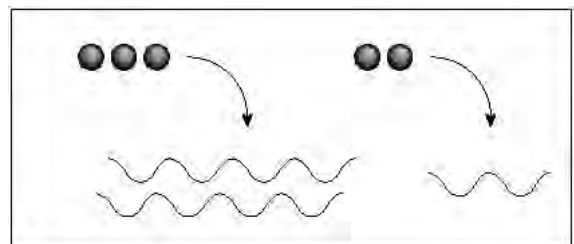
5개의 구슬을 차례로 구멍에 넣을 때 첫번째 구슬이 들어갈 수 있는 구멍의 수는 10개, 두번째 구슬이 들어갈 수 있는 구멍의 수는 첫번째 구슬이 들어간 구멍을 제외하고 9개, ... 이와 같은 식으로 생각하면 5개의 구슬을 10개의 구멍에 넣는 모든 경우의 수는 다음과 같습니다.

$$10 \times 9 \times 8 \times 7 \times 6 = 30240$$



B : 5개의 구슬 중 3개를 8개의 구멍에 넣고, 2개를 2개의 구멍에 넣는 방법의 수

먼저 5개의 구슬을 3개와 2개로 나누는 방법의 수를 구합니다. 즉 5개 중에 3개를 고르는 경우의 수는  $5C3=10$ 입니다. 이제 이렇게 구분한 3개의 구슬과 2개의 구슬에 대해 각각 구멍에 넣



는 경우의 수를 구한 뒤 모두 곱한 값을 구합니다. 이것이 5개의 구슬 중 3개를 8개의 구멍에 넣고, 2개를 2개의 구멍에 넣는 방법의 수입니다.

$$10 \times (8 \times 7 \times 6) \times (2 \times 1) = 6720$$

이 문제에서 구슬은 어떤 물질 입자를 의미하고 구멍은 그 입자들이 놓일 수 있는 장소를 의미합니다. 즉 구멍의 수가 많을수록 구슬의 자유도가 높아지는 것으로 비유됩니다. 첫번째 경우에서 모든 구슬이 똑같은 자유도를 갖는 것은 전체가 물로 된 상태를 설명하는 것으로 구멍에 들어가는 경우의 수가 클수록 무질서도가 높다는 것을 의미합니다. 무질서도란 입자의 자유도를 의미하는 양이기 때문입니다. 하지만 두번째 문제에서 구슬 중 일부는 제한된 개수의 구멍에 들어가는데 이는 결정구조를 가져서 마음西?돌아다닐 수 없는 얼음 상태를 나타냅니다. 즉 얼음과 물로 이뤄진 계의 경우의 수는 물로만 이뤄진 계의 경우의 수보다 훨씬 적음을 알 수 있습니다. 얼음이 물속에서 녹아 전체가 물이 되면 전체계의 무질서도가 증가한다는 것을 이런 방법으로 설명할 수 있습니다.

## 2004년 11월호-물리 면접구술고사 완벽가이드

이번 11월호에서는 까다롭기로 소문난 전자기학 부분을 다루려고 합니다. 작년 이맘때 심층면접에 자주 등장하는 석학들의 아이디어를 엿보기 위해 여러 서적들을 소개했던 것이 기억나네요. ‘파인만의 여섯가지 물리이야기’ ‘소매치기도 뉴턴은 안다’ ‘재미있는 물리여행’ ‘아인슈타인도 몰랐던 과학이야기’ ‘물리가 날 미치게 해!’ 등의 책을 소개하면서 주요 기출문제와 연관되는 부분을 지적했습니다. 특히 ‘물리가 날 미치게 해!’라는 책 제목은 많은 학생들이 공감할 수 있었을 것입니다. 또 표지에 등장하는 그림이 노르웨이 화가 뭉크의 미술작품 ‘절규’를 전자기학적으로 개작한 것이어서 재미있었습니다. 여러분들도 수능을 목전에 두고 뭉크처럼 절규하고 있을지 모르겠으나 마지막 순간까지 최선을 다한다면 합격자 명단에서 자신의 이름을 보고 더 ‘뭉크-을’한 감동을 느낄 수 있게 되지 않을까요?

전자기학 부분은 다른 영역과 비교해 개념·원리가 워낙 추상적이어서 많이 응용되지는 않습니다. 기본 개념·원리 위주로 간단히 응용된 문제를 정리하는 것이 효율적일 것입니다.

### 1. 과유불급(過猶不及)

각종 폭발사고에 대한 기사가 넘쳐나고 있어 이에 대한 불안감이 높아지고 있다. 폭발에 대한 다음 제시문을 읽고 질문에 답하시오.

- 1) TV 브라운관의 폭발 피해가 일반적으로 브라운관의 파편에 의한 것이라는 추측이 틀린 이유와 실제로 브라운관이 폭발해 인명피해가 발생하는 이유를 설명하시오.
- 2) 휴대전화 배터리 충전단자에 동전 등이 닿아 양전극과 음전극이 직접 닿았을 때 니켈-카드뮴 전지보다 리튬이온전지가 폭발할 가능성이 더 큰 이유는 무엇인가?
- 3) 압력 밥솥의 이음새가 맞지 않아 내부 증기가 셀 경우 폭발로 이어지는 이유를 상전이 원리를 이용해 설명하시오.

### [제시문]

#### 폭발의 물리학

일반적으로 폭발은 물리적 폭발과 화학적 폭발 2종류로 구분된다. 물질의 상이 바뀌거나 물리적인 변형, 전기적 원인으로 일어나는 폭발이 물리적 폭발이라면 화학적 폭발은 폭약이나 화약, 또는 화재로 인해 일어난다. 물리적 폭발은 다시 파열, 증기폭발, 전선폭발로 나뉜다. 일반적으로 파열은 자동차 타이어가 펑크 나거나 가스통이 폭발한 경우다. 이에 비해 증기폭발과 전선폭발은 진정한 폭발의 반열에 든다. 이 경우 불꽃이 일거나 폭발 위력이 큰 편이다. 최근 잇따라 터진 전기압력밥솥 폭발이나 보일러 폭발은 증기폭발의 대표적인 사례다. 액체에서 기체로 급격한 상변화가 일어나면서 발생하는 증기폭발은 경우에 따라 큰 피해로 이어진다. 전선폭발의 메커니즘은 모든 전자제품 폭발을 설명하는 가장 일반적인 원리로 통용된다. 휴대전화나 가전제품 폭발로 발생한 화재가 바로 그런 경우이다. 하지만 이 역시 일반적으로 불꽃이 이는 정도에 그칠 뿐 폭발로 단정 짓기에는 무리가 있다.

#### 전자제품 폭발

얼마 전까지도 전자제품 폭발의 1순위는 TV브라운관이었다. ‘일가족 몇명이 TV를 함께 시청하다 갑자기 폭발한 브라운관 파편에 날벼락을 맞았다’는 얘기는 종종 신문지상에 오르던 단골기사였

다. 하지만 TV 브라운관 폭발은 엄격한 의미에서 폭발로 보기엔 다소 무리가 있다고 전문가들은 말한다. 브라운관 내부가 진공상태이기 때문이다.

최근 잇따라 발생한 휴대전화 폭발사고는 전자제품 안전에 대한 기존 인식을 환기하는 계기가 됐다. 휴대전화 폭발은 배터리 내부 절연체에 이상이 발생했을 때 일어난다. 현재 국산 휴대전화에 많이 쓰이는 배터리는 대부분 리튬이온 배터리인데 기존 휴대전화에 많이 쓰던 니켈 배터리나 니켈카드뮴 배터리에 비해 작고 가벼우며 내부저항이 작고 수명이 길기 때문이다. 이 같은 특성에도 불구하고 치명적인 흠이 있다. 일반 리튬 금속이 물이나 공기와 활발히 반응하는 불안정한 성질을 갖는 점이다. 리튬은 작은 수분에도 강력히 반응해 빛과 열을 발산한다. 이런 독특한 성질 때문에 일반적으로 리튬을 전지에 사용할 때는 이온상태로 주입한다. 상대적으로 안정하기 때문이다. 양극과 음극 사이에 주입된 유기 전해물질 역시 연소의 주요 원인으로 꼽힌다. 리튬이온이 통과하는 유기전해물질은 인화성이 매우 강해 폭발의 원인이 될 수 있기 때문이다.

### 압력밥솥 폭발

압력밥솥은 고온 고압으로 밥을 푹 익힌다. 정상작동 시 내부증기압이 일정수준까지 오르면 압력이 자동조절 된다. 하지만 잠금장치가 제대로 맞물리지 않거나 압력조절장치가 고장 날 경우 내압을 이기지 못해 뚜껑이 떨어져 나가면서 과열된 물이 급격히 수증기로 바뀌며 폭발을 일으킨다. 전기압력밥솥 폭발은 솥이 내부 증기압을 견디지 못해 일어난 사고들이다. 전기압력밥솥은 솥 전체에 전해지는 열과 증기압을 이용해 밥을 짓는다. 내부 증기압이 올라가면서 끓는점도 높아져 기존 밥솥에 비해 밥이 상대적으로 푹 익는다. 압력밥솥의 경우 내부 증기압이 일정 수준 이상 되면 압력조절장치가 작동해 자동적으로 떨어지는 구조를 가지고 있다.

-과학동아 2004년 9월호

‘전자제품 연쇄 폭발 원인을 찾아라’에서 발췌-

### ▶ 전문가 클리닉

면접이나 논술전형에서 상당수의 사례를 보면 많은 내용을 채워야 한다는 조바심에 핵심적으로 답을 구성하지 못해 자신의 능력보다 낮은 평가를 받은 경우가 많습니다. 답변이 짧더라도 핵심적인 답을 하는 것이 더 좋은 평가를 받을 수 있습니다. 위 문제에서 ‘증기가 새나가면 압력밥솥이 폭발하는 이유를 설명하라’는 질문에 대한 답변으로 ‘증기가 새나가니까 압력밥솥 뚜껑이 떨어져 나와서 폭발한다’라고 한다면 이는 누가 봐도 동어반복에 불과하다는 것을 알 수 있습니다. 평소 다양한 사례를 접하고 분석하면서 수많은 문항들이 어떻게 유기적으로 연결됐는지 생각해 본다면 적절한 우선순위에 입각해 답할 수 있을 것입니다.

### ▶ 예시 답안

- 1) TV 브라운관 내부가 거의 진공에 가깝기 때문에 외부충격으로 브라운관이 깨지더라도 유리는 압력이 높은 외부에서 압력이 낮은 내부로 빨리 들어가 TV를 시청하던 사람이 유리파편에 의해 다칠 확률은 아주 낮습니다. 그러나 2차적 전기화재 발생으로 화상을 당하거나 질식할 수는 있습니다.
- 2) 양쪽 전극이 닿은 후 전기회로 상에 흐르는 전류의 세기  $I=V/(R+r)$  ( $R$ 은 외부저항,  $r$ 은 내부저항)이므로 전지의 내부저항이 작을수록 전류의 세기는 더 커집니다. 단락된 후 전기회로에서 소모되는 전력의 양은  $P=VI=I^2(R+r)$ 이므로 동일한 전압 하에서 리튬이온처럼 내

부저항이 작을수록 센 전류가 흘러 소모되는 전력이 커지고 그만큼 내부에 열이 발생하므로 화재발생 확률이 높아집니다. 또 리튬이온전지 내부에 리튬이온이 통과하는 유기 전해물질의 인화성이 매우 강해 폭발의 원인이 될 수 있습니다.

- 3) 이가 맞지 않아 틈새로 증기가 빠져나가면 압력밥솥 내부의 압력이 낮아집니다. 그러면 물의 끓는점이 1백℃ 근처로 낮아져 1백℃보다 높은 상태에서도 끓지 않던 과열(고온)상태의 물까지 기화합니다. 따라서 압력밥솥 내부의 증기압이 순간적으로 크게 증가해 폭발합니다.

## 2. 2가지 종류의 반도체

반도체에 대한 다음 질문에 답하십시오.

1) P형 반도체와 N형 반도체를 비교 설명하십시오.

2) 막대 모양으로 생긴 P형 반도체와 N형 반도체를 붙이면 내부에 어떤 일들이 일어날 것인지 설명하라(단 외부에 전기장은 없다고 가정한다).

### ▶ 전문가 클리닉

2004학년도 수능 공통과학에 첨단과학기술에 대한 이해를 묻는 문항이 출제됐습니다. 비교적 난이도가 낮은 문제였는데 지필고사와 구술고사의 차이점을 잘 보여줍니다.

### ▶ 예시 답안

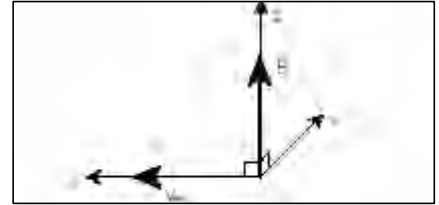
1) P형 반도체는 최외각전자가 4개인 14족 원자가 공유결합으로 구성된 순수한 물질에 최외각전자가 3개인 13족 원소를 부분적으로 결합시켜 자유롭게 움직일 수 있는 홀(정공)을 13족 원소 하나당 1개씩 발생시킨 것입니다. N형 반도체는 14족 원소로 구성된 순수한 물질에 최외각전자가 5개인 15족 원소를 부분적으로 결합시킨 것으로 자유롭게 움직일 수 있는 전자를 15족 원소 하나당 1개씩 발생시킨 것입니다. 그러나 P형 반도체와 N형 반도체는 모두 그 자체만으로는 전기적으로 중성입니다.

2) P형 반도체에는 홀이 많이 있고 N형 반도체에는 전자가 많이 있습니다. 두개를 연결하는 순간 P형 반도체의 홀과 N형 반도체의 전자는 밀도가 낮은 곳에서 높은 곳으로 확산되며 이동합니다. 즉 P형 반도체에 있던 홀이 홀의 밀도가 낮은 N형 반도체로, N형 반도체에 있던 전자가 전자의 밀도가 낮은 P형 반도체로 이동합니다. 그후 P형 반도체로 이동한 전자는 그곳에 많이 남아 있는 홀들과 만나서 없어지고 그 자리에는 3족 원소가 홀을 잃어 버려서 (-)전기를 가진 채 고정됩니다. 그리고 N형 반도체로 이동한 홀은 그곳에 많은 전자와 만나서 사라지고 그 자리에는 5족 원소가 전자를 잃어버린 채 (+)전기로 이온화됩니다. 이때 각 원소들은 결정구조 혹은 격자구조를 이룬 채로 절대로 이동하지 않고 전자와 홀만이 움직입니다. 확산이 진행될수록 이온화된 원소들의 전기적 특성 때문에 확산을 방해하는 전기력이 점점 강해집니다. 따라서 어느 정도에서 확산하려는 힘과 이를 방해하는 이온들과 전자, 홀 사이의 전기력이 서로 균형을 이룹니다.(〈그림1〉참조) 이때 홀과 전자가 사라진 부분을 공핢층(Depletion layer)이라 합니다. 이 구조는 'PN 다이오드'로 불리며 현대 전자공학에서 기초소자로 널리 이용되고 있습니다.

### 3. TV 브라운관의 비밀(서울대 특기자 전형 기출문제)

강타는 최근 텔레비전 브라운관의 작동원리가 전자기장을 이용해 진공 속에 존재하는 전자의 운동궤적을 변화시키는 것임을 알았다.

평소 상상력이 풍부한 강타는 나름대로 진공 속에서 다양한 전자가 궤적을 만드는 방법들을 생각해보던 중 다음과 같은 문제들에 봉착했다. 물음에 답하라.



- 1)  $+z$  방향으로 균일한 자기장  $B$ 가 존재한다. 이제  $+y$  방향으로 전하량이  $-e$ 인 전자가 속력  $v_0$ 로 입사됐다. 이후 전자는 원 궤도를 그리며 돌게 된다. 이유를 설명하고, 원운동의 방향과 궤도반경, 주기 등을 구하라.
- 2) 위 1)의 상황에서 자기장을 조작해 전자의 궤적이  $xy$  평면상에서 '∞'혹은 '8'자를 만드는 방법을 고안하라.
- 3) 위 1)의 상황에서 자기장과 평행하게  $+z$  방향으로 균일한 전기장  $E$ 를 추가했다. 전자가 어떤 궤적을 그리며 움직일지 설명하라.
- 4) 이번에는 위 1)의 상황에서 균일한 전기장  $E$ 를 추가해 전자를 원궤도가 아닌 직선궤도를 따라 움직이게 하려고 한다. 어떻게 하면 되겠는가? 이때 전기장의 크기는 얼마인가?
- 5) 진공 안에서 특정한 어느 방향으로 진행되는 전자집단이 있다고 하자. 전자들의 속력이 제각기 다르다고 할 때 이중 특정 속력을 가진 전자들만을 선택적으로 뽑아낼 수 있는 속도 필터 장치를 위 4)의 결과를 이용해 구상하라.

#### ▶ 전문가 클리닉

전자기 부분에서 단골로 등장하는 문제입니다. 여기서도 이미 여러번 다룬 적이 있습니다. 전기장이나 자기장이 걸린 공간 내에서 전하나 전류가 흐르는 도선이 받는 힘을 찾고 그 힘에 의해 전하나 도선이 보이는 운동 특성을 뉴턴 법칙과 연관지어 푸는 문제를 여러번 훈련해 보세요.

이번 달에는 마지막 정리를 위해 서울대학교 입시에서 출제됐던 문제를 선택했습니다. 이 문제를 풀기 위해서는 공식도 알아야 하지만 힘의 방향, 운동 방향을 찾는 것에도 많은 주의와 집중을 해야 합니다. 렌츠의 법칙을 도입해 풀어보기 바랍니다.

#### ▶ 예시 답안

1) 내부로 입사된 전하는 자기장에 의해 로렌츠 힘을 받습니다. 이때 힘의 크기는 전하량, 속력, 자기장의 세기, 자기장과 입자의 운동방향이 이루는 각도의 사인값과 비례하고 힘의 방향은 전하의 운동방향과 수직입니다. 즉 자기장과 수직하게 전하가 입사되었을 때 전하는 가장 큰 힘을 받게 되고, 운동방향에 대해 수직으로 로렌츠힘이 작용하기 때문에 속도의 크기는 바뀌지 않고 운동방향만 바뀌는 운동을 합니다. 이것이 바로 원운동입니다. 여기서 자기장에 수직한 방향으로 음전하가 입사됐으므로 렌츠의 법칙을 적용하면 외부 자기장을 상쇄시킬 수 있는 유도자기장을 만들기 위해  $+z$ 방향에서 보았을 때 전류의 방향은 시계방향이 돼야 합니다. 즉 전자의 방향은 반시계방향입니다. 그리고 로렌츠 힘이 원운동의 구심력으로 작용하므로 원

의 반지름은  $ev_m B = \frac{mv_2^2}{R}$ ,  $R = \frac{mv_2}{eB}$  이 됩니다.

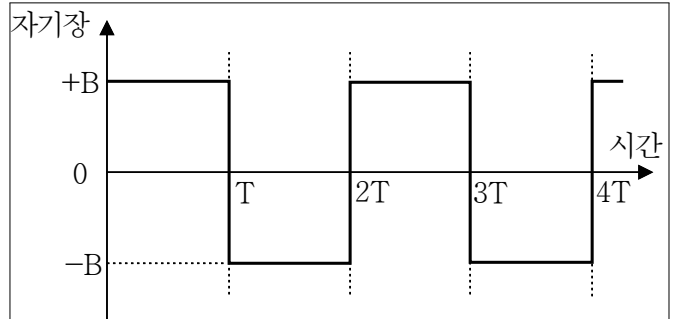
원운동의 주기는  $v_2$ 의 속력으로 원을 한 바퀴 도는데 걸리는 시간이므로  $T = \frac{l}{v_2} = \frac{2\pi R}{v_2} = \frac{2\pi m}{eB}$



입니다.

2) 전하의 원궤도 방향을 바꾸기 위해서는 자기장의 방향이 정확히 반대여야 합니다. 대신 원운동의 궤도반경이나 주기에는 변화를 주지 않아야 하므로 자기장의 크기는 일정하게 유지한 채 방향만 바꿔주면 전하는 '∞' 혹은 '8'자 모양의 운동을 할 것입니다.

단, 자기장을 바꿔주는 주기는 원운동의 주기인  $\frac{2\pi m}{\hbar e B}$ 와 일치시켜야 합니다. 즉 시간에 따라 걸어줘야 하는 자기장의 크기와 방향은 옆의 그래프와 같습니다 (+B는 +Z방향, -B는 -Z방향입니다).



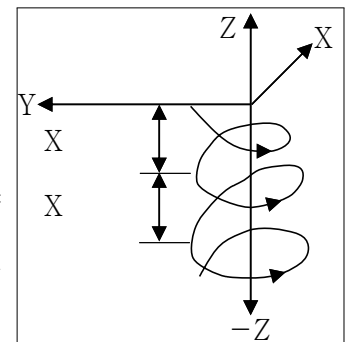
3) 전하는 전기장 속에서 qE만큼의 전기력을 받습니다. 위 상황에서 자기장과 같은 방향인 +z방향으로 전기장이 걸리면 -e전자는 -z방향으로 힘을 받게 됩니다. 그런데 전자는 xy평면에서 원운동을 하므로, 즉 전자가 갖는 속도는 z방향성분을 갖지 않으므로 z방향으로 외부의 힘이 가해지면 xy평면 방향의 속도는 변하지 않고 z방향의 속도성분만 새롭게 추가됩니다.

즉 z방향으로 전자가 어떤 운동을 보이는지 알면 전자의 운동을 기술할 수 있습니다. 뉴턴의 운동법칙에 따라  $F = ma = eE$ ,  $a = \frac{eE}{m}$ 이므로 전자는 -z방향으로 가속도  $\frac{eE}{m}$ 의 가속운동을 합

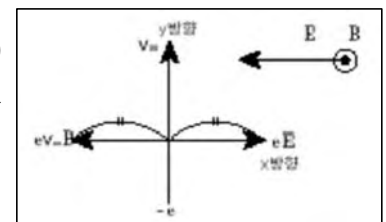
니다. 그러면서 z축에 수직인 방향으로 앞에서 구한 것처럼 반지름  $\frac{m v_z}{eB}$ , 주기  $\frac{2\pi m}{eB}$ 인 원운동을 계속합니다. 전기장이 걸리는 순간부터 전자의 운동궤적을 그려보기 위해 먼저 전자가 처음 한 바퀴를 도는 동안 z방향으로 이동거리 l을 구해보면

$$l = \frac{1}{2} a T^2 = \frac{1}{2} \times \frac{eE}{m} \times \left( \frac{2\pi m}{eB} \right)^2 = \frac{2\pi^2 m E}{e B^2}$$

2바퀴를 돌 동안에는  $\frac{8\pi^2 m E}{e B^2}$ 를 이동하므로 점점 늘어나는 나선모양의 궤적을 그릴 것입니다. 전자의 궤적을 그려보면 옆의 그림과 같습니다.



4) 전자가 직선운동을 하기 위해서는 전자에 작용하는 알짜힘이 0이 돼야 합니다. 전자는 자기장 속에서 운동방향에 대해 수직인 로렌츠힘을 받으므로 알짜힘이 0이 되기 위해서는 전기장을 전자의 운동방향에 대해 수직하게 걸어주면 됩니다.



5) 먼저 전자집단에 적당한 자기장을 걸어줘 모든 전자들이 원운동을 하도록 합니다. 위 4)번 문제의 결과는 원운동하는 전자를 다시 직선으로 운동시키기 위해 전자의 속력을 알아야 한다는 것입니다. 즉 임의의 전기장을 걸었을 때 직선운동을 할 수 있는 전자는 특정한 속력을 가진 전자뿐이라는 것입니다.

이번 호에서는 파동과 입자에 대해 다뤘습니다. 파동과 입자 부분은 전자기학과 마찬가지로 상당히 추상적인 분야라서 응용문제는 적습니다. 기본개념 위주로 정리하고 응용할 수 있는 현상들을 꼼꼼히 점검한다면 면접과 논술에서 여러분들의 물리학적 소양을 200% 보일 수 있을 겁니다.

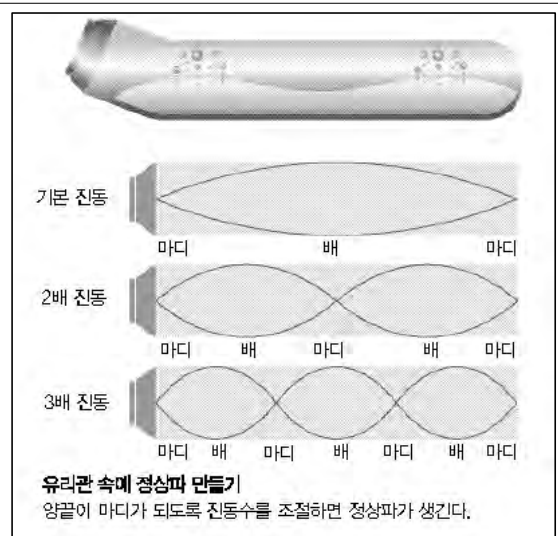
특히 입자이론은 화학에서도 주요 현상을 설명하는 핵심 원리이므로 다소 어렵더라도 중요한 내용은 정리해둬야 합니다. 원자모형의 변천과 수소원자 스펙트럼 그리고 나트륨이나 네온의 스펙트럼 등이 자주 출제됩니다. 파동이론, 입자이론과 직접 관련된 내용으로 빛의 이중성과 물질의 이중성에 대한 현상이나 실험이 중요합니다. 즉 빛의 파동성을 증명하는 회절성, 간섭성과 입자성을 증명하는 광전효과, 콤프턴효과 등이 구체적인 예입니다.

파동과 입자에 관한 기출문제는 두가지 유형이 있습니다. 첫째 개념이나 원리 자체를 묻는 문제입니다. 예를 들어 ‘진동수, 주기, 진자 폭, 횡파와 종파를 설명해보라’ ‘전반사란 무엇인가?’ ‘닫힌 방 밖에서 소리칠 때 안에서 소리가 크게 그리고 울려 들리는 이유는?’ ‘범종의 맥놀이 현상에 대해 아는 대로 설명하라’ ‘빛의 이중성에 대해 설명하라’ ‘나트륨등과 헬륨등의 색이 다른 이유는 무엇인가?’ 등이 있습니다. 둘째 계산을 요구하는 문제도 자주 출제됩니다. ‘영(Young)의 간섭 실험에서 보강간섭이 일어나는 지점을 찾아라’ ‘전반사의 임계각을 구하라’ ‘수소 스펙트럼 파장의 크기를 구하라’ 등이 있습니다.

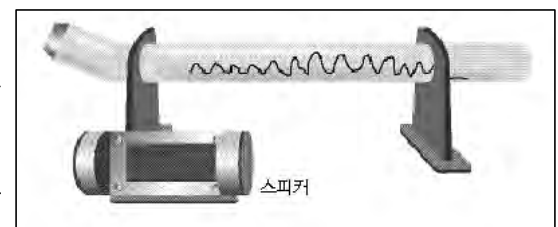
### 1. 흔들림 없는 전진-정상파의 원리

주위 친구들이 어려워하는 현대물리 분야에도 관심이 많은 승우는 집 근처에 새로 생긴 과학 체험관으로 놀러갔다. 한참 신나게 이것저것 실험하고 관찰하다가 전체 61가지 과학놀이가당 중 절반이 넘는 32가지가 물리적 현상을 다룬 것이고, 그중 또 절반이 넘는 17개가 빛과 파동에 관한 것임을 알았다. 특히 ‘춤추는 물’이라 불리는 실험 장치가 승우의 관심을 끌었다. 그 실험 장치에는 다음과 같은 실험원리가 설명돼 있었다.

- 1) ‘파동’을 정의하고 주변에서 관측할 수 있는 파동의 예를 들어보시오.
- 2) 파동현상을 직접 관찰하고 이를 다른 사람에게 제대로 설명하려면 몇 가지 물리량들이 필요하다. 어떤 물리량들이 있는지 말하고 각각의 의미를 설명하시오.
- 3) <그림2>의 ‘춤추는 물’ 장치에서 스피커 진동으로 생긴 음파에 의해 물이 춤추는 이유를 설명하시오.
- 4) 춤추는 물 장치의 설명 부분에는 90cm 유리관에 춤추는 물의 개수가 10개 정도일 때 물이 춤추는 것을 가장 뚜렷하게 볼 수 있다고 나왔다. 그러면 스피커에서 발생하는 음파의 주파수(진동수)를 몇 헤르츠(Hz)로 맞춰야 하는가(단 음파의 공기 중 속도는 340m/s다)?



(그림1) 춤추는 물의 원리



(그림 2) 춤추는 물 장치

## ▶ 전문가 클리닉

‘정상파’(stationary wave)란 서로 반대 방향으로 진행하는 같은 주파수의 두 파동이 중첩함으로써 공간적인 진폭분포가 주기적인 파동을 말합니다. 진폭이 최대인 곳을 마루(배), 최소인 곳을 골(마디)이라 하는데 마루와 골이 번갈아가며 같은 간격으로 나타납니다. 특히 진폭이 같은 두 파동이 서로 반대 방향으로 진행하다 중첩되면 각 파동은 계속 진행하지만 진동하지 않는 마디가 있어 마치 정지하고 있는 것처럼 보입니다.

정상파는 기타, 바이올린, 피리 등의 악기가 소리를 내는 원리이며 병 주둥이에 입을 대고 불 때 잘 조절하면 ‘부웅’하는 큰 소리가 나는 것도 같은 원리입니다. 미국에서 1940년 당시 세계에서 세번째로 긴 현수교인 타코마브리지에 20(m/s)의 비교적 약한 폭풍에 무너져 내려 세계를 놀라게 한 적이 있습니다 (우측 그림). 다리의 고유진동수와 똑같은 진동수로 바람이 주기적으로 불면서 공명 현상이 발생했기 때문입니다. 또 원형 금속평판에 가는 모래를 깔고 판의 특정 지점에 진동을 계속 가하면 모래가 진동의 마디 쪽으로 쏠려서 다양한 무늬가 형성된다는 것도 잘 알려진 사실입니다.

## ▶ 예시답안

- 1) 파동이란 공간적으로 퍼지는 진동을 말합니다. 즉 공간이나 물체 일부에 가해진 상태변화가 차례로 주변에 어떤 속도로 전달되는 현상입니다. 파동의 예로는 물결과, 음파, 지진파, 빛, 심장박동에 의한 파동, 용수철이나 고무줄의 파동, 전자나 양성자 등의 물질파 등 여러 종류가 있습니다.
- 2) 파동의 요소인 파장, 진폭, 주파수(진동수), 주기, 매질의 종류 등을 설명해야 주어진 파동을 정확히 표현할 수 있습니다. 파장과 주파수(또는 주기)로 파동의 진행속도( $v = \text{진동수} \times \text{파장}$ )를 알 수 있으며 진폭을 알면 파동의 강도(에너지 $\propto$ 진폭<sup>2</sup>)도 알 수 있습니다. 또 매질이 있는지 없는지 그리고 있다면 어떤 것인지 까지 설명하면 듣는 사람은 파동 현상을 정확히 이해할 수 있을 겁니다.
- 3) <그림1>에서 설명하듯이 닫힌 유리관 한 쪽에 스피커를 장치해서 음파를 발생시키면 스피커에서 나와 닫힌 쪽으로 진행하는 음파와 닫힌 쪽 유리에 반사돼 반대쪽으로 진행하는 음파가 중첩되면서 정상파를 만듭니다. 열린 곳은 진동이 큰 배가 되고 막힌 끝 쪽(폐관)은 진동하지 않는 마디가 됩니다. 배에서는 공기가 크게 진동하므로 물까지 요동치며 마디에서는 물이 정지해 있습니다. 마디와 마디 사이의 길이는 파장( $\lambda$ )의 반이며 파장이  $\frac{\lambda}{n}$ ( $n$ 은 폐관의 총 길이)일 때 정상파가 만들어집니다.
- 4) 정상파 열 마디의 길이가 90cm이므로 한 마디의 길이는 9cm입니다. 그러므로 음파의 파장은 9cm의 두 배인 18cm입니다. 결국 스피커에서 발생하는 음파의 진동수(주파수)는
$$f = \frac{\text{음속}}{\text{파장}} = \frac{340(\text{m/s})}{0.18(\text{m})} \approx 1889(\text{Hz}) \text{입니다.}$$

## 2. 이중 스파이의 묘한 행동 - 빛과 물질의 이중성

자연에 존재하는 물리 현상은 입자적인 현상과 파동적인 현상으로 구분할 수 있다. 지난 수세기 동안 많은 과학자들의 노력으로 이 두 가지 물리 현상에 대한 이론들이 각각 발전해왔다. 많은 사람들은 각 이론이 서로 관련이 없는 다른 물리적 현상이라고 믿었다.

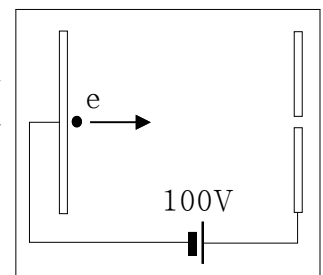
그러나 1900년대에 들어오면서 입자와 파동에 대한 이런 믿음에 일대 변혁이 일어났다. 물질의 본성에 관한 연구결과로 빛을 포함한 물질이 입자 또는 파동의 성질을 모두 갖는 이중성을 지닌다는 주장이 받아들여진 것이다. 다음의 문제를 통해 물질의 이중성에 대해 알아보자.

1) 아인슈타인의 ‘광전효과’ 실험에서는 광전자의 운동에너지가 빛의 세기와는 무관하고 빛의 파장에 의해 결정된다는 것을 알 수 있다. 이 사실로부터 빛이 입자라고 결론짓는 추론의 근거를 말해 보시오.

2) 콤프턴은 자신의 실험을 통해 파장이  $\lambda$ 인 빛이 입자성을 보일 때 그 운동량은  $h/\lambda$ 로 구할 수 있음을 밝혔다. 드브로이는 이 결과로부터 물질도 파동성을 보일 것이라고 생각하고 그때의 파장을 물질과 파장이라고 불렀다. 질량이  $m$ 이고 속력이  $v$ 인 입자가 파동성을 보일 때 물질과 파장의 크기는 얼마인가?

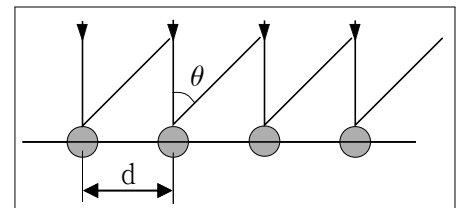
3) (그림4)와 같이 전압 100V가 걸린 구간에서 초속도 0인 전자가 가속을 시작한다. 출구를 빠져나가는 순간 전자의 속력은 얼마인가 (단 전자의 질량은  $9.1 \times 10^{-31} \text{Kg}$ 이고 전하량은  $1.6 \times 10^{-19} \text{C}$ 이다)?

4) 드브로이의 물질파 공식으로부터 위의 전자가 갖는 물질파 파장의 크기는 얼마인가 (단  $h = 6.63 \times 10^{-34} \text{Js}$ 이다)?



(그림4)입자가속장치

5) (그림5)와 같이 원자가 균일하게 배열된 금속 표면에 위에서 제시한 방법으로 가속시킨 전자빔을 수직으로 쏘주면 전자는 원자와 충돌해 사방으로 골고루 퍼져나가고 이렇게 산란된 전자들은 파동처럼 간섭현상을 일으킨다. 산란각이  $\theta$ 이고 원자의 수평간격이  $d$ 일 때 산란된 전자가 보강간섭을 일으킬 조건을 식으로 표현하라.



6) 깨끗한 금 표면에서 위와 같은 실험을 해보니 첫번째 밝은 무늬가 입사방향과  $25^\circ$ 를 이루는 위치에 나타났다. 금 원자의 간격은 얼마인가?

7) 위 전자빔을 속력이 같은 양성자 빔으로 교체한다면 첫번째 밝은 무늬가 나타나는 산란각을 예측해 보시오(단 양성자의 질량은 전자 질량의 1840배다).

8) 모든 물질은 입자이면서 동시에 파동의 성질을 갖고 있다. 하지만 투수가 던진 야구공이나 자동차, 비행기 등이 파동의 형태로 보이지 않는 이유를 7)번 결과를 토대로 추측하시오.

## ▶ 전문가 클리닉

최근 들어 면접에서 현대 물리학의 비중이 점차 커지고 있습니다. 고전 역학이 해결하지 못한 물리 현상을 해석하려면 전혀 새로운 개념에 빨리 적응해야 합니다. 현대 물리학은 입자 수준의 미세한 세계에서 일어나는 물리 현상을 좀더 정확하게 이해하기 위해 도입됐으므로 피부에 직접 와 닿지 않는 것이 사실입니다. 특히 모든 물질은 파동성과 입자성을 함께 지닌다는 물질의 이중성은 현대 물리학이 탄생한 중요한 배경이면서도 가장 이해하기 힘든 내용입니다. 이 문제를 통해 물질의 이중성을 정확히 파악하도록 노력해 보시길 바랍니다.

## ▶ 예시 답안

1) 빛을 쪼였을 때 금속 표면에서 튀어나오는 광전자의 에너지는 빛에서 온 것입니다. 즉 빛

에너지에 의해 광전자의 에너지가 결정된다고 할 수 있습니다. 고전적으로 빛은 파동이므로 빛 에너지는 파장과 진폭(세기)에 의해 결정될 것입니다.

그러나 광전효과 실험은 광전자의 에너지가 빛의 세기와 무관함을 말해줍니다. 대신 빛이 특정 파장보다 작을 때만 광전자가 방출되며 빛의 세기는 광전자의 양(전류)에만 영향을 끼친다는 결과를 얻었습니다. 따라서 빛은 마치 전자 하나하나와 개별적으로 에너지 교환을 하며 그 에너지는 빛의 파장에 의해 결정된다고 추론할 수 있습니다. 이때 유도되는 빛의 에너지는  $E = hf = h \frac{v}{\lambda} = h \frac{c}{\lambda}$ 로 파장에 반비례합니다 ( $h$ 는 플랑크 상수).

즉 빛을  $\frac{hc}{\lambda}$ 라는 단위 에너지를 갖는 입자로 이해하는 것이 더 바람직합니다. 다만 여기서 말하는 입자는 고전적인 의미의 '형태가 있고 부피와 질량을 갖는 물질'이 아닌 양자화된 에너지를 갖고 있는 물질로 이해해야 합니다.

- 2) 드브로이의 물질파 이론은 빛의 이중성이 발견되고 나서 물질도 빛과 같이 이중성을 갖고 있지 않을까라는 추측에서 전개되었습니다. 즉 파장이  $\lambda$ 인 빛이 입자와 반응해 그 광자의 운동량이  $p$ 인 입자가 파동성을 나타낸다면 그 파장은  $\lambda = \frac{h}{p}$ 로 표현되지 않을까라는 의문을 품을만 합니다. 결과적으로 그의 주장이 옳다는 것이 밝혀졌습니다. 따라서 질량  $m$ , 속도  $v$ 인 입자의 물질파 파장의 크기는  $\lambda = \frac{h}{mv}$ 입니다.

- 3) 두 전극 사이에서 전자는  $F = eE$ 의 힘을 받습니다. 전극 사이의 거리를  $l$ 이라 할 때 전자가 이동하는 동안 얻은 총 일의 양은  $W = Fl = eEl$ 이고  $El = V$ 입니다. 전자가 출구를 빠져나가는 순간의 속력을 구하면

$$W = eV = \frac{1}{2}mv^2$$

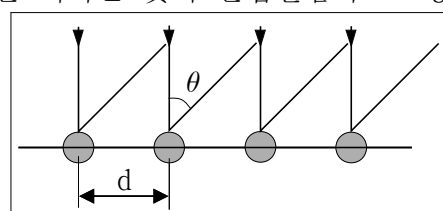
$$\therefore v = \sqrt{\frac{2eV}{m}} = \sqrt{\frac{2 \times 1.6 \times 10^{-19} \times 100}{9.1 \times 10^{-31}}} = 5.93 \times 10^6 \text{ m/s}$$

- 4) 드브로이의 물질파 이론으로부터 이 전자의 파장을 구하면

$$\lambda = \frac{h}{mv} = \frac{6.63 \times 10^{-34}}{9.1 \times 10^{-31} \times 5.93 \times 10^6} = 1.229 \times 10^{-10} \text{ m} = 1.229 \text{ \AA}$$

이 됩니다 (단  $1 \text{ \AA} = 10^{-10} \text{ m}$ ).

- 5) 금속표면의 원자로부터 산란되는 전자의 모습은 회절격자를 지나는 빛의 간섭실험과 그 형태가 비슷합니다. 즉 전자를 파동으로 생각하면 파동의 회절법칙을 그대로 적용할 수 있으며, 이때 전자의 파장은 드브로이의 물질파 공식으로 구할 수 있습니다. (그림6)의 이웃한 원자에서 산란된 두 전자의 경로차  $[\Delta k]$ 가 전자의 파장에 대해 정수배가 될 때 전자는 보강간섭을 일으킬 것입니다. 따라서 보강간섭을 일으키는 조건은



(그림6) 금속표면에서 전자의 산란

- 6) 첫 번째 보강간섭이 나타나는 산란각이  $25^\circ$ 라고 했으므로 위에서 구한 공식에서  $n=1$ ,  $\theta=25^\circ$ 를 대입하면

$$d \sin 25^\circ = \lambda, \quad d = \frac{\lambda}{\sin 25^\circ} = \frac{1.229 \text{ \AA}}{0.4226} = 2.908 \text{ \AA}$$

- 7) 속력은 같고 질량이 다른 양성자 빔으로 금 표면에서의 회절현상을 살펴보려면 먼저 양성자의 물질파 파장  $\lambda_p$ 의 크기를 구해야 합니다. 질량이 전자의 1840배이므로 양성자의 물질파 파장은 전자의  $\frac{1}{1840}$ 입니다. 즉

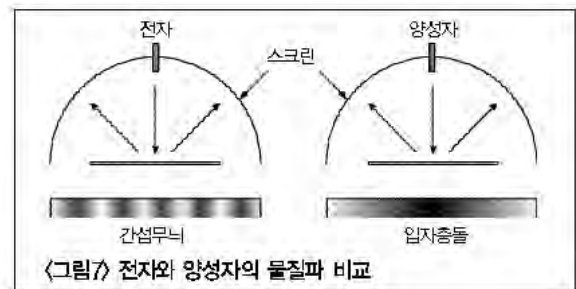
$$\lambda_p = \frac{1.229 \times 10^{-10}}{1840} = 6.68 \times 10^{-14} \text{ m}$$

회절 조건에 대입해 첫 번째 보강간섭이 나타나는 산란각을 구하면

$$\sin \theta = \frac{\lambda_p}{d} = \frac{6.68 \times 10^{-14}}{2.908 \times 10^{-10}} = 2.297 \times 10^{-4} \quad \therefore \theta \approx 0.0132^\circ$$

- 8) 위 7)번 문제의 결과를 살펴보면 전자보다 질량이 큰 양성자 빔으로 회절 실험을 했을 때 간섭무늬의 간격이  $0.0132^\circ$ 라는 엄청나게 작은 값이 나온다는 것을 알 수 있습니다. 매우 정밀한 측정장비가 없다면 간섭무늬는 그냥 하나의 연결된 띠로만 관찰될 것입니다. 즉 양성자는 금속 표면에서 산란돼 간섭현상을 일으킬 지라도 겉으로는 그냥 입자 대 입자의 충돌로 봐도 무리가 없습니다.

이처럼 드브로이 물질파 이론에 따라 각 물질이 특정 파장을 갖는 파동성을 가진다 하더라도 그 파동성을 관찰할 때 측정 장비와 측정 방식에서 한계에 부딪힌다는 점을 알 수 있습니다. 즉 야구공이나 자동차와 같은 우리 주변의 커다란 물체의 파동성은 그 파장의 크기가 너무 작아서 우리가 알 수 있을 정도로 표현되기란 거의 불가능합니다. 이것이 바로 현실에서 입자의 파동성이 쉽게 관찰되지 않는 이유입니다. 전자와 같이 질량이 매우 작은 입자의 경우에만 손쉽게 드브로이 물질파 이론을 확인할 수 있습니다.



## 2005년 01월호-물리 면접구술고사 완벽가이드

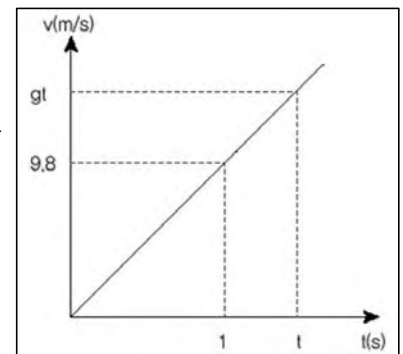
이번 호에는 2005학년도 대학입학 정시모집 일정이 남아있어서 그에 대한 대비를 염두에 뒀습니다. 서울대, 부산대 등 국립대 중 일부가 교과 면접을 실시하기 때문에 수험생들이 최종적으로 점검할 수 있도록 전체 영역에서 중요한 주제들을 선정해 분석했습니다. 그리고 하나 더, 아래 정리를 통해 문제를 풀기 전 이번 호 문제 해결에 꼭 필요한 개념과 원리를 다시 한번 짚어 봅니다.

### 1. 공기의 저항이 작용하는 중력장 내에서 물체의 운동

#### 1) 공기의 저항을 무시한 자유낙하운동

실제 지구상에서는 일어나기 힘든 현상이지만 공기의 저항을 고려한 운동을 정확히 분석하기 위해 먼저 살펴보겠습니다.

- ① 질량이  $m(\text{Kg})$ 인 물체가 받는 힘은 중력뿐이며 크기는  $mg$ 입니다.
- ② 물체의 낙하가속도는  $F/m=mg/m=g$ 입니다. 즉 물체의 질량(무게)에 상관없이 가속도의 크기가 일정합니다.
- ③ 물체가 정지 상태에서 낙하했을 때  $t$ 초 후 속도는  $gt$ 입니다.
- ④ 물체가  $t$ 초 동안 낙하한 거리는 오른쪽 속도-시간 그래프 상의 면적이므로 이를 구하면  $1/2 gt^2$ 입니다.



#### 2) 공기의 저항을 고려한 물체의 낙하 운동

- ① 낙하하는 물체의 속도가 증가할수록 공기의 저항력( $F=-kv$ )도 증가합니다.
- ② 물체에 작용하는 중력은 일정한데 공기의 저항력이 커지므로 결국에는 두 힘의 크기가 같아져 힘의 평형을 이룹니다. 이후부터는 물체가 등속도 운동을 합니다.
- ③ 더 이상 속도가 증가하지 않을 때의 속도를 종단속도(terminal velocity)라 하며,  $mg=-kv$ 로부터 구할 수 있습니다.

### 2. 자기장 속에서 운동하는 전자

#### 1) 전기장 내에서 전하가 받는 힘

전하를 띤 입자가 균일한 전기장에서 받는 힘  $F=qE$ 로 표현됩니다. 외부에서 가해지는 힘이 없을 때 그 전하는  $F=qE=ma$ 로부터  $a=qE/m$ 의 등가속도 운동을 합니다.

#### 2) 로렌츠 힘이란?

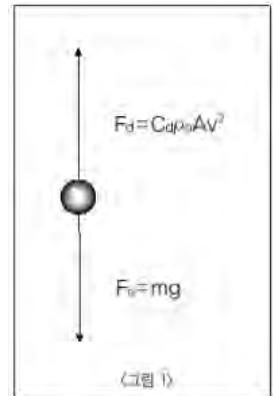
자기장 내에서 양성자나 전자, 또는 이온 등이 운동할 때 받는 힘을 의미합니다. 자기장이 셀수록, 물체의 전하량이 클수록, 그리고 빨리 운동할수록 더 큰 힘을 받습니다. 로렌츠 힘은  $F=Bqv$ 로 표시됩니다.

#### 3) 물질의 이중성

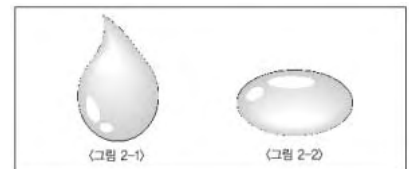
빛을 포함한 물질이라는 것은 그 측정 도구와 측정 방법의 한계에 의해 입자 또는 파동의 형태로 보일 수 있으며 물질은 입자의 성질과 파동의 성질을 모두 갖고 있는 이중성을 지니고 있습니다. 드브로이는 질량이  $m$ , 속력이  $v$ 인 입자의 물질파 파장의 크기  $\lambda = h/mv$  ( $h$ 는 플랑크 상수)임을 밝혔습니다.

#### 1. 날개 없이 비상(飛上)하다-2005학년도 서울대 수시모집 특기자전형 기출문제 응용

공기 중에 떨어지는 빗방울의 모양을 구형으로 가정하고, 그 반경을  $r$ 이라 하자. 이 빗방울이 속력  $v$ 로 중력에 나란한 방향으로 낙하하고 있을 때, 여기에 작용하는 힘은 중력  $F_g = mg$ 와 공기 저항에 의한 끌리는 힘  $F_d = C_d \rho_a A v^2$ 을 생각할 수 있다.(<그림 1> 참고) 여기서  $C_d$ 는 끌림 상수,  $\rho_a$ 는 공기의 밀도,  $A = \pi r^2$ 은 빗방울의 유효 단면적, 그리고  $v$ 는 빗방울의 속력을 의미한다. 계산 상의 편의를 위해 끌림 상수  $C_d = 1.0$ , 공기의 밀도  $\rho_a = 1.2 \text{ Kg/m}^3$ 으로 가정하자. 아래 질문들에 대한 계산 결과는 유효숫자 1개로 표현하시오.



- 1) 반경  $r_0 = 1 \text{ mm}$  크기의 빗방울이 낙하하는 경우 공기의 저항으로 인해 일정한 속력에 도달하게 된다. 이 빗방울의 종단 속도  $v_t$ 의 크기를 구하시오(단 물의 밀도  $\rho_l = 1.0 \times 10^3 \text{ Kg/m}^3$ , 중력 가속도  $g = 9.8 \text{ m/s}^2$ 로 한다).
- 2) 이 빗방울이 지상의 평평한 면에 떨어지면 일정한 충격을 주게 된다. 빗방울에 의해 가해지는 힘  $F_u$ 를 어림잡아 구하고, 이 때  $F_u$ 를 빗방울의 무게에 대한 비  $F_u/mg$ 로 표현하시오.
- 3) 소나기가 올 것 같은 날씨에 대기 중에 대략  $E = 2.5 \times 10^4 \text{ N/C}$  정도의 전기장이 중력과 같은 방향으로 존재한다. 만일 어떤 빗방울이  $q = 4.0 \times 10^{-13} \text{ C}$ 의 전하를 띠고 있다면 이 빗방울이 지상으로 떨어지지 않을 수 있는 최대 반경  $r_c$ 를 구하시오(단 이 때의 전하량은  $2.5 \times 10^6$ 개의 전자에 해당하는 것이다).
- 4) 일반적으로 빗방울을 표현할 때, <그림 2-1>과 같이 눈물 모양으로 표현을 한다. 그러나 실제로 공기 중에 떨어지는 빗방울의 모양은 눈물 모양이 아니라 <그림 2-2>와 같은 원형 또는 찌꺼 모양을 갖는다. 그 이유를 설명하시오.
- 5) 얼마 전 인터넷상에서 인기검색어로 꼽히던 것 중에 ‘개미의 운명’이란 것이 있었다. ‘63빌딩 꼭대기에서 개미를 떨어뜨리면 살 수 있을까, 없을까?’가 바로 개미의 운명이었다. 이에 대한 본인의 의견을 말해 보시오.



#### ▶ 전문가 클리닉

실제 서울대 기출문항은 소문항 4)번까지였습니다. 빗방울의 낙하 현상에 대한 질문은 다양한 형태로 이전에 출제됐었습니다. 이번엔 빗방울의 특이한 모양까지 소재로 삼았군요. 그냥 그러려니 하기 쉬운 현상인데 물리학과 물리학적 현상에 애정이 각별한 분은 역시나 그냥 지나치지 않는 것 같습니다. 마지막에 덧붙인 ‘개미의 운명’ 소문항의 경우 “개미는 가벼우니까 63빌딩에서 떨어져도 살지 않겠습니까?”라고 답하는 수험생이 있다면, 그 ‘참을 수 없는 답변의 가벼움’에 면접관께서 아마 자리를 박차고 나가지 않을까 싶네요.

#### ▶ 예시답안

- 1) 빗방울이 종단속도에 도달해서 더 이상 속도가 증가하지 않는 것은 중력  $mg$ 와 공기저항에



의한 끌리는 힘  $C_d\rho_aAv^2$ 이 힘의 평형상태를 이루기 때문입니다.

$mg = C_d\rho_aAv^2$ 에서

$$v^2 = \frac{mg}{C_d\rho_aA} = \frac{\rho_1 \frac{4}{3}\pi r_0^3}{C_d\rho_a\pi r_0^2} = \frac{1 \times 10^3 \times 4 \times 1 \times 10^{-3} \times 9.8}{1 \times 1.2 \times 3}$$

$\approx 10.9$ 이므로,

$v = \sqrt{10.9} \approx 3.30(\text{m/s})$ 가 됩니다. 유효숫자 1개로 표시하면  $3(\text{m/s})$ 가 정답입니다.

2) 첫째, 빗방울에 의해 지상의 평평한 면에 가하는 힘  $F_u$ 를 어림잡아 구하면 다음과 같습니다.

빗방울이 지면과 충돌하며 받는 충격량  $I = F_u \times t = m\Delta v$ 이므로  $F_u = \frac{m\Delta v}{t}$ 가 성립합니다.

빗방울의 아랫면이 지면에 충돌하면서 감속하기 시작해 위쪽 면까지 충돌하는데 걸리는 시간  $t$ 는 대략 (빗방울의 지름  $\div$  지면에 도달할 때 빗방울의 속도  $\times 2$ )이므로 이를  $F_u = \frac{mv}{t}$ 에 대입하면  $F_u \approx 0.018(\text{N})$ 이 구해집니다. 이를 유효숫자 1개로 표시하면  $0.02\text{N}$  (또는  $2 \times 10^{-2}\text{N}$ )이 정답입니다.(2003년 6월호 참고)

둘째,  $\frac{F_u}{mg} = \frac{0.018}{4 \times 10^{-6} \times 9.8} \approx 459.2$ 입니다. 이를 유효숫자 1개로 표시하면  $5 \times 10^2$ 이 정답입니다.

이는 물체가 운동하다가 충돌할 경우 무게에 비해 훨씬 큰 힘을 충돌하는 물체에 가하고 자신도 그만큼의 반작용력을 받는다는 것을 의미합니다.

3) 빗방울에 작용하는 중력과 전기력이 힘의 평형을 이루면 빗방울이 떨어지지 않을 수 있으므로 다음의 식이 성립합니다.  $mg = qE$ 이므로  $\frac{4}{3}\pi r^3 \rho_t g = qE$ 에서

$$r^3 = \frac{3qE}{4\pi \rho_t g} = \frac{3 \times (4.0 \times 10^{-13}) \times 2.5 \times 10^4}{4\pi \rho_t g} \approx 2.436 \times 10^{-13}$$

이 구해집니다. 빗방울의 반지름  $r$ 이 약  $0.0000625(\text{m})$ 로 구해지며, 이를 유효숫자 1개로 표시하면  $0.00006\text{m}$  또는  $6 \times 10^{-5}\text{m}(0.06\text{mm})$ 가 정답입니다.

4) 빗방울이 어떤 모양을 하고 있든지 간에 일정한 모양을 유지하고 있다면 그것은 빗방울을 구성하고 있는 물분자 각각이 힘의 평형상태에 있음을 의미합니다. 일반적인 상태에서 물은 계면장력에 의해 구형을 이루지만 공기의 저항력이 작용하는 빗방울 아랫면에 위치한 물분자들에 작용하는 알짜힘은 위쪽 방향입니다.

결국 물분자간 수소결합에 의한 표면장력에 의한 효과와 공기 저항력에 의한 효과가 평형을 이룰 때까지 아랫면에 있던 물분자들이 다른 쪽 면에 있던 물분자들보다 상대적으로 더 위로 쏠리게 되므로 바닥이 평평하게 됩니다. 결론적으로 중력과 표면장력과 공기 저항력에 의한 물분자들의 위치에너지 값이 최소화된 모양이 바로 찰흙 모양인 것입니다 (BeScientists 2004년 8월호 물리편 1번 문항의 일렉트로웨팅 현상과 계면장력 문항을 참고 바랍니다).

- 5) 개미가 지면에 닿아서 죽느냐 사느냐는 지면으로부터 받는 힘의 크기에 의해 좌우되고 힘의 크기는 2)번 문항에서 살펴본 바와 같이(운동량의 변화량( $m\Delta v$ )÷충격시간( $t$ ))입니다. 결국 개미가 지면과 충돌할 때 속도의 크기와 충격이 지속되는 시간에 의해 개미의 운명이 결정됩니다. 첫째, 개미는 크기( $r$ )가 작아 체중(밀도×부피)에 비해 단면적( $\pi r^2$ )이 넓으므로 공기의 저항을 크게 받습니다. 둘째, 더듬이나 다리 등 말단부가 몸에 비해 길고 수가 많아서 공기의 저항을 상대적으로 크게 받을 것으로 예상됩니다. 그래서 개미는 낙하 시작 후 짧은 시간 만에 종단속도에 도달하게 돼 63빌딩에서 떨어지나 2층 옥상에서 떨어지나 지면에 도달할 때 속도의 크기는 같게 될 것입니다. 키 큰 나무에서 떨어진 개미가 별 이상 없이 일을 계속하는 것을 볼 때 63빌딩에서 떨어진 개미는 사뿐히 착지해서 즐겁게 별천지를 탐사하리라 봅니다.

## 2. 특정한 에너지만을 갖는 전자의 운동(보어의 양자화 가설)

원자 모형을 공부하던 민철이는 보어에 의해 제안된 양자화 가설에 의해 원자 내부의 전자는 특정한 에너지 상태에서만 존재할 수 있다는 것을 배웠다. 즉 전자는 핵 주변을 원운동 하기 위해 특정한 파장, 특정한 에너지만을 가질 수 있다는 것이다. 그런데 민철이는 전자기학을 배울 때 자기장 속에서 운동하는 전자 또한 원운동을 한다는 것을 알고 있었다. 그렇다면 그 전자도 특정한 에너지만을 가져야 하는 것이 아닌가하는 의문을 갖게 됐고 다음의 순서로 그 의문점을 해결해 봤다.

- 1) 균일한 자기장 속에 수직으로 입사한 전자는 어떤 운동을 하게 될 것인지 설명하시오.
- 2) 이 전자의 반지름을 주어진 값으로 표현하시오(단 전자의 질량  $m$ , 전자의 전하량  $e$ , 자기장의 세기  $B$ , 전자의 속력은  $v$ 로 한다).
- 3) 드브로이의 물질파 파장에 대해 설명하시오.
- 4) 보어의 양자화 가설에 따르면 원운동을 하는 전자는 원주의 길이가 전자의 물질파 파장의 정수배 조건을 따라야 한다. 이 조건에 의해 전자의 궤도 반지름을  $m, v$ 로 표현하시오.
- 5) 위 결과들로부터 자기장 내에서 원운동 하는 전자의 에너지 준위를 구하시오(단 전자의 반지름이나 속력이 포함되지 않은 식으로 나타낸다).
- 6) 5)번의 결과를 고전역학적 관점에서 어떻게 받아들일 것인지 설명해 보시오.

## ▶ 전문가 클리닉

현대물리학은 미시세계를 기술하기 위해 기존의 고전역학적 해석과 개념을 수정, 보완한 물리학이라 할 수 있습니다. 그래서 많은 학생들이 어렵고 힘든 분야로 생각하고 처음부터 겁을 먹고 접근하는 경우가 많습니다. 하지만 현대물리학의 기본 개념만 알고 있으면 기존의 고전역학적 현상을 다른 관점에서 해석할 수 있다는 것을 알게 되고, 현대물리학이 그리 어려운 것만은 아니란 것을 깨닫게 될 겁니다. 위 문항은 전자기학에서 술하게 다뤘던 로렌츠의 힘에 현대물리학적 개념을 약간 섞은 것입니다. 그 결과는 전혀 다른 세계를 다루는 것이 아니라 단지 자연을 바라보는 관점의 차이임을 알게 될 것입니다.

## ▶ 예시답안

- 1) 균일한 자기장 속으로 입사한 전자는 로렌츠 힘을 받게 되는데, 그 크기는  $Bev$ 이고 전자의 운동방향에 대해 수직으로 작용합니다. 이 때 원운동은 ‘자연은 변화를 거부한다’는 개념의 ‘렌츠의 법칙’에 의해 회전하는 전자가 만들어내는 자기장이 외부에서 가한 자기장과 반대

가 되도록 하는 방향입니다.

- 2) 전자는 자기장 내에서 로렌츠 힘을 받아 원운동을 합니다. 즉 로렌츠 힘이 곧 원운동에 필요한 구심력의 크기가 됩니다.

$$mv^2/r = Bev$$

$$r = \frac{mv}{Be} \dots\dots\dots (a)$$

- 3) 현대물리학에 이르러 빛은 입자적 성질과 파동적 성질을 모두 갖고 있으며 이 때 빛의 운동량과 파장 사이에는  $p = \frac{h}{\lambda}$ 의 관계가 있음이 알려지게 됩니다. 여기서  $h$ 는 플랑크 상수라고 하는 것이며 약  $6.63 \times 10^{-34} \text{Js}$ 의 값을 갖습니다. 이러한 빛의 성질이 알려지면서 드브로이하는 과학자는 물질도 빛과 같이 이중적 성질을 띠고 있을 것이라고 생각했고, 이처럼 물질이 파동적 성질을 보이는 것을 물질파 파동이라고 부르고 그 때의 파장을 물질파 파장이라고 했습니다. 이 때 물질파 파장의 식은  $\lambda = \frac{h}{mv}$ 가 됩니다.

- 4) 보어의 양자화 가설에 따르면 원운동 하는 전자는 그 원주의 길이가 전자의 물질파 파장의 길이의 정수배를 만족해야 합니다. 즉,

$$2\pi r = n\lambda = \frac{nh}{mv}$$

$$r = \frac{nh}{2\pi mv} \dots\dots\dots (b)$$

- 5) 전자의 운동에너지는  $\frac{1}{2}mv^2$ 입니다. 여기서 전자의 반지름과 속력을 소거하기 위해 (a)식과 (b)식을 이용하면,

$$r = \frac{mv}{Be} = \frac{mv}{2\pi mv}$$

$$v^2 = \frac{nBeh}{2\pi m^2}$$

$$E_n = \frac{1}{2}mv^2 = \frac{nBeh}{4\pi m}$$

이 됩니다.

- 6) 고전역학적인 관점에서는 전자가 초기조건에 따라 어떠한 에너지든 어떠한 궤도 반지름으로든 원운동 할 수 있어야 합니다. 그러나 5)번 결과는 전자의 에너지는 특정한 값만을 요구받는 것처럼 생각됩니다. 관점의 차이에 따라 물리현상이 다르게 해석되는 일이 발생한 것입니다. 그러나 5)번 결과를 좀 더 찬찬히 들여다보면 이러한 현상이 왜 나타났는지 금세 알 수 있습니다. 5)번 결과에서 전자가 갖는

## 2005년 02월호-물리 면접구술고사 완벽가이드

이번 호에서는 물리 구술면접이나 과학논술에서 자주 채택되는 역학 부분의 주요 주제인 마찰력, 관성력, 빗면역학 등을 살펴보겠습니다. 먼저 아래 정리를 통해 문제를 풀기 전 이번 호 문제 해결에 꼭 필요한 개념을 다시 한번 짚어봅시다.

### ■ 관성력

가속 운동하는 좌표계에서 운동법칙이 성립하기 위한 가상적인 힘이다. 그러므로 외부의 정지 좌표계에서 관찰하는 사람은 느낄 수 없는 힘이다.

- ① 좌표계의 가속도 방향과 항상 반대 방향으로 작용한다. ( $F = -ma$ )
- ② 가상적 힘이므로 반작용력이 없다.
- ③ 관성력의 하나인 원심력은 원운동에서의 관성력을 말하며 구심력과 그 크기가 같다.
- ④ 가속 운동하는 엘리베이터 안에서 단진자의 주기는 관성력의 방향에 따라

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g+a}}$$

로 달라진다. 그러나 용수철 진자의 주기는 변함없다.

( $l$  : 실의 길이,  $a$  : 엘리베이터 가속도,  $g$  : 중력가속도)

- ⑤ 종이 위에 놓인 동전을 그대로 두고 종이만 빼내는 방법은 동전의 관성력( $-ma$ )이 종이의 최대정지마찰력( $\mu mg$ )보다 크거나 같게 하는 것이다.

#### 1. 가상의 힘-관성과 관성력

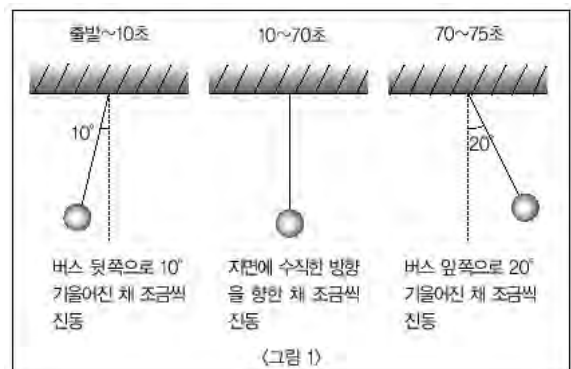
학교를 마치고 집으로 가는 시내버스를 탄 철중이는 무료한 시간을 달래기 위해 실과 지우개로 간단한 진자모형을 만들었다. 버스 안에서 이리저리 진자를 흔들어 보던 철중이는 버스가 출발 하거나 멈출 때 진자가 특정 각도로 기울어진 채 유지되는 것을 발견했다. 그래서 각도기를 꺼내 시간에 따라 진자의 각도를 기록했다. 집으로 돌아온 철중이는 그 측정값으로부터 버스가 달린 거리를 알아낼 수 있다는 사실을 발견하고 뭔지 모를 전율에 휩싸였다. 다음 물음에 답하라.

- 1) 중력가속도  $g$ 인 공간에서 질량이  $m$ 인 단진자가 수직방향에 대해  $\theta$ 만큼 기울었을 때 진자가 받는 수평방향의 힘은 얼마인지 구하시오(단 실의 질량은 무시한다).
- 2) 위의 진자가 가속 운동하는 버스 안에 있다면 버스의 가속도 크기와 방향은 어떻게 되는가?

- 3) <그림 1>은 버스가 한 정류장을 출발해 다음 정류장에 도착할 때까지 시간에 따른 진자의 각도를 표기한 것이다. 버스의 가속도가 어떻게 바뀌었는지 시간-가속도 그래프로 표현하시오(단 중력가속도= $10\text{m/s}^2$ ,  $\tan 10^\circ = 0.2$ ,  $\tan 20^\circ = 0.4$ 로 한다).

- 4) 위 결과로부터 버스의 시간-속도 그래프를 그리시오(단 버스는 정지상태에서 출발했다).

- 5) 위 결과들로부터 두 정류장 사이의 거리를 구하시오.

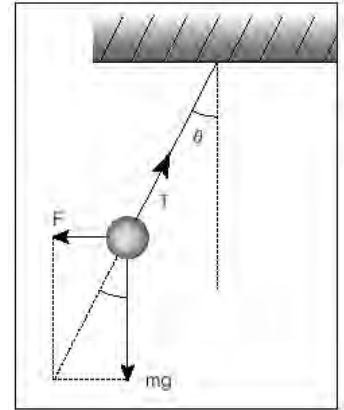


## ▶ 전문가 클리닉

관성의 법칙은 고전역학의 근간이 되는 뉴턴의 제1운동법칙으로 물체의 운동과 힘을 기술할 때 가장 기본이 되는 법칙입니다. 그만큼 출제빈도도 높고 고난도의 문제도 많이 만들어지고 있습니다. 특히 가속하는 자동차나 엘리베이터 안에서 물체가 느끼는 외력의 크기와 방향이 물체의 운동방정식에 어떤 영향을 끼치는가 하는 식의 문제는 앞으로 자주 접하게 될 것입니다. 관성의 기본개념을 숙지한다면 변형된 형태의 여러 문제를 만나더라도 쉽게 해결책을 찾을 수 있습니다.

## ▶ 예시답안

1) 우측 그림처럼 진자의 추는 3가지 종류의 힘을 받아 평형상태에 있게 됩니다. 따라서 진자가 이루는 각도와 중력가속도, 그리고 외력의 관계식으로부터  $\tan\theta = F/mg$ 이므로  $F = mg\tan\theta$ 가 됩니다.



2) 추가 받는 수평방향의 힘은 버스가 가속되면서 생긴 관성력으로 볼 수 있습니다. 즉 추의 수평방향 가속도는 버스의 가속도와 크기는 같고 방향은 반대인 값을 갖습니다.

$$-F/m = -g\tan\theta \text{에서 } F = mg\tan\theta$$

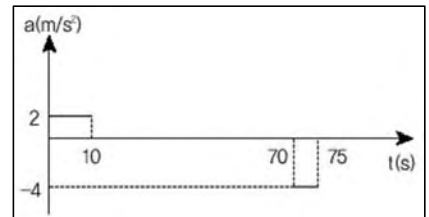
이므로 버스의 가속도 크기는  $g\tan\theta$ , 방향은 진자가 기울어진 방향의 반대방향입니다.

3) 2)번 결과를 이용해 철중이가 탄 버스의 가속도를 시간에 따라 표현하면

$$\text{출발} \sim 10\text{초} : a = g\tan 10^\circ = 10 \times 0.2 = 2\text{m/s}^2$$

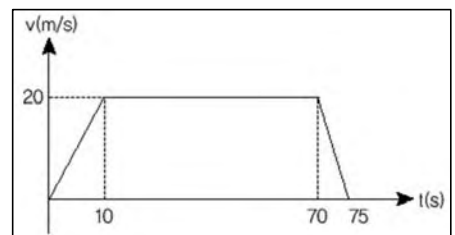
$$10 \sim 70\text{초} : a = 0$$

$$70 \sim 75\text{초} : a = -g\tan 20^\circ = -10 \times 0.4 = -4\text{m/s}^2$$



입니다. 버스가 달리는 방향을 (+)로 하고 시간-가속도 그래프를 그리면 우측과 같습니다.

4) 가속도가  $a$ 인 물체가  $t$ 초 후에 갖는 속도  $v = v_0 + at$ 로 표현됩니다. 이로부터 매 시각 버스의 속도를 구할 수 있습니다. 또는 시간-속도 그래프에서 그래프의 기울기는 곧 그 순간 물체의 가속도를 의미하므로 위 3)번 그래프의  $a$  값을 기울기로 하는 그래프를 직접 그릴 수도 있습니다. 이 방법으로 우측 그림처럼 그래프를 그린 후 그래프로부터 속력을 구할 수 있습니다. 즉 출발~10초 구간에서 기울기가 2인 직선을 그리면 10초일 때 20m/s의 속력을 갖고, 10초에서 70초 구간은 등속운동을 하며, 마지막 5초간은  $-4\text{m/s}^2$ 의 감속운동을 하므로 버스는 완전히 정지하게 됩니다.



5) 버스의 총 이동거리가 곧 두 정류장 사이의 거리가 됩니다. 위 4)번의 시간-속도 그래프에서 그래프와 시간축이 이루는 부분의 면적이 버스의 총 이동거리가 됩니다. 따라서 두 정류장 사이의 거리는  $\frac{(20 \times 10)}{2} + (20 \times 60) + \frac{(20 \times 5)}{2} = 1350(\text{m})$ 입니다.

또는 가속구간과 등속구간에 대해 각각  $s = v_0 t + \frac{1}{2} g t^2$  (가속구간),  $s = v_0 t$  (등속구간)의 관계식으로부터 이동거리를 구해도 됩니다.

## 2. 빗면 위에 멈춰있는 법-최대정지마찰력

TV에서 자동차 주행 테스트 장면을 보던 경수는 자동차가 빗면 위에서 회전을 하는데도 아래로 미끄러지지 않는 것을 보고 의아하게 생각했다. 얼마 후 수업시간에 최대정지마찰력을 배우고 나서야 경수는 그 원리를 알게 됐다. 다음 물음에 답하라.

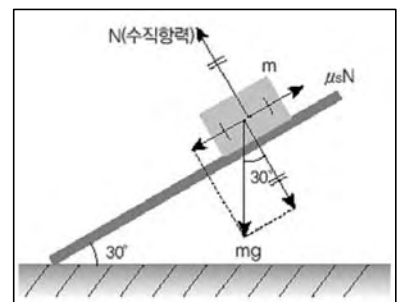
- 1) 판자에 물체를 올려놓은 뒤 판자의 한 쪽 끝을 서서히 들어 올린다. 판자가 지면과  $30^\circ$  경사를 이뤘을 때 물체가 미끄러지기 시작했다면 물체와 판자 사이의 최대정지마찰계수는 얼마인지 구하시오.
- 2) 이 판자를  $45^\circ$ 로 기울인 뒤 물체가 미끄러지지 않도록 손으로 수평방향으로 밀어주려면 얼마의 힘이 필요한가?
- 3) 지면과  $45^\circ$ 각도 기울어진 거대한 원뿔대 형태의 빗면 위를 물체가 미끄러짐 없이 돌고 있다. 원운동의 반지름의 길이가 R일 때 물체의 선속도를 구하시오.

## ▶ 전문가 클리닉

마찰력은 일상생활에서 많이 발견되는 주변의 힘입니다. 대개의 역학 문제들이 이상적인 상황을 가정해 문제를 만들지만 지면의 마찰력은 고려하는 경우가 많습니다 (여전히 공기의 마찰력은 그 원리가 복잡해 잘 고려되지 않습니다). 그만큼 더 현실적인 상황을 설명하는 형태의 문제가 자주 출제된다는 뜻입니다. 이번 문제도 자동차 주행 시험장이나 사이클 경기장의 곡선 코스에서 주로 발견되는 빗면의 마찰력을 고려해서 풀어보는 문제입니다. 최대정지마찰력은 공식도 간단하고 개념도 쉬우므로 이번 기회에 완전히 이해하도록 합니다.

## ▶ 예시답안

- 1) 우측 그림처럼 물체에 작용하는 중력을 분리하면 물체를 빗면 아래로 끌어당기는 힘과 빗면을 누르는 힘으로 나눠 생각할 수 있습니다. 물체가 빗면을 누르는 힘에 대한 반작용으로 빗면은 물체에 수직항력을 가하고, 이 수직항력의 크기에 따라 마찰력이 결정됩니다. 빗면의 기울기가  $30^\circ$ 가 됐을 때 물체가 미끄러지기 시작했으므로 힘의 평형을 적용해 최대정지마찰계수  $\mu_s$ 를 구하면  $mg \sin \theta = \mu_s N = \mu_s mg \cos \theta$ 이므로  $\mu_s = \tan \theta = \tan 30^\circ \approx 0.6$ 이 됩니다.



- 2) 빗면의 기울기가  $45^\circ$ 가 되면 물체는 이미 최대정지마찰력보다 큰 힘을 받아서 빗면을 미끄러져 내려오게 됩니다. 이 물체에 수평방향 힘을 가한다면 물체가 미끄러지는 것을 막을 수 있습니다.

물체를 빗면 아래로 잡아끄는 힘  $= mg \sin \theta$

물체를 빗면 위로 밀어주는 힘  $= \mu_s (mg \cos \theta + F \sin \theta) + F \cos \theta$

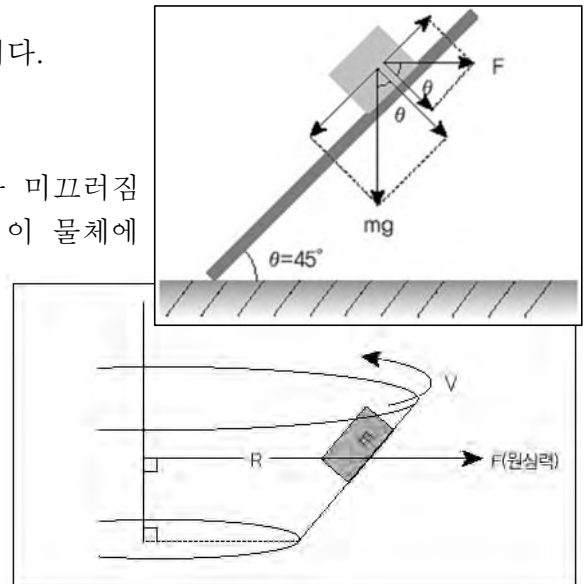
이므로 힘의 평형으로부터 수평방향의 힘 F를 구하면,

$$mg \sin \theta = \mu_s (mg \cos \theta + F \sin \theta) + F \cos \theta$$

$$F = \frac{mg(\sin\theta - \mu_s \cos\theta)}{\cos\theta + \mu_s \sin\theta} = mg \times \frac{1 - 0.6}{1 + 0.6} = \frac{mg}{4} \text{가 됩니다.}$$

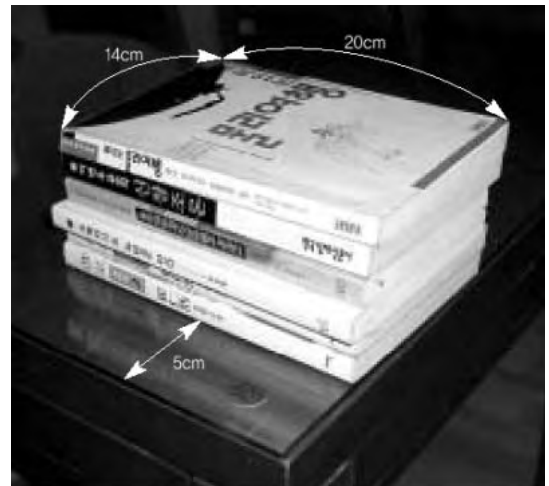
- 3) 우측 그림과 같이 원뿔대 형태의 도로를 물체가 미끄러짐 없이 달리고 있습니다. 2)번의 결과를 적용하면 이 물체에 가해지는 수평방향 힘은 물체의 원운동에서 생기는 원심력임을 알 수 있습니다. 즉 2)번의 결과에서 수평방향 힘  $F$  대신 원심력  $\frac{mv^2}{R}$ 을 넣어 주면 문제가 쉽게 해결됩니다.

$$F = \frac{mv^2}{R} = \frac{mg}{4} \text{이므로 } v = \frac{\sqrt{Rg}}{2} \text{가 됩니다.}$$



### 3. Systemic Thinking-관성력과 마찰력

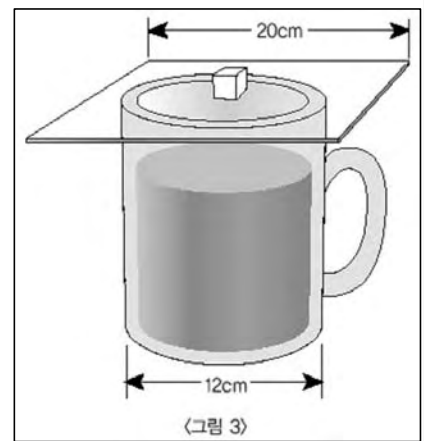
난이도가 ‘장난이 아닌’ 물리 구술문제를 대비하기 위해 승우는 서울대 근처의 헌책방을 찾았다. 서울의 실험동에 살기 때문에 예전부터 종종 들르곤 했지만 오랜만에 다시 찾으니 기분이 새로웠다. 마치 동서고금의 지혜들이 새로운 주인을 다소곳이 기다리고 있는 것 같았다. 마침 평소에 꼭 사고 싶었던 ‘소매치기도 뉴턴은 안다’(이하 소매치기책)가 눈에 띄었다. 그 책은 다른 책들보다 앞으로 약간 빠져나와 있기는 했지만 다른 6권의 책들 중간에 끼어 있어서 잘 빠지지 않았다 (<그림 2> 참고). 다음 물음에 답하시오.



<그림 2>

- 1) 승우는 책을 빼는데 점차 힘이 덜 드는 것을 느낄 수 있었다. 책이 빠져 나오는 것을 방해하는 힘은 마찰력이고, 마찰력은 접촉면의 면적과는 상관없이 없는 것으로 알고 있던 승우는 의아해 했다. 이유가 무엇일까?
- 2) 책을 빼기 위해 가해야 하는 최소힘의 크기를 구하시오(단 책들 간 최대정지마찰계수  $\mu_{정지}=0.5$ , 운동마찰계수  $\mu_{운동}=0.3$ , 책과 바닥면간 최대정지마찰계수  $\mu_{정지}=0.4$ , 운동마찰계수  $\mu_{운동}=0.2$ 다. 또 책 한권의 질량은 500g으로 일정하며 중력가속도  $g=10\text{m/s}^2$ 이다).
- 3) 책 6권의 길이가 모두 가로 20cm, 세로 14cm, 두께 1cm로 같다. 위쪽에 있는 책들에 대해 소매치기책이  $x\text{cm}$ 만큼 앞으로 더 빠져나와 있고 소매치기책을 계속 앞으로 뺄 때 위쪽 책과 소매치기책 접촉면에 작용하는 마찰력의 크기를 소매치기책이 이동한 거리  $x\text{cm}$ 에 대한 함수로 나타내시오(단 소매치기책과 위쪽 책 간에 접촉하지 않고 있는 부분은 무게의 절반만이 소매치기책에 작용하고, 소매치기책 위에 있는 책들은 서로 같이 움직이며, 파인만책 아래쪽에 있는 책들은 움직이지 않는다).
- 4) 맨 아래쪽에 있는 책의 앞면은 탁자 모서리로부터 5cm 떨어져 있다. 승우가 책들을 탁자 아래로 떨어뜨리지 않고 소매치기책을 빼기 위해 가해야 하는 최소힘의 크기는 얼마인가?

5) 소매치기책을 잘 빼고 남아 있는 책들을 정돈한 승우가 탁자 귀퉁이를 보니 <그림 3>과 같이 지름이 12cm인 머그가 놓여 있었다. 머그는 꽤 무거워 보였고 커피가 들어 있었다. 커피에 먼지가 들어가지 않도록 머그 위에 한 변의 길이가 20cm인 정사각형 모양의 투명한 마우스패드 얹혀 있었다. 그리고 자세히 보니 마우스패드의 중심이 머그 중심과 일치했다. 그런데 마우스패드 한 복판에 정육면체의 각설탕이 있는 것이 아닌가. 호기심이 발동한 승우는 마우스패드를 확 잡아 뺐더니 각설탕이 커피 속으로 떨어졌다. 승우는 과연 어느 정도로 빨리 마우스패드를 잡아 뺐을까 (단, 각설탕 접촉면의 운동마찰계수=0.3이다)?



### ▶ 전문가 클리닉

복잡 미묘한 사회현상도 그렇지만 오묘한 자연현상도 한두 개의 변수로 결정되는 경우는 거의 없습니다. 그러므로 자연현상을 정확히 기술하기 위해서는 계 전체를 구성하는 요소들 중 관련성이 있는 요소들을 아울러 분석하는 접근방법이 필요합니다. 단절적이거나 파편적인 접근은 잘못된 분석결과를 낳게 되므로 관련 요소들을 정밀히 유기적으로 살펴봐야 합니다. 물론 영향을 미치는 정도가 극히 미미한 변수들을 모두 고려하면 분석 자체가 불가능해지는 경우가 대부분이므로 어느 정도 영향을 주는 변수까지를 고려할지 판단할 수 있는 것도 연구자가 갖추어야 할 중요한 요소입니다.

### ▶ 예시 답안

- 1) 마찰력의 크기가 접촉면의 넓이와 상관없다는 것은 맞습니다. 그러나 마찰력의 크기에 영향을 미치는 변수에는 접촉면의 거칠기(마찰계수의 크기)와 접촉면에 수직방향으로 작용하는 힘(수직항력  $N$ )의 크기도 있습니다. 즉 마찰력의 크기  $f=N$ 이므로 소매치기책과 위쪽 책들 간 접촉 면적이 줄어들면서  $N$ 의 크기도 줄어들기 때문에 마찰력이 감소해 책을 빼면 뺄수록 힘이 덜 들게 됩니다.
- 2) <그림 2>에서 소매치기책의 운동을 방해하는 힘에는 위쪽 책과의 접촉면에 작용하는 마찰력( $f_u$ )과 아래쪽 책들과의 마찰력( $f_d$ ) 2가지가 있습니다. 먼저 위쪽 책과의 접촉면에 작용하는 마찰력의 최대값  $f_{u\text{정지}} = \mu_{\text{정지}} \times N = 0.5 \times 3 \times 0.5 \times g = 7.5(N)$ 입니다. 같은 원리로  $f_d$ 를 구하면,  $f_d = 0.5 \times 4 \times 0.5 \times g = 10(N)$ 입니다. 소매치기책을 빼내려면 이 두 힘의 합력인 17.5N보다 더 큰 힘을 가해야 합니다.
- 3) 소매치기책이 앞으로 빠져 나을수록 위쪽 책과의 접촉 면적이 줄어들므로 수직항력도 덩달아 줄어들게 됩니다. 그래서 마찰력이 점점 작아지므로 책을 빼내기 위해 작용해야 하는 힘의 크기도 점점 줄어들게 됩니다. 위쪽 책에 대해 소매치기책이  $x$ cm만큼 이동했다면 접촉하고 있는 부분의 길이가  $(14-x)$ cm이므로 운동마찰력의 크기는 다음과 같습니다.

$$f_{u\text{운동}} = 0.3 \times \left( \frac{14-x}{14} \times 3 \times 0.5 \times g \right) + \left( \frac{1}{2} \times \frac{x}{14} \times 3 \times 0.5 \times g \right)$$



$$\therefore f_{\text{운동}} = 4.5 - (2.25 \times \frac{x}{14})(N)$$

4) 소매치기책이 다 빠져나올 때까지 위쪽 책들이 탁자 아래로 떨어지지 않기 위해서는 위쪽 책들의 질량중심과 탁자모서리까지의 거리인 cm보다 이동거리가 짧아야 합니다.

3)번에서 구한 마찰력의 크기  $f_{\text{운동}} = 4.5 - (2.25 \times \frac{x}{14})(N)$ 이므로 소매치기책이 다 빠져나올 때까지의 평균힘의 크기는  $\frac{4.5 + 2.25}{2} = 3.375(N)$ 입니다.

그러므로 위쪽 책들의 평균운동가속도의 크기는  $\frac{3.375N}{3 \times 0.5Kg} = 2.25(m/s^2)$ 입니다. 결국 등가속 운동하는 위쪽 책들이 이동하는데 걸리름 시간을 구하면  $0.12 = \frac{1}{2}at^2 = \frac{1}{2} \times 2.25 \times t^2$ 이므로  $t$ 는 약 0.3초로 구해집니다.

소매치기책은 이 시간 동안 (14cm+5cm)를 이동하고 위쪽 책들을 완전히 벗어나기 위해서는 7cm를 더 이동해야 하므로 평균속도의 크기는  $\frac{0.26m}{0.3s} = 0.87(m/s)$  이상이어야 합니다.

5) 각설탕이 잔속으로 떨어질 수 있는 마우스패드의 최소가속도의 크기를 구하면 다음과 같습니다. 마우스패드 왼쪽 모서리가 머그잔 오른쪽 끝에 도달할 동안 각설탕이 이동한 거리가 잔의 반지름인 6cm보다 작아야 합니다.

$$\begin{aligned} \frac{1}{2}at^2 &= \frac{1}{2} \frac{\mu mg}{m} t^2 \\ &= \frac{1}{2} \times 0.3 \times 10 \times t^2 \leq (\frac{1}{2} \times a_{\text{마우스패드}} \times t^2) \times 6 \div 16 \end{aligned}$$

따라서 마우스패드를 약  $5.7m/s^2$  이상 가속하면 각설탕이 커피 속으로 떨어져 맛있는 커피를 마실 수 있습니다.

## 2005년 03월호-물리 면접구술고사 완벽가이드

2월호에서 약속한 대로 이번 호에서는 메가쓰나미(Mega-tsunami)의 발생원리와 주요 역학 기출문제들을 살펴보겠습니다. 메가쓰나미는 영국 BBC의 다큐멘터리나 인터넷 블로그 등 여러 곳에서 다뤘지만 주로 현상 자체만 설명하는 경우가 많았습니다. 그래서 이번에는 메가쓰나미를 물리적으로 분석해봤습니다. 아무리 복잡해 보이는 역학적 현상이라도 교과서에 있는 주요 원리 몇 개로 쉽게 설명될 수 있다는 사실을 확인해보시기 바랍니다. 4월호에서는 열역학 분야의 주요 개념원리가 적용되는 현상들을 살펴보겠습니다.

### ■ 자연 현상을 설명하는 큰 원리-보존

#### 1. 역학적에너지 보존의 원리

물체의 운동에너지( $E_k$ )와 위치에너지( $E_p$ )의 합을 역학적에너지라고 한다. 마찰이나 공기의 저항을 무시할 때 물체가 갖는 역학적 에너지는 항상 일정하게 보존된다.

$$E_k + E_p = E'_k + E'_p = \text{일정}$$

$$\Delta E_k + \Delta E_p = 0$$

$$\Delta E_p = -W = -F\Delta S$$

$$\textcircled{1} \text{ 중력장에서 : } \frac{1}{2}mv^2 + mgh = \text{일정}$$

$$\textcircled{2} \text{ 탄성력장에서 : } \frac{1}{2}mv^2 + \frac{1}{2}kx^2 = \text{일정}$$

$$\textcircled{3} \text{ 만유인력장에서 : } \frac{1}{2}mv^2 - \frac{GMm}{r} = \text{일정}$$

#### 2. 운동량 보존의 원리

$$\textcircled{1} \text{ 운동량 : } P = mv$$

$$\textcircled{2} \text{ 운동량 보존의 법칙 : } m_1v_1 + m_2v_2 = m_1v_1' + m_2v_2'$$

③ 운동량이 보존되는 이유는 충돌하는 두 물체가 받는 힘이 서로 작용-반작용 관계에 있고 충돌이 지속되는 시간도 같아 두 물체의 운동량 변화량의 합이 항상 0이 되기 때문이다.

$$\textcircled{4} \text{ 충격량 : } I = Ft = m\Delta v$$

#### 3. 반발계수의 정의와 충돌 유형별 반발계수

$$\textcircled{1} \text{ 반발계수 : } e = -\frac{V_2 - V_1}{v_2 - v_1} \quad (v_1 \text{과 } v_2 \text{는 충돌 전 각 물체의 속도, } V_1 \text{과 } V_2 \text{는 충돌 후 속도})$$

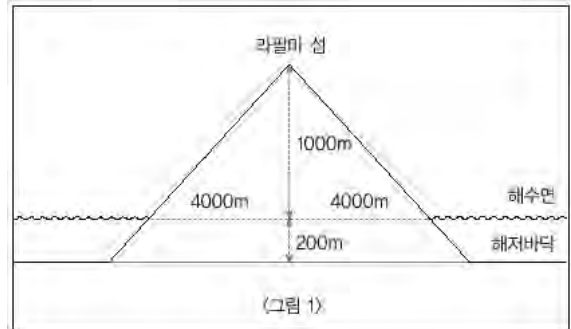
$$\textcircled{2} \text{ 완전탄성충돌의 반발계수 : } e = -\frac{V_2 - V_1}{v_2 - v_1} = 1$$

$$\textcircled{3} \text{ 일반탄성충돌의 반발계수 : } 0 < e < 1$$

## 1. 메가쓰나미의 위력-위치에너지

지진에 의해 발생하는 해일인 쓰나미는 파고가 10m를 넘는 경우가 거의 없다고 한다. 지난해 말 서남아시아에서 발생한 쓰나미는 파고가 10m 정도였고 인류 역사상 최악의 재앙 중 하나로 기록됐다. 그런데 이런 쓰나미보다 훨씬 규모가 큰 메가쓰나미의 발생 가능성을 경고하는 다큐멘터리가 최근 방영됐다. 아프리카 서부해안의 라팔마 섬 반쪽이 무너질 위험이 있는데, 섬 내부에 있는 암맥들에 지하수가 잔뜩 갇혀 있어 화산이 폭발할 경우 지하수가 열팽창으로 암맥을 무너뜨릴 수 있기 때문이다. 그리고 무너진 섬이 바다에 잠기면 상상을 초월하는 해일을 일으킬 수 있다 (<그림 1> 참고). 이런 해일이 어떻게 가능한지 다음 물음에 답하면서 알아보자(단 모든 답은 유효숫자 한 개로 답하고 후속문제 해결에 필요한 전 단계 물리량들도 유효숫자 한 개로 표현된 값을 이용시오).

- 1) 해수면을 기준으로 할 때 물 위에 드러난 라팔마 섬의 중력에 의한 위치에너지의 값은 얼마인가 (단 라팔마 섬의 평균밀도는  $3\text{g/cm}^3$ 이고, 완전한 원뿔 모양이며 중력가속도는  $10\text{m/s}^2$ 이다)?
- 2) 깊이가 200m인 해저바닥을 기준으로 했을 때, 라팔마 섬의 물 위에 드러난 부분의 중력에 의한 위치에너지의 값은 1)번에서 구한 값의 몇 배인가?
- 3) 화산 폭발이 시작돼 라팔마 섬이 가진 위치에너지에 해당하는 부분이 해저바닥으로 완전히 가라앉는다면 약  $100\text{만m}^2$  넓이의 해수가 솟아오르는 높이는 대략 얼마일까(단 마찰력 등은 무시하고, 해수 밀도는  $1030\text{Kg/m}^3$ 이다)?



## ▶ 전문가 클리닉

소문항 3)에서 구한 답만큼 바닷물이 솟구쳐 오르고 이어서 이 파동이 해수면을 타고 퍼져나가 주위에 있는 대륙이나 섬의 해안에 도달한다면 파괴력이 엄청나겠죠? 컴퓨터 시뮬레이션에서는 긴 파장의 해일이 건물에 ‘부딪히는’ 것이 아니라 건물을 ‘던치며’ 진행했습니다. 그러나 아무리 위력적인 해일이라도 일본 후지산을 넘는 것은 불가능합니다. 하지만 일본열도가 바다 속으로 천천히 가라앉고 있다고 하니 우리에게도 불행한 일일지도 모르겠네요.

## ▶ 예시답안

- 1) 먼저 물 위로 드러난 섬의 총질량을 구하면 다음과 같습니다.

$$M = \rho V = \rho \times \frac{1}{3} \pi r^2 h = 3 \times 10^3 \times \frac{1}{3} \pi (4000)^2 \times 1000 \approx 5 \times 10^{13} (\text{Kg})$$

다음으로 물 위로 드러난 섬의 질량중심을 구하면 다음과 같습니다. 원뿔 모양의 섬을 무수히 많은 얇은 원판들의 합체라고 가정하면 섬 정상에서 h만큼 떨어진 디스크의 두께는 dh, 반지름은 4h이므로 질량은  $\rho \pi (4h)^2 dh$ 가 됩니다. 작은 질량조각 dm이 r만큼 떨어져 있을 때 ( $r \times dm$ )을 전체 높이로 적분한 것이 질량중심 R에 전체 질량 M을 곱한 것과 같으므로 다음 식이 성립합니다.

$$HM = \int_0^{1000} h * \rho \pi (4h) dh$$

여기서  $H=750\text{m}$ (섬 정상으로부터의 거리)가 나오므로 수면으로부터의 높이는 250m입니다

다. 결국 섬 전체의 중력에 의한 위치에너지= $mgh=5\times10^{13}\times10\times250\approx1.25\times10^{17}(\text{J})$ 이므로 유효숫자 한 개로 나타낸 정답은  $1\times10^{17}(\text{J})$ 입니다.

2) 섬의 질량중심으로부터 해수면까지의 높이가 약 250m이므로 질량중심으로부터 해저바닥까지의 거리는 450m입니다. 따라서 위치에너지는 약 1.8배인  $1.8\times10^{17}(\text{J})$ 이므로 유효숫자 한 개로 나타낸 정답은 2배입니다.

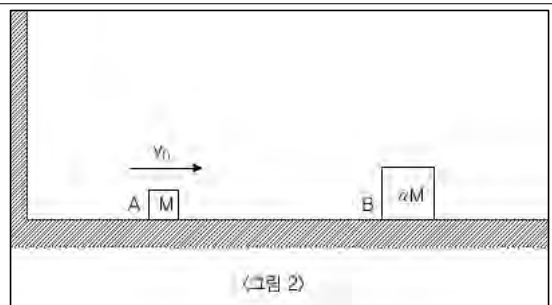
3) 솟아오른 바닷물의 최고높이를  $h'(\text{m})$ 라 하면 질량중심의 높이는  $h'/2(\text{m})$ 가 됩니다. 해저바닥으로 가라앉은 섬 일부가 처음 갖고 있던 위치에너지인  $2\times10^{17}(\text{J})$ 의 만큼 해수의 위치에너지가 증가하므로 다음 식이 성립합니다.

$$2\times10^{17}\times\frac{1}{50}=mgh=(\rho\times S\times h')\times g\times\frac{h'}{2}=10^{30}\times1000000\times h'\times10\times\frac{h'}{2}$$

이로부터  $h'$ 는 약 881.3(m)이므로 정답은  $9\times10^2(\text{m})$ 입니다.

## 2. Boundary condition-운동량 보존의 원리와 반발 계수(2005 서울대 정시 물리 선택문항)

<그림 2>처럼 한쪽이 벽으로 된 마찰이 없는 테이블에서 질량  $M$ 인 상자 A가 초기속도  $v_0$ 로 정지하고 있는 질량  $\alpha M(\alpha>1)$ 인 상자 B와 충돌하려고 한다. 상자끼리의 충돌과 상자과 벽과의 충돌은 모두 완전 탄성충돌이라고 가정하자. 벽의 질량과 테이블의 길이는 무한대이고 상자의 운동은 항상 일차원적인 운동이라고 가정하자.



1) 일차원상에서 질량  $M$ , 초기속도  $v_1$ 인 상자 A와 질량  $\alpha M$ , 초기속도  $v_2$ 인 상자 B가 완전 탄성충돌을 해 각각의 속도가  $V_1, V_2$ 가 됐다. 이 충돌 과정에서 보존되는 양과 이들이 만족하는 식을 적어보아라.

2) 충돌 후 각 상자의 속도는 각 상자의 초기속도와 다음과 같은 관계를 갖는 것을 보여라.

$$V_1 = \frac{1-\alpha}{1+\alpha}v_1 + \frac{2\alpha}{1+\alpha}v_2, \quad V_2 = \frac{2}{1+\alpha}v_1 + \frac{\alpha-1}{1+\alpha}v_2$$

3) 2)번에서 나온 관계식을 이용해  $\alpha\leq3$ 일 때 두 상자는 한 번만 충돌할 것이라는 것을 보여라.

4) 두 상자가 두 번만 충돌할  $\alpha$ 의 최대값을 구하라.

5) 만일 벽과 상자 A의 충돌이 완전탄성충돌이 아니라 비탄성충돌이라면 두 상자가 한 번만 충돌하기 위한  $\alpha$ 의 최대값이 3보다 큰지 작은지 설명해 보아라.

## ▶ 전문가 클리닉

위 문제의 해결에 필요한 개념과 원리들은 특별한 것이 하나도 없습니다. 그런데도 실제로 이 문제를 푼 수험생들은 하나같이 계산이 너무 복잡해서 주어진 시간인 10분 내에 다 해결한 사람이 거의 없었다고 합니다. 구술고사만큼은 수리능력 중 계산속도도 중요한 평가기준임이 틀림없습니다. 그리고 이 문제를 신속하고 정확하게 풀기 위해서는 지난 2월호에서 설명한 'systemic thinking'과 더불어 경계조건 활용이라는 귀납법적 접근방법이 필요합니다.

## ▶ 예시답안

1) 충돌 과정에서 보존되는 양은 세 가지가 있습니다. 첫째는 운동에너지의 합입니다. 완전탄

성충돌의 경우 충돌 전 운동에너지의 일부가 충돌하면서 탄성력에 의한 위치에너지로 전환됩니다. 그리고 충돌이 끝날 때는 이 위치에너지가 다시 운동에너지로 전환되기 때문에 운동에너지의 합은 변하지 않습니다. 식으로 표현하면

$$MV_1^2 + 1/2 \alpha MV_2^2 = MV_1'^2 + \alpha MV_2'^2 \text{ (식①)입니다.}$$

둘째는 충돌 전후 운동량의 합입니다. 식으로 표현하면  $MV_1 + \alpha MV_2 = MV_1' + \alpha MV_2'$  (식②)입니다. 운동량이 보존되는 이유는 두 상자가 충돌할 때 상자A가 상자B에 가하는 힘과 상자B가 상자A에 가하는 힘이 작용-반작용의 관계에 있어 크기가 같고 방향이 반대이기 때문입니다. 각 상자에 충격이 지속된 시간도 같아 두 상자의 운동량 변화량( $m\Delta v = F\Delta t$ )의 합이 항상 0이기 때문에 충돌 전후의 운동량은 같습니다.

셋째는 충돌 전후의 상자B에 대한 상자A의 상대속도의 크기입니다. 이는 식①과 식②를 연립해 풀었을 때

$$e = V_2 - V_1' / V_2 - V_1 \text{ (단 } e \text{는 반발계수)} = -1 \text{ (식③)이기 때문입니다.}$$

2) 1)번에서 구한 식 ②와 식 ③을 다시 쓰면 다음과 같습니다.

$$MV_1 + \alpha MV_2 = MV_1' + \alpha MV_2' \text{ ----- ④}$$

$$e = V_2 - V_1' / V_2 - V_1 = 1 \text{ ----- ⑤}$$

⑤에서  $V_2 = V_1 + v_1 - v_2$ 이므로 이를 ④에 대입하면  $V_1' = (1 - \alpha / 1 + \alpha)v_1 + (2\alpha / 1 + \alpha)v_2$ 를 얻습니다.

3) 완전탄성충돌의 경우 벽에 충돌한 물체는 속도의 크기가 변하지 않습니다. 즉 상자 A가 상자 B에 충돌한 후 벽 쪽을 향해 운동하게 되면 벽에 충돌한 후 같은 속도로 다시 상자 B 쪽으로 향하게 됩니다. 이때 상자 A의 속도의 크기가 상자 B보다 크면 두 상자는 다시 충돌하게 됩니다. 즉 충돌 후 상자 A의 속도  $V_1'$ 이  $-V_2$ 보다 작거나 같으면 두 상자는 다시 만날 수 없게 되므로 다음 식이 성립합니다.

$$V_1' \leq -V_2 \text{이므로}$$

$$\frac{1-\alpha}{1+\alpha}V_1 + \frac{2\alpha}{1+\alpha}V_2 \leq -\left(\frac{2}{1+\alpha}V_1 + \frac{\alpha-1}{1+\alpha}V_2\right)$$

이 식은 임의의  $v_1, v_2$ 에 대해서 항상 성립하는 항등식이므로 좌변과 우변의  $v_1$ 과  $v_2$ 의 계수들을 비교하고,  $\alpha > 1$ 이라는 전제조건을 반영하면 결국  $\alpha \leq 3$ 이 성립합니다.

4) 두 상자가 두 번만 충돌할 조건은 두 번째 충돌 후 상자 A의 속도( $V_1'$ )의 크기가 상자 B의 속도( $V_2'$ )의 크기보다 작거나 같아야 한다는 것입니다. 따라서 다음 식들이 성립합니다.

$$\begin{aligned} V_1' &= \frac{1-\alpha}{1+\alpha}(-V_1) + \frac{2\alpha}{1+\alpha}V_2 \\ &= \frac{1-\alpha}{1+\alpha} \frac{\alpha-1}{1+\alpha}v_1 + \frac{2\alpha}{1+\alpha} \frac{2}{1+\alpha}v_1 = \frac{-\alpha^2+6\alpha-1}{(1+\alpha)^2}v_1 \dots\dots\dots \text{⑥} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_2' &= \frac{2}{1+\alpha}(-V_1) + \frac{\alpha-1}{1+\alpha}V_2 \\ &= \frac{2}{1+\alpha} \frac{\alpha-1}{1+\alpha}v_1 + \frac{\alpha-1}{1+\alpha} \frac{2}{1+\alpha}v_1 = \frac{4\alpha-4}{(1+\alpha)^2}v_1 \dots\dots\dots \text{⑦} \end{aligned}$$

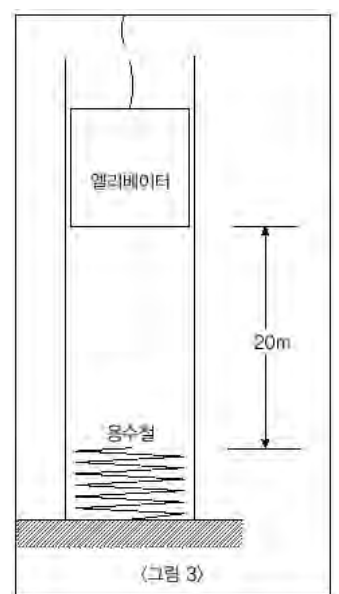
$$-\frac{-\alpha^2+6\alpha-1}{(1+\alpha)^2}v_1 \leq \frac{4\alpha-4}{(1+\alpha)^2}v_1 \text{ 이므로}$$

$$\alpha^2 - 10\alpha + 5 \leq 0 \text{에서 } 5 - \sqrt{20} \leq \alpha \leq 5 + \sqrt{20} (\alpha > 1)$$

- 5)  $\alpha$ 의 최대값이 3보다 커야 합니다. 이유는 상자 A와 벽의 충돌이 비탄성충돌이므로 상자 A가 벽에 충돌하면 속도의 크기가 감소하기 때문입니다. 상자 B의 질량이 크면 클수록 충돌 후 상자A의 상자B에 대한 상대속도가 큼니다. 그러므로 상자 B의 질량이 더 커야 처음 상자 A가 상자 B에 충돌한 후 상자 A가 더 큰 속도로 벽에 부딪힐 수 있습니다.

### 3. 추락하는 것에는 용수철이 있다-역학적에너지의 보존(서울대 특기자 전형 기출문항)

무게가 5000N인 엘리베이터의 안전을 위해 아래 <그림 3>과 같이 바닥에 용수철 상수가 8000N/m인 용수철이 설치돼 있다. 만약 용수철로부터 높이 20m 위치에 정지해 있던 엘리베이터가 줄이 끊어지면서 추락하기 시작했을 때 이 엘리베이터의 운동에 대해 아래 질문에 답하시오(엘리베이터와 벽면 사이의 마찰력은 1000N으로 일정하다고 가정한다).



- 1) 최초 추락하는 엘리베이터에 의해 압축된 용수철의 길이  $x$ 를 구하시오.
- 2) 이렇게 압축된 용수철에 저장된 에너지가 엘리베이터를 압축된 위치로부터 다시 위로 밀어 올릴 수 있는 최대높이  $x'$ 을 구하시오.
- 3) 1)번과 2)번 문항에서와 같은 운동이 여러 번 반복된 후 엘리베이터가 정지했을 때 엘리베이터의 최종 높이를 구하시오.
- 4) 엘리베이터와 벽면 사이의 마찰력을 무시할 경우 엘리베이터가 추락하고 있을 때 엘리베이터 안에 있는 사람이 느끼는 중력의 크기는 얼마가 될 것인가?

### ▶ 전문가 클리닉

이제 역학에서 엘리베이터와 관련된 문제는 그 출제 빈도나 경향으로 볼 때 반드시 짚고 가야 합니다. 엘리베이터가 가속, 또는 등속운동을 하고 있을 때 그 내부의 밀폐된 공간에서 물체가 받는 힘과 운동에 관한 문제 등 뉴턴의 운동 제1법칙인 관성의 법칙과 가상적인 힘인 관성력에 관한 이해력을 묻는 문제, 엘리베이터의 수직낙하 운동이나 상승에 필요한 힘 등 뉴턴의 운동 제2법칙인 가속도의 법칙에 관한 문제 등이 대표적인 유형이라 할 수 있겠습니다. 기초 유형의 문제를 그야말로 문제없이 풀어낸다면 혹 추락하는 엘리베이터에서도 살아남을 수 있을 지도 모릅니다.

소문항 4)의 경우는 구술 문제로 아주 적합합니다. 즉 가장 기본적인 물리 이론을 얼마나 체계적으로 이해하고 있으며, 그 이론을 실생활에 적용함에 있어 얼마나 논리적이며 그 현상을 설명함에 있어 얼마나 창의적이고 설득력 있게 말할 수 있는가를 진단할 수 있는 문제의 전형입니다. 아마 대부분의 학생들은 ‘추락하는 엘리베이터 안에서는 무중력 상태가 되므로 사람은 힘을 받지 않는다’고 답할 것입니다. 조금 더 깊이 생각해 본 학생은 ‘어쨌든 사람 또한 엘리베이터와 함께 추락하고 있으므로 사람은 중력을 받고 있다’고 답할 수도 있을 것입니다. 첫 번

제 답변이 교과서나 참고서에서 맹목적으로 보고 들은 내용을 그대로 전달하는 답변이라고 한다면 두 번째 답변은 현상을 관찰하고 타당한 결론을 이끌어내는 능력을 보여주는 답변이라 할 수 있겠습니다. 그러나 두 가지 답변 모두 100% 만족스러운 답변은 아닙니다.

## ▶ 예시답안

- 1) 역학적에너지 보존법칙으로부터 쉽게 구할 수 있습니다. 먼저 엘리베이터는 용수철에 닿기 직전까지 20m를 마찰력을 받으며 추락합니다. 그리고 용수철에 닿는 순간부터 용수철의 탄성력을 받으며 x만큼 더 내려오게 됩니다. 엘리베이터는(20+x)m만큼 추락하는 동안 위치에너지가 감소하는데 그 에너지는 벽면과의 마찰로 인한 마찰열로 소모되고 나머지는 용수철의 탄성에너지로 전환됩니다 (<그림 4> 참고). 따라서 압축된 용수철의 길이 x를 구하면,

$$mgh = FH + \frac{kx^2}{2} \quad (\text{단, } H = 20 + x)$$

$$5000 \times (20 + x) = 1000(20 + x) + \frac{8000 \times x^2}{2}$$

$$x^2 - x - 20 = 0$$

$$(x - 5)(x + 4) = 0$$

$$x = 5 \text{ 또는 } x = -4$$

이 됩니다. 여기서 x는 압축된 용수철의 길이라고 정의했으므로  $x > 0$ 이고, 따라서 답은 5(m)입니다.

- 2) 용수철에 저장된 에너지는 용수철의 탄성에너지입니다. 이 에너지로 엘리베이터를 다시 밀어올린다면 압축된 위치로부터 엘리베이터의 위치에너지는 증가하게 됩니다. 즉 엘리베이터의 기준점을 어디로 잡을지 고민할 필요 없이 위치에너지 증가량만을 고려하면 문제에서 요구하는 답을 구할 수 있습니다. 단 이 때도 벽면과의 마찰로 인한 마찰열 손실은 계속 일어나고 있음을 주의해야 합니다.

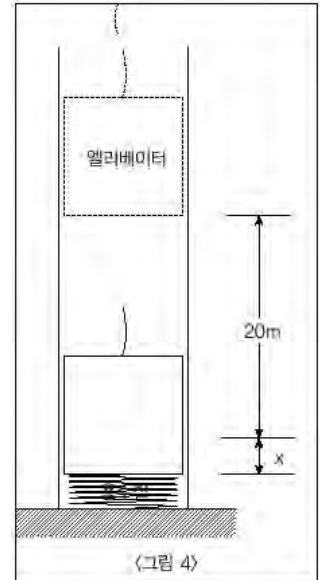
$$\frac{kx^2}{2} = Fx' + mgx'$$

$$\frac{8000 \times 5^2}{2} = 1000x' + 5000x' \text{에서 } x' = \frac{50}{3}$$

이로부터 정답은 용수철이 압축된 위치로부터 16.67(m)입니다.

- 3) 1), 2)번과 같이 엘리베이터의 추락, 상승 운동을 여러 번 반복하다보면 엘리베이터의 위치에너지나 용수철의 탄성에너지는 계속 마찰열로 손실되고 결국 엘리베이터와 용수철은 평형상태에 도달하게 될 것입니다. 만일 마찰력이 없다면 엘리베이터의 무게와 용수철의 탄성력이 같아지는 위치에서 엘리베이터는 멈출 것입니다. 그런데 마찰력이 존재하므로 이 문제는 두 가지 경우에 대해 생각해 볼 수 있습니다.

먼저 엘리베이터가 평형위치보다 높은 위치에서 천천히 하강하고 있는 경우입니다. 이때 마찰력은 중력과 반대방향으로 작용해 엘리베이터의 무게를 줄여주는 역할을 합니다. 즉 엘리



베이더의 무게는 4000(N)으로 생각할 수 있고, 용수철의 탄성력이 4000(N)이 되는 위치에서 평형을 이루게 됩니다.

$$kx=4000(N)$$

$$x=0.5(m)$$

두 번째로 엘리베이터가 평형위치보다 낮은 곳에서 용수철의 힘을 받아 천천히 상승하고 있는 경우입니다. 이때 마찰력은 중력과 같은 방향으로 작용해 엘리베이터의 무게를 증가시키는 결과를 초래합니다. 즉 엘리베이터의 무게는 6000(N)인 것과 같으므로 용수철이 평형을 이루는 위치는 다음과 같습니다.

$$kx=6000(N)$$

$$x=0.75(m)$$

결국 엘리베이터는 두 가지 평형위치를 갖게 되는데, 실제로는 왕복운동을 통해 속력이 점점 줄어들다 두 평형위치 사이로 들어가는 속력이 얼마냐에 따라 어느 한 평형위치를 약간 지나치되 반대쪽 평형위치를 지나기 전에 마찰열을 손실하고 운동을 멈추게 될 것입니다.

즉 엘리베이터는 하강과 상승 운동을 반복하다가 최종적으로 압축된 용수철의 길이가 0.5(m)와 0.75(m) 사이의 위치에 멈추게 됩니다. 정확한 변위는 하강·상승 운동을 계속 반복하면서 각각의 경우 용수철이 얼마나 수축·팽창되는지 계산해야 구할 수 있습니다.

- 4) 문제를 풀기 전에 문제에 숨어 있는 출제자의 의도를 파악하는 것이 중요합니다. 이 문제에서 핵심적인 단어는 ‘느끼는’ 이라는 말입니다. 추락하는 엘리베이터에서 사람이 ‘느끼는’ 힘의 크기를 묻는 것입니다. ‘느끼다’라는 감각적인 표현을 현상적이고 물리적인 표현이나 수치로 바꾸는 일이 선행돼야 비로소 물리 문제가 완성이 됩니다.

인간은 어떻게 중력을 느낄까요? 여러 가지를 생각할 수 있습니다. 발바닥을 짓누르는 힘, 몸을 버티는 관절에 가해지는 힘, 머리카락이 두피에 가하는 힘, 팔을 들어올리려 할 때 어깨에 가해지는 힘 등을 통해 우리는 중력을 받고 있음을 ‘느끼게’ 됩니다. 그렇다면 이러한 현상들이 바로 우리 몸이 느끼는 ‘중력의 증거’라고 말할 수 있습니다.



## 2005년 04월호-물리 면접구술고사 완벽가이드

이번 호에서는 열역학 부분의 개념원리가 적용되는 현상들을 살펴봤습니다. 2005학년도 동국대 2학기 수시모집 면접에서 열 이동의 원리를 목욕탕이라는 상황에 적용해 설명하라고 질문한 것이 대표적 사례였습니다. 열역학 부분의 출제빈도는 낮은 편이지만 수험생 대부분이 어려워하는 영역입니다. 하지만 온도나 비열, 열의 이동 등의 열현상과 기체이론, 열역학 법칙들만 제대로 정리해둔다면 날개를 단 듯 막힘없이 면접을 치를 수 있을 겁니다.

### ■ 열역학과 기체이론

#### 1. 기체이론-이상 기체 상태 방정식

보일-샤를의 법칙에 의해 일정량의 기체는 기체의 종류에 관계없이  $PV/T$ 의 값이 일정하다.

$$PV=nRT=N/N_0 RT$$

( $N_0$  : 아보가드로의 수,  $N$  : 분자의 총수,  $N$  : 기체분자의 몰수)

#### 2. 열팽창의 원리와 응용

##### 1) 열팽창

- ① 선팽창 계수( $\alpha$ ) : 어떤 물질의 단위길이(1m)당 온도가  $1^\circ\text{C}$  상승할 때 길이가 팽창한 정도를 나타낸 값. 온도가  $\Delta T$ 만큼 변할 때 원래 길이( $L_0$ )보다 늘어난 길이  $\Delta l=L_0\Delta T$ 로 구해진다.
- ② 부피팽창계수( $\beta$ ) : 3차원 공간에서 단위부피(1m<sup>3</sup>)당 온도가  $1^\circ\text{C}$  상승할 때 물질이 팽창한 부피의 정도를 나타낸 값. 가로길이팽창, 세로길이팽창, 높이길이팽창을 각각 따로 구해서 계산한다. 고체의 경우 부피팽창계수는 선팽창계수의 3배가 되고, 기체의 경우는 기체의 종류에 관계없이 약 1/273이 된다.

##### 2) 열팽창의 응용

바이메탈, 형상기억합금 등은 금속의 열팽창 현상을 이용한 것이다.

#### 3. 열의 이동

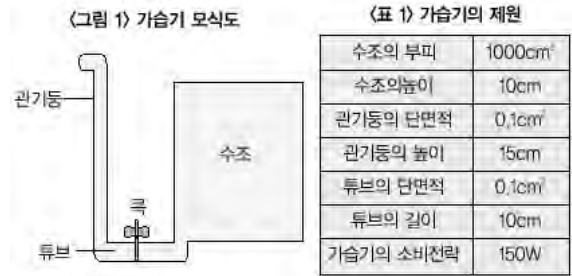
단면적  $A(\text{m}^2)$ , 길이  $L(\text{m})$ , 두 지점의 온도차가  $(T_{\text{고}}-T_{\text{저}})(^\circ\text{C})$ 인 두 열원 사이에  $t$ 초 동안에 전도되는 열량  $Q$ 는 다음과 같다.

$$Q=k \cdot A(T_{\text{고}}-T_{\text{저}}/L) t(k : \text{열전도율})$$

##### 1. 평범한 현상일수록 훌륭한 분석거리-열현상

평범한 현상을 그냥 지나치지 않고 수리적으로 분석하길 좋아하는 지윤이는 오늘은 어떤 걸 분석해볼까 하고 방안을 두리번거렸다. 그러다가 몇 년째 그냥 봐왔던 가습기에도 수학적·과학적 원리가 당연히 존재하지 않을까 하고 생각하게 됐다. 방안에는 <그림 1>과 같은 가습기가 있다. 이 가습기는 물을 담는 수조와 물을 가열해 기화시키는 판기둥, 그리고 이를 연결하는 튜브로 구성돼 있고, 이 튜브는 한 가운데 있는 콕에 의해 닫혀 있다. 수조의 위쪽에 물을 부을 수 있는 주입구가 열려 있다.

지윤이가 자세히 살펴보니 뒤쪽에 <표 1>과 같은 가습기 제원이 쓰여 있었다.(1)번에서 (4)번까지의 질문들에 답하시오(단 물의 밀도는  $1\text{g/cm}^3$ , 비열은  $4.2 \times 10^3 \text{J/gK}$ , 기화열은 약  $2.3 \times 10^3 \text{J/gK}$ 이며, 기체상수 R은  $8.3 \text{J/molK}$ , 수조에 있는 물과 공기의 현재 온도는  $20^\circ\text{C}$ 다).



- 1) 수조의 물을 가득 채운 상태에서 꼭을 열면 튜브 내 물의 흐름이 멈춘 후 수조의 물 높이는 얼마가 되는가?
- 2) 수조에 물을 가득 채우고 가동시키면 대략 몇 시간마다 물을 보충해줘야 할까(단 물의 비열은  $4.2\text{J/gK}$ , 기화열은  $2300\text{J/g}$ , 밀도는  $1\text{g/cm}^3$ 이며, 가습기가 전기에너지를 열에너지로 전환시킬 때의 효율은 60%라고 가정한다)?
- 3) 가습기 내에 있던 물을 모두 기화시키면 기화된 수증기만의 부피는 얼마인가?
- 4) 다음 글은 초음파식 가습기의 원리를 간단히 설명한 것이다. 이를 참고해 가열방식 가습기와 초음파식 가습기의 장단점을 비교하시오.

- ※ 초음파식 가습기는 압전소자인 수정진동자에 전류를 흘리면 진동하면서 초음파를 발생시켜서 물을 미세한 표자로 바꾸는 원리를 이용한다. 압전소자는 압력을 가하면 전류를 생성하는 물질을 말하는데 역으로 압전소자에 전압을 걸어주면 내부 구조가 변하면서 진동하게 된다. 카메라폰의 줌 기능이나 마이크로로봇의 동력에 활용된다. 초음파 장치는 사람에게 안 들리는 고주파 전압을 쏘아 수중에 초음파를 발생시킨 것으로 물을 초음파로 격렬하게 진동시켜 물 입자간 연결을 끊어 작은 입자로 만들어 준다.
- ※ 초음파는 사람이 들을 수 없는 아주 짧은 파장을 가진 높은 파동이다. 또 초음파는 지향성이 강해 소리가 어느 한 방향으로 집중적으로 전파된다. 음파는 넓게 퍼져나가면서 전파되는데, 초음파는 퍼져나가는 정도가 작아 한 방향으로 전파된다. 이러한 특징으로 미세한 물 입자까지 전달될 수 있다.

## ▶ 전문가 클리닉

감기는 주로 겨울에 유행하지만 요즘 같이 건조한 봄에도 주의하지 않으면 쉽게 걸릴 수 있다고 하죠. 봄에는 주로 양쯔강기단의 영향을 받으므로 습도가 낮아 코의 점막이 마르기 쉽고, 점막이 말라서 찢어지면 출혈이 일어나서 공기 중의 바이러스들이 쉽게 혈액 속으로 침투할 수 있기 때문이라고 합니다. 그래서 가을까지는 계속 가습기를 이용해서 실내 습도를 적절히 유지하는 것이 중요하다고 합니다. 그런데 건강 측면에서 바라보는 가습기와 열역학 측면에서 바라보는 가습기는 뭔가 많이 다르다는 생각이 드네요. 동일한 현상을 보면서도 특별함을 찾아낼 수 있는 것이 면접 출제위원의 특징인 것 같습니다.

## ▶ 예시답안

- 1) 먼저(수조의 밑면적) $\times$ (수조의 높이)=(수조의 부피)이므로 수조의 밑면적은  $100\text{cm}^2$ 입니다. 다음으로 튜브와 관기둥에 채워진 물의 부피는 수조에서 감소한 물의 부피와 같으므로 수조에서 물이 감소한 높이를  $\Delta x$ 라 하면 다음 식이 성립합니다.

$$0.1 \times (5 + (10 - \Delta x)) = 100 \times \Delta x$$

$$\Delta x = 0.015 \text{이므로 수조의 물 높이는 } 9.985(\text{cm}) \text{입니다.}$$

- 2) 수조의 물을 전부 기화시키는데 걸리는 시간을  $t$ (초)라고 하면, 이 시간 동안 소비된 전기 에너지의 60%가 열에너지로 전환되고 이 열에너지에 의해 물의 온도가  $100^{\circ}\text{C}$  부근까지 상승한 후 끓게 되므로 다음의 식이 성립합니다.

$$150 \times 0.6 \times t = (1000 + 0.1 \times 5) \times 4.2 \times (100 - 20) + (1000 + 0.1 \times 5) \times 2.3 \times 10^3$$

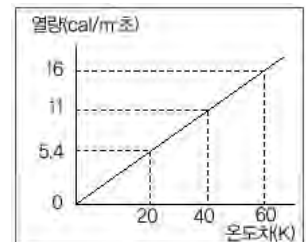
$$t \approx 29303(\text{초}) = 8.1(\text{시간})$$

- 3) 이상기체 상태방정식에 적용하면 다음과 같습니다. 기온  $T = 293(\text{K})$ , 기압  $P = 1$ 기압  $= 1013(\text{hPa}) = 101300(\text{N/m}^2)$ , 기화된 수증기의 몰수  $= 1000.5 \div 18 = 55.58(\text{mol})$ , 기체상수  $R = 8.3\text{J/molK}$ 을 방정식에 대입하면  $PV = nRT$ 에서  $V = \frac{nRT}{P} = \frac{55.58 \times 8.3 \times 293}{101300} \approx 1.334(\text{m}^3)$ 입니다. 즉 물 1L 부피에 비해 수증기는 약 1334배만큼 부피가 증가합니다.
- 4) 가열식 가습기는 물을 끓여서 수증기를 생성하므로 자연스럽게 살균효과가 생깁니다. 가습기에 물을 계속 담아두면 병원균들이 번식할 수 있으므로 초음파식에 비해 가열식이 건강에 유리합니다. 반면 가열식 가습기는 물의 온도를 높인 다음 기화시키므로 전력소비량이 초음파식에 비해 많을 수밖에 없습니다. 그리고 초음파식 가습기는 물의 온도를 거의 변화시키지 않고 수증기를 생성하므로 실내 온도를 낮추는 역할을 하기 때문에 여름철에 이용하기 적당합니다.

## 2. 원리를 알면 한 푼이라도 아낄 수 있다-열현상

상철이는 겨울에 난방비 걱정을 하시는 부모님 얘기를 듣고 많이 의아했다. 집안은 밀폐된 공간이므로 외부와의 열교환이 없어 내부의 온도가 잘 유지된다고 생각했기 때문에 집안 내부의 온도 유지에 그렇게 많은 에너지가 든다고 생각하지 않았던 상철이는 물리적으로 과연 얼마만큼의 에너지가 드는지 직접 계산해 보기로 했다. 다음 물음에 답하시오.

- 20 $^{\circ}\text{C}$ 의 물 2kg에 100 $^{\circ}\text{C}$ , 500g의 쇠막대를 넣고 오랜 시간 기다리면 물과 쇠막대의 온도는 최종적으로 몇  $^{\circ}\text{C}$ 가 되겠는가 (단 물그릇의 온도변화는 무시하고, 외부와의 열교환은 없으며, 물의 비열은 1kcal/Kg $^{\circ}\text{C}$ , 쇠의 비열은 0.1kcal/Kg $^{\circ}\text{C}$ 로 계산한다)?
- 가로, 세로, 높이가 각각 3m인 밀폐된 방이 0 $^{\circ}\text{C}$ , 1기압의 질소기체로 채워져 있다. 이 기체의 비열은 얼마인가 (단 질소기체의 분자량은 14, 기체상수  $R = 2\text{cal/molK}$ 이다)?
- 이 질소 방안에 1)번과 같이 100 $^{\circ}\text{C}$ , 500g의 쇠막대를 넣어 둔다면 방안의 온도는 몇  $^{\circ}\text{C}$ 가 되겠는가 (단 방 벽의 온도변화는 고려하지 않고, 외부와의 열교환은 없다)?
- 3)번 문제에서 방안이 열적 평형상태에 도달한 뒤에는 방안의 압력이 몇 기압이 되겠는가 (단 질소기체는 이상기체 상태방정식을 따른다고 가정하고, 쇠막대의 부피는 무시한다)?
- 외부와의 열 교환을 고려하면 이 방은 외부와의 온도차에 따라 계속 열을 방출 또는 흡수할 것이다. 우측 그림은 온도차에 따라 단위면적과 단위시간당 방출, 흡수하는 열량을 나타낸 그래프다. 바깥 기온이 0 $^{\circ}\text{C}$ 이고 실내온도가 20 $^{\circ}\text{C}$ 일 때 이 방이 순간 방출하는 총 열량은 얼마인가?
- 쇠막대에 도선을 연결하고 전류를 흘려주면 훌륭한 전열기가 된다.



5)번 문제에서 실내온도를 20 $^{\circ}\text{C}$ 로 유지하려면 쇠막대에 얼마만큼의 전류를 흘려주어야 하는지 구하고, 겨울철 난방비를 줄이기 위한 방안에 대해 얘기해 보라.

## ▶ 전문가 클리닉

열량보존의 법칙을 이용해 열의 출입량을 구하는 문제는 가장 기초적이면서도 학생들이 쉽게 생각하는 문제입니다. 대개 액체가 섞이거나 액체에 고체를 넣었을 때 열이 어떻게 이동하는가 하는 문제는 수능에서도 자주 다뤄지고 있죠. 여기에 ‘기체’가 관여한 열 이동 문제를 한 번 짚고 넘어갈 필요가 있습니다. 기체의 경우 압력이 일정할 때 나타나는 비열과 부피가 일정할 때 나타나는 비열이 다르므로 상황에 맞는 기체의 비열을 찾는 것이 중요합니다.

## ▶ 예시답안

- 1) 열은 온도가 높은 물질에서 온도가 낮은 물질로 이동하며 두 물질의 온도가 같아지면 열 교환이 없는 열적 평형상태에 도달하게 됩니다. 즉 쇠막대가 잃어버린 열량이 물이 얻은 열량이 되며, 두 물질의 온도가  $T^{\circ}\text{C}$ 에 이를 때까지 열 교환이 일어납니다.

$$1 \times 2 \times (T - 20) = 0.1 \times 0.5 \times (100 - T)$$

$$T \approx 22.0(^{\circ}\text{C})$$

- 2) 먼저 기체의 부피를 구하면  $V = 3 \times 3 \times 3$ 이고,  $0^{\circ}\text{C}$ , 1기압에서 기체는 22.4L에 1mol의 기체 분자가 존재하므로, 위 방안에 존재하는 기체 분자의 수  $n = 27 \div 22.4 = 1.2(\text{mol})$ 이고, 분자량이 14이므로 전체 질량  $m = nW = 1.2 \times 14 = 17(\text{g})$ 입니다.

기체에 공급한 에너지는 기체의 내부에너지와 기체가 한 일로 표현되므로  $\Delta U = \Delta Q + P\Delta V$ 입니다. 그런데 밀폐된 공간에서 질소기체의 부피변화량은 0이므로 결국 기체에 공급한 에너지는  $\Delta U = \Delta Q$ 입니다. 2원자 분자인 기체의 내부 에너지  $Q = \frac{5}{2}nRT$ 이므로, 이 질소기체의 비열은 다음과 같습니다.

$$Q = cmT = \frac{5}{2}nRT \text{에서}$$

$$c = \frac{5nR}{2m} = \frac{5 \times 1.2 \times 2}{2 \times 17}$$

- 3) 1)번과 마찬가지로 쇠막대가 잃은 열량과 기체가 얻은 열량이 같다는 조건을 이용하면 다음과 같습니다.

$$0.1 \times 500 \times (100 - T) = 0.25 \times 17 \times (T - 0)$$

$$T = 92(^{\circ}\text{C})$$

꽤 높은 온도가 나왔는데 실제로는 방 벽의 온도 때문에 방안의 온도는 더 낮을 것입니다. 문제는 쇠막대와 기체 사이의 열 교환만을 고려하는 것이므로 높은 온도에서 열평형을 이룸을 알 수 있습니다.

- 4) 이상기체 상태방정식에 따르면  $PV = nRT$ 이므로 기체의 부피가 유지되면 기체의 압력은 온도에 비례합니다. 즉 쇠막대를 넣기 전과 열평형에 도달한 후의 기체의 온도비를 구하면 나중 압력을 알 수 있습니다. 따라서  $P' = P \frac{T'}{T} = 1 \times \frac{273 + 92}{273} = 1.3(\text{atm})$ 이 됩니다.

5) 그래프에서 실내와 실외의 온도차가 20℃일 때 건물이 단위면적당 방출하는 열량은 5.4cal입니다. 문제에서 방의 겉면적은 54m<sup>2</sup>이므로, 결국 외부로 방출되는 총 열량은 단위시간당 0.29kcal가 됩니다.

6) 5)번 결과로부터 실내 온도를 20℃로 유지하기 위해선 단위시간당 0.29kcal의 열에너지를 재공급해줘야 합니다. 1kcal는 약 4200J의 열에너지에 해당하므로 전열기는 약 1218J의 일률을 가져야 합니다. 쇠막대의 저항이 10Ω이므로 흘러줘야 하는 전류는  $P = I^2 R = 1218$ 에서  $I = 11(A)$ 임을 알 수 있습니다. 겨울철 난방비를 줄이기 위해선 먼저 외부와의 온도차를 최대한 줄이는 것이 좋습니다. 지나치게 높은 실내 온도를 유지하기 보다는 약간 낮은 온도로 설정하고 옷을 좀 더 껴입는 등의 방법으로 적절한 온도를 유지하면 외부로 방출되는 열에너지의 양을 줄일 수 있습니다. 온도차가 커질수록 더 많은 열을 뱉기 때문입니다. 그리고 단위면적당 방출되는 열의 양을 줄이기 위해 외벽에 보온재 등을 이용한 방열 시설을 갖추는 것이 좋습니다. 가장 많은 열이 빠져나가는 유리창을 이중창으로 만드는 것이 좋은 예입니다.

### 3. 과학기술의 발전으로 가능해진 것들-열팽창

의학에 관심이 많은 은주는 의료기구들 중에 열팽창의 원리를 이용한 것이 많음을 알게 됐다. 인공관절의 경우 일반 인공관절을 신체에 이식하려면 피부를 많이 절개해야 하지만 금속의 열팽창현상을 활용한 형상기억합금을 소재로 만든 인공관절을 쓸 경우 조금만 절개해도 되는데, 이는 체온에서 정상적인 모양을 갖는 인공관절을 만든 뒤 다른 온도에서 축소시켰다가 체내로 이식시키면 원래대로 퍼지기 때문이라는 것을 알게 됐다. 은주는 직접 열팽창 현상을 분석하기 위해 <그림 2>와 같이 열팽창계수가 큰 형상기억합금으로 만든 직육면체 모양의 용기에 30℃의 물을 정확히 1L만큼 따른 후 냉장고에 넣어서 온도를 거의 0℃까지 낮췄다. 다음 질문에 답시오.



- 1) 용기의 온도가 낮아지면 내부 부피는 증가하는가, 아니면 감소하는가? 그리고 그 이유는 무엇인가?
- 2) 냉장고에서 용기를 꺼내서 용기의 측면에 표시된 물의 부피를 읽어보니 0.99L였다. 용기의 길이팽창계수는 얼마일까(단 용기의 측면은 열팽창을 무시할 만큼 얇고, 밑면적은 100cm<sup>2</sup>이며, 물의 부피팽창계수는 0.002/K다)?

### ▶ 전문가 클리닉

열팽창 현상을 이용하는 대표적 사례로 바이메탈이 있다는 사실은 잘 알고 있죠? 열팽창률이 서로 다른 두 개의 얇은 쇠붙이를 한데 붙여 합친 것이 바이메탈인데, 온도가 높아지면 팽창률의 차이 때문에 그 길이가 서로 달라져 팽창률이 작은 쇠붙이 쪽으로 굽고 온도가 낮아지면 그 반대쪽으로 굽는 현상을 이용해서 온도 조절기, 화재경보기, 온도계수 등에 활용하고 있습니다. 지난 2월에 지구온난화 방지를 위한 교토의정서가 공식 발효됐는데요, 지구의 연평균기온이 올라갈 경우 해수면이 높아지는 이유는 빙하가 녹기 때문이기도 하지만 바닷물의 온도가 올라가서 전체적인 부피가 팽창하는 현상 때문에 침수피해가 더 커진다고 합니다. 만약 사람의 욕심에 따라 팽창 정도가 달라지는 물질을 개발하면 재미있는 일이 많을 것 같습니다. 욕심을 부릴 때 발생하는 뇌파에 반응해 길이나 부피가 늘어나는 물질을 이용해서 욕심의 정도를 표

시해준다면 인간은 과욕을 부리지 않고 절제하며 살 수 있지 않을까요?

▶ 예시답안

1) 용기의 온도가 낮아지면 내부 부피가 감소합니다. 온도가 낮아지면 용기는 모든 방향으로 길이가 줄어들는데, 용기 밑면의 길이가 측면의 길이보다 훨씬 길기 때문에 그만큼 밑면이 많이 늘어나기 때문입니다. 그릇 두 개가 찼을 때 아래 쪽 그릇을 뜨겁게 하면 그릇이 잘 빠지는 현상도 이런 원리를 이용한 것입니다.

2) 이 문제를 풀기 위해서는 세 가지 변화를 고려해야 합니다. 첫째는 물의 부피감소입니다. 온도가 30℃만큼 내려갔으므로 부피는  $1 \times 0.002 \times 30 = 0.06(L)$ 만큼 감소합니다. 둘째는 온도 하강에 따른 용기 측면에 표시된 눈금 간격의 축소입니다. 용기의 길이팽창계수를  $\alpha$ 라 하면 온도가 30℃ 내려가면 눈금 간격은 원래 온도에 비해  $(30 \times \alpha)$ 만큼 줄어듭니다. 즉 온도가 30℃ 내려간 후 0.99L 눈금의 바닥으로부터의 높이는 원래의  $(10 \times 0.99)$ 보다  $(30 \times \alpha)$  비율만큼 줄어듭니다. 셋째는 용기 바닥의 면적감소입니다. 면적은 길이팽창의 2배이므로 원래 면적에 비해  $(2 \times 30 \times \alpha)$ 의 비율만큼 줄어듭니다. 이 세 가지를 고려하면 다음 식이 성립합니다.

(관찰한 물의 실제 부피감소)=(이론적 물의 부피감소)

$$1000 - (100 - 100 \times 30 \times 2 \times \alpha) \times (10 \times 0.99 \times (1 - 30\alpha)) = 1000 \times 30 \times 0.002$$

방정식을 풀면  $\alpha \approx 0.00057(/K)$  또는  $\alpha \approx 0.051(/K)$

## 2005년 05월호-물리 면접구술고사 완벽가이드

이번 호에는 면접 출제자의 의도를 잘 볼 수 있는 기출문제들을 다루려 합니다. 집필을 시작한 2002년 이래 처음으로 네 문항 모두 기출문제가 됐네요. 하지만 전자기학 부분은 어느 대학교 기출문제를 보더라도 기본 개념원리가 중요하고, 크게 달라지지 않기 때문에 기출문제 중심으로 살펴 보는 것도 의미가 있으리라 봅니다.

### ■ 전자기학

#### 1. 전기 저항

도체에 흐르는 전류는 자유 전자의 이동에 의한 것이다. 도체 내의 원자들이 평형점 주위에서 진동하기 때문에 자유 전자들은 진행하면서 많은 원자들과 충돌하게 돼 흐름에 방해를 받는다. 이와 같이 전류의 흐름을 방해하는 물질의 성질을 전기저항이라고 한다.

온도가 0K일 때는 금속 내 원자의 진동이 전자의 운동을 방해하지 않지만 불순물이 있거나 0K보다 높을 때는 원자의 진동이 전자의 운동을 방해하므로 저항의 크기가 증가한다.

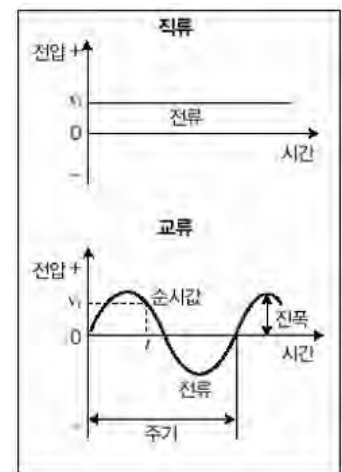
#### 2. 옴의 법칙

길이가  $L(m)$ 인 도선 양 끝의 전위차가  $V$ 일 때 도선 내부에는 전기장이 형성돼 전류가 흐르게 된다. 이 때 도선에 흐르는 전류의 세기( $I$ )는 전압( $V$ )에 비례하고 전기 저항( $R$ )에 반비례한다. 이 관계( $V=IR$ )를 옴의 법칙이라고 한다. 전류의 세기는 단위시간 동안 도선의 단면적을 통과하는 전하량으로 정의한다 ( $I=Sv_{ne}$ , 단  $S$ 는 도체의 단면적,  $v$ 는 도체 내에서 전자의 속도의 크기,  $n$ 은 단위부피의 도체 내부에 존재하는 전자의 수,  $e$ 는 전자 1개의 전하량).

#### 3. 교류의 원리

도선을 따라서 흐르는 전류의 방향이 바뀌는 전류를 교류라고 한다. 1초 동안에 (+)와 (-)가 서로 번갈아 바뀌는 횟수를 사이클 또는 헤르츠(Hz)라고 한다. 교류는 전압이 고르지 않아 전기 회로에 손상을 주기도 하지만 다음과 같은 특징 때문에 현재 직류보다 많이 사용된다.

- 구조가 간단한 교류 발전기로 쉽게 전기를 발생시킬 수 있다.
- 변압기로 전압을 쉽게 높일 수 있으므로 장거리 송전이 가능하다.
- 직류전동기보다 구조가 간단하고 튼튼한 교류전동기에 사용할 수 있다.
- 직류로 쉽게 변환된다.



#### 1. 비유와 유비의 유혹 (2003년도 수시2학기 경북대 기출문제)

- 1) 도체의 전기저항은 온도에 영향을 받는가? 왜 그런가?
- 2) 전지와 직렬로 연결된 똑 같은 전구 2개가 있다. 회로를 연결하면 전지의 (+)극에서 가까운 쪽의 전구가 나머지 전구보다 더 밝다고 하는 사람은 왜 그런 생각을 하고 있다고 생각하는가? 그 사람의 생각을 바꿔 주기 위해서 어떻게 할 것인가?

## ▶ 전문가 클리닉

면접에서는 수험생이 구사하는 단 몇 마디의 용어만 들어도 거의 정확하게 평가를 내릴 수 있습니다. 질문이 쉬운 경우 적절한 용어 구사나 우선순위에 입각한 논리 전개 여부가 평가에서 큰 비중을 차지합니다. 그렇기 때문에 지필고사와 달리 개념과 원리를 아는 정도로 그치지 말고 어떻게 하면 논리적이고 핵심적으로 답할 수 있는지를 평소에 고민해두어야 좋은 평가를 받을 수 있습니다.

위 문제는 물리교육과 기출문제이므로 수험생의 지적수준뿐만 아니라 교육자적 자질까지도 평가하고 있습니다. 어려운 문제를 푸는 것보다 평범한 원리를 다른 사람에게 이해시키는 것이 더 어려울 때가 있음을 자주 느끼는데요, 이런 점에 착안해서 출제한 것입니다. 전류에 대한 학생의 대체개념은 많은 사범대 대학원 논문에서 다루고 있어서 면접을 완벽하게 대비하려면 학계의 동향까지도 어느 정도 파악해야 할 필요가 있음을 느끼게 하는 질문입니다.

## ▶ 예시답안

1) 도체의 전기저항은 온도에 영향을 받습니다. 그 이유는 온도가 올라갈수록 금속 원자의 운동이 활발해져서 전류의 실체인 자유전자의 운동이 더 큰 방해받기 때문입니다.

2) 전구의 밝기는 전력( $P=VI=I^2R$ )에 따라 차이가 나므로 두 전구의 밝기가 다르다고 생각한 사람은 아마도 각 전구에 흐르는 전류의 세기가 다르다고 생각했을 겁니다. 그리고 전류 현상에서 전류의 세기가 단위시간 동안 도선의 단면적을 통과하는 전하량인데도 단지 전자의 속력이 전류의 세기라고 잘못 알고 있기 때문일 것입니다.

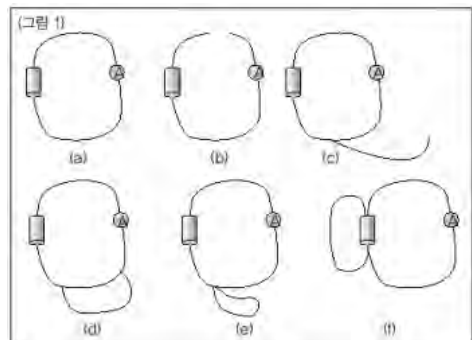
즉 전지의 (+)극에서 가까운 쪽의 전구가 나머지 전구보다 더 밝다고 생각하는 사람은 아마도 전류 현상을 물의 흐름에 잘못 비유해서 물이 흐르다가 장애물을 만나서 역학적 에너지를 잃으면 유속이 느려지는 것과 마찬가지로, (+)극에서 멀리 있는 두 번째 전구에 흐르는 전류의 세기가 첫 번째 전구에 흐르는 전류의 세기보다 약해져서 전구의 밝기가 약할 것이라고 잘못 생각했기 때문입니다.

그렇게 비과학적으로 생각하는 사람의 생각을 바꿔 주려면 이론적인 측면에서 전류와 전력의 원리를 정확히 알려주면 됩니다. 즉 저항의 직렬연결에서는 전하량보존의 원리에 따라 두 저항에 흐르는 전류의 세기가 같고 두 전구의 저항 크기도 같으므로 전력이 같을 수밖에 없어 밝기도 같다고 알려주면 됩니다. 그리고 실제로 실험을 해서 확인하면 됩니다. 두 전구의 위치를 바꿔가며 밝기를 비교하면 자신의 생각이 비과학적 개념임을 인식하고 더 적극적으로 사고의 오류를 분석할 수 있으리라 봅니다.

### 2. 질문이 쉬운 데에도 그 나름의 이유는 있다 \_ 2003년 수시2학기 홍익대 기출문제

구리 도선에는 값은 작지만 저항이 있다. 도선이 길면 길수록 저항은 크다.(그림 1)과 같이 구리 도선에 전지를 연결해 전류를 흘린 다음, 전류계 A를 연결해 전류의 크기를 측정한다.

1) (a)의 회로에서 (b)와 같이 도선을 끊어 버리면 전류계의 바늘은 어떤 값을 가리키겠는가?





- 2) (a)의 회로에서 (c)과 같이 또 하나의 구리 도선의 한쪽 끝만을 회로에 연결하였다. 전류계의 바늘은 어떻게 변하는가?
- 3) (a)의 회로에 (d)와 같이 다른 도선을 연결하면 전류계의 바늘은 어떻게 변하는가?
- 4) (a)의 회로에 (e)와 같이 다른 도선의 양끝을 한 점에 연결하면 전류계의 바늘은 어떻게 변하는가?
- 5) (f)와 같이 다른 도선을 전지의 양 끝에 연결하면 전류계의 바늘은 어떻게 되겠는가?
- 6) (a)의 도선을 잡아 당겨 길이가 길어지면 전류계의 바늘은 어떻게 되는가?

### ▶ 전문가 클리닉

수험생 입장에서는 항상 도선의 전기저항의 크기가 0이라는 가정 아래서 교과서를 접해왔기 때문에 위 문제가 쉬워 보이면서도 문제를 풀다보면 함정이 있겠다는 생각이 듭니다. 전자기학 부분은 다른 어떤 분야보다도 기본개념이 중요하다는 사실을 위 문제를 통해 다시 한 번 느낄 수 있으리라 봅니다.

### ▶ 예시답안

- 1) 전류가 흐르지 못하므로 전류의 세기가 0이어서 전류계의 바늘은 0을 가리킵니다.
- 2) 새로 연결한 구리도선의 한 쪽 끝이 열려 있어 저항의 크기가 매우 크기 때문에 전류는 원래의 회로에만 흐르므로 전류계의 눈금은 변하지 않습니다.
- 3) 새로 연결한 도선은 기존 도선과 병렬로 연결됐으므로 두 도선이 만나는 지점 사이의 합성 저항의 크기는 작아집니다. 그래서 전류계의 눈금은 증가합니다.
- 4) 새로 연결한 도선은 한 지점에서 양 끝점이 만나기 때문에 도선 전체에서 전위가 같으므로 전류가 흐르지 않습니다. 그래서 원래 도선에 영향을 미치지 않으므로 전류계의 눈금은 변하지 않습니다.
- 5) 다른 도선을 (f)와 같이 연결하더라도 전류계가 연결된 원래 도선의 저항 크기와 전압이 변하지 않으므로 전류계의 눈금도 변하지 않습니다.
- 6) 도선을 잡아 당겨 길이가 늘어나면 도선의 단면적도 줄어듭니다. 도선의 저항의 크기는 길이에 비례하고 단면적에 반비례하므로 길이가 늘어난 도선의 저항은 늘어나기 때문에 전류계의 눈금은 감소합니다. 만약 도선의 길이가 원래 길이의 2배가 된다면 단면적은 평균로 줄어들기 때문에 저항의 크기는 4배가 됩니다.

### 3. 무선 신호를 잡아내는 원리 \_ 서울대 특기자전형 기출문제

아마추어 무선사인 철수는 다양한 주파수의 무선신호 중에서 자기가 원하는 특정한 주파수의 신호만 골라내는 전기적인 장치인 필터를 만들어 보기로 했다. 철수는 물리책에서 축전기와 코일이라는 전기소자가 아래와 같은 특성을 가지고 있음을 알게 됐다.

a. 축전기에 흐르는 전류는 양단 전압의 시간 변화율에 비례한다.

b. 코일 양단의 전압은 이 코일에 흐르는 전류의 시간 변화율에 비례한다.

1) 이러한 축전기와 코일에 교류전압을 연결할 때 주파수에 따라 전류가 각각 어떻게 변화하는가를 설명하시오.

2) 이 축전기와 코일을 오른쪽(그림 2)와 같이 직렬로 연결하고 그 양단에 교류전압을 인가하였다. 이 때 전압의 주파수를 바꾸면 회로에 흐르는 전류는 어떻게 변화하는지 설명하시오.

3) 이상의 결과를 고려하여 아래(그림 3)과 같이 전기저항, 코일 그리고 축전기를 직렬로 연결한 형태로 필터를 만들었다. 여기서 전기저항과 코일은 각각 R, L로 값이 고정되어 있으나 축전기의 전기용량 C는 변화시킬 수 있도록 만들었다. 이 필터의 단자 A-B에 서로 다른 주파수를 가진 두 가지의 전압이 혼합된 전압인

$$v_s(t) = v_1(t) + v_2(t) = V_1 \sin 2\pi f_1 t + V_2 \sin 2\pi f_2 t$$

를 걸고 축전기의 값을 변화시켜 가면서 저항 양단에 걸리는 전압을 관찰한다면 어떤 C값에서 신호가 가장 크게 측정되는지 설명하시오.

4) 이러한 상태를 무엇이라고 하는가. 일상생활에서 비슷한 현상을 볼 수 있는 예를 한 가지 들어보시오.

#### ▶ 전문가 클리닉

LC 또는 LRC 회로는 전기 에너지, 전자기 유도현상 등을 잘 이해하고 있는가를 확인해 보기에 좋은 문제입니다. 실생활에 응용되는 전기현상이란 점에서 관심을 가져야 할 사례입니다. 단순히 공식을 외워서 문제에 적용하는 풀이에 그치지 말고, 축전기나 코일이 어떻게 에너지를 저장했다 교환하는가, 그리고 그 에너지의 교환 현상으로 인해 회로에 진동전류가 발생하는 원리, 마지막으로 그 진동전류가 고유한 주파수를 갖는다는 점을 잘 이해하고 있는지를 점검해 보기 바랍니다.

#### ▶ 예시답안

1) 축전기와 코일의 전기특성에 따라 축전기와 코일의 양단에 걸리는 전압을 수식으로 표현해 봅니다.

a를  $I_c = C(dV_c/dt)$ 라 놓을 수 있습니다. 이 때 비례상수 C를 축전기의 전기용량이라 합니다.

b는  $V_L = -L(dI_L/dt)$ 가 되고, 이 때 비례상수 L을 코일의 자체 유도 계수라 합니다. 코일 양단의 전압은 전류의 흐름을 방해하는 방향으로 발생하므로 음의 부호가 붙게 됩니다.

이제 이 축전기와 코일에 교류전압이 인가됐을 때 전류가 어떻게 바뀌는가 생각해 봅니다. 먼저 가해주는 교류전압  $V(t)$ 를  $V(t) = V_0 \sin \omega t$ 라 두고, 이 때 흐르는 전류를  $I(t) = I_0 \sin \omega t$ 라 두면, 축전기에 대해

$$I = C \frac{dV(t)}{dt} = C \frac{d}{dt} (V_0 \sin \omega t) = \omega C V_0 \cos \omega t = \omega C V_0 \sin \left( \omega t + \frac{\pi}{2} \right)$$

즉 축전기에 흐르는 전류의 크기는  $\omega C V_0$ 이고, 위상은 가해준 전압보다  $90^\circ$  빠릅니다.

## 코일에 대해

코일에 전류가 흐르면 코일 양단에 전류의 흐름을 방해하는 전압이 유도되는데, 이 전압을 상쇄시켜 줄 수 있는 전압을 반대로 걸어줘야 전류가 손실 없이 흐를 수 있습니다. 그러므로 코일에 가해 줘야 하는 추가전압  $V$ 는

$$V = -V_L \frac{dI(t)}{dt} = L \frac{d}{dt}(I_0 \sin \omega t) = \omega L I_0 \cos \omega t = \omega L I_0 \sin(\omega t + \frac{\pi}{2})$$

즉 코일에 흐르는 전류의 크기는  $\frac{V}{\omega L}$  이고, 위상은 가해진 전압보다  $90^\circ$  늦습니다.

2) 1)번의 결과로부터 축전기에 흐르는 전류와 코일에 흐르는 전류는 위상이  $180^\circ$  차이가 나므로 두 저항값의 차이가 결국 전체회로의 저항값에 해당합니다. 이 때 축전기와 코일의 저항값을 임피던스라고 하고 각각  $\frac{1}{\omega C}$ ,  $\omega L$ 입니다. 따라서 전체 임피던스  $Z$ 는  $Z = |\omega L - \frac{1}{\omega C}|$ 이고,

$$\omega = 2\pi f \text{이므로, } Z = \omega L - \frac{4\pi^2 f L C - 1}{2\pi f C} \text{가 됩니다.}$$

즉 주파수가 아주 커지거나 0에 가까워질수록 회로의 임피던스는 증가해 전류는 감소하게 되고

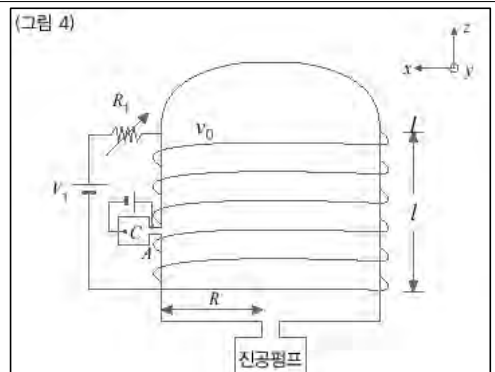
$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$  일 때 회로의 임피던스는 0이 되어 전류는 최대값을 갖습니다. 이 때의 주파수를 회로의 공진주파수라고 부릅니다.

3)  $v_1(t)$ 는 주파수  $f_1$ 으로 진동하는 교류신호입니다. 그러므로  $v_1(t)$ 이 최대가 되는 경우는 회로의 공진주파수가  $f_1$ 과 일치할 경우입니다. 따라서  $f_1 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$   $C = \frac{1}{4\pi^2 f_1^2 L}$ 입니다.

4) 이러한 상태를 공진상태 또는 공명상태라고 합니다. 일상생활에서는 특정한 라디오 신호를 수신하는데 이러한 원리를 이용합니다. 즉 방송마다 고유한 주파수에 음성신호를 실어 보내게 되는데 라디오에서는 회로의 공진주파수를 변화시켜 특정 방송만을 수신할 수 있도록 해 줍니다.

### 4. 전자기장으로 쏜 전자의 운동(서울대 특기자 기출문제)

민희는 다음 실험을 통하여 전자기장과 전자 운동과의 관계를 알아보았다. 아래의 (그림 4)와 같이 내부가 진공인 원통형 형광유리관의 외부에 도선을  $N$ 번 감은 길이가  $l$ 인 솔레노이드에 전압  $V_1$ 과 저항  $R_1$ 을 연결하였다. 이 때 음극 C에서 방출된 전자는 양극 A로 가속되어 초기속도  $v_0$ 로 유리관 안으로 입사한다 (단 솔레노이드 도선의 저항은 무시할 수 있고 자기장은 유리관 내에 균일하게 형성된다고 가정한다).

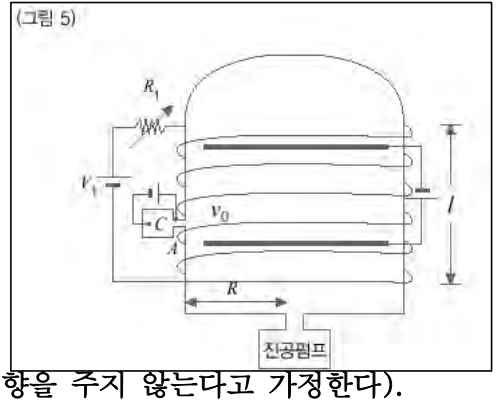


1) 유리관 내에서 자기장의 크기와 방향을 구하시오.

2) 전자가 위의 그림과 같이 자기장에 수직한 방향으로 입사할 때 유리관 위에서 보는 전자 운동의 예상 경로를 그리고 운동 경로를 방정식으로 표현하시오.

3) 전자가 2)번 문항의 입사방향에서 위쪽으로 비스듬히 입사할 때 전자 운동의 경로를 설명하시오. 또 입사점을 원점으로 할 경우  $t$ 초 후 전자의  $z$ 축에서의 위치를 구하시오.

4) 3)번 문항에 균일한 전기장의 세기  $E$ 를 만드는 원형 평행판이(그림 5)와 같이 추가되었을 때 전자는 입사점과 같은  $z$ 값을 갖는 면을 통과하겠는가? 그렇다면 전자가 입사점을 출발하여 그 면을 통과하는데 걸리는 시간을 구하시오(단 유리관 내의 금속 평행판은 자기장에 영향을 주지 않는다고 가정한다).



### ▶ 전문가 클리닉

전자기장에서 전하의 운동에 관한 문제는 이미 많이 다뤄 더 이상 강조하는 것도 서로가 지칠 정도입니다. 다만 이번 호에서는 단순히 자기장에 평행하게 입사한 전하의 로렌츠 힘만 고려하는 것이 아니라, 비스듬히 입사한 경우, 전기장이 존재하는 경우를 다뤄 보고자 합니다. 그 외에 심화된 문제로 전기장과 자기장이 평행한 경우, 방향이 다른 경우도 몇 번 다뤘던 적이 있습니다. 이러한 일련의 문제들은 그 형태만 조금씩 바뀔 뿐 큰 틀은 크게 달라지지 않았습니 다. 즉 운동 법칙에서 속도와 힘을 각각의 좌표성분으로 벡터 분해해서 생각하면 실수하지 않는다는 역학적인 감각을 잃지 않으면서 문제를 풀어내는 연습을 해보기를 바랍니다.

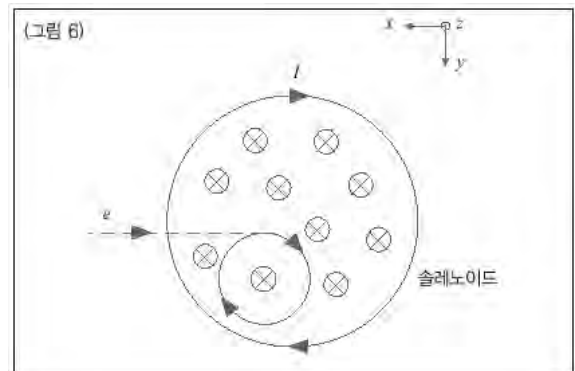
### ▶ 예시답안

1)  $N$ 번 감긴 솔레노이드의 길이가  $l$ 이므로 단위길이 당 감은 수는  $N/l$  都求? 이 때 솔레노이드 내부의 자기장  $B$ 는,

$$B = \mu_0 \frac{N}{l} I = \mu_0 \frac{N V_1}{R_1 l} \text{ 입니다 (단 } \mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{)}.$$

2) (그림 6)에서 전류의 방향에 의해 솔레노이드 내부의 자기장의 방향은  $-z$ 방향임을 알 수 있습니다. 그리고 유리관으로 입사된 전자는 솔레노이드의 자기장을 상쇄시키려는 방향으로 원운동을 하게 됩니다. 즉 전자는  $(-)$ 전하를 띠고 있으므로 전자의 회전 방향은 솔레노이드의 전류의 방향과 일치합니다.

이 때 전자의 회전 반경을 알기 위해서는 로렌츠 힘의 크기를 알아야 합니다.



$$F = Bqv = \mu_0 \frac{N}{l} I e v_0 = \frac{\mu_0 N e v_0 V_1}{R_1 l}$$

로렌츠 힘이 곧 전자의 구심력이므로 그 관계로부터,

$$\frac{m v_0^2}{R} = \frac{\mu_0 N e v_0 V_1}{R_1 l} \quad R = \frac{m v_0 R_1 l}{\mu_0 N e V_1}$$

이 됩니다. 따라서 전자의 운동 경로는  $x-y$  평면에서  $x^2 + y^2 = (\frac{mv_0 R_1 l}{\mu_0 N_e V_1})^2$  과 같이 표현될 수 있습니다. (단 원운동의 중심을 원점으로 가정합니다).

3) 전자의 입사방향이  $x-y$  평면과 이루는 각도를  $\theta$ 라 두면, 전자의 속도는 자기장 방향과 평행한 성분과 자기장과 수직인 성분으로 나뉘어 생각할 수 있습니다. 이 때 로렌츠 힘은 자기장 방향에 수직인 방향으로만 발생하므로 자기장에 평행한 성분의 속력은 변하지 않고 등속운동을 할 것임을 예측할 수 있습니다. 즉  $x-y$  평면상에서는 원운동을 하면서  $+z$  방향으로 등속운동을 하는 나선 모양의 운동을 하게 됩니다. 그리고  $t$ 초 후  $z$ 축에서 전자의 위치는  $z(t) = v_0 z t = v_0 t \sin \theta$ 입니다.

4) (그림 5)에서 평행판에 의해 발생하는 전기장의 방향은  $+z$  방향입니다. 그러므로 전자는  $-z$  방향으로 전기력을 받게 될 것입니다. 초기에  $+z$  방향으로 입사된 전자는  $x-y$  평면상에서 원운동을 하며  $+z$  방향으로의 전기력을 받아 등가속도 직선운동을 하게 됩니다.

즉 초속도는  $v_0 \sin \theta$ 이고, 가속도는 전자의 질량을  $m$ 이라 할 때  $a = \frac{F}{m} = -\frac{eE}{m}$ 가 됩니다.

운동방정식을 이용하면 이 전자가 처음 입사한 면을 다시 지나가는데 걸리는 시간  $t$ 는

$$S = v_0 \sin \theta t - \frac{eE}{2m} t^2 = 0 \text{에서 } t = \frac{2mv_0 \sin \theta}{eE} \text{가 됩니다.}$$

## 2005년 06월호-물리 면접구술고사 완벽가이드

이번 달에는 물리의 ‘황태자’인 파동과 입자 부분을 다뤘습니다.

### ■ 파동과 입자

#### 1. 광전효과(photoelectric effect, 光電效果)

일반적으로 물질이 빛을 흡수해 자유롭게 움직일 수 있는 전자, 즉 광전자를 방출하는 현상. 전자를 자유롭게 하는데 필요한 최소의 에너지를  $E_0$ , 빛의 진동수를  $\nu$ , 플랑크상수를  $h$ 라 하면 광전자의 에너지는  $h\nu - E_0$ 다. 이때  $h\nu_0 - E_0$ 로 정해지는 한계진동수  $\nu_0$ 보다 진동수가 높은 빛을 흡수하면 광전효과가 일어난다.

#### 2. 이상기체 상태방정식

1) 보일-샤를의 법칙에 ‘모든 기체 1몰의 부피는 표준 상태( $0^\circ\text{C}$ ,  $1\text{atm}$ )에서  $22.4\text{ L}$ ’라는 아보가드로의 법칙을 적용해 기체 1몰에 대한 기체상수  $k$ 의 값을 구하면 다음과 같다.

$$k = PV/T = 1(\text{atm})22.4(\text{L/mol}) / 273(\text{K})$$

$$\approx 0.082(\text{atm}\cdot\text{L/K}\cdot\text{mol}) = R(\text{기체상수})$$

즉 보일-샤를의 법칙은 1몰의 기체에 대해 다음과 같다.

$$= R \rightarrow PV = RT$$

2) 이상기체 상태방정식 : 기체의 몰수, 온도, 압력 및 부피 등의 상태를 나타낸 식. 기체의 몰수가  $n$ 몰일 때는  $k = nR$  이 된다.

$$PV/T = nR \rightarrow PV = nRT$$

#### 3. 전반사

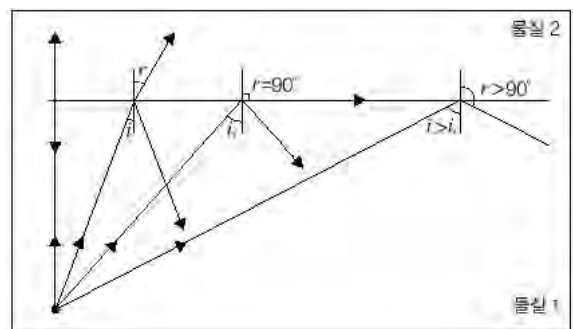
빳빳한 매질에서 성긴 매질로 빛을 입사시킬 때 조금씩 입사각을 증가시키면 특정한 각 이상이 됐을 때 빛이 전반사를 일으키게 된다. 이때의 각을 임계각이라 부른다. 임계각보다 큰 입사각으로 빛이 들어오면 모두 반사하게 된다.

#### 4. 스넬의 법칙

빛이 굴절률이 다른 두 매질의 경계면을 통과할 때의 수리적 변화를 설명하는 법칙이다. 우측 그림에서 입사각  $i$ 를  $\theta_1$ , 굴절각  $r$ 을  $\theta_2$ 라 하면 다음의 식이 성립한다.

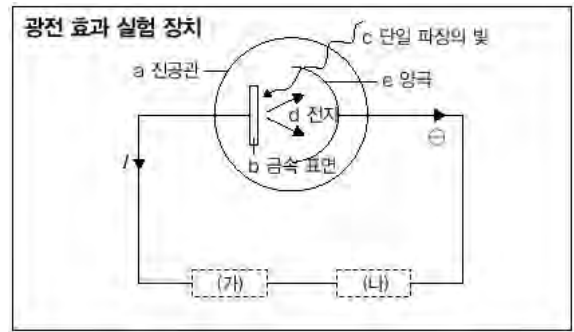
$$\frac{\sin\theta_1}{\sin\theta_2} = \frac{v_1}{v_2} = \frac{\lambda_1}{\lambda_2} \quad (v_1, v_2 \text{는 각각 물질 1, 2에서 속도}$$

$\lambda_1, \lambda_2$ 는 파장)



## 1. 입자이고 싶은 파동-광전효과

다음과 같은 광전효과 실험 장치를 만들었다. 진공관 (a) 내에 설치한 금속 표면 (b)에 단일 파장의 빛 (c)을 쏘아주면 금속 표면으로부터 전자 (d)가 튀어나와 양극 (e)으로 들어가게 된다. 이때 양극으로 들어간 전자는 회로를 따라 다시 음극인 금속판으로 돌아가는 순환을 하게 될 것이다. 만일 이 회로에 전압의 크기를 변화시킬 수 있는 가변 전지를 설치한다면 회로에 흐르는 전류의 양을 조절할 수 있을 것이다. 다음 물음에 답하시오.



- 1) 금속표면의 전자들은 어떤 상태에 있는지, 그리고 평상시에 밖으로 튀어나오지 않는 이유를 설명하시오.
- 2) (가) 부분에 가변 전지를 설치하고, (나) 부분에 전류계를 설치한 다음 전압의 변화에 따라 회로의 전류가 어떻게 변화할 것인지 그래프로 설명하시오(단 위 그림에서 전류의 방향을 순방향으로 본다).
- 3) 회로의 전류가 0이 되는 순간의 전압을 '문턱 전압'이라 한다면 문턱 전압과 광전자의 운동에너지는 어떤 관계에 있는지 설명하시오.
- 4) 금속판에 쏘아주는 빛의 진동수를 변화시킬 수 있다면 빛의 진동수에 따른 문턱 전압의 변화를 예측해 그래프로 표현하시오.
- 5) 광전 효과는 광전자의 문턱전압이 빛의 진동수에 비례한다는 것을 설명하는 실험이다. 그 비례상수를  $k$ 라 할 때 4)번에서 진동수와 문턱 전압의 관계식을 구하라.
- 6) 4)번 그래프에서 진동수가 0일 때의 문턱 전압의 값이 의미하는 바에 대해 설명하시오.
- 7) 위 결과들로부터 '빛의 입자성'에 대해 토의해 보라.
- 8) 전류계 대신 (나) 부분에 오른쪽 그림과 같은 장치를 만들어 장착했다고 가정하자. 부피가 고정된 단열상자 내부는 이상기체로 차 있고, 니크롬선 코일이 외부와 연결돼 있다. 이 때 금속판에 빛을 쏘면 단열 상자 내부의 기체의 운동에너지는 어떻게 되는지 토의해 보라.



## ▶ 전문가 클리닉

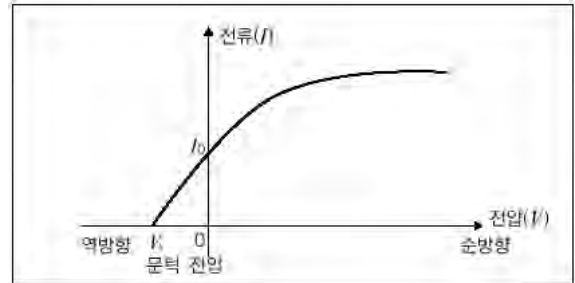
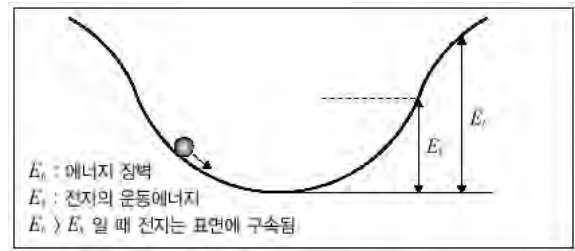
현대물리학 부분에서 가장 많이 출제되는 광전효과에 대한 질문입니다. 광전효과는 활용 면에서도, 또 빛의 입자성을 뒷받침한다는 의미에서도 중요합니다. 그러므로 완전하게 알고 넘어가겠다는 의지가 필요합니다. 처음부터 끝까지 남에게 설명해 줄 수 있을 정도의 이해도와 표현력을 갖춰야 할 것입니다. 이번 문제도 광전효과 실험을 준비하고, 예측하고, 설명하는 일련의 순서를 밟아가도록 준비해 봤습니다.

## ▶ 예시답안

- 1) 금속 표면에서 개개의 전자들은 다양한 운동에너지를 가진 채 자유롭게 움직일 수 있습니다. 즉 자유전자라고 부르는 것인데요, 이것이 금속 표면 밖으로 튀어나오지 못하는 것은 어떤 에너지 장벽이 있기 때문입니다. 그러나 어떤 계기로 전자의 운동에너지가 에너지 장벽을 넘어서게 되면 금속 밖으로 전자가 튀어나올 수 있게 되는데 광전효과가 그 한 예가

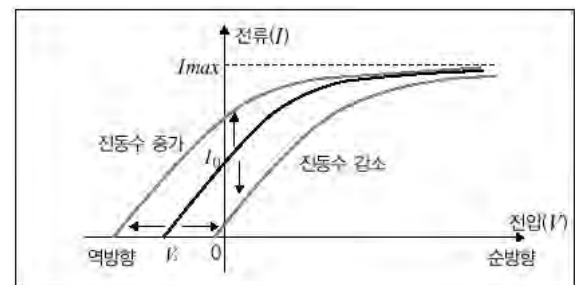
될 수 있습니다.

- 2) 전압을 걸지 않으면 금속판에서 방출된 광전자는 음극에 닿아 회로에는 순방향 전류가 흐를 것입니다. 전압을 순방향으로 걸어주면 금속판과 음극 사이에 전기장이 형성돼 금속판에서 방출된 광전자가 다른 방향으로 튀어나가는 양이 줄고, 보다 많은 양이 음극으로 흡수될 것입니다. 따라서 전류의 양은 증가하게 됩니다. 그러나 광전자의 수를 늘일 수는 없으니 순방향 전류는 한계치에 도달해 일정한 값 이상으로 증가하지는 않을 것입니다. 반대로 역방향 전압을 걸어주면 금속판과 음극 사이에 전자의 흐름을 방해하는 전기장이 걸려 많은 광전자들이 운동에너지를 잃고 금속판으로 되돌아가거나 진공관에 맞아 소멸할 것입니다. 그 결과 회로의 전류는 감소하고 결국 0이 될 것입니다. 그래프로 표현하면 다음과 같습니다.



- 3) 전류가 0이 되는 순간의 역방향 전압이 문턱 전압( $V_s$ )이 됩니다. 즉 금속판에서 튀어나온 광전자 중 어느 한 전자도 음극에 도달하지 못하게 하는 전압값입니다. 광전자는 저마다의 운동에너지를 갖고 음극을 향해 날아가게 되는데 그 중 가장 빠른 광전자의 에너지가 소멸하는 순간의 전압이 문턱 전압입니다. 즉 가장 빠른 전자의 속력을  $v_{\max}$ 라 한다면, 문턱 전압의 크기는  $eV_s = \frac{1}{2} m v_{\max}^2$ 에서  $V_s = m v_{\max}^2 / 2e$ 가 됩니다 (단  $m$ 은 전자의 질량).

- 4) 빛의 진동수가 증가하면 광전자의 평균속도도 증가합니다. 따라서 광전자의 최대 운동에너지 또한 증가하고 따라서 문턱전압의 크기도 증가합니다. 그러나 빛의 진동수만 증가하고 세기는 증가하지 않았다면 금속판에서 방출되는 광전자의 개수에는 변함이 없습니다. 물론 소멸되는 광전자의 수는 차이가 날 수 있으므로 특정 전압에서의 전류값은 달라질 수 있으나 최종 전류  $I_{\max}$ 는 거의 변함이 없습니다. 빛의 진동수가 증가한 경우 전압-전류 그래프를 위 2)번 문제의 결과와 비교해 그려보면 아래와 같이 될 것입니다. 반대로 빛의 진동수를 줄여 가면 그래프는 반대방향으로 이동하는데 문턱전압은 점점 줄어들어 0이 될 것입니다. 즉 광전자가 방출되지 않는 상태를 말하는 것으로 광전자의 방출에 빛의 진동수가 크게 관여한다는 사실을 알 수 있습니다.



- 5) 진동수가 증가하면 문턱 전압은 증가하고, 진동수가 감소하다가 특정 진동수가 되면 문턱 전압은 0이 됩니다. 따라서

$$V_s = k f + W \text{라고 둘 수 있고, } f = f_0 \text{일 때 } V_s = 0 \text{이므로,}$$

$$W = -k f_0 \text{입니다. 따라서 위 식은 } V_s = k(f - f_0) \text{가 됩니다.}$$

- 6)  $f = 0$ 일 때 광전자의 문턱 전압은  $-k f_0$ 입니다. 문턱 전압이란 3)번 문제에서 밝혔듯 광전자



의 최대 운동에너지와 관련이 있습니다. 진동수가 0인 상태는 모든 전자들이 자유전자의 형태로 금속표면에 머물러 있는 상태입니다. 그 중 최대 운동에너지의 값이  $-ekf_0$ 라는 의미입니다.  $f=f_0$ 가 되면 비로소 광전자가 방출되는데, 그 때의 문턱 전압은 0이므로 광전자의 최대 운동에너지 또한 0입니다. 즉 금속 표면에서  $-ekf_0$ 의 에너지를 가졌던 전자가 방출됐을 때 그 광전자가 뛰어넘은 에너지 장벽의 크기가 바로  $ekf_0$ 라는 것입니다 (1V 전압에서 전자 한 개의 위치에너지가 1eV이므로  $-kf_0$  전압에서는  $-ekf_0$ 입니다).

7) 파동의 에너지는 축적이나 증폭이 가능합니다. 즉 어떤 입자가 파동으로부터 에너지를 흡수할수록 그 입자의 에너지는 무한히 커져 입자 내부에 쌓인다는 의미입니다. 빛이 만일 순수한 파동 법칙을 따른다면 금속 표면의 전자가 빛을 흡수해 내부 에너지가 증가했을 때 에너지 장벽을 넘을 정도가 못 돼도 계속 빛을 흡수해 결국 에너지 장벽을 넘을 수 있어야 할 것입니다. 그러나 관찰된 바로는 빛의 강도를 아무리 높여도 특정 진동수 이하에서는 광전자가 방출되지 않았습니다. 즉 에너지 장벽을 넘지 못하면 금세 원래 상태로 되돌아간다고 생각할 수 있습니다. 그러나 빛이 특정 진동수 이상의 영역에 들면 강도가 아무리 약해도 광전자가 튀어나옵니다. 즉 빛의 강도는 전자에 흡수될 수 있는 빛의 양을 뜻하고 진동수는 하나의 전자에 흡수된 빛의 단위 에너지를 뜻한다고 볼 수 있습니다. 따라서 빛을 마치 전자 하나하나와 반응하는 또 다른 단위 입자로 볼 수 있는 실험결과를 얻는 것입니다. 결국 빛은 진동수에 비례하는 에너지를 갖는 입자이고, 그 입자의 개수가 많아져 강도가 커지면 단지 광전자의 양만 증가시킬 뿐 광전자의 에너지는 변화시키지 못한다고 해석할 수 있습니다. 따라서 빛은 입자성을 띤다는 이론이 만들어집니다.

8) 니크롬선 코일에 전류가 흐르면 코일의 저항이 일정하게 유지된다고 가정할 때  $t$ 초 동안  $Q=I^2Rt$ 의 열에너지를 방출합니다. 열에너지는 단열상자 내부의 이상기체의 내부 에너지를 증가시키는데 부피가 변하지 않을 때의 열용량을  $C_v$ 라 두면  $dQ=I^2Rdt=C_vdT$ 가 돼 결국 단위시간당 기체의 온도변화는 전류의 제공에 비례함을 알 수 있습니다.

기체의 운동에너지는  $\frac{1}{2}mv^2=\frac{3}{2}kT$ 과 같은 관계에 있으므로 결국 기체의 운동에너지는 전류의 제공에 비례합니다. 금속에 빛을 쬐면 빛의 진동수와 세기에 따라 방출되는 광전자의 에너지와 양이 달라집니다. 빛의 진동수가 한계 진동수 이상인 경우 단열상자 안 기체 분자의 운동에너지는 빛의 세기와 관계있습니다. 그런데 빛의 강도는 광전자의 양에 비례하므로 운동에너지는 세기의 제공에 비례할 것입니다. 전압을 충분히 크게 하면 빛의 진동수에 따른 전류의 크기에 변화가 없으므로 기체 분자의 운동에너지는 빛의 세기에만 관계할 것입니다.

## 2. 부전자전(父傳子傳)-광전효과의 응용

‘어찌하’라는 이름의 일본 동경의 공무원과 심하네현의 고위관료인 그 아버지 ‘신쵸’는 호홉이 척척 맞는 부자지간이다. 애국심도 높아 항상 무슨 연구를 해야 일본의 국제적 위상을 끌어올리고 일본을 유엔 상임이사국으로 만들 수 있을지 고민해 왔다. 그런데 신쵸는 술을 너무 좋아하고 취하면 말을 막하는 버릇이 있다. 독도보다는 다케시마라는 이름이 더 예쁘다느니, 불행한 과거는 빨리 잊는 것이 이웃 나라의 상처를 아물게 하고 수치심을 없애는 길이라느니 등등. 술에 많이 취했어도 나라의 장래를 걱정하며 매번 차를 몰고 귀가하는 신쵸는 전에 여러번 음주단속에 걸렸다. 이에 그 아들 어찌하는 아버지가 음주단속을 피해갈 방법을 집중 연구하기에 이른다. 다음 부자간의 대화 중 밑줄 친 부분에서 과학적 원리가 잘못 적용된 점을 지적하고 바로 고치시오.

신조 : 사랑스런 아들이. 그렇게 아름다운 섬 이름이 ‘독도’가 뭐냐? ‘다케시마’, 이 얼마나 아름다운 이름이나? 그래서 내가 독도 대신에 다케시마라고 하자는 건데, 이웃나라에서 자꾸 생떼만 쓰니 술을 안 마실 수 있겠냐? 그런데 어찌하야, 어제 음주단속에 걸려 운전면허가 정지됐는데, 내가 음주측정기를 어떻게 믿을 수 있냐고 막 따지니까 경찰관이 음주측정기는 아인슈타인이 밝힌 광전효과의 원리를 이용한 것이어서 정확하다고 하더라고. 그게 사실이나?

어찌하 : 우리나라 경찰관들은 모르는 것이 없네요. 맞는 말이에요. 1)광전효과란 금속에서만 일어나는데요, 술을 많이 먹은 사람이 음주측정기에 대고 숨을 불어 넣으면 측정기 내부의 알코올 농도가 높아져 빛이 흡수되고 반대편 금속판에 잘 도달하지 못하기 때문에 광전효과가 덜 일어나는 것을 이용하는 겁니다. 그럼 회로에 전류가 약하게 흘러 전류계의 바늘이 가리키는 눈금이 정상 수치와 다른 값이므로 음주 여부를 구별할 수 있는 것이에요.

신조 : 역시 내 아들은 어찌하라는 이름에 걸맞게 모르는 것이 없구나. 그런데 어찌하야, 내가 요즘 술을 많이 마시잖니. 혹시 음주운전을 하다가 걸려 측정기를 불어도 알코올 농도가 낮게 나오게 하는 방법이 없을까?

어찌하 : 물론 있습니다. 단속에 걸리면 바로 초콜릿을 한 뭉치 입에 넣고 입천장에 초콜릿을 잔뜩 붙인 다음 음주측정기에 숨을 불어넣는 겁니다. 그럼 날숨에 포함돼 있던 알코올이 초콜릿과 결합하면서 측정기에 유입되는 날숨의 알코올 농도를 낮추게 됩니다. 아니면 2)구강청정제를 갖고 다니시다가 단속에 걸리면 한 병 몽땅 삼켜버리세요.

아들로부터 유용한 정보를 전수받은 신조는 무면허 상태로 자가용에 초콜릿 한 박스와 구강청정제 두 병을 늘 신고 다녔다. 그러던 어느 날 고주망태가 돼 귀가하는데 음주단속을 하는 것이 아닌가? 그 순간 차를 버리고 도망갈까 고민하다가 아들 어찌하를 믿고 초콜릿을 잔뜩 입에 넣고 구강청정제를 한 병 마셨다. 그런데 경찰관들은 신조가 거의 인사불성인 상태임을 감안해 친절하게도 간호사를 불러 신조의 혈액을 뽑아 혈중 알코올 농도를 바로 측정해줬다. 그래서 아비 신조는 아직까지도 감옥에서 나라의 장래를 걱정하고 있다고 한다.

## ▶ 전문가 클리닉

1905년에는 아인슈타인이 광양자설, 브라운 운동, 특수상대성이론 등 세 개의 논문을 차례로 발표해 학계를 놀라게 했습니다. 그래서 1905년을 과학사에 한 획을 그은 ‘기적의 해’라고 말합니다. 아인슈타인이 평생 기고한 논문은 20편 정도에 그치지만 하나하나가 당시 학자들이 쫓아가기 힘든 것들이었고, 1905년에는 그런 논문을 3편이나 발표했으므로 큰 의미를 지닌다고 할 수 있습니다. 사실 근대물리학에서 현대물리학으로의 이행은 이보다 앞선 1895년에 시작됐습니다. 1895년부터 2~3년 사이에 원자구조에 대한 구체적 지식이 밝혀지기 시작했고 X선, 전자, 제만 효과와 방사능의 발견이 이때 이뤄졌습니다. 그런데도 1905년을 물리학의 기념비적인 해로 평가하는 것은 아인슈타인의 이론이 기존 패러다임을 바꾼 획기적 ‘발상의 전환’이었기 때문입니다. 현대물리학적 관점에서 아인슈타인의 연구 업적이 어떤 의미를 가지고 있으며, 생활에 미치는 영향은 무엇인지 살펴 볼 필요가 있습니다.

## ▶ 예시답안

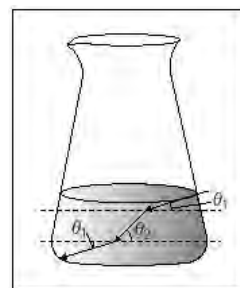
1) 첫 번째 오류는 광전효과가 꼭 금속이 아니더라도 일어날 수 있다는 것입니다. 금속의 경우 자유전자를 떼어내는데 필요한 에너지의 양이 상대적으로 적어 광전효과가 다른 물질에 비해 잘 일어나는 것뿐입니다. 기체나 반도체 등 여러 물질에서 광전효과가 일어날 수 있습니다. 두 번째 오류는 측정기 내에 유입된 알코올이 빛을 흡수해서 광전효과를 낮춘다는 설

명입니다. 광전효과를 이용한 음주측정기에 들어있는 가스가 알코올과 만나면 푸른 가스로 변합니다. 푸른 가스에 든 광양자는 에너지가 높아 금속에 찍면 전자가 튀어나오게 됩니다. 이 전류의 세기를 측정하면 혈중 알코올 농도를 잴 수 있습니다.

- 2) 초콜릿을 많이 먹어 입에서는 술 냄새가 안 나도 음주측정기를 4~5초 동안 불면 허파 속에 있는 알코올이 다 측정됩니다. 구식 음주측정기는 초콜릿을 먹은 사람의 경우 잘 측정하지 못했지만, 현재 사용하는 제품은 잘 측정됩니다. 두 번째 오류는 시판되고 있는 구강청정제의 주성분 중 하나가 알코올이므로 구강청정제로 입을 행군 후 음주측정을 하면 수치가 더 높게 나온다는 것입니다. 더구나 구강청정제를 마신 뒤의 날숨에는 알코올이 더 많이 들어 있는데다 불필요하게 소화기관까지 청정(?)해지는 문제가 생길 수 있습니다.

### 3. 먹는 것 가지고 장난하는 것은 나쁠 수도 있고 아닐 수도 있고, 그때그때 달라요.(2002학년도 서울대 기출문제 응용)

철수는 길거리에서 파는 적색 레이저를 구입하고 무엇을 할까 곰곰이 생각하다가 다음과 같은 실험을 하기로 했다. 우선 상온에서 10% 농도의 설탕물을 만들기 위해 투명한 유리 그릇 안에 담긴 증류수 200g에 고농도의 설탕물 100g을 넣은 뒤 섞지 않고 그대로 뒀다. 그리고 레이저 광선을 그림과 같이 아래로 약간 비스듬히 쏘았을 때 레이저가 그림과 같이 꺾여 진행하는 현상을 관측했다. 다음 물음에 답하시오.



- 1) 물속의 어느 부분에서 가장 단맛을 느낄 수 있다고 생각하는가? 물속의 어느 부분에서 굴절률이 가장 높은가?
- 2) 설탕물의 굴절률이 설탕의 농도에 비례한다고 가정한다면 비례상수는 얼마인가?(단  $\theta_1$ 은  $15^\circ$ ,  $\theta_2$ 는  $30^\circ$ 로 관측됐으며, 농도가 다른 물의 경계면은 모두 지면에 수평이고 상온에서 증류수의 굴절률은 1.3이라고 가정한다)

#### ▶ 전문가 클리닉

그동안 파동과 입자를 다룬 기출문제는 가장 중요한 몇 가지 개념원리만 정확히 알면 어렵잖게 풀 수 있었다는 공통점을 갖고 있었습니다. 비록 다른 영역에 비해 낯설고 막막한 게 사실이지만 큰 맘 먹고 한번 해치워놓으면 두고두고 효자노릇 하지 않을까 싶네요.

#### ▶ 예시답안

- 1) 빛이 많이 굴절된 중간층 부분에서 가장 단맛을 느낄 수 있습니다. 그 이유는 빛의 진동수는 변하지 않으나(진동수 불변의 법칙) 속도는 매질의 굴절률에 따라 달라지므로 다른 매질에서 빛의 파장도 달라지기 때문입니다 (스넬의 법칙). 위 그림에서 입사각( $90^\circ - \theta_1$ )이 굴절각( $90^\circ - \theta_2$ )보다 큰 처음의 경계면을 볼 때 스넬의 법칙에 의해 굴절률이 아래층이 더 크다는 것을 알 수 있으므로 농도도 더 크다는 것을 알 수 있습니다. 결국 가장 단맛을 내는 부분은 중간층입니다.
- 2) 먼저 섞어준 설탕물의 농도  $x$ 를 구하면 다음과 같습니다. 농도의 정의가 (용질의 질량)/(용매의 질량+용질의 질량)이므로 다음의 식이 성립합니다.

$$2/3 \times 0 + 1/3 \times x = 10$$

여기서  $x$ 는 30%가 됩니다. 다음으로 굴절률( $n$ )이 설탕물의 농도( $d$ )에 비례하고 농도가 0%인 증류수의 굴절률이 1.3이므로 농도와 굴절률 사이의 관계식은 다음과 같습니다.

$$n = a \times d + 1.3$$

비례상수  $a$ 를 구하기 위해 처음 경계면에서의 빛의 굴절을 분석하면 스넬의 법칙에 의해 다음의 식이 성립합니다.

$$\frac{n_2}{n_1} = \frac{30a + 1.3}{1.3} = \frac{\sin(90^\circ - \theta_1)}{\sin(90^\circ - \theta_2)} = \frac{\sin 75^\circ}{\sin 60^\circ} = \frac{2}{\sqrt{3}} \sin 75^\circ$$

여기서  $\sin 75^\circ = \sin(90^\circ - 15^\circ) = \cos 15^\circ$ 이고,

$\cos 30^\circ = \cos^2 15^\circ - \sin^2 15^\circ = 2\cos^2 15^\circ - 1$ 이므로

$$\cos 15^\circ = \frac{1}{2}(\cos 30^\circ + 1) = \frac{2 + \sqrt{3}}{4}$$

따라서  $\cos 15^\circ = \frac{1}{2\sqrt{2}}(\sqrt{3} + 1)$ 입니다.

이 값을 식 ①에 대입하면

$$\frac{30a + 1.3}{1.3} = \frac{2}{\sqrt{3}} \times \frac{1}{2\sqrt{2}}(\sqrt{3} + 1) \text{이므로}$$

$a \approx 0.005$ 가 구해집니다.

## 2005년 07월호-물리 면접구술고사 완벽가이드

이 달에는 지난 5, 6월에 집중적으로 다루었던 전자기와 현대물리의 예제들을 조금 더 살펴봤습니다.

### 1. 온화하게 보이려면 거리를 두라!-빛의 원리

산에는 신록이 우거지고 바다도 푸르름을 더해가는 초여름의 화창한 일요일, 구술이는 집에만 있기 따분해서 주변을 둘러보기로 마음먹고 집 밖으로 나섰다. 구술이의 몇 가지 경험과 관련된 다음 질문들에 답하시오.

- 1) 집을 나서기 전 우주전쟁 영화를 보던 구술이는 비과학적 장면이 계속 반복되자 TV를 꺼버렸다. 우주 공간에서 발사된 레이저 빔이 장관을 이루며 날아가 적의 우주선을 명중시켜서 폭파시키는 장면들 때문이었다. 이런 장면들을 과학적으로 신뢰할 수 없는 이유는 무엇일까?
- 2) 집을 나서는데 누나가 남자친구에게 선물 받은 다이아몬드반지가 유리로 만든 가짜였다고 투덜거리고 있었다. 구술이는 누나에게 진짜 다이아몬드반지와 유리반지를 구별하는 방법이 무엇인지 물어봤다. 누나는 “진짜 다이아몬드반지가 더 반짝거린다”고 대답했다. 왜 다이아몬드반지가 유리반지보다 더 반짝거릴까?
- 3) 버스를 탄 구술이는 창 밖을 물끄러미 바라보다가 특이한 현상을 목격했다. 까맣게 보여야 할 아스팔트가 거울처럼 보이는 것이었다. 멀리 있는 건물들이 아스팔트 표면에 희미하게 비치는 것 같았다. 어떻게 된 것일까?

### ▶ 전문가 클리닉

사막과 여름철 아스팔트의 공통점은 무엇일까요? 삭막하다, 사람이 살만하지 못하다 등 많은 점들이 있지만 그중에서도 표면온도가 상당히 높다는 점이 3)번 문제의 해결에 도움이 되겠죠? 표면 온도에 비해 상층의 온도는 상대적으로 낮다는 것도 포함되겠네요.

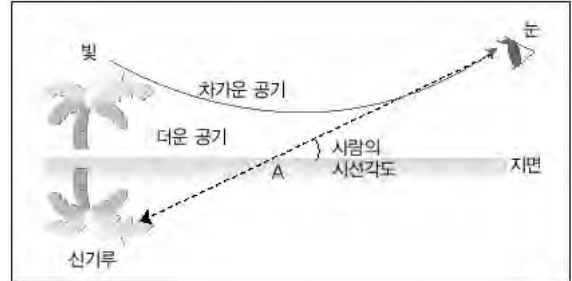
사실 복합적 상황의 질문에 대한 해결의 실마리를 제대로 찾기란 무척 어렵습니다. 기본적인 과학 지식들을 어느 정도 갖추고 있어야 하고, 직감에 의한 접근 능력도 필요하기 때문이죠. 어릴 때부터 계속 익히고 실력을 배양해왔다면 크게 어렵지 않겠으나, 1년 정도의 단기간에 능력을 갖추고자 할 경우에는 특별한 방법을 동원해야 합니다. 이 때 필요한 것은 같은 유형의 문제들을 많이 풀어봐서 패턴을 단시간에 찾아내는 능력입니다. 유사한 소재와 유형의 문제를 깊이 있고 다양하게 다뤄 본다면 많은 도움이 될 것입니다. 여기에서는 다양한 소재들을 발굴하기위해 부단히 노력을 기울여 왔으므로, 이것을 말로도 일목요연하게 표현할 수 있도록 반복적으로 학습해두기 바랍니다.

### ▶ 예시답안

- 1) 진공 상태인 우주공간에는 수소나 티끌 등 극히 희박한 물질을 제외하면 날아가는 빛을 반사시키거나 산란시킬만한 것이 없으므로 관찰자의 눈 방향과 다른 쪽으로 발사된 레이저 빔은 볼 수가 없습니다. 관찰자가 빔이 날아가는 곳에 있다면 극히 짧은 시간 동안이나마 레이저 빔의 멋진 모습을 볼 수 있을 텐데요. 대신 관찰자는 수백만분의 1초 동안 레이저 빔을 바라본 대가로 자기 목숨을 내놓아야하니 좀 억울할 것입니다.

2) '더 반짝거린다'는 현상을 과학적으로 풀이하면 '눈으로 들어오는 빛의 양이 더 많다'와 같습니다. 다이아몬드의 반짝임은 주변의 빛이 반사돼 비춰지는 것입니다. 다이아몬드의 굴절률은 유리의 굴절률보다 더 크고 내부 전반사의 임계각이 유리보다 작아서 전반사가 잘 일어납니다. 따라서 다이아몬드의 내부로 굴절된 빛이 전반사를 통해 표면에 맺히면 다이아몬드가 아름답게 반짝이게 됩니다. 물론 주위에 빛이 없어서 전반사가 일어나지 않는다면 다이아몬드와 유리는 시각적으로 똑같은 것입니다.

3) 자동차의 소음이 낮에는 고층건물 위층이 심하고 밤에는 아래층이 심한 원리와 같습니다. 사막이나 뜨거운 아스팔트 도로는 표면 부근의 공기가 상층에 비해 훨씬 고온입니다.

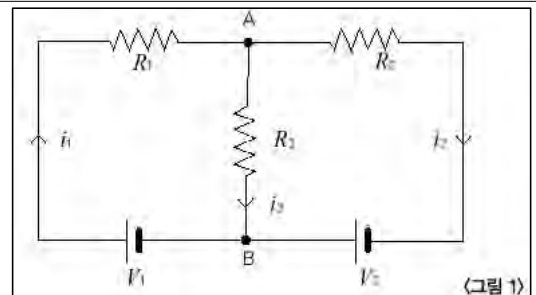


위 그림에서처럼 멀리서 출발한 빛은 지면 부근을 지나면서 굴절을 일으키므로 우리 눈에는 A 근처에 있는 것처럼 보이게 됩니다.

## 2. 전기 회로 풀어 해치기-키르히호프의 법칙

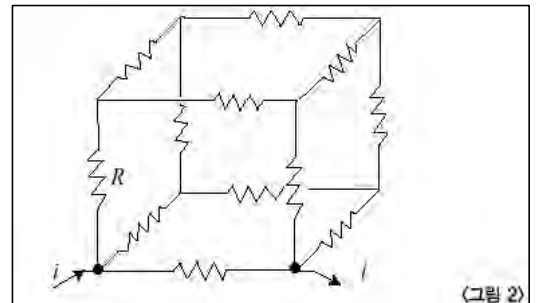
1) 키르히호프 법칙에 대해 설명해 보라.

2) 아래 <그림 1>과 같은 회로가 있다.  $V_1=6V$ ,  $V_2=11V$ 가 걸려있을 때 도선에 흐르는 전류를 구하여라. 단,  $R_1=4\Omega$ ,  $R_2=3\Omega$ ,  $R_3=2\Omega$ 이다.

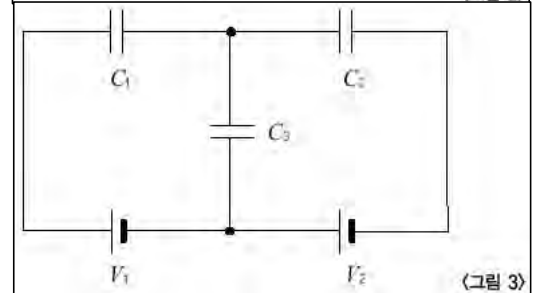


3) <그림 1>에서 A점과 B점 사이에 10의 축전기를 연결하면 축전기에는 얼마의 전하가 축적되겠는가?

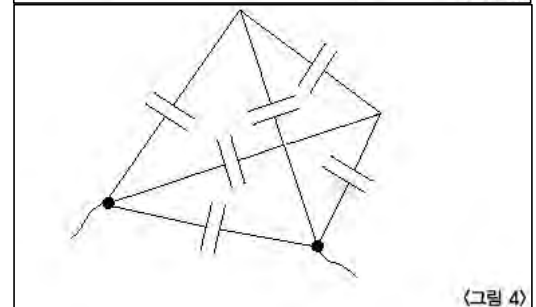
4) 아래 <그림 2>는 저항값이 R인 저항 12개로 정육면체 모양을 만든 것이다. 그 중 한 변의 양 끝을 회로에 연결할 때 정육면체 모양의 저항단의 합성 저항은 얼마인가 (힌트 : 등전위를 찾아서 연결하라)?



5) 아래 <그림 3>은 축전기로만 구성된 전기 회로이다. 각 축전기에 축적되는 전하량의 크기를 구하여라. 단,  $V_1=6V$ ,  $V_2=3V$ ,  $C_1=3\mu F$ ,  $C_2=2\mu F$ ,  $C_3=1\mu F$ 이다.



6) 아래 <그림 4>는 전기용량이 C인 축전기 6개로 정사면체 모양을 만든 것이다. 그 중 한 변의 양 끝을 회로에 연결할 때 합성 전기용량은 얼마인가?



## ▶ 전문가 클리닉

전자기학에서 심심찮게 출제되는 문제가 저항이나 축전지로 구성된 전기회로에 관한 것입니다. 여기에 코일(인덕터)이 첨가되고 인가전압(전류)이 교류이면 좀 더 고난이도의 문제가 되겠지요. 그렇지만 의외로 옴의 법칙과 키르히호프 법칙으로부터 시작되는 기본 전기 회로문제를 자주 접하지 못하다보니 구술 현장에서 당황하는 학생들을 많이 있습니다. 키르히호프 법칙에 의해 만들어지는 다윈 1차 연립방정식을 풀다가 사소한 계산 실수를 한다거나 많은 변수들 속에서 혼란스러워 한다거나 하는 것이 그런 경우입니다.

이런 복잡한 문제들에는 간략하게 만들 수 있는 ‘키’(key)가 숨어있기 마련입니다. 회로에서 등전위를 찾아 변수의 수를 줄이고, 키르히호프 법칙으로부터 정확한 식을 구성해, 침착하게 연립 방정식을 푸는 훈련을 반복한다면 면접관 앞에서 손에 땀을 쥐는 일은 겪지 않을 것입니다.

## ▶ 예시답안

1) 키르히호프 법칙은 전류의 법칙과 전압의 법칙으로 구분할 수 있습니다.

전류의 법칙 : 회로 상의 임의의 점으로 유입되는 전류의 양과 그 점으로부터 유출되는 전류의 양은 같다.

전압의 법칙 : 폐곡선을 이루는 어떠한 회로라도 그 회로에 공급되는 기전력의 합은 그 회로를 구성하는 모든 전기저항이 만들어내는 전압강하의 합과 같다. 폐회로를 한 바퀴 돌아오면 같은 전위가 된다.

2) 키르히호프-전류의 법칙으로부터 A점으로 유입되는 전류의 합과 유출되는 전류의 합은 같아야 하므로,

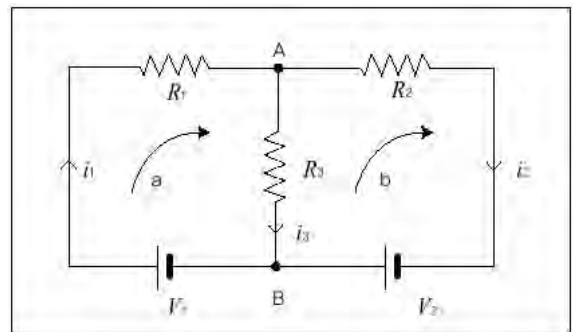
$$i_1 = i_2 + i_3 \dots\dots(ㄱ)$$

입니다. 그리고 임의의 폐회로 a, b에 대해 키르히호프-전압의 법칙을 적용하면,

$$V_1 = R_1 i_2 + R_3 i_3 \dots\dots(ㄴ)$$

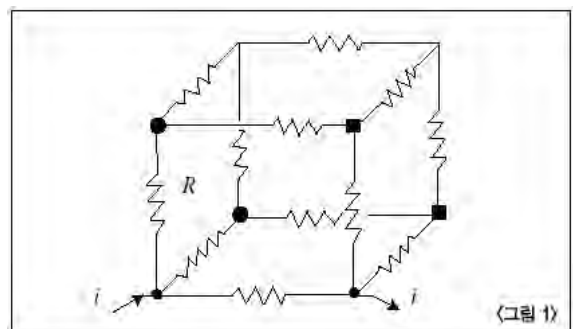
$$V_2 = -R_3 i_3 + R_2 i_2 \dots\dots(ㄷ)$$

의 관계식이 만들어집니다. 이 때 전류의 방향을 회로 상에 반드시 표기해 두고, 그 방향에 의거해 전압강하의 부호를 결정해야 합니다. 이제, 문제에서 주어진 값을 대입해 풀면,  $i_1 = 2A$ ,  $i_2 = 3A$ ,  $i_3 = -1A$ 입니다. 여기서  $i_3$ 은 음수인데 이는 문제를 풀기 위해 회로 상에 표기해 둔 전류의 방향과 실제 전류의 방향이 서로 반대라는 것을 의미합니다. 즉  $i_3$ 은 B에서 A로 흐르는 전류입니다.



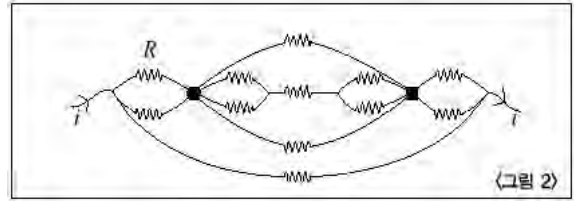
3) A점과 B점의 전위차는  $R_3$ 에서의 전압강하량과 같은  $2V$ 입니다. 결국 축전기에는  $2V$ 가 걸리게 되므로 축전기에 유도되는 전하량은  $Q = CV = 10\mu F \times 2V = 20\mu C$ 입니다.

4) 이 문제에서는 키르히호프 법칙을 곧바로 적용시키지 말고, 회로의 대칭성을 고려해 ‘등전위점’을



찾는 것이 편리합니다. <그림 1>과 같이 두 쌍의 등전위점을 찾을 수 있습니다 (▶, ■).

등전위점이란 말 그대로 전위가 같은 점이므로 두 지점을 서로 붙여도 회로의 운용에 지장을 주지 않습니다. 이러한 과정을 거치면 위의 복잡한 구조는 <그림 2>와 같이 바뀝니다.



그림에서 굵은 선 하나는 저항 하나를 의미합니다.

다. 맨 아래, 두 단자를 직접 연결하는 저항을 제외한 부분의 합성 저항  $R_1$ 을 먼저 구하면

$$R_1 = \frac{R}{2} + \frac{1}{\frac{1}{R} + \frac{1}{\frac{R}{2} + R + \frac{R}{2}}} + \frac{R}{2} = \frac{R}{2} + \frac{2R}{5} + \frac{R}{2} = \frac{7R}{5}$$

입니다.  $R_1$ 은 위에서 제외했던  $R$ 과 병렬연결돼 있으므로 총 저항  $R_t$ 는

$$R_t = \frac{1}{\frac{5}{7R} + \frac{1}{R}} = \frac{7}{12}R \text{입니다.}$$

- 5) 축전기만으로 구성된 회로에 관한 문제입니다. 축전기에는 전류가 흐르지 않으므로 키르히호프 법칙을 쓸 수 없을 것이라고 생각하기 쉽지만 키르히호프 법칙은 전하량에도 적용이 됩니다. 여기서 전류의 법칙은 다음과 같은 의미로 바꿉니다.

**전하량의 법칙 : 고립된 도체 내부의 총 전하량은 0이다.**

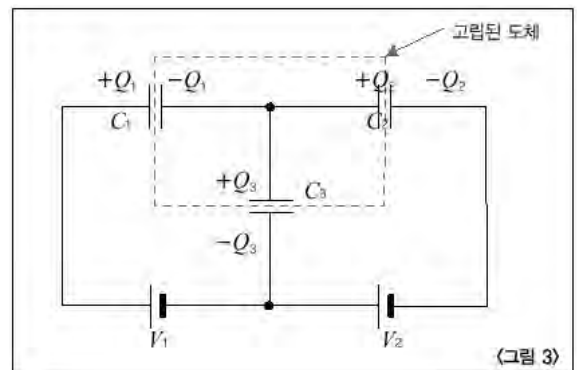
<그림 3>은 위 그림과 같이 사실상 회로부와 직접 연결되지 않는 고립된 도체부가 존재하고 그 내부의 총 전하량은 0이므로 다음과 같은 식이 만들어집니다.

$$-Q_1 + Q_2 + Q_3 = 0 \dots\dots(1)$$

그리고 2)번 문제와 마찬가지로 두 개의 폐회로에 대해 키르히호프-전압의 법칙을 적용하면,

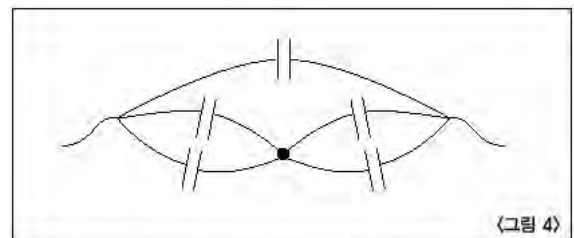
$$V_1 = Q_1/C_1 + Q_3/C_3 \dots\dots(2)$$

$$V_2 = -Q_3/C_3 + Q_2/C_2 \dots\dots(3)$$



을 만들 수 있습니다. 주어진 조건을 대입해 연립방정식을 풀면,  $Q_1=12\mu\text{C}$ ,  $Q_2=10\mu\text{C}$ ,  $Q_3=2\mu\text{C}$ 입니다.

- 6) 4)번 문제와 마찬가지로 등전위점을 찾습니다. 정사면체에서는 회로와 연결되지 않은 나머지 두 점이 곧 등전위점이 되고 두 점 사이에 있는 축전기에는 전압이 걸리지 않습니다. 이런 과정을 거쳐 <그림 4>는 다음과 같이 바뀝니다.



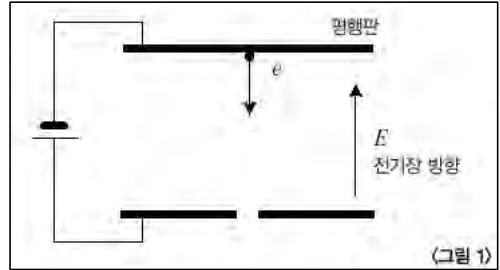
전기용량 합성법에 의해 우측 회로의 합성 전기용량  $C_t$ 를 구하면  $C_t = C + \frac{1}{\frac{1}{2C} + \frac{1}{2C}} = 2C$ 가 됩니다.



### 3. 만나면 간섭하는 입자-물질과 파장

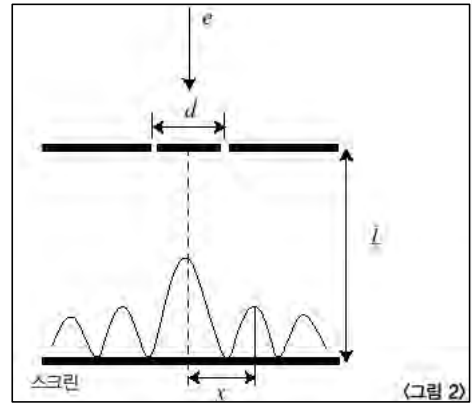
아인슈타인은 광전 현상을 설명하면서 빛이 입자성을 띤다는 가설을 도입함으로써 노벨상을 수상했다. 프랑스 물리학자 드브로이는 빛의 이중성을 모든 물질에 대해 확장한 ‘물질의 이중성’을 발표했다. 다음 문제를 통해 물질과 파장의 의미와 물질의 이중성에 대해 생각해 보자.

- 1) <그림 1>과 같은 평행판의 한 쪽 끝에 정지한 상태로 있던 전자는 균일한 전기장을 받아 가속하게 된다. 전자가 반대편 평행판에 난 작은 구멍을 통해 방출될 때 전자의 속력은 얼마인가(단 평행판에 걸린 전압은 120V이고, 전자의 질량은  $9.1 \times 10^{-31} \text{Kg}$ 이며, 중력에 의한 효과는 무시한다)?



- 2) 1)번 문제의 전자의 물질과 파장의 길이는 얼마인가 (단 플랑크 상수는  $6.6 \times 10^{-34} \text{Js}$ 이다).  
3) 이 전자와 속력이 같은 양성자가 있다면 이 양성자의 물질과 파장의 길이는 얼마인가 (단 양성자의 질량은 전자 질량의 1800배다).

- 4) 1)번 문제의 전자를 아래 <그림 2>와 같은 이중 슬릿을 향해 쏘아주면 전자는 파동과 같은 간섭현상을 보일 것이다. 슬릿의 간격이이고, 스크린까지의 거리가 30cm일 때, 첫 번째 보강간섭이 일어나는 위치는 중심으로부터 얼마나 떨어져 있겠는가?(단,  $1 \text{\AA} = 10^{-10} \text{m}$ 이다)



- 5) 같은 속력의 양성자로 똑같은 실험을 한다면 첫 번째 보강간섭이 일어나는 위치는 중심으로부터 얼마나 떨어져 있겠는가?  
6) 위 결과로부터 양성자는 입자로 보아야 할지 파동으로 보아야 할지 얘기하고 그 이유를 설명하라.

### ▶ 전문가 클리닉

드브로이의 물질과 파장을 유도하고 그 물리적 의미를 이해하기 위해서는 부단한 노력과 사고하는 습관을 길러야 합니다. 이번 기회에 물질이 파동성을 띤다는 것의 의미를 완전히 이해하길 바랍니다.

### ▶ 예시답안

- 1) 두 평행판 사이의 거리를  $d$ 라고 하면 전기장의 세기는  $\frac{V}{d}$ 이므로, 전자는  $eE = \frac{eV}{d}$ 의 힘을 받습니다. 전자의 질량을  $m$ 이라 하면, 전자 가속도는  $ma = \frac{eV}{d}$ 로부터  $a = \frac{eV}{md}$ 임을 알 수 있습니다.

이 가속도로 거리  $d$ 만큼 이동한 후의 속력은  $v^2 = 2ad = \frac{2eV}{m}$ 에서  $v = \sqrt{\frac{2eV}{m}}$ 가 됩니다.

또는 전자가 평행판을 지나오는 동안 얻은 에너지는  $eV$ 이고, 이 에너지는 모두 전자의 운동에너지로 변환되므로,  $\frac{1}{2}mv^2 = eV$ 로부터,  $v = \sqrt{\frac{2eV}{m}}$ 을 유도할 수도 있습니다. 전자의 전하량은

$$1.6 \times 10^{-19} \text{C} \text{이므로, 전자의 속력은 } v = \sqrt{\frac{2 \times 1.6 \times 10^{-19} \text{C} \times 120 \text{V}}{9.1 \times 10^{-31} \text{Kg}}} = 6.5 \times 10^5 \text{m/s} \text{입니다.}$$

2) 드브로이의 물질파 공식으로부터 전자의 물질파 파장을 구하면 다음과 같습니다.

$$\lambda_e = \frac{h}{mv} = \frac{6.6 \times 10^{-34} \text{Js}}{9.1 \times 10^{-31} \text{Kg} \times 6.5 \times 10^6 \text{m/s}} = 1.1 \times 10^{-10} \text{m} = 1.1 \text{\AA}$$

3) 양성자의 질량이 전자의 1800배이므로 물질파 파장은 1800분의 1이 될 것입니다. 따라서 양성자의 물질파 파장의 길이는  $\lambda_p = 1.1/1800 \text{\AA} = 6.1 \times 10^{-14} \text{m}$ 입니다.

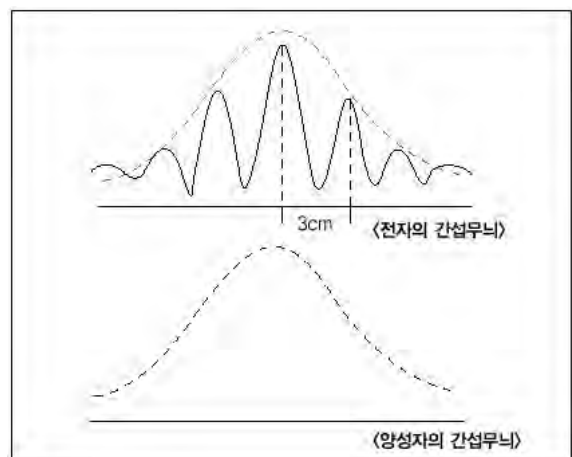
4) 이중슬릿의 보강간섭 조건은  $d \sin \theta = n\lambda$  (단  $n$ 은 정수)이고, 스크린까지의 거리가 충분히 멀 때  $\sin \theta \approx x/L$ 로 둘 수 있습니다. 첫 번째 회절무늬는  $n=1$ 일 때 나타나므로  $x$ 는,  
 $x = \lambda L / d \dots (\gamma)$

입니다. 2)번에서 구한 전자의 물질파 파장과 슬릿간격, 스크린까지의 거리를 대입해  $x$ 를 구하면,  $x = 1.1 \text{\AA} \times 30 \text{cm} / 10 \text{\AA} = 3.3 \text{cm}$ 입니다.

5) 물질파 파장은 전자의 1800분의 1이므로  $(\gamma)$ 식에 의해 양성자의 첫 번째 보강간섭이 나타나는 위치 또한 1800분의 1이 됩니다. 즉,  $3.3 \text{cm} / 1800 \approx 18 \mu\text{m}$ 입니다.

6) 속력이 같고 질량이 1800배 차이 나는 전자와 양성자에 대해 슬릿 간격이  $10 \text{\AA}$ 인 이중슬릿으로 간섭 실험을 하면 전자는 약 3cm마다 보강무늬가 나타나는 반면 양성자는  $18 \mu\text{m}$ 마다 나타난다는 결론을 얻을 수 있습니다.  $18 \mu\text{m}$ 는 웬만한 측정도구로 구분해내기 힘들 정도로 짧은 길이이므로 양성자의 간섭무늬는 우측 그림과 같이 나타날 것입니다.

즉 양성자의 실험에서는 간섭이 일어나지 않았다고 얘기해도 무방하므로 양성자는 입자로 봐야 합니다. 모든 물질은 저마다의 물질파 파장을 갖고 있지만 실험이나 측정 도구를 통해서 측정 가능한가에 따라 그 물질을 입자로 봐야 할 것인지 파동으로 보아야 할 것인지가 결정됩니다. 문제에서 주어진 양성자의 파동성을 관찰하려면 간격이 약  $10^{-14} \text{m}$  정도인 슬릿이 필요한데, 이 수치는 원자핵의 크기에 근접한 값으로 현실적으로 만들기 불가능합니다. 하지만 양성자의 속력을 늦출 수만 있다면 양성자의 물질파 파장의 크기가 길어질 것이고, 양성자의 파동성도 충분히 관찰할 수 있으리라 생각됩니다. 2002년도 노벨 물리학상은 양성자의 속력을 늦추기 위해 주변을 극저온 상태로 만들면 양성자의 파동성이 두드러져 결국 일종의 간섭현상인 ‘초유체 상태’에 도달한다는 것을 최초로 구현한 연구진에 수여되었습니다. 모든 물질은 입자와 파동의 이중성을 띠지만 밖으로 드러나는 형상은 측정 장비와 같은 주변 물질과의 상호작용으로부터 비롯된다는 것을 알아야 하겠습니다.



## 2007년 01월 - 물리 면접구술고사 완벽가이드

중력이 없는 세계

다음 제시문을 읽고 물음에 답하라.

- (가) 버스가 가속운동을 하면 버스 안에 매달린 손잡이는 가속도의 반대 방향으로 기울어진다. 이때 버스 밖에 정지해 있는 관측자라면 저스 손잡이가 장력과 중력을 받아 두 힘의 합력방향으로 가속된다고 말할 것이다. 그러나 버스에 탄 관측자에게는 버스 손잡이가 정지해 있는 것처럼 보이므로 장력과 중력만으로는 손잡이의 운동 상태를 설명할 수 없다. 이런 문제를 해결하기 위해 도입된 힘이 관성력이다. 버스에 탄 관측자에게 버스 손잡이가 정지한 것처럼 보인다는 관측 사실을 설명하기 위해서는 손잡이에 실제로 작용하는 힘, 즉 장력과 중력의 합력에 반대방향으로 같은 크기의 힘이 작용해 모든 힘이 평형을 이룬다고 가정해야 한다. 일반적으로 가속 운동을 하는 계 내부의 관측자는 계 내부에 있는 물체에 항상 가속도와 반대방향으로  $ma$ ( $m$ :물체의 질량,  $a$ :계의 가속도)만큼의 힘이 작용한다고 생각하는데, 이 가상적인 힘을 관성력이라고 한다.
- (나) 무중력 상태(또는 무중량 상태)는 관측자가 중력의 효과를 느끼지 못하는 상태를 말한다. 자유낙하하는 엘리베이터 안의 관측자나 지구 주위를 원운동하는 인공위성 내부의 관측자는 무중력 상태를 경험한다. 관측자 입장에서 볼 때 중력과 같은 크기의 관성력이 중력과 반대 방향으로 작용하기 때문에 중력이 작용하지 않는 것 같은 느낌을 받는다.
- (다) 인간의 귀는 소리를 듣는 기능 외에 회전감각과 위치감각을 포함하는 평형감각을 수용하는 기능을 지니고 있다. 내이의 반고리관에는 액체로 된 림프액이 들어있어 이 림프액의 관성에 의해 회전방향을 인식할 수 있다. 또한 전정기관은 몸의 위치와 자세에 관련된 정보를 수용한다. 전정기관 내에는 이석이라는 탄산칼슘 결정이 감각모(평형섬모) 위에 놓여있어 이석의 기울어짐과 압력 변화에 의해 위치정보를 받아들인다.

동쪽으로 가속운동하는 수레 위의 관측자가 손에 들고 있는 물체를 위로 던졌다. 이 물체의 운동을 지면에서 있는 관측자 입장과 수레 위 관측자 입장에서 서술하시오.

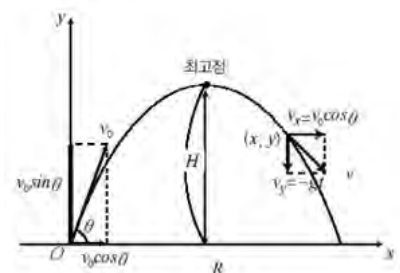
### ▶ 전문가 클리닉

관측의 상대성과 2차원 평면에서의 물체 운동을 다루는 문제입니다.

일단 지면 위에 정지해 있는 관측자 입장에서는 수레 위에 있는 사람이 물체를 던지는 순간 물체가 수평면에 대해 비스듬한 방향의 초기 속도를 갖는 것으로 보입니다.

이 속도는 수직 방향과 수평 방향의 성분으로 나뉘지는데, 중력에 의해 수직 방향의 속도 크기는 감소했다가 다시 증가합니다. 수평 방향으로서는 어떤 힘도 작용하지 않으므로 계속 일정한 속도를 유지합니다.

이를 정량적으로 분석해 봅시다. 비스듬히 던진 물체의 처음 속도를  $v_0$ , 처음 속도와 수평면이 이루는 각을  $\theta$ 라 할 때 임의의 시각  $t$ 에서 수평 방향의 변위  $x$ 는  $(v_0 \cos \theta)t$ 입니다. 연직 방향으로서는 가속도가  $-g$ 인 등가속도운동을 하므로 변위  $y$ 는  $(v_0 \sin \theta)t - 1/2gt^2$ 입니다.  $x$ ,  $y$ 에서  $t$ 를 소거하면  $y = (\tan \theta)x - g/2V_0^2 \cos^2 \theta x^2$ 이므로 이 물체의 운동 경로가 포물선임을 확인할 수 있습니다.



한편 수레 위 관측자에게는 물체를 던지는 순간의 수평 방향 속도가 느껴지지 않으므로 물체가 수직 방향의 초기 속도만 갖는 것으로 관측됩니다. 수레 내부의 관측자는 가속운동을 하는 관측자이므로 관성력  $ma$ 와 중력  $mg$ 를 모두 느낍니다.

따라서 처음 속도를  $v_0$ 라고 할 때 임의의 시각  $t$ 에서 수평 방향의 변위  $x$ 는  $1/2at^2$ , 연직 방향의 변위  $y$ 는  $v_0t - 1/2gt^2$ 이므로  $x, y$ 에서  $t$ 를 소거하면  $y = v_0\sqrt{2x/a} - gx/a$ 입니다. 즉 관측자 뒤쪽으로 상승했다가 하강하는 형태의 곡선 운동입니다.

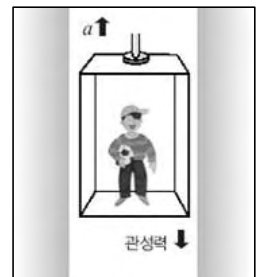
### ▶ 예시답안

지면에 있는 관측자 입장에서 수레 위의 사람이 물체를 던지는 순간에 물체는 수평 방향과 연직 방향의 속도를 모두 갖습니다. 또한 물체가 운동하는 동안에는 연직 아래 방향의 중력만 작용하므로 물체가 포물선 운동을 하는 것으로 보입니다.

수레 위의 관측자 입장에서는 물체에 가속도 반대방향의 관성력과 연직 아래방향의 중력이 작용해 물체가 자신의 뒤쪽 방향으로 상승했다가 다시 하강하는 운동을 하는 것으로 관측됩니다.

### ▶ 추가질문

질량이 70Kg인 사람이 엘리베이터 안에 있는 체중계 위에 올라섰더니 체중계의 눈금이 840N을 가리켰다. 이 엘리베이터의 운동에 대해 설명하라(단 중력가속도는  $10\text{m/s}^2$ 임).



답안 : 정지해 있거나 등속운동을 할 때 체중계의 눈금은 700N입니다. 이보다 체중이 140N만큼 증가했으므로 엘리베이터는 가속운동하고 있습니다. 그리고 가속운동에 의해 느껴지는 관성력은 연직 아래 방향으로 140N입니다. 따라서 이 엘리베이터의 가속도 크기는  $2\text{m/s}^2$ 이고, 방향은 위쪽입니다.

무중력 상태에서만 관측할 수 있는 현상을 3가지 이상 나열하고, 그 중에서 한 가지를 선택해 자세히 설명해 보라.

### ▶ 전문가 클리닉

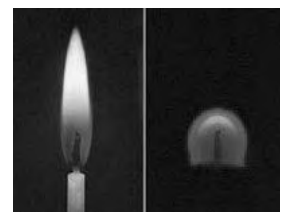
‘무중력 상태’는 중력이 작용하지 않는다는 것이 아니라 중력을 느낄 수 없다는 뜻입니다. 가속운동하는 계 내부에 있는 관측자가 중력과 반대 방향으로 작용하는 같은 크기의 관성력을 느끼면 중력 효과를 전혀 경험할 수 없게 됩니다. 따라서 무중력 상태에서만 경험할 수 있는 현상이라고 해서 반드시 먼 곳에서만 사례를 찾을 필요는 없습니다. 오히려 이것은 중력이 현재 환경에 미치는 영향을 잘 알고 있어야 풀 수 있는 문제입니다.

### ▶ 예시답안

무중력 상태에서는 촛불 모양이 구형일 것입니다.

심지에서 만들어진 가연성 탄화수소 증기는 온도가 낮은 주변 영역으로 확산되는 경향을 갖고 있습니다.

중력이 있는 지상의 촛불(왼쪽)과 무중력상태의 촛불(오른쪽).중력이 있을 때는 촛불의 연소로 인해 주변공기가 데워져서 위로 상승하므로 촛불의 모양이 뾰족해집니



다. 하지만 무중력 상태에서는 촛불 주변의 공기가 대류하지 않으므로 온도 차에 의해 모든 방향으로 확산이 균일하게 나타납니다. 이때 산소와 만나 연소가 일어나면서 촛불이 구형에 가까운 모양을 갖습니다. 또한 대류현상이 나타나지 않으므로 이 촛불은 주변 공기의 산소가 모두 소모되면 바로 꺼집니다.

다음으로 무중력 상태에서는 사람의 키가 커집니다. 중력이 있을 때 중력 때문에 관절에 수직 방향의 힘이 가해집니다. 그러나 무중력 상태에서는 이런 힘이 가해지지 않으므로 보통 때보다는 관절 사이의 간격이 넓어집니다.

마지막으로 식물의 줄기와 뿌리가 모든 방향으로 자라는 현상을 볼 수 있습니다. 굴지성을 갖는 식물의 줄기와 뿌리는 위와 아래로 자라는데, 이것은 생장 호르몬이 연직 방향이나 그 반대 방향으로 쏠리기 때문입니다. 그러나 무중력 상태에서는 생장 호르몬의 쏠림 현상이 일어날 수 없으므로 생장이 모든 방향으로 균일하게 나타납니다.

### ▶ 추가질문

다른 조건은 동일하고 질량만 다른 두 물체 A, B가 있다. 무중력 상태에서 두 물체를 구별할 수 있는 방법에 대해 논하라.

**답안 :** 질량의 대소 관계를 비교해 무중력 상태에서 두 물체를 구별하면 됩니다.

질량에는 중력 크기를 나타내는 중력 질량과 관성 크기를 반영하는 관성 질량이 있는데, 이 문제에서는 무중력 상태이므로 무게를 비교해 질량의 크기를 알 수는 없습니다. 따라서 관성 질량의 특성을 이용해 질량을 비교해야 합니다.

두 물체에 동일한 용수철 저울을 연결한 뒤 같은 크기의 힘으로 당겨 두 물체의 가속도 크기를 비교합니다. 뉴턴의 운동 제2법칙( $F=ma$ )에 의해, 동일한 힘이 가해졌을 때 가속도 크기는 질량에 반비례하므로 가속도의 크기가 클수록 질량이 작다는 사실을 확인할 수 있습니다.

철수가 자유낙하하는 엘리베이터에 탑승한 경우와 회전하는 롤러코스터에 탑승한 경우 각각 자신의 운동을 어떤 방식으로 인식할 수 있는지 (다)를 참조해 논하라.

### ▶ 전문가 클리닉

전정기관 안의 감각모 위에는 이석이라는 탄산칼슘 결정이 놓여있습니다. 수평 방향으로 운동할 때는 수평 방향으로 이석이 쏠려서 위치감각을 느끼고 연직 방향으로 운동할 때는 이석이 감각모에 미치는 압력 변화로 위치감각을 수용합니다.

반고리관은 3차원 공간에서 다양한 방향의 회전을 인식할 수 있도록 서로 수직인 방향의 축을 가진 세 개의 고리로 이뤄져 있습니다.

반고리관 내부에는 림프액이 들어 있어 회전 운동을 하는 경우 림프액의 관성으로 관 내부에 있는 감각모가 특정 방향으로 쏠리고 이를 바탕으로 회전 방향과 빠르기를 인식합니다.

### ▶ 예시답안

자유낙하하는 엘리베이터에 탑승한 철수는 연직 아래 방향의 중력과 함께 같은 크기 방향이 반대인 관성력을 동시에 느끼게 됩니다. 따라서 철수는 중력 효과를 전혀 느끼지 못하는 무중력 상태를 경험합니다.

이때 귀 안에 있는 전정기관에서는 이석이 감각모를 누르는 압력이 평상시보다 감소하므로 철

수는 공중에 떠 있는 듯한 느낌을 받습니다.

한편 회전하는 롤러코스터에 탄 철수는 반고리관 안의 림프액 운동에 의해 회전운동을 인식합니다. 롤러코스터가 회전운동을 시작하는 시점에는 반고리관 내 림프액의 관성에 의해 순간적으로 감각모가 회전 반대 방향으로 쏠립니다. 따라서 철수는 강한 회전감각을 느낍니다. 회전 운동을 하는 동안에는 림프액과 몸의 회전 방향이 같아 감각모가 거의 쏠리지 않으므로 회전감각이 약해집니다. 롤러코스터가 회전을 멈추는 경우에 반고리관 안의 림프액은 관성에 의해 한동안 몸의 회전방향과 같은 방향으로 계속 회전하고 감각모도 회전 방향으로 쏠려 있으므로 철수는 정지한 뒤에도 한동안 계속 회전하는 듯한 느낌을 받습니다.



### ▶ 추가질문

철수가 타고 있는 엘리베이터가 자유낙하하기 시작했다. 지면과 충돌할 때 받을 엄청난 충격을 피하기 위해 엘리베이터가 지면과 충돌하기 직전에 위로 뛰어올라 지면에 대한 속도가 거의 0이 되게 하려고 한다. 철수는 과연 무사할 수 있을까?

**답안 :** 불가능 합니다. 예를 들어 질량이 60Kg인 사람이 타고 있는 엘리베이터가 20m 낙하해 지면과 충돌한다고 가정해 봅시다.

사람이 뛰어올라 지면에 대한 속도를 0으로 만들기 위해서는 바닥에 도달하는 순간의 운동에너지를 모두 상쇄시켜야 합니다.

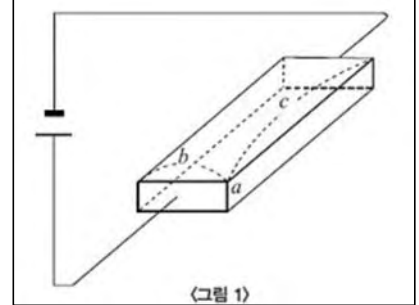
바닥으로부터 뛰어오르기 위해서는 다리를 구부렸다가 펴는 동작을 해야 하는데, 다리를 구부렸을 때와 폈을 때의 길이 차를 0.2m라고 가정하면 바닥이 사람을 떠받치는 힘의 크기를  $F$ 라고 할 때 사람이 바닥으로부터 받은 일의 양은  $F \times 0.2\text{m}$ 입니다. 바닥에 도달하는 순간의 운동에너지는  $60\text{Kg} \times 10\text{m/s}^2 \times 20\text{m} = 12000\text{J}$ 이므로  $F$ 는 60000N입니다. 이는 사람이 발휘하기 힘든 커다란 힘입니다.

## 2007년 02월호 - 물리 면접구술고사 완벽가이드

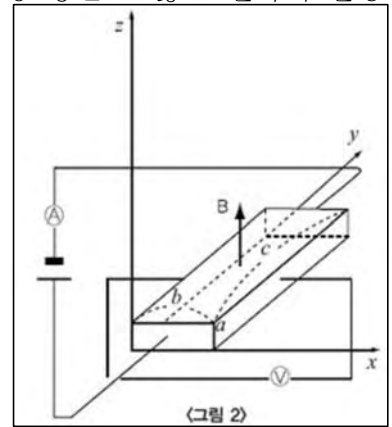
### 자유전자의 운동

다음 문장의 빈칸을 채우고 과정을 설명하라(전지의 내부 저항이나 도선의 저항은 무시한다).

두께  $a\text{m}$ , 폭  $b\text{m}$ , 길이  $c\text{m}$ 인 직육면체의 금속이 있다. 금속 안에는 전하는 자유전자에 의해 운반되지만 전기장이 없을 때 자유전자는 불규칙하게 움직이며 그 평균속도는 0이다. 그러므로 전기장이 없을 때 자유전자는 정지한 것으로 보고 <그림 1>에서 질량  $m\text{Kg}$ , 전하  $-e\text{C}$ 인 자유전자의 운동을 생각해 본다.(C는 쿨롱)



<그림 1>처럼 이 금속에 기전력이  $V(\text{V})$ 인 전지를 연결하면 금속 내부에 같은 전기장이 생겨 이 전기장에 의해 가속된 자유전자는 짧은 시간  $T_0$ 분마다 1회씩 원자와 충돌하고 가속에 의해 얻은 운동에너지의 전부를 잃는다고 하자. 이때 전기장에 의한 전자의 가속도는 1)   $\text{m/s}^2$ 이기 때문에 전자가 전기장에 의해 움직이는 평균속력은 2)   $\text{m/s}$ 다. 또 자유전자가  $1\text{m}^3$ 당  $n$ 개 있다고 하면 단위시간당 충돌로 잃은 전자의 운동에너지는 금속 전체에서는 3)   $\text{J/s}$ 다. 덧붙여 단위시간에 운반하는 전하의 총량은 4)   $\text{C/s}$ 이고, 이것이 금속을 흐르는 전류이기 때문에 금속의 저항은 5)   $\Omega$ 으로 표현된다. 이렇게 해서 옴의 법칙과 줄-열 발생 구조를 자유전자의 운동으로 이해할 수 있다.



위에서  $T_0$ 와  $n$ 을 구하기 위해서는 다음과 같이 하면 된다. <그림 2>에 나와 있듯이 이 금속에 기전력  $V(\text{V})$ 인 전지를 연결해  $y$ 방향에 전류를 흘림과 동시에,  $z$ 방향으로 자속밀도  $B\text{ Wb/m}^2$ (또는  $T$ )인 똑같은 자기장을 금속 전체에 건다. 금속을 움직이지 않도록 고정해 두고 전류계 ㉠로 금속에 흘린 전류  $I\text{A}$ 를 측정한다.  $-y$ 방향으로 평균속력  $v$ 로 움직이는 전자는 자기장에 의해  $x$ 방향으로 크기 6)   $\text{N}$ 인 로렌츠 힘을 받는다. 그 결과 전류와 자기장의 방향에 대해 수직인 방향으로 기전력이 발생하고 그 크기는  $V_x = 7) \text{  V}$ 이다. 이 기전력을 전압계 ㉡로 측정하면  $v$ 이므로  $T_0 = 8) \text{  s}$ ,  $n = 9) \text{ }$ 이 알고 있는 양( $a, b, c, m, e, V, B, I, V_x$ )으로 구해진다.

### ▶ 전문가 클리닉

금속 안을 흐르는 전류가 자유전자의 이동에 의해 발생한다는 사실은 모두 알겠지만 이것을 정량적으로 다뤄 본 학생은 많지 않을 것입니다. 미시적이고도 정량적인 방법을 통해 옴의 법칙과 소비전력의 식을 구해보는 일은 물리적으로 매우 의미있는 작업입니다.

또한 이 문제에서는 ‘홀효과’(Hall Effect)를 다루고 있습니다. 이것의 전제가 되는 ‘로렌츠 힘’의 관계식을 전류가 자기장으로부터 받는 힘의 식으로부터 구하는 과정에는 통합적인 사고가 필요합니다. 여기서는 금속 안의 전기장을 생각했지만 ‘분명히 금속(도체) 안에 전기장은 없었다’고 생각하는 사람이 있을지도 모릅니다. 그러나 전기장이 없는 상태는 정전기의 경우(자유전자의 이동이 완료된 상태)이고, 전류가 흐르고 있는 경우에는 적합하지 않습니다.

금속 안에 생기는 같은 전기장에 대해서는 전류가 유입되는 면과 유출되는 면에 두 장의 평행

한 금속판이 있으므로 평행판 축전기의 극판 사이에 생기는 전기장을 생각하면 됩니다.  
 평행판 축전기의 경우에 균일한 전기장이 형성되려면 극판의 면적은 크고 극판 사이의 거리가 작다는 조건이 필요한데, 여기서 극판의 면적은 작고 극판 사이의 거리는 큼니다.  
 그러나 보통의 평행판 축전기에서는 극판 사이와 그 외의 부분도 공기인 데 반해 이 경우 금속판의 사이는 금속이고, 주위와 크게 다른 성질을 가지고 있기 때문에 균일한 전기장이라 가정해도 크게 이상하지는 않습니다.

## ▶ 예시답안

금속에 전류가 유입되는 면과 유출되는 면을 극판으로 하는 평행판 축전기를 생각합니다.  
 극판 사이의 전압은  $V$ , 극판 사이의 거리는  $c$ 이므로 금속 안에 생기는 같은 전기장의 세기는  $E=V/c$ 이고, 자유전자는 전기장과 반대 방향으로 크기  $eE$ 의 힘을 받습니다.  
 이 힘 방향의 가속도를  $a$ 라 하고 운동방정식을 세우면

$$m\alpha = eE = e \cdot \frac{V}{c}, \quad \alpha = \frac{eV}{mc} \dots\dots\dots 1) \text{의 답}$$

<그림 1>에서는 양(+)의 방향이 지정돼 있지 않기 때문에 가속도 크기로 답하면 됩니다.  
 <그림 2>의 좌표축을 고려하면 음극의 값도 정답으로 처리될 수 있습니다.  
 자유전자는 충돌에서 충돌까지의 시간  $T_0$  동안 가속도  $a$ 로 등가속도 운동을 합니다. 이 사이에 진행하는 거리를 시간  $T_0$ 로 나누면 평균속력이 얻어집니다.

$$v = \frac{1}{2}\alpha T_0^2 \div T_0 = \frac{1}{2}\alpha T_0 = \frac{eVT_0}{2mc} \dots\dots\dots 2) \text{의 답}$$

충돌 직전 자유전자의 운동에너지는

$$\frac{1}{2}m(\alpha T_0)^2 \left( \frac{1}{2}m\alpha\bar{v}^2 \text{가 아님} \right)$$

이고, 이것이 시간  $T_0$  동안 잃은 것이므로 자유전자 한 개당 단위시간에 잃는 운동에너지는  $1/2m(\alpha T_0)^2 \div T_0 = 1/2m\alpha^2 T_0$ 입니다.

금속 안에 있는 자유전자의 총 수는  $nabc$ 이므로 금속 전체에서 단위시간 동안 잃는 자유전자의 운동에너지  $P$ 는 다음과 같습니다.

$$P = \frac{1}{2}m\alpha^2 T_0 \cdot nabc = \frac{1}{2}m \left( \frac{eV}{mc} \right)^2 T_0 \cdot nabc = \frac{nabe^2 V^2 T_0}{2mc} \dots\dots\dots 3) \text{의 답}$$

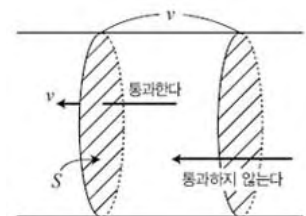
단면적  $S$ 인 금속 내부를 자유전자가 평균속력  $v$ 로 이동하고 있을 때, 수직인 원의 단면을 단위시간에 통과하는 자유전자의 개수는  $nSv$ ( $n$ 은 단위부피당 자유전자의 개수)입니다.

따라서 단위시간에 단면을 통과하는 전하의 크기, 즉 전류의 크기  $I$ 는 전자의 전하를  $-e$ 라 할 때  $I=enSv$ 입니다.

여기서  $S=ab$ 이므로

$$I = enabv = enab \cdot \frac{eVT_0}{2mc} = \frac{nabe^2 VT_0}{2mc} \dots\dots\dots 4) \text{의 답}$$

이 식을  $V = \frac{2mc}{nabe^2 T_0} I$ 로 고치고, 옴의 법칙  $V=RI$ 와 비교하면





$$R = \frac{2mc}{nab e^2 T_0} \dots\dots\dots 5) \text{의 답}$$

또  $\rho = \frac{2m}{\neq^2 T_0}$ ,  $c=l$ ,  $ab=S$ 라고 쓰면  $R = \rho \frac{l}{S}$  ( $\rho$ 는 비저항)을 얻을 수 있습니다.

또한 3), 4)의 답으로부터  $P=IV$ 가 성립함을 알 수 있습니다.

한편 전류  $I$ 인 길이  $l$ 부분이 자속밀도  $B$ 로부터 받는 힘의 관계식  $F=IlB$

(이 문제에서  $F=IcB$ ), 단위 부피 안에  $n$ 개의 자유전자를 포함하는 단면적  $S$ , 길이  $l$ 인 금속에 포함되는 자유전자 수를 표현하는 식  $N=nSl$ (이 문제에서는  $N=nabc$ ) 앞에 나온 전류를 나타내는 식  $I=enS\bar{v}$ (이 문제에서는  $I=enab\bar{v}$ ).

이들 세 개의 식으로부터 속력  $v$ 로 움직이는 자유전자 한 개당 자기장(자속밀도  $B$ )으로부터 받는 힘의 크기

$$f = \frac{F}{N} = e\bar{v}B \dots\dots\dots 6) \text{의 답}$$

이 얻어집니다. 이것을 ‘로렌츠 힘’의 식이라고도 합니다.

y축의 (+)방향에 흐르는 전류가 z축의 (+)방향의 자속밀도로부터 받는 힘의 방향과 성질은 x축의 (+)방향이기 때문에 로렌츠 힘의 방향과 성질도 x축의 (+)방향입니다(자유전자의 흐름 방향은 전류와 반대이므로). 이 힘에 의해 자유전자는 x축의 (+)방향으로 이동하고 금속의 측면에 전하가 나타나( $x=0$ 인 면에 양전하가,  $x=b$ 인 면에 음전하가 나타남) x축의 (+)방향에 전기장이 생깁니다. 이 전기장에 의한 힘과 로렌츠 힘이 평형을 이루면 자유전자 측면으로의 이동은 멈추고 측면의 전하는 일정하게 됩니다. 물론 전기장도 일정하게 됩니다. 이 방향에 전기장이 존재한다는 사실은  $x=0$ 인 면과  $x=b$ 인 면 사이에 전위차(기전력)가 발생했다는 뜻입니다.

금속 대신 전하 운반체의 부호가 (+)인 P형 반도체를 사용하면 전하의 양극과 음극이 반대가 되고, 전기장과 기전력의 방향도 반대가 됩니다.

x축 방향에 발생한 전기장의 세기를  $E_x$ 라 하면, 자유전자에 작용하는 정전기력과 로렌츠 힘의 균형으로부터  $E_x=vB$ 이 성립합니다. 이 전기장도 최초로 나온 전기장처럼 같은 모양이라고 생각할 수 있으므로 기전력의 크기는

$$V_x = E_x b = \bar{v}Bb \dots\dots\dots 7) \text{의 답}$$

마지막으로 2), 7)의 답으로부터  $V_x = \frac{eVT_0}{2mc} \cdot Bb$ 이므로

$$T_0 = \frac{2mcV_x}{eVBb} \dots\dots\dots 8) \text{의 답}$$

또 4), 8)로부터

$$I = \frac{nabe^2 V}{2mc} \cdot \frac{2mcV_x}{eVBb} = \frac{naeV_x}{B}$$

$$n = \frac{IB}{aeV_x} \dots\dots\dots 9) \text{의 답}$$

8), 9)의 식은 직접 측정할 수 없는 양을 측정할 수 있는 양으로 나타냈다는 데 의의가 있습니다.

## 참고자료 1

### 균일한 전기장에서의 전위차

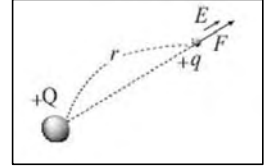
전하 주위와 같이 전기력이 미치는 공간을 ‘전기장’이라고 한다. 이때 어떤 전기장 안에 전하량이  $q$ 인 전하를 놓았을 때 이 전하가 받는 힘의 크기가  $F$ 라면, 전기장의 세기  $E$ 는 다음과 같다.

$$E = \frac{F}{q} \text{ (단위: N/C)}, F = qE$$

한편 전기장 내의 두 지점 사이에서 단위 전하를 옮기는 데 필요한 일의 양을 ‘전위차’라 한다. 전하  $q$ 를 B점에서 A점으로 이동시키는 데  $W$ 만큼의 일을 했다면, A와 B 두 지점 사이의 전위차  $V$ 는 다음과 같다.

$$V = W/q \text{ (단위: V=J/C)}, W = qV$$

전기장의 세기가  $E$ 로 균일한 전기장에서 전하  $q$ 가 받는 힘의 크기는  $F = qE$ 이다. 전하  $q$ 를 도체판 A에서 B까지 옮기기 위해 해야 하는 일의 양  $W$ 는 도체판 사이의 거리를  $d$ 라 하면  $W = Fd = qEd$ 다. 또한 두 도체판 사이의 전위차가  $V$ 이면  $W = qV = qEd$ 에서  $V = Ed$ 다.



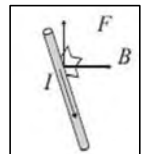
## 참고자료 2

### 자기장 속에서 대전입자가 받는 힘

전류는 대전입자의 흐름이다. 전류의 운반체를 ‘캐리어’라 한다. 전류가 자기장으로부터 힘을 받는다는 사실은 전류의 운반체인 캐리어가 자기장으로부터 힘을 받는다는 뜻이다.

전류가 자기장으로부터 받는 힘에 근거해 로렌츠 힘을 도출해 보도록 한다.

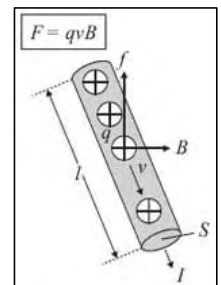
전류  $I$ 와 자속밀도  $B$ 가 수직이고 전류가 자기장을 가로지르는 길이를  $l$ 이라 하면, 전류  $I$ 가 받는 힘은  $F = IlB$ 로 나타낼 수 있다.



도선의 단면적을  $S$ , 밀도를  $n$ 이라 하면, 길이  $l$ 인 도선 내의 캐리어 수  $N$ 은  $N = nSl$

개다. 한 개의 캐리어에 작용하는 힘을  $f$ 라 하면 길이  $l$ 인 도선 내의 캐리어에 작용하는 힘의 합력  $F$ 는  $F = fN = fnSl$ 로 나타난다. 따라서 한 개의 캐리어에 작용하는 힘은  $f = F/N = Il/nsl = IB/nS$ 다.

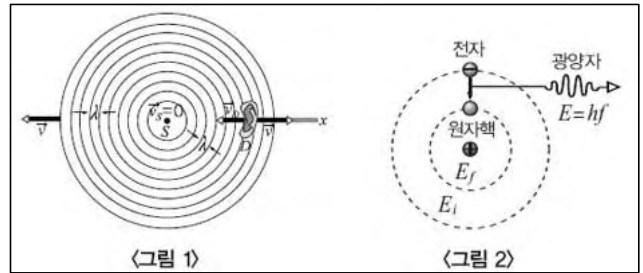
여기서 캐리어의 전하를  $q$ , 속력을  $v$ 라 하면 전류  $I$ 는  $I = qnvS$ 이며  $f = B \times qnvS/nS$ 로 나타낸다. 로렌츠 힘은 속도와 자기장에 대해 항상 수직으로 작용한다. 따라서 힘의 방향이 속도의 방향에 대해 수직이므로 일을 하지 않는다.



## 2007년 03월호 - 물리 면접구술고사 완벽가이드

### 도플러 효과

(가) 경찰차가 사이렌을 울리며 고속도로변에 주차해 있는 사람들은 동일한 진동수의 사이렌 소리를 듣게 된다. 하지만 관측자와 경찰차가 서로 상대운동을 한다면 다른 진동수의 사이렌 소리를 듣게 된다. 즉 가까워질 때는 더 높은 진동수의 소리를 듣게 되고, 멀어질 때는 더 낮은 진동수의 소리를 듣게 된다. 이와 같이 관측자와 음원의 상대운동에 의해 나타나는 진동수의 변화를 '도플러 효과'라고 한다.



<그림 1>에 있는 귀 모양의 D는 소리검출기를 나타낸다. D가  $v_D$ 의 속력으로 음원 S를 향해 움직인다고 가정해 보자. 음원 S는 정지해 있으며 파장  $\lambda$ , 진동수  $f$ , 음속  $v$ 인 구면파를 방출한다. 이때 검출기 D는 파면을 향해 가로질러 가므로 측정되는 진동수  $f'$ 는  $f$ 보다 클 것이다.

먼저 D가 정지한 경우에 대해 생각해 보자, 시간  $t$  동안 파면은 거리  $vt$ 만큼 오른쪽으로 운동한다. 이 거리  $vt$  안에 있는 파장의 수는 시간  $t$  동안 D를 지나가는 파장의 수로서  $\frac{vt}{\lambda}$ 와 같다.

다. 파장이 D를 지나가는 비율, 즉 D가 검출하는 진동수  $f$ 는  $f = \frac{vt/\lambda}{t} = \frac{v}{\lambda}$ 이다. 이 상태에서는 도플러 효과가 나타나지 않는다. 즉 D가 검출한 진동수는 S가 발생시킨 진동수와 같다.

이제 그림에서와 같이 검출기 D가 파동의 진행방향과 반대방향으로 움직이는 경우를 고려해 보자. 시간  $t$  동안 파면은 이전과 마찬가지로 오른쪽으로 거리  $vt$ 만큼 움직인다. 동시에 검출기 D도 왼쪽으로  $v_D t$ 만큼 운동한다. 따라서 시간  $t$  동안 D에 대해 파면이 움직인 상대적 이동거리는  $vt + v_D t$ 이다.  $vt + v_D t$  안에 있는 파장의 수는 시간  $t$  동안 D를 지나가는 파장의 수로서

$\frac{vt + v_D t}{\lambda}$ 이다. 따라서 파장이 D를 지나가는 비율은  $f' = \frac{(vt + v_D t)/\lambda}{t} = \frac{v + v_D}{\lambda}$ 가 된다.

그리고  $\lambda = \frac{v}{f}$ 로부터  $f' = \frac{v + v_D}{v/f} = f \left( \frac{v + v_D}{v} \right)$ 이다.

같은 방식으로 D가 음원으로부터 멀어지는 경우에는  $v_D$  대신  $-v_D$ 를 대입해  $f'$ 을 구할 수 있다. 단 여기서 검출기와 음원을 포함하는 모든 개체의 속력은 공기를 기준으로 한다. 즉  $v_D$ 와  $v_S$ 는 공기에 대한 상대속도다.

참고로 검출기가 정지해 있고 음원이  $v_S$ 의 속력으로 검출기에 접근하는 경우 검출기가 검출하는 진동수  $f'$ 는 같은 원리에 의해  $f' = f \left( \frac{v}{v - v_S} \right)$ 가 된다. 이때도 역시 음원이 검출기로부터 멀어진다면 식에  $-v_S$  대신  $v_S$ 를 대입하면 된다.

(나) 1911년 러더퍼드는  $\alpha$ 입자 산란 실험을 통해 원자 내의 양전하가 원자의 중심부(원자핵)에 집중돼 있다는 유핵 원자모형을 제시했다. 원자의 중심에는 양전하를 띤 원자핵이 존재하고 이를 중심으로 음전하를 띤 전자가 전기력을 받아 원운동하고 있다고 설명한 것이다. 가속되는 전자는 전자기파를 방출한다.

원자핵 주위로 원운동하는 전자는 가속도를 가지므로 전자기파를 방출하면서 역학적 에너지가 감소해 원자핵과 충돌해야 한다. 하지만 실제로 원자는 매우 안정하다. 또한 원자핵 주위를 돌고 있는 전자의 궤도 반지름은 어떤 값이든 가질 수 있기 때문에 에너지를 얻은 높은 궤도의 전자가 낮은 궤도로 이동하면서 방출하는 빛의 색깔도 다양할 수 있다. 따라서 가열된 기체에서 방출되는 빛은 연속 스펙트럼이어야 한다. 그러나 실제로 원자가 내는 빛은 불연속적인 선 스펙트럼이다.

보어는 이와 같은 러더퍼드 원자모형의 한계를 두 가지 가설을 통해 극복하고, 수소 원자에 대해 제한적으로 적용하는 원자모형을 제시했다. 제 1가설은 양자조건이다. 보어는 '원자 내의 전자는 궤도 길이가 전자의 물질파 파장의 정수배가 되는 궤도만을 돌며, 이 궤도에서 전자의 물질파는 정상파를 이룬다'라고 설명했다.

$$2\pi r_n = n\lambda = \frac{nh}{mv} \quad (n=1, 2, 3, \dots)$$

이 모형에 따르면 운동하는 전자는 자기장을 만들어야 하지만 원자궤도 내의 전자는 정상파를 이루기 때문에 어느 방향으로 운동한다고 할 수 없다. 따라서 원자 궤도 내의 전자는 역학적 에너지를 잃지 않고 계속 동일한 궤도에 존재할 수 있다. 러더퍼드 원자모형의 안정성 문제를 해결한 것이다. 제 2가설은 진동수 조건이다. 여기서 보어는 '전자가 에너지준위  $E_i$ 인 궤도에서 에너지준위가  $E_f$ 인 궤도로 전이할 때, 두 궤도의 에너지 차에 해당하는 전자기파를 흡수하거나 방출한다'라고 설명한다.

$$hf = E_i - E_f \quad (i > f)$$

제 2가설은 수소 원자의 선스펙트럼 문제를 해결한다. 수소 원자에서 보어의 제 1가설을 만족시키는 궤도를 구한 뒤, 각 궤도 사이에서 전자가 전이될 때 발생하는 빛의 파장을 계산해 본 결과 수소 기체의 선스펙트럼 무늬와 일치했다.

한편 수소 기체가 든 방전관에서 아노 선스펙트럼은 파장이 짧은 쪽으로 갈수록 좁아져 어떤 한계값(3646 Å)에 수렴한다. 1885년 발머는 이들 가시광선의 선스펙트럼을 관찰해 이 선들 사이에 다음과 같이 일정한 관계가 있음을 발견했다.

$$\frac{1}{\lambda} = R \left( \frac{1}{2^2} - \frac{1}{n^2} \right) \quad (n=3, 4, 5, \dots, \text{리드베리 상수 } R=1.097 \times 10^{-7} m^{-1})$$

240m/s의 속력으로 날아가는 비행기가 있다. 이 비행기는 진동수  $f=1000\text{Hz}$ 인 음파를 방출하면서 검출기가 부착된 기둥을 향해 날아가고 있다(기둥은 지면에 대해 정지해 있으며 소리의 속력은 340m/s으로 계산한다).

- 1) 기둥에 부착된 검출기가 검출하는 진동수는 얼마인가?
- 2) 음파는 기둥에서 메아리로 반사돼 비행기로 되돌아간다. 비행기에 설치된 검출기가 검출하는 음파의 진동수는 얼마인가?
- 3) 만약 공기가 검출기가 설치된 기둥방향으로 40m/s의 속력으로 움직인다면 1), 2)번의 답은 어떻게 변할지 설명하라.

## ▶ 예시답안

- 1) 음원의 속력을  $v_s$ 라 하면 음원이 검출기를 향해 접근하고 있으므로 도플러 효과의 식  $f' = f(v/v - v_s)$ 로부터 3400Hz가 됩니다.

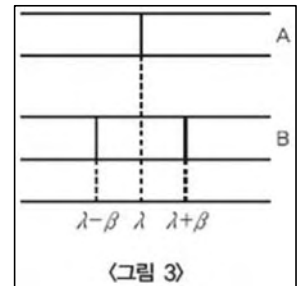
2) 기둥에서 음파가 반사되고 있으므로 이때는 기둥이 제 2의 음원 역할을 합니다. 또한 기둥에 비행기가 접근하고 있는 상황입니다. 따라서 비행기에 설치된 검출기가 검출하는 진동수  $f''$ 는  $f''=f'(v+v_D/v)$ 로부터 약 5780Hz가 됩니다.

3) 검출기와 음원의 공기에 대한 상대속도를 이용해야 합니다. 공기가 40m/s의 속력으로 움직이므로 이 공기에 대한 문제 1)에서의 음원(비행기)의 상대속력은 200m/s가 됩니다. 그리고 문제 2)에서의 검출기(비행기)의 상대속력 역시 200m/s가 됩니다.

따라서 문제 1)에서의 검출 진동수는 약 2430Hz가 되고 같은 방법으로 문제 2)에서의 검출 진동수는 약 3888Hz가 됩니다.

질량이 같은 두 별이 서로를 연결하는 선분의 중점을 중심으로 평면 내에서 등속원운동을 하고 있다. 이 평면 내에서 회전의 중심에서 충분히 먼 곳에 정지해 있는 관측자가 별이 내는 빛 속의 수소 스펙트럼을 관측했다.

그 결과 시각  $t=0$ 에서는 <그림 3>의 A처럼 파장  $\lambda$ 인 한 개의 스펙트럼선이 관찰되고 시각  $t=t_0$ 에서는 그림의 B처럼 파장  $\lambda-\beta$ 와  $\lambda+\beta$ 인 두 개의 스펙트럼선이, 시간  $t=2t_0$ 에서는 다시 그림의 A와 같은 스펙트럼선이 관측됐다.  $\beta$ 는  $\lambda$ 와 비교해 매우 작고 별의 크기는 두 별의 간격에 비해 무시할 수 있을 만큼 작다고 하자.



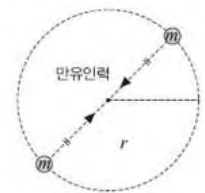
광속을  $c$ , 플랑크상수를  $h$ , 만유인력 상수를  $G$ , 또 양자수  $n$ 인 수소 원자의 에너지  $E_n$ 은  $E_n = -\frac{hcR}{n^2}$  ( $R$ 은 리드베리 상수)라 하고 질문에 답하라.

- 1) 파장  $\lambda$ 인 선은 발머 계열 중에서 파장이 가장 길다.  $\lambda$ 를  $R$ 로 나타내어라. 또 아래의 문제에서는  $\lambda$ 를 사용해 답하라.
- 2) 발머 계열 중에서 가장 짧은 파장  $\lambda_{\min}$ 은 얼마인가?
- 3) 수소의 이온화에너지(바닥상태인 수소의 전리에너지)  $I$ 는 얼마인가?
- 4) 하나의 별이 원운동하는 주기  $T$ 는 얼마인가?
- 5) 별의 속력  $v$ 는 얼마인가?
- 6) 원운동의 반경  $r$ 은 얼마인가? 또 한 별의 질량  $m$ 은 얼마인가?

### ▶ 예시답안

- 1) 발머 계열에서 파장이 가장 길기 때문에 진동수는 가장 작을 것입니다( $c=v\lambda$ 로부터). 이는 광자에너지가 최소, 즉 에너지 준위차가 최소이므로  $n=3$ 에서  $n=2$ 로 이동할 때입니다.

$$h\frac{c}{\lambda} = E_3 - E_2 = -\frac{hcR}{3^2} - \left(-\frac{hcR}{2^2}\right) \quad \therefore \lambda = \frac{36}{5R}$$



- 2)  $\lambda_{\min}$ 은 반대로 에너지 준위차가 최대가 되는,  $n=\infty$ 에서  $n=2$ 로 이동할 때의 파장입니다.

$$h \frac{c}{\lambda_{\min}} = E_{\infty} - E_2 = 0 - \left( -\frac{hcR}{2^2} \right) \quad \therefore \lambda_{\min} = \frac{4}{R} = \frac{5}{9} \lambda$$

3)  $n=1$ 에서  $n=\infty$ (전리 상태)로 이동하므로

$$I = E_{\infty} - E_1 = 0 - \left( -\frac{hcR}{1^2} \right) = hcR = \frac{36hc}{5\lambda} \text{입니다.}$$

4) 별의 속도방향이 시선방향과 직각을 이룰 때 도플러 효과가 일어나지 않으므로  $2t_0$ 인 동안 별은 원궤도를 반바퀴 돕니다. 따라서 주기는  $4t_0$ 입니다.

5) 도플러 효과가 일어나고 있습니다.  $\lambda$ 인 빛의 진동수를  $f$ ,  $\lambda - \beta$ 인 빛의 진동수를  $f'$ 라 하면

$$f' = \frac{c}{c-v} f, \quad \frac{c}{\lambda - \beta} = \frac{c}{c-v} \cdot \frac{c}{\lambda} \quad \therefore v = \frac{\beta}{\lambda} c$$

$\lambda + \beta$ 인 빛으로 계산해도 결과가 같습니다.

6) 한바퀴, 즉  $2\pi r$ 을 속력  $v$ 로 회전하므로

$$T = \frac{2\pi r}{v} \text{이고 } r = \frac{vT}{2\pi} = \frac{2\beta ct_0}{\pi\lambda} \text{입니다.}$$

$$\text{원운동의 식은 } \frac{mv^2}{r} = G \frac{m \cdot m}{(2r)^2} \text{이므로 } m = \frac{4rv^2}{G} = \frac{8t_0}{\pi G} \left( \frac{\beta c}{\lambda} \right)^3 \text{입니다.}$$

## 2007년 04월호 - 물리 면접구술고사 완벽가이드

둥지를 찾아가는 철새

다음 제시문을 읽고 물음에 답하시오.

(가) 어떤 생명체들은 자기장을 검출할 수 있으며 방향을 정할 때 이 정보를 이용한다. 지구 자기력선은 극지점에서 수직이고 적도에서 수평이다.

철새들은 이런 자기장을 이용해 겨울을 나는 장소로부터 수천Km 떨어져 있는 둥지를 찾아가는 간다. 이와 유사하게 바다거북도 실험실에서 인공 자기장에 반응한다고 한다. 그렇다면 이 동물들은 어떻게 자기장을 알아낼까.

자철광결정 같은 자기물질이 몇몇 세균세포, 꿀벌의 가슴, 무지개 송어와 연어의 머리에서 발견됐다. 자기장 감각이 일어나려면 자기결정이 사슬로 연결된 '자기체'가 세균이나 동물의 자기장 수용세포에 들어 있어야 한다. 작은 크기의 자철광결정은 열에너지에 의한 무작위적인 진동을 극복할 만큼 강하게 상호작용하지 못한다. 그러나 일단 사슬로 연결되면 개별적인 움직임이 뭉쳐서 자기장에 정렬될 수 있고 수용체와 상호작용할 수 있다.

(나) 앙드레 앙페르는 전류가 자침뿐 아니라 다른 전류에도 힘을 미친다는 사실을 밝혔다. 또 실험을 통해 폐회로에 흐르는 전류에 의한 자기적 효과가 막대자석과 같음을 밝히고, 물질이 갖는 자기적 성질은 그 물질을 구성하는 원자 또는 분자 속 폐회로 내의 순환전류에 기인하는 것이라고 생각했다.

한편 외부 자기장에 반응하는 특성에 따라 물질을 반자성체, 상자성체, 강자성체로 분류할 수 있다. 반자성은 거의 대부분의 물질이 가진 성질로서 물질이 외부 자기장과 반대 방향으로 약하게 자화되는 특성을 말한다. 이는 전자기유도를 이용해 고전적으로 설명할 수 있다. 예를 들어 물질 내부에 존재하는 전자는 반시계 방향 또는 시계 방향으로 회전한다. 이 전자들이 만들어내는 자기장은 서로 상쇄되므로 물질 전체적으로는 알짜 자기장이 존재하지 않는다. 그런데 여기에 외부 자기장을 가하면 전자가 궤도를 회전하는 속도에 변화가 생기고 유도기전력이 생긴다. 이때 유도기전력은 외부 자기장에 의한 효과를 상쇄시키려는 방향으로 생기므로 외부 자기장과 반대 방향의 알짜 자기장이 형성된다.

상자성은 외부 자기장과 같은 방향으로 자화되는 성질을 말한다. 상자성을 지닌 물질 내부의 원자들은 영구자석과 같은 자기장을 만들어내는데, 이 자기장의 방향이 마구잡이여서 평상시에는 알짜 자기장이 없다. 하지만 외부 자기장이 가해지면 외부 자기장의 방향으로 원자들이 정렬해 물질에 외부 자기장과 같은 방향의 알짜 자기장이 생긴다.

강자성은 한 원자의 전자와 다른 원자 내 전자가 상호작용에 의해 충돌하지만 자기장에 대한 원자들의 정렬상태가 유지되는 성질을 말한다. 그러나 퀴리온도라고 하는 임계값 이상의 온도가 되면 대부분의 물질은 원자 간의 상호작용이 사라지므로 단순한 상자성을 갖는 물질이 된다.

문제 1 (가)의 밑줄 친 부분의 '철새가 자신의 둥지를 찾아가는 과정'이 어떤 것일지 (나)를 참고해 물리적 관점에서 논리적으로 추론하시오.

### ▶ 전문가 클리닉

제시문 (가)에서는 동물의 몸속에 있는 자기물질의 작용으로 자기장에 대한 방향 감각을 얻는다고 설명합니다. 이 과정의 구체적인 메커니즘을, 제시문(나)의 자기장과 자기력에 대한 물리

적 원리를 적용해 논리적으로 추론하는 문제입니다.

### ▶ 예시답안

우선 사슬로 된 자기체는 지구 자기장 속에서 자석으로 된 나침반의 자침 같은 역할을 한다고 추론해볼 수 있다. 철새의 세포에 지구 자기장 방향으로 자화된 자기체가 배열돼 있다면 철새의 운동에 따라 남북방향으로 배열돼 있는 자기체의 상대적 위치가 변할 것이다. 자기체의 상대적인 위치가 바뀌어 세포의 형태가 변화해 세포막에 있는 이온 채널의 개폐를 조절하고 활동전위를 발생시키며, 이와 같은 활동전위가 연합해 방향감각이 형성될 수 있다.

또 다른 가능성으로 고리 모양으로 생긴 전도체가 철새의 몸 안에 들어있어 전도체에서 발생한 전기자극을 수용할 수 있는 다수의 신경과 연결돼 있다고 가정해 보자. 철새가 지구 자기장과 나란한 방향으로 이동한다면 이 고리를 통과하는 자기력선의 변화가 그다지 크지 않으므로 이 고리에 유도되는 기전력의 크기는 작다. 하지만 남북 방향으로 이동할 때는 위도가 높을수록 고리를 통과하는 자기력선의 수가 증가하게 된다. 이를 통해 발생하는 유도기전력의 크기를 인식해 철새는 운동 방향의 차이를 느낄 수 있게 된다.

문제 2 고지자기학(paleomagnetism)이란 암석에 기록돼 있는 과거의 지구 자기장을 연구하는 학문으로, 맨틀과 핵의 상호작용에서부터 지각의 이동과 변형에 이르는 지질작용에 대한 유용한 정보를 제공한다. 그림은 층상의 용암류에 기록된 자기 화석의 모습을 모식적으로 나타낸 것이다. 자기 화석을 관찰하면 80만년 전에 생성된 암석의 자화된 방향이 반대로 역전됐음을 알 수 있다. 과학자들에 의하면 지구 자기장의 세기는 10~15% 정도 감소된 상태이며, 최근 150여 년의 통계를 볼 때 지구 자기장은 지속적으로 붕괴되는 것으로 보인다고 한다.



1) 그림과 같이 암석이 자화된 방향이 역전되는 현상이 왜 일어날지에 대해 제시문 (나)를 참고해 논술하고, 2) 만일 지구 자기장이 현재의 추세대로 계속 붕괴되다가 과거와 같이 역전된다면 지구 환경에 어떤 영향을 초래할지 논하시오.

### ▶ 전문가 클리닉

암석에 기록된 지자기 역전 현상과 함께 지구 자기장이 환경에 미치는 영향을 이해하고 있어야 하는 문제입니다. 2003년에 개봉된 영화 '코어'에서 비슷한 내용의 이야기가 다뤄졌습니다. 지구 자기장에 대한 과학적 지식을 바탕으로 상상력을 동원해 해결해야 하는 다소 어려운 문제입니다.

### ▶ 예시답안

화산에서 분출한 용융상태의 마그마에는 고온상태의 자성 물질이 포함되어있다. 이물질은 분출돼 식다가 퀴리온도 이하가 되면 강자성을 회복해 지구 자기장의 방향으로 자화돼 정렬된다. 그러므로 암석에 기록된 자성 물질의 정렬 방향이 역전됐다는 점은 외부 자기장, 즉 지구 자기장의 방향이 역전됐음을 의미한다.

지구 자기장이 역전되면 지구 자기장을 감각기관으로 인지해 방향을 찾는 철새, 연어, 꿀벌, 바닷가재 같은 이동성 생물이 계절에 따라 적당한 서식지를 찾아갈 때 일대 혼란을 겪어 생존



에 큰위협을 받는다.

한편 지구 자기장은 태양풍과 우주 방사선에 포함된 고에너지 대전입자를 양극지방으로 유도해 차단하는 역할을 한다. 극지방에서만 관찰되는 오로라 현상도 우주공간에서 지구로 날아온 고에너지 대전입자가 대기와 충돌하면서 발생하는 현상이다.

그런데 지구 자기장이 역전되기 직전, 거의 붕괴돼 있는 상태에선 방패막이 역할을 제대로 할 수 없다. 따라서 대부분의 생물이 방사선에 그대로 노출된다. 식물은 이로 인해 고사 위기를 맞게되고 동물들 역시 피부암 같은 각종 암의 발생률이 증가해 멸종 위기에까지 내몰릴 수 있다. 우주공간에서 날아온 고에너지 입자는 성층권에 있는 오존층도 파괴한다. 또한 지구에 쏟아지는 고에너지 입자가 만들어내는 강한 전자기파의 영향으로 대부분의 무선통신기기가 제대로 작동하지 않으며 전력시스템(이른바 변압기)에 심각한 영향을 미쳐 전기에너지를 이용하지 못할 수도 있다.

**문제 3 철새의 이동과 관련해 <보기>의 찌르레기에 대한 연구는 제시문 (가)의 관점과는 상이한 측면이 있다. <보기>의 가설을 검증하기 위해 어떤 탐구과정을 거쳐야 할지 서술하시오.**

<보기> 1949년 그라머는 독일에 있는 막스 플랑크 협회의 행동생리학 부문 연구소에서 철새의 이동에 대해 연구하고 있었다. 그는 집 밖에 있는 새장에서 찌르레기를 키우고 있었는데, 이 찌르레기는 새로운 서식지를 찾아 이동할 시기가 오면 이동할 방향을 향해 쉬지 않고 날개를 퍼덕였다. 그라머는 찌르레기의 이런 행동을 보고 한가지 의문이 생겼다. ‘찌르레기는 어떻게 방향을 알 수 있는 것일까?’

당시의 동물학계에서는 철새가 일정한 방향으로 계속 날아갈 수 있게 하는 능력이 무엇인가 하는 점이 커다란 수수께끼였다. 사람들은 철새가 항상 정확한 방향을 향해 날아가는 모습을 보고, 철새의 몸 속에는 지구 자기장과 비슷한 나침반이 들어 있을 것이라고 생각했다. 그렇지 않고서는 그토록 정확하게 방향을 잡을 수 없다는 얘기다. 하지만 그 나침반이 무엇인지는 누구도 알 수 없었다.

그라머는 찌르레기의 행동을 세밀하게 관찰한 끝에 그 나침반이 다름 아닌 태양이라는 사실을 발견했다. 태양의 위치는 끊임없이 변화한다. 하루에 한바퀴씩 돌고 있으니 24시간에 360°, 즉 6시간에 90°씩 이동하는 셈이다.

찌르레기는 태양의 이동을 계산해 시시각각 변하는 태양의 위치에 따라 날아가는 방향을 맞추고 있었던 것이다. 찌르레기의 이런 행동을 ‘태양 나침반을 이용한 방향 정하기’라고 한다.

### ▶ 전문가 클리닉

<보기>에 이미 그라머의 가설과 결론이 제시돼 있다는 점에 유의하기 바랍니다. 따라서 찌르레기가 태양의 위치를 이용해 방향을 어떻게 인지할 수 있는지에 대해 검증이 가능한 탐구과정을 변인통제에 유의해 설계하면 됩니다.

### ▶ 예시답안

철새가 먹이를 찾는 행동을 이용해 실험을 설계한다. 먼저 찌르레기가 새장의 모양을 이용해 방향을 인식할 수 없도록 완전한 원형 새장을 준비하고 새장 주변에 같은 간격으로 모이통을 설치한다. 이때 모이통의 모양과 크기는 동일해야 하며 모이가 들어 있는지의 여부를 알 수 없도록 덮개를 만든다. 그런 다음 특정 방향의 모이통에만 먹이를 제공해 찌르레기가 특정 방향에서 먹이를

찾을 수 있도록 학습시킨다. 빛이 들어갈 수 없도록 두꺼운 천막으로 덮고 인공조명을 설치한다. 이제 찌르레기는 인공조명을 태양이라고 착각할 것이고 만약 가설대로 태양의 위치 변화를 이용해 방향을 인식한다면 인공조명의 방향을 지표로 삼아 먹이를 찾으려고 시도할 것이다.

예를 들어 서쪽 방향에서 먹이를 먹도록 학습된 찌르레기의 새장 서쪽에 인공조명을 설치하고 아침이 되면 인공조명을 켜는다. 찌르레기가 인공조명의 방향을 동쪽으로 인식하고 빛의 반대방향(실제로는 동쪽방향)에서 먹이를 찾는 행동을 보인다면 가설은 검증된다. 반면에 인공조명의 방향과는 상관없이 서쪽 모이통에서 먹이를 찾는데 성공한다면 가설은 기각된다.

## 2007년 05월호 - 물리 면접구술고사 완벽가이드

깊은 바다에서 살아남으려면

다음 제시문을 읽고 물음에 답하라.

수중환경은 우리가 생활하는 환경과 많이 다르다. 수심 10m마다 1기압씩 상승하는 압력이 자유로운 활동을 크게 방해하며, 공기보다 열전도율이 커서 체온을 유지하기도 어렵다. 이 외에도 소리의 전달, 색깔 변화, 부력, 무중력 현상 등에서 수중환경은 차이점을 보인다.

1기압은  $1\text{Kg중}/\text{cm}^2$ 으로 가로, 세로 1cm인 평면 위에 1Kg의 무게가 가해지는 것을 뜻한다. 현재까지 수립된 세계 최고 잠수기록은 686m인데, 이것은 인체의 체표면적  $1\text{cm}^2$ 마다 약 68.6kg의 무게, 우리 몸 전체에는 약 2200톤의 무게가 얹혀 있는 상태와 같다.

전투용 잠수함도 수심이 400m를 넘으면 수압에 의해 찌그러지는데 근육, 혈액, 뼈, 피부 등으로 구성된 인간이 수백m의 수심에서 찌그러지지 않고 생존할 수 있는 이유는 인간의 몸이 대부분 액체로 구성되어 있기 때문이다. 압력이 증가할 때 기체는 부피변화를 일으키지만 액체는 부피가 변화하지 않는다.

그러나 인체 중 허파, 코, 귀 등 공기를 함유한 부위는 찌그러질 수 있다.

이런 현상을 방지하려면 인체 주변의 압력이 높아질 때 공기를 함유한 부분의 압력을 주위 압력과 같게 만들어야 한다. 이를 위해 잠수부는 수심이 깊어질수록 더욱 높은 압력의 기체를 호흡하게 된다. 스쿠버 잠수장치는 자동으로 수압과 같은 압력의 기체가 공급되도록 만들어져 있다. 그렇지 못하면 폐 등 공기를 가지고 있는 신체 부위는 찌그러져 손상을 입게 된다.

수중에서 물안경을 착용하고 물체를 보면 정도 가까워 보이고 정도 더 커 보이며, 육상과 달리 그림자 현상이 미약하다. 또한 수심에 따라 물체의 색깔이 다르게 보인다. 수심 약 6.5m 이상에서는 물체가 붉게 보이지 않는다. 예를 들면 붉은색 잠수복, 붉은색 불가사리 등이 10m보다 깊은 수심에서는 붉게 보이지 않는다. 수심 12m부터는 주황색이, 24m부터는 노란색이 다른 색깔로 보이며, 점차 녹색 계통의 색깔로 보인다.

수중에서 모든 물체는 부력을 갖는다. 어떤 물체를 물이 가득 담긴 통 속에 담으면 그 물체의 부피만큼 물이 넘치는데, 넘친 물의 무게와 물체의 무게를 비교해 물의 무게가 무거우면 그 물체는 뜨고(양성부력), 물의 무게가 가벼우면 그 물체는 가라앉는다(음성부력). 예를 들어 넘친 물보다 무거운 납덩어리는 가라앉고, 가벼운 나무토막은 뜨게 된다. 사람의 몸은 호흡에 따라 부피가 달라진다. 숨을 내쉴 때는 음성부력이 돼 가라앉는다. 반대로 숨을 깊게 들이 마시면 가슴이 부풀어 더 많은 물을 물통 밖으로 넘치게 할 수 있다.

한편 스쿠버 다이버가 잠수복을 입고 공기통을 휴대하고 물 속에서 활동할 때는 음성부력을 유지하기 위해 납덩이 무게추를 착용하는데, 수심이 깊으면 잠수복이 수압으로 얹아져 음성부력이 더 심해진다. 또 공기통의 공기가 소모되면서 잠수장비가 가벼워지면 양성부력화로 위로 떠오르는 현상이 생겨 수중활동에 제약을 받으며, 부주의로 납벨트가 몸에서 풀리거나 구명대가 부풀어 오르면 양성부력이 일어나 수면으로 급속히 떠오르게 된다. 이때 잠수자가 당황해 호흡을 멈추면 허파 파열증과 그에 따른 치명적 신체이상을 일으킬 수 있다.

문제 1 제시문의 밑줄 친 부분에 나타난 수중환경의 특성을 물리적 관점에서 설명해 보라.

### ▶ 전문가 클리닉

물 속에서 물안경을 끼고 사물을 바라보면 공기 중보다 물체가 더 크고 가까이 있는 것처럼 보이며, 물체의 색깔이 수심에 따라 다르게 보입니다. 이런 현상을 설명할 수 있는 물리적 원리를 제시하는 문제입니다.

### ▶ 예시답안

물의 굴절률은 공기의 굴절률보다 대략 1.3배 크다. 공기 중에서 물 속에 있는 물체를 보면 물체가 원래 깊이보다  $\frac{3}{4}$ 배 가까이 있는 것처럼 보인다. 이는 물체에서 반사된 빛이 수면 밖으로 나오면서 굴절되는데, 관측자는 굴절을 인지하지 못하고 이 광선을 실제보다 얕은 깊이에서 있는 물체에서 직진한 빛으로 인지하기 때문이다. 마찬가지로 빛의 굴절현상에 의해 물체 크기도 원래 크기보다  $\frac{4}{3}$ 배 가량 더 크게 보인다.

또한 물분자는 적외선의 진동수에 공명하기 때문에 적외선을 흡수하며 가시광선의 빨간색 빛에 해당하는 진동수에도 어느 정도 공명하므로 빨간색 빛은 물 속으로 진행할 때 점차 물에 흡수된다.

그 결과 육상에서 빨간색이었던 물체가 더 이상 빨갛게 보이지 않는다. 또한 빨간색 빛의 보색은 청록색이므로 깊은 곳에서는 모든 사물이 청록색으로 보인다.

문제 2 잠수병은 물 속에 깊이 잠수했다가 수면 위로 올라올 때처럼 압력이 높은 곳에서 낮은 곳으로 갑자기 이동할 때 생기는 병이다. 대표적인 잠수병으로는 기체색전증과 감압병이 있다.

기체색전증은 수중에서 호흡한 공기가 물 위로 올라올 때 팽창해 폐가 파열되고 폐의 모세혈관에 기포가 발생하는 병이다. 이 기포가 폐정맥에서 좌심방을 거쳐 대동맥을 따라 흐르다가 뇌로 통하는 경동맥을 막아 뇌동맥 기체색전증을 발생시킨다.

깊은 바다 속은 수압이 매우 높기 때문에 호흡을 통해 몸속으로 들어간 질소기체가 체외로 잘 빠져나가지 못하고 혈액 속에 녹게 된다. 그러다 수면 위로 빠르게 올라오면 체내에 녹아 있던 질소기체가 갑작스럽게 기포를 만들면서 혈액 속을 돌아다니게 된다. 이것이 몸에 통증을 유발하는데 이 병을 '감압병'이라 한다.

기체색전증이나 감압병과 관계된 과학법칙을 제시하고 잠수부가 이런 잠수병에 걸리지 않기 위해 어떤 조치를 취해야 할지 서술하라.

### ▶ 전문가 클리닉

대표적인 잠수병인 기체색전증이나 감압병과 관계된 과학법칙을 제시하고 잠수병에 걸리지 않기 위한 방법을 서술하는 문제입니다. 두 잠수병 모두 물 위로 올라오는 과정에서 수압이 급격히 낮아지는 경우에 나타날 수 있다는 점에 착안해 답안을 작성하면 됩니다.

### ▶ 예시답안

보일의 법칙에 의하면 일정한 온도에서 기체의 압력과 부피는 서로 반비례한다.

따라서 수심이 깊은 곳에서 호흡을 통해 흡입한 압축된 공기는 물 위로 올라오는 과정에서 수압이 낮아지면서 팽창하게 된다. 이로 인해 폐가 파열되면 모세혈관에 발생한 기포가 혈관을 막는 기체색전증이 발생한다. 이를 방지하려면 잠수 중 또는 상승하는 도중에는 숨을 멈추지 말고 반드시 정상호흡을 하면서 천천히 상승해야 한다. 그리고 산소가 떨어져 급히 상승해야 할 때는 폐 속에서 팽창하는 공기가 잘 배출되도록 고개를 뒤로 젖혀 기도를 열어 주고 표면까지 지속적으로 공기를 내쉬면서 상승해야 한다.

한편 헨리의 법칙에 의하면 일정한 온도에서 기체의 용해도는 압력에 비례한다. 잠수를 한 상태에

서는 인체가 받는 압력이 대기압보다 높기 때문에 질소가 공기 중에 포함된 비율보다 높게 몸 속에 녹게 된다. 그러다 물 위로 올라오면서 압력이 낮아짐에 따라 질소가 빠져나가는데, 이때 질소가 빠져나갈 시간을 충분히 주지 않고 갑자기 물 위로 나오면 기체 상태의 질소가 혈액에 축적돼 감압병 증상을 일으킨다. 조직이나 혈액 속에 발생한 질소기체가 몸 밖으로 배출될 수 있도록 천천히 올라와야 하며 이를 위해 올라오는 도중 여러 번에 걸쳐 수분씩 정지해야 한다. 만약 잠수병에 걸렸다면 곧바로 가까운 고압산소치료시설에 가서 치료를 받아야 한다.

문제 3 공기 중에서 눈으로 들어온 빛은 먼저 각막을 통과하면서 1차 굴절되고 수정체를 통과하면서 다시 굴절돼 망막에 상을 맺는다. 각막을 통과할 때 굴절이 일어나는 이유는 공기와 각막 간 빛의 굴절률이 다르기 때문이다(공기는 1, 각막은 1.376). 수중에서는 공기-각막 경계면의 소실로 시력이 심하게 감소되므로 물 속에서 맨눈으로 물체를 보면 아주 흐리게 보인다. 따라서 스쿠버나 해녀들은 수경을 착용해 수중시각을 향상시킨다. 그러나 수경을 착용한다면 수심이 깊은 곳에서 결막출혈이 발생할 수 있다.

- 1) 물의 굴절률이 약 1.33이라는 점을 고려해 수중에서 어떤 시각이상 현상이 나타날지 설명하라. 그리고 수경을 착용한다면 이런 시각이상 현상이 어떻게 보정될 수 있는지 설명하라.
- 2) 수심이 깊은 환경에서 결막출혈을 방지할 수 있는 수경을 고안해 보라.

#### ▶ 전문가 클리닉

- 1) 번 문제는 빛이 굴절하는 원리와 굴절률의 의미, 그리고 시각이 성립하는 과정에 대한 전반적인 이해수준을 판단하는 문제입니다. 문제에서 제시되는 굴절률은 절대굴절률을 의미하며 경계면에서 굴절률의 차이가 클수록 빛이 많이 굴절한다는 사실을 시각 형성 과정에 적용하면 됩니다.
- 2)번은 문제상황을 제시하고 이를 해결하기위한 방법을 고안할 것을 요구하는 문제입니다. 이런 문제를 해결하려면 제시된 문제상황의 원인을 먼저 파악해야 합니다. 수심이 깊은 환경에서 수경을 착용하고 있을 때 결막출혈이 일어나는 원인을 추론해 보고 이를 토대로 해결책을 제시하기 바랍니다.

#### ▶ 예시답안

- 1) 각막을 통과할 때 굴절이 일어나는 이유는 공기와 각막 간 빛의 굴절률이 다르기 때문이다(공기는 1, 각막은 1.376). 그러나 물의 굴절률은 1.33으로서 각막과 큰 차이가 없으므로 물 속에서 눈으로 들어오는 빛은 각막을 통과할 때 크게 굴절되지 않는다. 따라서 눈으로 들어오는 빛은 수정체에 의해서만 굴절되므로 망막 뒤쪽에 상이 맺어지는 원시 현상이 나타나 가까운 물체가 매우 흐리게 보인다. 그러나 수경을 착용하면 각막이 수정내공기와 접하게 된다. 즉 공기-각막 경계면에서 굴절효과가 되살아나 망막에 초점이 형성되므로 물체가 명확히 보인다.
- 2) 결막 출혈이 일어나는 이유는 수압에 의해 신체가 압박됨에 따라 혈압을 비롯한 체내 정수압이 모두 증가하기 때문인데, 눈에 분포된 혈관내 정수압이 수정내 공기압보다 크게 높으면 혈관 파열이 일어날 수 있다. 따라서 결막 출혈을 방지하려면 수정 내 공기압을 높여 안구에 분포한 혈관의 혈압과 수정내 공기압이 평형을 이룰 수 있도록 해야 한다.  
예를 들어 수경에 고무주머니를 달아 잠수할 때 수압에 의해 고무주머니가 압착되고 이때 압착된 공기가 수정 내로 들어갈 수 있도록 한다면 안구 내외에 압력평형이 일어나 출혈을 방지할 수 있다. 또 눈만 덮는 것이 아니라 코까지 덮는 수경 사용도 해결책이 될 수 있다. 이때 수정 내 공기압력은 기도를 통해 폐 내의 공기압력과 평형을 이루므로 잠수를 하면 수압에 의해 폐가 압착되면서 수정 내 기압이 동시에 상승해 결막출혈을 방지할 수 있다.

## 2007년 06월호 - 물리 면접구술고사 완벽가이드

갈릴레오의 '대화' vs. 뉴턴의 '프린키피아'

### 제시문 다음을 읽고 물음에 답하라

(가) 살비아티:자네의 주장을 보면 배가 가만히 서 있을 때 돌을 돛대 꼭대기에서 떨어뜨리면 돌이 돛대 밑동에 떨어지지만, 배가 움직일 때 떨어뜨리면 거기에서 멀리 떨어진 지점에 떨어진다고 했네. 역으로 돌을 떨어뜨려 그것이 돛대 밑동에 떨어지면 배가 가만히 있고, 멀찍한 지점에 떨어지면 배가 움직이고 있음을 알 수 있다고 했어. 배에서 일어나는 일은 지구에 대해서도 마찬가지로 성립하므로 탑에서 돌을 떨어뜨렸을 때 그것이 탑 바로 아래에 떨어지는 모습을 보면 지구가 움직이지 않음을 알 수 있지. 이것이 자네의 주장이지?

심플리치오:정확히 맞아. 아주 짤막하고 알기 쉽게 설명했네. 살비아티:그렇다면 말이야. 만약에 배가 빨리 움직이고 있을 때 돛대 꼭대기에서 떨어뜨린 돌이 정지해 있는 배에서 떨어뜨렸을 때와 같은 지점에 떨어진다면, 돌이 떨어지는 모습을 가지고 배가 움직이는지 아니면 가만히 있는지 판단할 수 있겠나? 심플리치오:절대로 판단할 수 없지. 그건 마치 어떤 사람이 잠을 자는지, 깨어 있는지 맥을 짚어 판단하려는 태도와 비슷하다네. 맥은 늘 뛰니까 그것을 가지고 판단할 수는 없지.

살비아티:잘 알겠네. 그런데 자네는 실제로 배에 올라가 이 실험을 해 봤나? 심플리치오:해 본 적은 없어. 하지만 나는 이 실험을 인용한 권위자들이 이걸 엄밀하게 관찰했을 거라고 믿어. 게다가 다르게 나올 이유를 정확하게 알고 있으니 의심할 여지가 없지.

살비아티:자네 자신을 보면 그 권위자들이 실험을 하지 않고 이것을 예시했을 가능성이 있음을 알 수 있어. 자네는 실제로 해 보지 않고 확실한 걸로 생각하고, 그 사람들의 언명을 굳게 믿고 있잖아? 그 권위자들도 아마 그런 식이었을 거야. 아니, 그런 식이었던 게 틀림없어. 다들 그들의 전임자를 믿고 기대었기에 거슬러 올라가 봐도 누구 한 명 실제로 실험을 해 본 사람이 없어. 실제로 실험을 해 보면 책에 써 놓은 내용과 반대가 됨을 알 거야.

돌은 늘 갑판의 같은 지점에 떨어져. 배가 가만히 있든 어떤 속력으로 움직이든 늘 마찬가지로. 배에 대해 성립하는 성질은 지구에 대해서도 마찬가지로 성립한다고 했으므로 탑 꼭대기에서 떨어뜨린 공이 바로 밑으로 떨어진다고 하더라도 그걸 갖고 지구가 가만히 있는지 아니면 움직이는지 추론할 수는 없네.

-‘대화’, 갈릴레오 갈릴레이 지음

(나) 제 1법칙은 물질 입자가 다른 입자와 충돌해 그 상태가 변화되지 않는 이상 항상 동일한 상태를 유지하려 하는 성질을 뜻한다. 즉 일정한 크기를 갖는 어떤 입자는 다른 입자에 의해 쪼개지지 않는 이상 더 작아지지 않는다. 또 어떤 입자가 둥글거나 모났다면 이 입자는 다른 입자에 의해 강요되지 않는 한 그 모양을 바꾸지 않는다. 이 입자가 어떤 위치에 정지해 있다면 다른 입자에 의해 밀리지 않는 이상 그 자리에 머무른다. 마지막으로 이 입자가 일단 움직이기 시작하면 다른 입자가 그것을 멈추게 하거나 늦추지 않는 이상 항상 같은 힘으로 진행해 간다. (중략)

내가 제 2법칙으로 제시하는 것은 다음과 같다. 즉 어떤 물체가 다른 물체를 밀고 있을 때 미

는 물체는 자신이 잃어버리는 만큼의 양을 제외한 어떤 운동도 밀리는 물체에 전해 줄 수 없다. 또 미는 물체가 밀리는 물체로부터 운동을 빼앗는다면 스스로 운동을 정확히 그만큼 증가시킨다. 제 1법칙과 함께 이런 법칙은 한 물체가 다른 물체에 의해 밀리거나 저지되면서 운동이 시작되거나 정지되는 모든 관찰 경험과 잘 부합된다. 왜냐하면 제 1법칙 가정을 통해 많은 학자가 빠져들었던 어려움으로부터 벗어날 수 있게 되는데, 이런 어려움은 사람의 손을 떠나 던져진 돌이 얼마 동안 계속 앞으로 움직이는 이유를 설명하지 못했던 것과 같다.

—‘세계’, 르네 데카르트 지음

(다)법칙 1. 모든 물체는 그것에 가해진 힘에 의해 그 상태가 변화되지 않는 한 정지 또는 직선 등속운동을 계속한다.

법칙 2. 운동의 변화는 가해진 힘에 비례하고 그 힘이 작용한 직선 방향에 따라 일어난다.

법칙 3. 모든 작용에 대해 그 크기가 같고 방향은 반대인 반작용이 항상 존재한다. 다시 말해서로 작용하는 두 물체의 상호작용의 크기는 항상 똑같고 그 방향은 반대다.

—‘자연철학의 수학적 원리’(프린키피아), 아이작 뉴턴 지음

문제 1 제시문 (가)에 밑줄 친 내용을 제시문 (다)의 법칙 중 하나를 이용해 비판적 관점에서 검토하십시오.

### ▶ 전문가 클리닉

살비아티의 주장은 떨어지는 돌의 낙하지점은 배의 원래 운동 상태와 관계없이 동일하다는 점입니다. 관성의 법칙을 이용해 설명하기 바랍니다.

### ▶ 예시답안

살비아티는 배가 본래 정지해 있든 운동하고 있든 상관없이 아래로 떨어지는 돌의 낙하지점은 동일하다고 주장한다.

제시문 (다)의 법칙 1, 즉 ‘관성의 법칙’에 의하면 물체는 외부에서 힘이 가해지지 않는 한 현재의 운동 상태를 유지하려 한다.

따라서 낙하하는 동안 돌은 배 위에서 떨어뜨리는 순간 배의 속도와 동일한 속도로 전진하면서 동시에 낙하한다. 만일 배가 정지해 있거나 등속운동을 하고 있다면 배가 나아가는 속도와 돌이 낙하하는 동안의 전진 속도가 동일하므로 배 위의 관측자가 볼 때 돌은 연직 방향으로 곧장 낙하하는 것처럼 보인다.

하지만 배가 앞으로 가속되는 경우에는 배의 속도가 돌이 낙하하면서 전진하는 속도보다 더 빠르므로 배 위의 관측자가 볼 때 돌은 떨어뜨린 지점을 기준으로 뒤쪽에 떨어진다. 같은 이치로 배가 감속될 땐 떨어뜨린 지점을 기준으로 앞쪽에 떨어진다.

살비아티는 관성의 법칙을 바탕으로 돌이 낙하하는 동안 낙하를 시작한 순간의 배와 동일한 속도로 전진한다는 원리를 적용했다. 그렇지만 배가 가속운동을 할 때는 등속운동하는 경우와는 돌의 낙하지점이 다르다는 사실을 놓치고 있다.

문제 2 제시문 (나)의 제 2법칙과 제시문 (다)의 법칙 3은 동일한 현상에 대해 본질적으로 동등한 지위를 갖는다. 이 두 법칙을 이용해 <보기>의 물음에 대한 두 가지의 해석을 시도해 보시오.

<보기> 질량이 60Kg인 사람이 질량 10Kg인 공을 들고 마찰을 무시할 수 있는 얼음판 위에 서 있다. 만일 이 사람이 들고 있던 공을 앞으로 던지면 사람은 공이 날아가는 방향과 반대 방향으로 운동한다. 공이 앞으로 6m 날아가는 동안 사람은 몇m 이동하겠는가?

### ▶ 전문가 클리닉

제시문 (나)의 제 2법칙은 ‘운동량 보존의 법칙’이고 제시문 (다)의 법칙 3은 ‘작용-반작용의 법칙’입니다. 동일한 현상을 서로 다른 관점에서 해석해 보고 이를 통해 두 법칙이 본질적으로 동등하다는 사실을 이해할 수 있습니다.

### ▶ 예시답안

제시문 (나)의 제 2법칙은 ‘운동량 보존의 법칙’으로, 외력이 가해지지 않는 한 운동량의 합은 항상 일정하게 유지된다는 법칙이다.

<보기>의 현상을 운동량 보존의 관점에서 해석해 보면 일단 사람이 공을 던지기 전에 사람과 공의 운동량 합은 0이다. 사람이 공을 던지는 과정에서 사람과 공 사이의 상호작용 이외의 힘, 즉 외력이 작용하지 않으므로 사람과 공의 운동량 합은 일정하게 보존된다. 따라서 공을 던진 뒤 사람과 공의 운동량 합도 0이어야 하므로 공의 운동량과 사람의 운동량은 크기는 같고 방향이 반대가 된다.

그리고 사람과 공의 질량이 6:1이므로 분리된 뒤 사람과 공의 속도 비는 1:6이 돼야 한다. 따라서 같은 시간 동안 사람과 공의 이동거리 비도 1:6이어야 하므로 공이 6m 날아가는 동안 사람은 1m 이동한다.

제시문 (다)의 법칙 3은 ‘작용-반작용의 법칙’이다. 모든 힘은 쌍으로 작용하며 상호작용하는 두 힘은 크기가 같고 방향은 반대다. 사람이 공을 던질 때 공을 미는 힘과 공이 사람을 미는 힘은 작용-반작용의 관계에 있다. 따라서 사람이 공을 미는 힘과 공이 사람을 미는 힘의 크기는 같다.

뉴턴의 운동 제 2법칙( $F=ma$ )에 의해 힘의 크기가 동일하면 질량과 가속도는 서로 반비례하므로 사람의 가속도와 공의 가속도는 1:6이다. 따라서 공이 던져진 뒤 사람과 공의 이동속력 비는 1:6이며 같은 시간 동안 이동거리 비도 1:6이다.

문제 3 갈릴레오는 자신의 저서 ‘대화’에서 제시문 (가)와 같은 대화 형식의 논증을 통해 지구가 자전한다는 사실을 증명했다. 실제로 지구에 있는 관측자는 지구 자전을 직접 느끼지 못하지만 몇몇 현상을 통해 지구가 자전하고 있다는 사실을 알 수 있다. <보기>는 지구 자전 때문에 나타나는 현상이다. 이 현상을 제시문 (다)를 참조해 설명하시오.

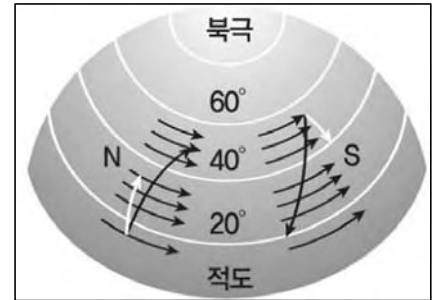
<보기> 전향력은 프랑스의 공학자 코리올리가 탄도학을 연구하면서 밝힌 것인데, 지구의 자전 때문에 생기는 관성력으로 실제로는 존재하지 않는 힘이다. 우리 생활 속에서도 종종 전향력을 경험할 때가 있다. 예를 들면 여름철 적도지방에서 발생한 태풍은 북쪽으로 이동하면서 점차 오른쪽으로 휘다. 이것은 전향력이 북반구에서 진행방향의 오른쪽으로 나타나기 때문이다.

또 태풍(저기압)의 중심부 주위를 공기가 회전하고 있는데, 북반구에서는 시계 반대방향으로 회전하고 남반구에서는 시계 방향으로 회전한다. 회오리바람의 회전 방향을 살펴보면 항상 북반구에서는 시계 반대방향으로, 남반구에서는 시계방향으로 돌고 있는 현상을 관찰할 수 있다.



## ▶ 전문가 클리닉

지구 자전에 의해 나타나는 현상 가운데 하나인 전향력의 원리를 설명하는 문제입니다. 운동의 상대성과 관성의 개념을 이용해 설명하면 됩니다.



## ▶ 예시답안

만약 지구의 북극에서 남쪽을 향해 대포를 발사한다면 지구는 항상 동쪽으로 자전하고 있으므로 대포를 쏜 북극에서 봤을 때 약간 오른쪽으로 비껴 떨어진다. 이 현상을 지구 밖 우주공간에서 관찰한다면 포탄은 연직 방향의 중력 이외의 어떤 힘도 받지 않으므로 대포의 포탄은 정확히 남쪽으로 날아갔으나 지구가 동쪽으로 자전하기 때문에 약간 오른쪽으로 치우쳤다고 생각하게 된다.

하지만 지구 위에서 관찰한다면 포탄이 마치 어떤 힘을 받아 휜 것처럼 느껴진다.

이처럼 전향력은 지구 자전 때문에 나타나는 현상으로 역학적인 힘으로서 실재하지는 않는다. 단지 지표상의 관측자가 물체의 겉보기 이동경로를 설명하기 위해 도입한 가상의 힘이다.

이는 위도에 따른 자전 속도의 차이에 의해 비롯된다고 할 수 있다. 특정 위도에서 발사한 포탄은 ‘지면에 대한 발사 속도’ 성분과 ‘지면의 자전 속도’ 성분을 모두 갖는다. 이때 포탄이 운동하면서 위도가 달라지면 지면의 자전 속도와 포탄의 발사 순간에 갖게 된 자전 속도 성분 사이에 차이가 발생해 지구가 자전하지 않을 때와는 다른 경로로 이동한다.

정리하면 전향력은 이동경로 차이를 설명하기 위한 힘일 뿐 보통의 힘처럼 속도를 변화시키지 않는다. 또 북반구에서는 진행방향의 오른쪽으로 작용하고 남반구에서는 진행방향의 왼쪽으로 작용하며, 그 크기는 극에서 가장 강하고 적도에서 0이다.

## 2007년 07월호 - 물리 면접구술고사 완벽가이드

스카이다이버에 작용하는 운동법칙

제시문\_다음을 읽고 물음에 답하라.

(가) 빠르게 달리는 차에서 창밖으로 손을 내밀면 유체저항을 확인할 수 있다. 유체저항력은 유체(기체나 액체) 속을 움직이는 물체에 작용하는 힘이다. 움직이는 물체는 유체를 바깥쪽으로 밀어내기 위해 유체에 힘을 가한다. 뉴턴의 제 3법칙에 따라 유체는 크기가 같고 방향은 반대인 힘으로 물체를 뒤로 민다. 물체에 작용하는 유체저항력의 방향은 항상 유체에 대한 물체의 상대속도 방향과 반대다.

일반적으로 유체저항력은 유체를 통과하는 물체의 속도에 따라 증가한다. 이것은 속도에 대해 무관한 운동마찰력과 대조적인 특징이라고 볼 수 있다. 속도가 느리다면 유체저항력  $f$ 는 근사적으로 물체의 속도  $v$ 에 비례하며  $f=kv$ 로 표현할 수 있다.

여기서  $k$ 는 물체의 모양과 크기, 유체의 특성에 의존하는 비례상수다. 라켓으로 테니스공을 쳤을 때처럼 빠른 속도라면 공기를 통과하는 운동에서 유체저항력은  $v$ 보다는 근사적으로  $v^2$ 에 비례한다. 이것을 공기저항력 또는 간단히 항력이라고 한다. 비행기, 떨어지는 빗방울, 고속으로 주행하는 자동차는 모두 공기저항력을 받는다. 이 경우엔 공기저항력이  $f=Dv^2$ 으로 표현된다. 공기저항력은  $v^2$ 에 의존하기 때문에 속도가 증가함에 따라 급격하게 증가한다.  $D$ 값은 물체의 모양과 크기, 공기의 밀도에 의존한다.

유체저항력 때문에 유체 속으로 떨어지는 물체는 일정한 가속도를 갖지 않는다. 그래서 등가속도 운동방정식은 사용할 수 없다. 그 대신에 뉴턴의 제 2법칙을 이용할 수 있다. 만약 연못의 수면 위에 돌을 가만히 놓으면 돌은 바닥까지 낙하할 것이다. 이때 유체저항력은  $f=kv$ 로 주어진다. 돌의 질량을  $m$ 이라 하고 뉴턴 제 2법칙을 적용하면  $mg-kv=ma$ 가 된다. 돌이 움직이기 시작할 때  $v=0$ , 저항력=0이면 초기가속도는  $a=g$ 다. 돌의 속도가 증가함에 따라 저항력의 크기와 무게가 같아질 때까지 저항력도 증가한다. 그 순간에는  $mg-kv=0$ 이며 가속도는 0이고 속도는 증가하지 않는다. 이때의 속도  $v_t$ 를 종단속도라고 하며  $mg-kv_t=0$ 로부터  $v_t=mg/k$ 가 된다. 물론 공기 중에서 고속으로 낙하해 유체저항력이  $v^2$ 에 비례하는 경우에는 종단속도  $v_t=\sqrt{mg/D}$ 로 표현된다.

- ‘대학물리학’, 휴 영 지음

(나) 빗방울이 지상에 도달할 때 속도는 약 10m/s 정도다. 속도가 느린 이유는 빗방울이 공기 중에 의한 부력과 저항력을 받기 때문인데, 이때 부력의 크기는 무시할 정도로 작다. 공기 중에서 낙하하는 빗방울은 낙하속도  $v$ 에 비례하는 저항력  $kv$ ( $k$ 는 구의 반지름과 공기 상태에 따라 변하는 상수)를 받는다. 따라서 부력을 무시하면 빗방울의 운동방정식은 다음과 같다.

$$ma = mg - kv \dots\dots\dots ①$$

빗방울의 속도가 종단속도일 때  $a=0$ 이므로 ①에서  $v_t = \frac{mg}{k} \dots\dots\dots ②$  이다.

①로부터  $a = g - \frac{k}{m}v = -\frac{k}{m}(v - \frac{m}{k}g)$ 이고  $a = \frac{dv}{dt}$ 이므로

$$\frac{dv}{dt} = -\frac{k}{m}(v - \frac{mg}{k}) = -\frac{k}{m}(v - v_t)$$

적분식으로 전환하면  $t=0$ 일 때  $v=0$ 이므로

$$\int_0^v \frac{dv}{v-v_t} = \int_0^t \left(-\frac{k}{m}\right) dt, \ln\left(\frac{v-v_t}{-v_t}\right) = -\frac{k}{m}t$$

$$v-v_t = -v_t e^{-\frac{k}{m}t}, v = v_t(1 - e^{-\frac{k}{m}t}) = \frac{mg}{k}(1 - e^{-\frac{k}{m}t}) \dots\dots\dots ③$$

③을 ①에 대입하면 물체에 작용하는 합력(알짜힘)  $F$ 는 다음과 같다.

$$F = ma = mg e^{-\frac{k}{m}t} \dots\dots\dots ④$$

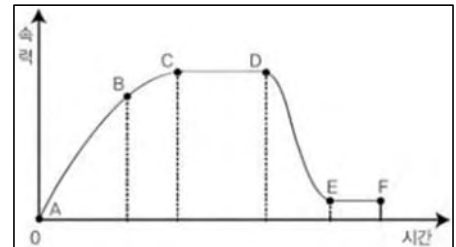
③과 ④에서

$$t=0\text{일 때 } v=0, F=mg$$

$$t=\infty\text{일 때 } v=v_t = \frac{mg}{k}, F=0(a=0)$$

시간이 충분히 지나면  $F=0$ ,  $a=0$ 이고 물체는 종단속도  $v_t = \frac{mg}{k}$ 로 낙하한다.

문제 1. 우측 그래프는 비행기에서 낙하한 스카이다이버가 낙하산을 펴지 않고 낙하하다가 나중에 낙하산을 펴서 지면에 도달할 때까지의 속도 변화를 시간에 따라 나타낸 것이다. 스카이다이버가 속도에 비례하는 공기저항력을 받고 있다고 가정할 때 각 구간의 운동에 대해 제시된 운동법칙을 이용해 설명하시오.



- 물체에 작용하는 모든 힘이 0이면 물체는 정지 또는 등속직선운동을 한다.
- 물체의 가속도는 작용하는 힘에 비례하고 질량에 반비례한다.

### ▶ 전문가 클리닉

공기 중에서 낙하하는 스카이다이버의 운동을 뉴턴의 운동법칙으로 설명하는 문제입니다. 주어진 그래프를 보고 속도가 변화함에 따라 공기저항력이 변하는 이유를 판단해 스카이다이버에 작용하는 합력을 구하고 이를 바탕으로 운동을 설명하면 됩니다.

### ▶ 예시답안

낙하하는 동안 스카이다이버는 속도에 비례하는 공기저항력과 일정한 중력을 받는다.

AB구간과 BC구간에서는 낙하속도가 증가하고 있으므로 공기저항력은 이에 비례해 커진다. 따라서 스카이다이버에 작용하는 합력의 크기는 점점 작아지며 스카이다이버의 낙하가속도도 감소한다. 속도가 증가함에 따라 공기저항력이 중력과 같은 크기가 되면 알짜힘이 0이 돼 더 이상 속도가 증가하지 않는 상태가 되는데, CD구간이 이와 같이 종단속도로 낙하하는 구간이다. 이 구간에서는 관성의 법칙에 따라 운동한다.

한편 스카이다이버가 낙하산을 펴면 공기저항력이 중력보다 커 합력이 운동방향과 반대로 작용해 속도가 감소하는데, 이 구간이 DE에 해당한다. 속도가 감소함에 따라 다시 공기저항력이 감소하고 공기저항력이 중력과 평형을 이루면 다시 한번 등속운동을 하는데, 이는 EF구간에 해당한다. EF구간에서도 역시 관성의 법칙에 따라 운동한다.

문제 2. 물체가 유체의 상대운동을 무시할 수 있을 만큼 빠르게 운동한다면 공기저항력은 속도의 제곱에 비례한다. 다음 조건을 활용해 문제를 해결하십시오.

- 공기 중의 기체 분자는 이상기체이며 탄성충돌을 한다.
- 물체가 매우 빠른 속도로 운동할 때 받는 공기저항력은 물체와 기체 분자의 충돌에 의해 받는 힘이다.
- 두 물체가 충돌시 받는 힘은 뉴턴 2법칙  $F = \frac{\Delta p}{\Delta t}$ 을 이용해 구할 수 있다.

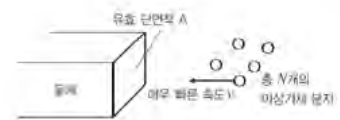
단면적이 A인 물체가 매우 QKfms 속도  $v$ 로 운동하고 있다. 이 물체가 받는 저항력이  $Av^2$ 에 비례함을 보여라. 단 물체의 운동 방향은 단면적에 대해 수직이다.

### ▶ 전문가 클리닉

유체 속에서 유체의 상대운동을 무시할 수 있을 정도로 빠르게 운동하는 물체는 속도 제곱에 비례하는 공기저항력을 받습니다. 이는 운동하는 물체와 기체 분자의 충돌에 의해 발생하는 충격력 때문인데, 이를 정량적으로 계산해보는 문제입니다.

### ▶ 예시답안

- 1) 물체가 아주 빠른 속도로 움직인다고 했으므로 물체에 대한 기체 분자의 상대운동은 무시할 수 있다. 따라서 정지한 물체에 매우 빠른 속도로 움직이는 다수의 기체 분자가 충돌하는 상황이라고 생각하고 충돌에 의해 물체와 기체 분자가 주고받는 힘을 계산할 수 있다.

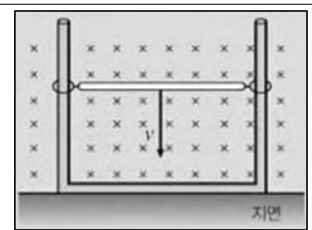


충돌에 유효한 물체의 단면적 A에 대해 N개의 기체 분자(이상기체로 가정하고 탄성 충돌로 이해한다)가  $v$ 의 속도로 물체와 충돌한다고 하자. 기체의 밀도를  $d$ 라 할 때, 기체가  $\Delta t$  동안 끌고 지나간 부피는  $Av\Delta t$ 이고 물체와 충돌한 기체의 총 질량  $M$ 은  $Adv\Delta t$ 다. 이때의 충돌은 완전 탄성 충돌이므로 운동량의 변화량은  $\Delta p = 2Mv = 2(Adv\Delta t)v$ 이고 충돌시 작용한 힘(저항력)  $F$ 는 다음과 같다.

$$F = \frac{\Delta p}{\Delta t} = 2 \frac{(Adv\Delta t)v}{\Delta t} = 2dAv^2 \propto Av^2$$

문제 3. 제시문 (나)에서는 공기저항력을 받는 물체의 운동에 대해 수학적 접근을 시도해 그 결과를 보여주고 있다. 제시문 (나)를 참조해 <보기>의 현상에 대한 물음에 답하십시오.

<보기> 그림과 같이 균일한 자기장  $B$ 가 형성된 공간에 전기저항을 무시할 수 있는 ㄷ자형 도선이 지면에 고정돼 있다. 무게  $w$ , 저항  $R$ , 길이  $l$ 인 고리달린 금속막대를 ㄷ자형 도선에 끼우고 낙하시켰더니 금속막대가 일정한 속도  $v$ 로 낙하했다. 단 도선이 낙하하는 동안 공기의 저항력, 고리와 ㄷ자형 도선 사이의 마찰은 무시한다.



<보기>에서 낙하하는 도선은 결국 종단속도에 도달해 일정한 속도로 운동한다. 이때 종단속도의 크기와 종단속도에 도달하는 시간에 영향을 줄 수 있는 요인에 대해 설명하십시오.

## ▶ 전문가 클리닉

서로 다른 두 물리 현상의 유사성에 대해 파악하는 능력을 평가하는 문제입니다. 제시문 (나)의 빗방울 낙하운동과 <보기>에 주어진 도선의 낙하운동은 얼핏 전혀 다른 현상으로 보이지만 두 현상 모두 중력 외에 속도에 비례하는 공기저항력 또는 자기력을 받고 있다는 공통점이 있습니다. 두 현상을 잘 비교해 종단속도에 영향을 줄 수 있는 요인을 파악하면 됩니다.

## ▶ 예시답안

균일한 자기장  $B$ 에서 자기장의 방향과 수직인 방향으로 속도  $v$ 로 운동하는 길이  $l$ 의 도선에 유도되는 기전력은  $Blv$ 다. 유도기전력에 의해 도선에 흐르는 유도전류의 세기는 옴의 법칙에 따라  $Blv/R$ 이고, 이 유도전류가 자기장 속에서 받는 자기력의 크기는  $B^2 l^2 v/R$  다. 즉 전자기유도에 의한 자기력은 운동속도에 비례하는 셈이다. 물론 방향은 도선의 운동방향과 반대로 작용한다(렌츠의 법칙). 따라서 공기 중에서 저항력을 받으며 낙하하는 빗방울이 받는 공기저항력처럼 속도에 비례하는  $kv$  형태라 할 수 있다.

종단속도  $v_t$ 는  $mg/k$  로 표현될 수 있고 자기력  $B^2 l^2 v/R$ 는  $kv$ 와 같다. 이때 비례상수  $k$ 는  $B^2 l^2/R$ 이므로  $B, l$ 이 클수록  $R$ 이 작을수록 종단속도는 작아진다.

$v = \frac{mg}{k}(1 - e^{-\frac{k}{m}t})$ 에서 종단속도에 도달하는 시간은  $e^{-\frac{k}{m}t}$ 의  $\frac{k}{m}$  항이 결정하는데, 같은 질량이

라면  $k$ 가 클수록 종단속도에 도달하는 시간은 짧다.

따라서  $B, l$ 이 클수록,  $R$ 이 작을수록 종단속도에 도달하는 시간은 짧아진다.

## 2007년 08월호 - 물리 면접구술고사 완벽가이드

### 빛의 이중성

(가) 빛이 작은 에너지 덩어리로 전파된다는 관점은 빛의 파동이론에 정면으로 위배된다. 그러나 빛에 대한 이 두 관점은 모두 실험적으로 지지된다. 파동이론에 따르면, 빛은 파동 형태의 에너지를 연속적으로 퍼뜨리면서 파원으로부터 나온다. 한편 ㉠ 양자이론에 따르면, 빛은 독립된 광자로 돼 있고 광자는 단일 전자에 흡수될 정도로 작다. 양자이론이 빛을 이처럼 입자적으로 묘사하지만 광자에너지를 표현하기 위해서는 여전히 파동이론의 '진동수'개념을 필요로 한다.

어느 이론을 믿어야 하는가. 새로운 실험 자료와의 불일치가 발견될 때마다 과학적 아이디어는 수정되거나 폐기된다. 그런데 이제 처음으로 하나의 lgs상을 설명하기 위해 상반된 이론이 필요한 경우가 등장한다. 이는 하나의 이론이 다른 이론의 근사 격인 상대성이론과 뉴턴 역학의 관계와는 다르다. 빛의 파동이론과 양자이론 사이의 연결은 완전히 다른 그 무엇이다.

이 관계를 이해하기 위해 스크린 상에서 이중슬릿 간섭무늬 형성을 생각해보자. 파동모형에서 스크린 상의 각 점에서 빛의 세기는 전자기파의 전기장( $E$ ) 제곱의 한 주기 평균에 비례한다.

입자모형에서의 세기는  $Nhf$ 에 의존한다. 이때  $f$ 는 진동수,  $N$ 은 스크린의 같은 지점에 단위 시간, 단위 면적당 도달하는 광자의 수다.

세기에 대한 두 설명이 같은 값을 가지려면  $N$ 과  $E^2$ 은 비례해야 한다. 만약  $N$ 이 충분히 크면 스크린에 보통의 이중슬릿 간섭무늬가 보일 것이고 파동모형을 의심할 이유가 없을 것이다. 만약  $N$ 이 충분히 작아 순간마다 하나의 광자만 도달할 정도라면 관측자는 일련의 무질서한 번쩍임만 볼 것이고 이를 통해 양자현상을 본다고 할 것이다. 그러나 관측자가 이 번쩍임을 오랫동안 계속 관찰한다면 번쩍임이 만드는 모양은  $N$ 이 클 때 만드는 모양과 같다. 따라서 관측자는 어떤 특정한 위치와 시간에서 광자를 발견할 확률은 그곳에서 그때의  $E^2$ 에 비례한다고 결론지을 수 있다.

만약 각각의 광자가 파동과 연관돼 있다고 생각한다면, 스크린 위의 한 위치에서 파동의 세기는 광자가 그곳에 도달할 가능성을 결정한다. 슬릿을 통과할 때는 파동처럼 행동하고 스크린과 부딪힐 때는 입자처럼 행동한다. 명백하게 빛은 파동처럼 나아가고 입자처럼 에너지를 흡수하거나 내놓는다. 빛은 이중적 특성을 가진다고 할 수 있다. ㉢ 파동이론과 양자이론은 서로 상보적이다. 각각의 이론만으로는 완전하지 않으며 단지 특정한 현상만 설명할 수 있다. 예전에는 빛이 파동이면서 입자 흐름일 수 있다는 점을 이해하지 못하는 사람들이 많았다. 아인슈타인은 죽기 직전에 "50년 동안 심사숙고했지만 '빛 양자는 무엇인가?'에 대한 해답 근처에도 가지 못했다"라고 평했다.

비록 일상적인 경험으로 설명될 수는 없지만, 빛의 '진정한 본질'은 파동과 입자적 특성을 모두 포함한다. - '현대물리학', 아서 베이지 지음

(나) 1924년 프랑스 물리학자 드브로이는 다음과 같은 자연의 대칭성에 주목했다. 빛은 파동이지만 광자형태로 에너지와 운동량을 물질에 전달한다. 그렇다면 입자다발도 똑같은 특성을 갖지 않을까. 다시 말해 움직이는 전자 또는 다른 입자도 에너지와 운동량을 전달하는 물질파라고 생각할 수는 없을까.

드브로이는 광자의 운동량과 파장의 관계를 나타내는  $p = \frac{h}{\lambda}$ 가 광자뿐만 아니라 전자에도

적용된다고 주장했다. 식  $p = \frac{h}{\lambda}$ 는 파장  $\lambda$ 인 빛에 운동량  $p$ 를 부여하는 관계식이다. 이

식을  $\lambda = \frac{h}{p}$  형태로 바꿔 운동량  $p$ 인 입자에 파장  $\lambda$ 를 부여해 보자. 이렇게 계산한 파장을, 움직이는 입자의 드브로이 파장이라고 부른다. 물질파의 존재에 대한 드브로이의 예측은 벨연구소의 클린턴 데이비슨과 레스터 저머, 그리고 스코틀랜드 애버딘대의 조지 톰슨에 의해 실험적으로 검증됐다. 실험과정은 다음과 같다.

이중슬릿 장치를 이용해 전자를 하나씩 보내서 간섭무늬를 만든다. 실험장치는 광학적 간섭무늬를 보여주기 위한 장치와 거의 비슷하다.

전자 하나가 화면과 충돌하면 빛이 반짝인다. 적은 수의 전자들은 화면의 아무 곳이나 마구잡이로 때리고 있는 것처럼 보인다. 그러나 많은 수의 전자를 보낸 뒤에는 화면에 무늬가 나타나기 시작한다. 이 무늬는 파동간섭에 대해 예견되는 바와 정확히 일치한다. 따라서 각 전자는 물질파의 형태로 실험장치를 통과해 나간다고 해석할 수 있다.

한 슬릿을 통해 진행한 물질파의 일부분이 다른 슬릿을 통해 진행한 부분과 간섭하는 것이다. 이때 이 간섭이 화면의 주어진 위치에 전자가 도달할 확률을 결정한다. 광학적 간섭무늬에서 밝은 부분에는 더 많은 수의 전자가 도달하고, 어두운 부분에는 상대적으로 적은 수의 전자가 도달한다. 비슷한 간섭현상이 양성자, 중성자 그리고 여러 가지 원자를 이용해 입증됐다. 분명 전자나 양성자, 원자, 준자처럼 작은 물체들은 물질파의 형태로 진행한다. 그러나 더 크고 복잡한 물체를 고려하면 물체의 파동성을 더 이상 주장할 수 없다.

문제 1 1887년 헤르츠는 실험 도중 전자파 발생기의 한쪽 금속공에 자외선을 쏘이면 방전이 훨씬 잘 일어난다는 사실을 발견했다. 계속된 연구를 통해 이 현상이 진동수가 충분히 큰 빛에 의해 전자가 방출되기 때문이라고 밝혀졌는데, 이 현상을 ‘광전효과’라 한다. 다음 <보기>는 광전효과의 세 가지 실험결과와 빛의 파동모형이 갖고 있는 설명상의 난점을 보여준다. 제시문 (가)의 밑줄 친 ㉠에 나타난 관점을 이용해 설명하라.

<보기> ① 오차 한계 내에서 빛이 금속 표면에 도달하는 시간과 광전자가 방출되는 시간 사이에는 어떤 시간적 지연도 존재하지 않는다. 그러나 전자기파 에너지는 전 파면에 걸쳐 퍼져왔으므로, 각 전자가 금속을 탈출하기 위해 필요한 에너지를 축적하려면 상당한 시간이 지나야 한다. 실제로 나트륨 표면에서  $10^{-6} \text{W/m}^2$  만큼의 세기를 가진 빛을 흡수하면 측정이 가능할 정도의 광전류가 흐른다. 단일 원자층 깊이에  $1\text{m}^2$ 의 나트륨 표면에는  $10^{19}$ 개의 원자가 포함돼 있다. 그러므로 입사한 빛이 제일 위층에 있는 나트륨 원자에 의해 흡수된다면, 원자 하나하나의 평균  $10^{-25} \text{W}$ 의 에너지를 받고 이 비율의 에너지로 나트륨 표면에 있는 전자를 끌어내기 위해서는 한 달이 넘는 시간이 필요하다.

② 같은 진동수를 갖는 빛은 세기가 강할수록 더 많은 광전자를 방출시키지만 방출된 광전자의 에너지는 모두 같다. 그러나 전자기파 이론에 따르면 빛의 세기가 강할수록 더 큰 광전자 에너지를 갖는다.

③ 진동수가 클수록 광전자는 더 큰 에너지를 갖는다. 또 금속의 특성인 한계진동수 이하의 진동수에서는 전자가 방출되지 않는다. 한계진동수 이상에서 광전자 에너지는 0부터 최대운동 에너지까지의 값을 가지며 최대운동에너지는 진동수에 비례해 증가한다. 이 실험 결과 역시 전자기파 이론으로는 설명되지 않는다. 전자기파 이론에 의하면 광전자는 빛의 진동수와 관계없이 방출돼야 한다.

## ▶ 전문가 클리닉

광전효과의 실험 결과를 빛의 양자모형(입자모형)을 이용해 설명하는 문제입니다.

## ▶ 예시답안

<보기>에 제시된 광전효과의 세 가지 실험 결과는 빛의 파동모형이 아닌 양자모형을 통해 설명할 수 있다.

첫째, 전자기파 이론에서 주장하는 것처럼 에너지는 파면에 걸쳐 퍼져있지 않고 광자에 집중돼 있다. 따라서 광전자 방출이 지연될 이유가 없다. 둘째, 광자에너지는 진동수에 비례하므로 ( $E=hf$ ) 같은 진동수를 갖는 광자에너지는 동일하다. 따라서 단색광의 세기를 증가시키면 금속 표면에 도달하는 광자 수가 증가하므로 광자와 충돌해 방출되는 광전자 수는 늘지만 광자에너지는 증가하지 않는다. 마지막으로 진동수가 증가할수록 광자에너지도 증가한다. 특정 금속에 속한 전자를 떼어내기 위한 최소에너지(일함수)는 일정하므로 전자를 탈출시키기 위해서는 광자에너지가 일함수보다 커야 한다. 따라서 특정값(한계진동수) 이상의 진동수를 갖는 빛이 광전자를 방출시킬 수 있다.

문제 2 다음 그림처럼 레이저 빛을 단일 슬릿에 수직으로 입사시켜 스크린에 도달하게 한 뒤 슬릿 폭(D)을 변화시키며 스크린에 나타난 중앙의 밝은 무늬 폭(S)을 측정했다. 이 실험과 관련한 다음 진술의 타당성을 제시문 (가)의 밑줄 친 ㉞의 관점과 제시문 (나)에 소개된 물질과 이론을 참고해 검토하라.



[진술 1] “<실험 1>의 경우 스크린에 밝고 어두운 무늬가 반복해 선명하게 나타난다.”

[진술 2] “<실험 2>의 결과로 드러난 빛의 본성으로는 광전효과를 설명할 수 없다.”

[진술 3] “레이저 빛 대신에 전자를 이용해 실험한다면 동일한 슬릿에서 전자의 속력이 빠를수록 <실험 1>과 비슷한 결과를 얻을 가능성이 높다.”

## ▶ 전문가 클리닉

파동이론과 양자이론의 상보성, 물질파 이론에 대한 이해를 묻는 문제입니다. <실험 1>의 결과는 빛의 직진성을, <실험 2>의 결과는 빛의 회절현상을 이용해 설명할 수 있습니다.

## ▶ 예시답안

실험 1에서는 슬릿 폭이 감소할수록 중앙무늬 폭이 감소하고 있다. 이는 빛이 슬릿을 통과하면서 거의 회절하지 않고 직진했기 때문에 얻을 수 있는 결과다. 따라서 스크린에 만들어진 무늬를 회절무늬로 판단하기 어려우므로 [진술 1]은 잘못됐다. 반면 실험 2에서는 슬릿 폭이 좁아질수록 중앙무늬 폭이 넓어진다. 이는 슬릿을 통과한 빛의 회절현상을 이용해 설명할 수 있으므로 실험 2에서 드러난 빛의 본성은 파동이다.

빛의 파동이론으로는 광전효과의 실험 결과를 설명할 수 없다. 광전효과의 실험 결과는 오직 빛의 양자이론으로만 설명된다. 따라서 [진술 2]는 옳은 설명이다. 한편 회절현상은 슬릿 폭에 비해 파장이 길수록 잘 일어난다. 물론 전자의 속력이 매우 빠르다면 전자의 물질파장도 비교



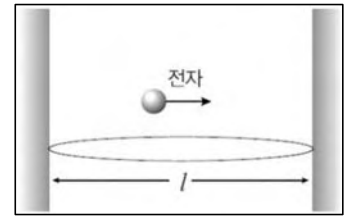
적 작은 값을 가지며 파장이 짧을수록 회절성은 감소한다. 따라서 동일한 폭의 슬릿이라면 전자의 속력이 빠를수록 실험 1에 근접한 결과를 얻을 가능성이 높다는 [진술 3]은 타당하다.

### 추가문제

우측 그림처럼 양쪽이 벽면으로 닫힌 공간에 전자가 수평으로 입사되면 전자는 양쪽 벽면을 왕복운동하며 정상파 형태의 물질파를 만든다.

이때 가능한 물질파 파장은  $\lambda = \frac{2l}{n} (n=1, 2, 3, \dots)$  꼴로 표현할 수 있

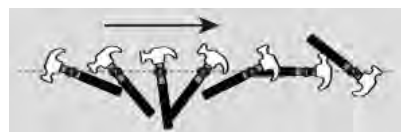
다.  $2l$ 의 물질파장을 지닌 전자에 일정한 진동수를 가진 빛을 비췄더니 전자의 파장이 즉시 원래 값의 절반으로 짧아졌다면 빛의 파장은 얼마겠는가? 양자모형을 이용해 검토하라. 단 광속을  $c$ , 플랑크 상수를  $h$ 라 한다.



## 2007년 09월호 - 물리 면접구술고사 완벽가이드

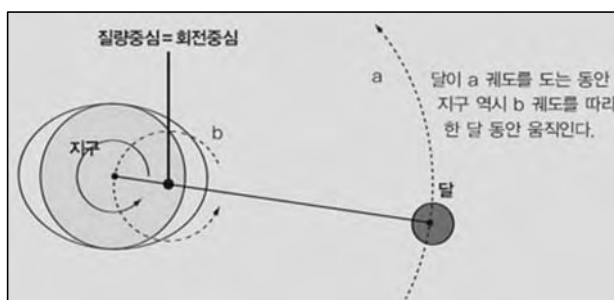
지렛대에 작용하는 힘

(가) 물리학에서 우리는 물체의 운동에 대해 배운다. 우리가 배우는 내용에는 사실 하나의 가정이 암묵적으로 포함된 경우가 많은데, 그것은 물체가 한 점에 위치해 있고 그 물체의 크기는 무시한다는 점이다. 하지만 실제로 우리 주변의 많은 물체는 당연하게도 크기를 갖고 있기 때문에 단 한 점에 위치해 있지 않는다. 따라서 이런 물체를 하나의 입자로 표현할 수 없고, 대신 입자계로 표현한다. 그러면 이렇게 크기를 가진 물체에서는 물리학의 법칙을 어떻게 적용시켜야 할까. 이런 물체의 운동을 주의깊게 관찰하면 대부분의 지점은 복잡한 경로를 그리지만, 어떤 특수한 점은 간단한 경로를 그리는 현상을 볼 수 있다. 아래 그림에서 동그라미 친 지점을 주의깊게 보라. 이 특수한 점을 ‘질량중심’이라고 부른다. 질량중심은 모든 물체에 존재하는 점이지만, 반드시 물체 내부에 존재하는 것은 아니다. 예를 들면 트라이앵글의 질량중심은 금속 내부가 아니라 정삼각형의 무게중심인 빈 공간에 있다. 크기를 가진 물체의 운동을 정확히 기술하기는 쉽지 않다. 하지만 물체를 질량중심에 있는 하나의 입자로 생각한다면 그리 어려운 일도 아니다.



평평한 얼음판 위에서 미끄러지는 장도리의 운동

(나) 지구의 위성인 달이 얼마나 대단한 존재인지 알면 새삼 놀랄 것이다. 화성의 위성 포보스의 반지름은 화성의 1/340 이고 데이모스도 1/557에 불과하다. 태양계에서 가장 큰 위성인 타이탄도 토성의 1/23이며, 덩치 큰 목성도 태양의 겨우 1/10정도일 뿐이다. 그런데 지구와 달을 비교해 보자. 지구의 반지름은  $6.37 \times 10^6 \text{m}$ 이고 달은  $1.74 \times 10^6 \text{m}$ 이다. 즉 달의 반지름은 지구의 1/4이상으로 위성이 아니라 동반 행성이라 불릴 수도 있다. 다행히 지구와 달을 포함한 입자계의 질량중심은 지구 내에 위치하고 있으니, 위성을 가진 모행성으로서의 자존심은 지키고 있는 듯하다. 한편 다음의 표는 지구와 달의 여러 가지 물리량을 비교한 것이다.

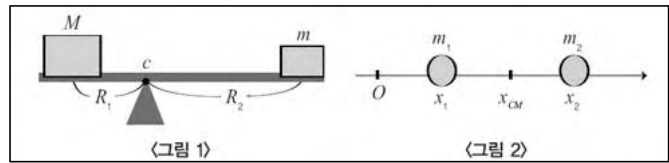


<태양의 역할을 생략했을 때 지구와 달의 운동>

	지구	달	달/지구
질량	$5.97 \times 10^{24} \text{Kg}$	$7.35 \times 10^{22} \text{Kg}$	0.0123
반지름	6370Km	1740Km	0.273
밀도	$5520 \text{Kg/m}^3$	$3350 \text{Kg/m}^3$	0.607
중력가속도	$9.78 \text{m/s}^2$	$1.62 \text{m/s}^2$	0.166
자전주기	1일	27.3일	27.3
지구와 달 사이의 거리	38만4000Km		
만유인력 상수	$6.67 \times 10^{-11} \text{N} \cdot \text{m}^2 / \text{Kg}^2$		

문제 1 일반적으로 물체의 회전효과는 회전팔의 길이(회전축과 힘점의 거리)와 회전팔에 수직하게 작용한 힘의 크기에 비례한다. 다음 <그림 1>과 같이 지렛대 위에 질량이 각각 M, m인 물체가 놓여 있다. 이때 지렛대가 어느 쪽으로도 회전하지 않는 받침점의 위치를 C라 하면 C점에 힘을 가했을 때 M과 m은 회전하지 않고 가해진 힘의 방향으로 운동한다.

질량중심을 모든 질량이 그 점에 모여 있고 외부 힘이 모두 그 점에 작용하는 것처럼 움직이는 특별한 점으로 정의했을 때, C점은 M과 m의 질량중심이 된다. 이와 같은 원리를 이용해 <그림 2>에 주어진 두 물체의 질량중심 좌표를 구하라.



## ▶ 전문가 클리닉

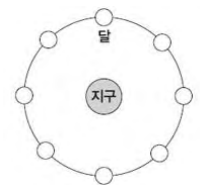
회전 효과의 평형을 이용해 질량중심을 찾는 문제입니다. 질량중심의 정의와 회전운동에서 평형의 의미를 잘 이해하기 바랍니다.

## ▶ 예시답안

위 지렛대에서 M에 작용하는 중력은 전체 시스템을 반시계방향으로 회전시키는 효과를, m에 작용하는 중력은 그 반대 효과를 만들어 낸다. 이때 두 힘에 의한 회전 효과가 평형을 이루면 지렛대는 회전하지 않는다. 주어진 조건으로부터  $MgR_1 = mgR_2$ 이므로  $MR_1 = mR_2$ 가 성립한다. 이를 <그림 2>에 주어진 상황에 적용하면  $m_1(x_{CM} - x_1) = m_2(x_2 - x_{CM})$ 이고, 이를 정리하면 두 물체의 질량중심 좌표  $x_{CM}$ 은  $x_{CM} = (m_1x_1 + m_2x_2) / (m_1 + m_2)$ 이다.

만일 앞 문제에서 두 물체 사이에 작용-반작용 관계의 힘만 작용한다면 두 물체의 운동량은 보존된다. 두 물체의 속도를 각각  $v_1, v_2$ 라 하면  $x_{CM} = (m_1x_1 + m_2x_2) / (m_1 + m_2)$ 을 시간에 대해 미분했을 때  $v_{CM} = (m_1v_1 + m_2v_2) / (m_1 + m_2)$ 가 된다. 이때 두 물체의 운동량 합  $m_1v_1 + m_2v_2$ 는 일정하게 보존되므로 질량중심의 속도는 일정하다. 즉 외력이 작용하지 않는 한 입자계의 질량중심 속도는 항상 일정하게 유지된다.

문제 2. 오른쪽 그림은 우리가 흔히 설명하는 지구를 중심으로 공전하는 달의 궤도를 나타낸 것이다. 운동량 보존의 관점에서 그림을 수정하면 제시문 (나)의 그림과 같은 모델이 됨을 설명하라. 단 태양을 비롯해 다른 천체의 역할은 무시한다.



## ▶ 전문가 클리닉

힘이 작용하는 물체 사이의 운동량 합은 언제나 일정합니다. 문제의 그림에서 지구의 운동량은 항상 0인데, 달은 운동방향이 바뀌므로 운동량이 계속 변하고 있습니다. 즉 두 물체의 운동량 합이 변하는 것입니다. 지구와 달의 운동량 합이 일정하기 위해서는 지구의 운동량 크기가 달과 같고 방향은 반대가 돼야 한다는 점을 지적해야 합니다.

## ▶ 예시답안

태양을 비롯해 다른 천체의 역할을 무시했을 때, 문제의 그림에 나타난 공전 모형에 따르면 지구가 중심에 가만히 정지해 있고 달은 지구의 주위를 일정한 주기로 공전한다. 그리고 달이 지구를 중심으로 등속 원운동할 수 있는 이유는 지구가 달을 잡아당기는 만유인력(또는 중력) 때문이다. 그런데 운동량 보존법칙의 관점에서 보면 문제가 발생한다. 운동량 보존법칙이란 물체 사이에 작용-반작용 관계의 힘만 작용할 때, 물체의 운동량 총합은 힘이 작용하기 전이나 후나 일정함을 뜻한다. 문제에서 지구의 운동량은 항상 0이다. 달의 운동량은 크기가 변하지는

않지만 방향이 계속 변하고 있다. 따라서 지구와 달의 운동량 합은 일정하지 않고 계속 변하고 있으며, 이것은 운동량 보존법칙에 위배된다.

문제의 모형을 어떻게 수정하면 운동량의 총 합이 항상 0이 돼 운동량 보존법칙에 위배되지 않을까. 달의 운동량이 변하는 이유는 달에 충격량이 작용하기 때문이다. 충격량만큼 달의 운동량은 변한다. 힘이란 작용-반작용의 성질이 있으므로 ‘힘×시간’인 충격량은 달뿐만 아니라 지구에도 같은 크기, 반대 방향으로 작용한다. 즉 지구의 운동량 변화의 크기는 달과 같고 방향은 반대가 돼야 한다. 따라서 지구는 달과는 항상 반대 방향으로 움직이고 속력은 지구와 달의 질량비인 0.0123만큼 느릴 것이다. 다시 말해 제시문 (나)의 질량중심을 기준으로 지구와 달은 반대편에 위치하며 서로의 주위를 공전한다.

**문제 3. 제시문 (나)의 표에 제시된 물리량을 이용해 제시문 (나)의 그림에 나타난 지구중심과 지구와 달의 질량중심 사이의 거리를 구하라. 단 지구와 달의 질량중심은 움직이지 않는다고 가정한다.**

### ▶ 전문가 클리닉

지구와 달의 질량중심이 움직이지 않는다고 했으므로 지구와 달을 질량중심에 있는 하나의 입자로 바꿔보면 운동량은 0이 됩니다. 지구와 달의 운동량이 크기가 같다는 사실과 공전주기가 같다는 사실로부터 거리를 계산할 수 있습니다.

### ▶ 예시답안

지구와 달의 질량중심이 움직이지 않는다고 했으므로, 지구와 달을 합쳐 하나의 입자로 보면 정지해 있고 운동량은 0이다. 즉 지구의 운동량과 달의 운동량 합이 0이므로 둘의 운동량은 크기가 같고 방향이 반대다. 지구의 질량을  $M$ , 속력을  $V$ , 달의 질량을  $m$ , 속력을  $v$ 라고 하면

$$MV = mv \dots\dots\dots ①$$

지구와 달은 서로 마주보며 등속 원운동을 하므로 각속도  $\omega$  가 같다. 원운동에서 ‘선속도 = 반지름×각속도’이므로

$$V = x\omega \dots\dots\dots ②$$

$$v = (R - x)\omega \dots\dots ③$$

여기서  $x$ 는 지구중심과 질량중심 사이의 거리,  $R$ 은 지구와 달 사이의 거리다. 식 ②, ③을 식 ①에 대입하면  $Mx\omega = m(R - x)\omega$  이고 다시 식을 정리하면

$$(1 + m/M)x = m/M R$$

$$1.0123x = 0.0123 \times 38\text{만}4000\text{Km}$$

$$x \approx 4670\text{Km}$$

표에서 지구의 반지름이 6370Km라고 했으므로 제시문 (나)에서 말한 것처럼 지구와 달의 질량중심은 지구 내부에 위치한다.

### 별해

1번 문제에서 다룬 질량중심의 내용을 이용해 해결할 수도 있다. 지구중심과 질량중심 사이의 거리를  $x$ , 지구와 달 사이의 거리를  $R$ , 지구와 달의 질량을 각각  $M$ ,  $m$ 이라 하면,  $Mx = m(R - x)$  관계가 성립하고 이로부터 지구중심과 지구와 달의 질량중심 사이의 거리를 계산할 수 있다. 이는 운동량 보존을 이용한 앞의 결과식과 동일하다.

## 2007년 10월호 - 물리 면접구술고사 완벽가이드

중력이 우리 몸에 미치는 영향

제시문 다음을 읽고 물음에 답하라

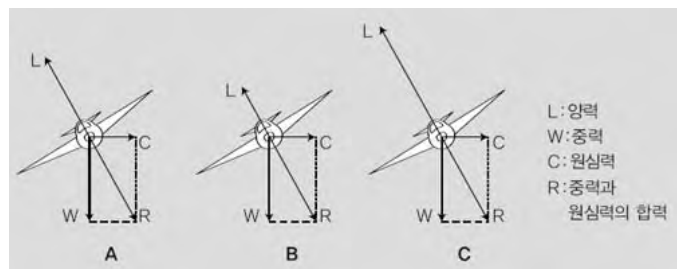
(가) G-LOC은 Loss of Consciousness by G Load의 약자로 “G(Gravity, 인체가 받는 힘을 중력을 기준으로 나타내는 단위)부하로 유발되는 의식상실”을 뜻한다. G-LOC는 두 가지로 분류된다. 첫번째는 중력이 높은 환경에 오래 노출돼 생기는 조종사의 의식상실이며, 두번째는 중력이 급격히 증가해 생기는 의식상실이다. 후자는 2G 이상의 급격한 G의 변화로 신체에 작용하는 큰 중력을 감지하지 못하고 괜찮다고 생각하는 동안 단기간에 의식을 상실하는 현상이다.

먼저 G는 무엇이고 G가 인체에는 어떤 영향을 미치는지 알아보자. G는 말 그대로 중력을 가리킨다. 정확히는 중력가속도를 말하고, 1G는  $9.8\text{m/s}^2$ 의 가속도에 해당한다. 그렇다면 비행 중에 조종사에게는 어떤 힘이 작용할까.

G는 걸리는 방향에 따라 3가지 종류로 나뉜다. 먼저 가속이나 감속 시 신체의 전후 방향으로 생기는 가속도, 좌회전 또는 우회전 할 때 몸이 오른쪽이나 왼쪽으로 미끄러지는 것과 같은 좌우 방향의 가속도가 있다. 하지만 전후나 좌우 가속도로는 조종사가 그리 큰 영향을 받지 않는다. 이와 달리 상하방향에 대한 가속도는 조종사에게 큰 영향을 미친다. 상하방향의 가속도는 선회 비행, 급상승과 급강하 시에 많이 걸리는데, 특히 선회 비행할 때 큰 가속도가 오랫동안 유지된다. 이때 조종사에게는 원심력이 작용한다. 원심력을 쉽게 이해하려면 줄을 매 달아 허공에 대고 돌리는 양동이 속의 물이 밑으로 흘러내리지 않는 모습을 생각하면 된다.

다시 말해, 원운동하는 물체는 원의 중심으로 작용하는 힘을 받으며 이 힘을 구심력이라 한다. 물체가 원운동을 할 때 관성에 의해 원운동으로부터 이탈하려는 힘이 발생하는데 이 힘이 원심력이다. 물체는 구심력과 원심력이 평형을 이룰 때 원운동을 한다.

그림은 선회 비행 중 원심력이 작용하는 몇 가지 상황이다. 비행기가 선회 비행할 때는 양동이의 물이 바닥에 밀어붙여지는 현상과 마찬가지로 신체의 혈액이 다리 방향으로 몰린다. 비행기의 가속도가 커져 5G로 선회하면 안구로 혈액이 흘러 들어가지 못하고 안구의 바깥쪽으로 혈액이 흘러들어가게 된다. 그래서 주변이 어두워지고 터널 안에서 보는 듯한 ‘터널 시야’(tunnel view)가 생긴다. 전체 시야는 석양처럼 어두워져 회색으로 보이는 ‘그레이 아웃’(gray out) 상태가 되며, G가 더 증가하면 시야가 컴컴해지는 ‘블랙 아웃’(black out)이 발생한다. 이 정도가 되면 헬멧과 머리, 팔의 무게가 각각 5배가 되고 얼굴 피부는 하반신 쪽으로 밀려 내려가 인상이 바뀐다.



팔은 들 수가 없고 목도 한번 구부리면 원래 상태로 되돌리기가 매우 어렵다. 6G가 넘으면 뇌 속으로 흘러들어가는 혈액이 없어져 뇌가 기능을 하지 못하고 마침내 의식이 상실된다. 하지만 반드시 6G를 넘어야만 의식을 잃는 현상이 일어나는 것은 아니다. G 내성 훈련을 받지 않은 일반인은 4G만 넘어도 대부분 의식을 잃는다.

팔은 들 수가 없고 목도 한번 구부리면 원래 상태로 되돌리기가 매우 어렵다. 6G가 넘으면 뇌 속으로 흘러들어가는 혈액이 없어져 뇌가 기능을 하지 못하고 마침내 의식이 상실된다. 하지만 반드시 6G를 넘어야만 의식을 잃는 현상이 일어나는 것은 아니다. G 내성 훈련을 받지 않은 일반인은 4G만 넘어도 대부분 의식을 잃는다.

(나) 굽은 길을 도는 자동차처럼 원운동하는 물체 안에서는 구심가속도와 반대 방향으로 어떤 힘이 작용한다고 가정해야만 굽은 길을 도는 자동차 안의 사람이 바깥쪽으로 쏠리는 현상을 설명할 수 있다. 이 가상적인 힘을 원심력이라고 한다. 자동차 안에서 느끼는 원심력은 실제 힘이 아니다. 자동차 안의 사람은 관성에 의해 접선 방향으로 움직이려고 하는데, 자동차가 원운동하기 때문에 몸이 원운동의 바깥쪽으로 넘어지는 것처럼 느낀다. 원심력처럼 관성 때문

에 느끼는 힘을 관성력이라고 한다. 관성력은 항상 가속도와 반대 방향으로 작용한다. 버스가 굽은 길을 돌 때 천장에 매달린 손잡이의 운동을 지상에 서 있는 사람이 보면 손잡이에 작용하는 중력과 장력의 합이 구심력이 돼 원운동하는 것으로 생각된다. 그러나 버스를 타고 있는 사람이 보면 손잡이는 기울어진 채로 정지한 것처럼 보인다. 손잡이에는 중력과 장력이 나란하지 않게 작용하는데도 정지해 있는 현상을 설명하려면, 두 힘의 합력과 크기가 같고 방향이 반대인 힘이 작용한다고 생각해야 한다. 이 힘이 바로 원심력이다.

- (다) 하지 정맥류는 국내 성인 4명당 1명꼴로 발생하는 흔한 혈관질환이다. 발끝에서 심장으로 향하는 정맥혈은 중력의 영향으로 역류하기 쉬운데, 이를 방지하기 위해 종아리 근육이 펌프처럼 혈액을 짜서 밀어올린다. 또 열렸다 닫히는 판막은 한쪽 방향으로만 혈액이 흐르도록 돕는다. 오랫동안 움직이지 않고 한 자세로 서 있으면 근육이 움직이지 않고 판막마저 고장나 혈액이 종아리에 고인다. 고인 혈액은 발끝에서 올라오는 혈액과 소용돌이치면서 혈관을 늘어나게 해 피부 위로 혈관이 푸르스름하게 비치거나 울퉁불퉁 튀어나온다. 따라서 평소 다리가 붓는 느낌, 무거운 느낌이 있거나 종아리나 허벅지에 보기 싫은 푸른 혈관이 조금이라도 눈에 띈다면 ‘하지 정맥류’를 의심해야 한다. 오랫동안 서 있거나 하루 종일 같은 자세로 앉아서 일하는 사람은 틈이 날 때마다 다리를 올리는 게 좋다. 다리를 심장보다 높게 올리면 발끝의 혈액이 심장으로 되돌아가기 쉬워 혈액순환이 원활해지고 정맥류가 악화되는 현상을 방지할 수 있다. 적절한 운동과 걷는 습관도 다리 근육을 길러준다. 튼튼한 근육은 정맥벽을 지지해 혈액의 역류를 막고 정맥이 늘어나는 현상을 막는다. 의료용 압박스타킹도 도움이 된다. 발목과 종아리, 오금 부위와 허벅지에 각기 다른 압력을 줘 혈액순환을 원활하게 한다.

문제 1 제시문 (나)의 내용을 참고해 제시문 (가)의 밑줄 친 부분 중 틀린 곳을 지적하고 바르게 서술하라.

### ▶ 전문가 클리닉

원운동에서 물체에 작용하는 구심력과 구심력의 관성력인 원심력의 차이에 대한 문제입니다. 구심력과 원심력은 크기가 같고 방향이 반대지만, 관찰자에 따라 하나씩만 관측되는 힘입니다. 따라서 두 힘의 합이 평형을 이룬다고 할 수 없습니다.

### ▶ 예시답안

제시문 (가)의 밑줄 친 설명에 따르면 구심력과 원심력이 평형을 이룰 때 원운동을 한다. 제시문 (나)를 보면 버스 밖에 있는 사람은 손잡이에 작용하는 구심력으로 손잡이의 원운동을 설명하고, 버스 안에 있는 사람은 손잡이에 작용하는 원심력으로 손잡이가 기울어진 채 정지해 있는 상황을 설명한다. 즉 구심력과 원심력은 한 관찰자에게 동시에 관측되는 힘이 아니다. 원심력은 구심력의 관성력이기 때문에 크기가 같고 방향이 반대지만, 동시에 관측되는 힘이 아니므로 두 힘이 평형을 이룬다고 할 수 없다. 밑줄 친 내용을 바르게 서술하면 다음과 같다.

“원운동하는 물체는 원의 중심으로 작용하는 힘을 받으며 이 힘을 구심력이라 한다. 물체가 원운동할 때 물체 내부는 관성에 의해 직선운동을 하려고 하므로 원운동으로부터 이탈하려 한다. 이때 물체 내부에서 관측되는 힘이 원심력이다. 원심력은 구심력의 관성력으로, 구심력과 크기는 같고 방향은 반대이다.”

### ▶ 배경지식

어떤 물체가 속력  $v$ , 반지름  $r$ 로 등속원운동을 할 때 가속도의 크기는  $v^2/r$ 이고 방향은 원의 중심을 향한다. 각속도  $\omega = 2\pi/T$ 라고 한다면  $v = r\omega = r \times 2\pi/T$ 이므로 가속도의 크기를  $r\omega^2$ 으로도

나타낼 수 있다(T:원운동 주기). 이때의 가속도를 구심가속도라 한다.

뉴턴의 운동 제 2법칙에서 힘은 질량과 가속도의 곱이므로 질량이  $m$ 인 물체가 등속원운동을 할 때, 이 물체에 작용하는 힘의 크기는  $mv^2/r$  또는  $mr\omega^2$ 이다. 그리고 방향은 가속도와 같은 원의 중심방향이므로 속도의 방향과 직각을 이룬다.

가속도운동을 하는 관성계에 있는 관찰자는 관성력을 느낀다. 특히 회전운동에서의 관성력을 원심력이라 한다. 관성력은 실제로 존재하는 힘이 아니기 때문에 반작용의 힘은 존재하지 않는다.

문제 2 제시문 (가)에 있는 그림에서 A, B, C의 세 비행기가 각각 어떤 운동을 하는지 힘을 도입해 설명하라.

### ▶ 전문가 클리닉

비행기의 운동에 대해 서술해야 하므로, 비행기 내부에서 관찰한 힘인 원심력보다는 외부에서 관찰한 힘인 구심력을 도입해 설명하는 방식이 좋습니다.

비행기 A의 경우 중력과 원심력의 합이 양력과 크기가 거의 같고 방향은 반대다. 즉 비행기 외부의 관찰자 입장에서 보면 중력과 양력의 합이 구심력이 된다. 따라서 비행기 A는 지면에 수평하게 등속원운동을 한다. 비행기 B의 경우 중력과 원심력의 합이 양력보다 더 크다. 외부의 관찰자가 보면 중력과 양력만 보이는데, 수평방향의 힘은 원심력과 크기가 같고 방향이 반대인 구심력이 된다. A의 경우와는 다르게 연직 아랫방향의 힘도 존재한다. 따라서 비행기 B는 수평방향으로 원운동을 하면서 연직 아래로 등가속도운동을 한다. 즉 돌면서 점점 빠르게 떨어진다. 비행기 C는 B와 반대다. 중력과 양력의 합력을 구분하면 B와 같이 구심력이 되고, 연직 윗방향의 힘이 존재한다. 따라서 수평방향으로 원운동을 하면서 연직 위로 등가속도운동을 한다. 즉 돌면서 점점 빠르게 올라간다.

문제 3. 제시문 (가)에서 조종사에게 발생할 수 있는 ‘블랙 아웃’을 방지하기 위한 방법을 제시문 (다)를 참고해 제시하라.

### ▶ 전문가 클리닉

하지 정맥류는 다리 쪽으로 피가 쏠리는 현상으로 ‘블랙 아웃’보다는 정도가 약하지만 원리는 비슷합니다. 하지 정맥류를 예방하기 위해 다리를 높게 하고 다리의 근육을 강화하며 의료용 압박붕대를 착용한다고 했으므로, 조종사에게도 같은 방법을 적용합니다.

### ▶ 예시답안

‘블랙 아웃’은 비행기가 선회 운동을 할 때 다리 쪽으로 관성력이 작용해 신체 속의 피가 다리 쪽으로 쏠리면서 나타나는 현상이다. 이 현상은 제시문 (다)의 하지 정맥류와 비슷한 원리로 일어난다. 블랙 아웃을 예방하기 위해 조종사는 평상시에 하체 근육훈련을 하는 편이 좋다. 심장 아래 부분인 다리와 배의 근육을 강화하면 다리 쪽으로 쏠리는 피를 막을 수 있고, 심장으로 올라오는 피의 역류도 막을 수 있다. 의료용 압박스타킹은 하체의 곳곳에 압박을 줘 혈액순환을 돕는다. 조종사의 조종복에도 같은 방법을 적용할 수 있다. 즉 비행 중에 원심력이 커지면 조종복이 다리와 배 쪽을 강하게 압박해 혈액순환을 돕는다. 조종실의 구조도 생각해 볼 수 있다. 조종실 좌석의 등받이 부분을 보통의 좌석보다 뒤로 더 많이 젖히면 머리와 심장 사이의 연직거리가 짧아지기 때문에 블랙 아웃을 어느 정도 예방할 수 있다.

## 2007년 11월호 - 물리 면접구술고사 완벽가이드

지구중심을 관통하는 물체의 운동

### 제시문

(가) 질량  $m$ 인 행성이 태양 주위를 반지름  $R$ , 속도  $v$ , 주기  $T$ 로 등속 원운동할 때 행성이 받는 구심력은  $F = \frac{mv^2}{R}$ 로 주어지고 등속 원운동의 주기는  $T = \frac{2\pi R}{v}$ 이다.

여기에 케플러의 제3법칙  $T^2 = kR^3$ 을 적용해 구심력을 행성의 질량과 반지름으로 표현하면  $F = \frac{4\pi^2 m}{kR^2}$ 이고, 작용·반작용 법칙에 의해 태양이 받는 구심력  $F'$ 은

$$F = F' = \frac{4\pi^2 m}{kR^2} = \frac{4\pi^2 M}{k'R^2}$$

이다. 여기서 힘  $F$ 는  $F \propto \frac{1}{R^2} \propto M \propto m$ 의 관계를 갖는다. 즉 두 물체 사이에 작용하는 만유인

력  $F$ 는 물체의 질량  $M, m$ 의 곱에 비례하고, 물체 사이의 거리  $R$ 제곱에 반비례해  $\frac{GmM}{R^2}$ 이다. 이것을 뉴턴의 만유인력법칙이라 하고, 비례상수  $G$ 를 만유인력 상수라고 한다. 만유인력 상수는 MKS 단위계에서  $G = 6.67259 \times 10^{-11} \text{N} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{Kg}^{-2}$ 임이 실험으로 밝혀졌다.

지구 위의 물체들이 지구 중심장향으로 떨어지는 이유 역시 만유인력으로 설명된다. 물체나 지구가 서로 당기는 힘은 같지만 지구가 훨씬 무겁기에 물체가 지구로 낙하한다. 후에 아인슈타인은 상대성이론에서 질량으로 공간이 휘어지기 때문에 중력이 발생하는 것으로 해석해 뉴턴의 만유인력 법칙을 뒤집었다.

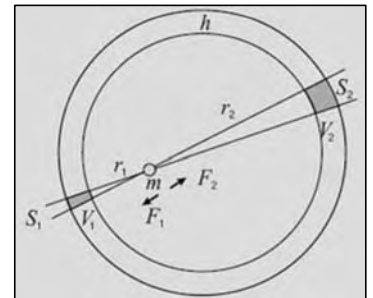
(나) 오른쪽 그림과 같이 속이 빈 껍질을 구각이라 한다. 균일한 구각은 내부에 있는 입자에 아무런 중력도 작용하지 않는다. 구각 내부의 한 점에서 받는 만유인력은 입체각을 갖는 구각 부피  $V_1, V_2$ 로부터 받는 힘인  $F_1, F_2$ 의 합이 된다.

물체의 질량을  $m$ , 지구의 밀도를  $\rho$ 라 하고 작은 꼭지각을 가정할 때 구각 부피는 구각의 두께  $h$ 와 구각 면적이 이루는 육면체로 생각할 수 있다. 힘  $F_1, F_2$ 는 각각

$F_1 = G \frac{(S_1 h \rho) m}{r_1^2}, F_2 = G \frac{(S_2 h \rho) m}{r_2^2}$  이 된다. 이때 구각의 면적비는 거리비의 제곱이므로

$$\frac{S_1}{r_1^2} = \frac{S_2}{r_2^2} \text{이고 결국 } F_1 = F_2 \text{이다.}$$

즉 구각 내부에 존재하는 질량은 임의의 방향으로 같은 크기, 반대 방향으로 힘을 받으므로 전체 구각에 의한 만유인력의 총합은 0이다. 따라서 지구 내부에서 중력을 계산할 때 물체가 있는 곳을 기준으로 안쪽 부분의 질량만이 인력에 관여한다.





문제 1 만일 지표상의 어느 한 점에서 지구 중심을 지나는 터널을 지구 반대편까지 뚫었다고 가정해보자. 이때 터널에 질량을 가진 물체를 가만히 떨어뜨린다면 이 물체는 어떤 운동을 할지 제시문 (가)와 (나)를 이용해 논하라. 단 지구 내부의 밀도는 균일하다고 가정하고, 물체가 운동하는 동안 작용하는 공기저항력은 무시한다.

### ▶ 전문가 클리닉

지구 중심을 관통하는 물체의 운동을 예측하는 문제입니다. 지구 중심으로부터  $x$ 만큼 떨어진 곳에 위치한 물체가 지구로부터 받는 힘의 종류를 제시문 (가)와 (나)에서 알아내면 구체적으로 어떤 종류의 운동을 할지 예측할 수 있습니다.

### ▶ 예시답안

지구 중심을 통과하는 터널에 물체를 떨어뜨리면 물체는 지구로부터 만유인력을 받아 터널을 향해 떨어진다. 이때 물체가 지구 중심으로부터  $x$ 만큼 떨어진 곳에 위치하고 있다고 가정해보자. 지구를 반경  $x$ 인 구와 그 바깥을 둘러싸고 있는 구각으로 분할해 구로부터 물체가 받는 만유인력 크기를  $F_1$ , 구각으로부터 받는 만유인력 크기를  $F_2$ 라하면 제시문 (나)에 의해  $F_2=0$ 이다. 이때 지구의 밀도를  $\rho$ , 물체의 질량을  $m$ 이라 하면 지구 중심으로부터  $x$ 만큼 떨어진 곳에 위치한 물체가 받는 힘은

$$F_1 = -G(4/3\pi x^3 \rho)m/x^2 = -4/3\pi\rho Gmx$$

이다. 이는 변위  $x$ 에 비례하고 변위와 반대방향으로 작용하는 복원력이다. 따라서 물체는 진동 주기  $T=2\pi\sqrt{3/4\pi\rho G}$ 인 단진동을 한다.

문제 2 제시문 (나)에 주어진 것처럼 구껍질 내부의 중력장 크기는 0이다. 이와 마찬가지로 도체구 표면에 분포한 전하 역시 도체구 외부 영역에는 전기장을 만들어내지만 도체구 내부 영역의 전기장은 0이다. 도체구 표면에 전하가 분포해 있지만 도체구 내부 전기장이 0이라는 사실을 이용해 설명가능한 현상을 2가지 나열하고 각각의 현상을 물리적으로 설명하라.

### ▶ 전문가 클리닉

대전된 도체구에 분포된 전하는 구 표면에 고루 분포합니다. 이런 전하 분포에도 불구하고 대전된 도체구 내부 전기장은 0이 됩니다. 이를 이용해 설명가능한 현상을 생각해보고 각각의 현상을 물리적으로 설명해보는 문제입니다.

### ▶ 예시답안

첫째, 번개가 치더라도 자동차처럼 도체로 이뤄진 물질 내부에 있을 때는 안전하다.

그 이유는 도체에 다량의 전하가 쏟아져 도체가 대전되더라도 도체 내부의 전기장은 항상 0이므로 그 안에 있는 사람의 몸에는 전류가 흐를 수 없기 때문이다.

둘째, 휴대전화를 은박지로 완전히 감싸두면 송수신이 불가능하다. 도체로 둘러싸인 내부와 외부는 전자기적으로 서로 독립적인 공간이 돼 내부에서 발생한 전자기장이 외부에 영향을 줄 수 없고, 외부에서 발생한 전자기장이 내부에 영향을 줄 수 없기 때문이다.

따라서 휴대전화에서 발생한 전자기파가 외부로 전파되지 못하므로 송신이 불가능하며 외부에서 들어오려고 하는 전자기파 역시 내부로 전파되지 못하므로 수신 역시 불가능하다.

## 제시문

(가) 화학반응으로 방출되는 에너지는 수 eV이며, 이 에너지는 원자핵 주위를 도는 전자의 결합에너지와 관련이 있다. 그러나 원자핵반응으로 방출되는 에너지는 수백만 eV에 달한다. 이렇게 큰 에너지는 어디서 나오는 걸까.

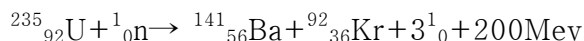
음(-)전하를 띤 전자는 양(+)전하로 대전된 원자핵에 전기적 인력으로 결합돼 있다. 그러나 원자핵은 양성자와 중성자로 구성돼 있으며, 아주 좁은 공간에 모여 있어 양성자 사이에는 강력한 전기적 반발력이 작용한다.

이런 반발력을 극복하고 핵자들이  $10^{-14}\text{m}$ 의 좁은 공간에서 결합하는 데는 전기적 반발력보다 훨씬 강력한 인력이 핵자들 사이에 작용하고 있음이 분명하다. 이 힘을 ‘핵력’이라고 한다.

핵자들은 강한 핵력으로 결합돼 있으므로 원자핵을 구성하는 핵자들을 따로따로 떼어놓으려면 핵력에 대항해 일을 해야 한다. 이와 반대로 떨어져 있는 핵자들이 결합해 핵을 구성할 때는 같은 양의 에너지를 방출한다. 이 에너지를 그 원자핵의 ‘결합에너지’라고 한다. 핵자들이 모여 이뤄진 원자핵의 질량을 보면 핵자들 각각의 질량을 합한 것보다 작게 나타난다. 이처럼 핵자들이 결합해 핵을 구성할 때 그 질량이 감소하는데, 이 질량의 차이가 ‘질량 결손’이다. 질량-에너지 등가 원리에 의하면, 핵자들은 질량 결손에 해당하는 에너지를 외부에 방출하고 더욱 안전한 원자핵을 이룬다. 이 핵자들을 다시 떼어놓으려면 이만큼의 에너지를 외부에서 공급해야 한다.

(나) 1934년 엔리코 페르미는 중성자를 원자핵에 충돌시키면 원자핵이 중성자를 흡수해 다른 원자핵으로 변환된다는 사실을 알았다. 이때 중성자를 흡수한 원자핵은 질량수가 하나 더 많은 동위원소로 변한다.

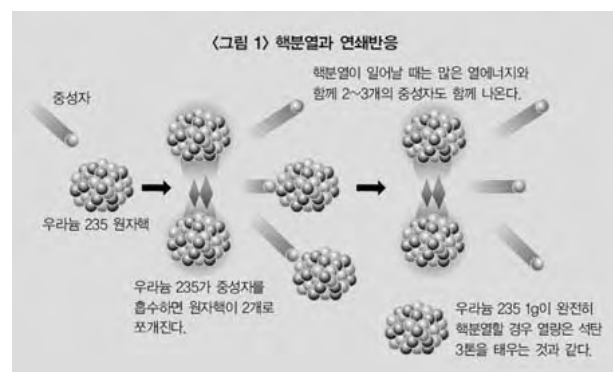
우라늄의 동위원소인  $^{235}_{92}\text{U}$ 가 핵분열해 생성되는 새로운 원자핵은 여러 가지가 있는데, 그 중에서 대표적인 핵반응은 다음과 같다.



우라늄 원자 한 개가 핵분열할 때 방출되는 에너지는 200MeV이며, 이 에너지를 탄소를 연소시킬 때 원자 한 개당 나오는 에너지 4eV와 비교하면 엄청난 차이가 있음을 알 수 있다. 이처럼 핵반응이 일어날 때 방출되는 에너지를 ‘핵에너지’라고 한다.

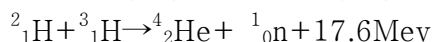
1개의  $^{235}_{92}\text{U}$ 원자핵이 분열해 발생한 중성자가 다른  $^{235}_{92}\text{U}$ 원자핵과 반응해 다시 2~3개의 중성자가 방출된다. 이런 과정이 되풀이되면 핵분열이 <그림 1>처럼 연쇄적으로 일어나는데, 이 반응을 연쇄반응이라고 한다.

핵분열의 연쇄반응이 순간적으로 일어나도록 한 물질이 원자폭탄이며, 연쇄반응에서 생겨나는 중성자 수와 속도를 조절해 연쇄반응이 서서히 일어나게 한 장치가 원자로다. <그림 1>의 핵분열



과는 반대로 가벼운 원자핵이 융합해 무거운 원자핵이 될 때도 질량 결손이 일어나는데, 여기에 대응하는 막대한 에너지가 방출된다. 이 같은 핵반응을 ‘핵융합’이라고 한다.

예를 들면 중수소( $^2_1\text{H}$ )의 원자핵과 삼중수소( $^3_1\text{H}$ )의 원자핵이 융합해 이들보다 무거운 헬륨 원자핵을 만들 때 약 17.6MeV의 에너지가 방출된다. 이 반응을 식으로 나타내면 다음과 같다.



핵융합이 일어나기 위해서는 두 원자핵이 매우 가깝게 접근해야 한다. 이때 두 원자핵은 모두

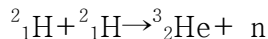
양전하를 띠고 있으므로 전기적 반발력이 작용한다. 이 반발력을 누르고 핵력이 작용하는 거리까지 접근하려면 약  $1.1 \times 10^{14} \text{J}$ 의 운동에너지를 가져야 하는데, 이를 온도로 환산하면 약  $1 \text{억}^\circ\text{C}$  이상의 높은 온도를 유지시켜야 하므로 핵융합을 열핵반응이라고도 한다.

별의 내부에는 이 정도의 높은 온도를 유지하고 있으므로 계속해서 핵융합반응이 일어난다. 지구상의 자원에는 한계가 있으므로 핵융합반응을 실현시키고자 많은 물리학자가 연구를 계속하고 있다. 핵융합은 인류의 미래 에너지원으로서 큰 기대를 모으고 있다.

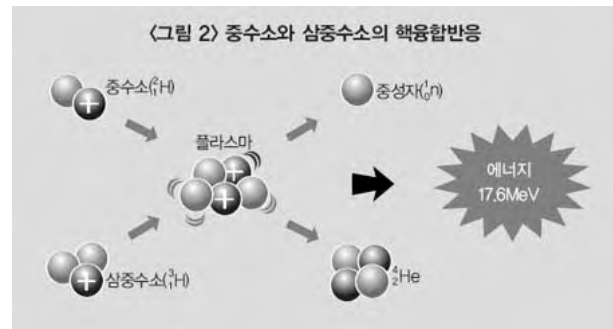
원자력발전은 원자핵이 분열될 때 방출되는 막대한 열에너지를 이용해 전기에너지를 생산한다. 우리나라처럼 자원이 부족한 나라에서는 전력생산의 상당 부분을 원자력발전에 의존한다. 원자력발전 과정에서 극히 적은 양이지만 약한 방사선을 내는 기체와 액체가 발생하고, 강한 방사선을 내는 원전연료 폐기물이 나온다.

이에 대비해 원자력 발전소에서는 방사성 물질이 밖으로 유출되는 현상을 막기 위해 발전소 건물을 여러 겹으로 밀폐하고, 그 안에서 폐기물을 안전하게 처리하는 시설을 갖추고 있다. 원자력발전은 수력발전이나 화력발전에 비해 연료를 안정적으로 공급할 수 있고 가격이 낮다는 장점을 지닌다. 그러나 폐기물 처리와 안전성 문제가 대두되고 있어 철저한 안전관리를 통해 사용할 수 있도록 하고 있다.

2개의 중수소 원자핵  $^2_1\text{H}$ 가 매우 큰 속력으로 충돌하면, 다음과 같은 핵융합반응이 일어난다.



각 입자의 질량  $[u]$ 는  $^2_1\text{H}:2.0136$   $^3_2\text{He}:3.0150$   $n:1.0087$ 이고  $1[u]$ 는 에너지로 환산하면  $9.3 \times 10^2 [\text{MeV}]$ 이다.



- 1) 이 반응에서 발생하는 에너지  $[\text{MeV}]$ 를 구하라. 이 에너지는 모두 운동에너지가 되는 것으로 한다.
- 2) 두 개의  $^2_1\text{H}$ 가 같은 운동에너지  $0.35 [\text{MeV}]$ 로 정면충돌했다면 반응에서 발생한  $^3_2\text{He}$ 와 중성자  $n$ 의 운동에너지  $[\text{MeV}]$ 를 각각 구하라.
- 3) 이 반응은 두  $^2_1\text{H}$  원자핵이 서로 접촉할 정도로 가까워지지 않으면 일어나지 않는다. 한편  $^2_1\text{H}$ 은 전하  $e$ 를 가지므로 가까워지면 쿨롱 힘으로 반발한다. 따라서 반응을 일으키기 위해서는 쿨롱 힘을 이기는 운동에너지를  $^2_1\text{H}$ 에 가해 충돌시켜야 한다. 두  $^2_1\text{H}$ 가 같은 속력으로 정면충돌할 때 반응이 일어나는데 필요한  $^2_1\text{H}$ 의 운동에너지  $K_0$ 를 구하라. 단 반응은 두  $^2_1\text{H}$ 가 접촉하면 시작되는 것으로 하고  $^2_1\text{H}$ 의 반경을  $r_0$ 라 한다. 또 쿨롱 상수를  $k_0$ 라 한다.
- 4) 중수소 원자의 이상기체를 생각한다. 이 기체 중  $^2_1\text{H}$  한 개가 갖는 평균운동에너지가 3)번에서 구한 에너지와 일치하는 온도  $T[\text{K}]$ 를 구하라. 볼츠만 상수  $k=1.4 \times 10^{-23} \text{ T} [\text{J/K}]$ ,  $e=1.6 \times 10^{-19} [\text{C}]$ ,  $k_0=9.0 \times 10^9 [\text{N} \cdot \text{m}^2/\text{C}^2]$ ,  $r_0=1.8 \times 10^{-15} [\text{m}]$ 로 한다.
- 5) 두  $^2_1\text{H}$ 의 충돌로 일어나는  $^2_1\text{H} + ^2_1\text{H} \rightarrow ^4_2\text{He}$  같은 핵융합반응을 생각할 수 있다. 그러나 이 반응은 일어날 수 없다. 그 이유를 두  $^2_1\text{H}$ 가 같은 속력으로 정면충돌하는 경우에 대해 설명하라. 단  $^4_2\text{He}$ 의 질량은  $4.0015[u]$ 이다.

## ▶ 전문가 클리닉

1) 두 원자핵의 충돌 과정에서 발생한 질량 결손을 에너지로 환산하는 문제입니다. 아인슈타

인의 질량-에너지 등가원리  $\Delta E = \Delta mc^2$ 을 이용합니다.

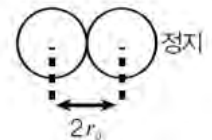
- 2) 원자핵 충돌 시 외력이 작용하지 않으므로 운동량 보존법칙을 적용할 수 있습니다. 운동량 보존법칙과 질량 결손에 의한 에너지를 고려한 에너지 보존법칙을 이용해 반응 후 생성되는 입자의 운동에너지를 결정합니다.
- 3) 두 원자핵이 접근하는 동안 작용하는 힘은 오직 전기적인 척력뿐입니다. 즉 보존력만 작용하므로 이 과정에서 역학적에너지는 보존됩니다. 충돌하기 위한 조건을 구하는 문제이므로 두 물체가 간신히 접촉할 최소의 운동에너지를 구합니다. 즉 원래 갖고 있던 운동에너지가 접촉할 때 전기력에 의한 위치에너지로 전환되는 상황을 이용해 계산합니다.
- 4) 기체분자 운동론에 의하면 병진운동만을 수행하는 입자의 평균운동에너지는 절대온도를  $T$ 라 할때  $3/2kT$ 입니다. 이를 이용하여 온도를 계산하면 됩니다.
- 5) 핵반응 과정에서 발생하는 질량 결손에 의한 에너지와 충돌 과정에서 운동량 보존을 검토하면 두 가지 논의 사이에 모순이 발생함을 알 수 있습니다.

### ▶ 예시답안

- 1) 반응 전후에 발생한 질량 결손은  $2.0136 \times 2 - (3.0150 + 1.0087) = 0.0035[u]$ 이다. 앞에서 구한 질량 결손을 에너지로 환산하면  $0.0035 \times 9.3 \times 10^2 = 3.255 \approx 3.3[MeV]$ 이다.



- 2) 반응 후  ${}^3_2He$ 와  $n$ 의 운동에너지 합은  $0.35 \times 2 + 3.3 = 4.0[MeV]$ 이다. 운동량의 합이 0이므로  ${}^3_2He$ 와  $n$ 의 운동에너지 비는 질량의 역수비가 된다. 따라서  ${}^3_2He$ 의 운동에너지는  $4.0 \times 1/3 + 1 = 1.0[MeV]$ 이고, 중성자의 운동에너지는  $4.0 \times 3/3 + 1 = 3.0[MeV]$ 이다.



- 3) 두 원자핵이 충돌하는 경우에  ${}^2_1H$ 의 중심간 거리는  $2r_0$ 까지 접근하므로 역학적에너지 보존법칙으로부터 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$K_0 + K_0 = k_0 \frac{e \cdot e}{2r_0} \quad \therefore K_0 = \frac{k_0 e^2}{4r_0}$$

- 4) 분자 운동론에 따르면 한 개의 H 운동에너지(의 평균값)는  $kT$ 로 나타낼 수 있으므로

$$\frac{3}{2}kT = \frac{k_0 e^2}{4r_0}$$

$$T = \frac{k_0 e^2}{6kr_0} = \frac{9.0 \times 10^9 \times (1.6 \times 10^{-19})^2}{6 \times 1.4 \times 10^{-23} \times 1.8 \times 10^{15}} \approx 1.5 \times 10^9 K$$

실제  $10^8[K]$ 정도면 원자 중에는 평균보다 훨씬 빠른 속도로 운동하는 것도 있으므로 핵융합 반응이 일어난다. 결국 핵융합을 일으키기 위해서는 초고온 상태를 만들 필요가 있고 이를 실용화하기 위한 연구가 진행되고 있다.

- 5) 두  ${}^2_1H$ 의 질량 합은  ${}^4_2He$  4.0272[u]이고, 이는  ${}^4_2He$ 의 질량보다 크므로 핵반응에서도 질량 결손이 발생한다. 따라서 에너지 보존법칙으로부터  ${}^4_2He$ 는 운동에너지를 갖는다. 한편, 모든 운동량이 0이므로 운동량 보존법칙으로부터  ${}^2_1H$ 는 정지해야만 하는데, 이는 앞에서 언급한 에너지 보존법칙과 모순이다. 따라서 이와 같은 핵반응은 불가능하다.

## 2008년 02월호 - 물리 면접구술고사 완벽가이드

디젤기관과 가솔린기관의 차이

제시문 다음을 읽고 물음에 답하라

(가) 풍선을 따뜻하게 해 내부 공기에 열을 가하면 공기의 온도가 상승하거나 부피가 커진다. 공기의 온도가 상승하면 내부 에너지가 증가하고 부피가 팽창하면 공기가 외부에 대해 일을 하게 된다. 따라서 풍선 속의 공기에 가해 준 열에너지 가운데 일부는 공기의 내부 에너지를 증가시키는데 쓰이고 일부는 외부에 일을 하는데 쓰인다. 일반적으로 기체에 가해 준 열량을  $Q$ , 내부 에너지의 증가량을  $\Delta U$ , 기체가 외부에 한 일을  $W$ 라고 하면 다음과 같은 관계가 성립한다.

$$Q = \Delta U + W$$

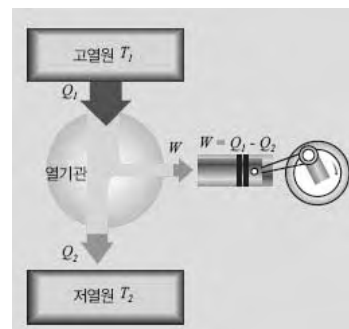
즉 기체에 가해 준 열에너지는 내부 에너지의 증가와 기체가 외부에 한 일의 합과 같다. 이러한 관계는 열에너지와 역학적 에너지를 포함한 에너지 보존을 의미하며, 열역학 제 1법칙이라고 한다. 역학적 에너지는 마찰이나 저항이 없는 경우에만 보존된다. 마찰이 있는 경우 마찰에 의해 발생한 열에너지가 내부 에너지로 전환되더라도 이 과정에 관련된 모든 에너지를 합하면 열역학 제 1법칙에 따라 에너지의 총량은 변하지 않는다.

(나) 디젤 기관, 가솔린 기관, 제트 기관 같은 열기관은 기관 내부의 고열원에서 연료가 탈 때 발생하는 열을 이용해 외부에 역학적 일을 하고 나머지 열을 기관 외부의 저열원으로 방출한다. 이러한 열기관에서의 에너지 흐름을 나타내면 오른쪽 그림과 같다. 절대온도  $T_1$ 인 고열원으로부터  $Q_1$ 의 열에너지를 흡수한 뒤 절대온도  $T_2$ 인 저열원으로  $Q_2$ 의 열에너지를 방출해 원래 상태로 돌아온다.

충분히 가열된 열기관의 내부 에너지는 변화가 없으므로 열역학 제 1법칙  $Q = \Delta U + W$ 에서  $\Delta U = 0$ 이다. 기체에 가해 준 열량  $Q = Q_1 - Q_2$ 이므로 열기관이 한 일  $W = Q_1 - Q_2$ 이다.

열기관이 고열원으로부터 흡수한 열에 대한 외부에 한 일의 비를 열효율( $e$ )이라고 하는데 그 값은 다음과 같다.

$$e = \frac{W}{Q_1} = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} = 1 - \frac{Q_2}{Q_1}$$



가장 이상적인 열기관의 경우 열효율은  $1 - Q_2/Q_1 = 1 - T_2/T_1$ 이지만 실제 열기관은 마찰이나 외부로의 열손실 때문에 열효율이  $1 - T_2/T_1$ 보다 작다.

(다) 가솔린 기관과 디젤 기관은 대표적인 열기관으로 일반적으로 자동차에는 4행정 기관으로 사용된다. 4행정이란 흡입, 압축, 폭발, 배기의 과정으로 하나의 순환 과정을 이루는 것을 말한다. 가솔린 기관과 디젤 기관이 각 행정에서 작동하는 원리는 다음과 같다.

### <가솔린 기관과 디젤 기관의 작동원리>

	가솔린기관	디젤기관
흡입 행정	실린더가 팽창하면서 공기와 휘발유가 섞인상태로 흡입한다.	실린더가 팽창하면서 공기만을 흡입한다.
압축 행정	실린더가 압축되면서 공기와 휘발유를 압축한다.	실린더가 압축되면서 공기를 압축한다.
폭발 행정	점화플러그에서 불꽃이 튀면 폭발이 일어나며 실린더가 팽창한다.	고온이 된 공기에 연료를 분사하면 폭발이 일어나며 실린더가 팽창한다.
배기 행정	실린더가 압축되며 배기한다.	실린더가 압축되며 배기한다.

가솔린 기관과 디젤 기관을 비교하면 다음 표와 같다.

항목	연료	압축비	압축압력 (Kgf/cm <sup>2</sup> )	최고 폭발압력 (Kgf/cm <sup>2</sup> )	열효율(%)
가솔린	가솔린	7~10	8~15	30~50	23~28
디젤	경유	16~23	30~50	50~90	30~34

문제 01 겨울철에 자동차 시동을 켜 뒤 약 3~4분 정도 지난 이후에 운전하면 연료가 절약된다고 한다. 제시문 (가)와 (나)를 근거로 그 이유가 무엇인지 설명하라.

### ▶ 전문가 클리닉

자동차 엔진의 열효율에 대한 문제입니다. 연료를 절약하기 위해선 열효율이 높아야 하며 열효율은 고열원의 온도, 즉 엔진의 온도가 클수록 커집니다. 따라서 엔진의 온도가 어느 정도 올라간 상태에서 운전해야 연료를 아낄 수 있습니다.

### ▶ 예시답안

겨울철 주차돼 있던 자동차의 온도는 주위 기온과 같다. 시동을 켜 뒤 바로 운전하는 경우와 잠시 기다렸다가 운전하는 경우를 비교해보자.

제시문 (가)에 따르면 열기관에 공급된 에너지는 내부 에너지를 상승시킨다. 엔진 온도를 높이는 데 쓰이고 나머지는 외부에 일을 해 자동차를 움직이게 한다.

만약 시동을 켜 뒤 잠시 기다린다면 엔진에 공급된 에너지 대부분이 엔진의 온도를 높이는 데 사용되겠지만, 바로 운전한다면 어느 정도만 엔진 온도를 높이는 데 사용되고 나머지는 자동차를 움직이게 하는데 쓰일 것이다. 따라서 실린더가 동일한 회전을 한다면 시동을 켜 뒤 잠시 기다려야 엔진 온도가 빨리 올라간다. 제시문 (나)에 따르면 엔진 온도가 높을수록 열효율이 높아지므로 잠시 기다림으로써 연료를 아낄 수 있다. 하지만 엔진 온도가 무한정 높아지지는 않기 때문에 너무 오래 기다리는 것은 오히려 연료 낭비가 될 수 있다. 그러므로 3~4분 정도만 대기했다가 운전을 시작하는 편이 연료를 아끼는 가장 좋은 방법이다.

### ▶ 배경지식

물체가 갖는 내부 에너지란 그 물체를 구성하는 모든 입자(원자 또는 분자)의 위치에너지와 운동에너지의 합이다. 특히 이상기체의 경우에는 기체 분자 사이에 힘이 작용하지 않고 자유롭게 운동한다고 가정하기 때문에 기체 분자의 운동에너지 합이 내부 에너지가 된다. 이러한 내부 에너지는 절대온도에 비례하며 단위자 분자 이상기체의 경우 그 관계식은 다음과 같다.

$$U = 3/2nRT$$

여기서  $U$ 는 내부 에너지,  $n$ 은 기체 분자들의 몰 수,  $R$ 은 기체상수,  $T$ 는 절대온도이다. 기체 양이 일정하다면 내부 에너지는 절대온도에만 비례한다. 만약 이상기체 온도가 0K이 된다면 내부 에너지는 0, 즉 이상기체 분자들이 전혀 운동하지 않는다는 뜻이다.

그림과 같이 단면적이  $A$ 인 피스톤이 달린 실린더 속에 일정량의 이상기체가 들어있다고 하자. 만약 실린더 내 압력이 외부 압력보다 높다면 피스톤이 오른쪽으로 밀리면서 부피가 팽창한다. 기체가 피스톤에 ‘힘×거리’( $F \Delta L$ )만큼의 일을 한 것이다.

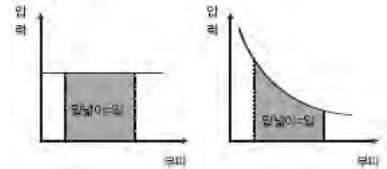


여기서 압력은 단위면적당 작용하는 힘이므로  $P=F/A$ 의 관계를 사용하면  
 $W=F\Delta L=PA\Delta L=P\Delta V$

라는 관계식이 성립한다. 여기서  $\Delta V$ 는 변화한 기체의 부피이다.

기체의 부피가 팽창할 때는 외부에 일을 하는 것이고 수축할 때는 외부로부터 일을 받는 것이다. 또 힘-거리 그래프에서 그래프의 밑넓이가 일인 것처럼 압력-부피 그래프에서도 그래프의 밑넓이가 일이다.

문제 02 제시문 (다)를 보면 디젤 기관이 가솔린 기관보다 열효율이 더 좋다는 사실을 알 수 있다. 제시문 (가)와 (나)를 참고해 그 이유를 설명하라.



### ▶ 전문가 클리닉

열효율이 높으려면 열기관이 높은 온도에서 작동해야 합니다. 제시문 (다)에 의하면 디젤 기관은 가솔린 기관보다 더 높은 압력에서 폭발합니다. 엔진은 압축 과정에서 단열압축을 합니다. 이때 압력이 크다는 점은 외부로부터 더 많은 일을 받았다는 뜻이며 그만큼 내부 에너지 즉 온도가 많이 상승했음을 의미합니다.

### ▶ 예시답안

가솔린 기관과 디젤 기관은 모두 압축행정을 거친 이후에 폭발행정에 들어가며 동력을 얻는다. 이때 열효율이 높기 위해서는 제시문 (나)에 설명된 것처럼 폭발할 때의 온도가 높아야 한다. 폭발할 때의 온도는 가솔린 기관과 디젤 기관 중 어느 쪽이 더 높을까. 폭발의 전 단계인 압축을 살펴보자. 엔진이 충분히 가열된 이후의 압축 과정은 외부와 열교환이 없는 단열과정으로 가정할 수 있다.

그렇다면 제시문 (가)에 제시된 열역학 제 1법칙의 식은  $\Delta U = -W$ 이다.  $W$ 는 실린더가 팽창하며 외부에 한 일인데, 압축 과정은 외부로부터 일을 받는 과정이므로  $W$ 는 음수가 된다. 따라서  $\Delta U > 0$ , 온도가 상승한다. 또 외부로부터 많은 양의 일을 받을수록 다시 말해 부피가 많이 수축할수록 온도는 더욱 높아진다.

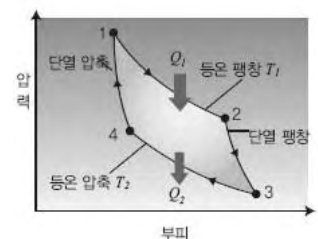
제시문 (다)의 표를 보면 디젤 기관의 압축압력과 최고 폭발압력이 가솔린 기관보다 더 높다. 이는 디젤 기관이 더 많은 일을 외부로부터 받아 가솔린 기관에 비해 더 높은 온도에서 폭발한다는 의미다. 따라서 디젤 기관의 열효율이 가솔린 기관보다 더 높다.

### ▶ 배경지식

열역학 제 1법칙( $Q = \Delta U + W$ )에서 대표적인 기체의 상태 변화는 다음과 같이 세 가지 경우로 나눌 수 있다.

#### 1) 부피가 변하지 않는 경우(정적 변화: $\Delta U = 0$ )

기체가 외부에 일을 하지 않으며  $W=0$ 이므로  $Q = \Delta U$ 이다. 외부로부터 받은 열에너지는 모두 내부 에너지를 증가시키는데 사용된다. 외부로부터 열에너지를 받는 경우 중에서 가장 온도가 빨리 상승하는 경우이며 냄비에 물을 끓일 때 뚜껑을 덮어야 빨리 끓



는 현상이 대표적인 예다.

2) 온도가 변하지 않는 경우(등온 변화:  $\Delta T=0$ )

내부 에너지가 변하지 않으며  $\Delta U=0$ 이므로  $Q=W$ 이다. 외부로부터 받은 열에너지가 모두 외부에 일을 하는데 쓰이거나 외부에서 받은 일을 모두 열에너지로 방출한다.

3) 열에너지의 출입이 없는 경우(단열 변화:  $Q=0$ )

기체에 열 출입이 없으므로  $\Delta U=-W$ 이다. 부피가 팽창하면 온도가 내려가고 부피가 수축되면 온도가 올라간다. 공기는 열전도율이 낮은 편이기 때문에 공기가 상승 또는 하강할 때 일어나는 부피 팽창이나 수축은 단열 변화로 가정할 수 있다.

가장 이상적인 열기관을 ‘카르노 기관’이라고 한다. 카르노 기관은 그림과 같은 네 단계로 작동한다.

1→2: 고열원에서 공급받은 열에너지( $Q_1$ )만큼 외부에 일을 하는 등온( $T_1$ ) 팽창 단계

2→3: 단열상태에서 팽창을 계속해 온도가 낮아지는 단계( $T_1 \rightarrow T_2$ )

3→4: 외부에서 일을 받은 만큼 외부의 저열원으로 열에너지( $Q_2$ )를 방출하는 등온( $T_2$ ) 압축 단계

4→1: 단열상태에서 압축을 계속해 온도가 높아지는 단계( $T_2 \rightarrow T_1$ )

이러한 카르노 기관은  $Q_1$ 과  $Q_2$ 의 비가  $T_1$ 과  $T_2$ 의 비와 같다. 따라서 카르노 기관의 열효율은  $e=1-Q_2/Q_1=1-T_2/T_1$

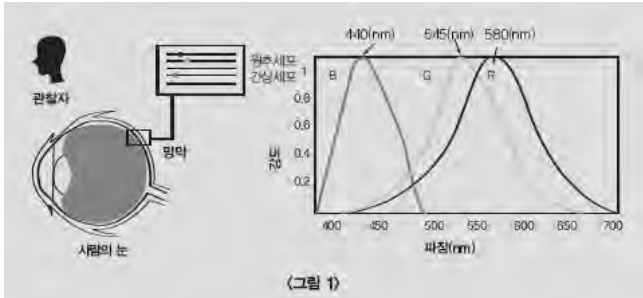
이다. 하지만 가장 이상적인 카르노 기관도 저온부의 온도  $T_2$ 가 절대온도 0K일 수 없으므로 열효율이 100%일 수는 없다.



### 제시문

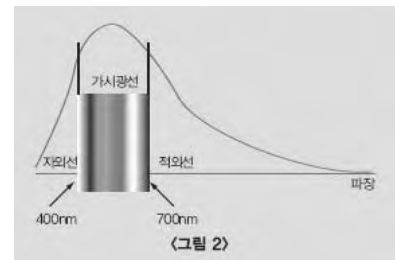
(가) 색은 눈에 들어온 전자기파가 어떤 시세포를 흥분시키느냐에 따라 결정된다. 망막에는 <그림 1>처럼 빛에 반응하는 시세포가 분포한다. 시세포는 전자기파의 파장에 따라 달리 반응하는 원추세포와 전자기파의 세기 즉 밝기에 따라 반응 정도가 다른 간상세포로 이뤄진다. 따라서 색의 결정은 원추세포, 물체의 명암은 간상세포에 의해 이뤄진다.

원추세포의 파장에 따른 반응곡선은 <그림 1>과 같다. 원추세포에는 3가지 종류가 있는데 이들은 각각 440nm, 545nm, 580nm 근처에서 최대 감도를 나타내며 각각 B(Blue), G(Green), R(Red) 원추세포라 한다. 곡선을 보면 RGB 각각의 원추세포는 꽤 넓은 영역에 걸쳐 반응한다.



G원추세포의 경우 420~650nm에 달하는 빛에 반응한다. RGB 원추세포의 반응을 종합하면 원추세포의 반응영역이 400~700nm임을 알 수 있는데 이를 가시광선 영역이라 한다.

그렇다면 색은 어떻게 인식할까? 세 가지 원추세포의 흥분 정도에 따라 전기신호의 크기가 달라지는데 뇌에서는 이 신호를 종합해 색을 판정한다. 그 결과 <그림 2>처럼 우리는 단색의 전자기파를 파장에 따라 다른 색으로 인식한다. 흔히 말하는 빨주노초파남보 무지개색으로 말이다.



어떤 빛을 노란색으로 인식하는 데는 두 가지 경우가 있다. 하나는 파장이 570nm인 단색광이다. 파장이 570nm인 단색광이 들어오면 <그림 1>처럼 R과 G세포가 거의 같은 감도로 반응한다. R과 G에서 같은 세기의 전기신호가 만들어지면 뇌는 노란색을 인식한다. 두 번째로 600nm의 단색광과 530nm의 단색광이 함께 눈에 들어오는 경우도 R과 G세포는 거의 같은 크기의 전기신호를 발생시키므로 뇌는 노란색으로 인식한다.

(나) 분자나 원자로 구성된 매질에 빛이 입사되면 원자나 분자에 붙어 있는 전자들은 전자기파의 전기장에 의해 전기력을 받는다. 전기장이 진동하면 전자들도 진동한다. 이와 같이 진동자에 주기적인 외력이 가해져 진동자가 진동하는 경우를 강제 진동이라 한다.

원자 내 전자를 고전 모형으로 생각하면 벽에 고정된 용수철에 매달려 진동하는 물체와 유사하다. 벽은 원자핵, 물체는 전자에 각각 대응한다. 원자핵과 전자 사이에는 쿨롱 힘이 작용한다. 쿨롱 힘은 용수철의 탄성력과 같은 역할을 하며 물체에 힘을 가한 뒤 떼어냈을 때 물체가 하나의 진동수로 계속 진동하게 한다. 이때 진동수를 고유 진동수라고 하며 이는 물체 질량과 용수철의 탄성계수에 의해 결정된다. 같은 힘으로 진동수만 달리하면 진동자의 진폭은 외력의 진동수 함수가 되며 외력의 진동수가 진동자의 고유 진동수와 같아지면 공명 현상이 일어나 진폭이 매우 커진다. 이때 진동자는 큰 에너지를 저장한다.

공명 진동수로 그네를 밀 때 가장 큰 에너지를 그네에 전달할 방법을 생각해보자. 언뜻 그네가 최대 변위 위치에 왔을 때 강한 힘을 주면 될 것 같지만 그렇지 않다. 오히려 그네가 중간 지점을 통과할 때 힘을 가해야 한다. 공명 진동수를 가진 외력이 진동자에 작용해 진동자의 속도와 외력이 같은 위상으로 반응하기 때문이다. 아주 천천히 진동자를

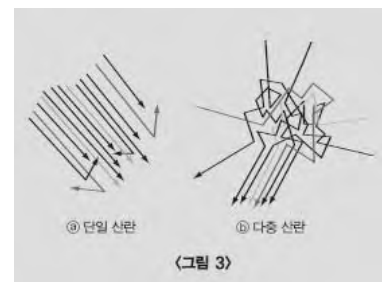
흔들면 진동자는 외력과 같은 위상으로 반응하지만 공명 진동수보다 큰 진동수의 외력으로 강제 진동시키면 진동자가 외력과 반대 위상으로 반응한다.

빛과 물질의 상호작용을 이해할 때 강제 진동에 따른 진동자의 반응은 매우 중요하다. 전자기파가 원자에 도달하면 전기장이 진동하므로 전기장은 외력이 되고 원자에 붙어 있는 전자는 진동자가 된다. 전기장이 진동하면 전자는 전기장에 비례하는 힘을 받아 전기장의 진동수와 같은 진동수로 강제 진동한다.

(다) 빛이 매질과 상호작용할 때 매질의 크기가 빛의 파장보다 작으면 매질 전체에 같은 크기의 전기장이 가해진다. 이 경우 매질은 쌍극자가 된다. 매질의 크기가 파장보다 크면 매질의 위치마다 전기장이 달라져 복잡한 상호작용이 일어난다. 전자기파가 원자나 분자에 입사한 뒤 원자나 분자 내 전자를 진동시켜 쌍극자가 되게 하면 사방으로 빛이 재방출된다. 이를 통해 사방으로 빛이 퍼지는 현상을 산란이라 한다. 산란은 빛의 진동수와 물질의 고유 진동수에 따라 비공명산란과 공명산란으로 나뉜다.

비공명산란은 빛의 진동수와 물질의 진동수가 크게 차이 날 때 일어난다. 이는 빛을 외부 구동력으로, 물질을 진동하는 전기 쌍극자로 하는 모델로 설명된다. 쌍극자 진동으로 일어나는 도넛 모양의 방사 출력을 가진 전자기파 방사를 비공명산란이라 한다.

산란체의 구성 원자가 얼마만큼 밀집됐느냐에 따라 상호작용의 결과는 크게 차이 난다. <그림 3>은 희박한 매질에서 빛이 일회성 산란하는 경우와 비교적 많은 원자로 이뤄진 매질에서 산란된 빛이 다시 산란되는 다중 산란을 보여준다.



공명산란은 빛의 진동수와 물질의 고유 진동수가 같아 전자의 진폭이 커지는 경우를 말한다. 공명 시에는 입사되는 빛에너지를 매우 효과적으로 퍼뜨리거나 열에너지로 전환하므로 원래 진행 방향으로 전파되는 에너지가 눈에 띄게 떨어진다. 참고로 물은 적외선 영역의 공명 진동수를 가지며 가시광선에 대해서는 약한 비공명산란을 일으킨다.

－ ‘과학교사를 위한 빛과 파동’, 김중복 외 공저

문제01 노란색 물감이 노랗게 보이기 위해서는 물감이 파랑색 영역의 빛을 흡수하고 빨간색과 초록색 영역의 빛을 반사해야 한다. 하지만 노란색 물감이 순수 노란색 빛만을 반사하는 경우에도 노란색으로 보인다. 제시문 (가)를 참조해 노란색 물감이 노란색으로 보이는 이유가 앞에서 어떤 경우인지 구분하는 방법을 서술하라.

## ▶ 전문가 클리닉

R, G, B 원추세포의 반응감도에 따라 뇌에서 인지하는 색이 달라집니다. 어떤 색의 빛을 뇌에서 똑같이 인지한다고 하더라도 실제 두 가지 이상의 단색광이 혼합된 혼합광일 수도 단색광일 수도 있습니다. 서로 다른 진동수를 가진 빛은 밀한 매질에서 진행속력의 차이로 분산되므로 혼합광은 단색광과 달리 프리즘을 통과할 때 분산현상이 나타납니다.

빛은 진동수가 클수록 밀한 매질 속에서 속력이 느려진다. 따라서 공기 중에서 진행하던 빛을 프리즘에 통과시키면 단색광별로 다른 경로를 따라 진행하면서 분산된다. 뇌에서 같은 노란색으로 인지한다 하더라도 혼합광선인 노란색 빛은 프리즘을 통과할 때 분산되고 단색광은 분산되지 않는다. 빛을 프리즘에 통과시켜 분산현상이 나타나는지에 따라 구분한다.

문제02 다음 <보기>는 우리 주변 여러 사물의 색과 관련된 진술이다. 제시문 (나)와 (다)를 참조해 각 진술의 근거를 추론하라.

<보기>

- (1) 하늘을 파랗고 노을은 붉게 보인다.
- (2) 물은 투명한데 수증기는 흰색으로 보인다.
- (3) 물에 젖은 옷이나 땅은 어둡게 보인다.
- (4) 물은 투명한데 바다는 푸르게 보인다.

### ▶ 전문가 클리닉

제시문 (나), (다)에 나온 전자기파와 물질 사이의 상호작용과 산란의 개념을 잘 이해해 색과 관련된 현상을 정성적으로 설명하는 문제입니다.

### ▶ 예시답안

- 1) 대기층처럼 원자나 분자가 희박한 경우에는 일회성 산란이 일어난다. 이때 원자나 분자의 크기는 빛의 파장에 비해 충분히 작으므로 대기 중 질소나 산소분자들은 강제 진동하는 쌍극자가 된다. 산란 정도는 진동수가 클수록 크므로 가시광선 영역 중 진동수가 큰 파란색 계통의 빛이 더 많이 산란된다. 원리적으로 하늘은 보라색이어야 맞지만 태양광선 중 보라색이 매우 약하고 우리 눈 또한 보라색에 대한 감도가 작기 때문에 파란색이 우세해 보인다. 일몰이나 일출시에는 빛이 대기를 통과하는 거리가 길어진다. 그로 인해 공기 중에서 파란색 광보다 적게 산란되는 붉은색 광이 지표면에 더 많이 도달해 하늘이 빨갛게 보인다.
- 2) 물은 적외선 영역의 공명 진동수를 갖고 가시광선에 대해 약한 비공명산란을 일으켜 투명하게 보인다. 하지만 수증기는 희게 보인다. 이는 수증기가 굴절률이 다양한 공기 중에 존재해 경계면에서 여러 차례 반사와 굴절을 일으키기 때문이다. 이 때문에 표면에서만 반사를 일으키는 물보다 눈에 들어오는 광량이 많다. 또 물방울은 크기가 크기 때문에 내부에 있는 여러 개의 물분자가 동일한 전기장의 영향을 받지 않는다. 따라서 수증기는 특정 파장의 빛이 아닌 거의 모든 파장의 빛을 산란시켜 흰색으로 보인다.
- 3) 거친 표면에서는 여러 번의 반사가 일어나지만 물이 있으면 표면이 매끄러워져 반사되는 광량이 줄어든다. 또 투과되는 빛이 있더라도 다시 반사되는 과정에서 다시 한번 경계면을 만나 내부로 반사되기 때문에 반사광의 세기는 더욱 약해진다. 물에 젖은 옷이나 땅은 이와 같은 광량감소로 어둡게 보인다.
- 4) 물분자는 적외선 영역의 공명 진동수를 갖기 때문에 가시광선에 대해서는 약한 비공명산란을 일으켜 투명하게 보인다. 하지만 적외선과 가까운 붉은색 광에 대해서는 적은 양의 공명을 일으켜 약간의 붉은색 광을 흡수한다. 따라서 물속에서는 푸른색 광이 붉은색 광보다 더 깊은 곳까지 진행할 수 있다. 그렇다고 해도 물로만 구성됐다면 바다는 강물처럼 투명할 것이다. 하지만 바다는 깊이에 따라 염류농도나 수온이 달라 수없이 많은 경계면을 가지며 물속을 진행하는 광선은 이 경계면에서 수없이 많은 반사와 굴절을 거친다. 그 결과 바다는 푸른색을 띠며 해수의 상태에 따라 각기 다른 푸른색을 갖는다.

## 2008년 04월호 - 물리 면접구술고사 완벽가이드

### 충돌이 인체에 미치는 영향

#### 제시문 다음을 읽고 물음에 답하라

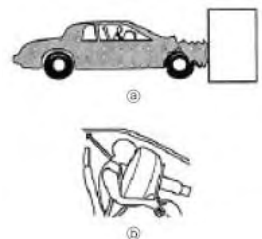
(가) 다음은 인체가 물체와 충돌할 때 작용하는 힘을 평가하는 문제로 뉴턴의 제2법칙을 적용하는 방법을 보여준다.

- 예 1: 어떤 사람이 1m/s로 걷고 있다가 걸려 있는 강철 막대기에 우연히 머리를 부딪쳤다. 약 0.01초만에 5mm의 거리에서 머리가 멈췄다고 가정하자. 머리의 무게는 3Kg이다. 감속을 일으키는 힘은 얼마인가?
- 답 1: 운동량의 변화( $\Delta mv$ )는  $\Delta mv = 0 - 3\text{Kg}\cdot\text{m/s} = -3\text{Kg}\cdot\text{m/s}$  (-부호는 머리의 운동량이 감소했기 때문이며 힘은 운동방향과 반대로 작용한다)이다. 따라서  $F = -3\text{Kg}\cdot\text{m/s} / 0.01\text{s} = -300\text{N}$ 이다.
- 예 2: 앞의 실험을 반복했을 때 강철막대가 2cm의 완충물을 갖고 있고 감속시간  $t$ 가 0.04초로 증가한다면 머리가 감속하는 데 작용하는 힘은 얼마인가?
- 답 2:  $F = \Delta mv / \Delta t = -75\text{N}$ 이며 앞의 예와 비교해 많이 감소했다.

인체에서 나타나는 동적인 힘의 예로서 심장이 박동할 때(수축기) 체중이 증가하는 현상을 들 수 있다. 약 0.06Kg의 혈액이 0.1초 동안에 심장에서 위쪽으로 1m/s의 속도로 방출된다고 하자. 혈액에 의해 위로 향하는 운동량은 혈액의 질량과 방출되는 속도의 곱인  $(0.06\text{Kg})(1\text{m/s}) = 0.06\text{Kg}\cdot\text{m/s}$ 이며 이러한 운동에 대한 반작용력은  $(0.06\text{Kg}\cdot\text{m/s}) / (0.1\text{s})$  또는 0.6N이다. 이 정도 힘은 반응이 민감한 스프링 형태의 저울에서 눈금을 움직이기에 충분하다.

1m 높이에서 뛰어내릴 때 다리를 펴고 착지한다면 상당한 충격을 받게 된다. 이때 몸의 감속은 대부분 발의 완충물 압축을 통해 일어난다. 부딪히기 바로 전 4.5m/s로 움직이고 완충물이 1cm 정도 압축된다면 몸은 약 0.005초 만에 정지한다. 이 조건에서 다리에 작용하는 힘은 체중의 100배에 달한다. 체육관 매트에 착지한다면 감속시간은 더 길어지며, 정상적인 인체반응을 따른다면 감속하는 데 더 많은 시간을 들이기 위해 우리는 무릎을 굽혀 착지에 따른 힘을 줄일 것이다. 번지점프는 신축성 있는 고무로프를 매고 높은 장소에서 떨어지는 게임으로 번지 밧줄은 긴 거리에 걸쳐 사람을 감속시킨다. 번지점프는 자유낙하와 감속을 통해 전율을 맛보게 한다.

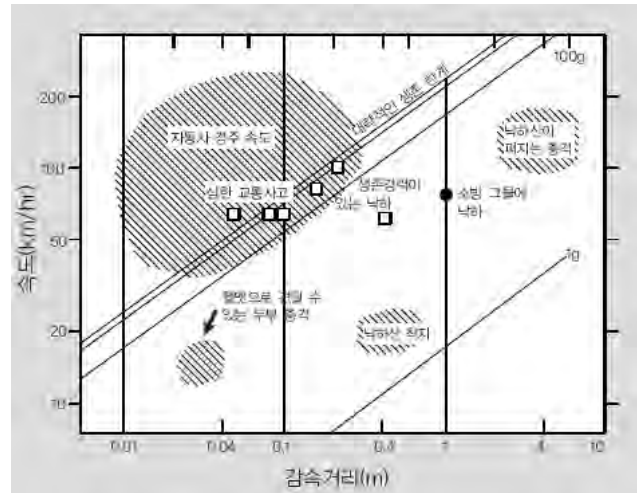
(나) 차가 단단한 벽에 정면으로 부딪치는 경우를 가정해보자. 자동차와 탑승자에게는 어떤 일이 일어날까. 자동차의 앞부분은 <그림 1>처럼 범퍼에서 시작해 구간별로 접혀 충돌거리 또는 시간을 증가시키도록 설계됐다. 이로 인해 접히는데 걸리는 시간이 길어져 충돌에 따른 감속력이 줄어든다. 차의 앞부분은 심하게 손상되지만 내부는 별다른 손상이 없어 탑승자는 심하게 상처받는 일은 없이 타박상 정도로 그치게 된다. 안전벨트 시스템과 에어백은 충돌 시 머리와 몸통을 보호한다. 통계적으로 이런 장치



<그림 1> 자동차 충돌 실험

는 손상과 사망을 줄이지만 부적절한 안전벨트, 유아용 안전좌석은 잘못 설치하면 오히려 역효과를 낼 수 있다. <그림 2>에서 제공하는 정보는 고성능 비행기에서 비상탈출방법을 설계하거나 자동차와 일반 비행기의 안전설계에 사용된다. 조종사가 탈출을 위해 위로 튕겨나갈 때 가속도를 계산한 뒤 인체의 한계와 비교해 가속력과 기간을 조정한다. <그림 2>의 정보는 헬멧을 설계할 때 많이 쓰인다. 헬멧은 충돌시 놀림에 의해 속도를 줄이도록 설계돼 있다. 자전거 헬멧은 속도를 내며 달리다가 단단한 평지에 떨어졌을 때를 대비해 운전자의 머리가 24Km/h 속도에서 부딪혔을 때의 충격을 견딜 수 있게 설계된다. 헬멧은 압축력에 대해 적절한 강도를 갖는 재료를 사용해 헬멧 완충물의 접힘이 감속시간을 늘려 머리가 받는 힘을 줄이도록 한다. <그림 2> 인체에

가해지는 보고된 충돌 예에서 충돌속도와 충돌시 감속거리를 표시한 그래프다. 사선들은 중력가속도  $g$ 로 표시한 감속시 가속도이고 속이 빈 사각기호는 보고된 자유낙하 생존자의 자료이다. 어두운 부분은 다른 상황에대한 추측이다. 이중선은 생존할 수 있는 한계를 제시한다.



- (다) 인체의 가속은 여러 가지 효과를 야기한다. ① 체중의 현저한 증가 또는 감소 ② 내부 정수압 변화 ③ 인체 탄력조직의 뒤틀림 ④ 액체 내 떠 있는 다른 밀도를 가진 고체의 분리 경향이다. 가속이 충분히 크다면 큰 가속력에 대항하는 일을 할 수 있는 근육의 힘이 없어 인체는 조절력을 잃는다.

어떤 조건 하에서 혈액은 인체의 여러 부위에 유통된다. 유통의 위치는 가속 방향에 영향을 받는다. 어떤 사람의 머리가 앞을 향해 가속된다면 뇌로 가는 혈액이 부족해져 일시적 시각상실과 무의식 상태가 올 수 있다. 궤도를 도는 위성에 있는 우주비행사는 무중력 상태에 있다. 최초의 유인 우주비행에 앞서 무중력의 생리학적 영향에 대해 고려해야 한다. 오늘날 우리는 우주에서 장시간 체류할 때 인체에서 일어나는 영향에 대한 정보를 갖고 있는데 몇 가지 생리학적 변화는 일어나지만 인체가 무능력해지거나 영구적인 손상을 입지는 않는다고 한다. 조직은 가속에 의해 비틀릴 수 있고 힘이 커지면 찢기거나 파열될 수도 있다. 실험 정보가 거의 없지만 거대한 원심분리기를 이용한 몇몇 실험에서 가속도에 의해 조직이 찢어지기 전까지 늘어날 수 있다는 결과가 보고됐다. 자동차 사고로 대동맥이 복막으로부터 찢어진다면 사망은 아니더라도 심각한 결과를 초래할 수 있다. - '인체물리', 존 카메론 지음

#### 문제 01

- 1) 질량 60Kg인 민수가 바닥으로부터 높이 1.8m인 담 위에서 가만히 뛰어내렸다. 공기저항을 무시할 때 철수가 바닥에 도달하는 순간의 속력과 도달하기까지의 시간을 구하라. (단 중력가속도는  $10\text{m/s}^2$ 이다.)
- 2) 민수가 바닥에 착지하는 과정에서 6cm만큼 무릎을 구부리는 동작을 취했다면 바닥으로부터 받는 평균 충격력은 얼마인가?
- 3) 제시문 (나)의 <그림 2>를 참조해 앞의 착지동작이 안전한지를 설명하라.

#### ▶ 전문가 클리닉

운동량과 충격량의 관계식 또는 일-에너지 정리를 이용해 충돌시 감속 거리에 따른 평균 충격력을 구하고 주어진 자료를 이용해 해당 충돌이 인체에 어떤 영향을 줄지 판단하는 문제입니다.

#### ▶ 예시답안

- 1) 1.8m에서 자유낙하한 뒤의 속도이므로 등가속도 운동 관계식  $2aH=v^2$  또는 역학적에너지 보존법칙  $1/2mv^2=mgH$ 로부터  $v=\sqrt{2gH}=6\text{m/s}$ 가 된다. 중력가속도에 의해 1초에 10m/s씩 속도가 증가했으므로 6m/s가 되는데 걸리는 시간은 0.6초다. 또는 뛰어내리는 동안 일정

크기의 중력을 받았으므로 운동량과 충격량의 관계식  $F\Delta t = \Delta mv$ 로부터  $600N \times \Delta t = 360Kg \cdot m/s$ 이고 도달하는데 걸린 시간  $\Delta t = 0.6s$ 가 된다.

- 2) 무릎을 구부리는 동작을 취하는 시간을 구해보자. 착지한 뒤 정지할 때까지 바닥과 민수 사이에 일정한 크기의 힘이 작용해 등가속도 운동을 했다고 가정하면 무릎을 구부리는 동안의 평균 속력은  $6m/s + 0/2 = 3m/s$ 가 된다. 따라서 이 속도로  $6cm$  이동하는 시간은  $0.02s$ 가 된다. 운동량과 충격량의 관계식  $F\Delta t = \Delta mv$ 로부터 민수가 받는 평균 충격력은  $18000N$ 이다. 일-에너지 정리로부터도 같은 결과를 얻는다.
- 3) 앞에서 구한 바닥 도달속력을 시속으로 환산하면 대략  $22Km/h$ 가 된다. <그림 2>에서 시속  $20Km$ 에서 생존한계에 해당하는 감속거리( $0.01m$ 보다 작음)보다는 훨씬 큰  $0.06m$ 를 확보하고 있으므로 생존에는 큰 지장이 없다. 하지만 낙하산을 이용해 착지할 때의 감속거리  $40cm$ 보다는 훨씬 작은 감속거리가 돼 주요 관절이 손상될 가능성이 높다.

문제 02 탑승 허용 가능한 최대 질량이  $100Kg$ 인 번지점프대를 제작하려고 한다. 사용하려는 로프 길이는  $20m$ 이고 로프의 탄성계수는  $200N/m$ 라고 하자. 낙하운동을 하는 과정에서 받는 공기저항력과 탑승자의 신장을 무시할 때 다음 물음에 답하라. (단 중력가속도는  $10m/s^2$ 이다.)

- 1) 탑승자의 안전을 고려할 때 번지점프대의 높이는 어떻게 설계해야 하는가?
- 2) 번지점프를 하는 탑승자의 줄이 늘어나기 이전의 상태와 제시문 (다)의 궤도비행하는 우주비행사는 동일하게 무중력 상태를 경험한다. 무중력 상태의 물리적 의미에 대해 논술하고 이때 인체에 나타나는 생리적 변화를 서술하라.

## ▶ 전문가 클리닉

이 문제는 번지점프를 하는 과정에서 역학적에너지 보존법칙을 활용해 무중력 상태를 이해하는지 묻고 있습니다. 또 무중력 상태에서 인체에 나타나는 여러 가지 생리적 변화를 추론하는 능력을 평가하고 있습니다.

## ▶ 예시답안

- 1) 공기저항을 무시할 때 낙하 과정에서 받는 힘은 중력 또는 탄성력이므로 역학적에너지는 보존된다. 따라서 줄의 원래 길이를  $l_0$ , 탄성계수를  $k$ , 최하점까지 줄이 늘어난 길이를  $x$ 라 하면 탑승자의 최대 질량을  $m$ 이라 했을 때  $mg(l_0+x) = 1/2kx^2$ 이 된다. 이로부터 줄이 최대로 늘어난 길이를 계산하면  $20m$ 이다. 따라서 이때 탑승자가 지면과 충돌하지 않기 위해서는 번지점프대의 높이가 최소  $40m$ 보다는 높아야 한다.
- 2) 무중력 상태란 관측자가 중력을 받아 가속운동을 할 때 중력과 같은 크기의 관성력이 작용하는 것처럼 느껴 중력의 효과가 느껴지지 않는 상태이다. 자유낙하하는 관측자와 만유인력을 받아 지구 주위를 원운동하는 우주선 내 관측자는 모두 이러한 무중력 상태를 경험하게 된다. 무중력 상태에서는 연골에 위아래로 가해지는 압력이 0이 돼 보통 때보다 키가 약간 커진다. 또 중력의 영향을 받지 않아 머리쪽 혈압이 높아져 얼굴이 붓고 발은 중력의 영향을 받을 때보다 혈압이 낮아져 붓지 않는다. 장시간 무중력 상태 하에서 생활하면 골격에 걸리는 부하가 감소한다. 그로 인해 뼈속에 저장되어 있던 칼슘이 혈액속으로 유입돼 혈액의 칼슘 농도가 증가한다. 그렇게 되면 혈액의 칼슘이온 농도를 적절히 유지하기 위해 칼시토닌이나 파라토르몬 같은 호르몬 분비에 변화가 생긴다.

## 2008년 05월호 - 물리 면접구술고사 완벽가이드

소유즈호의 속도

제시문 다음을 읽고 물음에 답하라

(가) 소유스 우주선은 엄청난 화염을 내뿜으며 발사됐습니다. 화염의 온도는  $3000^{\circ}\text{C}$ , 그 길이는 120m가 넘습니다. 화염의 충격을 줄이기 위해 발사대에는 150m 정도의 배출구가 나선형으로 파여 있습니다. 발사 직후 화염을 제대로 배출하지 못하면 고열의 화염이 땅에서 반사돼 우주선을 불태울 수 있기 때문입니다.

소유스호는 궤도에 진입하기 위해 1초에 7.91Km로 날고 있습니다. 이 정도 속도를 유지해야만 중력을 이겨내면서 궤도비행을 순조롭게 할 수 있습니다. 하지만 초속 11.2Km보다 빨라지면 힘이 중력보다 커져 지구궤도를 이탈하게 됩니다. 소유스호는 지구를 90분에 한 번씩, 33-34바퀴를 돌아 발사된 뒤 48시간만에 국제우주정거장 ISS와 도킹하게 됩니다.

- SBS 2008년 4월 9일자

(나) 지구 질량을  $M$ 이라고 할 때 지구 중심으로부터 반지름이  $r$ 인 곳에서 속력  $v$ 로 원운동하는 질량  $m$ 인 인공위성이 있다고 하자. 인공위성은 원운동을 하므로 구심력을 받는다. 이때 인공위성에 작용하는 힘은 지구와 인공위성 사이의 만유인력뿐이므로 만유인력이 구심력으로 작용한다.

$$m\frac{v^2}{r} = G\frac{Mm}{r^2} \dots\dots\dots ①$$

정리하면 인공위성의 속력  $v$ 는 다음과 같다.

$$v = \sqrt{\frac{GM}{r}} \dots\dots\dots ②$$

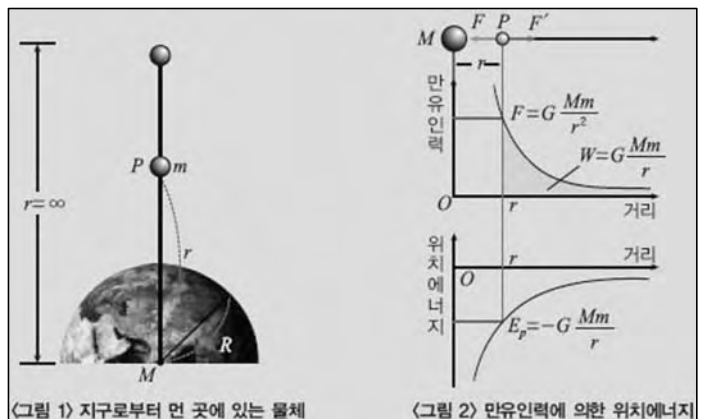
식으로부터 지구를 중심으로 원운동하는 인공위성 속력이 인공위성의 궤도반지름으로부터 결정된다는 사실을 알 수 있다. 공전궤도 반지름이 4배인 인공위성의 속력은  $\frac{1}{2}$ 배이다.

인공위성의 공전주기  $T$ 는  $T = \frac{2\pi r}{v}$  이므로 식 ②를 대입해 정리하면

$$T^2 = \frac{4\pi^2}{GM} r^3 \dots\dots\dots ③$$

이 때 케플러 제3법칙이 성립한다. 이는 특정 주기의 인공위성을 발사할 때 공전궤도반지름이 결정돼야 함을 의미한다. 인공위성의 역학적에너지 즉 위치에너지는 어떻게 구할까? 지표면 근처 중력가속도는 일정하다고 볼 수 있으므로 지표면을 기준으로 하는 중력에 의한 위치에너지는 지표면으로부터의 높이  $h$ 에 비례한다. 그러나 <그림 1>과 같이 물체가 지구로부터 멀어지면 중력가속도가 지구 중심으로부터 거리의 제곱에 반비례해 작아진다. 그러므로 식  $E_p = mgh$ 는 달이나 인공위성 같은 천체에는 적용할 수 없다.

지구 중심으로부터 거리  $r$ 만큼 떨어진 점  $P$ 에서 지구 중력이 작용하지 않는 무한원까지



질량  $m$ 인 물체를 옮기는데 필요한 일의 양을 구해보자. 물체에 가해야 할 힘  $F$ 의 크기는 만유인력  $G\frac{Mm}{r^2}$ 과 같고 방향은 반대다. 이때 물체에 주어야 할 일의 양은 <그림 2>의 만유인력  $F$ 와 거리  $r$ 의 관계를 나타낸 그래프에서 색칠한 부분의 넓이로

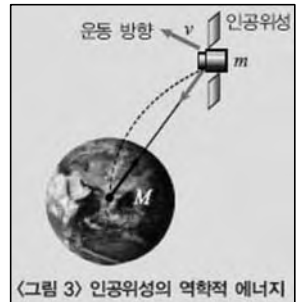
$$W = G\frac{Mm}{r} \dots\dots\dots ④$$

이다. 지구로부터 무한히 먼 곳에서는 지구와 물체 사이에 인력이 작용하지 않으므로 무한원에 있는 물체의 위치에너지는 0이다. 거리  $r$ 인 점에서 물체가 가지는 위치에너지는  $(-)$ 값이다. 지구 중심으로부터 거리  $r$ 만큼 떨어진 점에 위치한 질량  $m$ 인 물체의 만유인력에 의한 위치에너지  $E_p$ 는 다음과 같다.

$$E_p = -G\frac{Mm}{r} \dots\dots\dots ⑤$$

<그림 3>처럼 지구 둘레를 원운동하는 인공위성의 역학적에너지  $E$ 는

$$E = E_k + E_p = \frac{1}{2}mv^2 - G\frac{Mm}{r} \dots\dots\dots ⑥$$



이다. 이때 만유인력 이외에 다른 힘은 작용하지 않으므로 역학적에너지는 항상 보존된다. 인공위성의 역학적에너지가  $E \geq 0$ 이면 지구중력장을 벗어날 수 있지만  $E < 0$ 인 경우에는 지구중력장에 속박돼 벗어날 수 없다. 이 조건으로부터 인공위성이 지구중력장을 벗어나 무한히 먼 곳으로 탈출하기 위해 필요한 최소속력인 탈출속력을 구한다.

$$E = \frac{1}{2}mv^2 - G\frac{Mm}{r} \geq 0 \dots\dots\dots ⑦$$

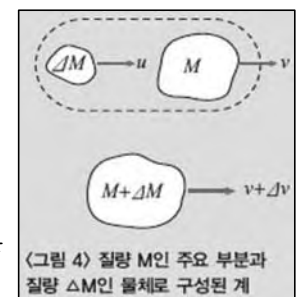
$$v \geq \sqrt{\frac{2GM}{r}} \dots\dots\dots ⑧$$

식 ⑧에 의해 탈출속력  $v_e$ 는  $\sqrt{\frac{2GM}{r}}$ 이다.

- 고등학교 물리Ⅱ 교과서

(다) 지금까지는 질량이 일정한 계에 한정된 동역학을 다뤘다. 이제부터는 로켓처럼 질량이 변하는 계에서의 동역학을 논한다. 뉴턴 제2법칙에  $p = Mv$ 관계를 적용하면

$$F_{EXT} = \frac{dp}{dt} = M\frac{dv}{dt} + v\frac{dM}{dt} \dots\dots\dots ①$$



이다. 그러나 이 식은 실제로 질량이 계에 출입하는 경우에 적용되지 않는다. 속도  $v$ 로 운동하는 질량  $M$ 인 물체의 운동을 조사해 보자. <그림 4>처럼 작은 물체  $\Delta M$ 이 같은 직선을 따라  $v$ 보다 큰 속도  $u$ 로 물체에 접근하면 두 물체는 충돌한 뒤 함께  $v + \Delta v$ 속도로 운동한다.  $p$ 가 일정 질량  $M + \Delta M$ 을 가진 계의 총운동량일 때 양쪽 물체를 포함하는 계에 대해  $F_{EXT} = \frac{dp}{dt}$ 를 적용할 수 있다.  $\Delta t$ 시간이 경과한 뒤 계의 운동량 변화는  $\Delta p = (M + \Delta M)(v + \Delta v) - Mv - \Delta Mu = M\Delta v - (-u - v)\Delta M$ 이다.  $(u - v) = v_{re}$ 를 충돌 전  $M$ 에 대한  $\Delta M$ 의 상대속도라 하고 앞 식을  $\Delta t$ 로 나눠  $\Delta t \rightarrow 0$ 인 극한을 취하면 다음과 같다.



$$F_{EXT} = \frac{dp}{dt} = M \frac{dv}{dt} - v_{re} \frac{dM}{dt} \dots\dots\dots ②$$

식 ①과 ②의 차이점에 주목하자. 둘째항의 부호가 음으로  $v$ 는  $v_{re}$ 로 바뀌었다. 이 차이는 총운동량을  $p = Mv$ 로 나타내는 것이  $v$ 가  $v_{CM}$ (질량중심의 속도)일 때만 가능하기 때문에 나타난다. 식 ②에서  $v$ 는 계의 주요 부분의 속도에 해당한다. 이를

$$M \frac{dv}{dt} = F_{EXT} + v_{re} \frac{dM}{dt} \dots\dots\dots ③$$

으로 고쳐쓰면 편리하다. 질량  $M$ 인 주요부분의 가속도  $\frac{dv}{dt}$ 는 계 전체( $M + \Delta M$ )에 작용하는 알짜 외력  $F_{EXT}$ 와 주요 부분 속도로 들어오고 나가는 운동량의 변화율  $v_{re} \frac{dM}{dt}$ 의 합에 따라 결정한다.

- '대학물리학', 해리스벤슨 지음

문제 01 소유스호는 고도 220Km 상공에서 지구 주위를 33~34바퀴 회전한 뒤 지상 350Km 고도에서 돌고 있는 국제우주정거장(ISS)과 도킹할 예정이다. 제시문 (가)와 (나)를 참조해 다음 물음에 답하라.

- 1) ISS와 도킹하기 전 소유스호의 궤도를 원궤도라 가정할 때 회전주기를 구하라. (지구 반지름은 6400Km로 계산한다.)
- 2) 발사와 추진과정에서 공기저항력을 무시하고 아주 짧은 시간 안에 궤도 진입에 필요한 속도를 얻을 수 있다고 가정하자. 이때 얼마의 속도로 소유스호를 발사해야 고도 220Km에 도달할 수 있을지 계산하라.

### ▶ 전문가 클리닉

소유스호가 지구를 중심으로 원궤도를 공전할 때 받는 힘은 지구로부터의 만유인력입니다. 또 추진과정에서 공기저항력과 같은 힘을 무시한다면 궤도 진입과정에서 역학적에너지는 보존됩니다.

### ▶ 예시답안

- 1) 소유스호는 지구로부터의 만유인력을 받아 원운동하므로 지구 질량을  $M$ , 소유스호의 질량을  $m$ , 지구 중심으로부터의 거리를  $r$ 이라 하면  $GMm/r^2 = mr\omega^2$ 이다.  $T^2 = 4\pi^2/GMr$ 에 따르면 회전 주기  $T$ 는 약 90분이다.
- 2) 발사속력을  $v_0$ , 궤도속력을  $v$ 라 하면 역학적에너지 보존법칙에 따라
 
$$1/2mv_0^2 - GMm/R = 1/2mv^2 - GMm/R$$
 이다. 여기서 궤도속력은  $GMm/R^2 = mv^2/r$ 로부터  $v = \sqrt{GM/r}$ 이 된다.  
 발사속력  $v_0$ 를 구해보면  $v_0 = \sqrt{2GM(1/R - 1/2r)}$  대략 8Km/s다.

문제 02 발사 순간 소유스호의 질량이  $3 \times 10^6 \text{Kg}$ 이고 소유스호 전체 질량 중 연료가 차지하는 비율이 2-3라고 가정하자. 연료가 연소될 때 발생하는 가스의 로켓에 대한 배출속력은 2500m/s이고 연료의 분출률은  $1.5 \times 10^4 \text{Kg/s}$ 이다. 제시문 (다)를 참조해 다음 물음에 답하라.

- 1) 로켓이 추진하는 동안 받는 추진력의 크기를 구하라.
- 2) 발사 시 초기가속도는 얼마인가? (공기저항은 무시한다.)

## ▶ 전문가 클리닉

문제 1의 분석과는 달리 로켓은 추진과정에서 상당량의 연료를 소비하므로 질량이 일정한 계에서의 운동법칙을 따르지 않습니다. 운동과정을 분석할 때 이러한 질량 변화를 고려해야 합니다. 제시문 (다)를 참조해 분석해 봅시다.

## ▶ 예시답안

1) 로켓에서  $F_{EXT}$ 는 중력과 공기저항력을 합한 값이므로 추진력은 제시문 (다)에 나온 식 ③의  $v_{re}dM/dt$ 이다. 로켓에 대한 배출가스의 상대속력  $v_{re}$ 와 연료의 분출률  $dM/dt$ 을 이용해 계산하면 추진력은  $3.75 \times 10^7 N$ 이다.

2) 제시문 (다)의 식 ③  $M dv/dt = F_{EXT} + v_{re}dM/dt$ 에서 양변을  $M$ 으로 나누면

$$dv/dt = F_{EXT}/M + v_{re}/M dM/dt$$

이고 공기저항을 무시할 때  $F_{EXT} = Mg$ 이다.

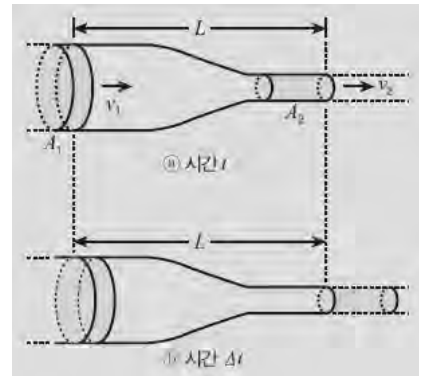
따라서  $a = dv/dt = g - (2.5 \times 10^3 / 3 \times 10^6) \times 1.5 \times 10^4 = 2.3 m/s^2$ 이다.

## 2008년 06월호 - 물리 면접구술고사 완벽가이드

혈액을 흐르게 하는 힘 - 내 몸속의 역학. 혈액을 흐르게 하는 힘에 대해 알아봅시다.

### 제시문\_다음을 읽고 물음에 답하라

- (가) 아이작 뉴턴의 역학 체계가 완성되기 전 ‘힘’은 물체의 속도를 일정하게 유지하는데 필요한 대상으로 여겨졌다. 공을 바닥에 굴리면 점점 느려지다가 멈춘다. 공을 일정한 속도로 움직이게 하려면 계속해서 공을 당기거나 밀어야 한다. 얼음판에서 공을 굴리면 훨씬 멀리까지 미끄러져 갈 것이며 마찰이 없는 표면에 굴린다고 가정한다면 공은 일정한 속력으로 계속 굴러갈 것이다. 뉴턴은 이런 사실을 바탕으로 물체에 힘이 작용하지 않는다면 물체의 속도도 변하지 않는다는 결론을 내렸으며 이것이 바로 뉴턴 제 1법칙이다. 그러나 우리가 경험하는 대부분의 움직임에는 마찰력이 존재하기 때문에 이상적일 수 없다. 실제 바닥을 굴러가는 공은 마찰력으로 에너지를 잃고 점점 느려지다가 결국 멈춘다. 관을 타고 흐르는 유체도 마찬가지다. 이때 관의 길이(L), 관의 반지름(r), 관 내부에 흐르는 유체의 점도( $\eta$ , 에타)가 저항에 영향을 미친다. 프랑스의 의사이자 물리학자인 장 푸아죄유는 가늘고 곧은 원관 양 끝에 압력(P)차를 주었을 때 유체의 유량(단위 시간당 특정 위치를 지나가는 유체의 부피)을 연구해 다음과 같은 방정식을 유도했다.



$$\text{유량} = (P_A - P_B) (\pi r^4 / 8 \eta L)$$

- (나) 물이 나오는 호스 끝 일부분을 막으면 물의 속력이 빨라진다. 물의 속력은 물이 흐르는 단면적에 따라 달라진다. 다음 그림과 같이 유체가 길이 L인 관을 이용해 왼쪽에서 오른쪽으로 흐른다고 가정해보자. 유체의 속력은 왼쪽 끝에서  $v_1$ , 오른쪽 끝에서  $v_2$ 이고 관의 단면적은 왼쪽 끝  $A_1$ , 오른쪽 끝  $A_2$ 이다. 시간  $\Delta t$  동안 부피  $\Delta V$  만 크의 유체가 왼쪽에서 들어오고 같은 부피의 유체가 오른쪽으로 나간다. 속력  $v$  인 유체가 관을 따라 이동할 때  $\Delta t$  동안 이동한 거리  $\Delta x = v \Delta t$  이고  $\Delta t$  동안 점선을 지난 유체의 부피  $\Delta V = A \Delta x = A v \Delta t$  이다. 이를 관 양쪽 끝에 적용하면  $\Delta V = A_1 v_1 \Delta t = A_2 v_2 \Delta t$  이고  $A_1 v_1 = A_2 v_2$  다.

- (다) 심실 수축에 의한 압력은 혈액이 흘러가도록 하는 원동력이다. 체순환 최고 압력은 대동맥에서 나타나며 심실이 수축할 때 나타나는 최고 압력을 수축기압, 심실이 확장할 때 나타나는 최저 압력을 확장기압이라 한다. 좌심실에서 혈액을 대동맥으로 밀어낼 때 일어나는 압력 상승은 동맥을 통해 박동으로 느껴진다. 압력과는 혈액보다 10배 빠르게 이동한다. 압력과의 세기는 박동압 크기의 척도로 이용되며 박동압은 ‘수축기압-확장기압’으로 정의한다.

동맥압은 심장의 추진력을 반영한다. 심실 압력을 직접 측정하기는 어려우므로 동맥압이 심실 압력을 반영한다고 가정한다. 동맥압은 박동압이므로 추진압력으로 나타낼 때에는 평균 동맥압(확장기압 + 박동압의 3분의 1)을 이용한다.

평균 동맥압은 동맥으로 들어가는 혈류와 동맥에서 조직으로 나가는 혈류 사이의 균형이다. 들어가는 혈류가 나가는 혈류를 초과하면 혈액이 동맥에 모이고 평균 동맥압은 증가한다. 반대로 나가는 혈류가 들어오는 혈류를 초과하면 평균 동맥압은 떨어진다. 대동맥으로 들어가는 혈류는 좌심실의 심박출량과 동일하며 혈관에서 나오는 혈류는 주로 세동맥 저항으로 결정된다. 관계를 식으로 나타내면 다음과 같다.

$$\text{평균 동맥압} \propto \text{심박출량} \times \text{세동맥 저항}$$

총 혈액량과 체순환의 혈액 분포도 동맥압에 영향을 미친다. 탈수, 출혈, 과량의 음료 섭취 등으로 총 혈액 양이 변하면 혈압에 변화가 생긴다. 혈액의 부피가 증가하면 혈압은 증가하고 반대로 혈액의 부피가 감소하면 혈압은 감소한다.

- (라) 혈압을 측정하는 방법에는 직접 측정법과 간접 측정법이 있다. 외과 수술이나 중환자실에서는 플라스틱 관으로 된 카테터가 연결돼 있는 주사바늘을 동맥 내로 삽입한 뒤 압력 변환기를 이용해 전압 출력으로 혈압 값을 얻는 직접 측정법을 사용한다. 일반적으로는 팽창 낭대와 압력계 그리고 청진기를 이용한 간접 측정법을 사용한다.

낭대를 팔 윗부분에 두른 뒤 공기를 넣어 수축기압보다 커질 때까지 팽창시킨다. 그러면 혈류가 중지되어 아무 소리도 들리지 않게 된다. 낭대 압력을 감소시켜 낭대 압력이 수축기의 동맥압력 이하로 떨어지게 되면 혈액이 다시 흐르면서 소리가 들린다. 그러다 낭대 압력이 더 이상 동맥을 압박하지 못하면 다시 아무 소리도 들리지 않는데 이때 압력을 동맥 최저 혈압인 확장기압이라 한다.

혈압은 인체 부위마다 다르게 나타난다. 심지어 대동맥 압력도 중력에 의해 각 지점마다 다양하게 나타난다. 발에서의 압력은 심장에서의 압력에 심장과 발 사이에 있는 혈액 무게가 더해져 더 크게 나타나며 반대로 머리에서의 혈압은 더 낮다.

- (마) 버스가 가속 운동하면 버스 안에 매달린 버스 손잡이는 가속도 반대 방향으로 기울어져 운동한다. 이때 버스 밖에 정지한 관측자는 버스 손잡이가 장력과 중력을 받아 두 힘의 합력 방향으로 가속된다고 설명할 수 있다. 그러나 버스 안에 탑승한 관측자는 버스 손잡이가 정지해 있는 것으로 보이므로 장력과 중력만으로는 손잡이의 운동 상태를 설명할 수 없다. 이 문제를 해결하기 위해 도입된 힘이 바로 관성력이다. 버스 안에 탑승한 관측자가 버스 손잡이가 정지해 있다는 관측 사실을 설명하기 위해서는 손잡이에 실제로 작용하는 힘인 장력과 중력의 합력 반대 방향으로 같은 크기의 힘이 작용해 모든 힘이 평형을 이룬다고 가정해야 한다. 일반적으로 가속 운동하는 계 내부의 관측자는 계 내부에 있는 물체에 항상 가속도 방향과 반대 방향으로  $ma$ ( $m$ :물체의 질량,  $a$ :계의 가속도)만큼의 힘이 작용한다고 생각하는데 이런 가상적인 힘을 관성력이라고 한다.

문제 1 고산지대에 사는 사람들의 혈류속도는 저지대 사람들에 비해 더 빠르겠는가 아니면 더 느리겠는가? 그 이유를 설명하라.

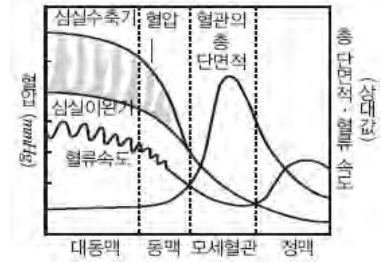
## ▶ 전문가 클리닉

제시문 (나)의 베르누이의 법칙이 아닌 제시문 (가)의 유량 개념을 적용해 접근합니다. 혈관 총 길이나 굵기 등 신체적 조건이 유사한 사람이라는 가정 하에 답안을 서술합니다.

### 제시문\_나

특정 혈관이 아닌 전반적 혈류 속도를 비교하는 문제이므로 푸아죄유 법칙을 적용해 유량을 비교한다. 비슷한 체격이라면 혈관 총 길이나 굵기, 심장 기능에 큰 차이가 없으므로 혈압은 비슷하다. 그러므로 유량에 영향을 주는 요인들 중 관의 길이( $L$ ), 관의 반지름( $r$ ), 압력 차( $P$ )는 고려하지 않아도 된다. 고산지대는 산소 분압이 낮으므로 효과적으로 산소를 운반하기 위해 혈액에 많은 양의 적혈구를 포함한다. 혈액 내 적혈구 비율이 높아지면 혈액 점도가 높아지고 유량은 유체 점도에 반비례하므로 혈류 속도는 느려진다. 고산지대에 사는 사람들의 혈류속도는 저지대 사람들의 혈류속도보다 느리다.

문제 2 다음은 한 비행사의 신체부위별 혈압과 혈류속도, 혈관 총 단면적을 나타낸 그래프이다. 비행사의 신장은 180cm이며 심장은 발을 기준으로 130cm 높이에 있다.



- 1) 제시문을 바탕으로 혈압과 혈류속도가 그래프와 같은 양상을 나타내는 이유를 서술하라.
- 2) 비행사의 머리끝에서 대동맥 압력과 발끝에서 대동맥 압력은 각각 얼마인가? 단, 혈류가 흐르면서 저항에 의해 혈압이 감소하는 효과는 무시하며 혈액의 밀도는 수은 밀도의 1/13이다.
- 3) 3g 가속도로 하강하던 비행기에 타고 있던 비행사가 급격히 수평으로 돌아오면서 잠시 의식을 잃었다. 왜 이런 현상이 나타났는지 서술하라. g는 중력가속도를 뜻한다.

### ▶ 전문가 클리닉

혈압은 심장에서 혈액을 분출하는 압력뿐 아니라 중력까지 고려해야 한다는 사실에 유의해 답안을 작성합니다. 또 비행기의 급선회 운동과 같은 가속운동을 할 때 관측자가 느끼는 관성력에 의한 혈압 변화의 효과도 고려합니다.

### ▶ 예시답안

- 1) 혈압은 심장박동으로 생성된 추진력을 반영한다. 따라서 심장과 가장 가까운 동맥압이 가장 높으며 심장이 수축하면서 혈액을 동맥으로 내보낼 때 동맥압이 최고가 된다. 반대로 심장이 이완할 때 동맥압은 최저가 된다. 심장박동으로 생긴 혈압은 혈관을 따라 흐르면서 감소한다. 혈액이 혈관을 따라 흐르면서 저항을 받아 생기는 에너지 손실에 의한 현상이다. 혈관을 흘러가는 혈액은 혈관 벽에서 발생하는 마찰력과 혈액 안에 존재하는 세포들이 서로 부딪치는 힘으로 생기는 마찰력을 받는데 혈류와 반대로 작용하는 이런 힘들이 저항으로 작용한다. 유체의 속도는 유체가 흐르는 관의 단면적에 반비례하므로 혈류 속도 역시 혈관의 단면적과 반비례한다. 모세혈관은 혈관 하나하나의 굵기는 얇으나 몸 전체에 넓게 퍼져 있어 총 단면적이 크므로 정맥이나 동맥에 비해 혈류속도가 느리다.
- 2) 머리끝에서 대동맥 압력은 심장에 의한 추진압력과 심장부터 머리끝까지 혈액 기둥이 받는 중력의 차이이다. 심장에 의한 추진압력은 평균 동맥압으로 나타나므로 그래프에 나타난 수축기 압과 확장기압을 대입해 구한다.

$$\text{평균 동맥압} = \text{확장기혈} + \text{박동압} / 3 = 87 + (126 - 87) / 3 = 100 \text{ mmHg}$$

비행사는 신장이 180cm이며 심장은 발을 기준으로 130cm 높이에 있으므로 이 사람의 심장에서 머리끝까지 거리는 50cm이다. 혈액의 밀도는 수은 밀도의 1/13이므로 50cm 혈액 기둥은 500/13mm, 약 38.46mm의 수은 기둥 높이와 같다. 머리끝에서 대동맥 압력은  $100 - 38.46 = 61.54 \text{ mmHg}$ 이다. 발끝에서는 심장에 의한 추진압력과 중력이 같은 방향으로 작용하므로 심장에 의한 추진압력에 혈액 기둥이 받는 중력을 더한다. 심장에서 발끝까지는 130cm이며 이는  $1300 / 13 = 100 \text{ mm}$  수은 기둥과 같으므로 발끝에서의 대동맥 압력은 200mmHg이다.

- 3) 3g 가속도로 하강하던 비행사가 급격히 수평으로 돌아오면 아랫방향으로 관성력이 작용해 평소보다 중력이 3배정도 커진 듯한 효과를 나타낸다. 문제에서 비행사의 평균 동맥압은 100mmHg이다. 이는 심장이 혈액을 1300mm 높이까지 올릴 수 있다는 의미다. 3g 가속도로 하강하다 급격히 수평으로 돌아오는 상황과 같은 관성을 받으면 심장이 혈액을 올릴 수 있는 높이가 1/3로 줄어 최대 약 43cm 높이 밖에 올리지 못한다. 심장에서 머리끝까지 거리가 50cm이므로 순간적으로 뇌에 혈액이 공급되지 못해 의식을 잃게 된다.

## 2008년 07월호 - 물리 면접구술고사 완벽가이드

선풍기 바람의 원리 - 열의 전도와 증발을 알면 더운 여름이 시원해집니다.

문제 01 다음 제시문을 읽고 물음에 답하라.

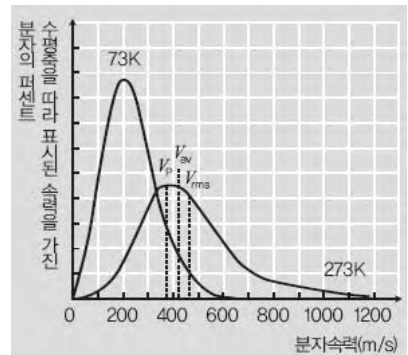
(가) 하루 2400kcal를 섭취하는 사람의 열생산율은 약 1.7kcal/min 또는 120J/s(120W)다. 일정한 체온을 유지하기 위해서는 생산과 같은 속도로 열이 손실돼야 한다. 복사, 대류, 땀 증발 그리고 호흡에 의한 실제 열손실량은 주변온도, 습도, 공기운동 같은 인자에 영향을 받는다. 육체적 활동이나 인체가 노출된 정도, 의복이나 체지방에 의한 단열에도 영향을 받는다.

- '생명과학을 위한 인체물리', 정동근·서덕준 공역

(나) 분자는 주변 분자의 인력을 극복할 여분의 에너지를 얻었을 때 수면에서 이탈한다. 증발하는 분자들은 평균치보다 많은 에너지를 가지며 물속에 남은 분자들의 평균 운동 상태는 이전보다 덜 활발해진다. 그 결과 증발 중인 액체는 서서히 온도가 내려간다. 수증기 속의 물분자가 물속으로 침투하면 수면 근처에서 강한 인력이 작용해 물분자의 속도가 급격히 증가하고 물의 온도는 상승한다. 증발량과 흡수량이 같은 경우에는 온도 변화가 일어나지 않는다. 수면 위에 지속적으로 바람이 불면 증발량이 흡수량보다 많아져 물의 온도가 내려간다.

- '파인만의 여섯 가지 물리 이야기', 리처드 파인만 지음

(다)  $T=73K$ 일 때와  $T=273K$ 일 때 산소 분자의 볼츠만 속력 분포는 다음과 같다. 특정한 두 속력 사이 곡선 아랫부분의 면적은 범위 내에 있는 총 입자수  $N$ 의 백분율을 나타낸다. 곡선 아래의 총 면적은 100%이므로 백분율에 총 분자수를 곱하면 속력 범위에 있는 분자수가 나온다. - '물리학' 2판, 헉트 지음



(라) 빨갛게 달아오른 석탄 위를 걷는 곡예사의 발은 물리적으로 안전하다. 석탄 표면은 뜨겁지만 석탄 자체는 작은 에너지를 가지며 보통 속도로 걸을 때 석탄과 발이 접촉하는 시간이 짧으므로 곡예사의 발은 석탄으로부터 거의 열을 받지 못한다. 곡예사는 석탄에 올라서기 전에 주위의 젖은 풀밭을 걷는다. 또 석탄의 열과 곡예사의 흥분으로 발바닥은 땀으로 젖는다. 발의 액체를 증발시키는데 열의 일부가 사용돼 발바닥 살에는 더 적은 열이 전달되므로 발을 적시는 일은 발을 보호하는데 도움이 된다. - '일반물리학' 4판, 데이비드 할리데이 지음

1) 같은 온도의 물과 에탄올을 피부에 바르면 에탄올을 발랐을 때 더 시원하게 느껴진다. 그 이유를 기체 분자의 운동과 관련해 설명하라.

2) 여름철 선풍기에서 나오는 바람은 그 자체로는 차갑지 않음에도 시원하다. 그 과학적 원리를 서술하라.

	물	에탄올
열전도도(J/m·s·K 또는 W/m·K)	0.67	0.14
비열(J/kg·K)	4190	2480
끓는점(°C)	100	78.3
기화열(cal/g)	540	230
분자량(g)	18	46

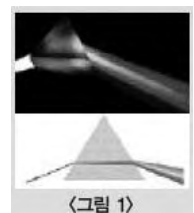
### ▶ 전문가 클리닉

흔히 1)번에서 에탄올이 물보다 더 시원한 이유를 에탄올이 증발을 더 잘하므로 더 많은 기화열을 필요로 해 피부로부터 더 많은 열을 흡수하기 때문이라고 설명합니다. 그러나 증발은 열을 흡수할 때 나타나는 현상으로 에탄올이 더 많이 증발하기 위해 더 많은 열을 흡수하는 것은 아닙니다.

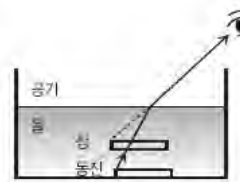
### ▶ 예시답안

- 1) 피부에 물과 에탄올을 바르면 전도로 인해 피부로부터 물과 에탄올로 열이 전달된다. 같은 온도의 물과 에탄올을 같은 양과 면적으로 피부에 바르면 같은 양의 열이 전도된다. 에탄올은 물보다 비열이 낮으므로 같은 양의 열을 흡수했을 때 온도 변화가 크다. 물체의 온도가 올라가면 분자들의 평균속력이 커진다. 에탄올은 끓는점이 낮고 온도 변화가 크게 일어나므로 증발이 많이 일어난다. 증발을 통해 큰 운동에너지를 가진 분자가 공기 중으로 날아가면 남은 액체에는 운동에너지가 낮은 분자만 남아 온도가 낮아진다. 에탄올은 비열이 낮고 끓는점이 낮으므로 같은 양의 열을 흡수했을 때 더 많은 분자가 증발해 남아있는 액체의 온도가 더 낮게 유지된다. 낮은 온도로 유지되는 에탄올은 피부로부터 더 큰 전도열을 흡수해 더 시원하게 느껴진다.
- 2) 여름철에는 땀이 많이 난다. 땀이 증발하면 피부표면에 남아있는 땀이 냉각된다. 높은 온도의 피부에 의해 데워진 공기는 피부 주위에 층을 이뤄 피부와 외부사이의 열교환을 더디게 한다. 선풍기를 틀면 피부 근처의 공기층이 없어져 외부로 열이 잘 방출된다.

문제02 (가) 색을 잘 분산시키기 위해 <그림 1>과 같은 삼각기둥 모양의 고체 유리 프리즘을 사용한다. 첫 번째 표면에서 분산된 빛은 두 번째 표면에서의 분산으로 더욱 퍼진다. - '일반물리학 4판', 데이비드 할리데이 지음



(나) 교과서에 나오는 빛의 경로를 그리는 실험에서는 <그림 2>를 이용해 굴절된 빛에 의한 상의 위치를 찾는다. 그러나 그림처럼 하나의 광선만 이용해 상의 위치를 찾는 일은 불가능하다. 두 개 이상의 광선 경로를 그려야 광선이 만나는 점이 찾아지고 그 점이 바로 상이 생기는 위치이기 때문이다. - '중1 탐구수업지도자료', 이성목 지음



(다) 당시엔 프리즘이 색깔을 생성한다고 생각했다. 뉴턴은 간단한 실험으로 이 생각이 잘못됐음을 보였다. 색깔이 다른 두 개의 색실을 묶어 한 개로 만든 다음 프리즘을 통해 실을 보면 색깔은 변하지 않고 색실이 보이는 위치만 달라진다. 이는 색에 따라 굴절률이 다를 것을 의미한다.



뉴턴은 프리즘으로 분광시킨 빛 속에 물체를 놓을 때 물체가 빛과 같은 색을 보인다는 사실을 발견했다. 예를 들어 광물 결정인 진사는 햇빛 속에서 붉은색을 띠고 프리즘으로 분광시킨 빛 중 녹색과 청색을 차단하고 진사를 비추면 색이 더 진해진다. 그러나 붉은색을 차단하면 광선의 종류에 따라 노랑이나 녹색 또는 다른 색으로 보인다. 진사와 군청을 나란히 놓고 붉은색을 비추면 진사는 선명한 붉은색을 보이고 군청은 약한 암적색으로 보이지만 청색 빛에서는 군청이 진한 푸른색으로 진사가 약한 암청색으로 보인다. 뉴턴은 이 실험으로 물체가 한 가지 또는 여러 가지 광선을 반사시켜 색을 생성한다는 결론을 이끌어 냈다. - '빛 이야기', 김학수 지음

(라) 아리스토텔레스는 색깔을 원래 물체에 존재하는 색깔과 그렇지 않은 색깔로 나누었다. 원래 물체에 존재하는 색깔이란 빛이 없어도 물체에서 사라지지 않는 '실제 색깔'이다. 빛이 없으면 물체에서 사라지는 '겉보기 색깔'은 물체의 고유한 성질이 아니다. 아리스토텔레스 식으로 설명하면 사과가 붉은색을 띠는 이유는 사과가 고유한 성질인 실제 색깔을 갖기 때문이며 어두울 땐 존재하지 않는 무지개의 색깔은 겉보기 색깔이다. - '뉴턴과 아인슈타인', 홍성욱·이상욱 지음

1) 붉은색과 파란색의 실을 일직선으로 묶은 다음 프리즘을 이용해 본다면 어떤 형태로 보이겠는가? 색깔에 따라 프리즘을 통과해 보이는 실의 위치가 어떻게 달라질지 (가)와 (나)의 자료를 이용해 추론하고 그림으로 나타내라.

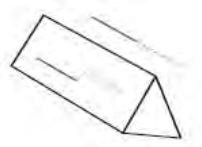
2) 색깔에 관한 현대적 관점에서 (다)와 (라)의 내용을 비판적으로 분석하라.

## ▶ 전문가 클리닉

물체에서 나온 광선을 추적해 눈에 보이는 상을 찾으려면 둘 이상의 광선을 추적해야 합니다. 이를 실제 문제해결에 잘 적용하는지 알아보는 문제입니다. 또 물체의 색깔에 대한 현대적인 지식을 바탕으로 과거 과학자들의 견해를 비판적으로 검토하는 능력을 측정합니다.

## ▶ 예시답안

- 1) 실에 의해 난반사된 빛 중 프리즘을 통과해 눈에 들어오는 빛만이 눈에 보인다. 눈은 일정한 크기를 가지므로 눈의 양 끝점으로 들어오는 두 빛의 경로를 이용해 상의 위치를 찾는다. 빨강색은 프리즘에 의해 덜 굴절하고 파란색은 더 많이 굴절하므로 실에서 나온 붉은 빛은 덜 굴절하고 파란색 빛은 더 많이 굴절하는 경로를 통해 눈에 들어온다. 두 광선을 연장하면 파란색 실이 높고 붉은색 실이 낮게 있는 것처럼 보인다.
- 2) 현대적 관점에서 물체의 색은 물체가 가진 고유 성질인 빛의 흡수와 반사, 그리고 비춰진 빛의 파장에 따라 결정된다. 붉은색 빛을 반사하는 물체에 백색광을 비추면 붉은색 빛만 반사하고 나머지는 흡수해 붉게 보인다. 이 물체에 붉은색 빛을 비추면 붉은색 빛을 반사하므로 여전히 붉게 보이고 녹색 빛을 비추면 물체가 녹색을 흡수하고 아무런 빛도 내지 않아 검게 보인다. 이런 관점에서 아리스토텔레스의 견해에서 본 물체의 실제 색깔은 물체의 고유한 특성을 가리킨다. (다)에서 뉴턴은 물체의 색과 비춘 빛의 색이 같음을 발견했다고 하는데 실제로 붉은색을 반사하는 물체에 녹색 빛을 비추면 물체는 검게 보인다. 뉴턴은 다양한 실험으로 물체와 비춰준 빛에 따라 색이 생김을 발견해 현대적 관점과 유사한 결론을 얻었다.





## 2008년 08월호 - 물리 면접구술고사 완벽가이드

우주선을 적도에서 발사하는 이유

문제 01 다음 제시문을 읽고 물음에 답하라.

- (가) 뉴턴은 행성에 어떤 종류의 힘이 작용한다고 생각했다. 힘이 없다면 행성의 궤도는 직선이어야 하기 때문이다. 뉴턴은 이 힘의 방향이 케플러가 생각했던 것처럼 행성의 궤도방향이 아니라 태양 쪽으로 휘어지는 방향임을 관성법칙을 통해 알아냈다. 케플러의 제 2법칙에 따라 태양이 이 힘의 근원임이 밝혀졌고, 케플러의 제 3법칙으로부터 이 힘이 거리의 제곱으로 감소된다는 사실을 알 수 있었다. 태양으로부터 두 배의 거리에 있는 행성은  $1/4$ 배의 힘으로, 세 배의 거리에 위치한 행성은  $1/9$ 배의 힘으로 태양을 향해 끌어당겨지는 역자승 법칙의 관계식을 갖는다. 태양과 행성 사이에 작용하는 인력은 두 천체의 질량과 거리에 의해 결정되므로 뉴턴은 이 힘이 특정한 별뿐 아니라 질량이 있는 모든 물체 사이에 작용한다고 생각했다. 질량이 있는 물체 사이에 작용하는 만유인력은 두 물체의 질량  $m$ ,  $M$ 에 비례하고 물체 사이의 거리 제곱에 반비례한다. 이때  $G$ 는 모든 물체의 공통상수로서 만유인력상수라 한다.
- (나) 탈출 속도는 별다른 추진 없이 주어진 중력장과 위치로부터 중력을 벗어날 수 있는 최소 속도를 의미한다. 계산을 편리하게 하기 위해 별다른 기술이 없을 때는 균일한 구 형태의 행성으로부터 수직으로 움직이는 물체, 즉 행성의 중심으로부터 뻗어 나오는 선을 따라 움직이는 물체를 다루는 것으로 하며 해당 물체에 작용하는 유일한 힘은 행성의 중력으로 가정한다. 탈출 속도는 방향성을 기술하지 않기 때문에 속도가 아닌 속력 개념이다.
- (다) 달은 지구 주위를 돌고 있는 자연위성이며 지구에서 가장 가까운 천체다. 지구로부터의 거리는 평균 38만 4400Km로 지구에서 태양까지 거리의  $1/400$ 이다. 달의 반지름은 지구의 약  $1/4$ , 태양의 약  $1/400$ 인 1738Km다. 지구에서 본 달의 시지름은  $29'30'' \sim 32'50''$ 이며 이는 태양의 시지름과 비슷하다. 이 때문에 개기일식이나 개기월식 같은 현상이 일어난다. 달의 질량은 지구의  $1/81.3(7.352 \times 10^{25}g)$ 인데 태양계에서 이처럼 모행성 대 위성의 질량비가 큰 경우는 지구와 달밖에 없다. 질량비로 볼 때 달 다음으로 큰 위성은 해왕성의 트리톤과 토성의 타이탄인데 이들의 질량비는 각각 모행성의  $1/800$ 과  $1/4000$ 이다. 달은 지구의 위성이라기보다 형제 행성이라고 봐야 할 정도다.
- (라) 우주센터 개발사업은 우주개발진흥기본계획에 의거해 우리나라 최초 인공위성 발사장 건설과 발사운용 기술을 확보를 목표로 하는 대규모 정책사업이다. 현재 한국항공우주연구원 나로우주센터에서 전남 고흥군 외나로도에 위치한 약 500만 $m^2$  부지(시설부지 약 36만 $m^2$ )를 중심으로 우주센터개발사업을 추진하고 있다. 나로우주센터는 인공위성 발사대를 비롯해 발사통제동, 추적레이더동, 위성과 발사체 조립시험시설, 기상관측소, 제주추적소 등 인공위성 자력발사 수행을 위한 발사장 시설과 함께 발사대시스템, 추적레이더, 원격자료수신장비, 광학추적장비, 발사통제시스템, 비행종단지령장비 등 발사운용을 위한 장비를 갖췄다. 이곳에서 100Kg급 소형 인공위성인 과학기술위성2호를 소형위성발사체(KSLV-I)에 탑재해 국내 최초로 자력발사하게 된다. 우주센터는 위성 발사장 기능을 수행함은 물론이고 21세기 우주시대를 여는 첨단과학기술과 우리나라 우주개발 활동을 알리는 교육 현장의 역할도 담당한다.
- 우주센터 개발사업은 국내 저궤도위성 발사장으로서의 임무 수행과 함께 우주발사체 국산화 개발에 필요한 각종 지상 시험시설을 구축하고 운용하는 사업이다. 이 사업으로 우리 기술력으로 제작한 인공위성을 우리 발사체에 실어 우리 땅에서 발사한다는 국가 우주개발 목표를 달성함과 동시에 우주기술 개발을 이끄는 전초기지로서 역할을 할 것이다.

- 1) 제시문 (가)와 (나)를 참조해 질량  $m$ 인 물체가 질량이  $M$ , 반지름이  $R$ 인 지구 표면에서 탈출하기 위해 필요한 속도를 구하라.
- 2) 제시문 (다)를 참조해 달 표면에서 5Kg인 물체의 탈출 속도와 지구 표면에서 10Kg인 물체의 탈출 속도를 비교하라. (달의 질량은 지구의 배로 생각한다.)

### ▶ 전문가 클리닉

- 1) 만유인력의 법칙을 이해하고 이로부터 물체의 탈출 속도를 구하는 문제입니다. 제시문 (가)에 나온 만유인력의 법칙과 제시문 (나)에 나온 탈출 속도의 의미를 잘 알고 문제를 해결해야 합니다.
- 2) 수학적으로 구한 탈출 속도를 실제 물리 현상에 적용해 의미를 파악합니다.

### ▶ 예시답안

- 1) 질량  $M$ 인 물체로부터 거리  $R$ 만큼 떨어져 있는 물체가 속도  $v$ 로 움직일 때 만유인력에 의한 위치에너지( $E_p$ )는  $-G\frac{Mm}{R}$ 이고 운동에너지( $E_k$ )는  $\frac{1}{2}mv^2$ 이다. 역학적에너지는

$$E_k + E_p = \frac{1}{2}mv^2 - G\frac{Mm}{R} \text{이다. 중력장 내에서 역학적 에너지는 보존된다.}$$

물체가 행성을 탈출해 무한히 먼 곳으로 가면 중력에 의한 위치에너지는 0이고 운동에너지의 최소값도 0이므로 역학적에너지는  $E_k + E_p = \frac{1}{2}mv^2 - G\frac{Mm}{R} \geq 0$ 의 값을 갖는다. 따라서

$$\text{행성표면에서 물체의 탈출에 필요한 최소 속도 } v \text{는 } v = \sqrt{\frac{2GM}{R}} \text{이다.}$$

- 2) 행성 표면에서의 탈출 속도  $v = \sqrt{\frac{2GM}{R}}$ 는 탈출하는 물체의 질량과 상관없다. 달의 질량은

$$M_{\text{달}} = M_{\text{지구}} \times \frac{1}{81} \text{이고 반지름은 } R_{\text{달}} = R_{\text{지구}} \times \frac{1}{4} \text{이다.}$$

따라서  $v_{\text{달}} = \sqrt{\frac{2GM_{\text{달}}}{R_{\text{달}}}} = \sqrt{\frac{2GM_{\text{지구}}}{R_{\text{지구}}}} \times \frac{2}{9} = v_{\text{지구}} \times \frac{2}{9}$ 이다. 달 표면에서 5Kg 물체의 탈출 속도는 지구 표면에서 10Kg인 물체의 탈출 속도의  $\frac{2}{9}$ 배이다.

### ▶ 배경지식

- 중력장에서의 역학적에너지 보존을 좀 더 자세히 나타내면

$$\begin{aligned} (E_k + E_p)_{\text{지표면}} &= \frac{1}{2}mv^2 - G\frac{Mm}{R} \\ &= (E_k + E_p)_{\text{무한}} \geq 0 + 0 \text{이다.} \end{aligned}$$

- 뉴턴의 중력 이론은 다음과 같다. 질량  $m_1$ 과  $m_2$ 인 두 물체가 있다. 거리  $r$ 만큼 떨어진 곳에 위치한 질량  $m_1$ 에 의한 만유인력으로  $m_2$ 가 나타내는 가속도를 구하려면 두 물체 사이에

작용하는 힘  $F=Gm_1m_2/r^2$ 를  $m_1$ 으로 나누면 된다.  $m_1$ 을 지구 질량  $M$ ,  $r$ 을 지구 지름  $R$ 로 바꾸면 가속도는 지구 인력에 의한 중력가속도(중력)  $g$ 가 된다. 이때  $G$ 는 중력상수다. 뉴턴은 프린키피아에 이와 같은 중력 이론을 소개했으며 중력 이론은 천체 운동과 지표면의 낙하 운동을 통합한 통일 이론으로 케플러의 제 3법칙을 잘 설명해준다.

만유인력 에너지란 중력 위치에너지를 확장형으로 만유인력으로 인해 갖게 되는 에너지( $E_p$ )를 말한다.  $W=Fs$ 를 기초로 적분을 이용하면  $E_p=-Gm_1m_2/r$ 로 표현된다.

(-)기호에 대해서는 두 가지 설명이 가능하다. 무한원을 원점으로 삼아 내려오기 때문에 (만유인력 에너지 식에서  $r$ 에 무한대를 대입하면 값이 0이다) (-)가 된다는 개념적 설명과 무한대에서 지표로 적분했기 때문에 (-)가 추가됐다는 수학적 설명이다.

- 여기서 설명한 탈출 속도는 공기저항을 비롯해 속도에 영향을 줄 수 있는 제반 조건을 모두 무시한 상황에서 오로지 중력의 영향을 벗어나 물체가 무한대 거리까지 도망갈 수 있게 하는 최소 속도를 뜻한다. 도망가는 물체에는 중력에 의한 음의 가속도만 존재한다.

탈출 속도는 에너지보존법칙에 준해 물체의 초기 운동에너지와 중력장 내의 위치에너지가 같아지는 상황을 가정한 개념이므로 지속적인 추진이 가능한 우주선의 비행과는 다른 상황이므로 유의하도록 한다.

문제 02 앞서 구한 탈출 속도의 개념을 이용하고 제시문 (라)와 지구의 정보를 나 타낸 표를 참조해 우리나라에서 추진 중인 나로우주센터가 남부지방인 고흥에 위치한 이유를 기술하라. 또 기지에서 우주선을 발사할 때 어느 방향으로 우주선을 발사하는 것이 유리할지 우주센터의 위치를 나타 내는 지도를 참조해 설명하라.

중량비	0.996647139
타원율	0.003352861
적도 지름	12756.270km
극 지름	12713.500km
표면적	510065284,702km <sup>2</sup>
부피	1.0832×10 <sup>10</sup> km <sup>3</sup>
질량	5.9736×10 <sup>24</sup> kg
평균 밀도	5.515g/cm <sup>3</sup>
탈출 속도	11,186km/s
자전 주기	0.997258d (23.934h)
자전 속도	465.11km/s(적도 기준)

〈우주센터가 위치한 고흥 외나로도(별표)의 주변 지도〉



## ▶ 전문가 클리닉

탈출 속도  $v=\sqrt{\frac{2GM}{R}}$ 은 물체의 위치에 의해 바뀝니다. 또 지구 자전에 의해 지표면에 위치한 물체는 빠른 속도로 회전하므로 이 속도가 우주선 속도에 더해지면 더 쉽게 중력의 영향을 벗어날 수 있습니다.

## ▶ 예시답안

지구 자전에 의해 지표면의 물체는 빠른 속도로 회전한다. 극에서는 회전 속도가 0이고 위도가 내려갈수록 회전 속도가 점점 빨라진다. 적도에서는 우주선이 출발할 때 회전 속도가 우주선 속도에 더해져 더 쉽게 지구의 중력을 탈출할 수 있다.

적도 쪽은 지구 둘레가 극 쪽의 지구 둘레보다 약간 더 크므로 물체의 위치가 지구 중심에서 더 먼 곳에 위치하게 된다. 그로 인해  $R$ 이 증가한 효과를 내어 탈출 속도가 극에 비해 감소한다. 따라서 국내에서는 가장 위도가 낮은 남부지방이 후보지가 됐다.

지구 자전은 서에서 동으로 진행되므로 지구의 회전 속도를 얻기 위해서는 지구 자전과 같은 방향인 동쪽으로 우주선을 발사해야 한다. 발사 후 추진체가 우주선에서 분리되므로 안전을 위해 동쪽에 바다가 있는 섬을 택했다.

## ▶ 배경지식

지구 표면에서 물체가 중력의 영향을 벗어나는데 필요한 탈출 속도는 대략  $11.2\text{Km/s}$ (마하 34)이다. 하지만 고도  $9000\text{Km}$ 에서는 약  $7.1\text{Km/s}$  이하다. 회전체에서 탈출 속도는 탈출하려는 물체가 향하는 방향에 좌우된다. 예로 지구의 회전 속도가 적도를 기준으로  $465\text{m/s}$ 이므로 적도에서 동쪽으로 향하는 접선 상으로 발사된 로켓은  $10.735\text{Km/s}$ 의 초기 속도가 필요한 반면 적도에서 서쪽으로 발사된 로켓은  $11.665\text{Km/s}$ 의 초기 속도가 필요하다. 미국 휴스턴 기지가 미국의 동해안에 위치한 점도 이 때문이다. 기지를 동해안에 위치시키는 일은 동쪽으로 발사할 때 분리되는 추진체가 바다에 떨어지게 하기 위해서도 필요하다.

표면 속도는 위도에 대한 코사인 함수 형태로 감소하기 때문에 우주선 발사 장소는 가능하면 적도 근처가 좋다. 프랑스령 기아나에 위치한 유럽 기아나 우주 센터는 적도에서  $5^\circ$ 밖에 떨어져 있지 않다.