2026 임용 전공물리 Master Key 시리즈

박문각 임용
동영상강의 www.pmg.co.kr
박문각

정승현
일반물리학

정승현 편저

정승현
일반물리학

PREFACE

머리말

어린아이 눈에 담긴 세상 모든 것이 순수한 호기심을 일으키는 것처럼 첫 단추는 그렇게 시작되었습니다. 어린 시절 과학이라는 학문을 접하고 습득하면서 자연스럽게 물리학이라는 보다 구체적인 분야를 경험하였습니다. 나아가 가르침을 업으로 삼게 되어 다수에 긍정적인 영향을 미칠 수 있다는 사실이 제게 책임감과 동시에 행복한 일상을 만들어주고 있습니다.

이 책은 그동안 제가 경험하고 고민하며 생각한 학습의 여정, 과거로부터 현재까지의 일기장과 같습니다.
이를 통해 물리에 대한 실력향상과 시야 확장의 문을 여는 열쇠가 된다면 더욱 바랄 것이 없겠습니다.

학습은 관심과 노력을 통해 단계적으로 발전해나갑니다. 논리적이고 구체적인 방향으로 학습의 이해라는 옷에 마지막 단추를 채우는 데 도움의 손길이 되길 진심으로 바랍니다.

저자 정승현

물리에 필요한 수학

1. 벡터 및 좌표계

(1) 두 벡터의 내적(Inner product, scalar product, dot product)

두 벡터 $\vec{a}$, $\vec{b}$의 내적은 다음과 같이 정의된다.

$$\vec{a} = (a_1,\ a_2),\ \vec{b} = (b_1,\ b_2)$$

$$\vec{a} \quad \vec{b} \equiv |\vec{a}||\vec{b}|cos(\theta) = a_1b_1 + a_2b_2$$

벡터의 내적은 상대벡터로 연직선을 그렸을 때 두 벡터의 수평성분의 곱이다.

(2) 두 벡터의 외적(vector product, cross product)

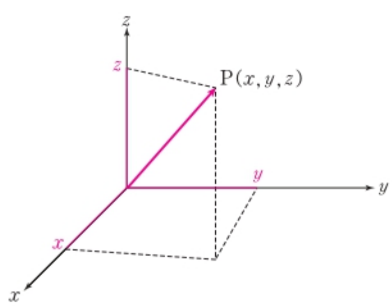
두 벡터 $\vec{a}$, $\vec{b}$의 외적은 다음과 같이 정의된다.

$$\vec{a}\times\vec{b} \equiv |\vec{a}||\vec{b}|sin(\theta)\vec{n}$$

$$\vec{a}\times\vec{b} = \begin{vmatrix} \hat{x} & \hat{y} & \hat{z} \\ a_x & a_y & a_z \\ b_x & b_y & b_z \end{vmatrix} = (a_yb_z - a_zb_y)\hat{x} + (a_zb_x - a_xb_z)\hat{y} + (a_xb_y - a_yb_x)\hat{z}$$

벡터의 외적은 두 벡터가 이루는 평행사변형의 넓이와 방향은 평행사변형과 수직한 방향이다. 회전 파트에서 주로 사용된다.

(3) 좌표계



① 직교 좌표계: x, y, z축 각 수직을 이루는 3차원 일반적인 좌표계이다. 평행이동 대칭성이 있어서 일반적인 병진운동에서 많이 활용된다.

직교 좌표계는 회전 대칭성과는 별개로 평행이동 대칭성을 관계에 있으므로 단위벡터를 시간에 대해 미분한 값 즉, $\frac{d\hat{x}}{dt} = \frac{d\hat{y}}{dt} = \frac{d\hat{z}}{dt} = 0$

- 단위벡터: $\hat{x}$, $\hat{y}$, $\hat{z}$
- 위치, 속도, 가속도

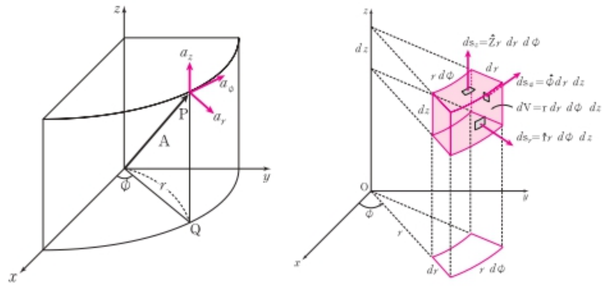
$$\vec{s} = \overrightarrow{OP} = (x,\ y,\ z) = x\hat{x} + y\hat{y} + z\hat{z}$$

$$\vec{v} = \frac{d\vec{s}}{dt} = (v_x,\ v_y,\ v_z) = \dot{x}\hat{x} + \dot{y}\hat{y} + \dot{z}\hat{z}$$

$$\vec{a} = \frac{d^2\vec{s}}{dt^2} = (a_x,\ a_y,\ a_z) = \ddot{x}\hat{x} + \ddot{y}\hat{y} + \ddot{z}\hat{z}$$

- 미소 부피: $dV = dxdydz$

② 원통형 좌표계: ρ, ϕ, z축 각 수직을 이루는 3차원 좌표계이다. x, y평면 회전 대칭성 및 z축 평행이동 대칭성이 있다.



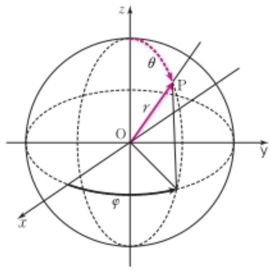
- 단위벡터 $\hat{\rho}$, $\hat{\phi}$, $\hat{z}$: 원통형 좌표계에서 단위벡터 $\hat{\rho}$, $\hat{\phi}$는 회전 대칭성을 가지므로 회전하게 되면 시간에 따라 단위벡터의 방향이 바뀌게 된다. 즉, 시간에 대한 상수가 아니다.

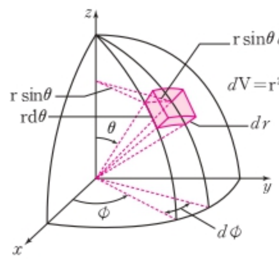
- 위치, 속도, 가속도

$$\vec{s} = \overrightarrow{OP} = (x,\ y,\ z) = (\rho\cos\phi,\ \rho\sin\phi,\ z) = \vec{\rho} + \vec{z} = \rho\hat{\rho} + z\hat{z}$$
$$\frac{d\vec{s}}{dt} = (\dot{\rho}cos\phi - \rho\dot{\phi}\sin\phi,\ \dot{\rho}\sin\phi + \rho\dot{\phi}\cos\phi,\ \dot{z}) = \dot{\rho}\hat{\rho} + \rho\dot{\phi}(-\sin\phi, \cos\phi) + \dot{z}\hat{z}$$
$$\vec{v} = \frac{d\vec{s}}{dt} = \frac{d}{dt}(\vec{\rho} + \vec{z}) = \frac{d}{dt}(\rho\hat{\rho} + z\hat{z}) = \dot{\rho}\hat{\rho} + \rho\dot{\hat{\rho}} + \dot{z}\hat{z}$$
$$\vec{v} = \frac{d\vec{s}}{dt} = (v_\rho, v_\phi, v_z) = \dot{\rho}\hat{\rho} + \rho\dot{\phi}\hat{\phi} + \dot{z}\hat{z}$$
$$\therefore \dot{\hat{\rho}} = \dot{\phi}\hat{\phi}$$
$$\hat{\phi} = (-\sin\phi,\ \cos\phi)$$
$$\dot{\hat{\phi}} = \dot{\phi}(-\cos\phi,\ -\sin\phi) = -\dot{\phi}\hat{\rho}$$
$$\vec{a} = (a_\rho,\ a_\phi,\ a_z) = \frac{d}{dt}(\dot{\rho}\hat{\rho} + \rho\dot{\phi}\hat{\phi} + \dot{z}\hat{z})$$
$$= \ddot{\rho}\hat{\rho} + \dot{\rho}\dot{\hat{\rho}} + \dot{\rho}\dot{\phi}\hat{\phi} + \rho\ddot{\phi}\hat{\phi} + \rho\dot{\phi}\dot{\hat{\phi}} + \ddot{z}\hat{z}$$
$$= (\ddot{\rho} - \rho\dot{\phi}^2)\hat{\rho} + (\rho\ddot{\phi} + 2\dot{\rho}\dot{\phi})\hat{\phi} + \ddot{z}\hat{z}$$

- 미소 부피: $dV = d\rho(\rho d\phi)dz = \rho d\rho d\phi dz$

③ 구면 좌표계: r, θ, ϕ축 각 수직을 이루는 3차원 좌표계이다. ϕ, θ회전 대칭성이 있다.





• 단위벡터: $r, \hat{\theta}, \hat{\phi}$구면 좌표계에서 $\hat{r}, \hat{\theta}, \hat{\phi}$는 회전 대칭성을 가지므로 회전하게 되면 시간에 따라 단위벡터의 방향이 바뀌게 된다. 즉, 시간에 대한 상수가 아니다.

• 위치, 속도

$$\vec{s} = \overrightarrow{OP} = (x,\ y,\ z) = (r\sin\theta\cos\phi,\ r\sin\theta\sin\phi,\ r\cos\theta) = r\hat{r}$$

$$\frac{d\vec{s}}{dt} = (\dot{r}\sin\theta\cos\phi + r\dot{\theta}\cos\theta\cos\phi - r\dot{\phi}\sin\theta\sin\phi,\ \dot{r}\sin\theta\sin\phi + r\dot{\theta}\cos\theta\sin\phi + r\dot{\phi}\cos\phi,\ \dot{r}\cos\theta - r\dot{\theta}\sin\theta)$$

$$= \dot{r}\hat{r} + r\sin\theta\,\dot{\phi}(-\sin\phi, \cos\phi, 0) + r\dot{\theta}(\cos\theta\cos\phi, \cos\theta\sin\phi, -\sin\theta)$$

$$\vec{v} = \frac{d\vec{s}}{dt} = \dot{r}\hat{r} + r\dot{\hat{r}}$$

$$\vec{v} = \frac{d\vec{s}}{dt} = (v_r,\ v_\theta,\ v_\phi) = \dot{r}\hat{r} + r\dot{\theta}\hat{\theta} + r\sin\theta\dot{\phi}\hat{\phi}$$

$$\therefore\ \dot{\hat{r}} = \dot{\theta}\hat{\theta} + \sin\theta\dot{\phi}\hat{\phi}$$

• 미소 부피: $dV = dr(r\sin\theta d\phi)rd\theta = r^2\sin\theta\, drd\theta d\phi$

2. 미적분 공식

(1) 3차원 미분 연산자 ▽

① $gradient\ \vec{\nabla} f$: 기하적 의미는 특정 좌표에서 기울기를 의미한다.

• 직교좌표계(x, y, z): $\nabla f = \left(\frac{\partial f}{\partial x},\ \frac{\partial f}{\partial y},\ \frac{\partial f}{\partial z}\right)$

• 원통좌표계(ρ, ϕ, z): $\nabla f = \left(\frac{\partial f}{\partial \rho},\ \frac{1}{\rho}\frac{\partial f}{\partial \phi},\ \frac{\partial f}{\partial z}\right)$

• 구면좌표계(r, θ, ϕ): $\nabla f = \left(\frac{\partial f}{\partial r},\ \frac{1}{r}\frac{\partial f}{\partial \theta},\ \frac{1}{r\sin\theta}\frac{\partial f}{\partial \phi}\right)$

② Divergence$\vec{\nabla} \cdot \vec{F}$: 기하학적 의미는 특정 좌표계에서 각 좌표축 방향으로 이동 성분을 의미한다. 즉, 중

심에 대해 퍼져나가는 성분을 말한다.

- 직교좌표계(x, y, z): $\nabla \cdot F = \dfrac{\partial F_x}{\partial x} + \dfrac{\partial F_y}{\partial y} + \dfrac{\partial F_z}{\partial z}$
- 원통좌표계(ρ, ϕ, z): $\nabla \cdot F = \dfrac{1}{\rho}\dfrac{\partial}{\partial \rho}(\rho F_\rho) + \dfrac{1}{\rho}\dfrac{\partial F_\phi}{\partial \phi} + \dfrac{\partial F_z}{\partial z}$
- 구면좌표계(r, θ, ϕ): $\nabla \cdot F = \dfrac{1}{r^2}\dfrac{\partial}{\partial r}(r^2 F_r) + \dfrac{1}{r\sin\theta}\dfrac{\partial}{\partial \theta}(\sin\theta F_\theta) + \dfrac{1}{r\sin\theta}\dfrac{\partial F_\phi}{\partial \phi}$

③ Curl $\vec{\nabla} \times \vec{F}$: 기하적 의미는 특정 좌표계에서 각 좌표축을 회전축으로 회전 성분을 의미한다. 즉, 중심에 대해 회전 성분을 말한다.

- 직교좌표계(x, y, z)

$$\nabla \times F = \begin{vmatrix} \hat{x} & \hat{y} & \hat{z} \\ \dfrac{\partial}{\partial x} & \dfrac{\partial}{\partial y} & \dfrac{\partial}{\partial z} \\ F_x & F_y & F_z \end{vmatrix} = \left(\frac{\partial F_z}{\partial y} - \frac{\partial F_y}{\partial z}, \frac{\partial F_x}{\partial z} - \frac{\partial F_z}{\partial x}, \frac{\partial F_y}{\partial x} - \frac{\partial F_x}{\partial y}\right)$$

- 원통좌표계(ρ, ϕ, z)

$$\nabla \times F = \frac{1}{\rho}\begin{vmatrix} \hat{\rho} & \rho\hat{\phi} & \hat{z} \\ \dfrac{\partial}{\partial \rho} & \dfrac{\partial}{\partial \phi} & \dfrac{\partial}{\partial z} \\ F_\rho & \rho F_\phi & F_z \end{vmatrix} = \left(\frac{1}{\rho}\frac{\partial F_z}{\partial \phi} - \frac{\partial F_\phi}{\partial z}\right)\hat{\rho} + \left(\frac{\partial F_\rho}{\partial z} - \frac{\partial F_z}{\partial \rho}\right)\hat{\phi} + \left(\frac{1}{\rho}\frac{\partial}{\partial \rho}(\rho F_\phi) - \frac{1}{\rho}\frac{\partial F_\rho}{\partial \phi}\right)\hat{z}$$

- 구면좌표계(r, θ, ϕ)

$$\nabla \times F = \frac{1}{r^2\sin\theta}\begin{vmatrix} \hat{r} & r\hat{\theta} & r\sin\theta\hat{\phi} \\ \dfrac{\partial}{\partial r} & \dfrac{\partial}{\partial \theta} & \dfrac{\partial}{\partial \phi} \\ F_r & rF_\theta & (r\sin\theta)F_\phi \end{vmatrix}$$

$$= \frac{1}{r\sin\theta}\left[\frac{\partial}{\partial \theta}(\sin\theta F_\phi) - \frac{\partial F_\theta}{\partial \phi}\right]\hat{r} + \frac{1}{r}\left[\frac{1}{\sin\theta}\frac{\partial F_r}{\partial \phi} - \frac{\partial}{\partial r}(rF_\phi)\right]\hat{\theta} + \frac{1}{r}\left[\frac{\partial}{\partial r}(rF_\theta) - \frac{\partial F_r}{\partial \theta}\right]\hat{\phi}$$

(2) 가우스 발산 법칙

$$\int \vec{\nabla} \cdot \vec{F} dV = \int \vec{F} \cdot d\vec{S}$$

가우스 발산 법칙은 벡터장 $\vec{F}$의 발산, 즉 뻗어나가는 성분을 알아내는데 사용된다.

(3) 스토크스 법칙

$$\int(\vec{\nabla}\times\vec{F})\cdot d\vec{S} = \int\vec{F}\cdot d\vec{l}$$

스토크스 법칙은 벡터장 $\vec{F}$의 회전 성분을 알아내는데 사용된다.

3. 행렬

1차식 $x+by=m$, $cx+dy=n$일 때 행렬로 표현하면

$$\begin{pmatrix} a & b \\ c & d \end{pmatrix}\begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} m \\ n \end{pmatrix} \rightarrow \begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} a & b \\ c & d \end{pmatrix}^{-1}\begin{pmatrix} m \\ n \end{pmatrix}$$

$$\begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix} = \frac{1}{ad-bc}\begin{pmatrix} d & -b \\ -c & a \end{pmatrix}\begin{pmatrix} m \\ n \end{pmatrix}$$

복잡한 1차 방정식의 해를 동시에 구하거나 해의 존재성을 판명할 때 사용된다.

※ 회전 변환

$$\begin{pmatrix} x' \\ y' \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos\theta & -\sin\theta \\ \sin\theta & \cos\theta \end{pmatrix}\begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix}$$

▲ 점의 회전 변환

$$\begin{pmatrix} x' \\ y' \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos\theta & \sin\theta \\ -\sin\theta & \cos\theta \end{pmatrix}\begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix}$$

▲ 좌표축의 회전 변환

4. 삼각함수 공식

(1) 피타고라스 정리

- $\cos^2\theta + \sin^2\theta = 1$
- $1 + \tan^2\theta = \sec^2\theta$
- $1 + \cot^2\theta = \mathrm{cosec}^2\theta$

(2) 삼각함수 합차 공식

- $\sin(\alpha+\beta) = \sin\alpha\cos\beta + \cos\alpha\sin\beta$
- $\sin(\alpha-\beta) = \sin\alpha\cos\beta - \cos\alpha\sin\beta$
- $\cos(\alpha+\beta) = \cos\alpha\cos\beta - \sin\alpha\sin\beta$
- $\cos(\alpha-\beta) = \cos\alpha\cos\beta + \sin\alpha\sin\beta$
- $\tan(\alpha+\beta) = \dfrac{\tan\alpha + \tan\beta}{1-\tan\alpha\tan\beta}$
- $\tan(\alpha-\beta) = \dfrac{\tan\alpha - \tan\beta}{1+\tan\alpha\tan\beta}$

(3) 삼각함수 두배각 공식

- $\sin 2\theta = 2\sin\theta\cos\theta$
- $\cos 2\theta = \cos^2\theta - \sin^2\theta$
  $= 2\cos^2\theta - 1$
  $= 1 - 2\sin^2\theta$
- $\tan 2\theta = \dfrac{2\tan\theta}{1-\tan^2\theta}$

(4) 삼각함수 반각 공식

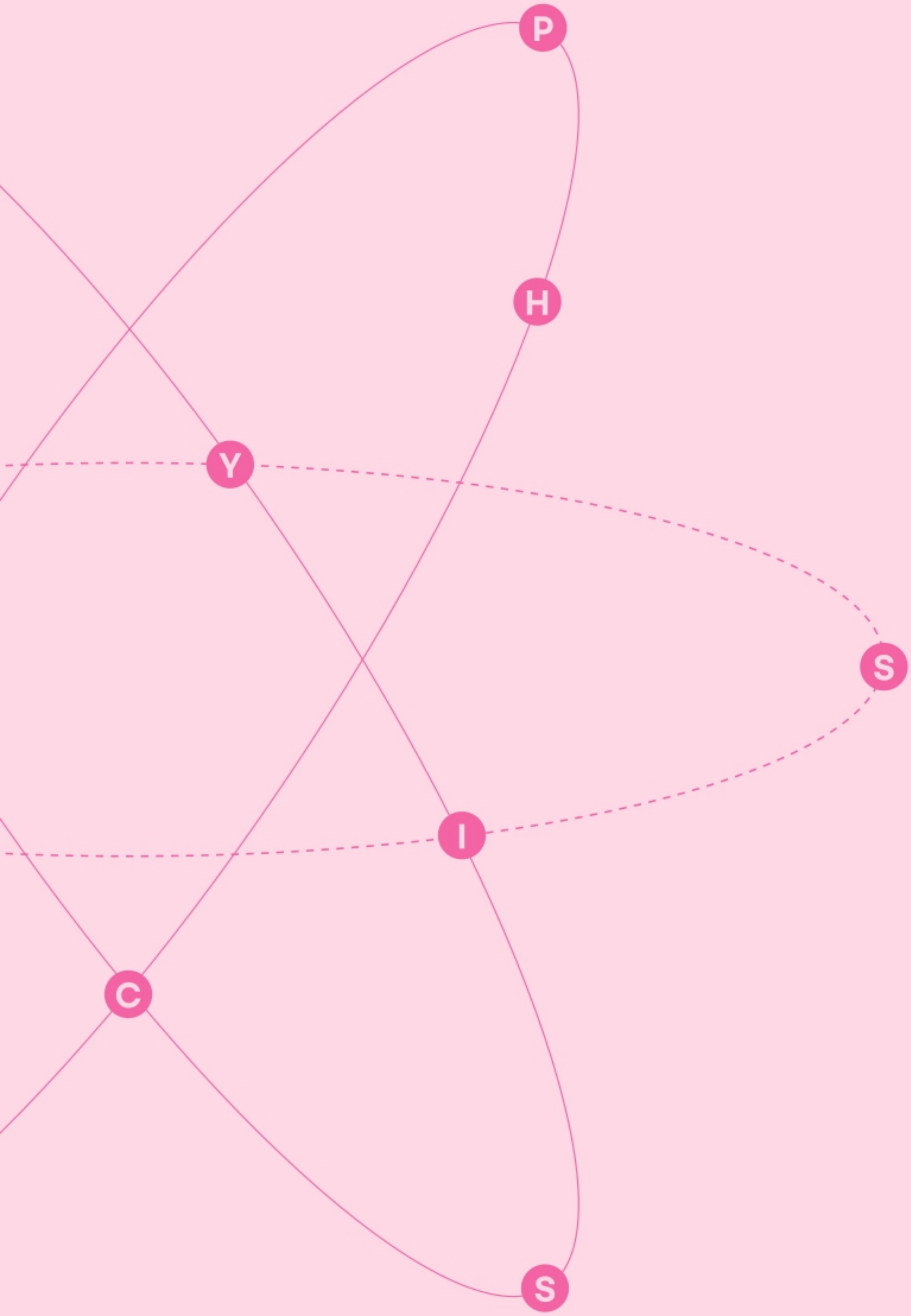
- $\cos^2\theta = \dfrac{1+\cos 2\theta}{2}$
- $\sin^2\theta = \dfrac{1-\cos 2\theta}{2}$

(5) 삼각함수 합성 공식

- $\sin A + \sin B = 2\sin\left(\dfrac{A+B}{2}\right)\cos\left(\dfrac{A-B}{2}\right)$
- $\sin A - \sin B = 2\cos\left(\dfrac{A+B}{2}\right)\sin\left(\dfrac{A-B}{2}\right)$
- $\cos A + \cos B = 2\cos\left(\dfrac{A+B}{2}\right)\cos\left(\dfrac{A-B}{2}\right)$
- $\cos A - \cos B = -2\sin\left(\dfrac{A+B}{2}\right)\sin\left(\dfrac{A-B}{2}\right)$

CONTENTS

차례



정승현
일반물리학

Chapter

01

1-2차원 운동

Chapter 01

1-2차원운동

01 고전 역학의 출발

1. 뉴턴(고전) 역학

물체에 작용하는 힘과 초기 조건(위치, 속도)이 주어지면 물체의 운동이 예측 가능하다.

(1) 고전 역학의 필수 요소

① 공간(좌표계 설정)

㉠ 물체의 움직임의 대칭성에 의해 적절한 좌표계 설정

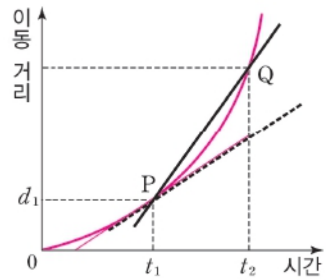
➡ 쉽게 기술하기 위함

ⓐ 평면운동: 직교좌표계

ⓑ 곡면운동: 원통형 좌표계, 구 좌표계

㉡ 기준점의 설정: 물체의 운동을 기술하기 위한 관찰자의 위치

➡ 정지 관찰자와 운동 관찰자 존재



㉢ 이동 거리와 변위(기호 s: separation, distance)

ⓐ 이동 거리: 이동한 총거리 ➡ 경로와 관계없이 그대로 다 더함!

ⓑ 변위(displacement): 위치의 변화량을 의미, 출발점 ➡ 도착점 사이의 직선(최단) 길이와 두 점을 연결하는 화살표의 방향을 함께 표시해야 한다.

② 속도(물체의 빠르기)

속력과 속도(기호 v: speed, velocity)

㉠ 속력: 어떤 물체의 단위 시간당 이동 거리로, 단위는 m/s, km/h를 사용한다.

$$\text{속력} = \frac{\text{이동 거리}}{\text{걸린 시간}} \qquad \text{평균 속력} = \frac{\text{전체 이동 거리}}{\text{이동하는 데 걸린 시간}}$$

㉡ 속도: 단위 시간(1초) 동안의 변위로, 단위는 속력의 단위와 같은 m/s, km/h를 사용한다. 방향은 처음 위치에서 최종 위치를 향하는 직선 방향이다.

$$\text{속도} = \frac{\text{변위}}{\text{걸린 시간}} \qquad \text{평균 속력} = \frac{\text{전체 변위}}{\text{이동하는 데 걸린 시간}}$$

ⓒ 상대속도

ⓐ **정의**: 운동하는 관찰자를 기준으로 나타낸 다른 물체의 속도

ⓑ **표현**: 운동하는 관찰자 A의 속도가 ($\overrightarrow{v_A}$), 관찰 대상인 물체 B의 속도가 ($\overrightarrow{v_B}$)일 때,

(A에서 B를 본 상대속도) = (물체 B의 속도) − (관찰자 A의 속도) ➡ 수식적 표현: ($\overrightarrow{v_{AB}} = \overrightarrow{v_B} - \overrightarrow{v_A}$)

③ 가속도(뉴턴의 제2법칙에서 정의 ➡ 힘의 기술)

가속도(기호 a : acceleration) $\vec{F} = m\vec{a}$

단위 시간 동안의 속도의 변화량 (시간당 속력의 증가/감소 및 방향 변화 포함)

방향: 속도의 변화 방향(힘의 방향을 의미), 직선운동(1차원)의 경우 부호(+/−)로 표시

고전역학은 운동을 예측하는 데 목적이 있으므로 위치 $s(t)$, 속도 $v(t)$, 가속도 $a(t)$를 모두 시간 t의 함수로 기술한다.

(2) 평면 운동 – 1차원 등속 직선 운동

등속 직선 운동(= 등속도 운동)

① 속력과 운동 방향이 모두 일정한 운동

마찰만 없다면 운동을 유지하는 데 힘이 필요하지 않음!! (관성의 법칙(1법칙): $\sum F = 0$)

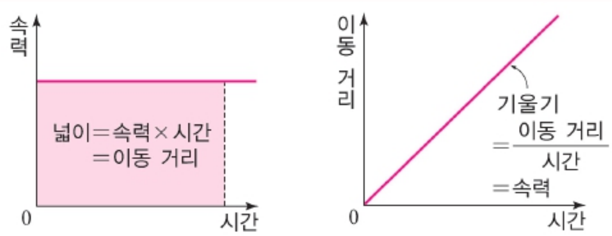
② 거리(변위) − 속력(속도) − 시간 공식 사용

$s = vt$

③ 그래프 분석

㉠ 거리-시간($s-t$) 그래프(기울기가 일정한 1차 함수) ➡ 기울기: 속도 v

㉡ 속력-시간($v-t$) 그래프(기울기 0) ➡ 수평: 상수함수, 밑넓이: 이동 거리(변위) s



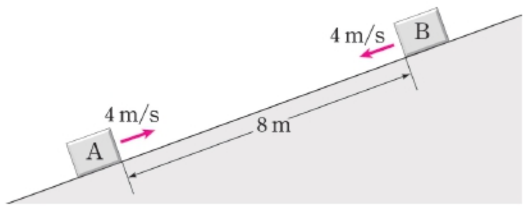
ⓒ 미적분 활용

$a(t) = 0 \qquad v(t) = v_0 \qquad s(t) = v_0 t$

연습문제

정답_366p

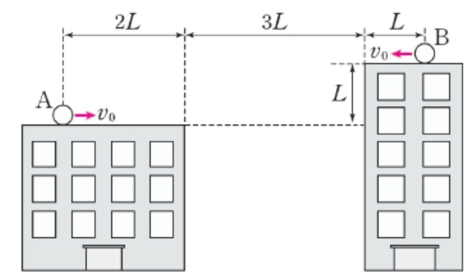
01 다음 그림과 같이 빗면 위에서 물체 A, B를 8m 떨어진 위치에서 동시에 속력 4m/s로 운동시켰더니, A, B가 등가속도 직선 운동을 하다가 충돌하였다. 충돌하는 순간 A, B의 운동 방향은 반대이고, 속력은 B가 A의 3배이다.



A의 가속도의 크기와 충돌하는 데까지 걸린 시간을 각각 구하시오. 또한 충돌하는 순간 A의 속력을 구하시오. (단, 모든 마찰은 무시한다.)

20-B05

02 다음 그림과 같이 물체 A와 B가 동일한 속력 v_0으로 동시에 출발하여 각각 수평면에서 등속도 운동을 한다. 이후 두 물체는 수평면을 떠나 포물선 운동을 하다가 충돌한다. A와 B의 출발점은 수평면의 끝으로부터 각각 $2L$과 L만큼 떨어져 있다. 두 수평면의 끝 사이의 수평거리는 $3L$이고, 높이차는 L이다.



A와 B가 출발해서 충돌할 때까지 A가 이동한 수평거리를 구하고, A가 출발한 후 B와 충돌할 때까지 걸린 시간 Δt를 풀이 과정과 함께 L, g로 구하시오. 또한 수평면에서의 속력 v_0을 L, g로 나타내시오. (단, 중력 가속도의 크기는 g이고, A와 B의 크기는 무시한다. A와 B는 동일 연직면에서 운동한다.)

일반물리학 연습문제 정답

Chapter 01 1-2차원운동

본문_ 22~36p

01 1) $a = 2\mathrm{m/s^2}$, $t = 1s$, 2) $v_A = 2\mathrm{m/s}$

02 1) $S_A = 3L$, 2) $\triangle t = \sqrt{\frac{6L}{g}}$, 3) $v_0 = \sqrt{\frac{3}{2}gL}$

03 1) $\theta_0 = \sin^{-1}\left(\frac{gR}{v^2}\right)$, 2) $H_{max} = \frac{gR^2}{2v^2} + \frac{v^2}{2g}$, 3) $s = R\sqrt{1 - \frac{g^2R^2}{v^4}}$

04 $v = \sqrt{v_0^2 + 2g(H-h)}$

05 1) $v = \sqrt{2gh}$, 2) $\frac{a_B}{a_A} = 2$, 3) $\frac{v_B}{v_A} = \sqrt{2}$

06 1) $v_0 = \sqrt{4v^2 + \frac{g^2s^2}{4v^2}}$, 2) $\tan\theta = \frac{gs}{4v^2}$

07 1) $v_B = 2\sqrt{gl}$, 2) $t_s = \sqrt{\frac{3l}{g}}$, 3) $4l$

08 1) $t = \sqrt{\frac{8h}{g}}$, 2) $E_{k,A} = \frac{7}{4}mgh$

09 1) $t_H = \frac{v_0\sin(\theta+\phi)}{g\cos\phi}$, 2) $H = \frac{v_0^2\sin^2(\theta+\phi)}{2g\cos\phi}$, 3) $\theta_0 = \frac{\pi}{4} - \frac{\phi}{2}$

10 1) $u = \frac{4}{5}v$, 2) $t = \frac{3v}{2g}$, $s = \frac{15v^2}{8g}$

11 1) $x_{max} = 20\sqrt{2}$, 2) $\tan\theta = \sqrt{2}$

12 1) $\theta = 90^\circ$, 2) $v_0 = \sqrt{\frac{gs}{2}}$

13 1) $\dfrac{S_A}{S_B} = 3$, 2) $\dfrac{v_A}{v_B} = \sqrt{3}$

14 1) $\dfrac{h}{R} = \dfrac{2}{\sqrt{3}}$, 2) $t = \dfrac{\sqrt{3}\,v_0}{g}$

15 1) $\dfrac{2}{\sqrt{3}}\dfrac{v_0}{g}$, 2) $l = \dfrac{2}{\sqrt{3}}h$

16 1) $t = \sqrt{\dfrac{4R}{3g}}$, 2) $d = \dfrac{R}{\sqrt{3}}$, 3) $H = \dfrac{7}{8}R$

17 $\sqrt{3}$

18 1) $\dfrac{4\sqrt{3}}{3}h$, 2) $4h$

19 1) $v_{\min} = \sqrt{3gd}$, 2) $\theta = 60^\circ$ or $\dfrac{\pi}{3}$

Chapter 02 운동법칙과 에너지

본문_59~78p

01 1) $f = \dfrac{1}{2}F$, 2) $\mu_k = \dfrac{F}{2W - \sqrt{3}F}$, 3) $2W > \sqrt{3}F$

02 1) $f = \dfrac{F}{5}$, 2) $a_A = \dfrac{4F}{5m}$

03 1) $f = \dfrac{3}{5}mg\sin\theta$, 2) $h = \dfrac{5v_0^2}{16g}$

04 1) $\dfrac{m_B}{m_A} = \dfrac{1}{4}$, 2) $a = \dfrac{1}{4}g$

05 1) 6N, 2) $\dfrac{1}{4}$m, 3) $\dfrac{5}{8}$m

06 1) $\mu = \dfrac{1}{3\sqrt{3}}$, 2) $\overline{PQ} = \dfrac{3}{10}$m, 3) $v_p = \sqrt{2}$m/s

정승현
일반물리학

2024 고객선호브랜드지수 1위
교육서비스 부문

2023 고객선호브랜드지수 1위
교육서비스 부문

2022 한국 브랜드 만족지수 1위
교육(교육서비스)부문 1위

2021 대한민국 소비자 선호도 1위
교육부문 1위 선정

2020 한국 산업의 1등
브랜드 대상 수상

2019 한국 우수브랜드평가대상
교육브랜드 부문 수상

2018 대한민국 교육산업 대상
교육서비스 부문 수상

브랜드스탁 BSTI
브랜드 가치평가 1위

정가 28,000원

9 791172 623944 14420

ISBN 979-11-7262-394-4
ISBN 979-11-7262-393-7(SET)

박문각 www.pmg.co.kr

교재관련 문의 02 - 6466- 7202
학원관련 문의 02-816-2030
온라인강의 문의 02 - 6466 - 7201