

고등학교

물리학 II

강남화
최호명
최원석
임성민
강태욱
김익수

머 리 말

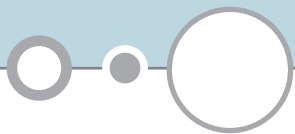


물리학II는 이공계 진학을 선택한 학생들을 대상으로 하는 교과목이며, 물리학I에서 학습한 개념을 바탕으로 보다 심화된 내용을 다루는 교과목이다. 따라서 물리학II를 학습할 때는 물리학I에서 학습한 지식과 기술을 활용하도록 한다.

물리학의 탐구 과정에서 중요한 것은 속도, 힘, 일, 에너지, 전기장, 자기장 등 기본적인 양을 정확히 정의하고 그 사이의 관계를 나타내는 원리를 찾는 것이다. 물리학I에서 이미 배운 이러한 관계 중 대표적인 것은 뉴턴 운동 법칙, 에너지 보존, 상대성 이론 등이다. 이러한 관계들은 복잡한 자연 현상을 단순한 원리로 간단하고 이해하기 쉽게 나타내기 때문에 물리학에서는 아름답다고 말한다. 다시 말하면 물리학에서 아름다움은 단순함에서 드러나는 복잡한 현상들이다.

물리학II에서는 물리 원칙을 수학적, 도식적으로 표현하고 사용할 줄 아는 능력을 강조한다. 따라서 물리학I에서 정성적으로 학습한 많은 내용을 새롭게 표현하고 정량적으로 계산하는 과정을 통해 재분석한다. 그 과정에서 조금 더 심화된 내용을 다룬다. 이 모든 내용은 장차 이공계에 진학하여 학습할 모든 이공계 과목의 기초 지식 및 기능으로 활용될 것이다.

물리학II는 ‘역학적 상호 작용’, ‘전자기장’, ‘파동과 물질의 성질’의 세 개의 대단원으로 이루어져 있다. ‘역학적 상호 작용’ 단원은 알짜힘의 개념을 통해 힘의 평형에 의한 물체의 평형을 이해하고, 물리학I에서 학습한 뉴턴 운동 법칙을 기초로 다양한 종류의 가속도 운동을 정량적으로 나타내고 예측하며, 특수 상대성 이론을 기초로 일반 상대성 이론을 다룬다. 또한 물리학I에서 학습한 일과 에너지 개념을 바탕으로 열과 일 사이의 전환 관계를 정량적으로 다룬다.



‘전자기장’ 단원은 각종 전기 기구에 사용되는 많은 장치들의 기초 원리를 제공한다. 이 단원에서는 전기장과 자기장을 전기력선과 자기력선 개념을 이용하여 정량적으로 다루고, 물리학I에서 학습한 물질의 전기적 특성을 활용하여 정전기 유도 및 유전 분극 현상을 이해한다. 또한 물리학I에서 학습한 다이오드를 바탕으로 하는 반도체 소자인 트랜지스터가 어떤 원리로 휴대 전화나 컴퓨터에 사용되는지 탐구한다. 마지막으로 통합과학과 물리학I에서 학습한 전자기 유도를 정량적으로 다루면서 상호유도 개념을 이해한다.

‘파동과 물질의 성질’ 단원은 신호와 정보의 전달에 관한 최신 기술의 기초가 되는 전자기파의 성질과 전달을 다룬다. 또한 전자기파와 물질의 이중성을 보여 주는 현상을 소개하고, 이러한 이중성으로 인해 미시적 입자의 위치와 운동량을 동시에 정확히 측정할 수 없다는 불확정성 원리를 소개한다. 이러한 현대 물리 내용은 앞으로 개발되어 활용될 양자 컴퓨터, 나노 크기의 트랜지스터 등 미래 산업 발전의 기초 지식으로 활용될 수 있다.

물리학II에서 학습한 모든 내용은 이공계 진학 후 관련 과목의 중요한 기초를 제공할 것이다. 따라서 물리학II를 학습하는 동안 다양한 분야에서의 응용 사례를 스스로 더 깊이 탐구하고 미래의 진로를 상상하는 데 적용하기를 바란다. 또한 물리학이 첨단 기술 및 사회와 어떤 관계를 갖는지 생각해 보고 첨단 기술 사회를 살아가는 시민으로서의 책임감 있고 비판적인 활용에 대해 고민하는 자세를 가지기 바란다.

지은이 씀

이 책의 구성과 특징



단원의 본문은 **들어가기** ▶ **알아보기** ▶ **개념 넓히기** ▶ **평가하기**의 4단계로 이루어져 있다. 이 단계는 순환 학습 모형을 기반으로, 창의적 수업이 이루어지도록 구성하였다. 각 순환 과정은 교육 과정의 목표에 맞추어 다시 커다란 순환 고리를 이룬다. 단계를 따라 배우면 학습 목표가 달성될 뿐만 아니라 창의적 인성도 길러질 것이다.

단원의 도입

단원의 본문

| 대단원 |

I

역학적 상호 작용

힘과 평형

01. 힘의 정량적 이해
02. 물체의 평형

03. 외란의 상태-기판 계층
04. 외란의 평형

05. 외란의 평형

06. 외란의 평형

07. 외란의 평형

08. 외란의 평형

09. 외란의 평형

10. 외란의 평형

11. 외란의 평형

12. 외란의 평형

13. 외란의 평형

14. 외란의 평형

15. 외란의 평형

16. 외란의 평형

17. 외란의 평형

18. 외란의 평형

19. 외란의 평형

20. 외란의 평형

21. 외란의 평형

22. 외란의 평형

23. 외란의 평형

24. 외란의 평형

25. 외란의 평형

26. 외란의 평형

27. 외란의 평형

28. 외란의 평형

29. 외란의 평형

30. 외란의 평형

31. 외란의 평형

32. 외란의 평형

33. 외란의 평형

34. 외란의 평형

35. 외란의 평형

36. 외란의 평형

37. 외란의 평형

38. 외란의 평형

39. 외란의 평형

40. 외란의 평형

41. 외란의 평형

42. 외란의 평형

43. 외란의 평형

44. 외란의 평형

45. 외란의 평형

46. 외란의 평형

47. 외란의 평형

48. 외란의 평형

49. 외란의 평형

50. 외란의 평형

51. 외란의 평형

52. 외란의 평형

53. 외란의 평형

54. 외란의 평형

55. 외란의 평형

56. 외란의 평형

57. 외란의 평형

58. 외란의 평형

59. 외란의 평형

60. 외란의 평형

61. 외란의 평형

62. 외란의 평형

63. 외란의 평형

64. 외란의 평형

65. 외란의 평형

66. 외란의 평형

67. 외란의 평형

68. 외란의 평형

69. 외란의 평형

70. 외란의 평형

71. 외란의 평형

72. 외란의 평형

73. 외란의 평형

74. 외란의 평형

75. 외란의 평형

76. 외란의 평형

77. 외란의 평형

78. 외란의 평형

79. 외란의 평형

80. 외란의 평형

81. 외란의 평형

82. 외란의 평형

83. 외란의 평형

84. 외란의 평형

85. 외란의 평형

86. 외란의 평형

87. 외란의 평형

88. 외란의 평형

89. 외란의 평형

90. 외란의 평형

91. 외란의 평형

92. 외란의 평형

93. 외란의 평형

94. 외란의 평형

95. 외란의 평형

96. 외란의 평형

97. 외란의 평형

98. 외란의 평형

99. 외란의 평형

100. 외란의 평형

| 중단원 시작 |

- 단원과 관련된 사진을 제시하여 단원에서 배울 내용에 대한 호기심을 유발한다.
- '성취 기준 확인, 자기 점검, 학습 계획 세우기' 단계로 구성한다.

1 들어가기

신기한 과학 현상이나 다양한 실생활 사진을 제시하여 학생의 학습 동기를 유발하고 호기심을 이끌어 낸다.

01 힘의 합성과 분해

1. 힘의 정량적 이해
2. 물체의 평형

[들어가기] 물체가 받는 힘의 합성은 어떻게 하는지 생각해 보자.

[알아보기] 힘의 합성과 분해

[개념 넓히기] 힘의 합성과 분해

[평가하기] 힘의 합성과 분해

1. 힘의 정량적 이해
2. 물체의 평형

3. 외란의 상태-기판 계층
4. 외란의 평형

5. 외란의 평형

6. 외란의 평형

7. 외란의 평형

8. 외란의 평형

9. 외란의 평형

10. 외란의 평형

11. 외란의 평형

12. 외란의 평형

13. 외란의 평형

14. 외란의 평형

15. 외란의 평형

16. 외란의 평형

17. 외란의 평형

18. 외란의 평형

19. 외란의 평형

20. 외란의 평형

21. 외란의 평형

22. 외란의 평형

23. 외란의 평형

24. 외란의 평형

25. 외란의 평형

26. 외란의 평형

27. 외란의 평형

28. 외란의 평형

29. 외란의 평형

30. 외란의 평형

31. 외란의 평형

32. 외란의 평형

33. 외란의 평형

34. 외란의 평형

35. 외란의 평형

36. 외란의 평형

37. 외란의 평형

38. 외란의 평형

39. 외란의 평형

40. 외란의 평형

41. 외란의 평형

42. 외란의 평형

43. 외란의 평형

44. 외란의 평형

45. 외란의 평형

46. 외란의 평형

47. 외란의 평형

48. 외란의 평형

49. 외란의 평형

50. 외란의 평형

51. 외란의 평형

52. 외란의 평형

53. 외란의 평형

54. 외란의 평형

55. 외란의 평형

56. 외란의 평형

57. 외란의 평형

58. 외란의 평형

59. 외란의 평형

60. 외란의 평형

61. 외란의 평형

62. 외란의 평형

63. 외란의 평형

64. 외란의 평형

65. 외란의 평형

66. 외란의 평형

67. 외란의 평형

68. 외란의 평형

69. 외란의 평형

70. 외란의 평형

71. 외란의 평형

72. 외란의 평형

73. 외란의 평형

74. 외란의 평형

75. 외란의 평형

76. 외란의 평형

77. 외란의 평형

78. 외란의 평형

79. 외란의 평형

80. 외란의 평형

81. 외란의 평형

82. 외란의 평형

83. 외란의 평형

84. 외란의 평형

85. 외란의 평형

86. 외란의 평형

87. 외란의 평형

88. 외란의 평형

89. 외란의 평형

90. 외란의 평형

91. 외란의 평형

92. 외란의 평형

93. 외란의 평형

94. 외란의 평형

95. 외란의 평형

96. 외란의 평형

97. 외란의 평형

98. 외란의 평형

99. 외란의 평형

100. 외란의 평형

4 평가하기

지금까지 배운 것을 정리하고 확인하는 단계이다. 지식의 습득 정도를 평가할 뿐만 아니라, 창의성을 발휘하여 문제를 해결한다.

[개념 넓히기] 물체의 평형을 이해하는 방법

1. 힘의 정량적 이해
2. 물체의 평형

[평가하기] 물체의 평형을 이해하는 방법

1. 힘의 정량적 이해
2. 물체의 평형

3. 외란의 상태-기판 계층
4. 외란의 평형

5. 외란의 평형

6. 외란의 평형

7. 외란의 평형

8. 외란의 평형

9. 외란의 평형

10. 외란의 평형

11. 외란의 평형

12. 외란의 평형

13. 외란의 평형

14. 외란의 평형

15. 외란의 평형

16. 외란의 평형

17. 외란의 평형

18. 외란의 평형

19. 외란의 평형

20. 외란의 평형

21. 외란의 평형

22. 외란의 평형

23. 외란의 평형

24. 외란의 평형

25. 외란의 평형

26. 외란의 평형

27. 외란의 평형

28. 외란의 평형

29. 외란의 평형

30. 외란의 평형

31. 외란의 평형

32. 외란의 평형

33. 외란의 평형

34. 외란의 평형

35. 외란의 평형

36. 외란의 평형

37. 외란의 평형

38. 외란의 평형

39. 외란의 평형

40. 외란의 평형

41. 외란의 평형

42. 외란의 평형

43. 외란의 평형

44. 외란의 평형

45. 외란의 평형

46. 외란의 평형

47. 외란의 평형

48. 외란의 평형

49. 외란의 평형

50. 외란의 평형

51. 외란의 평형

52. 외란의 평형

53. 외란의 평형

54. 외란의 평형

55. 외란의 평형

56. 외란의 평형

57. 외란의 평형

58. 외란의 평형

59. 외란의 평형

60. 외란의 평형

61. 외란의 평형

62. 외란의 평형

63. 외란의 평형

64. 외란의 평형

65. 외란의 평형

66. 외란의 평형

67. 외란의 평형

68. 외란의 평형

69. 외란의 평형

70. 외란의 평형

71. 외란의 평형

72. 외란의 평형

73. 외란의 평형

74. 외란의 평형

75. 외란의 평형

76. 외란의 평형

77. 외란의 평형

78. 외란의 평형

79. 외란의 평형

80. 외란의 평형

81. 외란의 평형

82. 외란의 평형

83. 외란의 평형

84. 외란의 평형

85. 외란의 평형

86. 외란의 평형

87. 외란의 평형

88. 외란의 평형

89. 외란의 평형

90. 외란의 평형

91. 외란의 평형

92. 외란의 평형

93. 외란의 평형

94. 외란의 평형

95. 외란의 평형

96. 외란의 평형

97. 외란의 평형

98. 외란의 평형

99. 외란의 평형

100. 외란의 평형

단원의 마무리

02 물체의 평형

1. 평행한 힘의 합이 0인 경우, 물체는 정지 상태에 있거나 등속도 직선 운동에 있다.

물체의 평형
고기가 다른 물로 뜬 물체를 뜰 때 평행한 힘이 작용한다. 하지만 평행한 힘 이외의 힘도 작용할 수 있다. 고기가 물속에서 뜨는 것은 물에 뜬 물체와 평행한 힘이 작용하는 것이 아니라, 물에 뜬 물체와 평행한 힘이 작용하는 것이 아니라, 물에 뜬 물체와 평행한 힘이 작용하는 것이다.

평행한 힘의 합
평행한 힘의 합이 0인 경우, 물체는 정지 상태에 있거나 등속도 직선 운동에 있다.

물체의 평형
고기가 다른 물로 뜬 물체를 뜰 때 평행한 힘이 작용한다. 하지만 평행한 힘 이외의 힘도 작용할 수 있다. 고기가 물속에서 뜨는 것은 물에 뜬 물체와 평행한 힘이 작용하는 것이 아니라, 물에 뜬 물체와 평행한 힘이 작용하는 것이다.

알아보기 2

실제적인 물리 개념과 원리를 논리적 사고와 탐구 활동을 통해 배울 수 있도록 구성하였다. 복잡한 과학 현상에 숨어 있는 기본 원리를 이해한다.

개념 넓히기 3

개념을 확장하는 방법으로서 개념을 두 개 이상의 새로운 상황에 적용하는 것을 의미한다. 예를 들어, 물체의 평형을 설명하는 데 사용되는 개념을 다른 상황에서도 적용하는 것이다.

개념 확장
개념을 확장하는 방법으로서 개념을 두 개 이상의 새로운 상황에 적용하는 것을 의미한다. 예를 들어, 물체의 평형을 설명하는 데 사용되는 개념을 다른 상황에서도 적용하는 것이다.

개념 넓히기 3

알아보기에서 배운 물리 개념 확장이나 실생활 활용 및 개념의 응용 사례들을 소개하여 개념을 확장한다.

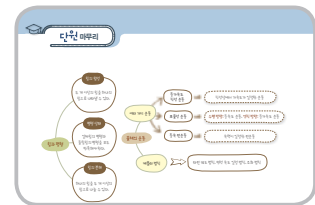
중단원 정리하기

핵심 내용 정리하기, 기초 개념 익히기

1. 핵심 내용 정리하기
2. 기초 개념 익히기

| 중단원 정리하기 |

'핵심 내용 정리하기', '기초 개념 익히기'로 중단원에서 배운 핵심 내용을 정리 및 확인한 후, '개념 확인하기'를 통해 평가한다.



| 단원 마무리 |

'내용 개념도, 핵심 개념 설명하기, 실력 평가하기, 핵심 역량 키우기'로 구성하여 단원의 전체적인 내용을 이해했는지 확인한다.

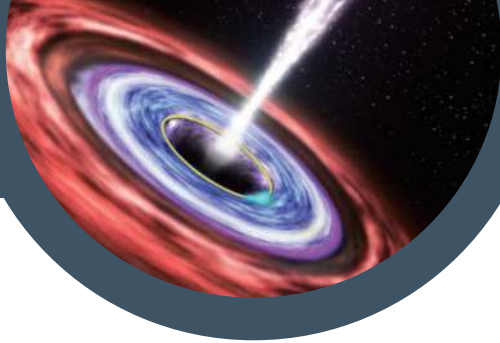
프로젝트 & 글쓰기

내용 개념도, 핵심 개념 설명하기, 실력 평가하기, 핵심 역량 키우기

1. 내용 개념도
2. 핵심 개념 설명하기
3. 실력 평가하기
4. 핵심 역량 키우기

| 프로젝트 & 글쓰기 |

단원과 관련된 자료를 조사, 해 보기, 토의하기를 한 후 다양한 활동을 한다.



역학적 상호 작용

1 힘과 평형 • 10

- 01 힘의 합성과 분해 • 11
- 02 물체의 평형 • 16
- 중단원 정리하기 • 22

2 물체의 운동 • 24

- 01 등가속도 운동 • 25
- 02 포물선 운동 • 29
- 03 등속 원운동 • 34
- 04 케플러 법칙과 뉴턴 중력 법칙 • 39
- 중단원 정리하기 • 44

3 일반 상대성 이론 • 46

- 01 등가 원리 • 47
- 02 중력 렌즈 효과와 블랙홀 • 52
- 중단원 정리하기 • 58

4 열과 에너지 • 60

- 01 일과 운동 에너지 • 61
- 02 역학적 에너지 보존 • 66
- 03 열과 일의 전환 • 72
- 중단원 정리하기 • 76
- 단원 마무리 • 78
- 프로젝트 & 글쓰기 • 82



II

전자기장



1 전기장 • 86

- 01 전기장과 전기력선 • 87
- 02 정전기 유도 • 93
- 03 직류 회로 • 98
- 04 트랜지스터 • 105
- 05 축전기 • 110
- 중단원 정리하기 • 116

2 자기장 • 118

- 01 전류에 의한 자기장 • 119
- 02 전자기 유도 • 126
- 03 상호유도 • 132
- 중단원 정리하기 • 138
- 단원 마무리 • 140
- 프로젝트 & 글쓰기 • 144

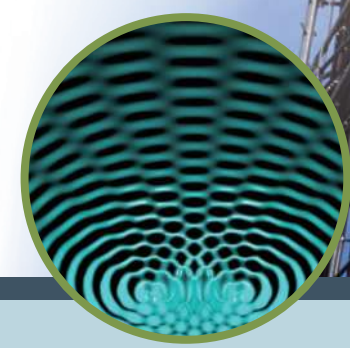


파동과 물질의 성질

1 파동	• 148
01 전자기파의 간섭과 회절	• 149
02 도플러 효과	• 154
03 전자기파의 발생과 수신	• 159
04 볼록 렌즈에 의한 상	• 164
05 이중 슬릿의 간섭 실험	• 169
중단원 정리하기	• 174

2 현대 물리	• 176
01 빛의 입자성	• 177
02 입자의 파동성	• 183
03 불확정성 원리	• 188
중단원 정리하기	• 194
단원 마무리	• 196
프로젝트 & 글쓰기	• 200

부록	• 202
-----------	-------





“

어제에서 배우고 오늘을 살며 내일의 희망을 갖는다.

중요한 것은 끊임없이 의문을 갖는 것이다.

Learn from yesterday, live for today, hope for tomorrow.

The important thing is not to stop questioning.

- Albert Einstein

I

역학적 상호 작용

01. 힘과 평형
02. 물체의 운동
03. 일반 상대성 이론
04. 열과 에너지



힘과 평형

01. 힘의 합성과 분해

02. 물체의 평형



이 단원의 성취 기준 확인

이 단원에서는 힘이 합성될 때 힘의 벡터를 이용하여 알짜힘을 구한다. 또한 물체의 평형 조건을 정량적으로 계산하고, 구조물의 안정성을 설명할 수 있다.



자기 점검 - 알고 있는 용어에 체크해 보자.

합력 <input type="checkbox"/>	알짜힘 <input type="checkbox"/>	힘의 평형 <input type="checkbox"/>
지레 <input type="checkbox"/>	축바퀴 <input type="checkbox"/>	무게중심 <input type="checkbox"/>

▶ 체크하지 못한 용어는 인터넷에서 검색해 보자.



학습 계획 세우기 - 성취 기준을 달성하기 위해 어떤 준비를 할 수 있을지 써 보자.

학습 목표를 세우자.

01 힘의 합성과 분해

- 힘의 합성과 분해에 대해서 알 수 있다.
- 평면상에서 여러 가지 힘이 합성될 때 힘의 벡터를 이용하여 알짜힘을 구할 수 있다.



들어가기 줄타기하는 사람에게 작용하는 힘은?

줄타기하는 사람이 줄 위에 올라가면 줄이 아래로 처지는 모습을 볼 수 있다. 이때 줄 위에 한 사람이 더 올라가면 줄이 처지는 각도는 어떻게 될까?

알아보기 힘의 합성

물체에 힘이 작용하면 물체의 모양이나 운동 상태가 변한다. 물체에는 하나의 힘이 작용할 때도 있지만 둘 이상의 힘이 작용할 때가 많다. 한 물체에 여러 힘이 작용할 때는 힘을 합성하여 알짜힘을 구한다.

그림 I-1과 같이 두 사람이 같은 물체를 함께 들 때 두 힘 사이의 각도에 따라 줄을 당기는 알짜힘의 크기가 다르다. 이처럼 한 물체에 작용하는 여러 개의 힘을 합할 때는 힘의 크기와 함께 방향도 고려해야 한다.



그림 I-1 힘의 합성

| 벡터와 스칼라 |

힘처럼 크기와 방향을 가진 물리량을 **벡터량**이라 하고, 속력처럼 크기만 가진 물리량을 **스칼라량**이라고 한다. 힘을 화살표로 나타내는 것처럼 벡터도 그림 I-2와 같이 크기와 방향을 함께 표시하기 위해서 화살표로 나타낸다. 화살표의 방향은 벡터의 방향을 나타내고, 화살표의 길이는 벡터의 크기를 나타낸다.

벡터는 \vec{A} 와 같이 문자 위에 화살표를 하여 나타내고, 벡터의 크기를 기호로 나타낼 때는 $|\vec{A}|$ 또는 A 로 나타낸다.

📖 벡터량과 스칼라량

- 벡터량: 힘, 변위, 속도, 가속도, 운동량, 전기장, 자기장 등이 있다.
- 스칼라량: 속력, 질량, 시간, 이동 거리, 일, 에너지 등이 있다.

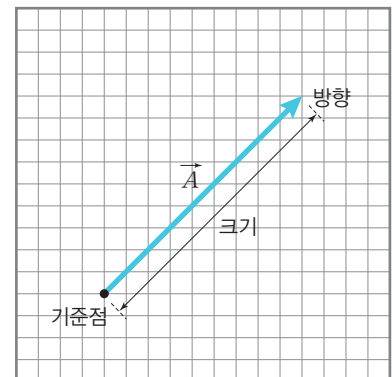
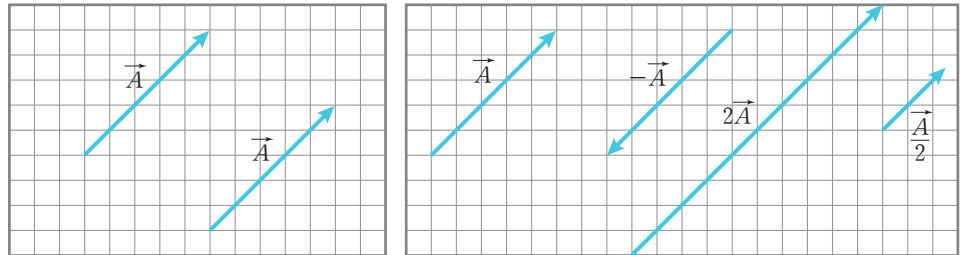


그림 I-2 벡터의 표시

두 벡터의 크기와 방향이 동일하면, 두 벡터는 같은 벡터이다. 따라서 그림 I-3의 (가)와 같이 벡터를 평행 이동 하여도 원래 벡터와 크기와 방향이 달라지지 않으므로 두 벡터는 같은 벡터이다. 그림 (나)와 같이 벡터를 나타낼 때 $-\vec{A}$ 는 \vec{A} 와 크기는 같지만 방향이 반대인 벡터를 나타내고, $2\vec{A}$ 는 \vec{A} 와 방향은 같고 크기가 2배인 벡터를 나타낸다. 또한 $\frac{\vec{A}}{2}$ 는 \vec{A} 와 방향은 같고 크기가 $\frac{1}{2}$ 배인 벡터를 나타낸다.



(가) 벡터의 평행 이동

(나) 다양한 벡터 표현

그림 I-3 벡터의 평행 이동과 벡터 표현

합력

한 물체에 둘 이상의 힘이 작용할 때, 이 힘들과 같은 효과를 내는 하나의 힘이다.

| 힘의 합력과 알짜힘 |

한 물체에 나란하지 않게 작용하는 두 힘의 합력은 어떻게 구할 수 있는지 알아보자.

나란하지 않게 작용하는 두 힘의 합력 구하기



사고력 탐구 능력

목표 한 물체에 작용하는 나란하지 않는 두 힘의 합력을 구할 수 있다.

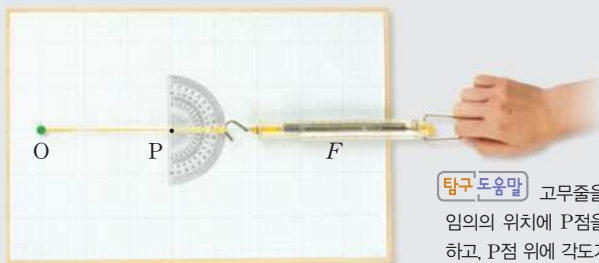
준비물 고무판, 모눈종이, 누름 못, 고무줄, 실, 용수철저울 2개, 각도기

과정

- ① 고무판 위에 모눈종이를 깔고 누름 못을 O점에 고정한다.
- ② 고무줄의 한쪽 끝을 누름 못에 걸고, 반대쪽에 실을 연결한다.
- ③ 그림 (가)와 같이 용수철저울 1개로 고무줄의 끝부분이 P점에 오도록 당긴 후 용수철저울의 눈금 F 를 읽는다.
- ④ 그림 (나)와 같이 고무줄의 반대쪽 끝에 두 가닥의 실을 연결하고, 두 용수철저울이 일정한 각도를 유지하면서 고무줄의 끝부분이 P점에 오도록 당긴 후 두 용수철저울 사이의 각도와 용수철저울의 눈금 F_1, F_2 를 읽는다.

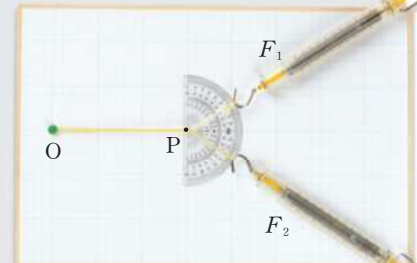
! 주의 사항

용수철저울을 당길 때 누름 못이 빠지지 않도록 주의한다.



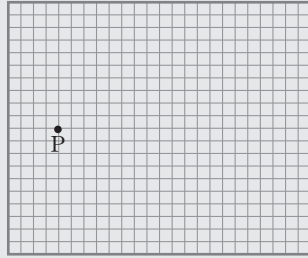
(가)

탐구 도움말 고무줄을 늘일 임의의 위치에 P점을 표시하고, P점 위에 각도기의 영점이 오도록 한다.

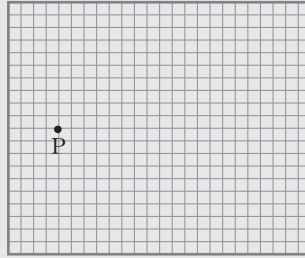


(나)

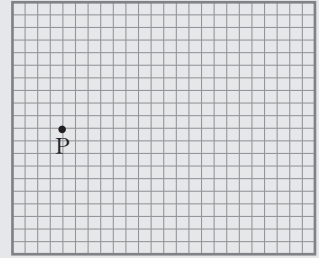
- ⑤ 두 용수철저울 사이의 각도를 달리하여 과정 ④를 반복한다.
- ⑥ 힘 F , F_1 , F_2 의 작용점을 P점으로 하여 모눈종이에 화살표로 나타낸다. 이때 1 N을 길이 1 cm인 화살표로 그린다.



(가) 용수철저울 한 개로 당길 때



(나) 용수철저울 두 개를 좁은 각도로 당길 때



(다) 용수철저울 두 개를 넓은 각도로 당길 때

- 결과 및 정리**
1. 힘 F 와 F_1 , F_2 의 합력의 크기는 같은가?
 2. 두 용수철저울 사이의 각도가 커지면 각 용수철저울의 눈금은 어떻게 되는가?
 3. 두 힘 F_1 , F_2 사이의 각도와 합력은 어떤 관계가 있는가?

탐구에서 나란하지 않게 작용하는 두 힘의 합력의 크기는 두 힘의 크기와 두 힘이 이루는 각도에 따라 달라진다.

나란하지 않게 작용하는 두 힘의 합력은 그림 I-4와 같이 두 힘을 나타내는 화살표를 두 변으로 하는 평행사변형의 대각선으로 구할 수 있는데, 이것을 **평행사변형법**이라고 한다. 평행사변형에서 대각선의 길이가 합력 \vec{F} 의 크기이며, 대각선의 방향이 합력의 방향이 된다.

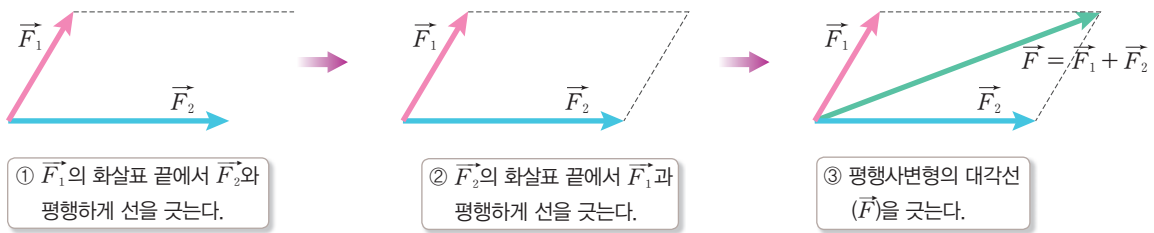


그림 I-4 평행사변형법

나란하지 않은 두 힘의 합력은 **삼각형법**으로도 구할 수 있다. 그림 I-5와 같이 \vec{F}_2 를 평행 이동 하여 \vec{F}_2 의 기준점을 \vec{F}_1 의 화살표 끝에 오도록 한 후 \vec{F}_1 의 기준점에서 \vec{F}_2 의 화살표 끝까지 연결한다. 이때 연결한 화살표가 두 힘의 합력 \vec{F} 가 된다.



그림 I-5 삼각형법

평면상에서 한 물체에 나란하지 않는 세 개 이상의 힘이 작용할 때 힘의 합력은 어떻게 구할 수 있을까? 그림 I-6과 같이 여러 개의 힘이 작용할 때는 먼저 두 힘의 합력을 구하고, 이 합력과 나머지 힘의 합력을 차례로 구한다.

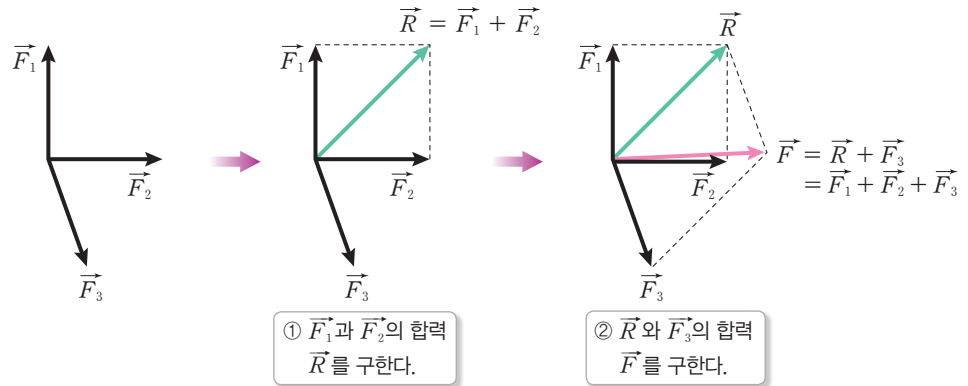


그림 I-6 세 힘의 합성



(가) 물건을 함께 들고 갈 때

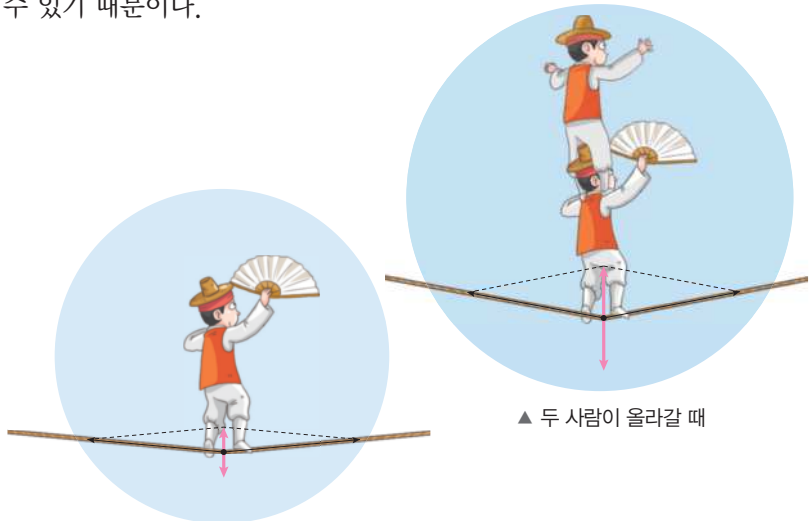
한 물체에 작용하는 모든 힘의 합력을 알짜힘이라고 한다. 한 물체에 작용하는 두 힘이 이루는 각과 알짜힘의 크기는 어떤 관계가 있는지 알아보자.

한 물체에 두 힘이 나란하지 않게 작용할 때 두 힘이 이루는 각이 작을수록 알짜힘이 크다. 그림 I-7의 (가)와 같이 물건을 함께 들고 갈 때에는 두 사람이 작용하는 힘 사이의 각도가 작을수록 알짜힘의 크기가 커서 작은 크기의 힘으로 물건을 들고 갈 수 있고, (나)와 같이 철봉에 매달릴 때에도 두 팔이 나란할수록 매달리기가 더 쉽다.

또 그림 (다)와 같이 줄타기 줄에 한 사람이 올라갈 때보다 두 사람이 올라갈 때 줄이 더 많이 처진다. 이것은 줄이 더 많이 처질수록 알짜힘의 크기가 커서 더 많은 무게를 지탱할 수 있기 때문이다.



(나) 철봉에 매달릴 때



▲ 한 사람이 올라갈 때

▲ 두 사람이 올라갈 때

(다) 줄타기할 때

그림 I-7 한 물체에 여러 힘이 작용할 때 알짜힘의 크기

개념 넓히기 | 벡터의 분해

벡터의 합성과는 반대로 하나의 벡터를 두 개 이상의 벡터로 나누는 것을 **벡터의 분해**라고 한다. 그림 I-8과 같이 벡터 \vec{A} 를 직각 좌표를 이용해 수평 성분 \vec{A}_x 와 수직 성분 \vec{A}_y 로 분해할 수 있는데, \vec{A}_x 와 \vec{A}_y 를 합성하면 \vec{A} 가 된다. 즉, $\vec{A} = \vec{A}_x + \vec{A}_y$ 이며, 분해된 벡터의 각 성분의 크기는 각각 $A_x = A\cos\theta$, $A_y = A\sin\theta$ 이다. 따라서 \vec{A} 의 크기는 $A = \sqrt{A_x^2 + A_y^2}$ 이다.

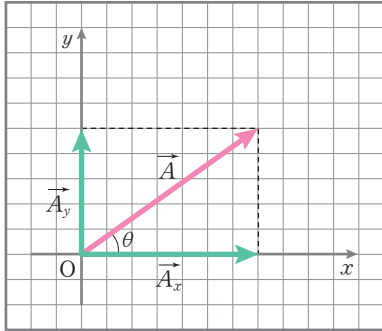


그림 I-8 벡터의 분해

그림 I-9와 같이 힘이 비스듬한 방향으로 작용할 때 힘을 분해하면 힘이 한 일을 쉽게 구할 수 있다. 이처럼 벡터의 분해를 이용하면 다양한 물리적 상황을 이해하는데 도움이 된다.

연계 학습
한 일의 양 ▶61쪽 참조

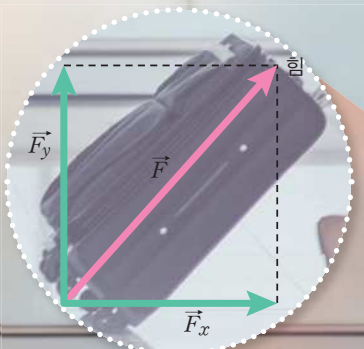


그림 I-9 힘의 분해



평가하기

개념 이해

- 크기와 방향을 가진 물리량을 ()이라 하고, 크기만 가진 물리량은 ()이라고 한다.
- 한 물체에 오른쪽으로 30 N, 위쪽으로 40 N의 힘이 동시에 작용할 때 물체에 작용하는 알짜 힘의 크기는 몇 N인가?

창의·융합

- 한 지점에서 동일한 목적지를 향해 갈 때 다른 경로를 통해 이동하면 어떤 물리량이 달라지는지 알아보자.

02 물체의 평형

- 무게중심에 대한 물체의 평형 조건을 정량적으로 계산할 수 있다.
- 무게중심을 이용하여 간단한 구조물의 안전성을 설명할 수 있다.



들어가기 돌탑이 쓰러지지 않는 비결은?

크기가 다른 돌로 돌탑을 쌓으면 안정되게 높이 쌓기가 쉽지 않다. 하지만 사진처럼 경이로운 모습의 돌탑을 쌓는 사람도 있다. 돌탑이 어떤 원리로 쓰러지지 않고 안정되게 서 있을까?

알아보기 돌림힘과 물체의 평형

| 돌림힘 |

여닫이문은 손잡이가 회전축으로부터 왜 멀리 떨어져 있을까? 물체에 작용한 힘이 물체를 회전시킬 수 있는 능력을 돌림힘(토크)이라고 한다. 그러므로 돌림힘이 크다는 것은 물체에 작용한 힘이 물체를 회전시킬 수 있는 능력이 크다는 뜻이다.

그림 I-10과 같이 손잡이는 회전축에서 멀리 떨어져 있다. 이때 회전축으로부터 손잡이까지의 길이를 지레의 팔이라고 한다. 손잡이를 잡고 지레의 팔에 수직인 힘 F 로 당길 때, 돌림힘(τ)의 크기는 팔의 길이(r)와 힘의 크기(F)의 곱으로 나타낸다.

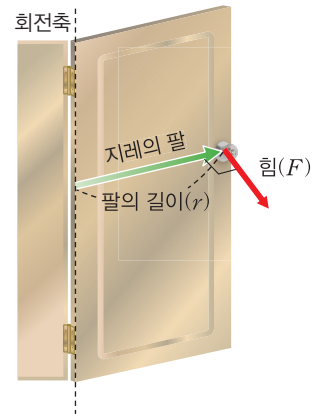


그림 I-10 돌림힘

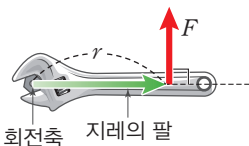
📖 돌림힘의 단위

일은 에너지와 같은 단위인 J를 사용하지만 돌림힘은 에너지가 아니기 때문에 J를 사용하지 않고, N·m를 사용한다.

$$\text{돌림힘}(\tau) = \text{팔의 길이}(r) \times \text{힘의 크기}(F) \quad (\text{단위: N} \cdot \text{m})$$

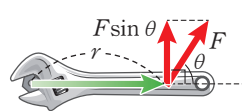
따라서 돌림힘의 크기는 팔의 길이 r 와 힘의 크기 F 에 비례한다. 그림 I-11과 같이 힘이 작용할 때 지레의 팔에 수직인 성분만 돌림힘에 기여하기 때문에 돌림힘은 r 와 F 사이의 각이 수직일 때 최대이며 나란할 때는 0이다.

$$\tau = rF \sin 90^\circ = rF$$



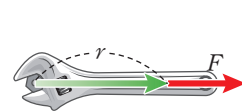
(가) r 에 대해 F 가 수직으로 작용하여 돌림힘이 최대가 된다.

$$\tau = rF \sin \theta$$



(나) r 에 대해 F 의 수직 성분만 돌림힘으로 작용한다.

$$\tau = rF \sin 0^\circ = 0$$



(다) r 에 대해 F 의 수직 성분이 없어 돌림힘이 작용하지 않는다.

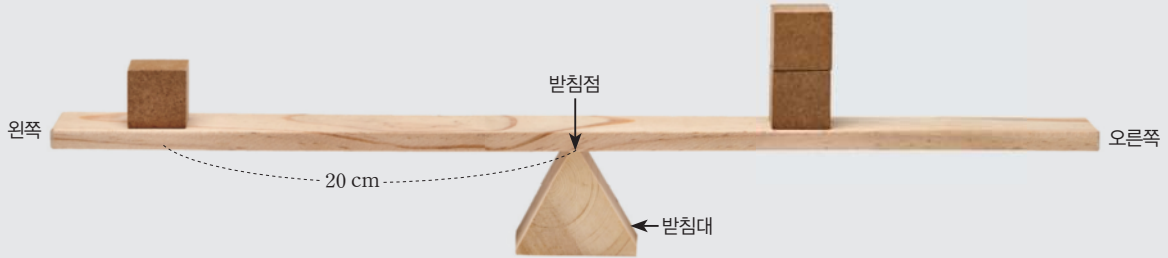
그림 I-11 돌림힘의 크기

목표 지레를 사용하여 물체가 수평을 유지하기 위한 조건을 찾을 수 있다.

준비물 지레 실험 세트

과정

- 1 받침대 위에 지레를 올려놓고 수평을 유지하는지 확인한다.
- 2 수평이 유지되면 받침점을 중심으로 왼쪽으로 20 cm 떨어진 위치에 무게가 2 N인 나무 도막을 올려놓는다.
- 3 지레의 오른쪽에 올려놓는 나무 도막의 무게를 2 N, 4 N, 6 N으로 달리하면서 수평을 유지하는 지점을 찾아 그때의 위치를 기록한 후 돌림힘을 구한다.



나무 도막의 무게(N)	2	4	6
받침점에서 나무 도막까지의 거리(cm)			
돌림힘(N·m)			

- 결과 및 정리**
1. 지레가 수평을 유지할 때 오른쪽 나무 도막의 무게와 받침점 사이의 거리는 어떤 관계가 있는가?
 2. 지레가 수평을 유지하기 위해서는 무엇이 같아야 하는가?
 3. 왼쪽 나무 도막에 의한 돌림힘의 방향과 오른쪽 나무 도막에 의한 돌림힘의 방향은 같은가?

지레는 돌림힘을 이용하여 물체를 들어 올리는 데 사용하는 도구이다. 지레를 이용해 물체를 일정한 속력으로 들어 올릴 때, 지레의 질량을 무시하면, 사람이 지레에 작용하는 돌림힘과 물체가 지레에 작용하는 돌림힘의 크기는 서로 같다. 따라서 받침점에서 물체까지의 거리보다 받침점에서 힘의 작용점까지의 거리가 클수록 작은 힘으로 물체를 들어 올릴 수 있다. 그림 I-12와 같이 사람이 지레를 누르는 힘에 의한 돌림힘 aF 와 물체의 무게에 의한 돌림힘 bw 의 크기는 같고 방향은 서로 반대이다.

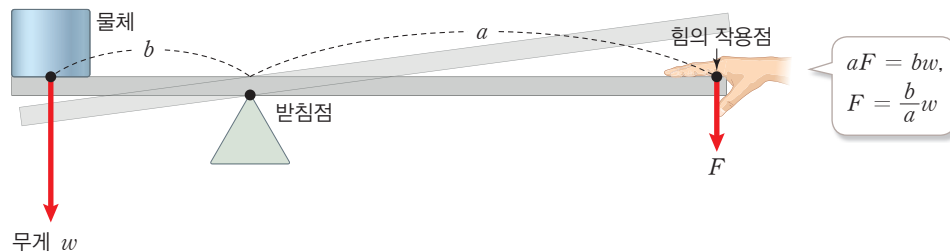


그림 I-12 지레의 원리

지레와 같이 돌림힘을 이용하는 것에는 축바퀴, 도르래 등이 있다.

그림 I-13과 같이 축바퀴는 한 회전축에 지름이 서로 다른 바퀴가 붙어 있으며, 작은 힘으로 큰 바퀴를 회전시키면 작은 바퀴는 물체에 큰 힘을 작용한다.



(가) 드라이버

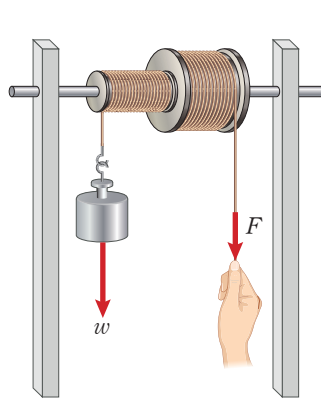
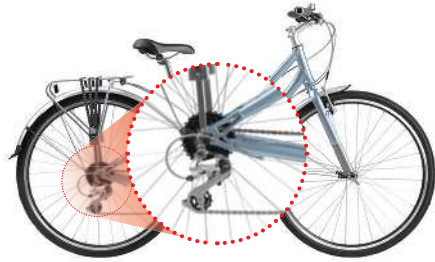
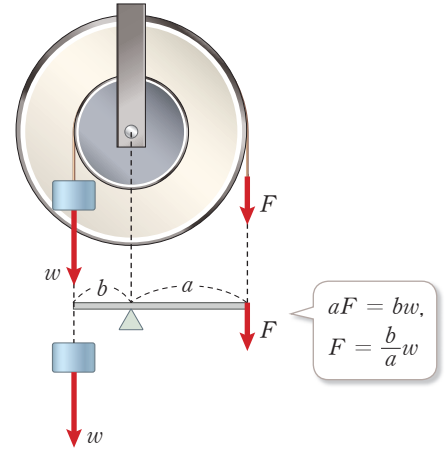


그림 I-13 축바퀴의 원리



(나) 자전거의 기어

그림 I-14 축바퀴를 이용한 예

그림 I-14는 축바퀴를 이용한 예이다. 그림 (가)의 드라이버는 손잡이가 나사못의 머리 부분보다 지름이 크기 때문에 작은 힘으로 나사를 쉽게 돌릴 수 있고, 그림 (나)의 자전거 기어는 뒷바퀴에 연결된 톱니바퀴의 지름이 클수록 작은 힘으로 페달을 돌릴 수 있다.

| 물체의 평형 조건 |

돌탑이 쓰러지지 않는 까닭을 나무 도막 빼기 놀이로 알아보자.

미니 탐구

나무 도막 빼기 놀이

목표

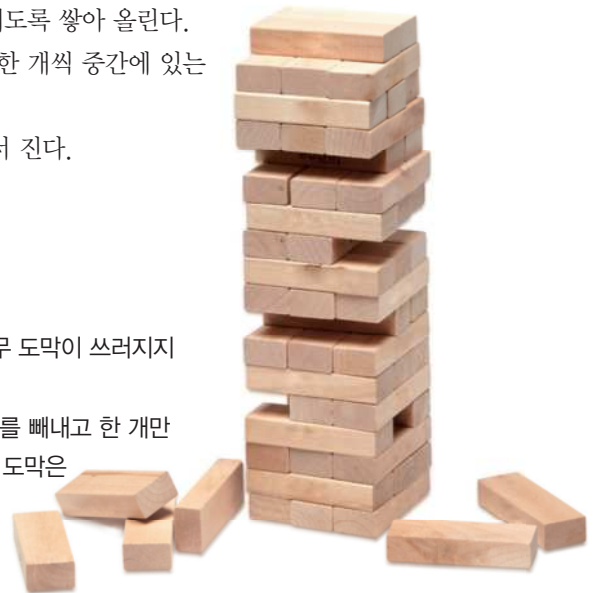
나무 도막 빼기 놀이를 통해 구조물이 안정한 상태를 유지하기 위한 조건을 찾을 수 있다.

준비물

나무 도막 빼기 놀이 세트

- 1 나무 도막을 세 개씩 교대로 직각이 되도록 쌓아 올린다.
- 2 나무 도막을 모두 쌓았으면 순서대로 한 개씩 중간에 있는 나무 도막을 빼낸다.
- 3 나무 도막을 빼내다 쓰러지면 놀이에서 진다.

- ❓ 아래에 있는 나무 도막을 빼냈는데도 나무 도막이 쓰러지지 않는 까닭은 무엇일까?
- ❓ 한 층에 있던 세 개의 나무 도막 중 두 개를 빼내고 한 개만 남아 있어도 쓰러지지 않았다면, 이 나무 도막은 어디에 있는 나무 도막인가?



나무 도막 빼기 놀이에서는 세 개의 나무 도막 중 두 개가 남아 있거나 가운데 한 개가 남아 있어야 쓰러지지 않는다. 이처럼 물체가 운동 상태의 변화 없이 정지한 상태를 유지하는 것을 **평형 상태**라고 한다. 물체가 평형 상태가 되기 위해서는 물체에 작용하는 알짜힘이 0이어서 힘의 평형 조건을 만족해야 한다. 하지만 그림 I-15와 같이 두 힘이 평형을 이루어 알짜힘이 0이어도 힘의 작용선이 동일하지 않으면 물체는 회전 운동을 하게 된다. 따라서 물체에 작용하는 힘의 평형만으로는 물체가 평형 상태를 유지하기 어렵고, 돌림힘의 합도 0이어야 평형 상태를 유지할 수 있다.

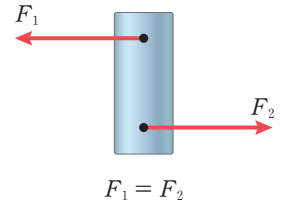


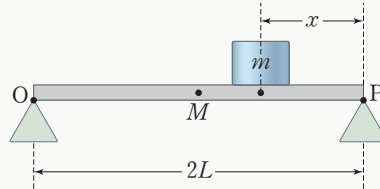
그림 I-15 회전하는 물체 | 알짜힘이 0이지만 돌림힘의 합이 0이 아니기 때문에 물체가 회전한다.

즉, 물체가 평형 상태를 유지하기 위해서는 힘의 평형과 돌림힘의 평형 조건을 모두 만족해야 한다.

물체의 평형 조건

- 힘의 평형: 물체에 작용하는 모든 힘의 합력이 0이어야 한다. ($\sum \vec{F} = 0$)
- 돌림힘의 평형: 물체에 작용하는 모든 돌림힘의 합이 0이어야 한다. ($\sum \vec{\tau} = 0$)

그림과 같이 길이가 $2L$ 이고 질량이 M 인 균일한 막대를 두 받침대 사이에 놓고, 질량이 m 인 물체를 P점에서 O점으로 평형 상태를 유지하면서 서서히 이동시켰다. 이때 물체가 P점, 가운데, O점에 있을 때 양쪽 받침대가 막대에 작용하는 힘의 크기는 각각 어떻게 되는가?



풀이와 답 • 두 받침대가 막대에 작용하는 힘의 크기는 물체의 위치에 따라 달라진다. 물체가 P점에서 x 만큼 이동했을 때 막대가 평형 상태를 유지하므로, 막대는 힘의 평형과 돌림힘의 평형 조건을 모두 만족한다.

- (1) 막대에 작용하는 모든 힘의 합은 0이며, 작용하는 힘은

$$F_O + F_P - Mg - mg = 0$$

이다.

- (2) 막대에 작용하는 모든 돌림힘의 합은 0이며, P점을 기준으로 할 때 막대에 작용하는 모든 돌림힘의 합은

$$mgx + MgL - 2F_O L = 0$$

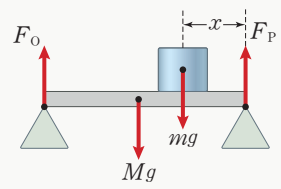
$$\therefore F_O = \frac{mx + ML}{2L}g$$

이다. 따라서 물체가 P점에 있을 때는 $F_O = \frac{M}{2}g$, $F_P = \left(\frac{M}{2} + m\right)g$ 이다.

막대 가운데에 있을 때는 $F_O = \frac{M + m}{2}g$, $F_P = \frac{M + m}{2}g$ 이며,

O점에 있을 때는 $F_O = \left(\frac{M}{2} + m\right)g$, $F_P = \frac{M}{2}g$ 가 된다.

예제



- F_O : O점에서 받침대가 막대에 위쪽으로 작용하는 힘
- F_P : P점에서 받침대가 막대에 위쪽으로 작용하는 힘
- Mg : 막대에 작용하는 중력
- mg : 물체가 막대를 누르는 힘

‘시계 반대 방향으로 회전시키는 돌림힘은 (+), 시계 방향은 (-)로 설정할 수 있어.’



개념 넓히기 무게중심과 구조물의 안정성



(가) 불안정한 돌탑 (나) 안정한 돌탑
그림 I-16 돌탑의 안정성

구조물이 평형 조건을 만족한다고 해서 무너지지 않고 항상 안정된 상태를 유지하는 것은 아니다. 그림 I-16에서 (가)의 돌탑은 (나)의 돌탑보다 훨씬 불안정해 보인다. 두 돌탑 모두 힘의 평형 조건과 돌림힘의 평형 조건을 만족하고 있지만, 외부 자극에도 무너지지 않고 안정된 상태를 유지하려면 위쪽보다 아래쪽이 넓은 형태를 이루어야 한다.

무게중심은 물체를 이루는 입자들의 전체 무게가 한곳에 작용한다고 볼 수 있는 점이다. 공이나 정육면체와 같이 대칭이고 균질한 물질로 이루어진 물체는 무게중심이 물체의 중앙에 있다. 하지만 대칭이 아니거나 균질하지 않은 물질로 이루어진 모양이 불규칙한 물체는 그림 I-17과 같

이 물체의 서로 다른 두 점 A, B를 각각 실로 매달았을 때 실의 연장선이 만나는 점에 무게중심이 있다.

아래쪽이 넓은 물체들은 쉽게 쓰러지지 않지만 병을 거꾸로 세우면 쉽게 쓰러지는 것처럼 지면과 접촉한 면적이 좁은 물체는 잘 쓰러진다. 이처럼 같은 물체라도 지면에 대한 무게중심의 위치가 달라지면 안정성에 차이가 생긴다.

그림 I-18과 같이 구조물이 (가)와 같은 상태일 때는 약간 기울어지거나 흔들려도 안정된 상태를 유지할 수 있지만, (나)와 같은 상태일 때는 조금만 기울어져도 쉽게 넘어진다. 구조물은 무게중심이 낮고, 지면과 접촉하는 면적이 넓을수록 안정성이 높다. 따라서 구조물이 안정된 상태를 유지하기 위해서는 무게중심으로부터 바닥면에 내린 수선이 바닥면 범위 내에 있어야 한다.

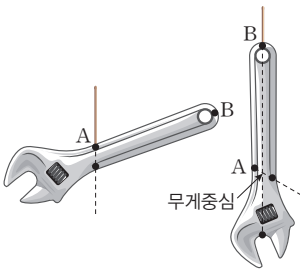
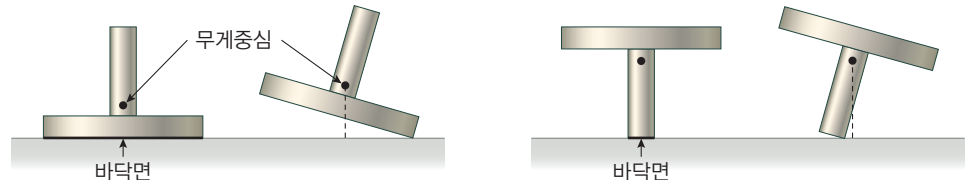


그림 I-17 무게중심 찾기



(가) 안정된 상태

(나) 불안정한 상태

그림 I-18 무게중심의 위치와 안정성

평가하기

개념 이해

1 회전축에서 50 cm 떨어진 위치에서 지레의 팔에 직각 방향으로 20 N의 힘을 작용했을 때 생긴 돌림힘의 크기는 몇 N·m인가?

2 물체가 평형 상태를 유지하기 위해서는 어떤 조건이 필요한가?

창의·융합

3 일상생활에서 돌림힘을 이용한 도구나 장치에는 어떤 것들이 있는지 찾아보자.

구조물의 안정성

1173년부터 공사를 시작한 피사의 사탑은 공사를 하는 200여 년 동안 계속 기울어졌다. 여러 방법을 동원해 보수 공사를 진행해 현재는 약 5.5° 기울어진 채로 더 이상 기울어지지 않고 있다. 피사의 사탑이 무너지지 않고 잘 버티고 서 있는 것과 달리 무너진 건물들도 있다. 이러한 차이가 생기는 까닭은 힘과 돌림힘이 모두 평형 상태를 유지하는지와 무게중심이 구조물의 바닥면 내에 있는지 여부에 있다.

고대에 건설된 이집트의 피라미드가 오랜 세월 동안 무너지지 않은 것은 무게중심의 연장선이 바닥면을 벗어나지 않게 넓은 형태의 바닥면을 가지고 있었기 때문이다. 그런데 피라미드는 안정된 구조를 지니고 있지만 내부 공간을 활용하는 데는 비효율적이다. 하지만 아치 구조는 중력을 효과적으로 분산하면서도 아래 공간을 활용할 수 있는 실용적인 건축 형태이다. 아치 구조는 구조물의 평형 조건을 만족하면서 안정적인 형태를 지니고 있어 많은 고대의 유적이 아직도 남아 있다.

생각해 보기

1 고층 건물이 아래는 넓고 위로 갈수록 뾰족한 탑의 형태를 지닌 까닭은 무엇일까?

과학적 문제 해결력

2 카메라 삼각대의 다리가 3개인 까닭은 무엇일까?





중단원 정리하기

> 핵심 내용 정리하기

힘의 합성과 분해

1. 벡터와 스칼라

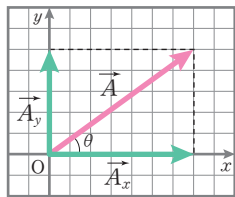
벡터량 크기와 방향을 가진 물리량

스칼라량 크기만 가진 물리량

2. 힘의 합력

① : 한 물체에 여러 힘이 작용할 때 이 힘들과 같은 효과를 내는 하나의 힘이다.

② 나란하지 않은 두 힘의 합력은 두 힘을 나타내는 화살표를 두 변으로 하는 의 대각선으로 구한다.



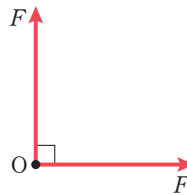
3. 벡터의 분해: 하나의 벡터를 두 개 이상의 벡터로 나누는 것이다.

>> 기초 개념 익히기

1 다음 중 벡터량을 모두 고르시오.

속력, 속도, 가속도, 운동량, 에너지

2 그림과 같이 크기가 F 로 같은 두 힘이 서로 수직으로 작용하고 있을 때 합력을 화살표로 표시하고, 그 크기를 구하시오.



물리량 7 단위 1 리용

물체의 평형

1. 돌림힘

① 돌림힘(토크): 물체에 작용한 힘이 물체를 시킬 수 있는 능력이다.

$$\text{돌림힘}(\tau) = \text{팔의 길이}(r) \times \text{수직 방향의 힘의 크기}(F)$$

② 을 이용한 예: 지레, 도르래, 축바퀴 등

2. 평형 상태와 구조물의 안정성

① 평형 상태: 운동 상태의 변화 없이 물체가 정지한 상태를 유지하는 것이다.

② 물체가 평형 상태를 유지하기 위한 조건

힘의 평형 물체에 작용하는 모든 힘의 합력이 이어야 한다. $\sum \vec{F} = 0$

돌림힘의 평형 물체에 작용하는 모든 돌림힘의 합이 0 이어야 한다. $\sum \vec{\tau} = 0$

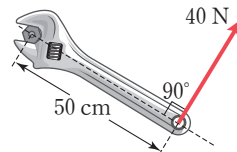
③ : 물체를 이루는 입자들의 전체 무게가 한 곳에 작용한다고 볼 수 있는 점이다.

④ 구조물이 안정된 상태를 유지하기 위해서는 무게중심의 연장선이 바닥면을 벗어나지 않아야 한다.

3 돌림힘의 크기는 회전축에서 거리가 (멀 / 가까울)수록 크고, 작용하는 힘의 크기가 (클 / 작을)수록 크다.

4 일상생활에서 사용하는 물건 중 돌림힘을 사용한 것을 두 가지 쓰시오.

5 그림과 같이 길이가 50 cm인 스패너로 볼트를 조일 때 작용한 돌림힘의 크기는 몇 N·m인가?

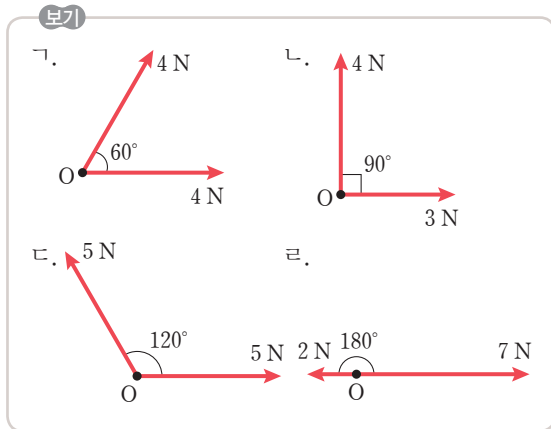


6 물체가 평형 상태를 유지하기 위해서는 ()의 평형과 ()의 평형 조건을 모두 만족해야 한다.

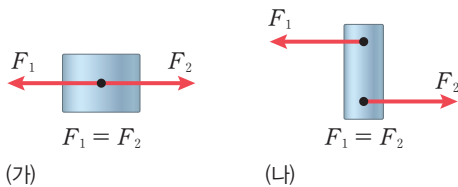
단위 1 리용 물리량 7 단위 1 리용

개념 확인하기

1 보기에서 O점에 두 힘이 작용했을 때 합력의 크기가 나머지 셋과 다른 것을 고르시오.



2 그림과 같이 한 물체에 두 힘이 작용하였다.



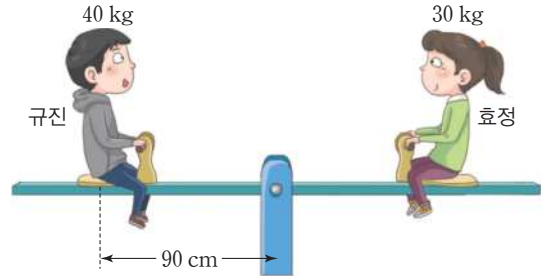
이에 대한 설명으로 옳은 것만을 보기에서 있는 대로 고른 것은?

보기

가. (가)에서 물체는 평형 상태를 유지한다.
 나. (나)에서 물체에 작용하는 알짜힘은 0이다.
 다. (나)는 돌림힘이 평형을 이루므로 물체가 회전한다.

- ① 가 ② 나 ③ 다
 ④ 가, 나 ⑤ 나, 다

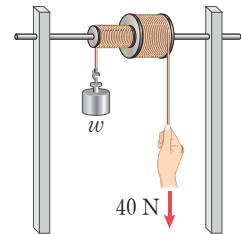
3 그림은 질량이 40 kg인 규진과 30 kg인 효정이 시소에 앉아 평형을 이루는 모습을 나타낸 것이다.



받침대에서 규진까지의 거리가 90 cm일 때, 받침대에서 효정까지의 거리는? (단, 모든 마찰은 무시한다.)

- ① 30 cm ② 60 cm ③ 90 cm
 ④ 120 cm ⑤ 150 cm

4 그림과 같이 축바퀴에 추를 매달아 40 N의 힘을 작용하였더니 무게 w인 추가 일정한 속도로 끌려 올라왔다. 이에 대한 설명으로 옳은 것만을 보기에서 있는 대로 고른 것은?



보기

가. 추의 무게는 40 N보다 작다.
 나. 손에 의한 돌림힘이 추에 의한 돌림힘보다 크다.
 다. 드라이버, 자전거의 기어 등은 축바퀴를 이용한 것이다.

- ① 가 ② 나 ③ 다
 ④ 가, 나 ⑤ 나, 다

스스로 평가하기

- 1 힘의 합성과 분해를 설명할 수 있는가? ☆☆☆☆☆
 2 물체의 평형 조건을 정량적으로 계산할 수 있는가? ☆☆☆☆☆
 3 간단한 구조물의 안전성을 무게중심과 관련지어 설명할 수 있는가? ☆☆☆☆☆

평가 점수에 따라 별에 색칠하세요



물체의 운동

- 01. 등가속도 운동
- 02. 포물선 운동
- 03. 등속 원운동
- 04. 케플러 법칙과 뉴턴 중력 법칙



이 단원의 성취 기준 확인

이 단원에서는 물체의 여러 가지 등가속도 운동을 뉴턴 운동 법칙을 이용하여 정량적으로 이해하고 예측한다. 또 등속 원운동을 중심으로 행성의 운동을 이해하고, 케플러 법칙이 뉴턴 중력 법칙을 만족함을 설명한다.



자기 점검 - 알고 있는 용어에 체크해 보자.

속도 <input type="checkbox"/>	가속도 <input type="checkbox"/>	등가속도 운동 <input type="checkbox"/>	자유 낙하 <input type="checkbox"/>
뉴턴 운동 법칙 <input type="checkbox"/>	등속 운동 <input type="checkbox"/>	중력 <input type="checkbox"/>	

▶ 체크하지 못한 용어는 인터넷에서 검색해 보자.



학습 계획 세우기 - 성취 기준을 달성하기 위해 어떤 준비를 할 수 있을지 써 보자.

학습 목표를 세우자.

01 등가속도 운동

- 평면상의 등가속도 운동에서 물체의 속도와 위치를 정량적으로 예측할 수 있다.
- 연직 운동에서 물체의 속도와 위치를 정량적으로 예측할 수 있다.



들어가기 | 다이빙한 사람의 속도를 알 수 있을까?

다이빙대에서 다이빙한 사람은 자유 낙하 운동을 한다. 일정한 시간이 지난 후 다이빙한 사람의 속도와 위치를 알 수 있을까?

알아보기 | 등가속도 운동

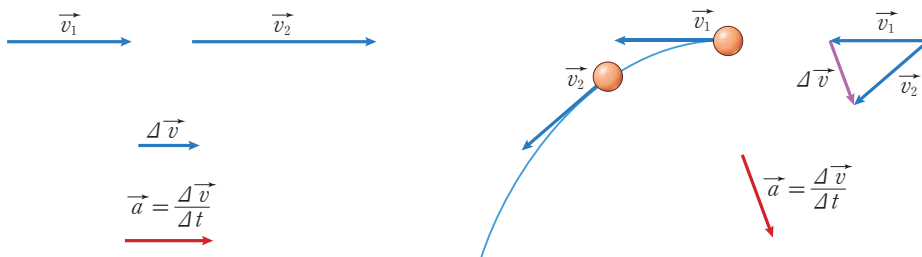
우리 주변에는 컨베이어 벨트와 같이 일정한 속도로 운동하는 물체도 있지만 높은 곳에서 떨어지는 물체와 같이 속도가 일정하게 변하는 운동을 하는 물체도 있다. 이처럼 물체의 속도가 일정한 운동과 속도가 일정하게 변하는 운동은 어떤 차이가 있는지 알아보자.

|가속도|

속도가 변하는 운동에는 속력만 변하는 운동, 운동 방향만 변하는 운동, 속력과 운동 방향이 모두 변하는 운동이 있다. 물체의 속도가 변할 때 단위 시간당 속도의 변화량을 가속도라고 한다. 처음 속도를 \vec{v}_1 , 나중 속도를 \vec{v}_2 , 걸린 시간을 Δt 라고 하면 가속도 \vec{a} 는 다음과 같다.

$$\vec{a} = \frac{\vec{v}_2 - \vec{v}_1}{\Delta t} \quad (\text{단위: m/s}^2)$$

속도가 변할 때 가속도는 그림 I-19와 같이 구할 수 있다. 가속도 \vec{a} 의 방향은 속도의 변화량 $\Delta\vec{v} = \vec{v}_2 - \vec{v}_1$ 의 방향과 같다.



(가) 속력만 변할 때
그림 I-19 가속도

(나) 방향만 변할 때

다음 탐구에서 속도가 변할 때 가속도를 구하는 방법을 알아보자.

탐구

가속도 측정



탐구 능력 | 문제 해결력

목표 빗면을 이용해 물체의 가속도를 구할 수 있다.

준비물 쇠구슬, 1 m 레일, 스마트폰, 삼각대, 줄자, 컴퓨터

과정

- ① 그림과 같이 빗면을 설치하고 스마트폰을 고정하여 동영상을 촬영할 준비를 한다.
- ② 빗면에서 쇠구슬이 굴러 내려가게 한 후, 스마트폰으로 촬영한다.
- ③ 빗면의 기울기를 크게 하여 과정 ②를 반복한다.

주의 사항

- 동영상 분석 프로그램을 사용한다.
- 삼각대가 없으면 스마트폰이 흔들리지 않도록 고정된 후 촬영한다.



- ④ 동영상 분석 프로그램을 사용하여 쇠구슬의 운동을 구간별로 분석하여 기록한다.

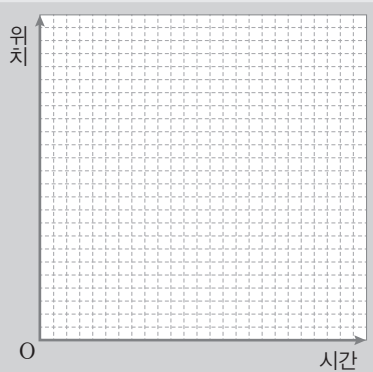
• 기울기가 작을 때

시간(s)							
위치(cm)							
속도(cm/s)							
가속도(cm/s ²)							

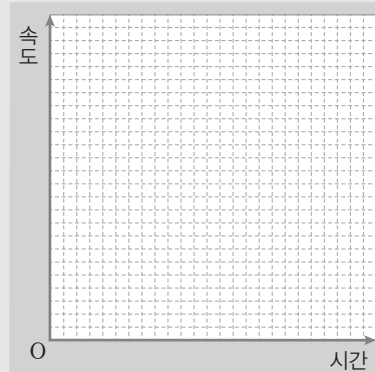
• 기울기가 클 때

시간(s)							
위치(cm)							
속도(cm/s)							
가속도(cm/s ²)							

- ⑤ 표를 바탕으로 위치-시간 그래프와 속도-시간 그래프를 그려 보자.



▲ 위치-시간 그래프




▲ 속도-시간 그래프

결과 및 정리

1. 동영상 분석 프로그램에서 각 프레임마다 물체의 위치 변화는 무엇을 의미하는가?
2. 속도-시간 그래프에서 기울기는 어떤 모습인가?
3. 빗면의 기울기가 변했을 때 그래프는 어떤 차이가 있는가?

일정한 시간 동안 물체가 이동한 변위는 물체의 속도를 뜻한다. 등가속도 운동을 하는 물체는 각 프레임마다 물체 사이의 거리가 더 커지는 것을 확인할 수 있다. 이로 부터 물체의 속도가 시간이 지남에 따라 점점 커진다는 것을 알 수 있다. 빗면의 기울기가 커지면 가속도가 증가하고, 가속도가 증가하면 같은 시간 동안 속도의 증가량, 즉 각 프레임마다 물체 사이의 거리의 차이가 더 커진다.

 프레임(Frame)

동영상에서 정지된 사진 한 장을 프레임이라고 한다. 30프레임은 1초에 30장의 사진을 재생한다.

| 등가속도 직선 운동 |

직선상에서 물체의 가속도가 일정한 운동을 등가속도 직선 운동이라고 한다. 가속도가 일정한 물체는 시간에 따라 속도가 일정하게 증가하거나 감소하는 운동을 한다. 처음 속도가 v_0 인 물체가 등가속도 운동을 할 때 시간 t 후의 속도 v 와 변위 s , 가속도 a 사이의 관계는 다음과 같다.

$$v = v_0 + at, s = v_0t + \frac{1}{2}at^2, 2as = v^2 - v_0^2$$

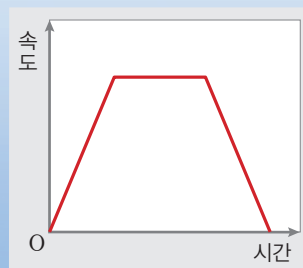
다이빙대에서 다이빙한 사람의 속도는 일정한 비율로 증가하고, 열차에 브레이크가 작동되어 바퀴에 일정한 힘을 작용하면 열차의 속도는 일정하게 감소한다. 또한 엘리베이터가 출발하거나 멈출 때 속도가 일정하게 증가하거나 감소하는 운동을 한다.

엘리베이터의 운동에서 나타나는 등가속도 운동을 자세히 살펴보자.

고층 건물에는 고속 엘리베이터와 저속 엘리베이터가 설치되어 있다. 고속 엘리베이터는 속도가 빠르게 증가하여 고층까지 짧은 시간에 올라갈 수 있고, 저속 엘리베이터는 각 층에서 멈추기 위해 천천히 운행한다. 이 두 엘리베이터의 운동을 속도-시간 그래프로 나타내면 그림 I-20과 같다.



(가) 저속 엘리베이터



(나) 고속 엘리베이터

그림 I-20 속도-시간 그래프

그림 (가)와 같이 저속 엘리베이터는 가속도가 작고 가속되는 시간이 짧다. 하지만 그림 (나)와 같이 고속 엘리베이터는 가속도가 크고 가속되는 시간이 길어 일정한 시간이 지난 후 속도가 커진다. 두 그래프를 비교하면 같은 시간 동안 고속 엘리베이터가 더 많은 거리를 이동했다는 것을 알 수 있다.



개념 넓히기 물체의 연직 운동

그림 I-21의 (가)와 같이 연직 위로 던져 올린 물체는 속력이 일정하게 감소하다가 최고점에 도달한 후 운동 방향을 바꾸어 속력이 일정하게 증가하는 운동을 한다. 이것을 속도-시간 그래프로 나타내면 그림 (나)와 같다. 여기서 위쪽 방향의 변위를 양(+)으로 하면, 중력 가속도의 방향은 음(-)의 값을 갖는다.

속도-시간 그래프에서 기울기는 가속도를 나타내므로 최고점에 도달할 때까지는 가속도의 방향과 운동 방향이 서로 반대이고, 최고점에 도달하면 그 순간 물체의 속도는 0이 된다. 이후 물체의 가속도의 방향은 운동 방향과 같다. 물체의 속도는 물체가 올라가는 동안에는 양(+)의 부호를 갖고, 내려오는 동안에는 음(-)의 부호를 갖는다. 물체는 위로 올라가는 동안에는 매초 9.8 m/s씩 속력이 감소하고, 최고점에서 속력이 0이 된 후 내려오는 동안에는 매초 9.8 m/s씩 속력이 증가하는 운동을 한다.

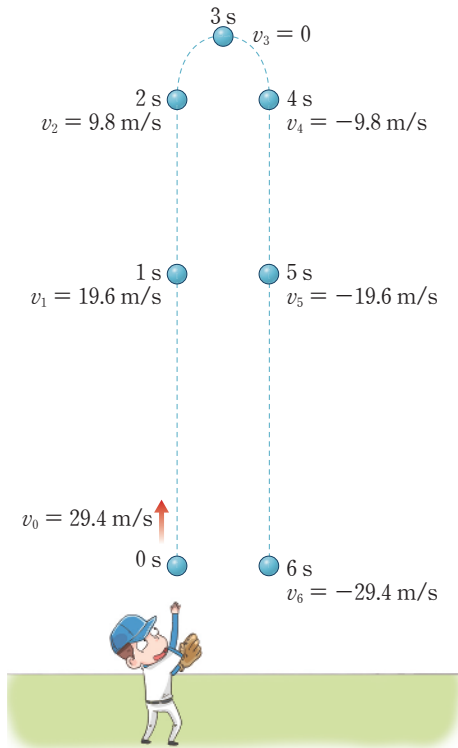
물음 연직 위로 던진 물체가 가장 높이 올라갔을 때 가속도의 크기는?

연직 위로 던질 때 식

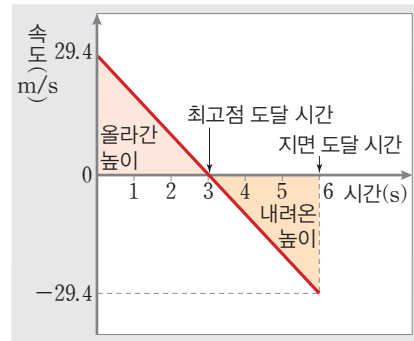
$$v = v_0 - gt$$

$$h = v_0t - \frac{1}{2}gt^2$$

$$-2gh = v^2 - v_0^2$$



(가) 시간에 따른 물체의 속도 변화
그림 I-21 연직 위로 던진 물체의 운동



(나) 속도-시간 그래프

평가하기

개념 이해

1 단위 시간 동안 속도가 일정하게 변하는 운동을 무엇이라고 하는가?

창의·융합

2 20 m/s의 속도로 달리던 자동차가 등가속도 직선 운동하여 10초 만에 정지했을 때 이 자동차의 가속도의 크기는 몇 m/s²인가?

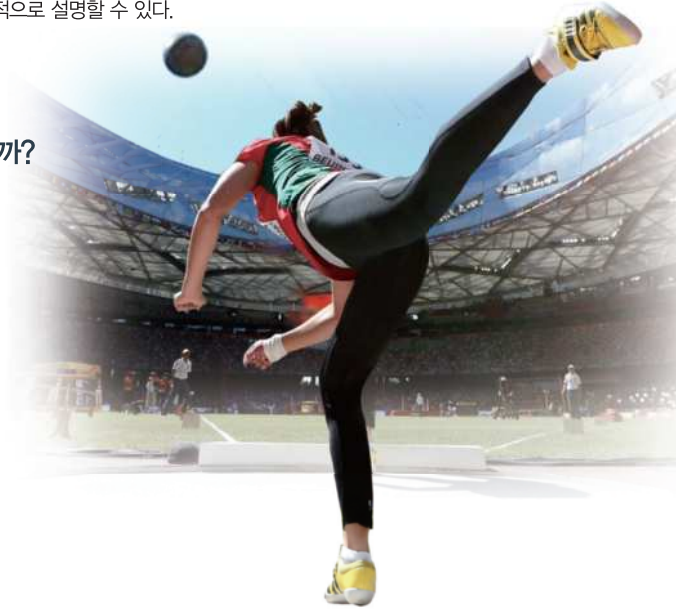
3 공기 저항이 없을 때 빗방울이 떨어지는 높이가 높을수록 지면에서의 빗방울의 속도는 어떻게 될까?

02 포물선 운동

- 뉴턴 운동 법칙을 이용하여 수평으로 던진 물체의 운동을 정량적으로 설명할 수 있다.
- 뉴턴 운동 법칙을 이용하여 비스듬히 위로 던진 물체의 운동을 정량적으로 설명할 수 있다.

들어가기 | 포환을 어떻게 던져야 더 멀리 날아가게 할 수 있을까?

올림픽 육상 종목 중 하나인 포환던지기는 포환을 얼마나 멀리 던지는지를 겨루는 경기이다. 포환을 멀리 날아가게 하려면 어떻게 던져야 할까?



알아보기 | 중력에 의한 포물선 운동

| 수평으로 던진 물체의 운동 |

그림 I-22는 수평으로 던진 공의 이동 경로를 나타낸 것이다. 수평으로 던진 공은 (가)와 같은 곡선 경로로 날아가는데, 이 경로를 수평 방향과 연직 방향으로 나누어 생각해 보자.

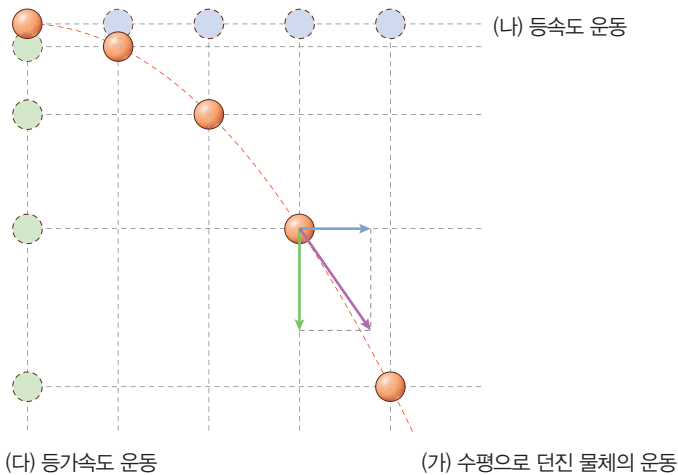


그림 I-22 수평으로 던진 물체의 운동

공기 저항을 무시할 때 공에 작용하는 힘은 중력뿐이고, 중력은 연직 아래 방향으로 작용한다. 따라서 이 공은 수평 방향으로는 (나)와 같이 등속도 운동을 하고, 연직 방향으로는 일정한 크기의 중력이 계속 작용하므로 (다)와 같이 등가속도 운동을 한다. 이렇게 수평 방향과 연직 방향의 속도 변화가 다르기 때문에 수평으로 던진 공의 경로는 대각선이 아니라 (가)처럼 곡선이 된다.

그림 I-23과 같이 수평으로 던진 물체의 운동 경로를 정량적으로 분석해 보자. 공을 수평 방향으로 속력 v_0 으로 던지면 수평 방향(x 축 방향)의 처음 속력은 v_0 이고, 연직 방향(y 축 방향)의 처음 속력은 0이다. 즉,

$$v_{0x} = v_0, v_{0y} = 0$$

이다. 공이 시간 t 동안 이동한 거리를 알아보자. x 축 방향으로는 등속도 운동을 하므로 공이 수평으로 이동한 거리 x 는

$$x = v_0 t$$

이다. 연직 방향으로는 중력 가속도 g 로 등가속도 운동을 하므로 낙하 거리 y 는

$$y = -\frac{1}{2}gt^2$$

이다. 이때 공의 이동 경로를 x, y 로 나타내기 위해 $x = v_0 t$ 와 $y = -\frac{1}{2}gt^2$ 에서 t 를 소거하면 다음과 같다.

$$y = -\frac{g}{2v_0^2}x^2$$

이 식은 포물선 방정식으로 공의 이동 경로가 포물선임을 보여 준다.

📖 그림 I-23에서 y 축 공의 출발 지점을 0으로 한 좌표에서 낙하 거리는 (-)로 표시되며, 이것은 출발 지점보다 아래로 움직였다는 것을 나타낸다.

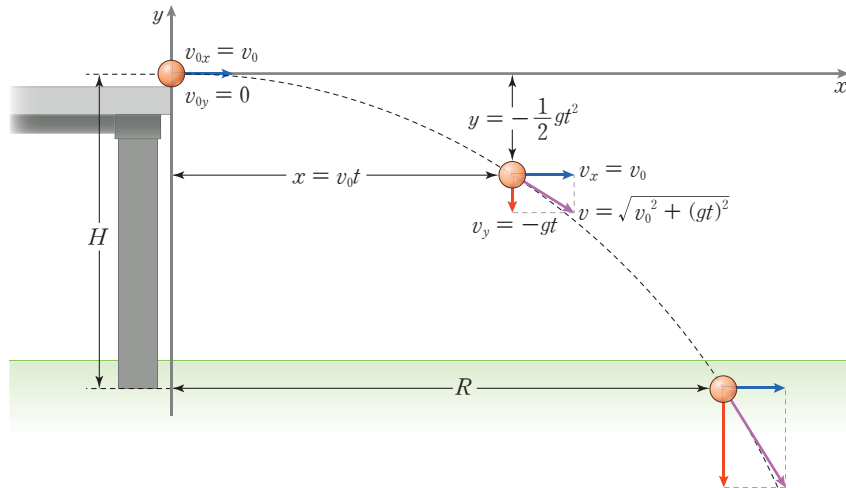


그림 I-23 수평으로 던진 물체의 운동

한편 공이 지면에 닿을 때까지 걸린 시간으로부터 공이 수평으로 이동한 거리를 계산할 수 있다. 공을 던진 높이가 지면으로부터 H 일 때 공이 지면에 도달할 때까지 걸린 시간 t 는 $-H = -\frac{1}{2}gt^2$ 로부터 다음과 같다.

$$t = \sqrt{\frac{2H}{g}}$$

이 시간 동안 공이 수평으로 이동한 거리 R 와 지면에 닿을 때 속력 v 는 다음과 같다.

$$R = v_0 t = v_0 \sqrt{\frac{2H}{g}}, v = \sqrt{v_0^2 + (gt)^2} = \sqrt{v_0^2 + 2gH}$$

| 비스듬히 위로 던진 물체의 운동 |

그림 I-24와 같이 수평면에 대해 θ 의 각도로 v_0 의 속력으로 던진 물체는 어떻게 운동하는지 알아보자.

공기 저항을 무시할 때 이 물체가 운동하는 동안 물체에 작용하는 힘은 중력뿐이다. 중력의 방향이 연직 아래이므로 y 축 방향의 속력은 출발 이후 점점 줄어들다가 최고점에서 순간적으로 0이 되고, 아래쪽으로 방향이 바뀌면서 점점 증가한다.

처음 속도의 수평 방향(x 축 방향) 성분과 연직 방향(y 축 방향) 성분은 다음과 같다.

$$v_{0x} = v_0 \cos \theta, v_{0y} = v_0 \sin \theta$$

수평 방향으로서는 작용하는 힘이 없기 때문에 등속도 운동을 하고, 연직 방향으로서는 중력이 작용하여 중력 가속도 g 로 등가속도 운동을 한다. 따라서 시간 t 일 때 속도 v 의 성분 v_x, v_y 는 다음과 같다.

$$v_x = v_0 \cos \theta \dots\dots ①$$

$$v_y = v_0 \sin \theta - gt \dots\dots ②$$

따라서 수평으로 이동한 경로와 연직 방향으로 이동한 거리는 다음과 같이 각각 등속도 운동과 등가속도 운동의 식으로 계산할 수 있다.

$$x = v_0 \cos \theta \cdot t \dots\dots ③$$

$$y = v_0 \sin \theta \cdot t - \frac{1}{2}gt^2 \dots\dots ④$$

이 두 식에서 t 를 소거하면 물체의 경로를 x, y 로 나타낼 수 있다.

$$y = \tan \theta \cdot x - \frac{g}{2v_0^2 \cos^2 \theta} x^2 \dots\dots ⑤$$

이 식도 역시 포물선 방정식을 나타낸다. 즉, 비스듬히 위로 던진 물체도 수평으로 던진 물체처럼 포물선 운동을 한다.

📖 θ 의 각도로 던진 물체의 속도 벡터의 분해

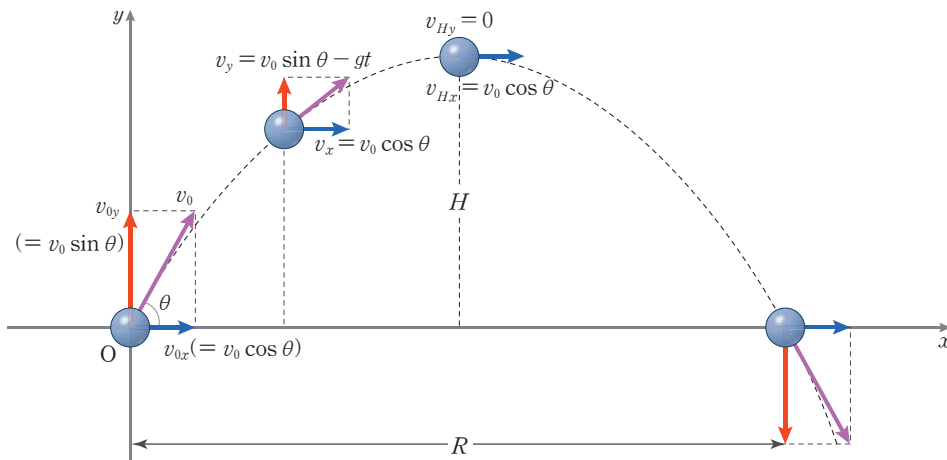
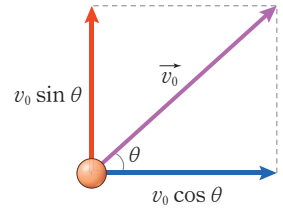


그림 I-24 비스듬히 위로 던진 물체의 운동

y 축 방향의 속력이 0이 되는 최고점 H 에 도달하는 시간 t_H 를 ②로부터 계산할 수 있다.

$$t_H = \frac{v_0 \sin \theta}{g}$$

이를 이용하여 ④로부터 최고점의 높이 H 를 구하면 다음과 같다.

$$H = v_0 \sin \theta \frac{v_0 \sin \theta}{g} - \frac{1}{2} g \left(\frac{v_0 \sin \theta}{g} \right)^2 = \frac{v_0^2 \sin^2 \theta}{2g}$$

이로부터 $\theta = 90^\circ$ 일 때, 즉 연직 위로 공을 던질 때 가장 높이 올라감을 알 수 있다. 이보다 작은 각으로 던지면 최고점의 높이는 더 낮아진다.

이 물체는 연직 방향으로는 등가속도 운동을 하므로 지표면에서 최고점에 도달하는 시간과 최고점에서 낙하해 지표면에 도달하는 시간은 같다. 따라서 총운동 시간은 $2t_H$ 가 된다. 수평 방향의 이동 거리 R 는 $v_0 \cos \theta$ 의 등속도로 $2t_H$ 동안 이동한 거리이므로 다음과 같이 구할 수 있다.

$$R = v_0 \cos \theta \times 2t_H = v_0 \cos \theta \cdot \left(2 \frac{v_0 \sin \theta}{g} \right) = \frac{v_0^2}{g} \sin 2\theta$$

공기 저항을 무시할 때 수평 방향의 이동 거리 R 는 $\sin 2\theta$ 에 비례한다. $\sin 2\theta$ 는 2θ 가 90° 일 때 최댓값이므로, 던지는 각도 θ 가 45° 일 때 수평 방향의 이동 거리가 최대가 된다.

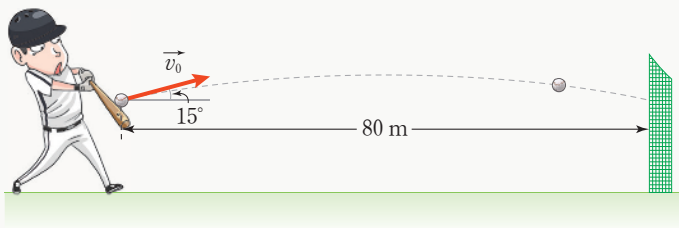
실제 공기 저항이 있는 포환던지기는 40° 정도로 던질 때 수평 방향의 이동 거리가 최대가 된다.

 삼각 함수

- $\sin 2\theta = 2 \sin \theta \cos \theta$
- $\sin 0^\circ = 0$
- $\sin 90^\circ = 1$

예제 

야구 방망이에 맞은 공이 날아가다가 방망이에 맞을 때와 같은 높이에서 야구장 벽에 부딪혔다. 이 야구공이 야구 방망이에 맞은 직후 수평면과 15° 의 각을 이루는 방향으로 날아갔고, 벽에 부딪힐 때까지 수평으로 80 m 이동했다면, 처음 속력은 몇 m/s인가? (단, 공기 저항은 무시하고, 중력 가속도는 10 m/s^2 이다.)



풀이 · 수평 이동 거리 $R = \frac{v_0^2 \sin 2\theta}{g}$ 에서 처음 속력을 다음과 같이 구할 수 있다.

$$v_0 = \sqrt{\frac{gR}{\sin 2\theta}} = \sqrt{\frac{10 \text{ m/s}^2 \times 80 \text{ m}}{\sin 30^\circ}} = 40 \text{ m/s}$$

답 40 m/s

$\sin 30^\circ = \frac{1}{2}$ 이야.



개념 넓히기 | 포물선 운동의 적용

그림 I-25와 같이 지면으로부터 높이 h 에 매달린 나무 열매를 열매로부터 거리 R 만큼 떨어진 곳에서 새총으로 조준하고 있다가 열매가 떨어지는 순간 돌을 발사했다. 새총으로 발사한 돌이 열매를 맞힐 수 있는지 알아보자.

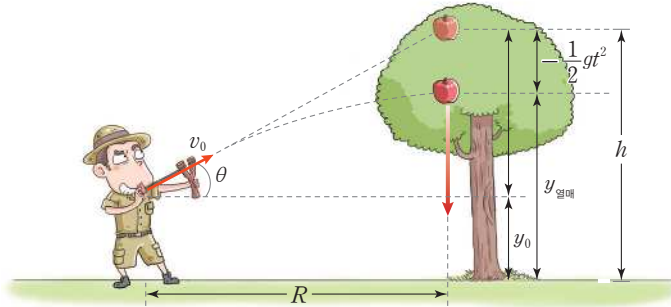


그림 I-25 자유 낙하 하는 열매 맞히기

돌이 열매에 맞으려면 수평 방향으로는 열매까지의 거리 R 만큼 이동해야 하고, 연직 방향으로는 떨어지는 열매와 높이가 같아야 한다.

발사한 돌의 처음 속력이 v_0 , 발사 각도가 θ , 지면으로부터의 높이가 y_0 이라고 하면, 시간 t 동안 수평으로 이동하는 거리 x 는 $v_0 \cos \theta \cdot t$ 이다. 따라서 새총을 떠난 돌이 열매에 도달하는 데 걸린 시간 t_R 는

$$t_R = \frac{R}{v_0 \cos \theta}$$

이다. 공기 저항이 없다면 시간 t_R 일 때 돌의 높이 y_R 는

$$\begin{aligned} y_R &= y_0 + v_0 \sin \theta \cdot t_R - \frac{1}{2} g t_R^2 = y_0 + R \cdot \tan \theta - \frac{1}{2} g \frac{R^2}{v_0^2 \cos^2 \theta} \\ &= h - \frac{1}{2} g \frac{R^2}{v_0^2 \cos^2 \theta} \dots\dots \textcircled{1} \end{aligned}$$

그림 I-25에서 $\tan \theta = \frac{h - y_0}{R}$

이다. 이제 시간 t_R 일 때 열매의 높이를 알아보자. 나무 열매는 자유 낙하 운동을 하므로 시간 t_R 일 때 열매의 높이 $y_{\text{열매}}$ 는

$$y_{\text{열매}} = h - \frac{1}{2} g t_R^2 = h - \frac{1}{2} g \frac{R^2}{v_0^2 \cos^2 \theta} \dots\dots \textcircled{2}$$

이다. ①과 ②의 값이 같으므로 열매가 떨어지는 순간 열매를 향해 돌을 발사하면 열매를 맞힐 수 있다.

평가하기

개념 이해

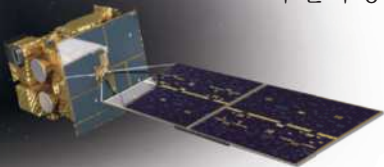
- 1 포물선 운동에서 수평 방향과 연직 방향의 운동은 각각 어떤 운동인가?
- 2 포물선 운동에서 물체의 수평 이동 거리를 결정하는 요인 두 가지는 무엇인가?

창의·융합

- 3 높이 h 에서 일정한 속력 v_0 으로 수평하게 날아오는 비행기에서 바다 위에 떠 있는 사람에게 구명조끼를 떨어뜨려 받을 수 있게 하려면 어느 지점에서 투하하여야 하는가?

03 등속 원운동

- 구심력을 이용하여 등속 원운동을 설명할 수 있다.
- 등속 원운동을 일상생활의 문제에 적용할 수 있다.



들어가기 정지 위성의 운동은 어떤 특징을 가질까?

인간이 우주로 쏘아 올려 지구 주위를 돌고 있는 인공위성은 수천 개에 이른다. 이중 적도 상공 약 35800 km에서 지구의 자전 주기와 같은 주기로 지구 주위를 도는 위성은 지구에서 볼 때 정지해 있는 것처럼 보여 정지 위성이라고 부른다. 정지 위성과 같이 등속 원운동 하는 물체의 운동은 어떤 특성이 있을까?

알아보기 등속 원운동

원 궤도를 그리며 일정한 속력으로 운동하는 물체의 운동을 표현해 보자.

미니 탐구 원운동하는 물체로 표적 맞추기

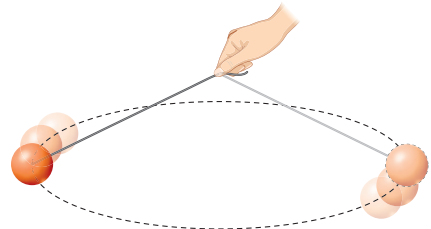
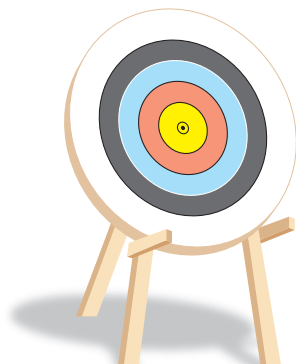
목표

원운동하는 물체에 작용하는 힘과 속력의 방향을 알 수 있다.

준비물

고무공, 실, 표적판

- 1 고무공을 실에 매달고 천천히 돌려 보자.
- 2 고무공을 빨리 돌려 보자.
- 3 고무공을 돌리다가 실을 놓아 표적판을 맞춰 보자.



- ? 실에 매단 고무공을 천천히 돌릴 때와 빨리 돌릴 때, 실이 고무공을 당기는 힘은 언제 더 큰가?
- ? 원운동하는 고무공으로 표적판을 맞추려면 언제 실을 놓아야 하는가? 실을 놓는 순간 고무공이 예상한 방향으로 움직이는가?

그림 I-26과 같이 고무공을 실에 매달아 돌리면 공은 원둘레를 따라 움직인다. 그런데 실을 놓는 순간 공이 원의 접선 방향으로 움직이므로 원운동을 하는 동안 공은 매 순간 원의 접선 방향으로 움직이며 그 방향을 계속해서 바꾼다는 것을 알 수 있다. 등속 원운동은 속력이 일정하더라도 운동 방향이 계속 바뀌는 운동이므로 가속도 운동이다.

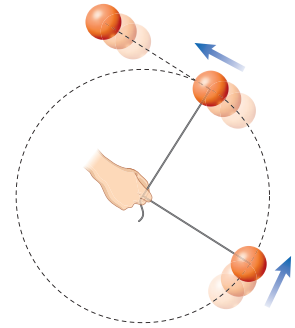
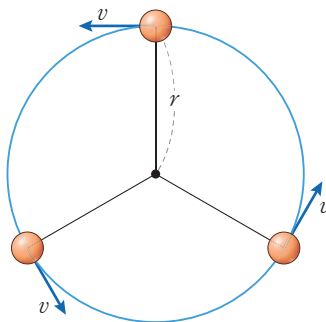


그림 I-26 원운동

| 원운동의 주기와 각속도 |

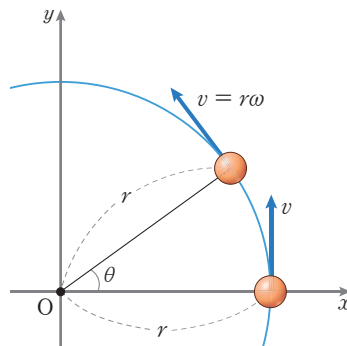
그림 I-27의 (가)는 반지름이 r 인 원둘레를 따라 등속 원운동을 하는 물체를 나타낸 것이다. 이 물체의 속력은 변하지 않고 일정하며 운동 방향은 항상 원의 접선 방향으로 매 순간 변한다. 원을 한 바퀴 회전하는 데 걸리는 시간이 주기(T)이므로, 등속 원운동을 하는 물체의 주기는 원둘레의 길이를 속력 v 로 나눈 값이 된다.

$$T = \frac{2\pi r}{v} \dots\dots ①$$



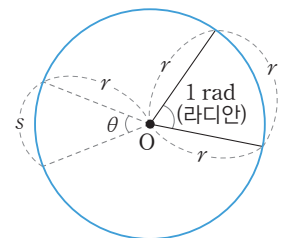
(가) 운동 방향

그림 I-27 등속 원운동



(나) 각속도

라디안의 정의



$$\theta(\text{rad}) = \frac{s}{r}$$

라디안은 원의 반지름과 호의 길이 비율로 각을 정의한 것이다.

1 rad의 크기는 약 57° 이다.

물체가 원운동을 할 때 그림 (나)와 같이 시간에 따라 회전하는 각도를 이용하여 운동을 표현할 수 있다. 물체가 단위 시간 동안 회전한 각도를 각속도(ω)라고 하며, 각속도의 단위는 rad/s이다.

$$\omega = \frac{\theta}{t}$$

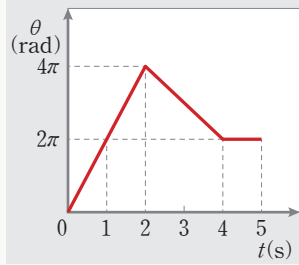
한 주기 동안 회전각이 2π 이므로 주기를 이용하여 각속도 ω 를 나타내면

$$\omega = \frac{2\pi}{T} \dots\dots ②$$

이다. 따라서 ①과 ②로부터 속력과 각속도 사이의 관계는 다음과 같다.

$$v = \frac{2\pi r}{T} = r\omega$$

그림은 반지름이 r 인 원둘레를 따라 움직이는 물체의 시간 t 에 따른 각 θ 의 변화를 나타낸 그래프이다. 물체가 어떤 운동을 하는지 서술하고, 각속도-시간 그래프로 바꾸시오.



풀이와 답 · 처음 0초~2초 동안에는 일정한 각속도로 두 바퀴(4π)를 회전하였다. 그리고 감소하는 각도는 반대 방향으로의 회전을 의미하므로, 2초~4초 사이에는 반대 방향으로 한 바퀴(2π)를 돌았다. 4초~5초 사이에는 각이 일정하므로 정지해 있었다.

이제 각 구간에서의 각속도

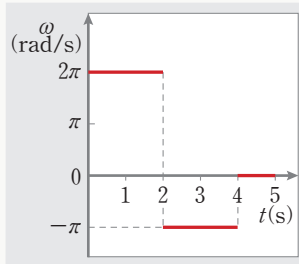
$$\omega = \frac{\theta}{t} \text{를 구해 보자.}$$

$$0\text{초}\sim 2\text{초}: \frac{4\pi \text{ rad}}{2 \text{ s}} = 2\pi \text{ rad/s}$$

$$2\text{초}\sim 4\text{초}: \frac{-2\pi \text{ rad}}{2 \text{ s}} = -\pi \text{ rad/s}$$

$$4\text{초}\sim 5\text{초}: 0(\text{rad/s})$$

이 값을 각속도-시간 그래프로 나타내면 그림과 같다.

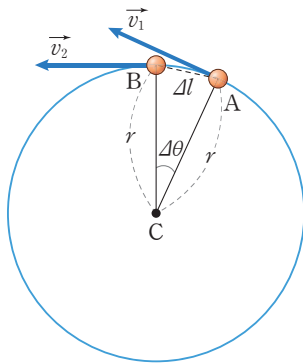


각도-시간 그래프의 기울기는 각속도를 의미해.

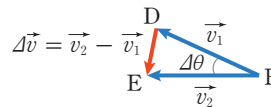


| 등속 원운동의 가속도와 구심력 |

등속 원운동 하는 물체의 가속도를 구해 보자. 가속도는 시간에 따른 속도의 변화량 이므로 $\vec{a} = \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t}$ 이다. 등속 원운동을 하는 물체가 그림 I-28의 (가)와 같이 시간 Δt 동안 속도가 \vec{v}_1 에서 \vec{v}_2 로 변하였다고 하자. 등속 원운동이므로 속력은 일정하고 운동 방향만 계속 변한다. 이때 그림 (나)와 같이 두 속도 벡터를 평행 이동 하여 표시하면 \overline{DE} 가 속도의 변화량 $\Delta \vec{v}$ 가 된다.



(가) 등속 원운동



(나) 속도의 변화

그림 I-28 등속 원운동과 속도의 변화

그림 (가)와 (나)에서 $\triangle ABC$ 와 $\triangle DEF$ 는 닮은꼴이므로, 속도의 변화량을 거리의 변화량으로 나타내면

$$\frac{\Delta v}{v} = \frac{\Delta l}{r} \dots\dots ①$$

이다. 한편 물체가 Δt 동안 이동한 거리는 Δl 가 아주 작다면 Δl 로 근사할 수 있다. 따라서 이동 거리를 속력으로 나타내면

$$\Delta l = v\Delta t \dots\dots ②$$

이다. ①과 ②를 이용하면 다음과 같이 등속 원운동의 가속도를 원의 반지름과 회전 속력으로 구할 수 있다.

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{1}{\Delta t} \left(v \frac{\Delta l}{r} \right) = \frac{v}{r} \frac{v\Delta t}{\Delta t} = \frac{v^2}{r}$$

가속도의 방향은 $\Delta \vec{v}$ 의 방향인데 Δt 가 아주 작을 때 $\Delta \vec{v}$ 는 \vec{v} 에 수직이므로 그림 I-29와 같이 원의 중심을 향한다. 따라서 이 가속도를 원의 중심 방향으로 작용하는 가속도라는 뜻으로 **구심 가속도**라고 한다.

$v = r\omega$ 이므로 구심 가속도를 각속도로 표시하면 다음과 같다.

$$a = \frac{v^2}{r} = \frac{(r\omega)^2}{r} = r\omega^2$$

등속 원운동 하는 물체에 구심 가속도를 생기게 하는 힘은 구심 가속도의 방향인 원의 중심 방향으로 작용하고, 원의 중심 방향으로 작용하는 힘이라는 뜻으로 **구심력**이라고 부른다. 구심력의 크기는 다음과 같다.

$$F = ma = m \frac{v^2}{r} = mr\omega^2$$

정지 위성은 구심력에 의한 구심 가속도를 가지며 구심 가속도는 원 궤도 반지름과 속도 또는 원 궤도 반지름과 각속도로 각각 나타낼 수 있다.

참의력 키우기

길이가 r 인 줄에 질량이 m 인 추를 매달고 수직면상에서 등속 원운동을 시켰다. 추가 가장 높은 지점에 있을 때 줄이 추를 당기는 힘 T_1 와 가장 낮은 지점에 있을 때 줄이 추를 당기는 힘 T_2 를 비교해 보자.

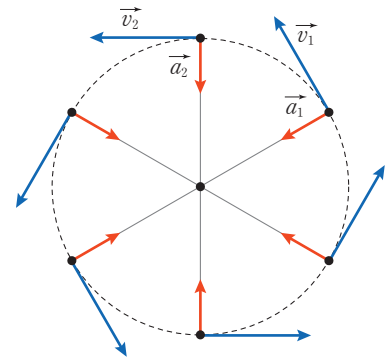


그림 I-29 구심 가속도의 방향

예제

놀이공원에 있는 대관람차의 반지름은 통상 9.0 m이고, 4분에 1바퀴 회전한다고 한다. 이 기구에 탄 사람에게 작용하는 구심 가속도의 크기는 대략 몇 m/s^2 인가?

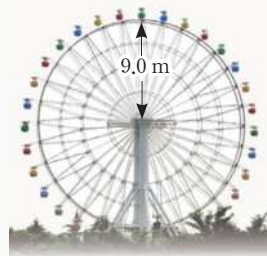
(단, π 는 3.14로 계산한다.)

풀이 ··· 대관람차의 주기 T 가 4분이므로 각속도 ω 는

$$\omega = \frac{2\pi}{T} = \frac{2 \times 3.14 \text{ rad}}{240 \text{ s}} \doteq 0.026 \text{ rad/s}$$

이다. 따라서 구심 가속도 a 의 크기는

$$a = r\omega^2 = 9.0 \text{ m} \times (0.026 \text{ rad/s})^2 \doteq 6.1 \times 10^{-3} \text{ m/s}^2$$



구심 가속도 $a = r\omega^2$ 이야.



답 $6.1 \times 10^{-3} \text{ m/s}^2$



그림 I-30 회전 그네

개념 넓히기 일상생활에서의 등속 원운동

그림 I-30과 같이 놀이공원에 있는 회전 그네는 등속 원운동을 한다. 회전 그네의 좌석은 회전 중심에서 안쪽과 바깥쪽에 놓인 것이 있다. 더 빠른 속력을 즐기기 위해서는 어느 쪽 좌석에 앉는 것이 좋을까? 이 두 좌석은 함께 회전하므로 각속도 ω 가 같다. 등속 원운동 하는 물체의 속력은 회전 반지름과 각속도의 곱 ($v = r\omega$)이므로, 회전 반지름이 큰 바깥쪽 좌석에서 더 빠른 속력을 즐길 수 있다.

곡선 도로에서 자동차의 주행은 그림 I-31과 같이 등속 원운동으로 설명할 수 있다. 자동차의 운동 방향에 수직으로 작용하는 마찰력이 구심력으로 작용하여 회전이 가능하다. 만약 자동차의 바퀴와 바닥 사이에 마찰력이 없다면 자동차는 관성에 의해 등속 직선 운동을 하여 곡선 도로를 회전할 수 없을 것이다.

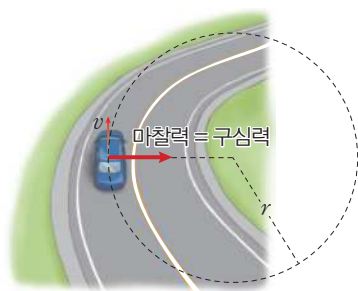


그림 I-31 마찰이 있는 곡선 도로

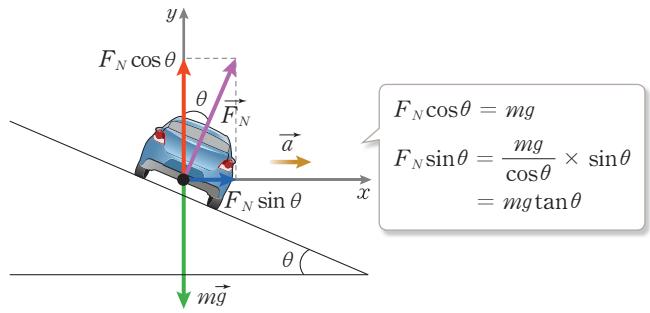


그림 I-32 마찰이 없는 경사면

한편 곡선 도로에 경사를 두면, 도로의 마찰력이 줄어드는 빗길이나 눈길에서도 자동차가 안전하게 회전할 수 있다. 그림 I-32는 마찰력이 없을 때 경사진 곡선 도로면에서 자동차에 작용하는 구심력을 나타낸다. 마찰이 없을 때 질량 m 인 자동차에 작용하는 힘은 중력 mg 와 수직 항력 F_N 뿐이다. 수직 항력의 수직 성분은 중력과 크기가 같고, 수평 성분은 구심력이 되므로 다음 식이 성립한다.

$$m \frac{v^2}{r} = mg \tan \theta$$

따라서 회전 반지름이 r 인 도로에 경사각 θ 를 두면 속력 $v = \sqrt{rg \tan \theta}$ 로 안전하게 곡선 경로를 주행할 수 있다. 이때 경사각이 $\theta = 0$ 이면, 속력 $v = 0$ 이 된다. 즉, 평지에서는 마찰력이 없을 때 자동차의 원운동이 불가능하다. 따라서 자동차가 마찰력이 작은 빗길이나 눈길에서도 안전하게 주행할 수 있도록 곡선 도로에 경사를 두는 것이다.

삼각 함수
 $\tan 0^\circ = 0$

평가하기

개념 이해

1 등속 원운동이 가속도 운동인 까닭은?

창의·융합

2 등속 원운동의 가속도를 각속도와 속력으로 각각 표시하면?

3 경사진 곡선 도로에 마찰이 없을 때 자동차가 안전하게 달릴 수 있는 속력이 v_0 이다. 같은 도로에 마찰이 있고 자동차가 v_0 보다 느린 속력으로 달린다면 마찰력은 어떤 역할을 하는가?

04 케플러 법칙과 뉴턴 중력 법칙


- 행성 궤도의 특징을 설명할 수 있다.
- 행성의 운동에 대한 케플러 법칙이 뉴턴 중력 법칙을 만족함을 설명할 수 있다.

들어가기 달은 왜 지구 주위를 돌까?

지구의 위성인 달이 지구 주위를 공전하는 원리는 무엇일까? 지구가 태양 주위를 공전하는 원리와 같을까?

알아보기 행성 궤도와 케플러 법칙

고대부터 인간은 별과 행성의 운동에 많은 관심을 가졌으며, 16세기까지는 모든 행성이 지구를 중심으로 완벽한 원을 그리며 운동한다고 믿었다. 이를 증명하기 위해 덴마크의 천문학자 브라헤는 30여 년 동안 행성의 위치를 관찰하였다. 17세기 초 케플러는 브라헤의 관측 자료를 분석하여 행성이 타원 궤도를 따라 움직인다는 것을 밝혀내었다. 타원 궤도는 어떤 특성이 있을까?

 브라헤(Brahe, Tycho, 1546~1601) 덴마크의 관측 천문학자이다. 그가 관측한 화성에 관한 정밀한 기록은 케플러가 타원 궤도 법칙과 면적 속도 일정 법칙을 수립하는 데 도움을 주었다.

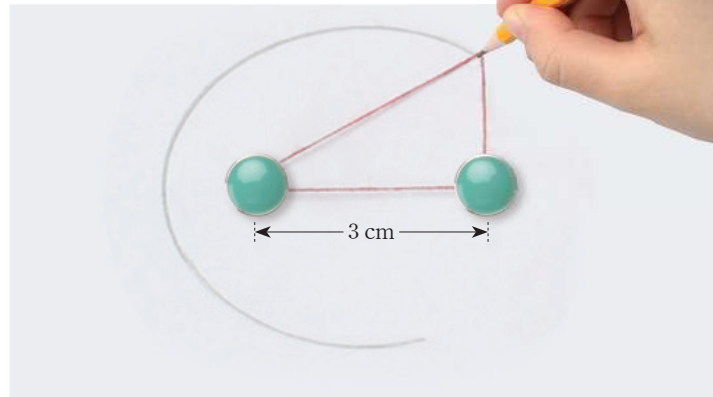
미니 탐구 타원 궤도 그리기

- 1 A4 용지를 세 등분한 각 영역에 자를 이용하여 간격이 2 cm, 2.5 cm, 3 cm인 두 개의 점을 표시한다.
- 2 길이가 5 cm인 실의 양 끝을 묶어 고리를 만든다.
- 3 A4 용지를 고무판에 올려놓고 두 점에 누름 못을 고정하고, 실 고리를 건다.
- 4 실의 중간에 연필을 끼우고 실을 팽팽하게 유지하면서 연필을 움직여 궤도를 그린다.

목표
타원의 특성을 알 수 있다.

준비물
실, 고무판, A4 용지, 누름 못, 연필, 자

- ❓ 세 개의 타원 중 가장 원에 가까운 것은 어느 것인가?
- ❓ 누름 못으로 고정했던 두 점 사이의 거리가 0이라면 어떤 모양일까?



타원 그리기 ▶

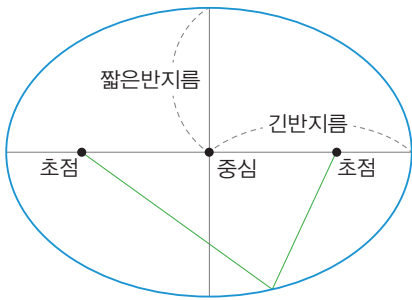


그림 I-33 타원 궤도

그림 I-33과 같이 타원은 평면 위의 두 점으로부터 거리의 합이 일정한 점으로 이루어진 도형이다. 이때 타원의 기준이 되는 두 점을 타원의 초점이라고 부른다. 타원은 두 개의 반지름을 갖는데, 긴 것은 긴 반지름, 짧은 것은 짧은반지름이라고 부른다. 타원 궤도는 두 초점 사이의 거리에 따라 다른 모양으로 나타나며, 초점 사이의 거리가 짧을수록 원 궤도에 가깝다. 타원의 두 초점 사이의 거리가 0이면 원이 된다.

케플러는 여러 관측 자료를 분석하여 태양계 행성의 운동에 관해 세 가지 법칙을 제안하였다.

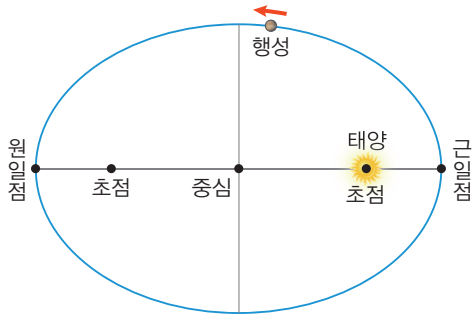


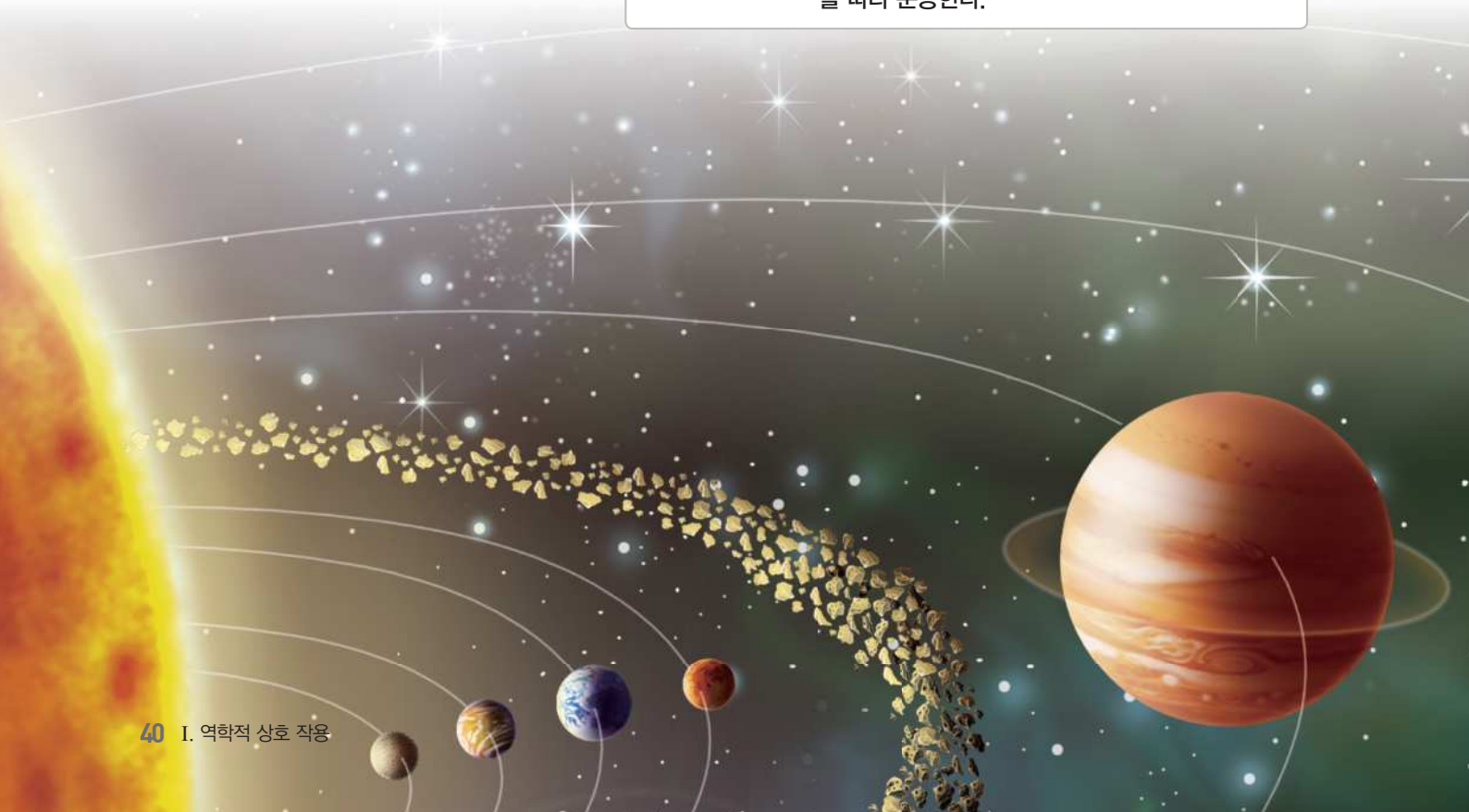
그림 I-34 타원 궤도 법칙

| 케플러 제1법칙: 타원 궤도 법칙 |

케플러는 브라헤의 관측 자료를 분석하여 행성의 운동 궤도가 태양을 초점으로 하는 타원임을 발견하였다. 이를 케플러 제1법칙이라고 한다. 이 법칙은 케플러 법칙의 가장 핵심이며, 그 당시 원운동으로 여겨지던 천체의 움직임에 대한 사고에 혁명적인 변화를 가져온 법칙이다. 태양이 원의 중심이 아니라 타원의 한 초점에 위치하기 때문에 행성과 태양 사이의 거리가 일정하지 않다. 행성과 태양 사이의 거리가 가장 가까운 지점을 근일점, 가장 먼 지점을 원일점이라고 한다.

케플러 제1법칙

모든 행성은 태양을 한 초점으로 하는 타원 궤도를 따라 운동한다.



| 케플러 제2법칙: 면적 속도 일정 법칙 |

행성이 타원 궤도를 따라 운동할 때 행성과 태양을 잇는 직선이 일정한 시간 동안 쓸고 간 면적은 항상 일정하다. 이를 케플러 제2법칙이라고 한다. 행성과 태양을 잇는 직선이 단위 시간 동안 쓸고 간 면적을 면적 속도라고 하며, 케플러 제2법칙은 면적 속도가 일정하다는 것을 뜻한다. 그러므로 행성이 타원 궤도를 움직일 때 태양으로부터 가까운 곳에서는 속력이 빠르고, 먼 곳에서는 속력이 느리다.

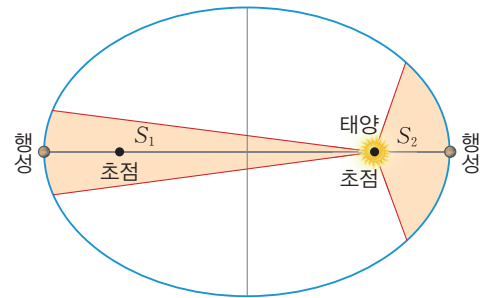


그림 I-35 면적 속도 일정 법칙($S_1 = S_2$)

케플러 제2법칙

행성이 타원 궤도를 돌면서 일정한 시간 동안 태양과 잇는 직선이 쓸고 간 면적은 항상 같다.

| 케플러 제3법칙: 조화 법칙 |

여러 행성들이 태양 주위를 돌면서 그리는 타원 궤도의 크기는 다양한 바퀴를 회전하는 데 걸리는 시간인 주기도 서로 다르다. 케플러는 행성의 공전 주기(T)의 제곱이 타원 궤도의 긴반지름(a)의 세제곱에 비례한다는 것을 발견하였다. 이를 케플러 제3법칙이라고 부른다.

케플러 제3법칙

행성의 공전 주기(T)의 제곱은 타원 궤도의 긴반지름(a)의 세제곱에 비례한다. $\rightarrow T^2 \propto a^3$

이 법칙에 따르면 태양에서 먼 곳에 있는 행성일수록 공전 주기가 길다. 행성들의 타원 궤도는 실제로 원 궤도에 매우 가까우므로 타원 궤도의 긴반지름(a)은 평균 반지름(r)과 거의 같다고 볼 수 있다.

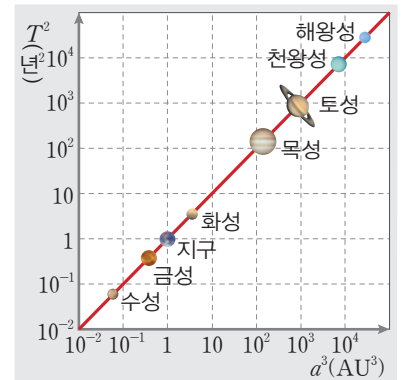


그림 I-36 조화 법칙

출처: 미국 항공우주국(NASA), 2016.

천문단위(AU)

천문학에서 사용하는 길이의 단위로, 지구와 태양 사이의 평균 거리이다.

$1 \text{ AU} \approx 1.496 \times 10^8 \text{ km}$



개념 넓히기 뉴턴 중력 법칙과 케플러 제3법칙

케플러 법칙은 그 원인에 대한 이론적 설명을 제시하기보다는 수많은 실험적 관측 사실로부터 규칙성을 찾아낸 것이다. 후에 뉴턴이 케플러 법칙을 중력 법칙으로 설명함으로써 이론적인 뒷받침을 제시하였다.

뉴턴 중력 법칙에 따르면 두 물체 사이에는 인력이 작용하는데, 이 인력을 중력이라고 하고, 그 크기 F 는 두 물체의 질량 m , M 의 곱에 비례하고 두 물체 사이의 거리 r 의 제곱에 반비례한다.

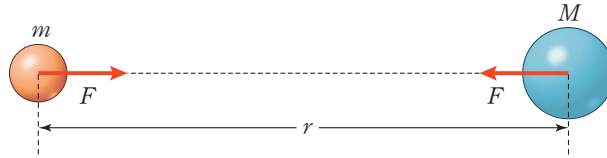


그림 I-37 두 물체 사이의 중력

창의력 키우기

영국의 과학자 캐번디시의 중력 상수 측정 실험을 조사하고, 그 원리를 설명해 보자.

중력 법칙

$$F = G \frac{Mm}{r^2} \quad (G: \text{중력 상수} = 6.67 \times 10^{-11} \text{ N} \cdot \text{m}^2/\text{kg}^2)$$

케플러 제3법칙이 뉴턴 중력 법칙을 만족하는지 알아보자.

질량이 m 인 행성이 질량이 M 인 태양 주위를 공전한다고 하자. 행성의 궤도가 거의 원에 가까우므로 행성의 공전을 가능하게 하는 힘을 구심력으로 볼 수 있다.

$$F_{\text{구심력}} = \frac{mv^2}{r} \quad (r: \text{태양과 행성 사이의 거리})$$

태양과 행성 사이의 중력이 구심력이므로

$$\frac{GmM}{r^2} = \frac{mv^2}{r}$$

이다. 행성의 공전 주기 $T = \frac{2\pi r}{v}$ 이므로, $v = \frac{2\pi r}{T}$ 를 위 식에 대입하면

$$\frac{T^2}{r^3} = \frac{4\pi^2}{GM}$$

이다. 이 식에서 우변이 상수이므로 공전 주기의 제곱과 태양과 행성 사이의 거리의 세제곱의 비가 일정함을 알 수 있다. 즉, 행성의 운동에 대한 케플러 제3법칙 $T^2 \propto a^3$ 이 도출되어 케플러 제3법칙이 뉴턴 중력 법칙을 만족함을 알 수 있다.

평가하기

개념 이해

- 1 행성의 궤도 운동에서 긴반지름과 공전 주기는 어떤 관계인가?
- 2 질량을 가진 물체끼리 서로 잡아당기는 힘의 크기는 두 물체 사이의 거리와 어떤 관계인가?
- 3 중력에 의해 지표면에 나타나는 자연 현상을 찾아 중력이 어떻게 작용하는지 설명해 보자.

창의 · 융합

뉴턴의 사고 실험

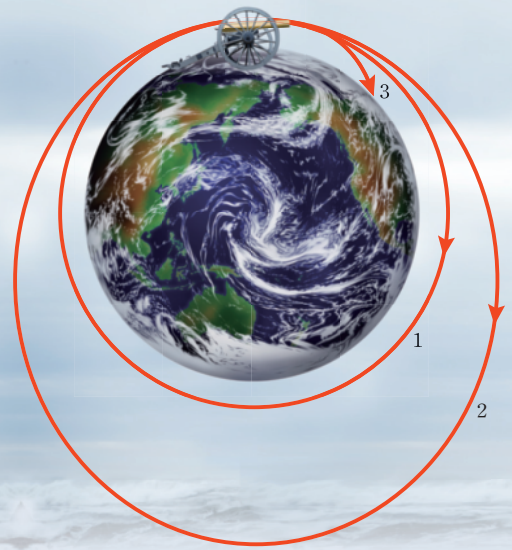
뉴턴이 사과가 나무에서 떨어지는 것을 보고 중력을 발견했다고 하는 이야기는 유명하다. 뉴턴의 사과에 대한 이야기는 여러 형태로 전해지지만 그 핵심은 뉴턴이 달의 운동을 생각하고 있는데, 사과가 떨어지는 것을 보고 달도 지구를 향해 떨어지는 것이라고 가설을 세웠다는 것이다. 즉, 사과의 낙하와 달이 지구를 도는 운동을 중력이라는 동일한 원인에 의해 생기는 현상이라고 본 것이다. 그 당시까지 과학자들은 지구상에서의 물체의 운동과 천체의 운동에 관여하는 힘이 다르다고 생각했지만, 뉴턴이 그 믿음에 변화를 가져올 가설을 세운 것이다.

이 가설을 검증하기 위해 뉴턴은 사고 실험을 하였다. 그는 아주 높은 산에서 대포를 쏘는 것을 상상하였다. 만약 지구의 중력이 없다면 포탄은 발사된 방향으로 날아갈 것이다. 그러나 중력 때문에 포탄은 포물선 운동을 하고, 발사 속력에 따라 포탄의 운동 경로가 다르다.

포탄이 경로 1과 같이 매초 지구의 곡면만큼 떨어지는 속력으로 발사되면 지구 주위를 원 궤도로 공전할 것이다. 그보다 발사 속력이 크면 경로 2와 같이 타원을 그리며 공전할 것이고, 그보다 속력이 작으면 경로 3과 같이 지면에 떨어질 것이다. 그 당시 사고 실험에 그쳤던 포탄의 운동 궤도는 오늘날 지구 둘레를 공전하는 인공위성과 우주선 등으로 현실화되었다.



▲ 포탄의 포물선 운동



▲ 발사 속력에 따른 운동 경로

생각해 보기

1 포탄이 지구 주위를 원운동하게 하려면 포탄을 얼마의 속력으로 쏘아야 할지 생각해 보자.



중단원 정리하기

> 핵심 내용 정리하기

등가속도 운동

1. 가속도: 물체의 단위 시간당 ^①□□의 변화량이다.

$$\vec{a} = \frac{\vec{v}_2 - \vec{v}_1}{t}$$

2. 등가속도 직선 운동: 직선상에서 물체의 ^②□□□가 일정한 운동이다.

$$v = v_0 + at, s = v_0t + \frac{1}{2}at^2, 2as = v^2 - v_0^2$$

단위: ① 가속 ② 길이

포물선 운동

1. 포물선 운동에서 작용하는 힘: 수평으로 또는 비스듬히 위로 던진 물체에는 연직 방향으로만 힘이 계속 작용하며, 이 힘은 중력이다.

2. 수평 운동과 연직 운동의 독립: 포물선 운동은 수평 방향으로는 ^①□□□ 운동을 하며, 연직 방향으로는 ^②□□□□ 운동을 한다.

단위: ① 속도 ② 속도

등속 원운동

1. 등속 원운동: ^①□□이 일정한 원운동이며, 구심 가속도의 크기도 일정하다.

① 주기: $T = \frac{2\pi r}{v}$ ② 각속도: $\omega = \frac{2\pi}{T}$

2. 구심 가속도: 구심 가속도의 방향은 원의 ^②□□ 방향이다.

$$a = \frac{v^2}{r} = r\omega^2$$

단위: ① 속도 ② 각속도

케플러 법칙과 뉴턴 중력 법칙

1. 케플러 법칙

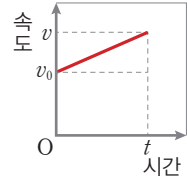
케플러 제1법칙	모든 행성은 태양을 한 초점으로 하는 타원 궤도를 따라 운동한다.
케플러 제2법칙	행성과 태양을 잇는 직선이 일정 시간 동안 쓸고 간 면적은 항상 ^① □□.
케플러 제3법칙	행성의 공전 주기의 제곱은 타원 궤도의 긴반지름의 세제곱에 ^② □□한다.

2. 케플러 제3법칙은 뉴턴 중력 법칙을 만족한다.

단위: ① 거리 ② 길이

>> 기초 개념 익히기

1 그림은 직선상을 움직이는 물체의 속도-시간 그래프이다. 그래프 아래 넓이는 시간 t 동안 물체의 ()를 나타낸다.



2 물체를 자유 낙하시켰을 때 2초 후 물체가 낙하한 거리는 몇 m인가? (단, 공기 저항은 무시한다.)

3 포물선 운동은 수평 방향으로는 () 운동을 하며, 연직 방향으로는 () 운동을 한다.

4 비스듬히 위로 던진 물체가 포물선 운동 경로를 그리며 5초 동안 수평으로 100 m 이동하였다. 공을 던지는 순간 속도의 수평 방향의 속력은 몇 m/s인가?

5 등속 원운동 하는 물체가 반 바퀴를 도는 데 5초가 걸린다. 이 물체의 주기는 몇 초인가?

6 원운동하는 물체의 반지름은 변하지 않고 구심 가속도가 4배가 되면 각속도는 얼마나 변하는가?

7 행성의 운동에서 행성과 태양을 잇는 직선이 단위 시간 동안 쓸고 간 면적을 ()라고 한다.

8 어떤 행성의 주위를 두 개의 달이 공전하고 있다. 이 두 달의 공전 궤도의 긴반지름의 비가 1 : 2라면 공전 주기의 비는 얼마인가?

개념 확인하기

1 질량이 50 g인 물체를 연직 위로 20 m/s의 속도로 던졌다. 3초 후 이 물체의 속도의 크기는? (단, 중력 가속도는 10 m/s²이며, 공기 저항 및 마찰은 무시한다.)

- ① 0 m/s ② 5 m/s ③ 10 m/s
- ④ 20 m/s ⑤ 30 m/s

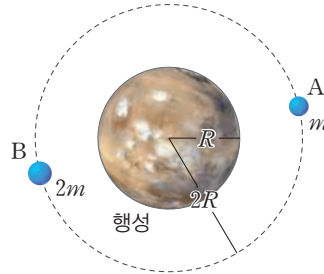
2 줄에 매달린 작은 추가 1.2초마다 한 바퀴 회전하는 등속 원운동을 한다. 처음 원운동을 시작한 때부터 3초 동안 이 추는 얼마나 회전하는가?

- ① π rad ② 2π rad ③ 3π rad
- ④ 4π rad ⑤ 5π rad

3 지구 적도의 약 35800 km 상공에서 등속 원운동 하는 정지 위성의 속력은? (단, 지구의 반경은 6400 km이고, π 는 3.14, 자전 주기는 24시간이다.)

- ① 약 5521 km/h ② 약 8281 km/h
- ③ 약 11042 km/h ④ 약 16563 km/h
- ⑤ 약 22084 km/h

4 반지름이 R 인 행성의 표면으로부터 R 만큼 떨어진 위치에 서 이 행성 주위를 공전하는 위성 A, B가 있다.



이 두 인공위성의 질량이 각각 m , $2m$ 일 때 B의 공전 속력은 A의 공전 속력의 몇 배인가?

- ① $\frac{1}{2}$ 배 ② $\frac{1}{\sqrt{2}}$ 배 ③ 같다.
- ④ $\sqrt{2}$ 배 ⑤ 2배

5 다리의 중간이 무너져 내려 차로 15 m 떨어진 건너편으로 점프하여 건너는 장면을 촬영하기 위해 스텐트맨이 40 m/s의 속력으로 달리다가 다리가 끊긴 곳에서 수평으로부터 15° 각도로 점프하였다. 이 차가 점프 후 약 0.5초 만에 같은 높이로 떨어진다면, 다리를 건널 수 있을까?

(단, $\sin 15^\circ = 0.16$, $\cos 15^\circ = 0.97$ 로 계산한다.)

스스로 평가하기

● 평가 점수에 따라 별에 색칠하세요.

- 1 포물선 운동에서 작용하는 힘과 운동 경로를 정량적으로 설명할 수 있는가? ☆☆☆☆☆
- 2 등속 원운동에서 구심력을 설명할 수 있는가? ☆☆☆☆☆
- 3 케플러 제3법칙을 중력 법칙으로 설명할 수 있는가? ☆☆☆☆☆



일반 상대성 이론

- 01. 등가 원리
- 02. 중력 렌즈 효과와 블랙홀



이 단원의 성취 기준 확인

이 단원에서는 가속 좌표계 개념을 이용하여 관성력과 중력은 서로 구별할 수 없음을 이해한다. 또한 중력에 의해 시공간이 휘어짐을 이해하고, 블랙홀은 탈출 속도가 매우 커서 빛조차도 빠져나갈 수 없음을 이해한다.



자기 점검 - 알고 있는 용어에 체크해 보자.

관성 <input type="checkbox"/>	중력 <input type="checkbox"/>	좌표계 <input type="checkbox"/>	가속 운동 <input type="checkbox"/>	구심력 <input type="checkbox"/>
특수 상대성 이론 <input type="checkbox"/>	원운동 <input type="checkbox"/>	렌즈 <input type="checkbox"/>	굴절 <input type="checkbox"/>	

▶ 체크하지 못한 용어는 인터넷에서 검색해 보자.



학습 계획 세우기 - 성취 기준을 달성하기 위해 어떤 준비를 할 수 있을지 써 보자.

학습 목표를 세우자.

01 등가 원리

- 가속 좌표계에서 관성력을 설명할 수 있다.
- 가속 좌표계 개념을 이용하여 등가 원리를 설명할 수 있다.



들어가기 | 인공 중력을 만들 수 있을까?

사람이 무중력 공간에서 오랜 시간 동안 거주하면 뼈와 심장에 문제가 생긴다고 한다. 이러한 문제를 해결하기 위해 우주선 안에 인공 중력을 만들려고 한다. 어떻게 하면 인공 중력을 만들 수 있을까?

알아보기 | 가속 좌표계와 관성력

그림 I-38과 같이 기차를 타고 이동할 때 기차의 속도가 일정하면 물잔 속 물의 수면이 수평을 유지하지만, 기차의 속도가 느려지거나 빨라지는 가속 운동 하는 동안에는 물잔 속 물의 수면이 기울어지는 것을 볼 수 있다.



(가) 등속도 운동 할 때



(나) 가속도 운동 할 때

그림 I-38 기차의 운동에 따른 물잔 속 수면의 변화

물체에 작용하는 알짜힘이 0이면 물체가 정지해 있거나 등속 직선 운동을 하는 관성 법칙이 성립한다. 이렇게 관성 법칙을 만족하는 좌표계를 관성 좌표계 또는 관성계라고 한다. 모든 관성 좌표계에서 물리 법칙은 동일하게 적용된다.

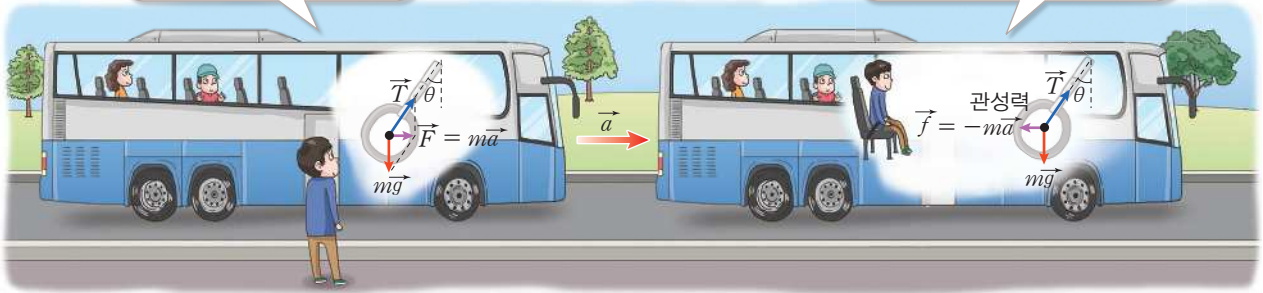
그러나 우리가 접하는 대부분의 운동은 등속도 운동이 아니다. 속도가 변하는 기차나 그림 I-39와 같이 운동 방향이 계속 바뀌는 원운동하는 놀이 기구는 가속도 운동을 한다. 이처럼 가속도 운동 하는 좌표계를 비관성 좌표계 또는 가속 좌표계라고 한다.



그림 I-39 원운동하는 놀이 기구

손잡이에는 중력과 장력에 의한 실제 물리적인 힘만 작용한다고 생각한다.

손잡이에 물리적인 힘 이외에 가상의 힘이 버스의 가속도와 반대 방향으로 작용한다고 생각한다.



(가) 지상에서 관찰할 때

(나) 버스 안에서 관찰할 때

그림 I-40 가속도 운동 하는 버스에서의 관성력

관성력

중력이나 줄에 의한 장력은 손잡이에 작용하는 실제 물리적인 힘이지만, 관성력은 가속 좌표계에 서만 나타나는 가상의 힘이다.

운동 방정식

그림 I-40의 (가)에서 관찰자가 만족하는 뉴턴 방정식은

$$\vec{F}_{\text{합}} = m\vec{g} + \vec{T} = m\vec{a}$$

이고, (나)에서 관찰자가 만족하는 뉴턴 방정식은

$$\vec{F}_{\text{합}} = m\vec{g} + \vec{T} + \vec{f} = 0$$

그림 I-40은 등가속도 \vec{a} 로 달리는 버스 안에 질량이 m 인 손잡이가 줄에 매달려 기울어진 모습을 나타낸 것이다. 그림 (가)와 같이 지상(관성 좌표계)에 있는 관찰자는 버스가 가속도 운동을 하므로 버스 안의 사람과 손잡이에 알짜힘이 오른쪽으로 작용하는 것으로 생각한다. 하지만 그림 (나)와 같이 버스 안(가속 좌표계)의 관찰자는 손잡이가 정지해 있으므로 손잡이에 작용하는 알짜힘이 0이라고 생각한다. 알짜힘이 0이 되기 위해서는 장력 \vec{T} 와 중력 $m\vec{g}$ 이외의 힘이 필요한데, 이처럼 가속 좌표계의 가속 효과로 도입되는 가상의 힘 \vec{f} 를 관성력이라고 한다. 손잡이에 작용하는 관성력의 크기는 ma 이며, 관성력의 방향은 버스의 가속도와 반대 방향이다.

관성력의 또 다른 예로, 그림 I-41과 같이 원형 경로를 따라 이동하는 자동차를 생각해 보자. 자동차 밖의 관성 좌표계에서 보는 관찰자는 원운동하는 자동차에 구심력이 작용한다고 생각한다. 반지름 r 인 원 궤도를 속도 v (각속도 ω)로 도는 질량 m 인 물체에 작용하는 구심력의 크기는 $F = m\frac{v^2}{r} = mr\omega^2$ 이고, 구심 가속도의 크기는 $a = \frac{v^2}{r} = r\omega^2$ 이다. 하지만 가속 좌표계인 자동차에 타고 있는 사람은 구심력과 크기는 같고 방향이 반대인 관성력이 작용한다고 느낀다. 이 관성력을 원심력이라고 부른다.



그림 I-41 원운동에서의 관성력

무중력 상태인 우주 정거장에서 생활하는 우주인이 중력을 느끼게 하기 위해 관성력을 이용한다. 그림 I-42와 같이 우주 정거장을 회전시키면 우주 정거장 내의 물체들은 원의 바깥 방향으로 원심력을 받는다. 지구에서와 동일한 크기의 인공 중력을 얻기 위해서는 $F = mr\omega^2 = mg$ 를 만족해야 하므로 $g = r\omega^2$ 이 되도록 거주지의 반지름 r 에 대응하는 각속도 ω 로 우주 정거장을 회전시켜야 한다.

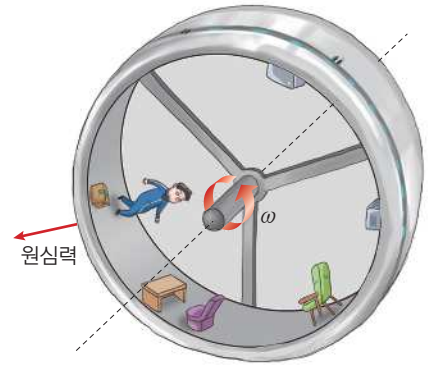


그림 I-42 우주 정거장과 인공 중력

엘리베이터 내에서 몸무게를 측정하면서 우리 몸이 느끼는 관성력의 크기를 확인해 보자.

엘리베이터 내에서 몸무게의 변화 분석하기



사고력 | 의사소통 능력

목표 엘리베이터 내에서 몸무게의 변화를 분석하여 관성력의 효과를 알 수 있다.

준비물 디지털 체중계

과정

- ① 엘리베이터가 정지해 있을 때 체중계를 이용하여 자신의 몸무게를 측정한다.
- ② 엘리베이터가 올라가는 동안 몸무게의 변화를 관찰한다.
- ③ 엘리베이터가 내려가는 동안 몸무게의 변화를 관찰한다.
- ④ 다음 표에 몸무게의 변화를 기록한다. (단, 1 kg의 무게는 10 N이다.)

구분	출발하는 순간 몸무게(N)	운동하는 동안 몸무게(N)	멈추는 순간 몸무게(N)
올라갈 때			
내려갈 때			



결과 및 정리

1. 엘리베이터가 운동하는 동안 몸무게가 변하는 것을 어떻게 설명할 수 있는가?
2. 만일 엘리베이터가 자유 낙하 한다면 몸무게는 어떻게 변할지 토의해 보자.

엘리베이터 안에서 몸무게를 측정하면 엘리베이터의 운동에 따라 몸무게가 다르게 나타난다. 이러한 현상을 상대성 이론은 어떻게 설명하는지 알아보자.

개념 넓히기 | 등가 원리

만약 우리가 자유 낙하 하는 엘리베이터에 타고 있다면 그 안에서 물체의 운동은 어떻게 달라 보이는지 다음 탐구에서 알아보자.

미니 탐구

떨어지는 물병 관찰

목표

낙하하는 페트병을 관찰하고 무중력 현상을 이해할 수 있다.

준비물

페트병, 물, 송곳

주의 사항

송곳으로 페트병에 구멍을 뚫을 때 다치지 않도록 조심한다.

- 1 페트병 아랫부분에 송곳으로 구멍을 두세 개 뚫은 후 물을 채워 들고 서 있으면서 물이 어떻게 되는지 관찰한다.
- 2 페트병을 가만히 떨어뜨리고 물이 어떻게 되는지 관찰한다.



(가) 페트병을 잡고 있을 때



(나) 페트병이 낙하할 때



- ? 페트병을 들고 있을 때 물이 새어 나오는 까닭은 무엇인가?
- ? 페트병이 낙하할 때 물이 새어 나오지 않는 까닭은 무엇인가?

정지한 페트병에서는 물이 구멍 밖으로 새어 나오지만, 가만히 떨어뜨린 페트병에서는 물이 구멍 밖으로 새어 나오지 않는다. 페트병과 함께 낙하하는 좌표계에서 볼 때 페트병 내부의 물은 중력과 관성력이 평형을 이루어 무게를 느끼지 못하는 무중력 상태가 된다. 그 결과 페트병에 물의 압력이 작용하지 않아 물이 구멍 밖으로 새어 나오지 않는다.

| 등가 원리 |

아인슈타인은 1905년 등속도 운동 하는 관성 좌표계에서의 물리 법칙에 관한 특수 상대성 이론을 발표한 이래, 이를 가속 좌표계까지 확장한 일반 상대성 이론을 찾으려고 노력했다. 아인슈타인은 가속 좌표계에서 나타나는 관성력과 중력에 의한 효과를 구별할 수 없다는 해석을 내 놓았으며, 이것을 등가 원리라고 한다.

그림 I-43과 같이 지구 표면 위에 정지한 엘리베이터와 무중력 공간에서 중력 가속도 g 와 같은 크기의 가속도 a 로 운동하는 엘리베이터를 생각해 보자.

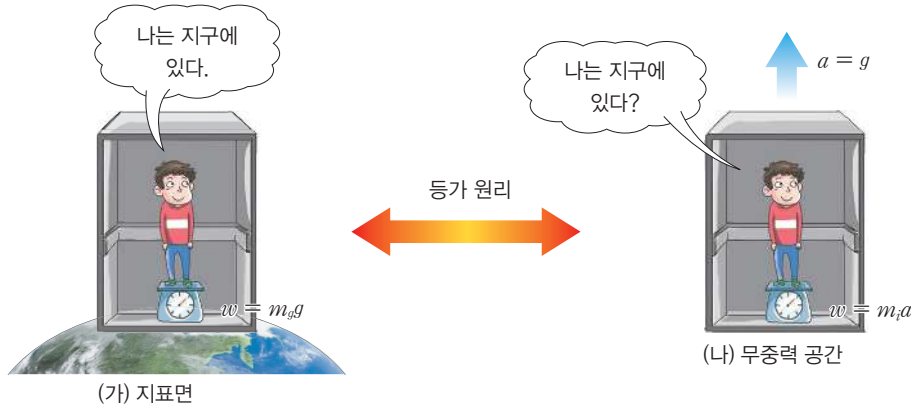


그림 I-43 지표면에 정지한 엘리베이터와 무중력 공간에서 가속 운동 하는 엘리베이터

엘리베이터 안의 두 사람이 몸무게를 측정할 때, 그림 (가)의 지표면에 정지한 사람이 측정하는 몸무게는 중력과 같은 크기이고, 그림 (나)의 가속하는 엘리베이터에 있는 사람이 측정하는 몸무게는 관성력과 같은 크기를 갖는다. 이때 a 와 g 가 같다면 두 사람은 동일한 몸무게를 측정할 것이다. 따라서 엘리베이터 안의 두 사람이 모두 외부 볼 수 없다면 자신이 지표면에 정지해 있는지 아니면 무중력 공간에서 가속 운동 하고 있는지를 구별할 수 없다. 이러한 등가 원리는 물체의 중력 질량 m_g 와 관성 질량 m_i 가 동등함을 뜻한다.

그림 I-44의 (가)와 같이 중력장에서 자유 낙하 하는 엘리베이터에 탄 사람은 중력과 같은 크기의 관성력을 위쪽 방향으로 받으므로 그림 (나)의 무중력 공간에 놓인 엘리베이터에 탄 사람과 마찬가지로 중력을 느끼지 못한다. 따라서 엘리베이터 안의 두 사람이 모두 외부 볼 수 없다면 자신이 지표면으로 낙하하는 지 아니면 무중력 공간에 정지해 있는지를 구별할 수 없다.

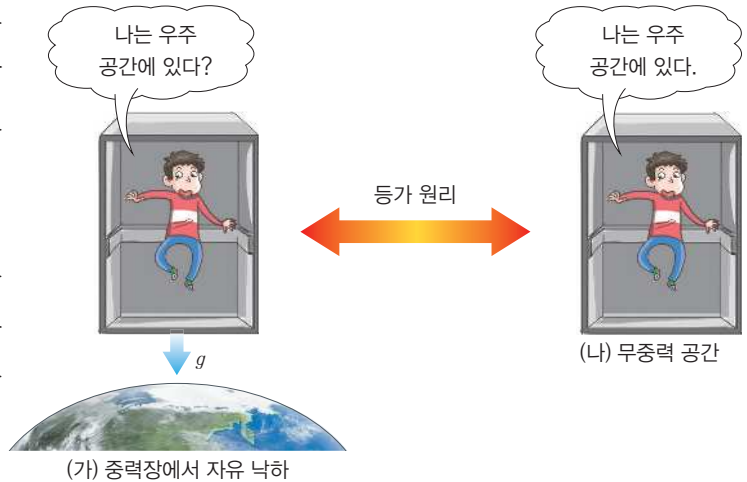


그림 I-44 중력장에서 자유 낙하 하는 엘리베이터와 무중력 공간에 정지한 엘리베이터

물음 무중력 공간에서 가속하는 엘리베이터 안에서 관성력의 방향은?

책 중력 질량과 관성 질량

• 중력 질량 m_g
뉴턴 중력 법칙은

$$F = G \frac{Mm_g}{R^2} = m_g g$$

이고, 질량을 가진 두 물체 사이에 작용하는 힘을 뜻한다. 이때의 질량 m_g 를 중력 질량이라고 한다.

• 관성 질량 m_i
뉴턴 운동 법칙 $F = m_i a$ 는 물체에 힘을 작용할 때 발생하는 가속도가 물체의 질량에 반비례한다는 것이다. 이때의 질량 m_i 를 관성 질량이라고 한다.

평가하기

개념 이해

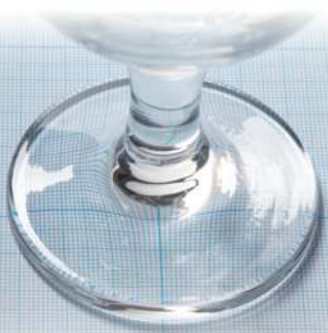
- 1 가속 좌표계에 있는 사람이나 물건이 관성에 의해 느끼는 가상의 힘을 무엇이라고 하는가?
- 2 관성력과 중력의 효과가 동등함을 나타내는 원리를 무엇이라고 하는가?

창의·융합

- 3 무중력 공간에서 가속도 운동 하는 우주선에서 우주인이 수평으로 던진 물체의 운동을 우주인과 지구 관찰자의 관점에서 서술해 보자.

02 중력 렌즈 효과와 블랙홀

- 등가 원리를 이용하여 중력 렌즈 효과를 이해할 수 있다.
- 블랙홀을 물체의 탈출 속도와 관련지어 설명할 수 있다.



들어가기 직선이 왜 휘어져 보일까?

모눈종이 위에 포도주 잔을 올려놓으면, 모눈의 직선이 휘어져 보인다. 특히, 잔의 중심으로 갈수록 모눈의 직선이 휘어지는 정도가 더 커진다. 이런 현상이 일어나는 까닭은 무엇일까?

알아보기 중력 렌즈

고무 시트나 스타킹을 이용하여 평평하지 않은 바닥에서 굴러가는 물체의 운동을 알아보자.

미니 탐구

스타킹 위 물체의 운동 관찰하기

목표

스타킹 위 물체의 운동을 관찰하고 공간의 휘어짐 현상을 이해할 수 있다.

준비물

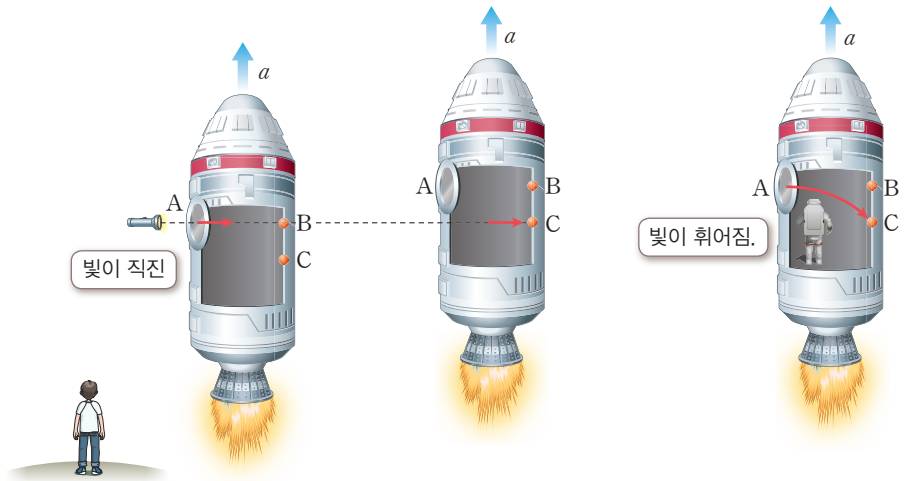
반구형 그릇, 스타킹, 질량이 다른 쇠구슬

- 1 그림과 같이 반구형 그릇에 스타킹을 씌워 틀에 고정한 후 스타킹의 중간에 질량이 매우 큰 쇠구슬을 놓는다.
- 2 질량이 작은 구슬을 굴리며, 구슬의 운동을 관찰한다.



- ? 질량이 작은 구슬을 큰 쇠구슬 근처에서 굴릴 때 구슬의 운동 경로는 어떻게 될까?
- ? 질량이 작은 구슬을 큰 쇠구슬과 멀리 떨어진 곳에서 굴릴 때 구슬의 운동 경로는 어떻게 될까?

질량이 매우 큰 쇠구슬 옆을 질량이 작은 구슬이 지나갈 때 구슬은 직선 운동을 하지 못하고 경로가 휘어 지나치거나 큰 쇠구슬에 충돌하기도 한다. 질량이 엄청나게 큰 물체 주위를 빛이 지나갈 때 빛의 경로가 어떻게 되는지 알아보자.



(가) 관성 좌표계에서 본 빛의 경로

(나) 가속 좌표계에서 본 빛의 경로

그림 I-45 무중력 공간의 가속 운동 하는 우주선에 수평으로 들어온 빛

그림 I-45와 같이 무중력 공간에서 가속 운동 하는 우주선에 수평으로 들어온 빛의 궤적을 지표면(관성 좌표계)과 우주선 안(가속 좌표계)의 관측자가 관측한다고 생각해 보자. (가)에서와 같이 지표면의 관측자는 빛이 수평으로 직진하는 것으로 관측하겠지만, (나)에서와 같이 우주선 안의 관측자는 우주선의 가속 운동에 의해 빛이 아래로 휘어지는 것으로 관측할 것이다.

등가 원리에 따라, 아인슈타인은 무중력 공간의 가속 좌표계에서 수평으로 발사된 빛이 휘는 것과 같이 중력장에서 수평으로 발사된 빛도 휘어져야 한다고 생각하였다. 그는 또한 중력장에서 빛이 휘어지는 까닭은 질량이 있는 물체에 의해 공간이 휘어지고 빛이 휘어진 공간을 따라 이동하기 때문이라고 주장하였다.

아인슈타인은 일반 상대성 이론을 발표하면서 뉴턴과 전혀 다른 방법으로 중력을 설명하였다. 그는 그림 I-46과 같이 우주는 시공간으로 이루어진 그물과 같으며 질량을 가진 물체가 시공간을 휘게 만들면서 휘어진 시공간 속으로 빨려 들어가는 중력이 생긴다고 생각하였다.

1919년 영국의 천체 물리학자 에딩턴(Eddington, A. S., 1882~1944)은 일식으로 태양이 가려졌을 때 태양 주변 별의 위치를 주의 깊게 관찰하여 별들의 위치가 밤에 관찰했을 때와 약간씩 다를 것을 확인하였다. 이는 태양 근처를 지나가는 빛이 휘어진다는 증거로, 아인슈타인이 제시했던 중력장에 의한 공간의 휘어짐 이론을 뒷받침하였다.

별빛이 휘는 현상을 렌즈를 사용하여 알아보자.

물음 뉴턴의 중력과 아인슈타인의 중력의 차이점을 비교해 보자.

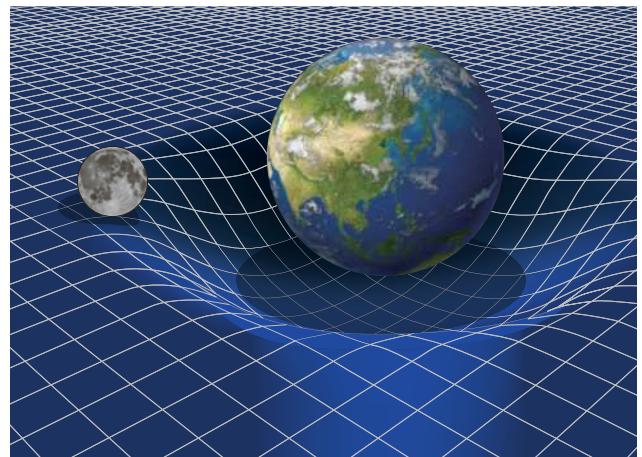


그림 I-46 질량을 가진 물체에 의한 시공간의 휘어짐

목표

돋보기가 전구 불빛의 경로에 미치는 효과를 알 수 있다.

준비물

돋보기, 검은 종이, 접착테이프, 가위, 전구, 건전지

주의 사항

- 돋보기는 검은 종이보다 클수록 좋다.

1 그림 (가)와 같이 불이 켜진 전구 앞에 등글게 자른 검은 종이를 가까이 하고 전구 불빛을 관찰한다.

2 그림 (나)와 같이 검은 종이 앞에 돋보기를 장치하고 전구 불빛을 관찰한다.



(가) 종이를 가린 전구 불빛 관찰하기



(나) 종이 앞에 돋보기 놓고 불빛 관찰하기

- ? 검은 종이를 가렸을 때 전구 불빛이 보이는가?
- ? 돋보기를 추가하였을 때 전구 불빛이 보이는가?

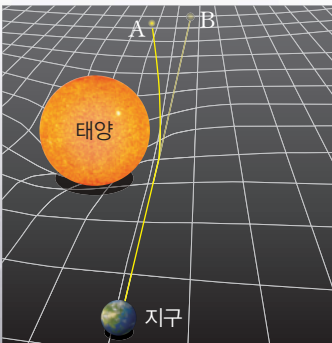


그림 I-47 태양 근처를 지나는 빛

그림 I-47과 같이 태양 근처를 지나는 빛의 경로는 휘어진 시공간을 따라서 관측자에게 도달한다. 그러므로 별은 실제로 A 위치에 있지만, 관측자는 별이 B 위치에 있다고 생각하게 된다. 이처럼 중력이 렌즈 역할을 하여 빛을 휘게 하는 현상을 중력 렌즈 효과라고 한다.

그림 I-48은 지구와 퀘이사 중간에 위치한 은하의 중력 렌즈 효과에 의한 퀘이사의 여러 겹보기 상이 생기는 원리를 나타낸 것이고, 그림 I-49는 중력 렌즈 효과로 인해 허블 망원경으로 관측된 퀘이사의 사진으로, ‘아인슈타인의 십자가’라고 부른다. 사진 중앙의 상은 4억 광년 떨어진 중력 렌즈 역할을 한 은하이며, 주변에 십자가 형상을 만드는 네 개의 상들은 80억 광년 떨어진 곳에 위치한 퀘이사의 겹보기 상들이다.



그림 I-48 중력 렌즈 효과에 따른 겹보기 상이 생기는 원리

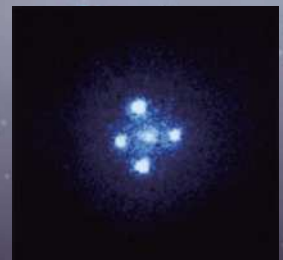


그림 I-49 아인슈타인의 십자가

개념 넓히기 | **탈출 속도와 블랙홀**

| 탈출 속도 |

그림 I-50에서와 같이 대포에서 쏜 포탄의 속력이 느리면 포탄이 포물선 운동 하여 지면에 떨어지지만, 포탄의 속력이 충분히 빠르면 포탄이 원운동 또는 타원 운동을 하며 지구의 주위를 공전할 수도 있다. 원 또는 타원 궤도를 따라 운동하는 물체의 속력을 궤도 속력이라고 한다. 궤도 속력보다 속력이 빠른 물체는 지구의 중력장을 벗어나게 된다. 이처럼 물체가 천체의 중력을 이겨 내고 천체로부터 벗어날 수 있는 최소한의 속력을 **탈출 속도** 또는 방향을 포함하여 **탈출 속도**라고 한다.

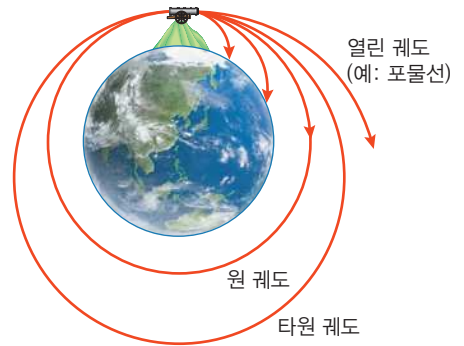


그림 I-50 지면에 대해 수평으로 쏜 포탄의 운동

그렇다면 천체의 중력장을 벗어날 수 있는 물체의 탈출 속력은 얼마 나 될까? 질량이 M 인 천체의 중심으로부터 r 만큼 떨어진 거리에서 질량 m 인 물체가 원운동하기 위해서는 물체에 작용하는 구심력 $m \frac{v^2}{r}$ 이 중력 $G \frac{Mm}{r^2}$ 과 같아야 하므로, 원운동하는 물체의 궤도 속력은 $v_{\text{원}} = \sqrt{\frac{GM}{r}}$ 이다. 그림 I-51과 같이 물체의 발사 속력을 $v_{\text{원}}$ 보다 크게 하면 $v_{\text{타원}}$ 의 속력으로 타원 궤도를 따라 운동할 수 있으며, 탈출 속력은 $v_{\text{타원}}$ 보다 커야 한다. 물체의 탈출 속력은 $\sqrt{\frac{M}{r}}$ 에 비례하고, 발사된 방향과 물체의 질량에는 관계없다.

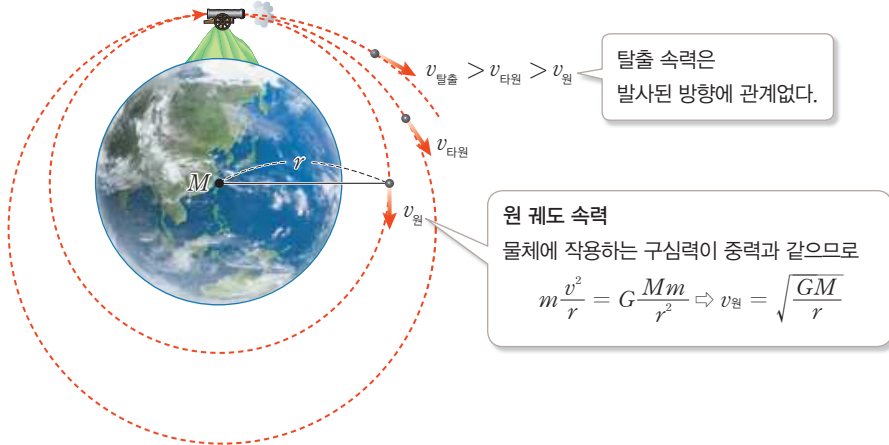


그림 I-51 탈출 속도의 크기와 방향

| 블랙홀 |

만약 지구나 태양이 질량은 변하지 않고 크기만 매우 작게 축소된다면 어느 순간 지구나 태양 표면에서의 탈출 속력이 빛의 속도보다 커질 수 있다. 이때에는 빛조차도 지구와 태양 표면을 탈출할 수가 없게 된다. 이렇게 중력이 매우 커서 빛조차도 탈출할 수 없는 천체를 **블랙홀**이라고 한다.

☞ 천체의 탈출 속도

천체	탈출 속도(km/s)
수성	4.3
금성	10.36
지구	11.2
화성	5.03
달	2.38
태양	617.6

출처: 미국 항공우주국(NASA), 2016.

☞ 블랙홀

질량이 아주 큰 별이 진화의 마지막 단계에서 자체 중력에 의해 스스로 붕괴되어 강력하게 수축함으로써 엄청난 밀도와 중력을 갖게 된 천체이다.

일반 상대성 이론에 따르면 질량이 큰 천체일수록 주변의 시공간을 휘게 하는 정도가 크며, 블랙홀 근처의 시공간은 빛조차 탈출할 수 없을 만큼 시공간이 극단적으로 휘어 있다.

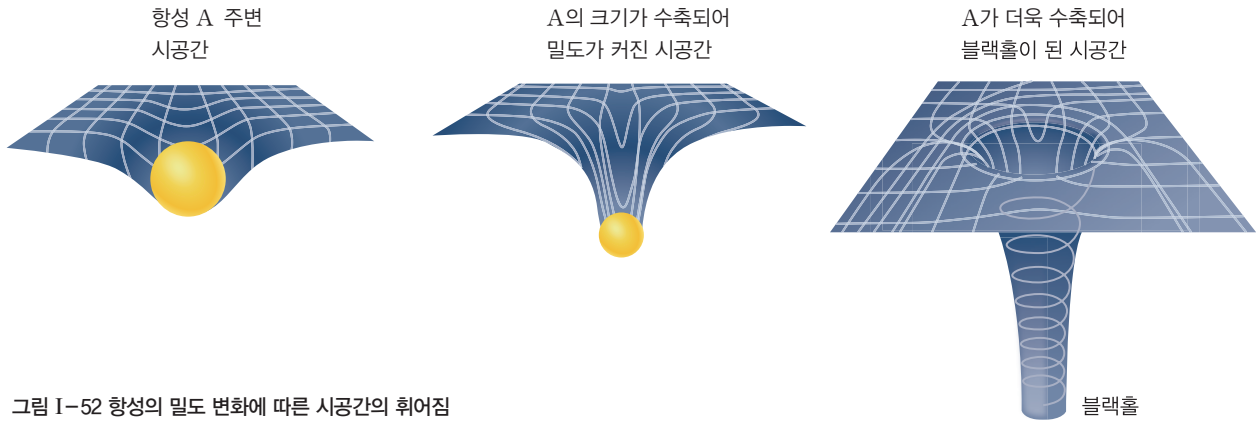


그림 I-52 항성의 밀도 변화에 따른 시공간의 휘어짐

☞ X선 방출

블랙홀 주변의 물질이 블랙홀로 빨려 들어갈 때 블랙홀 주변을 맴돌며 수백만 K으로 가열되면서 X선을 방출한다.

그림 I-52는 어떤 항성 A의 질량은 변하지 않고 크기만 줄어들어 블랙홀이 된다고 가정할 때, A의 밀도 변화에 따른 시공간의 휘어짐을 나타낸 것이다. A의 반지름이 줄면서 밀도가 증가하면 A 중심 근처의 중력이 매우 커져서 시공간의 왜곡이 심하게 일어난다.

그림 I-53과 같이 블랙홀과 함께 회전하는 별의 기체층 일부가 블랙홀로 원반 형태로 빨려 들어갈 때 매우 높은 온도로 가열되어 X선을 방출하는데, 이 X선을 관측하여 블랙홀을 찾을 수 있다.



그림 I-53 블랙홀 쌍성계(상상도)

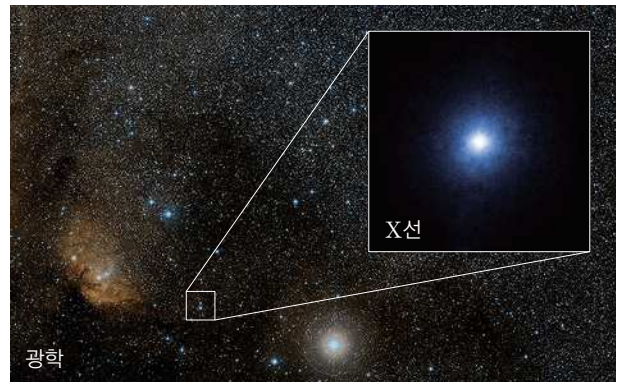


그림 I-54 백조자리의 블랙홀 Cygnus X-1의 X선 관찰

평가하기 개념 이해

- 1 중력이 주변 공간을 휘게 하여 렌즈처럼 빛을 휘게 하는 현상을 무엇이라고 하는가?
- 2 중력이 매우 커서 빛조차 탈출할 수 없는 천체를 무엇이라고 하는가?

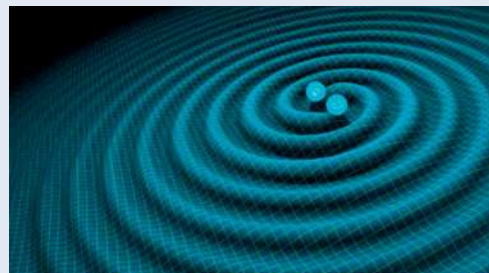
창의·융합

- 3 질량에 따른 블랙홀의 종류와 블랙홀을 관측하는 방법에 대해 조사해 모둠별로 발표해 보자.

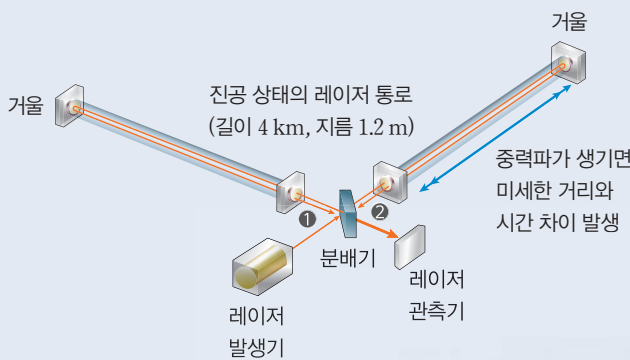
중력파

일반 상대성 이론에 따르면 중력은 질량을 가진 물체에 의한 시공간의 뒤틀림을 의미한다. 그러므로 전자기파와 유사하게 질량을 가진 물체가 가속 운동을 하면 시공간의 변화가 파도처럼 일렁이며 주변으로 퍼져 나가는데, 이를 중력파라고 한다. 중력의 크기는 매우 작아서 매우 무거운 물체가 서로의 주위를 매우 빠르게 회전해야만 정밀한 측정 장비를 통해 시공간의 변화를 알 수 있을 정도가 된다. 이 때문에 아인슈타인이 중력파의 존재를 예측한 뒤로 100년 동안 중력파를 검출하지 못하였다.

그러다가 2015년 9월 중력파 측정 장치인 라이고(LIGO, Laser Interferometer Gravitational - Wave Observatory)를 이용해 중력파를 검출하는 데 성공하였다. 검출된 중력파는 지구로부터 13억 광년 떨어진 곳에서 태양 질량의 36배와 29배인 두 개의 블랙홀이 서로의 주위를 돌면서 가까워지다가 충돌하여 하나로 합쳐져 태양 질량의 62배가 되는 초대형 블랙홀로 합병되는 과정에서 방출된 것이다. 이때 사라진 질량(태양 질량의 3배)에 해당하는 에너지가 중력파로 변해 온 우주로 퍼져 나온 것을 13억 년 후에 라이고의 레이저 간섭계로 검출하였다.



▲ 블랙홀 두 개가 합병되는 과정에서 방출되는 중력파



▲ 중력파 관측 장비 모식도

▶ 일반적 상태

① ②
같은 시간 동안 같은 거리를 움직였다면 서로 위상이 정반대인 상태로 겹쳐 아무런 신호도 검출되지 않음.

▶ 중력파 검출

① ②
신호의 경로 차이가 발생하여 어긋난 위상으로 겹쳐 간섭무늬가 검출됨.

생각해 보기

1 중력파 검출 장치 라이고의 작동 원리를 조사해 보자.

과학적 문제 해결력

2 중력파의 발견이 인류에 어떻게 기여할지 생각해 보자.

중력파 검출 장치 라이고(LIGO) ▼



중단원 정리하기

> 핵심 내용 정리하기

등가 원리

1. 가속 좌표계: 가속 운동 하는 좌표계
2. 관성력: 가속 좌표계의 가속 효과 때문에 사람이나 물체가 받게 되는 힘으로, □□□와 반대이다.

$$F = -ma$$

3. 일반 상대성 이론: 모든 □□□ 좌표계에서도 같은 물리 법칙이 성립한다는 확장된 상대성 이론이다.

4. 등가 원리: 중력이 작용하는 계와 가속도 운동 하는 계는 동등하며 서로 구별할 수 없다는 원리로, 중력 질량과 관성 질량은 서로 같다.

- ① 중력 질량: 물체에 작용하는 □□□의 크기를 비교함으로써 구할 수 있는 질량이다.
- ② 관성 질량: 물체에 힘이 작용하여 가속도가 생길 때, 힘을 가속도로 나눈 값이다.

>> 기초 개념 익히기

1 무중력 공간에서 가속하는 우주선 안에 있는 물체가 느끼는 관성력의 방향은 우주선의 가속도 방향과 () 방향이다.

2 구심력은 () 좌표계의 관찰자가 느끼는 실제 힘이고, 원심력은 () 좌표계의 관찰자가 느끼는 관성력이다.

3 특수 상대성 이론이 다루는 좌표계는 ()이고, 일반 상대성 이론이 다루는 좌표계는 ()이다.

4 등가 원리에 따르면 물체의 중력 질량과 () 질량이 동등하다.

높은 ① 낮은 ② 5학년 ① | 15문

중력 렌즈 효과와 블랙홀

1. 중력 렌즈 효과:

- ① 중력에 의해 시공간이 휨: □□□이 주위의 시공간을 휘게 한다.
- ② 중력 렌즈 효과: 아주 먼 천체에서 나온 빛이 중간에 있는 천체의 중력에 의해 휘어져 보이는 현상이다.
- ③ 아인슈타인 십자가: 은하의 중력 렌즈 효과로 관측되는 퀘이사의 겹보기 상이다.

2. □□ 속도: 어떤 물체가 지구 등 천체의 인력을 벗어나 탈출할 수 있는 최소한의 속도이다.

- ① 질량 M , 반지름 R 인 천체 표면에서 물체의 탈출 속력은 $\sqrt{\frac{M}{R}}$ 에 비례한다.
- ② 탈출 속력은 발사된 방향에 관계없다.

3. 블랙홀: 질량이 아주 큰 별이 수축하여 엄청난 밀도와 중력을 갖게 된 천체이다.

- ① □□□이 매우 커서 빛조차도 탈출할 수 없다.
- ② 블랙홀 근처의 시공간은 빛조차 탈출할 수 없을 만큼 극단적으로 휘어 있다.

5 별빛이 은하단 등의 영향으로 굴절되어 보이는 현상을 무엇이라고 하는가?

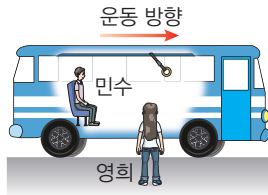
6 어떤 천체 표면에서 던져진 물체의 탈출 속력은 천체의 ()이 클수록 또는 ()이 작을수록 커진다.

7 ()은 빛조차 탈출할 수 없을 만큼 중력이 매우 커서 주변의 시공간이 극단적으로 휘어 있다.

높은 ① 높은 ② 높은 ① | 15문

개념 확인하기

1 그림과 같이 오른쪽으로 진행하는 버스 안의 손잡이가 진행 방향으로 기울어져 있다. 이에 대한 설명으로 옳은 것만을 보기에서 있는 대로 고른 것은?

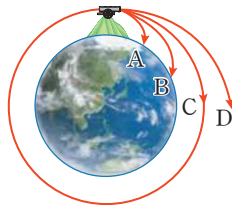


보기

- ㄱ. 버스의 속도는 점점 증가한다.
- ㄴ. 민수가 볼 때, 손잡이에 작용하는 관성력의 방향은 버스의 운동 방향과 같다.
- ㄷ. 영희가 볼 때, 손잡이 줄에 작용하는 힘과 중력의 크기는 서로 같다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄴ
- ④ ㄱ, ㄷ ⑤ ㄴ, ㄷ

2 그림은 지구 표면에서 수평으로 쏜 포탄의 경로를 나타낸 것이다. 이에 대한 설명으로 옳은 것만을 보기에서 있는 대로 고른 것은?



보기

- ㄱ. 포탄의 초기 속력은 A가 B보다 작다.
- ㄴ. 지구 중력장을 벗어날 수 있는 포탄의 속력을 탈출 속력이라고 한다.
- ㄷ. C에서의 궤도 속력은 포탄의 질량에 따라 다르다.

- ① ㄴ ② ㄱ, ㄴ ③ ㄱ, ㄷ
- ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

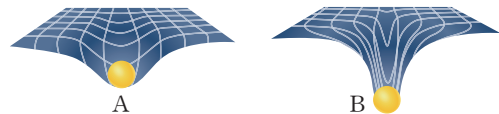
3 일반 상대성 이론에 대한 설명으로 옳은 것만을 보기에서 있는 대로 고른 것은?

보기

- ㄱ. 중력에 의해 빛이 휘어진다.
- ㄴ. 중력에 의해 공간이 휘어진다.
- ㄷ. 중력에 의한 효과와 관성력에 의한 효과를 구분할 수 없다.

- ① ㄱ ② ㄱ, ㄴ ③ ㄱ, ㄷ
- ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

4 그림 (가)와 (나)는 크기는 같고 질량이 다른 두 항성 A와 B 주위의 시공간을 모식적으로 나타낸 것이다.



(가)

(나)

A와 B 근처에서 나타나는 현상에 대한 설명으로 옳은 것만을 보기에서 있는 대로 고른 것은?

보기

- ㄱ. 중력에 의한 공간의 휘어짐은 (가)에서보다 (나)에서 크다.
- ㄴ. 질량은 항성 A가 항성 B보다 크다.
- ㄷ. A와 B 표면에서 물체의 탈출 속력은 (가)에서보다 (나)에서 크다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄴ
- ④ ㄱ, ㄷ ⑤ ㄴ, ㄷ



- 1 등가 원리를 설명할 수 있는가?
- 2 중력 렌즈 효과를 등가 원리를 이용하여 설명할 수 있는가?
- 3 블랙홀을 항성의 질량 및 탈출 속도와 관련지어 설명할 수 있는가?



● 평가 점수에 따라 별에 색칠하세요



4

열과 에너지

- 01. 일과 운동 에너지
- 02. 역학적 에너지 보존
- 03. 열과 일의 전환



이 단원의 성취 기준 확인

이 단원에서는 등가속도 운동에서 일·운동 에너지 관계와 포물선 운동과 단진자 운동에서 역학적 에너지가 보존됨을 알 수 있다. 또한 열의 일당량 개념을 사용하여 열과 일 사이의 전환을 정량적으로 설명한다.



자기 점검 - 알고 있는 용어에 체크해 보자.

등가속도 운동 운동 에너지 역학적 에너지 원운동
 중력 열 에너지 주기

▶ 체크하지 못한 용어는 인터넷에서 검색해 보자.



학습 계획 세우기 - 성취 기준을 달성하기 위해 어떤 준비를 할 수 있을지 써 보자.

학습 목표를 세우자.

01 일과 운동 에너지

- 등가속도 운동에서 일·운동 에너지 관계를 설명할 수 있다.
- 일·운동 에너지 관계를 일상생활에 적용할 수 있다.

들어가기 | 물체에 일을 하면 에너지도 변할까?

컬링은 둥글고 넓적한 돌을 얼음판에서 목표 지점까지 미끄러뜨려 점수를 얻는 경기이다. 선수가 목표 지점으로 돌을 미는 것은 일을 하는 것일까? 이때 돌의 운동 에너지는 어떻게 될까?



알아보기 | 일과 운동 에너지의 관계

물체에 힘을 작용하여 힘과 나란한 방향으로 물체가 이동하였을 때 물체에 작용한 힘이 일을 하였다고 정의한다. 이때 힘이 물체에 한 일은 작용한 힘의 크기와 물체가 이동한 거리의 곱으로 나타낸다.

그림 I-55와 같이 물체를 크기가 F 인 힘으로 바닥면과 평행하게 밀어 s 만큼 이동시켰을 때 힘이 한 일 W 는 다음과 같다.

$$W = Fs$$



그림 I-55 힘이 나무 도막에 한 일

일의 단위는 J이며, 1 J은 1 N의 힘으로 물체를 1 m 이동시킨 일을 나타낸다.

물체에 힘을 작용하였을 때 물체가 힘의 방향으로 이동할 때도 있지만 물체가 힘을 작용한 방향과 다른 방향으로 이동할 때도 있다. 그림 I-56과 같이 물체가 이동한 방향과 힘의 방향이 θ 의 각을 이룰 때 한 일은 이동한 방향으로 작용한 힘의 크기와 이동 거리의 곱으로 구한다.

$$\begin{aligned} W &= F \cos \theta \times s \\ &= F s \cos \theta \end{aligned}$$

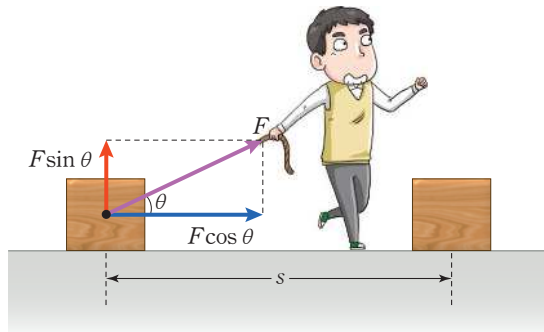




그림 I-56 사람이 한 일

 일의 단위

$$\begin{aligned} 1 \text{ J} &= 1 \text{ N} \cdot \text{m} \\ &= 1 \text{ kg} \cdot \text{m}^2 / \text{s}^2 \end{aligned}$$

 일

$$\begin{aligned} W &= \vec{F} \cdot \vec{s} \\ &= F s \cos \theta \end{aligned}$$

📖 힘과 운동 방향 사이의 각도에 따라 힘이 한 일

θ	$\cos \theta$	$W = Fs \cos \theta$
0°	1	$W > 0$, 양의 일
90°	0	$W = 0$, 일을 하지 않음
180°	-1	$W < 0$, 음의 일

한 물체에 여러 종류의 힘이 작용할 때 각각의 힘이 한 일에 대해 알아보자.

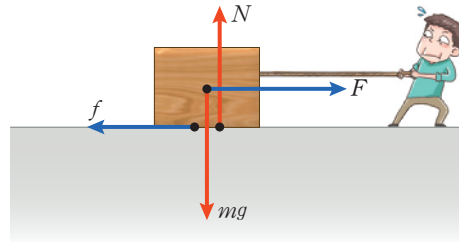
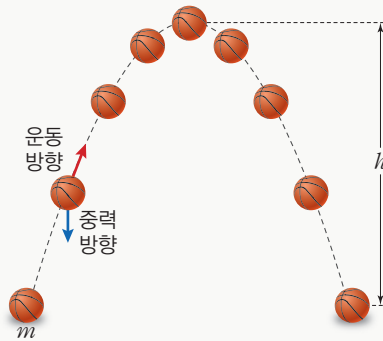


그림 I-57 상자를 당겨 움직일 때 상자에 작용하는 힘

그림 I-57은 바닥 위에 놓인 상자를 당길 때 상자에 작용하는 힘을 나타낸 것이다. 움직이는 상자에 작용하는 힘은 줄이 상자를 당기는 힘 F , 상자가 움직이는 방향과 반대 방향으로 작용하는 마찰력 f , 상자에 작용하는 중력 mg , 바닥이 상자를 떠받치는 수직 항력 N 이다. 이때 줄이 상자를 당기는 힘은 힘의 방향으로 상자를 이동시키므로 양(+)의 일을 하고, 마찰력은 상자의 이동 방향과 반대 방향으로 작용하므로 음(-)의 일을 한다. 그리고 중력과 수직 항력은 상자의 이동 방향과 수직으로 작용하므로 일을 하지 않는다.

예제

그림과 같이 공을 비스듬히 던졌더니 포물선 운동을 하였다. 최고점의 높이가 h , 공의 질량이 m 이라고 하면, 이 공이 바닥에서 출발하여 다시 바닥에 떨어질 때까지 중력이 공에 한 일은 얼마인가? (단, 중력 가속도는 g 이다.)



풀이 1 · 중력이 공에 한 일 = 공이 위로 올라가는 동안 한 일 + 공이 아래로 내려오는 동안 한 일

(1) 공이 위로 올라가는 동안에는 중력의 방향이 공의 연직 이동 방향과 반대이고, 이동 거리는 h 이다. 따라서 중력이 음(-)의 일을 한다.

$$W = F \cos \theta \times s = mg \cos 180^\circ \times h = -mgh$$

(2) 공이 내려오는 동안에는 중력의 방향과 공의 연직 이동 방향이 같고 이동 거리는 h 이다. 따라서 중력이 양(+)의 일을 한다.

$$W = F \cos \theta \times s = mg \cos 0^\circ \times h = mgh$$

그러므로 공이 포물선 운동을 하는 동안 중력이 공에 한 일의 총량은 다음과 같다.

$$-mgh + mgh = 0$$

풀이 2 · 중력은 항상 연직 아래로 일정하게 작용하고, 출발하여 바닥에 떨어질 때까지 공의 변위는 수평 방향으로만 있으므로, 중력이 한 일은 0이다.

힘이 한 일은 이동 방향으로 작용한 힘과 이동 거리의 곱이야.



답 0

| 일·운동 에너지 정리 |

등가속도 운동은 물체에 일정한 알짜힘이 계속 작용하여 가속도가 일정한 운동이다.

그림 I-58과 같이 수평면에서 질량이 m 인 물체에 일정한 알짜힘 F 가 계속 작용하여, 물체가 s 만큼 이동했을 때 속력이 v_0 에서 v 로 변하였다고 하자. 물체가 거리 s 만큼 이동하는 동안 알짜힘 F 가 물체에 한 일 W 는

$$W = Fs = mas$$

이다. 등가속도 직선 운동에서 $2as = v^2 - v_0^2$ 이므로, 위 식에 대입하면

$$W = m \times \frac{v^2 - v_0^2}{2s} \times s = \frac{1}{2}mv^2 - \frac{1}{2}mv_0^2$$

이다. 이는 물체에 해 준 일이 물체의 운동 에너지 E_k 의 변화량과 같다는 것이다.

$$W = \Delta E_k$$

이처럼 알짜힘이 물체에 해 준 일만큼 물체의 운동 에너지가 변한다. 이를 **일·운동 에너지 정리**라고 한다.

컬링에서 선수는 돌에 힘을 작용하고, 돌에 작용한 알짜힘이 한 일만큼 돌의 운동 에너지가 증가한다.

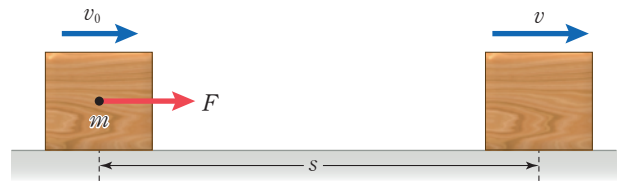


그림 I-58 알짜힘이 물체에 한 일

수평면에서 스노모빌이 짐이 실린 질량이 500 kg인 썰매를 50 m를 끄는 동안 썰매가 등가속도 운동을 하여 속력이 0에서 10 m/s로 증가하였다. 스노모빌이 썰매에 한 일은 몇 J인가? (단, 썰매에 작용하는 마찰력은 무시한다.)

풀이 1 · · 짐이 실린 썰매가 운동하는 동안 가속도의 크기는 다음과 같다.

$$a = \frac{v^2 - v_0^2}{2s} = \frac{(10 \text{ m/s})^2 - (0 \text{ m/s})^2}{2 \times 50 \text{ m}} = 1 \text{ m/s}^2$$

따라서 스노모빌이 썰매에 한 일은 다음과 같이 계산할 수 있다.

$$W = Fs = mas = 500 \text{ kg} \times 1 \text{ m/s}^2 \times 50 \text{ m} = 2.5 \times 10^4 \text{ J}$$

풀이 2 · · 스노모빌이 썰매에 한 일은 썰매의 운동 에너지 변화량으로 계산할 수 있다. 썰매의 운동 에너지 변화량은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} W &= \Delta E_k \\ &= \frac{1}{2} \times 500 \text{ kg} \times ((10 \text{ m/s})^2 - (0 \text{ m/s})^2) = 2.5 \times 10^4 \text{ J} \end{aligned}$$

답 $2.5 \times 10^4 \text{ J}$



예제

물체에 알짜힘을 주어 일을 하면 그만큼 운동 에너지가 증가해.



일·운동 에너지 관계 확인하기



사고력 탐구 능력

목표 물체에 한 일이 운동 에너지로 전환될 때 에너지 보존이 되는지 확인할 수 있다.

준비물 레일, 수레, 속도 측정기, 스탠드, 집게, 자

과정

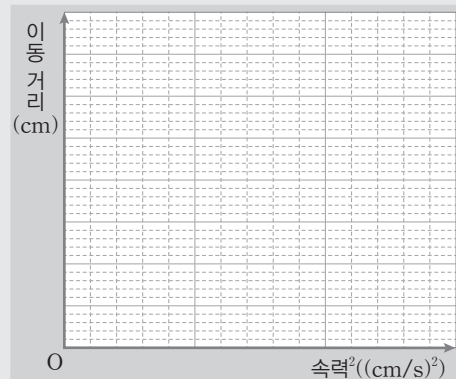
- ① 그림과 같이 수레와 레일을 설치하고 수레가 지나가는 속력을 측정할 수 있도록 속도 측정기를 설치한다.
- ② 속도 측정기를 초기화하고, 수레를 손으로 밀어 움직여서 속도 측정기를 지나 멈추도록 한다.
- ③ 수레가 속도 측정기를 지날 때의 속력과 속력이 측정된 지점부터 수레가 멈춘 지점까지의 거리를 측정하여 기록한다.
- ④ 과정 ②, ③을 4~5회 반복한다. 이때 크기가 다른 힘으로 수레를 밀어 가능한 한 다양한 속력이 측정되도록 한다.



결과 및 정리 1. 측정된 값을 결과표에 적는다.

횟수	수레의 속력(cm/s)	수레가 정지할 때까지 이동한 거리(cm)
1회		
2회		
3회		
4회		
5회		

2. 일의 양과 운동 에너지 변화량의 관계를 확인하기 위해 이동 거리-(속력)² 그래프를 그린다.
3. 수레가 출발하여 정지할 때까지 등가속도 운동을 했다고 가정하면, 실험 결과로부터 마찰력이 수레에 한 일과 수레의 운동 에너지의 변화량 사이에 어떤 관계가 있다고 결론지을 수 있을까?



개념 넓히기 | 자동차의 제동 거리

주행 중인 자동차가 급제동하면 그 자리에 즉시 멈추지 못하고 일정 거리를 더 가서 멈춘다. 그림 I-59와 같이 v_0 의 속력으로 달리던 자동차가 브레이크를 밟은 후 미끄러져 멈추는 동안 운동 방향과 반대 방향으로 일정한 크기의 마찰력이 작용한다고 생각해 보자.



그림 I-59 자동차의 제동 거리

일·운동 에너지 정리에 따르면 마찰력 f 가 자동차에 한 일 W 는 브레이크를 밟기 직전의 자동차의 운동 에너지만큼이어야 한다. 따라서 자동차가 미끄러져 멈추는 동안 이동한 거리를 d 라고 하면

$$W = fd = \frac{1}{2}mv_0^2$$

$$d = \frac{mv_0^2}{2f}$$

이다. 이 식에 의하면 제동 거리는 브레이크가 작동하는 순간의 속력의 제곱에 비례하고 마찰력에 반비례한다. 따라서 마찰력이 작은 눈길이나 빗길에서는 제동 거리가 길어진다. 무엇보다도 브레이크를 밟기 직전 자동차의 속력이 두 배가 되면 제동 거리는 네 배가 된다. 도로에서 차량 사이의 안전거리는 주행 속력에 의해서 결정된다.



그림 I-60 자동차의 정지 거리

📖 자동차의 정지 거리

- 정지 거리 = 공주 거리 + 제동 거리
- 공주 거리: 장애물을 발견하고 브레이크를 밟아 브레이크가 작동할 때까지 이동한 거리이다.
- 제동 거리: 브레이크가 작동한 후 정지할 때까지 이동한 거리이다.

🚗 안전거리

주행 중 앞차와의 사고를 방지하기 위해 유지해야 하는 최소 거리이다.

📖 보통 승용차의 급제동 시 정지 거리

시속 (km/h)	공주 거리 (m)	제동 거리 (m)	정지 거리 (m)
10	3	0.5	3.5
20	6	2	8
30	8	4	12
40	11	8	19
50	14	12	26
60	17	18	35
70	19	24	43
80	22	32	54
90	25	40	65
100	28	49	77

출처: 도로교통공단, 2016.

평가하기

개념 이해

- 1 철수가 무게가 10 N인 가방을 메고 1층에서 7 m 높이의 3층까지 계단을 걸어 올라간다면 철수가 가방에 한 일은 몇 J인가?
- 2 썰매와 아이의 질량의 합이 40 kg이다. 수평면에서 썰매를 탄 아이가 5 m/s로 미끄러지다가 멈추었다. 마찰력이 썰매에 한 일은 몇 J인가?

창의·융합

- 3 물체에 알짜힘이 작용하지만 운동 에너지가 변하지 않는 예를 찾아 설명해 보자.

02 역학적 에너지 보존

- 포물선 운동에서 역학적 에너지가 보존됨을 설명할 수 있다.
- 단진자 운동에서 역학적 에너지가 보존됨을 설명할 수 있다.



들어가기 바이킹이 운동할 때 에너지는 어떻게 변하나?

놀이공원에 있는 바이킹은 높은 곳에서 아래로 내려갈 때에는 속력이 점점 빨라지고 위로 올라갈 때에는 속력이 점점 느려진다. 바이킹이 운동할 때 에너지는 어떻게 될까?

알아보기 역학적 에너지 보존

처음 속력이 0인 자유 낙하 운동에서 에너지 전환 관계를 알아보자.

그림 I-61과 같은 자유 낙하는 대표적인 등가속도 운동이다. 이때 물체에 작용하는 힘은 중력뿐이다. 중력을 mg , 자유 낙하 거리를 h 로 나타내면 자유 낙하 하는 물체가 지표면에 도착할 때까지 중력이 물체에 한 일 W 는 다음과 같다.

$$W = Fs = mgh$$

이렇게 한 물체가 지표면으로부터 높이 h 에 있다면 지표면에 있는 물체보다 mgh 만큼 중력이 물체에 일을 할 수 있는 잠재적 에너지를 더 갖는다. 이러한 에너지를 중력 퍼텐셜 에너지(E_p)라고 한다.

일·운동 에너지 정리에 따르면 중력이 물체에 한 일은 물체의 운동 에너지 변화량과 같다. 따라서 바닥에 도착한 물체의 운동 에너지 변화량 ΔE_k 는 다음과 같다.

$$W = \Delta E_k = \frac{1}{2}m(v^2 - v_0^2) = mgh \quad (v \text{는 나중 속도, } v_0 \text{는 처음 속도})$$

처음 속력이 0인 자유 낙하이므로 지표면에 도착할 때 물체의 운동 에너지의 증가량은 $\frac{1}{2}mv^2$ 이며, 이는 물체가 자유 낙하 하는 동안의 퍼텐셜 에너지의 감소량과 같다. 즉, 중력 퍼텐셜 에너지의 감소량만큼 운동 에너지가 증가한다. 이것을 **역학적 에너지 보존**이라고 한다. 평면상의 운동에서도 역학적 에너지가 보존되는지 알아보자.

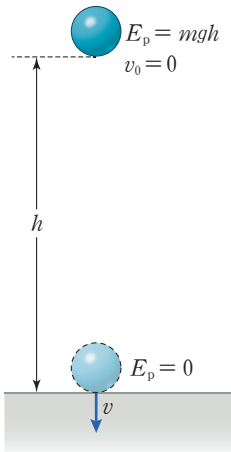


그림 I-61 자유 낙하 하는 공의 퍼텐셜 에너지

책 자유 낙하 운동에서 운동 관계식

$$v = v_0 + gt$$

$$h = v_0 t + \frac{1}{2}gt^2$$

$$2gh = v^2 - v_0^2$$

| 포물선 운동에서 역학적 에너지 보존 |

그림 I-62와 같이 질량이 m 인 공을 지면에서 θ 의 각도로 v_0 의 속력으로 던졌다. 공기 저항을 무시할 때 포물선 운동에서의 역학적 에너지의 변화를 알아보자.

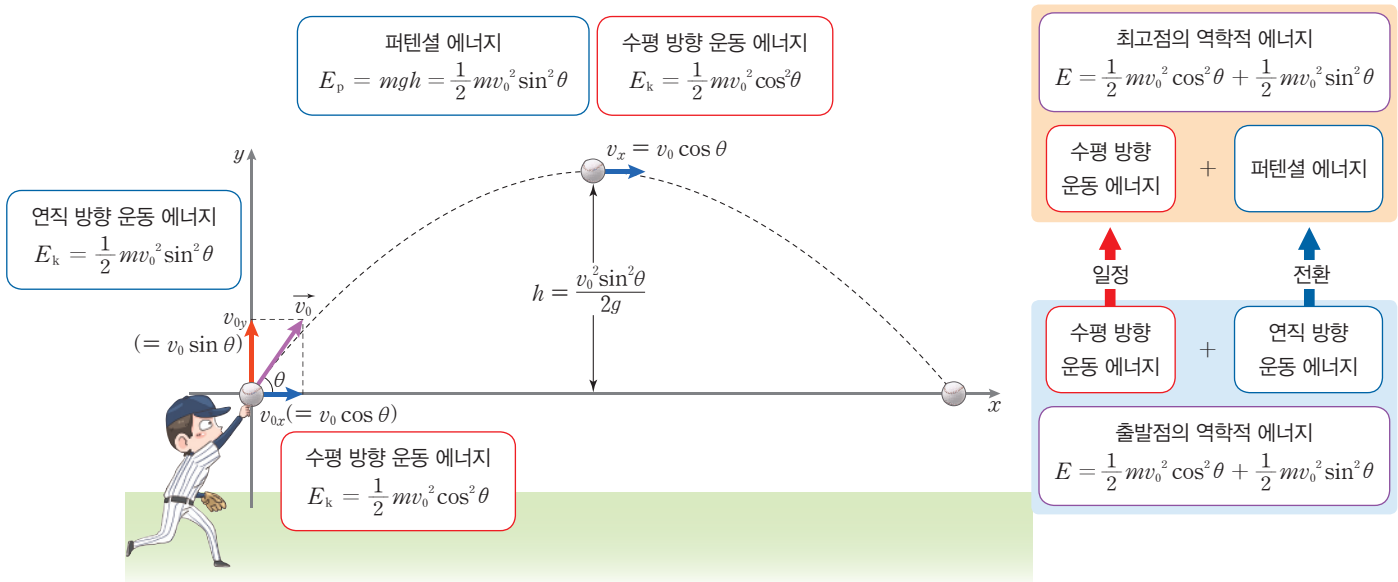


그림 I-62 포물선 운동에서 역학적 에너지 변화

처음에 공이 던져질 때 공의 운동 에너지 E_k 는 $\frac{1}{2}mv_0^2$ 이다. 출발점을 퍼텐셜 에너지의 기준으로 하면 출발할 때 공의 퍼텐셜 에너지 E_p 는 0이 된다. 따라서 출발점에서 공이 갖는 역학적 에너지 E 는

$$\text{출발점: } E = E_k + E_p = \frac{1}{2}mv_0^2 + 0 = \frac{1}{2}mv_0^2$$

이다. 출발점에서의 운동 에너지는 수평 방향의 속력($v_0 \cos \theta$)과 연직 방향의 속력($v_0 \sin \theta$)에 대한 운동 에너지로 다음과 같이 다시 쓸 수 있다.

$$\text{출발점: } E_k = \frac{1}{2}mv_0^2 \cos^2 \theta + \frac{1}{2}mv_0^2 \sin^2 \theta \dots\dots ①$$

최고점 h 에 도착했을 때의 에너지를 생각해 보자. 최고점에서 공의 연직 방향의 속력은 0이고, 수평 방향의 속력은 $v_0 \cos \theta$ 이다. 따라서 최고점에서의 운동 에너지는

$$\text{최고점: } E_k = \frac{1}{2}mv_0^2 \cos^2 \theta \dots\dots ②$$

이다. 포물선 운동에서 최고점의 높이 h 는 $\frac{v_0^2 \sin^2 \theta}{2g}$ 이므로, 최고점에서의 퍼텐셜 에너지 E_p 는

$$\text{최고점: } E_p = mgh = \frac{1}{2}mv_0^2 \sin^2 \theta$$

이다. 따라서 최고점에서 공이 갖는 역학적 에너지는 다음과 같다.

$$\text{최고점: } E = E_k + E_p = \frac{1}{2}mv_0^2 \cos^2 \theta + \frac{1}{2}mv_0^2 \sin^2 \theta = \frac{1}{2}mv_0^2$$

이 식은 출발점에서 공이 갖는 역학적 에너지와 같다. 즉, 포물선 운동에서 역학적 에너지는 일정하게 보존됨을 알 수 있다. 공이 최고점에서 다시 지면으로 내려올 때는 올라갈 때와 반대로 퍼텐셜 에너지는 감소하고 운동 에너지는 증가한다.

연계 학습
포물선 운동 ▶ 31쪽 참조



그림 I-63 진자 운동을 하는 시계의 추

| 단진자의 주기 |

그림 I-63과 같이 추가 달린 시계를 보면 시계의 추가 1초에 한 번씩 왕복 운동을 한다. 이렇게 줄에 매달려 일정한 주기로 왕복하는 운동을 **진자 운동**이라고 한다. 그중에서 물체가 작은 폭으로 왕복하는 운동을 **단진자 운동**이라고 한다. 단진자 운동에서는 줄에 매달린 물체를 질량이 있으나 크기가 없는 '점'으로 취급하며, 줄의 질량과 모든 마찰은 무시한다.

그림 I-64와 같은 단진자 운동에서 진자가 한 번 왕복하는 데 걸리는 시간인 주기(T)는 다음과 같다.

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$$

단진자의 주기는 진자의 길이 l 과 중력 가속도 g 에만 영향을 받는다. 진자의 길이가 4배가 되면 주기는 2배가 된다. 그러나 진자의 질량이나 진폭(θ)은 주기와 관계 없다. 단진자의 주기에 영향을 주는 요인을 알아보자.

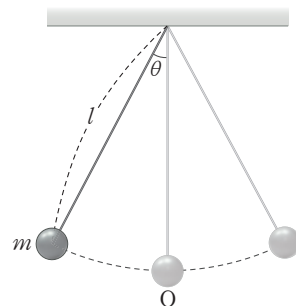


그림 I-64 단진자 운동의 주기

미니 탐구

단진자의 진동 주기

목표

단진자의 진동 주기에 영향을 주는 요인을 알 수 있다.

주의 사항

진자의 길이는 진자를 고정한 지점에서 추의 중앙까지로 한다. 질량에 따라 추의 크기가 달라지므로 추를 바꾸면 진자의 길이를 다시 측정하여 실의 길이를 조절한다.

준비물

스탠드, 실, 자, 추(50 g, 100 g), 각도판

- 1 그림과 같이 실의 한쪽은 스탠드에 고정하고, 다른 한쪽에 질량이 50 g인 추를 매달아 진자의 길이가 1 m가 되도록 한다.
- 2 추를 진동 중심으로부터 각도가 10° 가 되도록 당겼다 놓은 후 10회 왕복하는 데 걸리는 시간을 측정한다.
- 3 진자의 길이가 $\frac{1}{4}$ 로 줄어들면 주기가 얼마나 변할까? 진자의 길이를 0.25 m로 하여 과정 2를 반복한다.
- 4 질량이 2배가 되면 주기는 얼마나 변할까? 진자의 길이가 1 m, 질량이 100 g인 추를 사용하여 과정 2를 반복한다.

- 1 진자의 길이와 주기 사이의 관계는 예상과 일치하는가?
- 2 진자의 질량과 주기 사이의 관계는 예상과 일치하는가?



| 단진자 운동에서 역학적 에너지 보존 |

공기의 저항을 무시할 때 진자의 운동에서 역학적 에너지는 어떻게 변할까? 그림 I-65와 같이 단진자가 진동을 할 때 진자의 높이는 진동 궤도의 중앙에서 가장 낮고 양 끝점에서 가장 높다. 진자는 진동 궤도의 양 끝점에서 순간적으로 멈추고 방향을 바꾸어 진동한다. 따라서 진자의 퍼텐셜 에너지는 양 끝점에서 최대이고, 중앙점에서 최소이다. 즉, 진자가 한쪽 끝에서 운동을 시작할 때 퍼텐셜 에너지는 최대이고, 진동 궤도의 중앙으로 갈수록 퍼텐셜 에너지가 감소하다가 중앙점에서 최소가 되고 다시 올라가면서 퍼텐셜 에너지가 증가한다. 포물선 운동에서와 마찬가지로 진자의 운동 중 진자가 출발점에서 아래 방향으로 운동할 때 증가하는 운동 에너지는 감소하는 퍼텐셜 에너지의 양과 같고, 중앙점을 지나 출발점과 같은 높이에 다다르는 동안 감소하는 운동 에너지는 증가하는 퍼텐셜 에너지와 같다는 가설을 세울 수 있다. 다음 탐구에서 이를 알아보자.

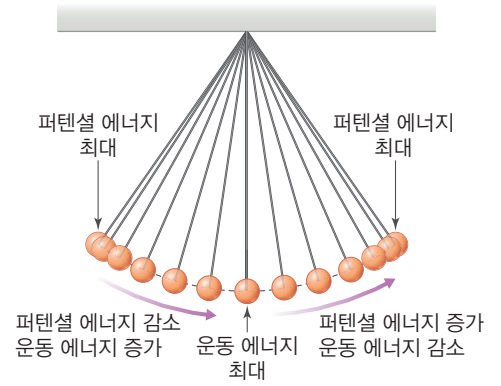


그림 I-65 단진자 운동에서의 역학적 에너지 변화

탐구

진자의 역학적 에너지 전환

목표 진자의 운동에서 역학적 에너지가 보존되는지 알 수 있다.

준비물 속력 측정기, 실, 추(100 g), 스탠드, 자, 각도판, 계산기

과정

- ① 질량이 100 g인 추를 실로 스탠드에 매달아 진자의 길이가 1 m가 되게 한다.
- ② 그림과 같이 진자 진동 궤도의 중앙점에 속력 측정기를 설치하여 진자가 지나갈 때의 속력을 측정하게 한다.
- ③ 추를 진동 중심으로부터 각도가 15°가 되도록 당기고 추가 중앙점으로부터 올라간 연직 높이를 측정한다.
탐구 도움말 진동 중심에서 끝점까지의 높이는 $l(1 - \cos\theta)$ 로 구할 수도 있다.
- ④ 추를 놓은 후 추가 중앙점을 지날 때 속력을 측정한다.
탐구 도움말 추가 한 번 속력 측정기를 지나면 재빨리 잡아 정지시킨다.

결과 및 정리

1. 진자 진동의 끝점에서 퍼텐셜 에너지를 계산해 보자.
(단, $\cos 15^\circ = 0.97$, 중력 가속도 $g = 9.8 \text{ m/s}^2$, 진자의 진동 궤도의 중앙점에서의 퍼텐셜 에너지를 0으로 한다.)
2. 측정된 속력을 이용하여 중앙점에서의 운동 에너지를 계산해 보자.
3. 끝점에서의 퍼텐셜 에너지와 중앙점에서의 운동 에너지의 값을 비교하고, 어떤 관계가 있는지 설명해 보자.



공기의 저항을 무시할 때 진자의 운동에서 진자의 퍼텐셜 에너지가 감소한 만큼 운동 에너지가 증가한다. 따라서 단진자 운동에서도 역학적 에너지는 일정하게 보존된다. 진자가 출발점에서 진동 궤도의 최저점인 중앙점에 도달할 때까지 퍼텐셜 에너지의 감소량은 진자가 중앙점에서 갖는 운동 에너지와 같게 된다.

그림 I-66과 같이 길이가 l 인 줄에 질량이 m 인 물체가 매달려 진동을 한다고 하자. 진폭을 θ , 중앙점과 양 끝점의 높이 차이를 h 라고 하면, $h = l(1 - \cos\theta)$ 이다.

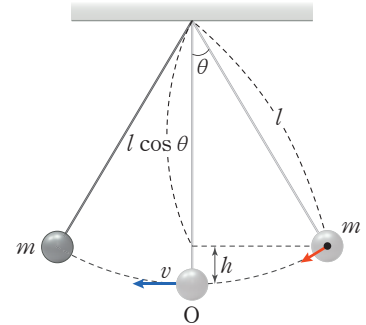


그림 I-66 진자의 운동

물음 역학적 에너지 보존을 이용하여 계산한 중앙점에서 진자의 속력이 69쪽 탐구의 과정 ㉔에서 측정한 진자의 속력과 일치하는가?

역학적 에너지 보존을 이용하면 진자가 진동 궤도의 중앙점을 지나는 순간의 속력을 쉽게 알 수 있다. 진자의 출발 지점으로부터 중앙점까지의 퍼텐셜 에너지 감소량이 중앙점에서의 운동 에너지와 같으므로

$$E_k = \Delta E_p = \frac{1}{2}mv^2 = mgh$$

이다. 따라서 진자가 진동 궤도의 중앙점에서 갖는 속력은 다음과 같다.

$$v = \sqrt{2gh} = \sqrt{2gl(1 - \cos\theta)}$$

그러므로 진자의 길이와 진폭만 알면 진자가 진동 궤도의 중앙점을 지날 때의 속력을 알 수 있다. 진동 궤도의 중앙점에서 운동 에너지가 최대가 되므로 중앙점을 지나는 속력이 진자의 최대 속력이다.

놀이공원의 바이킹은 어느 위치에서나 총역학적 에너지가 일정하므로 궤도의 중앙점을 지날 때 퍼텐셜 에너지가 가장 작고 운동 에너지가 가장 커서 속력이 최대가 된다.

창의력 키우기

주기가 2초인 단진자를 중력이 지구보다 4배 큰 행성으로 가져 간다면, 진자의 주기는 어떻게 변할까? 이 행성에서도 진자의 운동 중 역학적 에너지가 보존될까?

예제

달 표면에서의 중력 가속도는 지구 표면에서의 중력 가속도의 $\frac{1}{6}$ 이다. 지구 표면에서 단진동 하는 어떤 추의 최대 운동 에너지가 60 J일 때, 이 단진자를 달에 가져가서 동일한 단진동을 시켰을 때 최대 운동 에너지는 몇 J인가?

풀이 ·· 지구 표면에서 단진자의 최대 운동 에너지는 $\frac{1}{2}mv^2 = mgl(1 - \cos\theta)$ 이다. 달에서는 중력 가속도 g 가 $\frac{1}{6}g$ 가 되고 다른 값들은 변하지 않으므로 달에서의 최대 운동 에너지는 지구의 $\frac{1}{6}$ 인 10 J이다.

답 10 J

질량은 지구에서나 달에서나 변하지 않아.



개념 넓히기 마찰력과 역학적 에너지

그림 I-67과 같이 진자의 운동에서 진자에 작용하는 힘은 중력과 장력뿐이다. 중력과 장력에 의해 진자가 운동을 하는 동안 퍼텐셜 에너지와 운동 에너지는 서로 전환되지만 그 총량은 변하지 않는다. 즉, 역학적 에너지가 보존되므로, 단진자가 진동을 시작하면 멈추지 않고 계속 진동을 한다. 그런데 실제로 진자는 진동을 시작한 후 그대로 두면 진폭이 줄면서 결국 멈춘다. 왜 그럴까?

장력은 항상 진자의 운동 방향과 수직으로 작용하므로, 장력이 진자에 하는 일은 0이다. 따라서 그림 I-68의 (가)와 같이 마찰력이 없을 때는 중력이 진자에 하는 일만 생각하면 된다. 진자가 최저점을 향해 내려갈 때는 중력의 운동 방향 성분과 운동 방향이 같은 방향이므로 중력이 진자에 하는 일은 양(+)이다. 반대로 진자가 최저점을 지나 올라갈 때는 중력의 운동 방향 성분과 운동 방향이 반대 방향이므로 중력이 진자에 하는 일은 음(-)이다. 그러므로 진자가 한 번 진동하는 동안 중력이 진자에 한 양(+)의 일과 음(-)의 일이 상쇄되어 그 합은 0이 된다. 따라서 진자의 운동에서 역학적 에너지는 보존된다.

그림 (나)와 같이 진자에 마찰력이 작용할 때는 마찰력이 항상 운동 방향과 반대 방향으로 작용하므로 마찰력이 진자에 한 일은 항상 음(-)이다. 따라서 진자의 역학적 에너지는 보존되지 않는다.

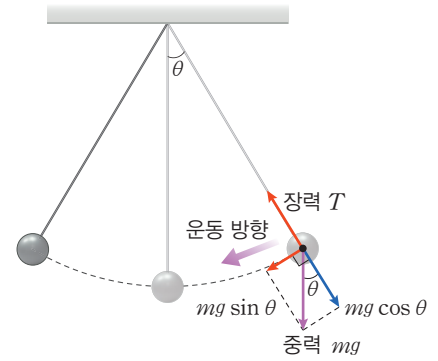


그림 I-67 진자 운동에서 장력의 작용 | 진자의 운동에서 진자의 운동 방향은 매 순간 궤도의 접선이 되므로 장력과 진자의 운동 방향은 항상 직각을 이룬다.

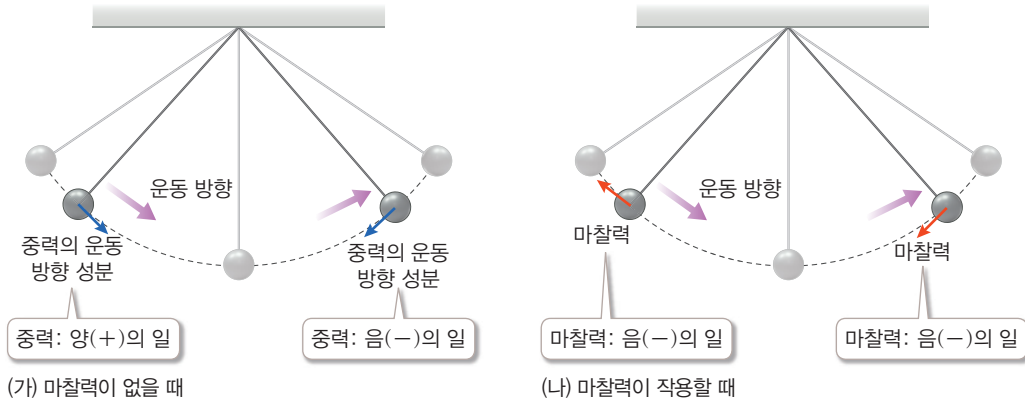


그림 I-68 단진자 운동에서 역학적 에너지 보존

평가하기

개념 이해

- 1 지면에서 θ 의 각도로 던져 올린 물체가 위로 갈수록 증가하는 에너지는 무엇인가?
- 2 단진자 운동에서 운동 에너지가 최소가 되는 지점은 진동 궤도의 어디인가?

창의·융합

- 3 그네를 탈 때 앉아서 탈 때와 서서 탈 때 언제 더 빨리 진동할까? 왜 그런지 설명해 보자.

03 열과 일의 전환

- 열과 일 사이의 관계를 설명할 수 있다.
- 열의 일당량 개념을 사용하여 열과 일 사이의 전환을 정량적으로 설명할 수 있다.



들어가기 | 식품의 열량은 무슨 뜻일까?

대부분 가공식품의 포장지에는 식품이 내는 열량이 적혀 있다. 식품의 열량은 무슨 뜻일까? 식품의 열량은 어떻게 알 수 있을까?

알아보기 | 열과 열의 일당량

| 열량 |

뜨거운 물체와 찬 물체를 서로 접촉시키면 뜨거운 물체의 온도는 내려가고, 찬 물체의 온도는 올라간다. 이처럼 물체의 온도가 변하는 동안 열이 온도가 높은 물체에서 온도가 낮은 물체로 이동하는데, 이동한 열량은 물체의 온도 변화로 알 수 있다.

비열이 c , 질량이 m 인 물체가 열을 잃거나 얻어 온도가 ΔT 만큼 변했다면, 이 물체가 잃거나 얻은 열량 Q 는 다음과 같이 계산할 수 있다.

📖 비열

물질 1 kg의 온도를 1 K 올리는 데 필요한 열량으로, 단위는 kcal/kg·K이다. 공기층의 비열은 0.5 kcal/kg·K이고, 물의 비열은 1 kcal/kg·K이다. 비열이 높으면 천천히 뜨거워지고 천천히 식는다.

열량

$$Q = cm\Delta T$$

열량의 단위는 J(줄)을 사용하고, 일상생활에서는 열량의 단위로 kcal(킬로칼로리)를 많이 사용한다. 1 kcal는 순수한 물 1 kg의 온도를 1 K 높이는 데 필요한 열량이다.

그림 I-69와 같이 식품의 열량을 측정하려면 열량을 측정하려는 식품을 단열된 용기에 넣고 물에 담근 후 연소시킨다. 식품이 완전히 연소했을 때 상승한 물의 온도를 측정하고 열량을 계산하여 식품의 열량을 알아낸다.

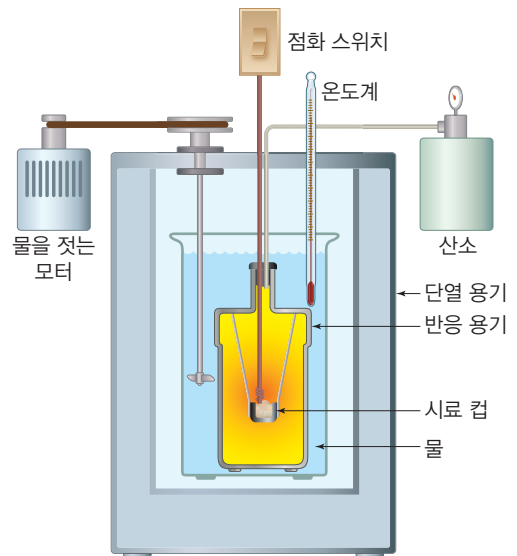


그림 I-69 식품의 열량 측정 방법

라면 요리를 위해 물을 끓이는 데 필요한 열량은 얼마일까?

풀이 · · 라면 1개는 통상 550 mL의 물로 끓인다. 보통 상온(25 °C)의 물을 쓴다고 하면 라면을 넣기 직전까지 물을 끓이는 데 필요한 열량은 다음과 같다.

$$Q = cm\Delta T = 1 \text{ kcal/kg}\cdot\text{K} \times 0.55 \text{ kg} \times (100 - 25) \text{ }^\circ\text{C} = 41.25 \text{ kcal}$$

답 41.25 kcal

1 mL는 물 1 g의
부피이야.



| 열의 일당량 |

열의 본질은 무엇일까? 예전 사람들은 열이 역학적 현상과 관계가 없다고 여겼다. 열의 본질이 열소라고 생각한 사람들은 모든 물질에는 열소가 포함되어 있으며, 열이 발생하는 것은 열소가 밖으로 빠져나오기 때문이라고 설명하는 열소설을 믿었다.

그런데 1798년 럼퍼드가 열소설에 의문을 제기하였다. 그는 말을 이용하여 드릴을 돌려서 대포의 포신을 깎는 일을 감독하였는데, 대포의 포신을 깎을 때 엄청나게 많은 열이 발생하는 것을 발견하였다. 열소 이론대로라면 쇠를 오래 깎은 뒤에는 열이 나오지 않아야 하지만 포신을 깎으면 깎을수록 더 많은 열이 나오는 현상을 이해할 수 없었던 것이다. 그래서 열은 열소에 의해서 발생하는 것이 아니라 두 물체의 마찰에 의해 발생한다고 생각하였다.

럼퍼드의 영향을 받은 영국의 물리학자 줄은 실험을 통하여 역학적 에너지가 열에너지로 변환되는 비율을 알아내었다.

줄의 실험 장치는 높은 곳에 있는 추가 떨어지면서 물속의 회전 날개를 돌려 물의 온도를 높이도록 한 것이다. 추의 중력 퍼텐셜 에너지가 운동 에너지로 전환되고, 운동 에너지가 열에너지로 변환되는 원리를 이용한다. 줄은 이 장치로 일이 열로 변환되는 비율을 알아내었다. 또한 일이 열로 변환되는 비율이 항상 일정할 것이라고 주장하였다.



럼퍼드(Rumford, B. T., 1753~1814) 영국령 북아메리카에서 태어난 영국인으로, 유럽 각국에서 활약한 물리학자이자, 군인, 정치가이다.



줄(Joule, J. P., 1818~1889) 영국의 물리학자인 줄은 열과 다른 형태의 에너지가 동일하다는 것과 에너지 보존 원리를 정립하였다.

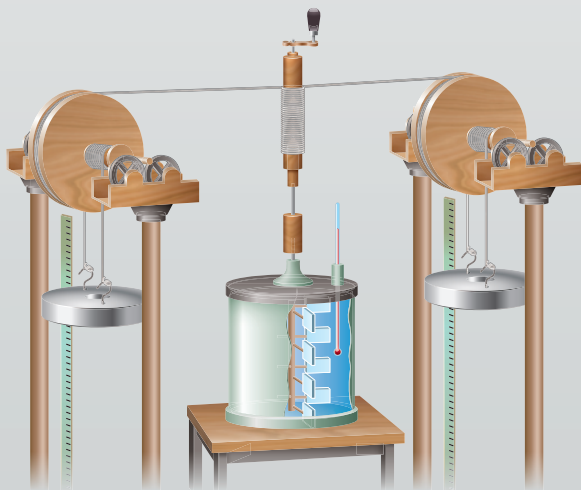


그림 1-70 줄의 실험 장치

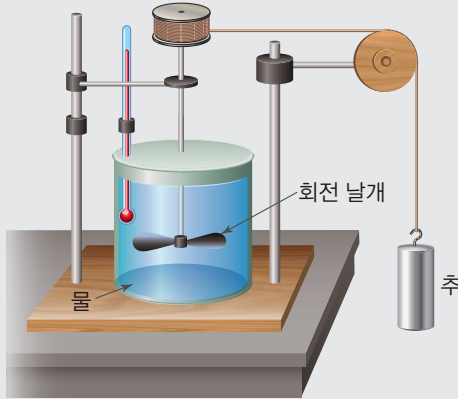


▲ 실제로 줄이 사용한 장치

열과 일의 관계

목표 열의 일당량을 알 수 있다.

자료 그림과 같이 줄의 실험과 비슷한 장치를 이용하여 물의 온도 변화를 측정한 결과가 다음 표와 같다.



물의 질량	200 g
물의 온도 변화	0.35 °C
추의 질량	2 kg
추의 낙하 거리	1.4 m
추의 낙하 횟수	10회

분석

1. 이 실험에서 에너지가 어떻게 전환되는지 모둠별로 토의해 보자.

●	
●	
●	
●	
●	
●	



2. 추가 낙하하면서 감소한 중력 퍼텐셜 에너지를 계산해 보자.
3. 물의 온도가 올라간 까닭은 무엇인가?
4. 단열된 용기 내부의 물의 온도를 높이는 데 든 열량을 계산해 보자.
5. 중력에 의한 일이 열로 바뀐 비율을 구해 보자.

단위 변환
 4.2 J/cal
 $= 4.2 \times 10^3 \text{ J/kcal}$

탐구에서 역학적 일이 열로 전환되는 비율을 구하였다. 또 추가 내려가면서 한 일만큼 물의 온도가 올라간다. 즉, 발생한 열량 Q 는 추가 한 일 W 에 비례하므로, 비례상수 J 를 써서 식으로 표현하면 다음과 같다.

$$W = JQ$$

여기서 J 를 열의 일당량이라고 한다. 정밀한 실험으로 밝힌 J 는 4.2 J/cal 이다. 즉, 1 cal 의 열에너지가 4.2 J 의 역학적 에너지에 해당한다는 뜻이다.

개념 넓히기 열과 에너지 보존

럼퍼드가 마찰에 의한 열의 발생을 발견한 것과 줄의 실험은 에너지의 형태가 변해도 그 양은 보존된다는 것을 보여 준다. 줄의 실험 장치에서는 추가 낙하하면서 한 일이 열로 전환된다.

역학적 일이 열로 변환되는 경우는 흔히 볼 수 있다. 예를 들면, 믹서가 회전할 때 회전 날개의 역학적 에너지가 열에너지로 전환되어 액체의 온도가 올라간다. 망치로 못을 박을 때에도 여러 번 두드리면 못의 머리 부분에 열이 발생하여 뜨거워진다.

이처럼 외부에서 계에 해 준 일만큼 물체의 내부 에너지가 증가해 온도가 올라가고, 열이 발생한다. 이것을 **열역학 제1법칙**이라고 한다. 계에 출입하는 열을 Q , 계의 내부 에너지 변화를 ΔU , 계가 하거나 받는 일을 W 로 나타내면 열역학 법칙은 다음과 같다.

열역학 제1법칙

$$Q = \Delta U + W$$

열역학 제1법칙은 열 현상을 포함한 포괄적인 에너지 보존 법칙이다. 한편 열기관에서는 열이 일로 전환된다. 자동차나 제트기의 엔진 등이 대표적인 열기관이다.



그림 I-71 일과 열의 전환

열역학 제1법칙에서 부호 계가 일을 받으면 $W < 0$, 계가 일을 하면 $W > 0$, 계가 주위로 열을 방출하면 $Q < 0$, 계가 주위에서 열을 흡수하면 $Q > 0$ 으로 정한다.



▲ 제트기의 엔진

그림 I-72 열과 일의 전환

평가하기

개념 이해

1 열의 일당량의 의미는 무엇인가?

창의·융합

2 과자 한 봉지에 열량이 400 kcal로 표시되어 있다. 이 과자의 열량을 J 로 환산해 보자.

3 가로와 세로가 각각 25 m이고 깊이가 5 m인 수영장에 물이 가득 차 있다. 이 물의 온도를 $0.1\text{ }^\circ\text{C}$ 높이기 위해 무게가 600 N인 사람이 수영장 수면에서 10 m 높이의 다이빙대에서 몇 명이나 다이빙을 해야 할까? (단, 사람의 체온에 의한 효과는 무시한다.)



중단원 정리하기

> 핵심 내용 정리하기

일과 운동 에너지

1. 일: 물체에 힘을 작용하여 물체가 힘의 방향으로 이동했을 때 일을 했다고 한다.

① 일은 힘의 크기와 이동 거리의 곱이다.

$$W = Fs$$

② 힘의 방향과 이동 방향이 θ 의 각을 이룰 때의 일:

$$W = \text{①} \square \square$$

2. 일: 운동 에너지 정리: 물체에 알짜힘이 작용하여 물체에 해 준 일만큼 물체의 ② $\square \square$ 에너지가 변한다.

$$W = \Delta E_k$$

물공 ① s·g·s·o·s·y ① | 리유

>> 기초 개념 익히기

1 가방을 손에 들고 수평으로 100 m를 이동하였다. 손이 가방을 당기는 힘이 가방에 한 일은 몇 J인가?

2 정지해 있던 바퀴 달린 가방을 끌어 1000 J의 일을 하였다. 이 가방의 질량이 20 kg이고, 바퀴와 지면 사이에 마찰력이 없다면, 가방의 속력은 몇 m/s인가?

역학적 에너지 보존

1. 포물선 운동에서 역학적 에너지 보존

① 공기 저항 등 마찰력을 무시할 때, 포물선 운동을 하는 물체의 역학적 에너지는 일정하게 ① $\square \square$ 된다.

② 포물선 운동 하는 물체는 최고점에서 퍼텐셜 에너지가 가장 크고, ② $\square \square$ 에너지는 가장 작다.

2. 진자 운동에서 역학적 에너지 보존

① 진자의 주기: 진자의 주기는 진자의 길이에 관계있고, 진자의 질량이나 진폭에 관계없다.

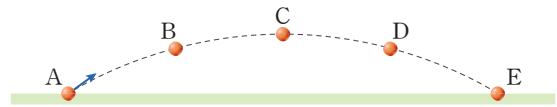
$$T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$$

② 공기 저항 등 마찰력을 무시할 때, 운동 중 진자의 ③ $\square \square$ 에너지는 보존된다.

③ 진자 운동에서 중력 퍼텐셜 에너지가 가장 클 때 운동 에너지는 가장 작다.

리유 ① 물공 ② s·g·s·o·s·y ① | 리유

3 그림과 같이 공을 비스듬히 위로 던졌을 때 공의 운동 에너지가 가장 큰 지점은 어디인가?



4 무게가 20 N인 추가 길이가 1 m인 줄에 매달려 왕복 운동 하고 있다. 이 추가 정지한 순간에 연직선과 60°의 각도를 이룬다면, 이 추가 갖는 최대 운동 에너지는 몇 J인가?

열과 일의 전환

1. 열: 열은 에너지의 한 형태이며, 열과 일은 서로 전환된다.

2. 열의 ① $\square \square \square$: 일이 열로 변환되는 비율이다.

$$J = 4.2 \text{ J/cal}$$

3. 열역학 제1 법칙(에너지 보존 법칙): 한 계에서 열 출입이 있을 때, 열과 일은 서로 ② $\square \square$ 되며 전체 에너지는 보존된다.

$$Q = \Delta U + W$$

리유 ① 물공 ② s·g·s·o·s·y ① | 리유

5 줄의 실험 장치에서는 추가 내려가면서 한 ()만큼 물의 온도가 올라간다.

6 외부에서 계에 해 준 일만큼 물체의 ()가 올라가고, 열이 발생한다.

개념 확인하기

1 지면에서 30°의 각으로 공을 비스듬히 위로 던져 5 m 담장을 넘기려고 한다. 처음 속력 v_0 을 적어도 얼마로 해야 할까? (단, 중력 가속도는 10 m/s^2 이고, 공기 저항은 무시한다.)

- ① 5 m/s ② 10 m/s ③ 15 m/s
- ④ 20 m/s ⑤ 30 m/s

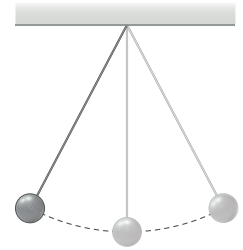
2 수평면에서 v_0 의 속력으로 비스듬히 위로 공을 던졌다. 이에 대한 설명으로 옳은 것만을 보기에서 있는 대로 고른 것은?

보기

- ㄱ. 최고점에서 연직 방향의 속력은 0이다.
- ㄴ. 최고점에서 운동 에너지는 최소이다.
- ㄷ. 던진 공이 다시 지면으로 떨어지는 순간 운동 에너지는 최소가 된다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄷ
- ④ ㄱ, ㄴ ⑤ ㄴ, ㄷ

3 그림은 단진자 운동을 나타낸 것이다. 이에 대한 설명으로 옳은 것만을 보기에서 있는 대로 고른 것은? (단, 공기 저항과 마찰은 무시한다.)



보기

- ㄱ. 진자의 역학적 에너지는 항상 일정하다.
- ㄴ. 진자의 주기는 진자가 무거울수록 느리다.
- ㄷ. 진자가 가장 낮은 곳을 지날 때 운동 에너지가 가장 크다.

- ① ㄱ ② ㄱ, ㄴ ③ ㄱ, ㄷ
- ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

4 열의 일당량을 구하기 위해 줄이 한 실험에 대한 설명으로 옳은 것만을 보기에서 있는 대로 고른 것은?

보기

- ㄱ. 줄의 실험은 역학적 에너지가 열로 전환되는 비율을 측정한다.
- ㄴ. 줄의 실험 장치는 퍼텐셜 에너지를 운동 에너지로 전환한 뒤 마찰에 의해 열에너지로 전환하는 장치이다.
- ㄷ. 줄의 실험에서 물을 더 많이 사용할수록 역학적 에너지가 열로 전환되는 비율이 증가한다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄷ
- ④ ㄱ, ㄴ ⑤ ㄴ, ㄷ



평가 점수에 따라 별에 색칠하세요

- 1 물체에 해 준 일로부터 물체의 운동 에너지 변화를 정량적으로 설명할 수 있는가? ☆☆☆☆☆
- 2 포물선 운동과 단진동에서 역학적 에너지 보존을 정량적으로 설명할 수 있는가? ☆☆☆☆☆
- 3 물체에 해 준 일이 열로 전환되는 사례를 정량적으로 설명할 수 있는가? ☆☆☆☆☆



단원 마무리



● **핵심 개념 설명하기** 다음은 이 단원에서 배운 핵심 개념이다. 주어진 용어를 사용하여 설명하시오.

케플러 제3법칙과 중력 법칙

- 공전 주기, 긴반지름, 구심력

일반 상대성 이론

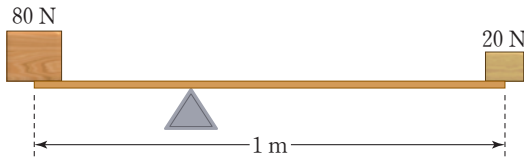
- 등가 원리, 중력 질량, 관성 질량, 중력 렌즈 효과

역학적 에너지 보존과 열과 일의 전환

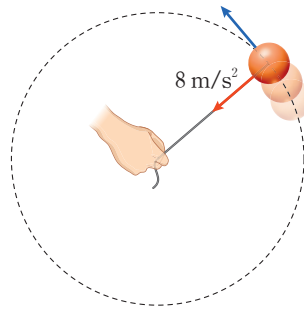
- 운동 에너지, 퍼텐셜 에너지, 열의 일당량

실력 평가하기

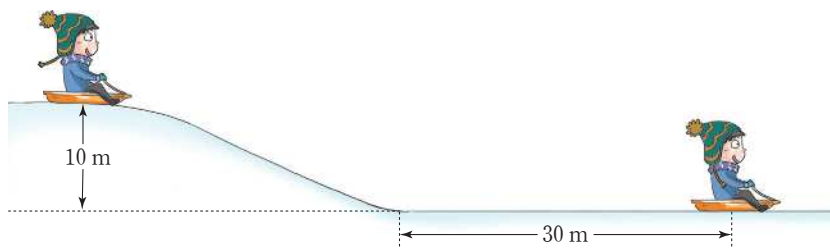
- 1 그림과 같이 길이가 1 m인 막대를 이용하여 무게가 각각 80 N과 20 N인 두 물체를 수평이 되도록 하려면 받침대를 어느 위치에 놓아야 할까? (단, 막대의 질량은 무시한다.)



- 2 그림과 같이 등속 원운동을 하는 물체의 구심 가속도의 크기가 8 m/s^2 이다. 이 물체가 속력의 변화 없이 반지름이 두 배인 원 궤도를 따라 운동하려면 구심 가속도의 크기는 얼마가 되어야 하는가?



- 3 한 아이가 마찰이 없는, 눈으로 덮인 10 m 높이의 언덕 위에서 정지한 썰매를 타고 내려오다가 마찰이 있는 수평면을 만나 일정한 크기의 마찰력을 받아 30 m를 더 운동하고 멈추었다. 아이와 썰매를 합한 무게가 300 N일 때, 썰매와 수평면 사이의 마찰력이 썰매에 한 일과 마찰력의 크기는 각각 얼마인가?



핵심 바로 알기

돌림힘의 평형

물체가 지레에 작용하는 돌림힘의 합이 0이 되면 지레는 수평을 유지한다.

➔ 19쪽

등속 원운동

등속 원운동은 구심 가속도의 크기가 일정한 원운동이다.

➔ 37쪽

일-운동 에너지 정리

알짜힘이 물체에 해 준 일은 물체의 운동 에너지 변화량과 같다.

➔ 63쪽

핵심 역량 키우기

과학적 사고력

- + 과학적 의사소통 능력
- + 과학적 탐구 능력

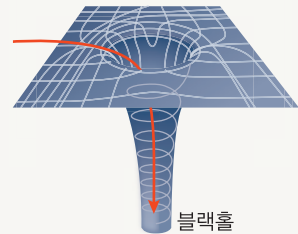
- 7 기어가 장착된 자전거는 평지에서 달릴 때는 고속 기어를 사용하고, 언덕을 올라갈 때는 저속 기어를 사용한다. 언덕을 올라갈 때 저속 기어를 사용하면 올라가기 쉬운 까닭을 쓰시오.



과학적 문제 해결력

- + 과학적 의사소통 능력
- + 과학적 탐구 능력

- 8 블랙홀은 시공간이 극단적으로 휘어 있어 빛조차도 빠져 나올 수 없는 천체이다. 그림과 같이 블랙홀 근처를 지나 는 빛이 휘어진 공간을 따라 블랙홀로 빨려 들어가므로 블랙홀은 아무것도 없는 검은 공간처럼 보인다. 블랙홀을 찾아내는 방법을 생각해 보자.



과학적 문제 해결력

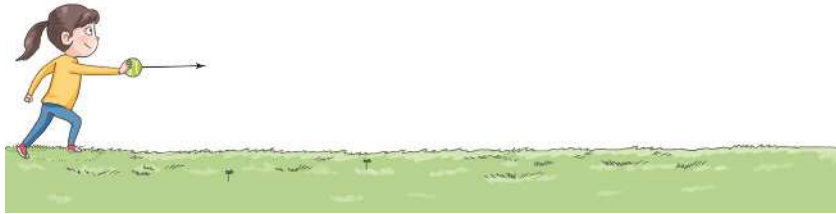
- + 과학적 의사소통 능력
- + 과학적 탐구 능력

- 9 열역학 제1법칙은 에너지는 형태가 변해도 그 양은 보존이 된다는 뜻이다. 에너지가 보존된다 면 왜 에너지 절약이 필요한지 예를 들어 설명해 보자.

- 과학에서는 실제 현상을 설명하는 과정에서 모델을 만들어 표현하고, 그것을 이용하여 새로운 현상을 예측하기도 한다. 포물선 운동을 하는 물체의 경로에 대한 모델을 만들어 활용해 보자.

사전 활동 포물선 운동의 경로를 그려 보고 예측해 보기

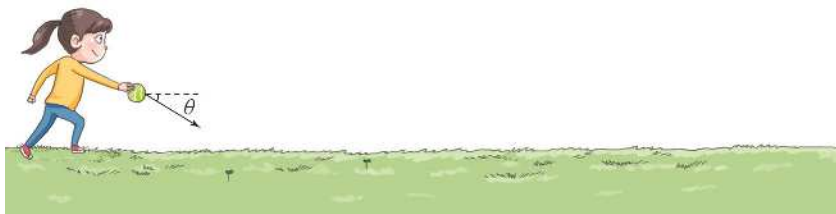
1. 처음 속도 v_0 로 수평으로 던진 공의 운동 경로를 예측하여 그리고, 0.1초, 0.2초, 0.3초, 0.4초일 때 공의 위치를 표시한다.



2. 처음 속도 v_0 로 수평면에서 θ 의 각으로 위로 던진 공의 운동 경로를 예측하여 그리고, 0.1초, 0.2초, 0.3초, 0.4초일 때 공의 위치를 표시한다.



3. 처음 속도 v_0 로 수평면에서 θ 의 각도로 아래로 던진 공의 운동 경로를 예측하여 그리고, 0.1초, 0.2초, 0.3초, 0.4초일 때 공의 위치를 표시한다.



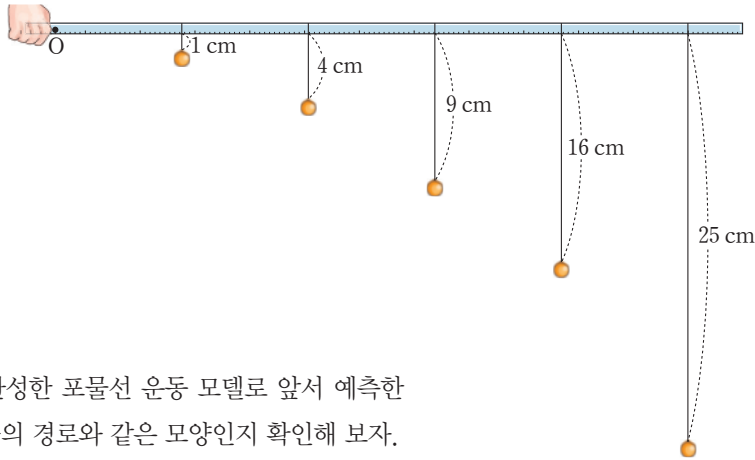
만들기 공의 운동 경로 모델 만들기

- 1 전지에 수평으로 던진 공의 출발 지점($t=0$ 의 위치)을 표시하고, 출발 후 0.1초, 0.2초, 0.3초, 0.4초일 때 공의 위치를 표시한다. 이때 수평 방향은 등속 운동, 연직 방향은 중력 가속도로 운동하는 등가속도 운동임을 고려한다.

준비물

1 m 자, 전지, 실, 10 g 추
5개

2 1 m 자에 그림과 같이 출발점 O를 표시한 후 등간격으로 5개의 추를 실에 매달아 보자.




※ 완성한 포물선 운동 모델로 앞서 예측한 공의 경로와 같은 모양인지 확인해 보자.

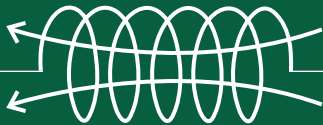
- 3 벽에 전지를 붙이고, 전지에 포물선 운동 모델을 대고 1 m 자를 θ 의 각으로 위로 치켜 들어 나타나는 추의 위치를 표시하고 이를 연결하여 경로를 그려 보자.
- 4 θ 의 각으로 자를 아래로 내려 과정 3을 반복하자.
- 5 앞에서 예측한 경로와 모양을 비교해 보고, 예측이 맞았는지 확인해 보자.

평가하기 모듈별로 만든 공의 운동 경로 모델을 비교해 보고, 개선할 점을 토의해 보자.

글쓰기 포물선 운동 모델 사용 설명서 작성

• 포물선 운동의 경로를 예측하는 도구로 포물선 운동 모델을 사용할 수 있다. 주변에서 쉽게 볼 수 있는 제품들의 사용 설명서와 같이 포물선 운동 모델의 사용 설명서를 작성해 보자.

 **사용 설명서**
기계나 제품 등을 이용하기 위한 절차 및 방법을 상세히 명시한 설명서이다.



위대한 발견의 씨앗은 언제나 우리 주위를 떠다니지만 받아들일 준비가 된 마음에만 뿌리를 내린다.

The seed of great discoveries are constantly floating around us, but they only take root in mind well prepared to receive them.

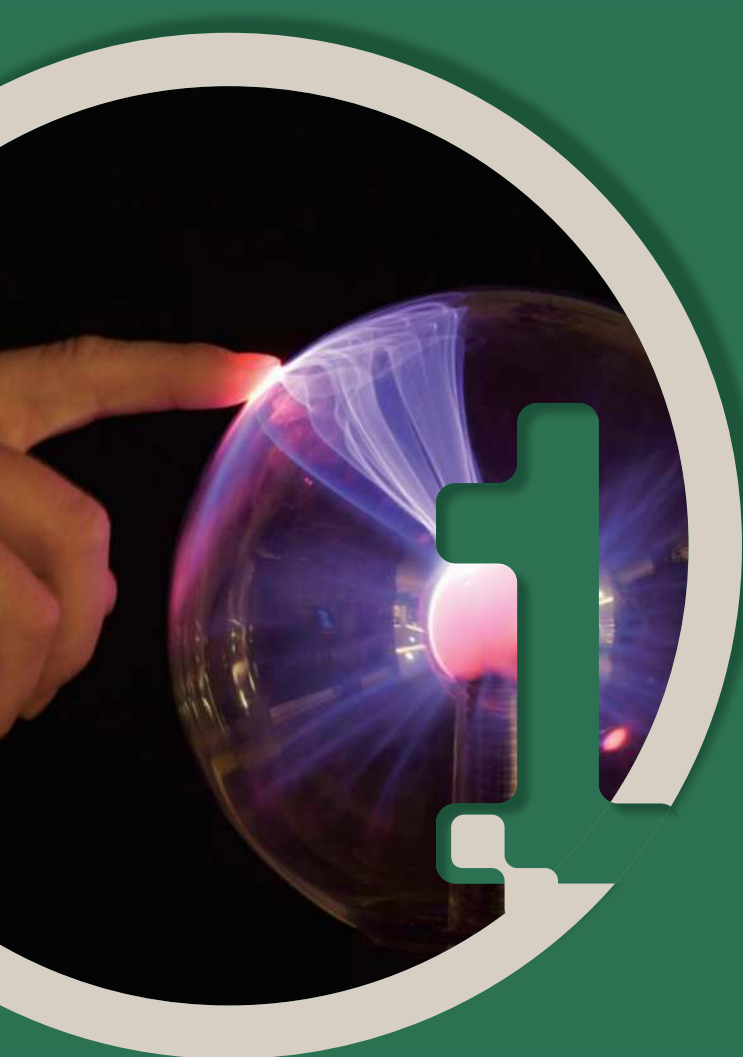
- Joseph Henry

II

전자기장

1. 전기장

2. 자기장



전기장

- 01. 전기장과 전기력선
- 02. 정전기 유도
- 03. 직류 회로
- 04. 트랜지스터
- 05. 축전기



이 단원의 성취 기준 확인

이 단원에서는 현대 정보 사회 발전에 중요한 과학적 기여를 한 전기 현상을 통합적으로 이해하도록 한다. 이를 위하여 전기력선으로 전기장의 세기와 방향을 이해하도록 한다. 도체에서의 정전기 유도, 절연체 내의 유전 분극을 설명하고, 저항과 축전기가 포함된 전기 회로를 이해하도록 한다.



자기 점검 - 알고 있는 용어에 체크해 보자.

전기력 정전기 유도 전기 회로 직류 회로 저항
 전압 전류 반도체 p-n접합

▶ 체크하지 못한 용어는 인터넷에서 검색해 보자.



학습 계획 세우기 - 성취 기준을 달성하기 위해 어떤 준비를 할 수 있을지 써 보자.

학습 목표를 세우자.

01 전기장과 전기력선

- 정지한 전하 주위의 전기장의 세기를 정량적으로 구할 수 있다.
- 정지한 전하 주위의 전기장을 전기력선으로 표현할 수 있다.

들어가기 | 피뢰침을 설치하면 번개가 칠 때 왜 안전할까?

높은 건물이나 탑 꼭대기에는 번개에 의한 피해를 막기 위해 피뢰침이 설치되어 있다. 피뢰침을 설치하면 왜 번개로부터 안전할까?

알아보기 | 전기장과 전기력선

전하 사이에는 전기력이 작용한다. 전하 사이에 작용하는 전기력을 알아보고 점전하 주위의 전기장의 세기와 방향을 어떻게 전기력선으로 표현할 수 있는지 살펴보자.

| 쿨롱 법칙 |

쿨롱은 그림 II-1과 같은 비틀림 저울을 이용하여 두 점전하 사이에 작용하는 전기력의 크기를 측정하였다. 그는 대전된 두 금속구가 갖는 전하 사이의 전기력에 의해 비틀림 저울의 수정 실이 비틀리는 정도를 측정하여 전기력의 크기를 알 수 있었다. 두 대전체 사이의 거리를 변화시키면서 전기력을 측정한 결과, 전기력의 크기가 두 점전하의 전하량의 곱에 비례하고 점전하 사이의 거리의 제곱에 반비례한다는 것을 발견하였다.

그림 II-2와 같이 전하량이 각각 q_1 , q_2 인 두 점전하가 거리 r 만큼 떨어져 있을 때, 두 점전하 사이에 작용하는 전기력 F 의 크기는 다음과 같다.

쿨롱 법칙

$$F = k \frac{q_1 q_2}{r^2} \text{ (단위: N)}$$

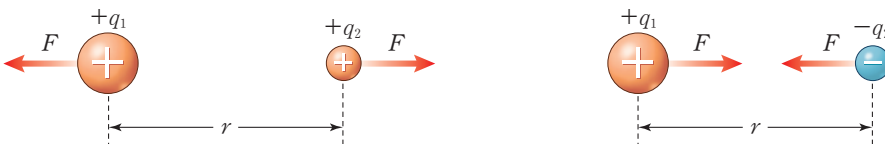


그림 II-2 쿨롱 법칙

이것을 쿨롱 법칙이라고 한다. 여기서 q_1 과 q_2 의 전하량의 단위는 C(쿨롬)을 사용하며, 진공에서 비례 상수 $k = 9.0 \times 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2/\text{C}^2$ 이다.

점전하

부피는 없고 전하량만 갖고 있는 전하

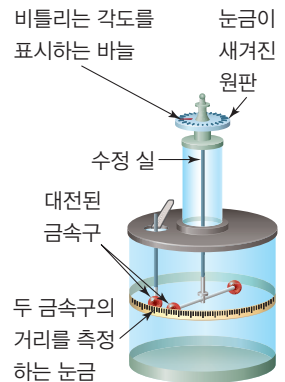


그림 II-1 비틀림 저울

1C

1 C은 도선의 한 단면을 1 A의 전류가 1초 동안 흐를 때 통과하는 전하량이다. 1 C은 약 6.25×10^{18} 개의 전자가 갖는 전하량과 같다.

| 전기장의 세기와 방향 |

전하 주위에 다른 전하를 놓으면 전기력을 받는다. 이는 한 전하가 주위 공간에 전기장을 만들기 때문이다. 즉, 한 전하가 만드는 전기장 속에 다른 전하를 놓으면 전기력을 받는다. 전기장 속의 어느 한 지점에 단위 양전하(+1 C)를 놓았을 때, 이 전하가 받는 힘의 크기와 방향을 그 지점에서의 전기장의 세기와 방향으로 정의한다. 따라서 전기장은 크기와 방향을 갖는 벡터량이다.

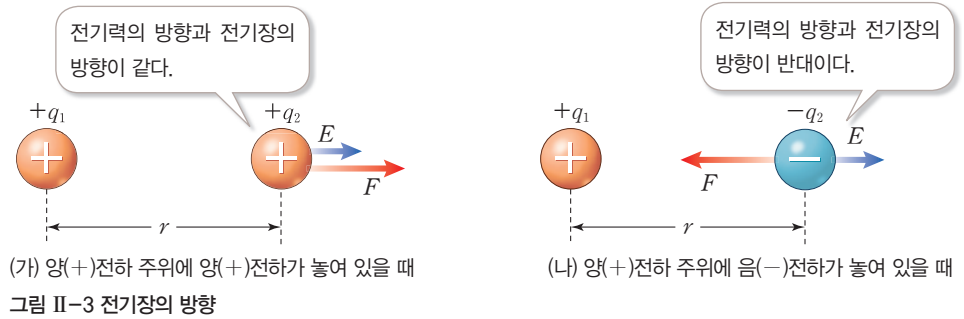
전기장 속에 전하량이 $+q$ 인 전하를 놓았을 때 이 전하가 받는 전기력의 크기가 F 이면, 이 지점에서 전기장의 세기 E 는 다음과 같다.

$$E = \frac{F}{q} \quad (\text{단위: N/C})$$

그림 II-3과 같이 전하량이 각각 q_1, q_2 인 두 점전하가 거리 r 만큼 떨어져 있을 때, q_2 가 받는 전기력의 크기 $F = k \frac{q_1 q_2}{r^2}$ 이다. 그러므로 전하 q_2 가 놓인 지점에서 점전하 q_1 에 의한 전기장의 세기 E 는 다음과 같다.

$$E = \frac{F}{q_2} = k \frac{q_1}{r^2}$$

물음 전기장 속에서 음(-)전하가 받는 전기력의 방향과 전기장의 방향은 어떠한가?



점전하 q_1 로부터 거리 r 인 지점에서의 전기장의 세기는 전하량에 비례하고 거리의 제곱에 반비례한다. 이때 전기장의 방향은 양(+)-전하에 작용하는 전기력의 방향과 같다. 양(+)-전하와 음(-)-전하 주위의 전기장을 벡터로 나타내면 그림 II-4와 같다.

📖 전기장 표시
전기장을 벡터로 표시할 때는 크기와 방향을 고려해야 한다. 전기장의 세기는 화살표의 길이로, 전기장의 방향은 화살표의 방향으로 표시한다.

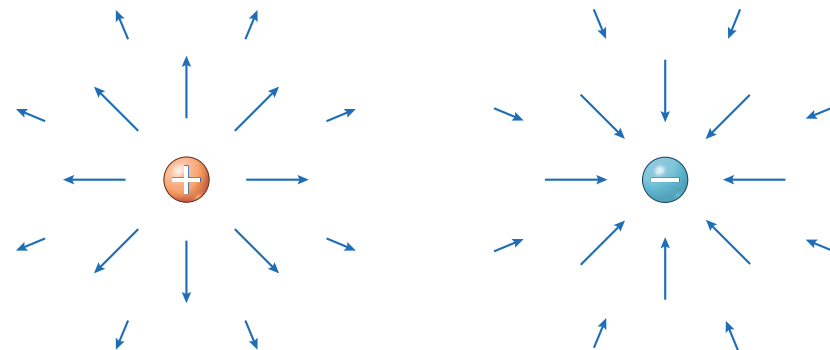
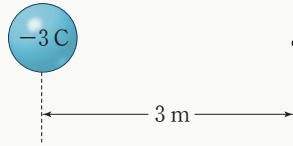


그림 II-4 양(+)-전하와 음(-)-전하 주위의 전기장

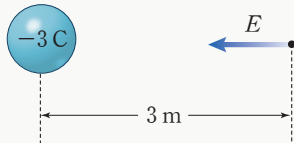
그림과 같이 전하량이 -3 C 인 점전하에서 오른쪽으로 3 m 만큼 떨어진 곳에서의 전기장의 세기와 방향을 구해 보자.



풀이... 점전하 주위의 전기장의 세기는 $E = k\frac{q}{r^2}$ 이므로

$$E = 9 \times 10^9 \text{ N}\cdot\text{m}^2/\text{C}^2 \times \frac{-3\text{ C}}{9\text{ m}^2} = -3 \times 10^9 \text{ N/C}$$

이고, 방향은 음(-)전하를 향하는 방향이다.



답 $3 \times 10^9 \text{ N/C}$, 음(-)전하를 향하는 방향

점전하에 의한 전기장의 세기는 거리의 제곱에 반비례하고 전하량에 비례해.



그림 II-5와 같이 임의의 점 P에서 전하량이 각각 $+Q$ 와 $-Q$ 인 두 점전하가 만드는 전기장 \vec{E} 를 구해 보자. 먼저 P 지점에 놓인 전하 $+q$ 가 받는 알짜힘 \vec{F} 는 전하 $+q$ 가 두 점전하로부터 받는 전기력 \vec{F}_1 과 \vec{F}_2 의 합력이다. 따라서 P 지점에서의 전기장 \vec{E} 는

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q} = \frac{\vec{F}_1 + \vec{F}_2}{q} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2$$

이다.

즉, 한 지점에서 두 점전하에 의한 전기장은 두 점전하가 만드는 전기장의 벡터 합이다. 이런 방식으로 많은 전하가 모여 있을 때의 전기장을 구할 수 있다.

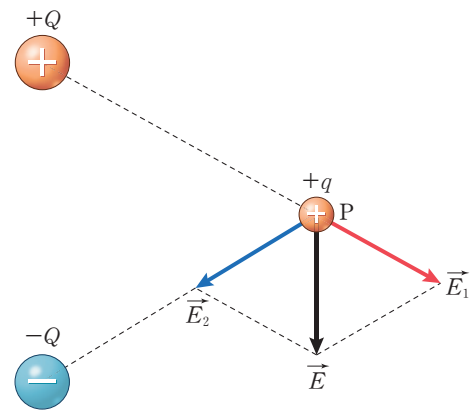


그림 II-5 두 점전하에 의한 전기장

| 전기력선 |

전기장 속에 놓인 양(+)전하가 받는 힘의 방향을 연속적으로 이은 선을 전기력선이라고 한다.

전기력선은 다음과 같은 특징이 있다.

- ① 양(+)전하에서 나오고, 음(-)전하로 들어간다.
- ② 전기력선은 중간에 분리되거나 합쳐지지 않는다.
- ③ 전기력선 위의 한 점에서 그은 접선 방향이 그 점에서의 전기장의 방향이다.
- ④ 전하량이 클수록 전하에서 나오거나 전하로 들어가는 전기력선의 수가 많아진다.
- ⑤ 전기장의 방향에 수직인 단위 면적을 통과하는 전기력선의 수가 많을수록 전기장의 세기가 세다.

전기력선과 전하의 운동
 전기력선은 양(+)
 전하를 가만히 놓았을 때 전하가 받는 전기력의 방향을 연속적으로 이은 선일 뿐, 전하가 운동하는 경로를 따라 그린 선이 아니다.

그림 II-6은 여러 전하 주위의 전기력선을 나타낸 것이다. 그림 (가)와 그림 (나)는 한 개의 양(+)
 전하 또는 음(-)
 전하 주위의 전기력선을 나타낸 것이다. 전하로부터 멀어질수록 전기장이 약해지므로 전기력선의 밀도도 낮아진다. 그림 (다)는 전하량이 같고 종류가 다른 두 전하 주위의 전기력선을 나타낸 것이고, 그림 (라)는 전하량이 같고 종류가 같은 두 전하 주위의 전기력선을 나타낸 것이다. 이때 전기력선은 좌우 대칭적인 모습으로 나타난다. 그림 (마)는 전하량과 종류가 다른 두 전하 주위의 전기력선을 나타낸 것으로, 전하량이 클수록 전기력선의 수가 증가하여 전기장의 세기가 전하량에 비례함을 보여 준다.

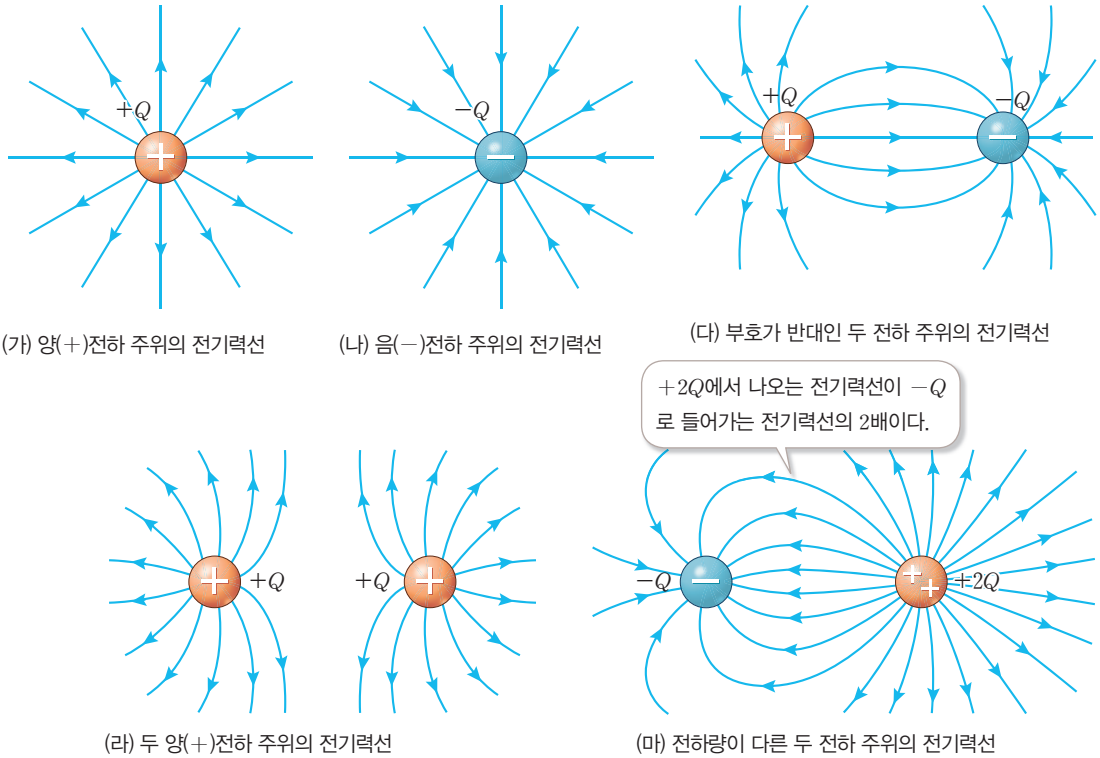


그림 II-6 전하 주위의 전기력선

번개가 칠 때 피뢰침 주변에서 생기는 전기력선을 생각해 보자. 번개가 칠 때 구름 아래쪽은 음(-)
 전하를 띠고, 구름 아래의 땅은 양(+)
 전하를 띤다. 이때 땅에서 구름 쪽으로 전기장이 형성되고 구름과 땅 사이의 전압이 커지면 공기 사이로 전류가 흐르게 된다. 이것이 번개이다. 그런데 피뢰침을 설치하면 피뢰침에 양(+)
 전하가 모여 주변의 전기력선이 피뢰침으로 집중되므로 전류는 대부분 피뢰침으로 흐르게 된다. 피뢰침 주위의 전기장을 전기력선으로 나타내면 그림 II-7과 같다.

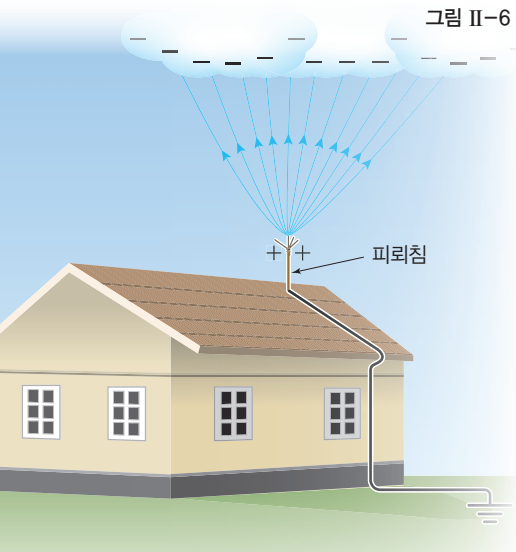



그림 II-7 피뢰침 주위의 전기력선

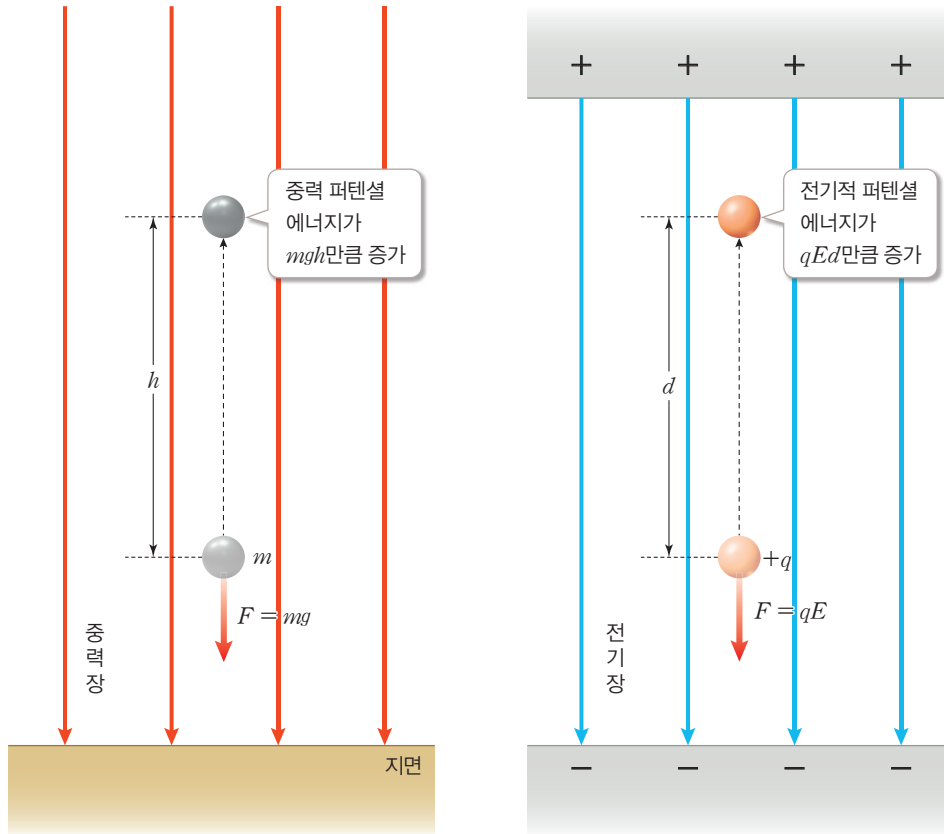
개념 넓히기 전위와 전위차

중력장 내에서 질량이 있는 물체는 중력 퍼텐셜 에너지를 갖는다. 이처럼 전기장 내의 전하는 전기적 퍼텐셜 에너지를 갖는다.

그림 II-8의 (가)와 같이 지구 중력장 내에 있는 질량 m 인 물체는 중력장의 방향으로 중력 mg 를 받는다. 이 물체를 중력장과 반대 방향으로 거리 h 만큼 옮기려면 물체에 mgh 만큼 일을 해 주어야 한다. 이때 해 준 일만큼 물체의 중력 퍼텐셜 에너지가 증가한다.

그림 (나)와 같이 아래 방향으로 균일한 전기장 E 가 형성된 공간에 있는 전하 $+q$ 는 전기장의 방향으로 전기력 qE 를 받는다. 이 전하를 전기장과 반대 방향으로 거리 d 만큼 옮기려면 전하에 qEd 만큼의 일을 해 주어야 한다. 이때 해 준 일만큼 전하의 전기적 퍼텐셜 에너지가 증가한다.

 중력장
중력이 작용하는 공간이다.



(가) 중력장

(나) 전기장

그림 II-8 중력 퍼텐셜 에너지와 전기적 퍼텐셜 에너지

전기적 퍼텐셜 에너지 W 를 전하량 q 로 나눈 값, 즉 전기장 내의 기준점으로부터 측정된 단위 양전하(+1 C)가 가지는 전기적 퍼텐셜 에너지를 전위 V 라고 한다.

$$V = \frac{W}{q} \text{ (단위: J/C 또는 V)}$$

전위차 10 V

저항 양 끝의 전위차가 10 V라는 것은 저항의 양 끝에서 전하량이 +1 C인 전하가 갖는 전기적 퍼텐셜 에너지 차이가 10 J이라는 뜻이다.

이처럼 전기장 내의 한 지점의 전위를 정할 수 있으며, 전기장 내 두 지점 사이의 전위의 차를 전위차 또는 전압이라고 한다. 즉, 두 지점 사이의 전위차는 전하량이 +1 C인 전하를 한 지점에서 다른 지점까지 옮기는 데 한 일의 크기와 같다. 따라서 전위는 기준점에 따라 달라지지만 두 지점 사이의 전위차는 기준점과 상관없다.

그림 II-9와 같이 평행한 두 금속판에 각각 양(+)-전하와 음(-)-전하가 균일하게 분포할 때 두 금속판 사이에 있는 양(+)-전하가 받는 힘의 크기와 방향이 거의 일정하다. 즉, 평행한 두 금속판 사이에는 A에서 B 쪽으로 세기가 E 인 균일한 전기장이 만들어진다. 간격이 d 만큼 떨어진 두 평행판 사이의 전위차가 V 일 때, 전하량이 $+q$ 인 전하를 B에서 A까지 옮기기 위해서는 $W = qV$ 만큼의 일을 해 주어야 한다. 이때 두 평행판 사이에 놓인 전하가 받는 전기력의 크기는 $F = qE$ 이므로

$$W = Fd = qEd = qV$$

이다. 따라서 간격이 d 이고 전위차가 V 인 두 평행판 사이의 전기장의 세기 E 는

$$E = \frac{V}{d}$$

가 된다.

두 평행판 사이의 전기장

이론적으로 무한히 큰 두 평행판 이어야 하지만, 두 평행판 사이의 간격에 비해 평행판의 크기가 매우 크면 근사적으로 두 평행판 사이의 전기장의 세기와 방향이 일정하다고 볼 수 있다.

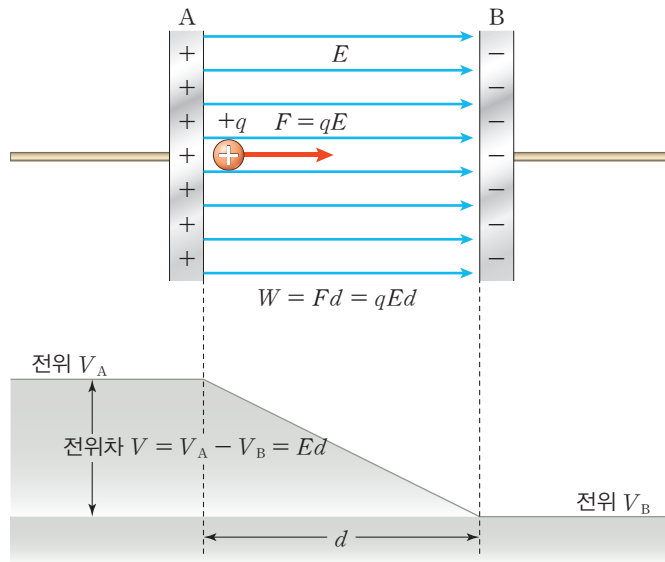


그림 II-9 평행한 두 금속판 사이의 전위와 전위차

평가하기

개념 이해

1 전기력선으로부터 전기장의 세기와 방향은 어떻게 알 수 있는가?

창의·융합

2 전하량이 $+q$ 인 점전하로부터 거리가 r 인 지점의 전기장의 세기가 E 이고 방향이 동쪽이었다. 전하량이 $-2q$ 인 점전하로부터 동일한 방향으로 거리가 $2r$ 인 지점의 전기장의 세기와 방향은?

3 점전하의 전하량이 +1 C일 때와 -2 C일 때, 각 점전하 주위의 전기장을 전기력선으로 표현하고, 두 점전하 주위에 생기는 전기장을 비교하여 글로 써 보자.

02 정전기 유도

- 정전기 유도를 이해하고, 이 현상이 적용되는 예를 찾아 설명할 수 있다.
- 유전 분극을 이해하고, 이 현상이 적용되는 예를 찾아 설명할 수 있다.

들어가기 | 손을 자동차 문손잡이 가까이 가져가면 왜 방전이 일어날까?

건조한 날 자동차 문을 열기 위해 문손잡이 가까이 손을 가져가면 방전이 일어나 손끝이 짜릿하다. 문손잡이에 전원이 연결된 것도 아닌데, 왜 방전이 일어날까?

알아보기

물체에 머물러 있는 전하를 정전기라고 한다. 그림 II-10과 같이 털가죽으로 마찰하여 대전된 플라스틱 막대는 가까운 곳에 있는 대전되지 않은 도체인 알루미늄 강통을 끌어당긴다. 전하를 띠지 않는 알루미늄 강통이 왜 대전된 플라스틱 막대 쪽으로 끌려올까?



그림 II-10 대전체 쪽으로 끌려오는 알루미늄 강통

| 정전기 유도 |

플라스틱 막대를 털가죽으로 문지르면 플라스틱 막대는 음(-)전하를 띠게 된다. 그림 II-11과 같이 음(-)전하로 대전된 플라스틱 막대를 도체에 가까이 가져가면 도체의 전자는 척력을 받아 플라스틱 막대로부터 먼 쪽으로 이동한다. 따라서 플라스틱 막대로부터 먼 쪽에는 음(-)전하가, 가까운 쪽에는 양(+전하가 많아진다. 이처럼 대전체를 도체에 가까이 가져갈 때 대전체에 가까운 쪽에는 대전체와 반대 종류의 전하가, 먼 쪽에는 대전체와 같은 종류의 전하가 유도되는 현상을 정전기 유도라고 한다. 이때 도체에 유도된 양(+전하량과 음(-)전하량은 서로 같다. 대전체를 치우면 정전기 유도로 이동한 전자는 서로 간의 전기력에 의해 원래 상태로 되돌아간다.

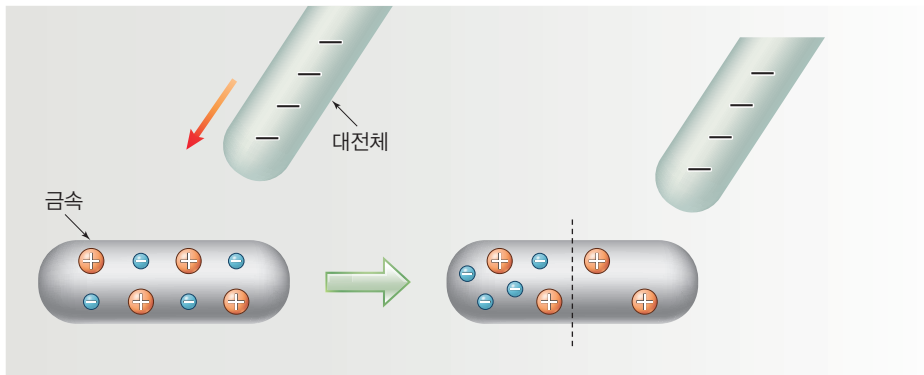


그림 II-11 정전기 유도

창의력 키우기

정전기 유도가 일어날 때 왜 전자만 이동하는 것일까?

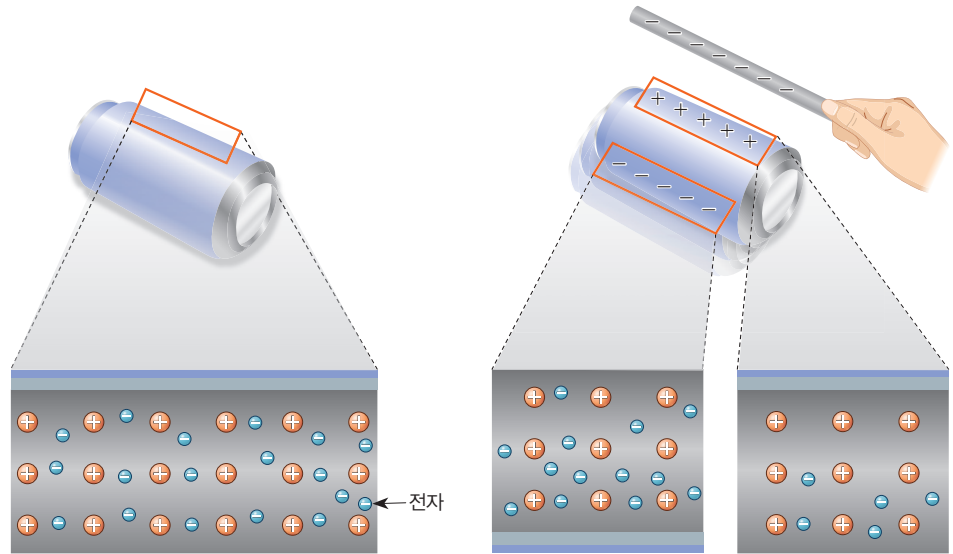


그림 II-12 알루미늄 깡통에서 정전기 유도

그림 II-12와 같이 대전되지 않은 알루미늄 깡통에 대전된 플라스틱 막대를 가까이 하면 알루미늄 깡통에서 막대와 가까운 곳은 막대와 다른 종류의 전하가 유도되어 인력이 작용하고, 막대와 먼 곳은 막대와 같은 종류의 전하가 유도되어 척력이 작용한다. 이때 전하 사이의 거리가 가까운 인력이 거리가 먼 척력보다 힘의 크기가 크므로 알루미늄 깡통은 플라스틱 막대 쪽으로 끌려오게 된다.

다음 탐구에서 검전기에서의 정전기 유도 현상을 알아보자.

검전기를 이용한 정전기 유도



사고력 탐구 능력

목표 검전기를 이용하여 정전기 유도 현상을 분석할 수 있다.

준비물 금속박 검전기, 플라스틱 막대, 털가죽

과정

- ① 대전되지 않은 플라스틱 막대를 검전기의 금속판 가까이 가져간다.
- ② 플라스틱 막대를 털가죽에 문질러 대전한 다음, 플라스틱 막대를 검전기의 금속판 가까이 가져간다.
- ③ 플라스틱 막대를 금속판 가까이 둔 상태에서 금속판에 손을 댄다.
- ④ 금속판에 대었던 손을 떼고 플라스틱 막대를 금속판에서 멀리 한다.
- ⑤ 과정 ③에서 플라스틱 막대를 금속판에서 멀리 한 후, 금속판에서 손을 떼는다.

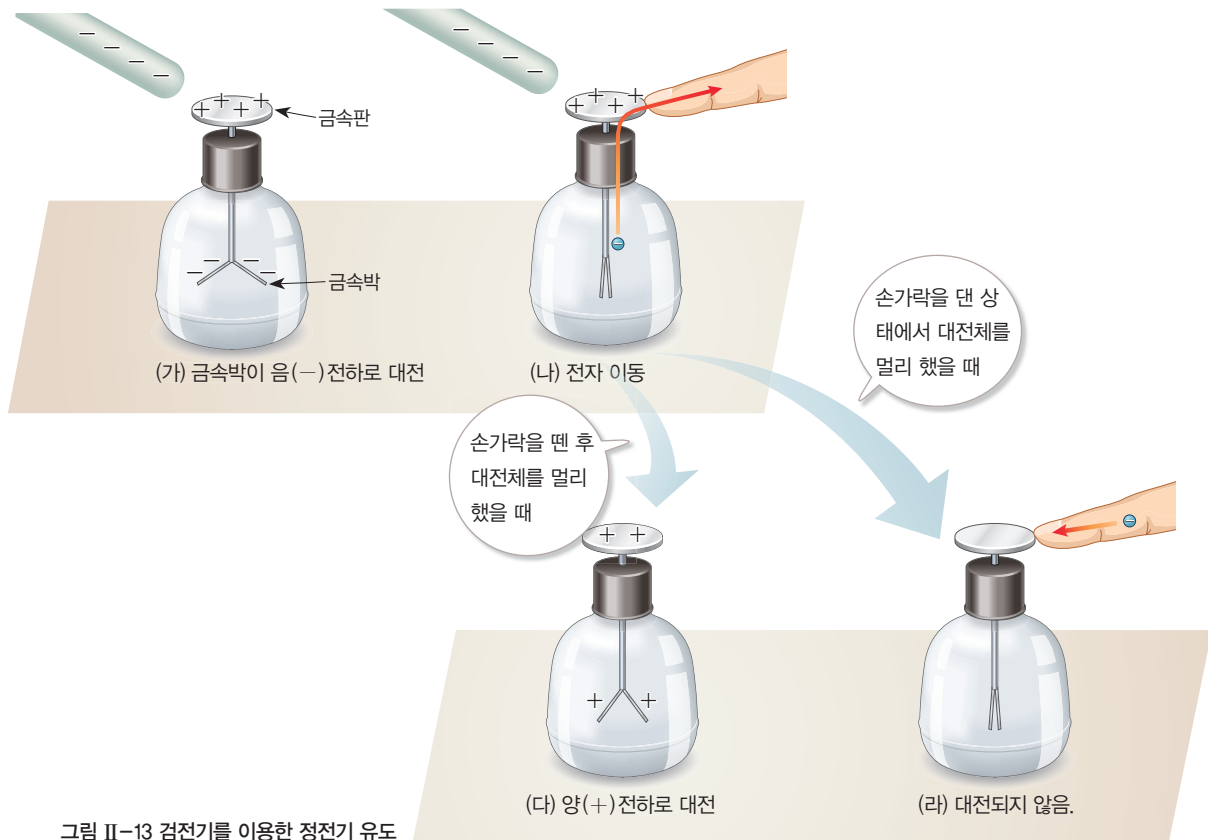


결과 및 정리

1. 과정 ①~⑤에서 금속박의 모양은 어떻게 되는가?
2. 과정 ②와 ③에서 일어나는 현상을 전하의 이동으로 설명해 보자.
3. 과정 ④와 ⑤의 결과가 다른 까닭을 전하의 이동으로 설명해 보자.
4. 대전되지 않은 검전기에 양(+)-전하로 대전된 물체를 가까이 가져가면 어떤 현상이 일어날지 정전기 유도를 이용해 예상해 보자.

대전되지 않은 플라스틱 막대를 검전기 가까이 가져가면 아무런 변화가 일어나지 않는다. 반면, 그림 II-13의 (가)와 같이 음(-)전하로 대전된 플라스틱 막대를 검전기의 금속판 가까이 가져가면 전자가 금속박으로 밀려나서 금속판이 양(+)-전하를 띠는 정전기 유도가 일어난다. 그림 (나)와 같이 금속판에 대전체를 가까이 한 상태에서 금속판에 손가락을 대면 전자가 손가락을 따라 빠져나가 금속박이 오므라든다. 이때 음(-)전하로 대전된 플라스틱 막대가 가까이 있으므로 금속판은 양(+)-전하로 대전된 상태를 유지한다. 플라스틱 막대를 가까이 한 채로 손가락을 치우면 그림 (다)와 같이 검전기가 양(+)-전하로 대전된다. 그러나 손가락을 댄 채로 플라스틱 막대를 치우면 전자가 다시 검전기로 이동하여 그림 (라)와 같이 검전기가 대전되지 않는다.

물음 그림 II-13의 (가)에서 검전기 전체의 전하량은 얼마인가?

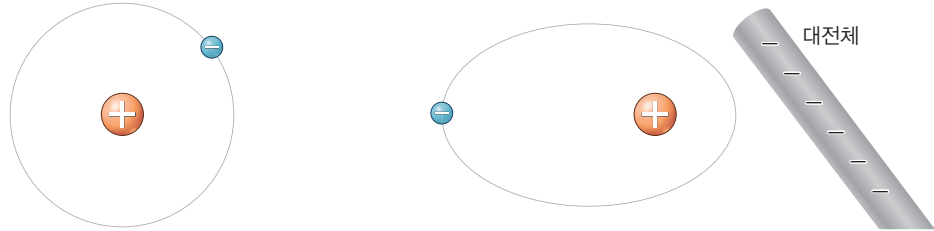


유전체

절연체와 같은 뜻이지만 유전 분극과 같은 전기 작용이 더 있다는 점을 강조한 용어이다.

| 유전 분극 |

유전체 내부의 전자들은 원자나 분자에 속박되어 있어 물체 내부에서 자유롭게 이동할 수 없다. 그림 II-14와 같이 유전체에 대전체를 가까이 하면 유전체 내부의 분자나 원자 내의 양(+)전하와 음(-)전하가 서로 반대쪽으로 전기력을 받는다. 따라서 대전체와 가까운 쪽은 대전체와 다른 종류의 전하를 띠고, 대전체와 먼 쪽은 대전체와 같은 종류의 전하를 띠게 된다. 이러한 현상을 **유전 분극**이라고 한다.



(가) 대전체가 없을 때

(나) 대전체가 가까이 있을 때

그림 II-14 유전체에서의 유전 분극

그림 II-15와 같이 흐르는 물에 대전된 풍선을 가까이 가져가면 물줄기가 휜다. 이것은 대전된 풍선에 의해 물 분자에 유전 분극이 일어나는 것과 관련이 있다.

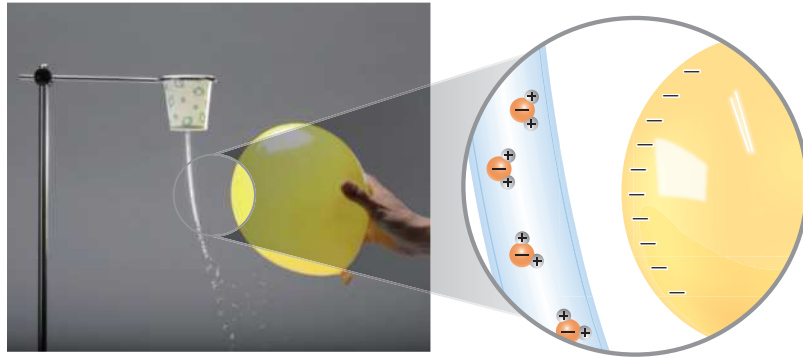


그림 II-15 흐르는 물의 유전 분극

원리가 보이는 물리

강유전체

강유전체는 전기장이 없어도 유전 분극이 발생한 상태가 어느 정도 안정되게 유지되는 물질로, 인산이수소 칼륨(KH_2PO_4), 타이타늄산 바륨(BaTiO_3) 등이 대표적인 강유전체이다. 강유전체는 일정 온도 이하에서 전하를 저장하는 효율이 매우 커서 초소형 컴퓨터 축전기 부품으로 이용된다. 또 강유전체에 전기장을 가하여 유전 분극 상태를 만들면 외부 전기장을 제거하여도 유전 분극 상태를 유지하기 때문에 초소형 컴퓨터 메모리 소자 등으로 이용된다.

- 1 강유전체를 초소형 컴퓨터 축전기 부품으로 이용하는 까닭은 무엇인가?
- 2 강유전체를 초소형 컴퓨터 메모리 소자로 이용하는 까닭은 무엇인가?

개념 넓히기 정전기 유도 현상이 적용되는 예

정전기 유도 현상은 우리 생활에서 종종 경험할 수 있다. 일상생활에서 정전기 유도 현상은 대부분 마찰로 발생한 정전기에 의해 일어난다. 플라스틱 빗으로 머리를 빗을 때 머리카락이 빗에 달라붙거나 겨울철 스웨터를 벗을 때 따끔한 것 등은 마찰에 의한 정전기 때문에 일어난 일이다. 또 손을 자동차 문손잡이에 가까이 가져갈 때 정전기 유도 현상이 발생한다. 그림 II-16과 같이 금속으로 된 문손잡이에 손을 가까이 가져가면 손잡이에 퍼져 있던 정전기가 손 쪽으로 끌려오면서 순간적으로 방전이 일어난다.

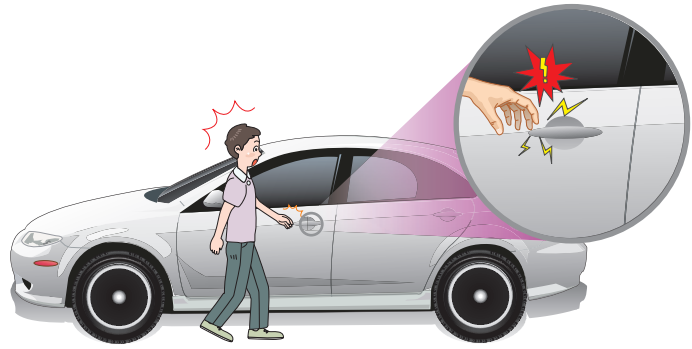


그림 II-16 일상생활 속의 정전기 유도 현상

전자레인지에서 음식물이 가열되는 원리는 유전 분극 현상과 관련이 있다. 그림 II-17과 같이 전자레인지에서 마이크로파가 방출되면 전자레인지 내부에 전기장이 생긴다. 이 전기장의 방향에 맞춰 음식에 포함된 물 분자가 정렬된다. 이때 전기장의 방향이 계속 변하므로 물 분자의 정렬 방향이 계속 변하면서 물 분자가 진동하여 열이 발생한다.

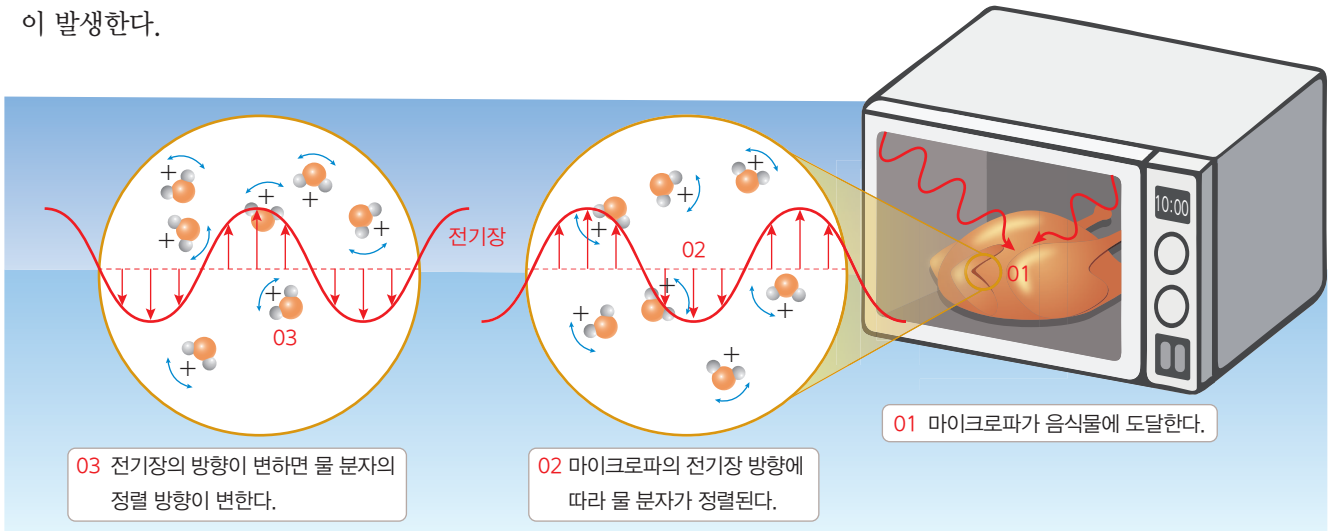


그림 II-17 전자레인지 내에서 물 분자의 진동

평가하기

개념 이해

- 1 대전된 막대를 종이조각에 가까이 가져갔을 때 절연체인 종이조각이 끌려오는 까닭을 설명해 보자.
- 2 음(-)전하로 대전된 플라스틱 막대를 검전기의 대전되지 않은 금속박에 가까이 가져가면, 금속박에서 막대에 가까운 쪽은 () 전하를 띠고, 먼 쪽은 () 전하를 띠게 된다.
- 3 자동차 문을 열 때 손잡이의 방전으로 발생하는 피해를 예방하려면 어떻게 해야 할까?

창의·융합

03 직류 회로

- 직류 회로에서 저항의 연결에 따른 전류와 전위차를 구할 수 있다.
- 직류 회로의 저항에서 소모되는 전기 에너지를 구할 수 있다.



들어가기 | 장식용 전구는 어떻게 연결해야 할까?

나무나 벽면을 장식할 때는 수백 개의 전구에 일정한 전압을 걸어 주어야 전구가 제대로 빛을 낸다. 수백 개의 전구에 일정한 전압을 걸어 주려면 전구를 전원 장치에 어떻게 연결해야 할까?

알아보기 | 저항의 연결에 따른 전류와 전위차

우리가 일상적으로 사용하는 전기 기구는 여러 전기 소자로 이루어진 전기 회로를 포함하고 있다. 이러한 전기 회로에 전류가 흘러 저항에 전기 에너지를 공급하려면 전원이 필요하다. 이때 저항에 흐르는 전류와 저항 양단의 전위차(전압)는 어떻게 되는지 알아보자.

| 기전력과 전원 |

물은 물의 높이가 같으면 흐르지 않는다. 이때 그림 II-18과 같이 펌프로 물의 높이차를 만들면 물이 흐른다. 이와 마찬가지로 회로에서 전위가 같으면 전류가 흐르지 않지만, 그림 II-19와 같이 건전지로 전구 양단에 전위차를 만들면 전류가 흐른다.

여러 가지 직류 전원



▲ 직류 전원 장치



▲ 각종 전지

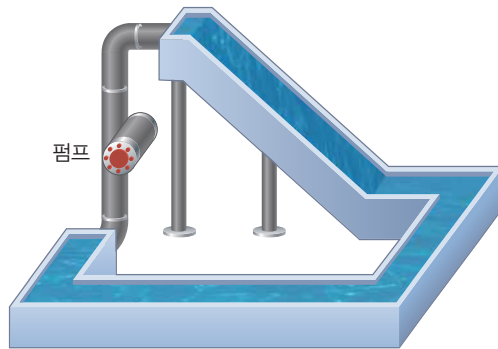


그림 II-18 물의 높이차에 의한 물의 흐름

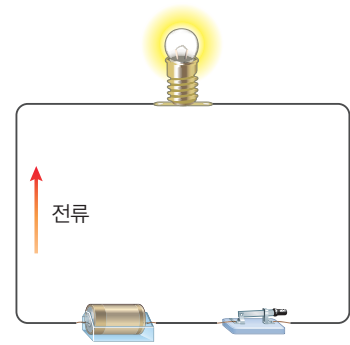


그림 II-19 전위차에 의한 전류

이처럼 도선이나 전기 소자의 양 끝 사이에 전위차를 만들어 주면 내부의 전자들이 전기력을 받아 전류가 흐른다. 그리고 전위차는 전지 등과 같은 전원이 공급하는 기전력에 의해 유지된다. 즉, 전기 회로에 전류가 흐르게 하기 위해서는 전하가 움직일 수 있도록 계속 에너지를 공급해야 하는데, 전원이 이러한 에너지를 공급해 준다. 전

원에는 화학적 에너지로부터 기전력을 갖는 전지, 역학적 에너지로부터 기전력을 얻는 발전기 등이 있다. 전지는 전위차를 계속 일정하게 유지하는 직류 전원이고, 가정이나 공장에 전기를 공급하는 발전소의 발전기는 주기적으로 전류의 방향이 바뀌는 교류 전원이다.

기전력의 크기와 단위
 기전력은 단위 전하당 공급되는 에너지를 나타내며, 단위는 전위차의 단위와 같은 V(볼트)를 사용한다.

| 옴의 법칙과 소비 전력 |

저항값이 일정할 때 저항 양단의 전위차가 커질수록 저항에 흐르는 전류의 세기가 증가한다. 또 저항 양단의 전위차가 일정할 때 저항값이 커질수록 저항에 흐르는 전류의 세기는 감소한다. 즉, 저항에 흐르는 전류의 세기 I 는 저항 양단의 전위차 V 에 비례하고 저항의 저항값 R 에 반비례한다. 이를 **옴의 법칙**이라고 한다.

옴의 법칙

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

저항 양단에 전위차가 생기면 전류가 흐르면서 저항에서 전기 에너지가 소모된다. 그림 II-20에서와 같이 저항값이 R 인 저항에 전류 I 가 흐를 때 저항의 양단 a, b 사이의 전위차 V 는 다음과 같다.

$$V = V_a - V_b = IR$$

저항에서 소모되는 전력 P 는 1초 동안 저항에서 소모되는 전기 에너지로, 저항에 흐르는 전류, 저항 양단의 전위차, 저항값을 이용하여 다음과 같이 계산할 수 있다.

$$P = IV = I^2R = \frac{V^2}{R}$$

그러므로 시간 t 동안 저항에서 소모되는 전기 에너지 W 는 전력과 시간의 곱으로 다음과 같다.

$$W = Pt = IVt = I^2Rt = \frac{V^2}{R}t$$

물음 저항값이 5 kΩ인 저항 양단의 전위차가 200 V일 때 저항에 흐르는 전류의 세기는?

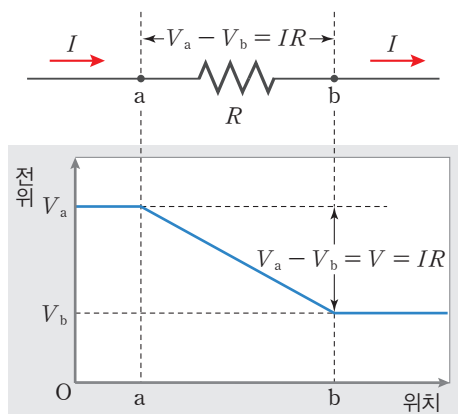


그림 II-20 저항 양단의 전위차

| 저항의 연결과 소비 전력 |

대부분의 전기 회로에서는 하나 이상의 저항을 다양한 방법으로 연결하여 사용한다. 여러 개의 저항을 직렬 또는 병렬로 연결했을 때 저항에 흐르는 전류, 저항 양단의 전위차, 저항에서 소모되는 전력이 어떻게 되는지 탐구에서 알아보자.



저항의 직렬연결과 병렬연결에서 전류와 전압



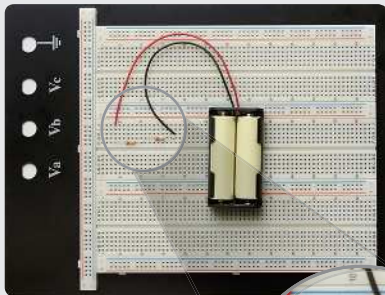
사고력 | 탐구 능력

목표 저항의 직렬연결과 병렬연결에서 전류와 전압을 비교할 수 있다.

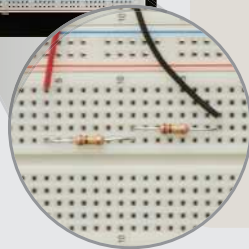
준비물 저항(1 kΩ), 브레드보드, 직류 전압계, 직류 전류계, 건전지, 건전지 끼우개, 연결 전선

과정

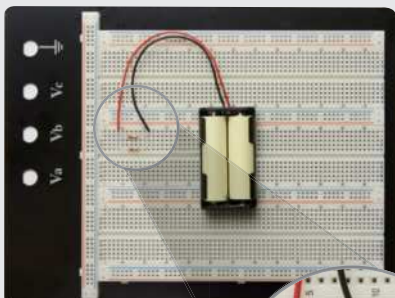
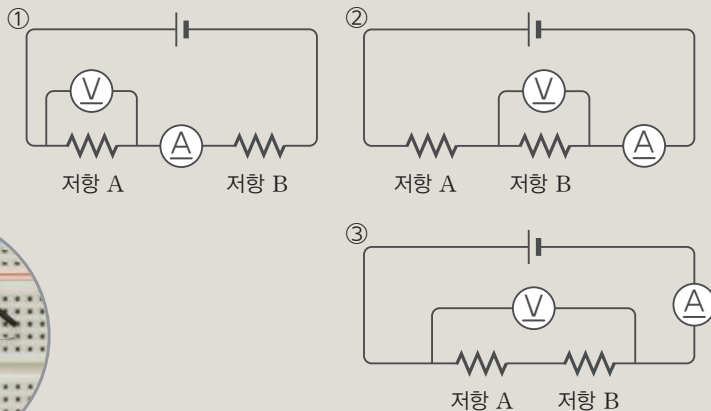
- ① 저항 1개에 건전지를 연결한 후, 전류계와 전압계로 저항에 흐르는 전류의 세기와 저항 양단의 전압을 측정한다.
- ② 그림 (가)와 같이 저항 2개를 직렬로 연결하고, 각 저항에 흐르는 전류의 세기와 각 저항 양단의 전압을 측정한다. 또 회로 전체의 전압을 측정한다.
- ③ 그림 (나)와 같이 저항 2개를 병렬로 연결하고, 각 저항에 흐르는 전류의 세기와 각 저항 양단의 전압을 측정한다. 또 회로 전체에 흐르는 전류의 세기를 측정한다.



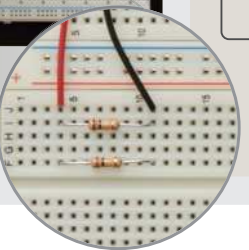
(가) 직렬로 연결한 저항



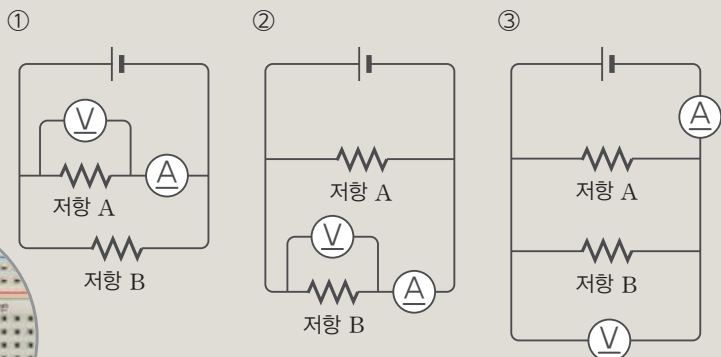
측정하는 방법



(나) 병렬로 연결한 저항



측정하는 방법



구분	직렬연결		병렬연결	
	전압(V)	전류(A)	전압(V)	전류(A)
저항 A				
저항 B				
회로 전체				

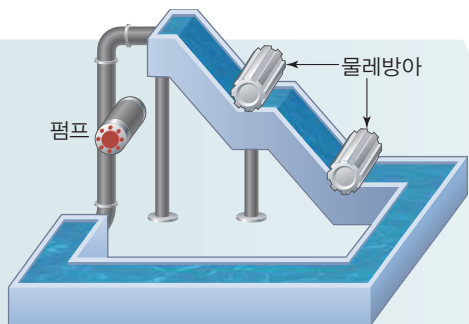
- ④ 저항 3개를 직렬로 연결하고, 각 저항에 흐르는 전류의 세기와 각 저항 양단의 전압을 측정한다. 또 회로 전체의 전압을 측정한다.
- ⑤ 저항 3개를 병렬로 연결하고, 각 저항에 흐르는 전류의 세기와 각 저항 양단의 전압을 측정한다. 또 회로 전체에 흐르는 전류의 세기를 측정한다.

결과 및 정리

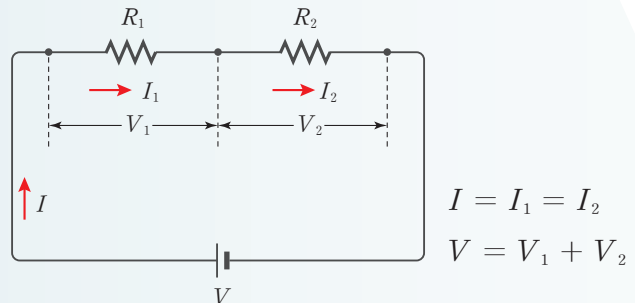
1. 과정 ②에서 각 저항의 양단에 걸리는 전압과 회로 전체의 전압 사이에는 어떤 관계가 있는가?
2. 과정 ③에서 각 저항에 흐르는 전류의 세기와 회로 전체에 흐르는 전류의 세기 사이에는 어떤 관계가 있는가?
3. 과정 ④에서 직렬로 연결한 저항의 개수가 증가할 때 저항 1개에 흐르는 전류의 세기와 걸리는 전압은 어떻게 변하는가?
4. 과정 ⑤에서 병렬로 연결한 저항의 개수가 증가할 때 저항 1개에 흐르는 전류의 세기와 걸리는 전압은 어떻게 변하는가?
5. 여러 개의 저항을 직렬과 병렬로 연결할 때 각각 일정한 값을 갖는 것은 무엇인가?

| 저항의 직렬연결 |

그림 II-21의 (가)에서 펌프를 이용하여 높은 곳으로 끌어 올린 물은 하나의 수로를 따라 흐르며 일렬로 설치된 두 개의 물레방아를 돌린다. 이때 물은 두 물레방아를 순서대로 지난다. 그림 (나)는 두 저항 R_1 , R_2 를 직렬로 연결한 회로를 나타낸 것으로, 전류는 그림 (가)의 물과 마찬가지로 하나의 회로를 따라 흐른다.



(가) 직렬로 연결된 두 개의 물레방아
그림 II-21 직렬로 연결된 물의 흐름과 전류 비교



(나) 저항의 직렬연결

두 저항이 직렬로 연결된 회로에서는 전류가 흐를 수 있는 도선이 하나이므로 각 저항에 흐르는 전류의 세기는 같고, 전류의 세기 I 는 전체 전압 V 를 회로의 전체 저항 R 로 나눈 것과 같다. 또 전체 전압은 각 저항에 걸리는 전압의 합과 같다.

$$V = V_1 + V_2 = I_1R_1 + I_2R_2 = I(R_1 + R_2) = IR$$

즉, 저항을 직렬로 연결하면 회로 전체의 저항값이 각 저항의 저항값의 합과 같다.

$$R = R_1 + R_2$$

또한 각 저항에 흐르는 전류의 세기가 같으므로 각 저항에서 소모되는 전력은 다음과 같다.

$$P_1 = I^2R_1, P_2 = I^2R_2$$

따라서 각 저항에서 소모되는 전력의 비는 저항값의 비와 같다.

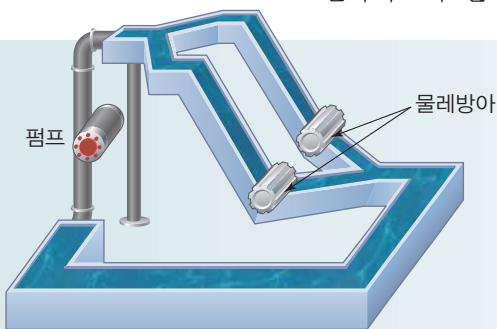
$$P_1 : P_2 = I^2R_1 : I^2R_2 = R_1 : R_2$$

회로에서 직렬로 연결하는 저항의 개수가 증가하면 회로 전체의 저항값이 증가한다. 이때 회로 전체에 걸리는 전압이 일정하므로 회로에 흐르는 전류의 세기는 감소하고, 회로 전체에서 소모되는 전력은 감소한다.

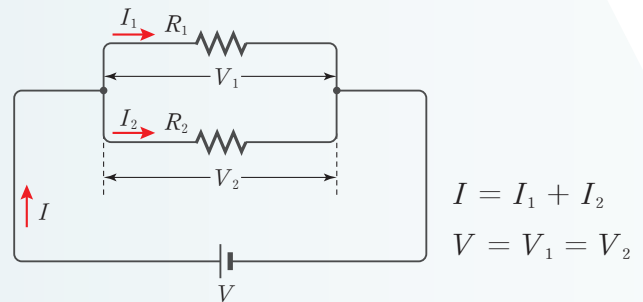
$$P = IV = \frac{V^2}{R_1 + R_2}$$

| 저항의 병렬연결 |

그림 II-22의 (가)에서 펌프를 이용하여 높은 곳으로 끌어 올린 물은 같은 높이에서 두 갈래로 나뉜 수로를 따라 흐르며 각각 설치된 물레방아를 돌린다. 그림 (나)는 두 저항 R_1, R_2 를 병렬로 연결한 회로를 나타낸 것으로, 전류는 그림 (가)의 물과 마찬가지로 두 갈래로 나뉜 회로를 따라 흐른다.



(가) 병렬로 연결된 두 개의 물레방아
그림 II-22 병렬로 연결된 물의 흐름과 전류 비교



(나) 저항의 병렬연결

물음 저항이 병렬로 연결된 회로에서 전자의 이동은 저항이 직렬로 연결된 회로에서 전자의 이동과 어떤 차이가 있는가?

두 저항이 병렬로 연결된 회로에서 전체 전압은 병렬연결된 각 저항 양단에 걸리는 전압과 같고, 회로 전체에 흐르는 전류는 각 저항에 흐르는 전류의 합과 같다.

$$I = I_1 + I_2 = \frac{V}{R_1} + \frac{V}{R_2} = V\left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}\right) = \frac{V}{R}$$

즉, 저항을 병렬로 연결하면 회로 전체의 저항값의 역수가 각 저항의 저항값의 역수의 합과 같다.

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$$

또한 각 저항 양단에 걸리는 전압이 같으므로 각 저항에서 소모되는 전력은 다음과 같다.

$$P_1 = \frac{V^2}{R_1}, P_2 = \frac{V^2}{R_2}$$

따라서 각 저항에서 소모되는 전력의 비는 저항값의 역수비와 같다.

$$P_1 : P_2 = \frac{V^2}{R_1} : \frac{V^2}{R_2} = \frac{1}{R_1} : \frac{1}{R_2}$$

회로에서 병렬로 연결하는 저항의 개수가 증가하면 회로 전체의 저항값이 감소한다. 이 때 회로 전체에 걸리는 전압이 일정하므로 회로 전체에 흐르는 전류의 세기는 증가하고, 회로 전체에서 소모되는 전력은 증가한다.

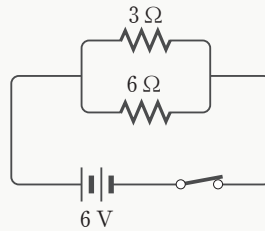
$$P = IV = V^2\left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}\right)$$

수백 개의 장식용 전구에 일정한 전압을 걸어 주려면 장식용 전구를 병렬로 연결해야 한다. 전구를 병렬로 연결했을 때 각각의 전구에 걸리는 전압과 전구에 흐르는 전류의 세기는 전구 한 개를 연결했을 때와 같고, 병렬로 연결된 각 전구의 밝기도 한 개를 연결했을 때와 같다. 또 병렬로 연결된 전구 한 개가 끊어져도 나머지는 밝게 빛날 수 있다.

예제

그림과 같이 저항값이 각각 3 Ω과 6 Ω인 두 저항을 병렬로 연결한 회로에 6 V의 전압을 걸어 주었다.

- (1) 회로의 전체 저항은 몇 Ω인가?
- (2) 3 Ω과 6 Ω에 흐르는 전류는 각각 몇 A인가?
- (3) 3 Ω과 6 Ω에서 소모하는 전력은 각각 몇 W인가?



풀이 ··· (1) 두 저항이 병렬연결되어 있으므로 전체 저항은

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{3\Omega} + \frac{1}{6\Omega} \text{에서 } R = 2 \text{ Ω이다.}$$

(2) 각 저항에 6 V의 전압이 걸리므로 3 Ω의 저항에는 $\frac{6\text{ V}}{3\Omega} = 2\text{ A}$,

6 Ω의 저항에는 $\frac{6\text{ V}}{6\Omega} = 1\text{ A}$ 가 흐른다.

- (3) 소모 전력은 $P = IV$ 이므로, 3 Ω의 저항에서는 $2\text{ A} \times 6\text{ V} = 12\text{ W}$,
6 Ω의 저항에서는 $1\text{ A} \times 6\text{ V} = 6\text{ W}$ 의 전력을 소모한다.

답 (1) 2 Ω (2) 2 A, 1 A (3) 12 W, 6 W

저항을 병렬로 연결하면
전체 저항값은 감소하고
전체 전류와 소모되는
전력은 증가해.



개념 넓히기 저항의 혼합 연결

실제 전기 제품에 사용되는 전기 회로에는 여러 개의 저항이 직렬 또는 병렬로 복잡하게 연결되어 있다. 여러 개의 저항이 직렬과 병렬로 혼합 연결 되었을 때 전체 저항과 전류, 각 저항에 걸리는 전압과 전력을 구해 보자.

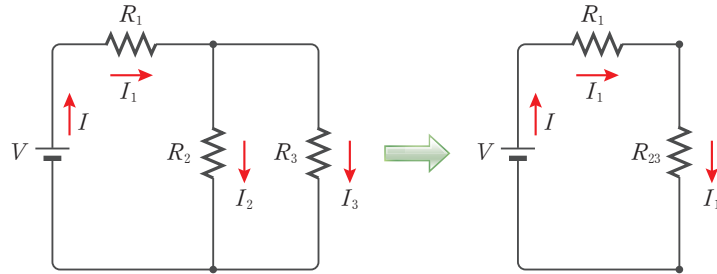


그림 II-23 저항의 혼합 연결

그림 II-23은 세 저항 R_1, R_2, R_3 를 혼합 연결한 것이다. 이때 회로 전체에 흐르는 전류 I 와 각 저항에 흐르는 전류 I_1, I_2, I_3 사이에는

$$I = I_1 = I_2 + I_3$$

의 관계가 성립한다. 또 병렬로 연결된 R_2 와 R_3 을 하나의 저항 R_{23} 으로 나타내면 R_1 과 R_{23} 은 직렬연결되어 있다. 따라서 회로의 전체 저항 R 는 다음과 같다.

$$R = R_1 + R_{23} = R_1 + \frac{R_2 R_3}{R_2 + R_3}$$

만약 그림 II-23에서 세 저항의 저항값이 모두 같다면 $R_{23} = \frac{1}{2}R_1$ 이고, 회로 전

체 저항은 $\frac{3}{2}R_1$ 이다. 따라서 회로에 흐르는 전류의 세기는 $I = I_1 = \frac{V}{R} = \frac{2V}{3R_1}$,

$I_2 = I_3 = \frac{V}{3R_1}$ 이므로 각 저항에서 소모되는 전력 P_1, P_2, P_3 과 회로 전체에서 소모되는 전력 P 는 다음과 같다.

$$P_1 = I_1^2 R_1 = \frac{4V^2}{9R_1}, \quad P_2 = P_3 = I_2^2 R_1 = \frac{V^2}{9R_1}$$

$$\Leftrightarrow P = P_1 + P_2 + P_3 = \frac{2V^2}{3R_1}$$

창의력 키우기

사람의 체지방을 측정할 때 몸의 전기 저항을 이용하는 원리를 알아보자.

평가하기

개념 이해

1 저항의 직렬연결에서는 저항에 흐르는 ()가 같고, 병렬연결에서는 저항에 걸리는 ()이 같다.

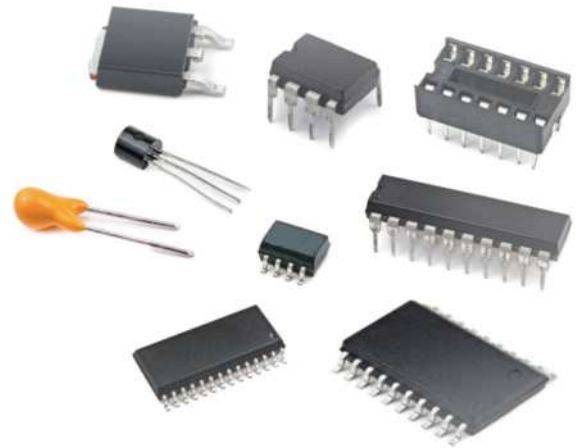
2 전압이 일정한 직류 전원에 저항값이 각각 6 Ω, 3 Ω인 두 저항이 직렬로 연결되었을 때와 병렬로 연결되었을 때 회로 전체에서 소모되는 전력의 비를 구해 보자.

창의·융합

3 멀티탭에 너무 많은 전기 기구를 연결할 때 위험한 까닭을 친구들과 토의해 보자.

04 트랜지스터

- 트랜지스터의 증폭 원리를 이해할 수 있다.
- 트랜지스터에서 저항을 이용하여 필요한 바이어스 전압을 정할 수 있다.



들어가기 | 트랜지스터는 어떤 역할을 할까?

트랜지스터는 현대 전자 문명을 일으킨 반도체 소자이다. 휴대 전화나 컴퓨터는 수많은 트랜지스터로 이루어져 있다. 트랜지스터는 전기 회로에서 어떤 역할을 하는 것일까?

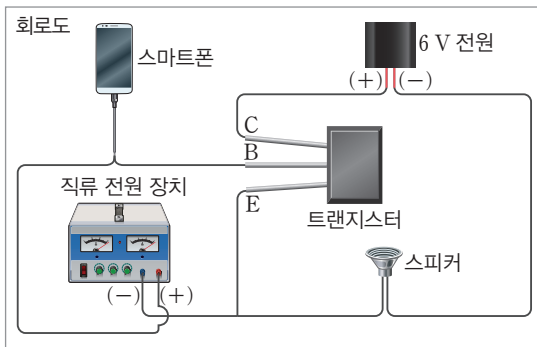
알아보기 | 트랜지스터

| 트랜지스터의 구조와 활용 |

트랜지스터는 p-n 접합 다이오드에 p형 반도체나 n형 반도체를 하나 더 접합하여 만든 것으로, 전자 회로의 기초가 되는 반도체 소자이다.

미니 탐구 | 트랜지스터를 이용한 소리 증폭

- 1 스마트폰에 연결된 이어폰 끝부분의 피복을 칼로 조금 벗겨낸 후, 그 끝을 스피커에 바로 연결하여 음악을 들어 본다.
- 2 그림과 같이 트랜지스터에 전지, 스피커를 연결하고, 과정 1의 이어폰 끝을 트랜지스터 회로에 연결한 후 스피커로 음악을 들어 본다.



직류 전원 장치로 0.9 V의 전압을 걸어 준다.



목표
트랜지스터를 이용하여 소리 신호를 증폭할 수 있다.

준비물
트랜지스터(n-p-n형), 브레드보드, 스피커, 스마트폰, 이어폰, 직류 전원 장치, 6 V 전원, 연결 전선, 집게 달린 전선, 칼

! 주의 사항

- 칼로 이어폰 끝을 벗겨 낼 때 다치지 않도록 주의한다.
- p-n-p형 트랜지스터를 이용할 때에는 전지 방향을 반대로 한다.
- 트랜지스터에 열이 많이 발생할 수 있으므로 손으로 직접 만지지 않는다.

- 1 과정 1과 2에서 어느 쪽의 음악 소리가 크게 들리는가?
- 2 트랜지스터는 어떤 기능을 한다고 할 수 있는가?

탐구에서 트랜지스터를 이용하면 작은 신호를 크게 증폭할 수 있다는 것을 알았다. 트랜지스터가 작은 신호를 증폭할 수 있는 원리는 무엇인지 알아보자.

그림 II-24와 같이 트랜지스터는 p형 반도체와 n형 반도체를 접합하는 순서에 따라 p-n-p형 트랜지스터와 n-p-n형 트랜지스터로 나뉘며, 트랜지스터를 이루는 세 부분을 각각 이미터(E), 베이스(B), 컬렉터(C)라고 한다.



트랜지스터 기호

트랜지스터 기호에서 화살표는 이미터와 베이스 사이의 전류의 방향을 나타낸다. 화살표가 이미터에서 베이스로 향하면 베이스가 n형이므로 p-n-p형 트랜지스터이고, 화살표가 베이스에서 이미터로 향하면 베이스가 p형이므로 n-p-n형 트랜지스터이다.

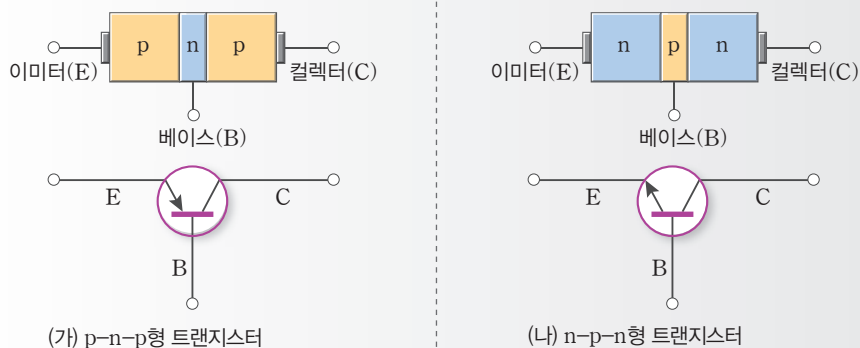


그림 II-24 트랜지스터

전기 회로에서 입력 신호와 출력 신호를 나타내기 위해서는 (+)단자와 (-)단자가 각각 2개씩 모두 4개의 단자가 필요하다. 트랜지스터는 세 개의 단자를 갖기 때문에 이미터, 베이스, 컬렉터 중 한 개는 공통으로 쓰인다. 트랜지스터를 이용한 증폭 회로는 어느 단자를 공통으로 사용하느냐에 따라 공통 이미터 회로, 공통 베이스 회로, 공통 컬렉터 회로로 구분한다. 이 중 공통 이미터 회로가 가장 널리 사용된다. 그림 II-25는 n-p-n형 트랜지스터를 이용한 공통 이미터 회로에서 전류의 흐름을 간단하게 나타낸 것이다.

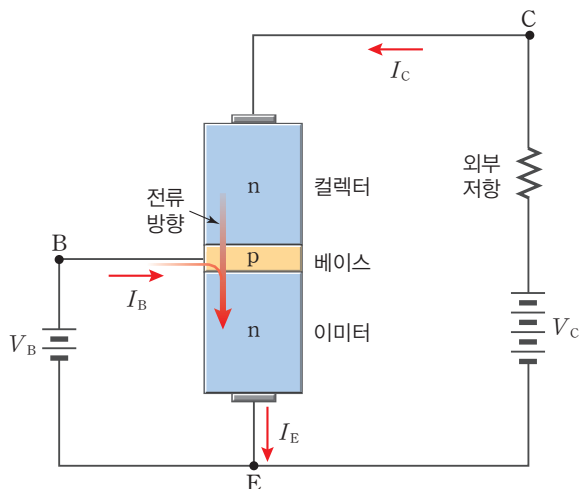


그림 II-25 n-p-n형 트랜지스터의 회로 연결

여기서 베이스와 이미터 사이의 전압 V_B 는 순방향 바이어스이고, 컬렉터와 베이스 사이의 전압 V_C 는 역방향 바이어스이다. 순방향 바이어스가 걸린 베이스와 이미터의 p-n 접합에서는 이미터 영역의 전자가 베이스 영역으로 이동한다. 베이스가 매우 얇기 때문에 이미터에서 베이스로 이동하던 대다수의 전자가 컬렉터 쪽으로 확산된

양극 접합 트랜지스터

양극 접합 트랜지스터는 베이스 층이 보통 $0.5 \mu\text{m}$ 정도로 아주 얇고, 이미터와 컬렉터는 약 0.5mm 정도이다. 불순물의 도핑 비율은 대개 이미터 > 베이스 > 컬렉터이므로 이미터와 컬렉터를 바꿔서 연결하면 회로가 정상적으로 작동하지 않는다.

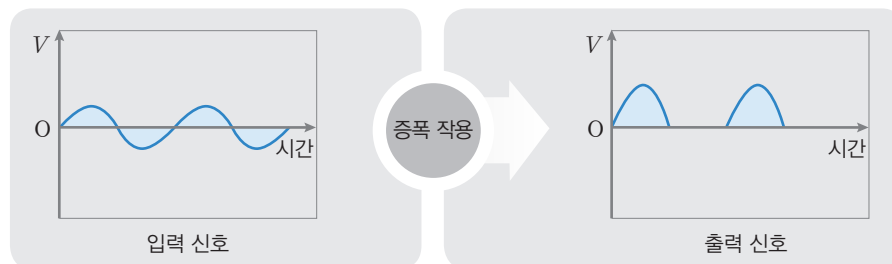
다. 컬렉터에서는 베이스를 통과하여 컬렉터로 확산된 전자가 V_C 의 (+)단자에서 공급되는 양공과 계속 결합하기 때문에 컬렉터에서 이미터 방향으로 전류가 흐른다. 이때 소량의 전자가 베이스에서 양공과 재결합하고 그만큼 베이스 전류 I_B 가 되어 흐른다. 따라서 $I_B \ll I_C$ 이다. 또 트랜지스터는 컬렉터 전류 I_C 가 베이스 전류 I_B 에 비례하는 성질이 있으므로 $I_C = \beta I_B$ 라고 할 수 있고, 여기서 β 는 전류 증폭률이다. 예를 들어, $I_C = 100I_B$ 일 때 I_B 가 0.1 A에서 0.2 A로 2배가 되면 I_C 는 10 A에서 20 A로 2배가 된다. 이처럼 공통 이미터 회로에서는 작은 입력 전류 I_B 를 이용해 큰 출력 전류 I_C 를 얻을 수 있는데, 이를 **증폭 작용**이라고 한다. 트랜지스터의 증폭 기능을 이용하면 라디오나 TV에서 약한 교류 신호를 증폭할 수 있다.

트랜지스터의 스위칭 작용
트랜지스터의 베이스에 전류가 흐르면 컬렉터에도 전류가 흐르고, 베이스에 전류가 흐르지 않으면 컬렉터에도 전류가 흐르지 않는다. 이러한 성질을 이용하면 디지털 회로에서 트랜지스터를 '전류 흐름(신호 1)'과 '전류 흐르지 않음(신호 0)'을 조절하는 스위치처럼 이용할 수 있다. 이를 트랜지스터의 스위칭 작용이라고 한다.

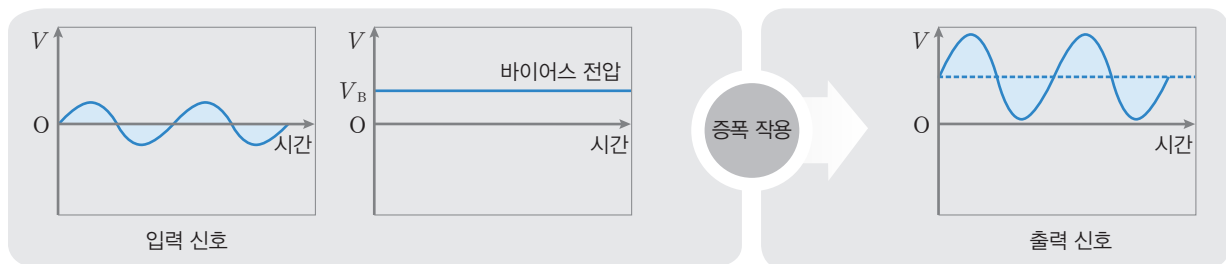
| 바이어스 전압 |

마이크에 입력된 소리나 안테나에 수신된 전파 신호처럼 세기가 약한 교류 신호를 트랜지스터를 이용해 크게 증폭할 수 있다. 그런데 교류는 순방향 바이어스와 역방향 바이어스가 반복되므로, 순방향 바이어스일 때는 트랜지스터를 통해 전류가 증폭되지만 역방향 바이어스일 때는 증폭되지 않는다. 그러므로 입력되는 교류 신호에 직류 전압을 추가하여 트랜지스터에 항상 순방향 바이어스가 걸리도록 한다. 이 직류 전압을 **바이어스 전압**이라고 한다. 탐구에서 스마트폰에 연결된 직류 전원 장치가 바이어스 전압을 걸어 주는 역할을 한다.

그림 II-26의 (가)는 바이어스 전압이 없을 때, (나)는 바이어스 전압을 걸었을 때 교류 신호가 증폭되는 모습을 간단하게 나타낸 것이다.



(가) 바이어스 전압이 없을 때



(나) 바이어스 전압이 있을 때

그림 II-26 바이어스 전압과 신호 증폭

개념 넓히기 저항을 이용한 전압 분할

저항을 직렬로 연결하면 각 저항에는 일정한 전류가 흐르므로 각 저항에 걸리는 전압은 저항의 비와 같다. 그림 II-27과 같이 저항 R_1 , R_2 를 전압 V_0 에 직렬로 연결하면 R_2 에 걸리는 전압은

$$V_2 = \frac{R_2}{R_1 + R_2} V_0$$

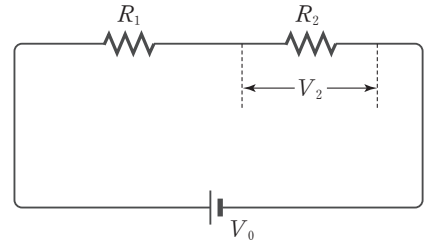


그림 II-27 저항을 이용한 전압 분할

이다. 따라서 R_1 과 R_2 의 크기를 조절하면 원하는 V_2 를 얻을 수 있다. 이렇게 저항을 이용해 입력 전압을 나누는 것을 **전압 분할**이라고 한다.

트랜지스터를 이용해 전류를 증폭하기 위해서는 컬렉터에 연결된 전압 V_C 외에도 베이스에 연결된 바이어스 전압 V_B 가 필요하다. 트랜지스터를 이용한 증폭 회로에서는 V_B 와 V_C 를 위한 직류 전원을 따로 사용하지 않고 한 개의 직류 전원을 이용해 필요한 바이어스 전압을 얻는다. 이때 저항을 이용한 전압 분할로 바이어스 전압을 조절할 수 있다. 그림 II-28과 같은 회로에서 베이스와 이미터 사이에 걸리는 바이어스 전압 V_B 는 베이스 전류가 R_2 에 흐르는 전류보다 훨씬 적을 때 직류 전원의 전압 V_C 를 저항 R_1 , R_2 로 분할한 전압이다. 즉, 바이어스 전압 V_B 는 저항을 이용해 다음과 같이 정할 수 있다.

$$V_B \approx \frac{R_2}{R_1 + R_2} V_C$$

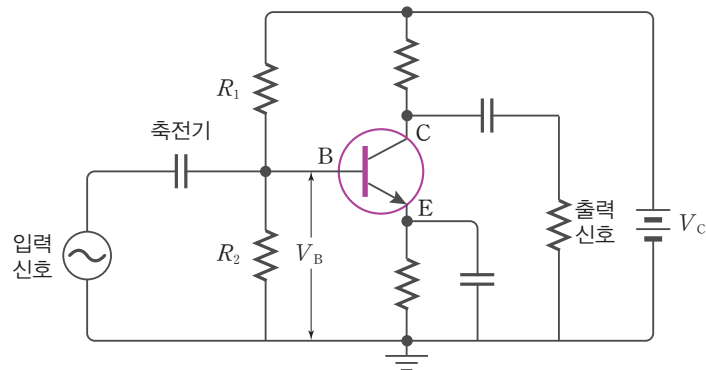


그림 II-28 공통 이미터 회로에서 저항의 연결을 이용한 전압 분할

물음 V_C 가 6 V이고, R_1 , R_2 의 저항값이 각각 9 k Ω , 1 k Ω 일 때 이미터와 베이스 사이에 걸리는 전압은?

평가하기

개념 이해

1 트랜지스터의 세 단자 이미터, 베이스, 컬렉터 중 이미터와 같은 종류의 반도체로 만들어지는 것은 ()이다.

창의·융합

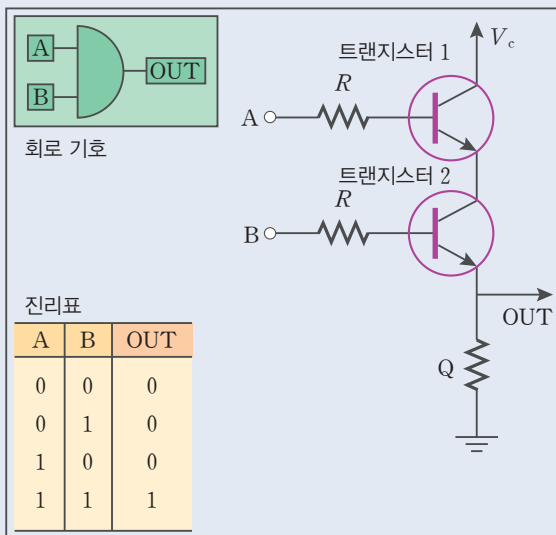
2 트랜지스터의 () 기능을 이용하면 작은 전류로 큰 전류를 제어할 수 있다.

3 트랜지스터가 오늘날 널리 쓰이는 까닭을 조사해 보자.

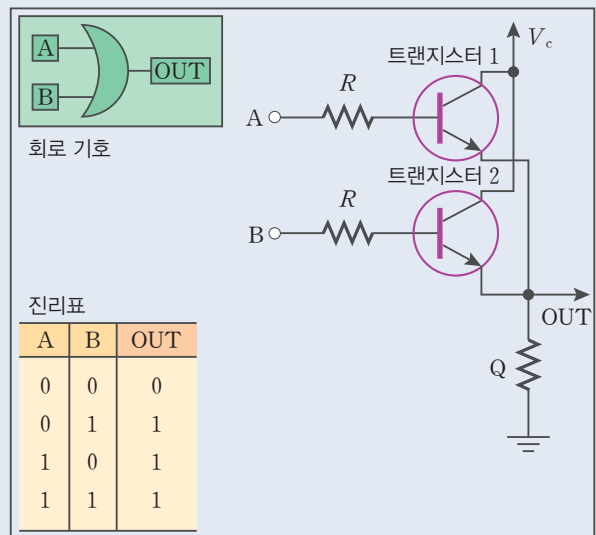
트랜지스터를 이용한 논리 회로

5 + 3을 컴퓨터는 이진수로 변환하여 0101 + 0011 = 1000처럼 계산한다. 그렇다면 실제로 전자 회로에서 이 연산을 어떻게 구현할까?

컴퓨터에서 사칙 연산 같은 논리 연산을 담당하는 회로를 논리 회로라고 한다. 논리 회로는 논리 게이트라고 불리는 수많은 논리 소자들로 이루어져 있다. 대표적인 논리 게이트에는 AND, OR, NOT, NAND, NOR, XOR, XNOR 게이트 등이 있다. 논리 게이트는 트랜지스터의 스위칭 작용을 이용한다. 그림은 트랜지스터를 이용한 AND, OR 게이트 회로와 진리표, 회로 기호를 나타낸 것이다.



▲ AND 게이트



▲ OR 게이트

AND 게이트는 2개의 트랜지스터가 직렬로 연결된 것으로, 트랜지스터 1과 트랜지스터 2의 베이스에 모두 전류가 흘러야 Q에 전류가 흐른다. 즉, 두 입력 A, B가 모두 1일 때만 출력 Q가 1이 된다. OR 게이트는 2개의 트랜지스터가 병렬로 연결된 것으로, 트랜지스터 1이나 트랜지스터 2 중 어느 한쪽의 베이스에 전류가 흐르면 Q에 전류가 흐른다. 즉, 두 입력 A, B 중 한쪽만 1이면 Q가 1이 된다.

생각해 보기

1 AND, OR 게이트에서 Q에 전류가 흐를 때 각 트랜지스터의 베이스에는 전류가 흐르는지 알아보자.

과학적 문제 해결력

2 논리 게이트를 이용한 논리 회로를 한 가지 찾아보고 어떤 연산을 하는지 알아보자.

05 축전기

- 평행판 축전기를 이용하여 에너지를 저장하는 원리를 전위차와 전하량으로 설명할 수 있다.
- 축전기가 일상생활에서 활용되는 예를 설명할 수 있다.



들어가기 더 빨리, 더 멀리 가는 전기 자동차는?

전기 자동차는 화석 연료를 사용하지 않아 공기 오염을 일으키지 않고 소음도 적어 머지않아 자동차의 대세가 될 전망이다. 하지만 낼 수 있는 속력이나 한 번 충전으로 주행할 수 있는 거리에서 석유를 사용하는 기존 자동차에 비해 불편한 점이 남아 있다. 더 빨리, 더 멀리 달리는 전기 자동차를 만들 수 있는 기술은 무엇일까?

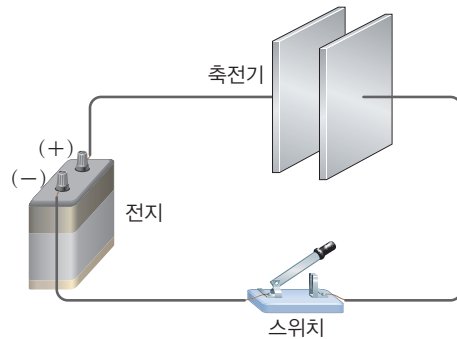
알아보기 축전기의 전기 용량

전기 에너지를 저장하는 장치를 축전기라고 한다. 우리가 사용하는 대부분의 전자 기기 속에는 다양한 종류의 축전기가 사용된다.

| 축전기의 원리 |

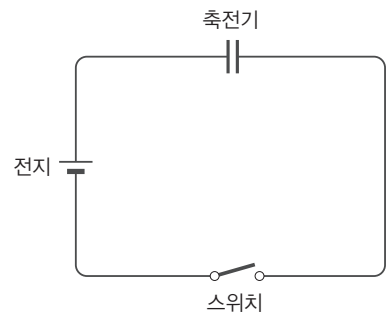
마찰로 대전하면 전하를 잠시 모을 수 있지만 전하들이 서로 밀어내어 흩어지므로 많은 양의 전하를 모으기 어렵고 쉽게 방전된다. 하지만 그림 II-29의 (가)와 같이 각각 다른 부호의 전하를 가진 두 도체판을 서로 마주 보게 하면, 서로 다른 부호의 전하들끼리 잡아당기는 인력 때문에 전하가 도망가지 않아서 많은 전하를 두 도체판에 모을 수 있다. 이처럼 두 개의 평행한 도체판이 일정한 거리만큼 떨어져 있어 전하를 저장할 수 있도록 만든 장치를 평행판 축전기라고 부른다. 그림 (나)는 (가)의 축전기, 전지, 스위치를 각각 전기 회로도로 나타낸 것이다.

책 축전기의 다른 이름
축전기는 영문 이름으로 커패시터(capacitor) 또는 콘덴서(condenser)라고도 불린다.



(가) 전지에 연결된 평행판 축전기

그림 II-29 평행판 축전기



(나) 전기 회로도

그림 II-30의 (가)와 같이 축전기에 전지를 연결하면 두 도체판 사이의 전위차가 전지의 전압과 같아질 때까지 전하가 이동하여 축전기의 한쪽 극판에는 양(+)
전하가, 다른 쪽 극판에는 음(-)전하가 같은 양으로 대전된다. 이처럼 축전기의 두 도체
판 위에 전하를 모으는 것을 충전이라고 한다. 충전된 축전기 양단에는 전위차가 있
으므로 그림 (나)와 같이 회로에 연결하면 축전기의 두 도체판 위에 모여 있던 전하들
이 모두 회로를 통해 흘러 나가 축전기 양단의 전위차가 0이 되는데, 이것을 방전이라
고 한다.

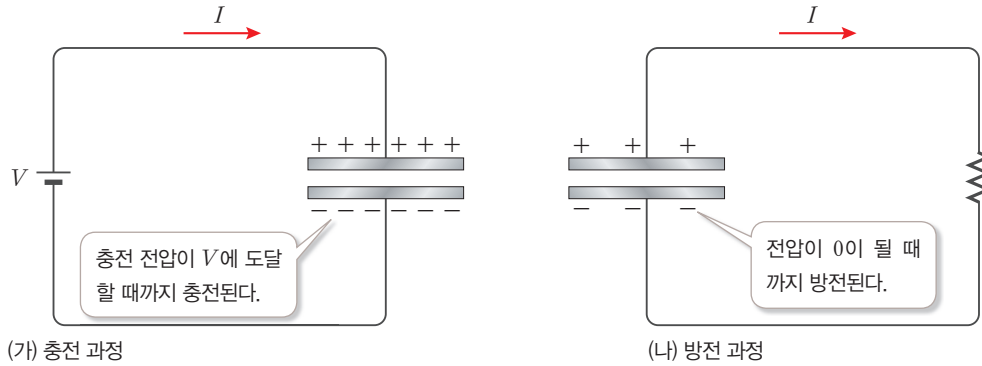


그림 II-30 축전기의 충전과 방전

| 축전기의 전기 용량 |

그림 II-31과 같이 평행판 축전기의 두 도체판 위에 각각 충전되는 전하량 $+Q$ 와 $-Q$ 는 두 도체판 사이에 걸리는 전압 V 에 비례한다. 그러므로 $Q \propto V$ 또는 비례 상수를 써서 $Q = CV$ 로 나타낼 수 있다. 여기서 비례 상수 C 를 축전기의 전기 용량 이라 하고, 단위는 F(패럿)을 사용한다.

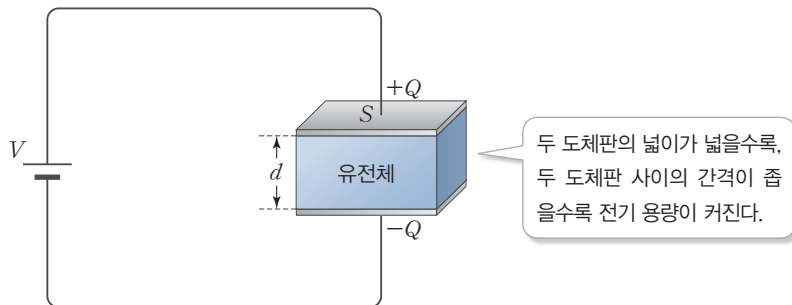


그림 II-31 축전기의 전기 용량

전기 용량은 축전기의 기하학적 구조에 따라 결정된다. 평행판 축전기는 마주 보는 두 금속판의 넓이가 넓을수록 많은 전하량을 모을 수 있으므로 전기 용량이 커진다. 또한 축전기의 두 도체판 사이의 전위차는 양 극판 사이의 전기장이 E 일 때 $V = Ed$ 이므로, 일정한 전위차 V 에서 두 판 사이의 간격 d 가 작을수록 판 사이의 전기장의 세기가 커져서 저장되는 전하량이 증가하여 전기 용량이 커진다.

📖 전기 용량의 단위

전기 용량의 단위는 패러데이를 기념하여 F(패럿)이라고 부른다. 1 F은 두 극판 사이의 전위차가 1 V일 때 1 C의 전하량을 충전하는 전기 용량이다.

1 F은 매우 큰 양이므로 실용적으로는 μF 이나 pF을 사용한다.

$$1 \mu\text{F} = 10^{-6} \text{ F}$$

$$1 \text{ pF} = 10^{-12} \text{ F}$$

유전율

유전체를 전기장 내에 놓으면 양 (+)전하와 음 (-)전하로 분극되는 유전 분극이 일어난다. 이때 분극의 정도를 수치로 나타낸 것을 유전율 ϵ 이라고 한다. 유전율이 클수록 분극이 잘 일어난다. 진공에서의 유전율은 ϵ_0 으로 표기하며 8.85×10^{-12} F/m이다.

따라서 평행판 축전기의 전기 용량 C 는 판의 넓이 S 에 비례하고 판 사이의 간격 d 에는 반비례하므로 다음과 같이 나타낼 수 있다. 여기서 비례 상수 ϵ (엡실론)은 두 판 사이를 채우는 물질의 유전율이다.

$$C = \epsilon \frac{S}{d} \text{ (단위: F)}$$

| 축전기에 저장된 전기 에너지 |

전지를 이용하여 축전기를 충전하면 축전기가 일을 할 수 있는 능력을 갖게 된다. 축전기를 충전할 때 가해 주는 전압과 축전기에 저장되는 전기 에너지의 관계를 알아보자.

미니 탐구

축전기에 저장되는 전기 에너지

목표

축전기에 가해지는 극판 전압과 축전기에 저장되는 전기 에너지의 관계를 알 수 있다.

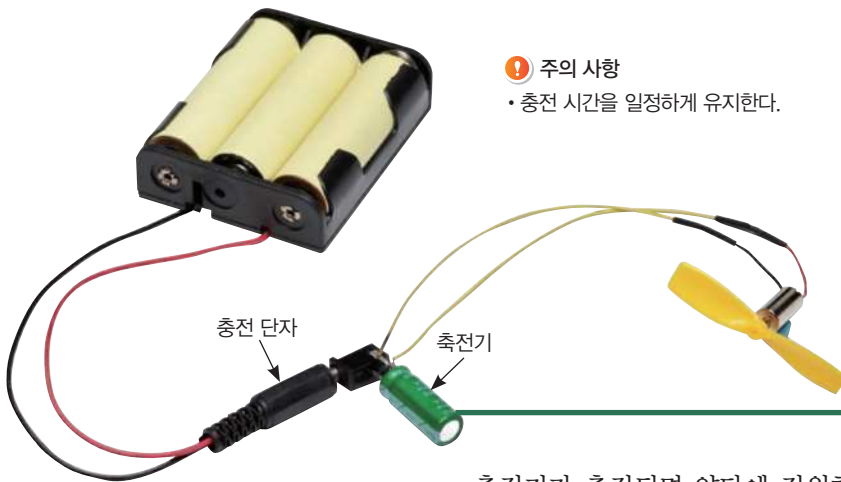
준비물

충전식 전동 비행기 세트(축전기, 모터, 프로펠러, 충전 단자, 건전지 끼우개), 1.5 V 건전지, 초시계

- 1 충전식 전동 비행기 세트에서 모터와 프로펠러, 축전기, 건전지 끼우개, 충전 단자를 연결한다.
- 2 1.5 V 건전지 하나만 연결하여 충전한 후, 충전 단자를 빼고 프로펠러가 회전하는 시간을 측정한다.
- 3 1.5 V 건전지를 2개, 3개까지 직렬로 연결하여 과정 2를 반복한다.

주의 사항

- 충전 시간을 일정하게 유지한다.



- 1 ? 충전할 때 축전기에 가해지는 극판 전압과 프로펠러의 회전 시간 사이에는 어떤 관계가 있는가?
- 2 ? 축전기에 충전된 전하량과 축전기에 저장되는 전기 에너지는 어떤 관계가 있는지 모둠별로 토론햐 보자.

축전기가 충전되면 양단에 전위차가 생겨서 저항을 연결하면 전류가 흐르면서 일을 할 수 있다. 즉, 충전된 축전기는 전기 에너지를 저장하고 있다. 이 에너지는 축전기가 충전되는 동안 전지가 축전기의 도체판으로 전하를 이동시키는 일을 했기 때문에 생겨난 것이다. 축전기에 저장되는 전기 에너지를 구하기 위해 전기 용량이 C 인 축전기의 두 도체판에 전하량 Q 가 이동하여 두 극판 사이의 전위차가 V 가 되는 동안 전지가 축전기에 하는 일을 생각해 보자. 전하가 이동하기 전에 두 도체판 사이의 전위차는 0이고 모아진 전하량도 0이다.

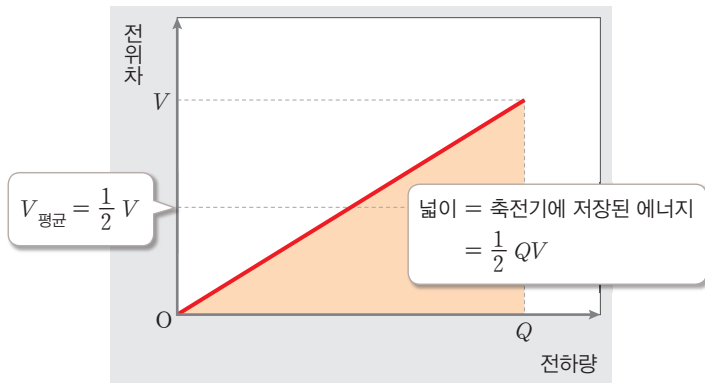


그림 II-32 축전기에 저장된 전기 에너지

전지로부터 도체판으로 전하가 이동할 때, 두 도체판에 쌓인 전하량 Q 와 두 도체판 사이의 전위차 V 는 비례하므로 그림 II-32와 같은 그래프로 나타낼 수 있다.

축전기의 두 도체판 사이의 전기장이 전하에 해 주는 일만큼 축전기의 전기 에너지가 저장되므로 축전기에 충전된 전하량이 Q 가 되어 극판 전압이 V 가 되는 동안 축전기에 저장되는 전기 에너지 W 는 다음과 같다.

$$W = QV_{\text{평균}} = \frac{1}{2}QV = \frac{1}{2}CV^2 = \frac{1}{2}\frac{Q^2}{C}$$

이는 그림 II-32에서 색칠된 삼각형의 넓이와 같다. 전지가 축전기에 해 준 일이 전기적 퍼텐셜 에너지로 축전기에 저장된다. 이것을 **축전기에 저장된 전기 에너지**라고 한다.

전하가 저장된 축전기의 두 금속판을 도선으로 연결하면 전하가 방전되면서 저장된 에너지가 소비된다. 탐구에서 살펴본 충전식 전동 비행기 세트는 축전기에 저장된 전기 에너지가 방전되면서 프로펠러를 돌린다. 이때 전압이 두 배가 되면 프로펠러가 회전하는 시간이 약 4배가 됨을 알 수 있다. 이는 앞의 식에서 전기 용량이 일정할 때 축전기에 저장되는 전기 에너지가 전압의 제곱에 비례한다는 사실로부터 확인할 수 있다.

예제

전기 용량이 2 pF인 축전기를 전압이 6 V인 전지로 충분한 시간 동안 충전하였다. 이 축전기에 저장된 전기 에너지는 몇 J인가?

풀이 · · 축전기에 저장되는 전기 에너지는 $\frac{1}{2}QV = \frac{1}{2}CV^2$ 이므로,

$$W = \frac{1}{2}CV^2 = \frac{1}{2}(2 \times 10^{-12} \text{ C/V})(6 \text{ V})^2 = 3.6 \times 10^{-11} \text{ J이다.}$$

답 $3.6 \times 10^{-11} \text{ J}$

축전기에 저장된 에너지는 전지가 축전기에 해 준 일과 같아.



개념 넓히기 에너지 저장 장치로서 축전기의 활용 사례

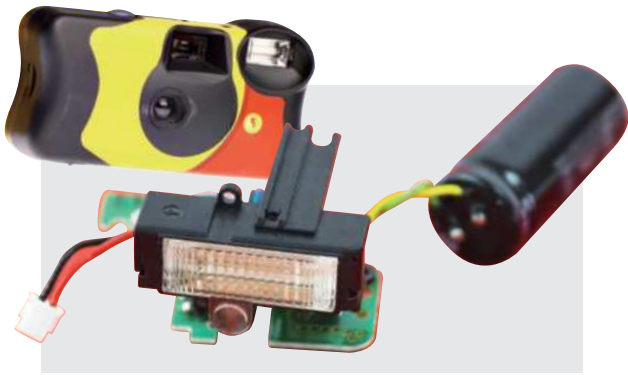


그림 II-33 일회용 카메라의 축전기

축전기는 전기 에너지를 저장하는 장치로서 각종 전자 제품에 다양하게 활용된다. 카메라의 플래시에는 축전기가 들어 있어서 건전지에 의해 전기 에너지를 충전하고 있다가 플래시 스위치를 누르는 순간 축전기에 저장된 전기 에너지를 한꺼번에 방전시켜 많은 빛을 낸다. 일회용 카메라를 분해하면 그림 II-33과 같이 전구와 전지에 연결된 원통형 축전기를 찾을 수 있다.

카메라 플래시와 유사한 원리로 축전기가 활용되는 다른 사례로 그림 II-34와 같은 자동 제세동기(Automated External Defibrillator)가 있다. 자동 제세동기는 심장의 기능이 멈춘 사람의 가슴에 전기 충격을 가하여 심장 박동이 정상적인 상태로 돌아올 수 있도록 도와주는 장치이다. 자동 제세동기는 축전기에 저장된 전기 에너지를 한꺼번에 방전시키면서 순간적으로 강한 전류를 심장 부근에 가하여 심장이 원래 기능을 회복하도록 돕는다.

전기를 에너지원으로 사용하는 전자 기기가 늘면서 축전기는 전지를 대체하는 전원 장치로서 주목받고 있다. 특히, 그림 II-35와 같은 전기 자동차에서 축전기의 사용이 점차 늘고 있다. 전기 자동차는 한 번의 충전만으로 오랫동안 작동하고 빠른 속력을 내는 데 필요한 강한 에너지를 얻기 위해서 현재 전자 기기에서 사용하는 축전기보다 전기 용량이 훨씬 크고 에너지 밀도가 높은 축전기가 필요하다. 앞으로도 축전기에 대한 수요가 계속 늘어날 전망이어서 보다 많은 전기 에너지를 저장할 수 있는 축전기를 개발하기 위한 연구가 활발하게 진행되고 있다.



그림 II-34 자동 제세동기

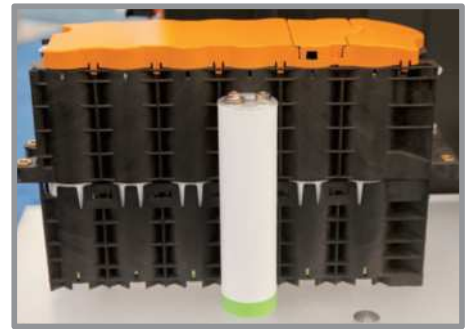


그림 II-35 축전기를 사용하는 전기 자동차

한편 축전기는 기하학적 구조와 극판 사이에 채워진 유전체에 따라 전기 용량이 달라지므로, 이 성질을 이용하여 컴퓨터의 키보드, 터치스크린, 마이크 등 각종 전자 기기의 입력 장치로서도 유용하게 활용된다. 예를 들어, 그림 II-36과 같이 컴퓨터 키보드의 바닥에는 평행판 축전기가 붙어 있는데, 글자판을 누르면 축전기의 두 금속판 사이의 간격이 줄어들어 전기 용량이 증가하고 컴퓨터가 이 변화를 인식하여 글자가 입력된다.

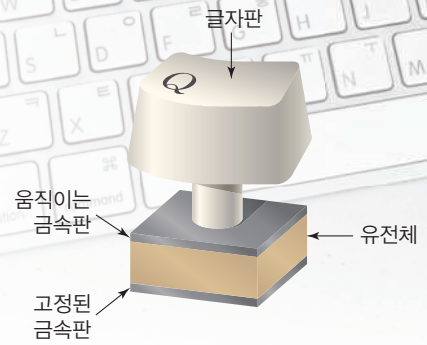


그림 II-36 컴퓨터 키보드의 구조

스마트폰이나 태블릿 컴퓨터에 많이 쓰이는 정전식 터치스크린은 그림 II-37과 같이 투명 전극에 코팅된 2장의 전도성 유리로 된 일종의 평행판 축전기와 같다. 이 유리판 사이에 작은 전압을 걸어 주면 유리 표면에 전하가 충전된다. 이때 상단의 전도성 유리, 즉 스크린에 손가락을 대면 스크린에 저장된 전자가 손가락을 따라 사람의 몸으로 이동하므로 스크린 표면의 전하량이 변하게 된다. 그러면 터치스크린에 있는 센서가 전하량의 변화를 감지하여 접촉되는 위치를 파악하고 입력을 판별하게 된다.

이 밖에도 콘덴서(축전기) 마이크는 진동판의 진동에 의해 두 금속판 사이의 간격이 변하면서 축전기의 전기 용량에 차이가 생기는 점을 응용하고, 가변 축전기는 다이얼을 돌려 축전기의 극판의 넓이를 조절하여 전기 용량이 변하는 것을 이용한다. 이처럼 축전기는 다양한 전자 제품에 주요 부품으로 활용된다.

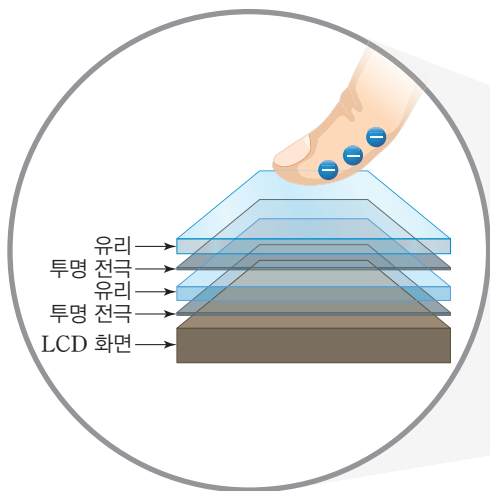


그림 II-37 터치스크린의 구조



평가하기

개념 이해

- 1 평행판 축전기의 전기 용량은 무엇에 의해 결정되는가?
 - 2 전기 용량이 일정한 축전기의 전위차를 처음보다 2배 증가시키면 축전기에 저장되는 전기 에너지는 처음의 몇 배가 되는가?
- 창의·융합
- 3 TV와 같은 전자 제품의 전원을 껐더라도 함부로 분해할 때 위험한 까닭은 무엇일까?



중단원 정리하기

> 핵심 내용 정리하기

전기장과 전기력선

1. ^①□□□: 전기력이 미치는 공간이다.

$$E = \frac{F}{q}$$

2. 전기력선: 전기장 속에 놓인 양(+)-전하가 받는 힘의 방향을 연속으로 이은 선이다.

원리 ① | 응용

>> 기초 개념 익히기

1 전기장에서 전하량이 +2 C인 전하에 작용하는 전기력이 10 N일 때 전기장의 세기는 몇 N/C인가?

정전기 유도

1. 정전기 유도: 도체에서 대전체에 가까운 곳은 ^①□□ 전하, 먼 곳은 ^②□□ 전하가 유도되는 현상이다.

2. 유전 분극: 절연체에서 대전체에 가까운 곳은 다른 전하, 먼 곳은 같은 전하를 띠는 현상이다.

공식 ② | 글자 ① | 응용

2 음(-)전하로 대전된 막대를 알루미늄 강통에 가까이 가져갔을 때 막대에 가까운 쪽은 () 전하로, 먼 쪽은 () 전하로 대전된다.

직류 회로

1. 옴의 법칙과 소모 전력

① 옴의 법칙: $V = IR$ ② 소모 전력: $P = I^2R$

2. 저항의 직렬연결과 병렬연결

^①□□ 연결

$$I = I_1 = I_2$$

$$V = V_1 + V_2$$

합성 저항은 각 저항보다 커진다. $R = R_1 + R_2$

^②□□ 연결

$$I = I_1 + I_2$$

$$V = V_1 = V_2$$

합성 저항은 각 저항보다 작아진다. $\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$

공식 ② | 글자 ① | 응용

3 저항값이 각각 6 Ω, 3 Ω인 두 저항을 직렬과 병렬로 연결했을 때 전체 저항값은 각각 얼마인가?

4 전체 전압이 6 V인 전원에 저항값이 각각 6 Ω, 3 Ω인 두 저항을 병렬로 연결했을 때, 각 저항에서 소모되는 전력은 몇 W인가?

트랜지스터와 축전기

1. 트랜지스터와 증폭 원리: 베이스와 에미터 사이에 ^①□□□ 바이어스가 걸리면 작은 베이스 전류로 큰 컬렉터 전류를 얻는다.

2. 바이어스 전압: 교류 신호의 증폭을 위해 추가하는 직류 전압이다.

3. 축전기의 ^②□□ 용량: $C = \epsilon \frac{S}{d}$

4. 축전기에 저장되는 전기 에너지:

$$W = \frac{1}{2}QV = \frac{1}{2}CV^2 = \frac{1}{2} \frac{Q^2}{C}$$

공식 ② | 용량 ① | 응용

5 트랜지스터를 이용해 교류 전류를 증폭하기 위해서는 베이스와 에미터 사이에 () 바이어스가 걸려야 한다.

6 평행판 축전기에서 극판의 면적이 2배가 되고 극판 사이의 간격이 $\frac{1}{2}$ 배가 되었다면 전기 용량은 몇 배가 되는가?

개념 확인하기

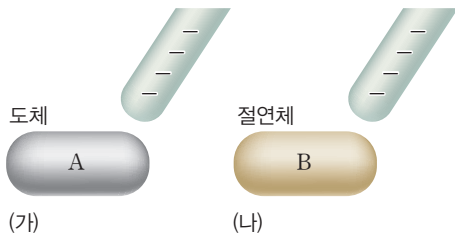
1 전기력선에 대한 설명으로 옳은 것만을 보기에서 있는 대로 고른 것은?

보기

ㄱ. 양(+)전하에서 나온다.
 ㄴ. 전기력선 간격이 좁은 곳이 넓은 곳보다 전기장의 세기가 세다.
 ㄷ. 전기장 내에 놓인 전자가 받는 힘의 방향을 연속적으로 이은 선이다.

- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ
 ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

2 그림 (가)와 (나)는 음(-)전하를 띤 막대를 각각 도체 A와 절연체 B 가까이 가져가는 모습을 나타낸 것이다.



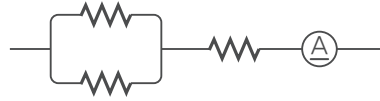
이에 대한 설명으로 옳은 것만을 보기에서 있는 대로 고른 것은?

보기

ㄱ. (가)에서는 유전 분극이 일어난다.
 ㄴ. (나)에서 막대의 먼 쪽은 전하를 띠지 않는다.
 ㄷ. (가)와 (나)에서 A, B는 모두 막대 쪽으로 끌려온다.

- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ
 ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

3 그림은 전체 전압이 12 V일 때 저항값이 4 Ω인 저항 3개와 전류계를 연결한 모습을 나타낸 것이다.



전류계에 흐르는 전류의 세기는?

- ① 1 A ② 1.5 A ③ 2 A
 ④ 3 A ⑤ 4 A

4 다음은 트랜지스터의 작용에 대한 설명이다. (가)와 (나)에 들어갈 말을 옳게 짝 지은 것은?

이미터와 베이스에 (가) 바이어스가 걸리면 컬렉터에는 베이스에 흐르는 전류보다 훨씬 큰 전류가 흘러 트랜지스터는 (나) 작용을 한다.

- ① 순방향-증폭 ② 역방향-증폭
 ③ 순방향-스위치 ④ 역방향-스위치
 ⑤ 순방향-정류

5 평행판 축전기의 전기 용량이 1 F이고 두 극판 사이의 간격이 1 mm일 때, 극판의 면적은 몇 m²인가? (단, 진공의 유전율은 8.85 × 10⁻¹² F/m이다.)



● 평가 점수에 따라 별에 색칠하세요

- 1 저항이 혼합 연결된 회로의 각 저항에서 소모되는 전력을 구할 수 있는가? ☆☆☆☆☆
 2 트랜지스터의 증폭 원리를 설명할 수 있는가? ☆☆☆☆☆
 3 축전기에 저장되는 전기 에너지를 구할 수 있는가? ☆☆☆☆☆



자기장

- 01. 전류에 의한 자기장
- 02. 전자기 유도
- 03. 상호유도



이 단원의 성취 기준 확인

이 단원에서는 전류가 흐르는 도선 주위에 생기는 자기장을 자기력선으로 표현하고 전류와 자기장의 상호 작용에 의해 발생하는 유도 기전력의 크기를 구한다. 또한 상호유도를 이해하고 일상생활에서 활용되는 예를 찾아 설명한다.



자기 점검 - 알고 있는 용어에 체크해 보자.

자기력 <input type="checkbox"/>	자기장 <input type="checkbox"/>	전류에 의한 자기장 <input type="checkbox"/>	전자기 유도 <input type="checkbox"/>
유도 전류 <input type="checkbox"/>	렌츠 법칙 <input type="checkbox"/>	패러데이 법칙 <input type="checkbox"/>	

▶ 체크하지 못한 용어는 인터넷에서 검색해 보자.



학습 계획 세우기 - 성취 기준을 달성하기 위해 어떤 준비를 할 수 있을지 써 보자.

학습 목표를 세우자.

.....

.....

.....

01 전류에 의한 자기장

- 전류가 흐르는 도선 주위에 발생하는 자기장을 자기력선으로 표현할 수 있다.
- 직선 도선, 원형 도선, 솔레노이드가 만드는 자기장을 구할 수 있다.



들어가기 송전선에 스페이서가 달린 까닭은?

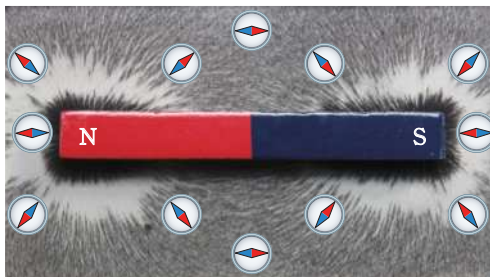
발전소에서 생산한 전기를 수송하는 송전선은 보통 높은 송전탑에 매달려 있다. 그런데 자세히 살펴보면 송전선 사이에 표창 같은 물체가 끼워져 있는데, 이 물체를 스페이서 또는 스페이서 덤퍼라고 한다. 전선 사이에 달린 스페이서는 어떤 역할을 할까?

알아보기 전류에 의한 자기장

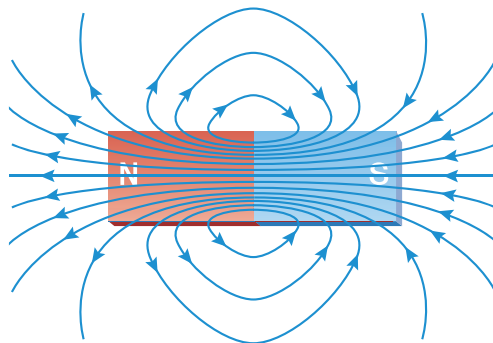
자석 주위에 쇠붙이나 다른 자석을 가까이 가져가면 당기거나 미는 힘이 작용한다. 이렇게 자석이 다른 물체와 상호 작용하는 힘을 자기력이라 하고, 자기력이 미치는 공간을 자기장이라고 한다. 자석만 자기장을 만드는 것이 아니라 전류도 자기장을 만드는데, 전류가 만드는 자기장의 특징을 알아보자.

| 자기장과 자기력선 |

자기장 자체를 직접 관찰할 수는 없지만, 자기장 속에서 자기력을 받는 물체들을 보고 자기장이 어떻게 분포하는지 짐작할 수는 있다. 그림 II-38의 (가)와 같이 자석 주위에 철 가루를 뿌리거나 여러 개의 나침반을 놓았을 때 철 가루나 나침반 바늘이 배열된 모양을 보고 자기장의 세기와 방향을 짐작할 수 있다. 자기장 내에서 나침반의 N극이 가리키는 방향을 연속적으로 이은 선을 자기력선이라고 하는데, 자기장 역시 전기장처럼 자기력선을 이용하여 자기장의 세기와 방향을 표현할 수 있다.



(가) 막대자석 주위의 철 가루와 나침반 바늘 배열
그림 II-38 막대자석 주위의 자기장




자기력선이 조밀한 곳일수록 자기장의 세기가 세다.

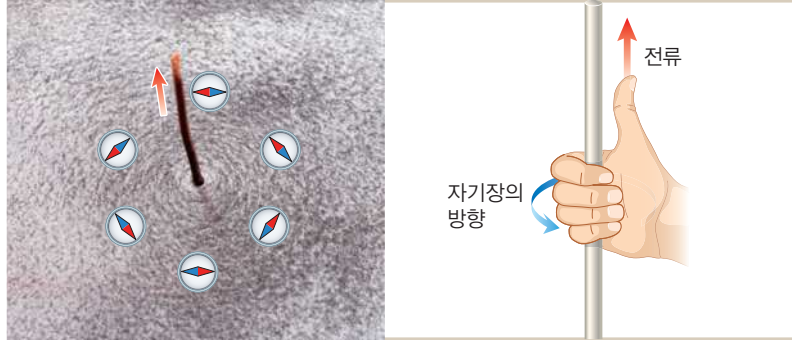
(나) 막대자석 주위의 자기력선

| 직선 전류가 만드는 자기장 |



 **앙페르**(Ampere, A. M., 1775~1836) 프랑스의 물리학자이다. 두 전류 사이의 상호 작용을 조사하여 앙페르 법칙을 확립하였다.

1823년 프랑스의 물리학자 앙페르는 도선에 전류가 흐를 때 도선 주변에 생기는 자기장의 방향과 세기를 알아내었다. 그림 II-39의 (가)와 같이 직선 도선에 전류가 흐를 때 생기는 자기장의 방향은 오른손을 쓰면 쉽게 표현할 수 있다. 그림 (나)와 같이 오른손 엄지손가락이 전류의 방향을 향하게 하고 나머지 네 손가락으로 도선을 감아줄 때 네 손가락이 가리키는 방향이 자기장의 방향이다. 이것을 앙페르의 **오른손 법칙**이라고 부른다.



(가) 직선 전류 주위의 자기장

(나) 앙페르의 오른손 법칙

그림 II-39 직선 전류

앙페르가 발견한 전류가 만드는 자기장에 대한 법칙을 무한히 긴 직선 도선에 적용하면 다음과 같이 간단한 관계식을 얻는다. 무한히 긴 직선 도선으로부터 수직으로 r 만큼 떨어진 지점에서의 자기장의 세기 B 는 도선에 흐르는 전류 I 에 비례하고 거리 r 에 반비례한다.

$$B = k \frac{I}{r} \quad (\text{단위: T})$$

여기서 비례 상수 $k = 2 \times 10^{-7} \text{ T} \cdot \text{m/A}$ 이다.

| 원형 전류가 만드는 자기장 |

원형 도선은 여러 개의 작은 직선 도선 조각들로 이루어졌다고 할 수 있다. 따라서 그림 II-40과 같이 원형 도선에 흐르는 전류가 만드는 자기장은 여러 개의 직선 도선 조각에 흐르는 전류가 만드는 자기장의 합으로 알 수 있다. 원형 전류 중심에서의 자기장의 방향은 그림 II-41의 (나)와 같이 오른손 네 손가락을 감아쥐는 방향을 전류의 방향이라고 할 때 엄지손가락이 가리키는 방향이다.

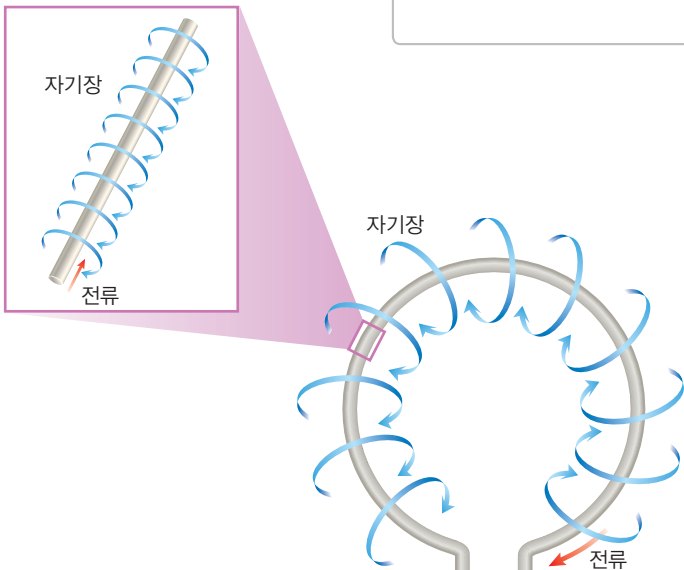
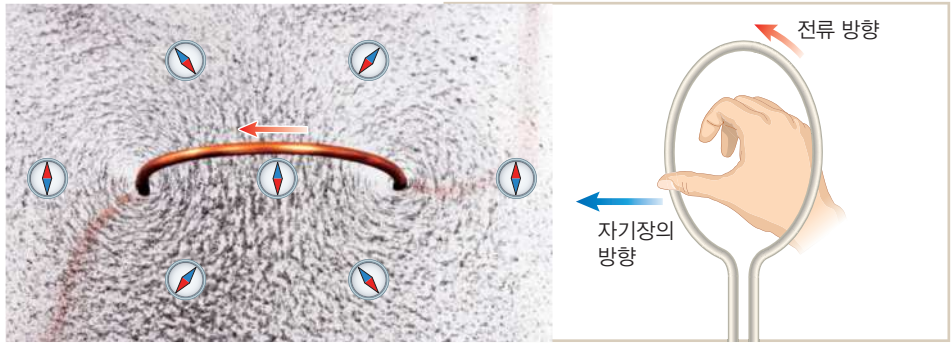


그림 II-40 전류 주위의 자기장



(가) 원형 전류 주위의 자기장

(나) 원형 전류에 대한 오른손 법칙

그림 II-41 원형 전류

반지름 r 인 원형 도선에 전류 I 가 흐를 때 원형 전류의 중심에서의 자기장의 세기 B 는 전류 I 에 비례하고 반지름 r 에 반비례한다.

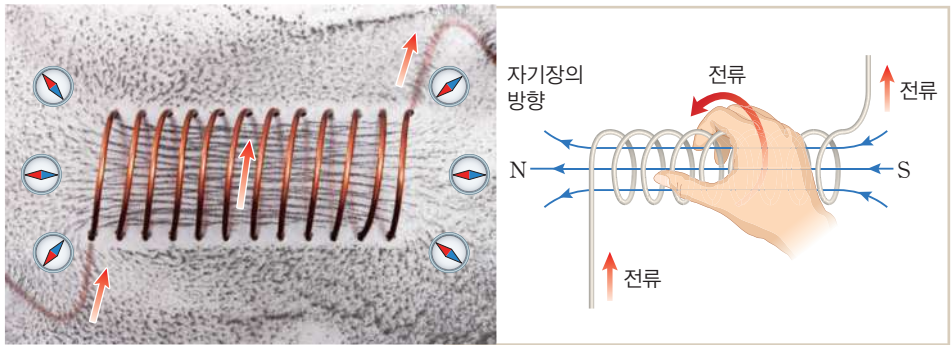
$$B = k' \frac{I}{r} \quad (\text{단위: T})$$

여기서 비례 상수 $k' = 2\pi \times 10^{-7} \text{ T}\cdot\text{m/A}$ 이다.

| 솔레노이드가 만드는 자기장 |

솔레노이드는 원형 도선을 여러 개 겹쳐 놓은 것과 같다. 따라서 원형 도선에서의 자기력선을 여러 개 중첩하여 솔레노이드에서 생기는 자기력선의 모양을 그려 볼 수 있으며, 솔레노이드 내부에 생기는 자기장의 방향 역시 원형 도선에 적용했던 오른손 법칙을 써서 구할 수 있다. 그림 II-42의 (나)와 같이 오른손 네 손가락을 감아쥐는 방향을 전류의 방향이라고 할 때 엄지손가락의 방향이 솔레노이드가 만드는 자기장의 방향이 된다. 또한 솔레노이드에서 생기는 자기력선의 모양을 보면 내부에서 자기력선은 축을 따라 나란한 방향으로 생기며, 자기력선이 균일함을 알 수 있다. 즉, 솔레노이드 내부에서는 어느 지점에서나 자기장의 세기가 같다.

물음 일정한 길이의 도선을 가지고 솔레노이드를 만들려고 한다. 자기장의 세기를 최대한 세게 하려면 어떻게 만들어야 할까?



(가) 솔레노이드 주위의 자기장

(나) 오른손 법칙

그림 II-42 솔레노이드

원형 전류에 의해 생기는 자기장의 세기는 전류의 세기에 비례하므로 솔레노이드에 의해 생기는 자기장의 세기도 전류의 세기에 비례함을 짐작할 수 있다. 솔레노이드가 만드는 자기장의 세기를 탐구로 알아보자.

탐구

솔레노이드가 만드는 자기장



사고력 탐구 능력

목표 솔레노이드에 생기는 자기장과 전류의 관계를 알 수 있다.

준비물 직류 전원 장치, 솔레노이드, 나침반, 집게 달린 전선

- 예상하기** 솔레노이드에서 생기는 자기장의 세기는 전류에 따라 어떻게 변할까?
- 과정**
- 1 그림과 같이 동서 방향으로 놓인 솔레노이드 끝에 나침반을 놓는다.
 - 2 전원 장치를 연결하여 솔레노이드에 전류가 흐를 때 나침반 바늘의 변화를 관찰한다.
 - 3 솔레노이드에 흐르는 전류의 세기를 늘려 가며 나침반 바늘의 변화를 관찰한다.
 - 4 과정 2에서 솔레노이드에 흐르는 전류의 방향을 바꾸었을 때 나침반 바늘의 변화를 관찰한다.



- 결과 및 정리**
1. 솔레노이드에 흐르는 전류의 세기와 나침반 바늘의 변화는 어떤 관계가 있는가?
 2. 솔레노이드에 흐르는 전류의 방향과 나침반 바늘의 변화는 어떤 관계가 있는가?
 3. 이 실험의 결과로부터 솔레노이드에서 생기는 자기장과 전류의 관계를 정리해 보자.

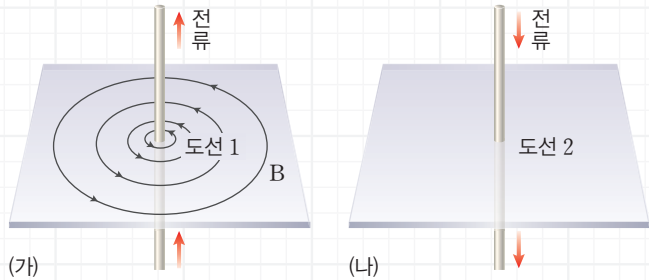
솔레노이드에서 생기는 자기장의 세기는 솔레노이드에 흐르는 전류의 세기에 비례한다. 한편 원형 전류를 겹쳐 놓으면 그만큼 자기장도 세어질 것이므로 솔레노이드 내부에서의 자기장의 세기 B 는 전류 I 에 비례하고, 단위길이당 도선의 감은 수 n 에 비례한다.

$$B = k'' nI \text{ (단위: T)}$$

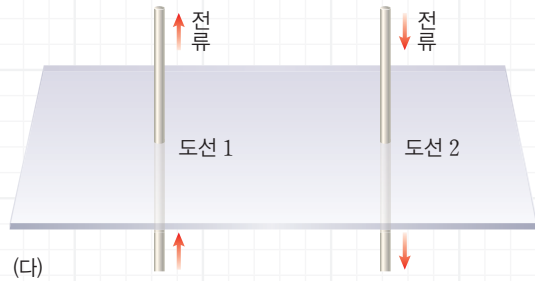
여기서 비례 상수 $k'' = 4\pi \times 10^{-7} \text{ T}\cdot\text{m/A}$ 이다.

전류가 흐르는 원형 도선 중심에 생기는 자기장은 어떻게 구할 수 있을까? 다음과 같은 과정을 따라 원형 도선에 전류가 흐를 때 생기는 자기장의 모양을 추리해 보자.

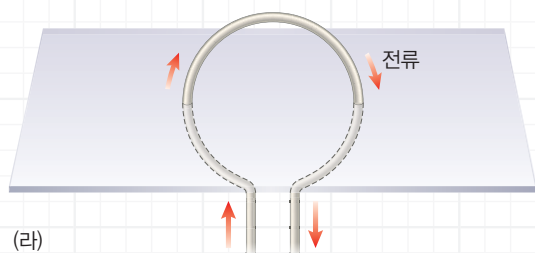
1. 서로 반대 방향으로 전류가 흐르는 두 직선 도선을 생각해 보자. 도선 1은 지면에서 나오는 방향으로, 도선 2는 지면으로 들어가는 방향으로 전류가 흐른다. 앙페르의 오른손 법칙을 적용하면 전류에 의한 자기장의 모양을 그림 (가)와 같이 자기력선으로 나타낼 수 있다. 그림 (가)를 참고하여 도선 2가 만드는 자기장의 모양을 그림 (나)에 자기력선으로 그려 보자.



2. 같은 방향의 자기력선이 중첩되면 자기장의 세기가 세지고(즉, 자기력선이 조밀하고) 반대 방향의 자기력선이 중첩되면 자기장의 세기가 약해진다(즉, 자기력선이 성글다). 그림 (가)와 그림 (나)에서 그런 자기력선을 중첩하여 그림 (다)에 두 직선 도선이 만드는 자기장의 모양을 자기력선으로 그려 보자.



3. 전류가 흐르는 원형 도선의 단면은 서로 반대 방향으로 전류가 흐르는 나란한 두 직선 도선의 모양과 비슷하다. 이 점을 고려하여 그림 (라)에 전류가 흐르는 원형 도선에 생기는 자기장의 모양을 자기력선으로 그려 보자.



4. 원형 도선에 전류가 흐를 때 생기는 자기장의 세기는 원 안쪽에서는 세지만 원 바깥쪽에서는 약하다. 또 자기장의 방향은 전류가 흐르는 방향으로 오른손 네 손가락을 감아줄 때 오른손 엄지손가락이 가리키는 방향이 된다. 이처럼 원형 전류가 만드는 자기장의 특징을 과정 1~3의 결과를 이용하여 글로 정리해 보자.

.....

.....

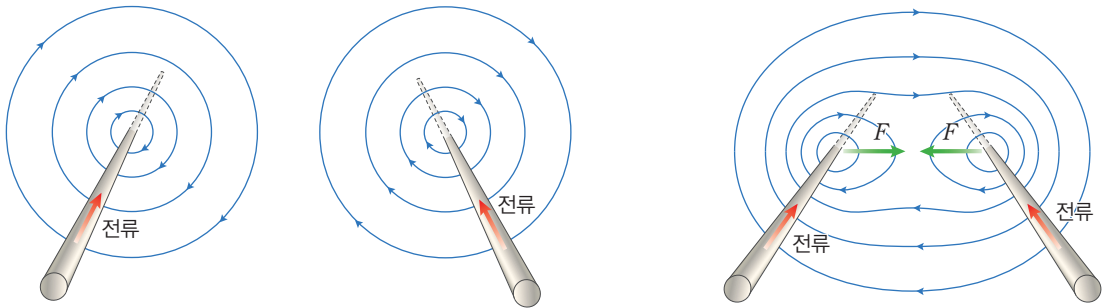
.....

.....

.....

개념 넓히기 **평행한 두 직선 전류 사이에 작용하는 힘**

전류가 흐르는 도선 주위에는 자기장이 생기므로, 이 자기장은 전류가 흐르는 다른 도선에 힘을 작용한다. 무한히 긴 평행한 두 직선 도선에 전류가 같은 방향으로 흐를 때 각각의 직선 전류가 만드는 자기장은 그림 II-43의 (가)와 같다. 두 직선 도선을 가까이 하면 두 직선 전류의 사이에서는 각각의 직선 전류에 의한 자기장의 방향이 서로 반대이므로 상쇄되어 세기가 약해지고, 두 직선 전류의 바깥쪽에서는 각각의 직선 전류에 의한 자기장의 방향이 같으므로 서로 합쳐져서 세기가 세져서 그림 (나)와 같이 자기장이 형성된다. 따라서 같은 방향으로 전류가 흐르는 평행한 두 직선 도선 사이에는 서로 당기는 자기력이 작용한다.

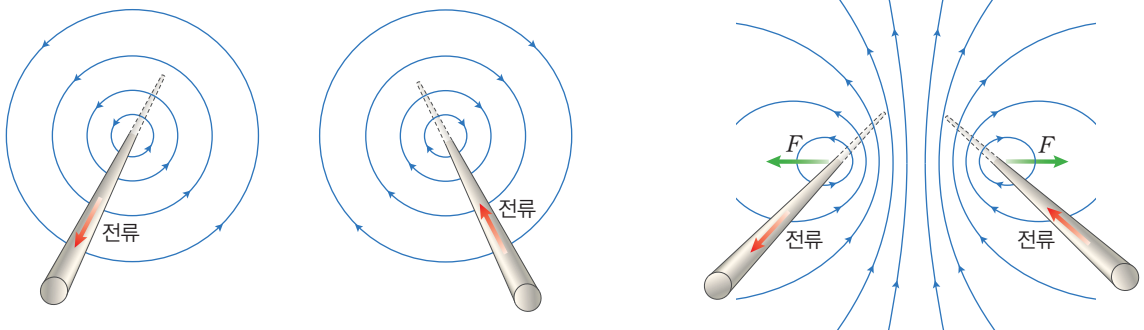


(가) 각각의 직선 전류가 만드는 자기장

(나) 두 직선 전류가 만드는 자기장의 합성

그림 II-43 서로 같은 방향으로 전류가 흐르는 두 직선 도선 주위의 자기장

그렇다면 평행한 두 직선 도선에 전류가 서로 반대 방향으로 흐르면 어떻게 될까? 평행한 두 직선 도선에 전류가 서로 반대 방향으로 흐르면 각각의 도선에 의해 생기는 자기장은 그림 II-44의 (가)와 같다. 두 직선 도선을 가까이 하면 앞서와 마찬가지로 자기장의 방향이 같은 두 도선 사이에서는 자기장의 세기가 세지고, 자기장의 방향이 반대인 두 도선의 바깥쪽에서는 자기장의 세기가 약해져서 그림 (나)와 같이 자기장이 형성된다. 따라서 서로 반대 방향으로 전류가 흐르는 평행한 두 직선 도선 사이에는 서로 미는 자기력이 작용한다.



(가) 각각의 전류가 만드는 자기장

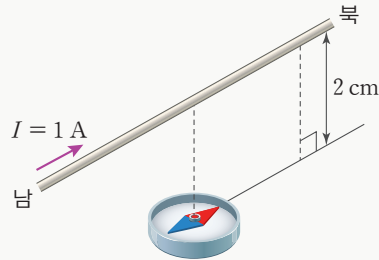
(나) 두 직선 전류가 만드는 자기장의 합성

그림 II-44 서로 반대 방향으로 전류가 흐르는 두 직선 도선 주위의 자기장

이처럼 무한히 긴 평행한 두 직선 도선에 전류가 흐르면 전류에 의한 자기장의 상호 작용 때문에 전류가 흐르는 도선끼리는 서로 밀거나 당기는 힘이 작용한다. 같은 방향으로 전류가 흐르는 두 직선 도선은 서로 잡아당기는데, 이때 도선에 흐르는 전류가 셀수록 두 도선이 잡아당기는 힘이 커져서 도선이 서로 달라붙을 수도 있다. 발전소로부터 전기를 공급하는 송전선에는 매우 큰 전류가 흐르기 때문에 전선들이 달라붙을 수 있다. 따라서 발전소에서 전기를 보낼 때는 송전탑을 튼튼하게 세워 전선을 서로 단단히 고정하고, 스페이서와 같은 기구를 이용하여 전선들이 서로 달라붙지 않도록 한다.

예제

남북 방향으로 놓인 직선 도선에 1 A의 전류가 북쪽으로 흐른다. 그림과 같이 도선으로부터 수직으로 2 cm 아래 위치한 지점에 나침반을 놓았을 때, 나침반 바늘이 돌아가는 방향과 각도를 구하시오. (단, 이 지점에서 지구 자기장의 세기는 5×10^{-5} T이다.)



풀이 ··· 방향: 오른손 법칙을 적용하면 전류가 흐르는 도선 아래쪽은 서쪽으로, 도선 위쪽은 동쪽 방향으로 자기장이 생기므로, 도선 아래에 놓은 나침반의 바늘은 서쪽으로 돌아간다.

세기: 전류에 의한 자기장의 세기는 전류의 세기에 비례하므로,

$$B = k \frac{I}{r} = 2 \times 10^{-7} \text{ T} \cdot \text{m/A} \times \frac{1 \text{ A}}{0.02 \text{ m}} = 10^{-5} \text{ T이다.}$$

각도: 나침반 바늘은 지구 자기장과 전류에 의한 자기장을 합한 자기장에 놓인다. 지구 자기장은 북쪽 방향으로 5×10^{-5} T, 전류에 의한 자기장은 서쪽 방향으로 1×10^{-5} T이다. 따라서 북쪽 방향으로 놓여 있던 나침반 바늘이 서쪽으로 돌아가는

각도를 θ 라고 하면, $\tan \theta = \frac{1 \times 10^{-5} \text{ T}}{5 \times 10^{-5} \text{ T}} = \frac{1}{5}$ 에서 $\theta \approx 11^\circ$ 이다.

답 서쪽, 11°

나침반 바늘은 지구 자기장과 전류에 의한 자기장을 합한 자기장의 방향을 가리켜.



평가하기

개념 이해

1 반지름이 1 m인 원형 도선에 1 A의 전류가 흐른다. 이 원형 도선의 중심에서 자기장의 세기는 몇 T인가?

2 솔레노이드 내부에서 생기는 자기장의 세기는 무엇에 관계되는가?

창의·융합

3 직선 전류와 원형 전류에 의한 자기장에서 비례 상수가 다른 까닭은 무엇일까?

02 전자기 유도

- 자기 선속이 시간에 따라 변할 때 유도 전류가 발생함을 설명할 수 있다.
- 전자기 유도 현상에서 발생하는 유도 기전력의 크기를 구할 수 있다.



들어가기 | 기타 속에 자석이 들어 있는 까닭은 무엇일까?

기타의 줄을 튕기면 울림통에서 아름다운 소리를 만든다. 하지만 멀리서도 들리도록 큰 소리를 내기 위해서는 마이크를 갖다 대거나 픽업 앰프라는 장치를 달아야 한다. 픽업 앰프를 장착한 기타에는 작은 자석들이 들어 있다. 기타의 소리를 앰프로 전달할 때 이 자석들은 어떤 역할을 할까?

알아보기 | 패러데이 법칙과 유도 기전력

픽업 앰프는 전자기 유도 현상을 기본 원리로 작동한다. 이를 이해하기 위해 먼저 전자기 유도 현상을 살펴보자.

| 전자기 유도 현상 |

전류가 자기장을 만든다는 외르스테드의 발견 이후 많은 과학자들은 이것의 반대 현상, 즉 자기장이 전류를 만드는 현상을 찾아내기 위해 노력하였다. 대부분의 과학자들은 자석으로부터 전류를 만들려고 많은 실험을 하였으나 모두 실패하였는데, 1830년 미국의 물리학자 헨리가 전자석의 스위치를 켜는 순간 근처에 있던 코일에 전류가 유도되는 현상을 발견하였다. 1년 뒤인 1831년 영국의 패러데이가 헨리의 발견을 모른 채 거의 같은 실험에 성공하였고, 이로부터 자기장의 변화가 전류를 유도한다는 법칙을 논문으로 발표하였다.

헨리나 패러데이의 실험이 성공할 수 있었던 것은 코일 근처에서 자기장의 세기가 변하도록 하였기 때문이다. 그림 II-45와 같이 코일 주위의 자기장의 세기가 시간에 따라 변할 때 코일에 전류가 흐르는 현상을 전자기 유도라 하고, 이때 생기는 전류를 유도 전류, 유도 전류가 흐르도록 코일에 생긴 전압을 유도 기전력이라고 한다.



패러데이(Faraday, M., 1791~1867) 영국의 물리학자이자 화학자이다. 자기장의 변화에 의하여 유도 전류가 흐르는 전자기 유도 현상을 발견하여 패러데이 법칙을 확립하였다.

자석을 코일 근처에 가까이 하거나 멀리 한다.

코일을 통과하는 자기장의 세기가 변할 때 코일에 전류가 유도된다.

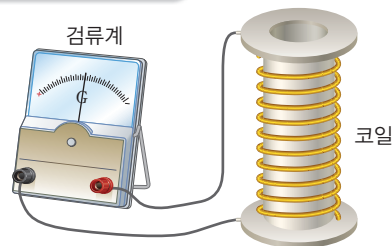
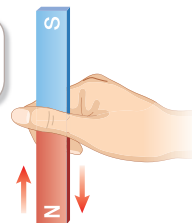


그림 II-45 전자기 유도

|유도 기전력의 세기 |

유도 기전력은 반드시 어떤 코일을 통과하는 자기장의 세기가 변할 때만 발생한다. 코일을 통과하는 자기장의 세기를 나타내기 위해 자기 선속 개념을 도입하면 편리하다.

자기 선속은 그림 II-46과 같이 자기장의 세기와 그 자기장이 수직으로 통과하는 닫힌 면의 면적을 곱한 값으로 정의한다. 즉, 유도 기전력은 닫혀 있는 코일을 통과하는 자기 선속이 시간에 따라 변할 때 발생한다.

유도 기전력의 크기를 나타내는 관계식을 전자기 유도 법칙, 또는 전자기 유도 현상을 발견한 패러데이의 이름을 따서 패러데이 법칙이라고 한다. 유도 기전력의 크기를 V , 시간 Δt 동안 코일을 통과하는 자기 선속의 변화량을 $\Delta\Phi$, 코일의 감은 수를 N 이라고 할 때 전자기 유도 법칙은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

패러데이 법칙

$$V = -N \frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$$

전자기 유도에 의해 도선에 유도되는 기전력의 크기는 코일의 감은 수에 비례하고, 시간에 따른 자기 선속의 변화량에 비례한다.

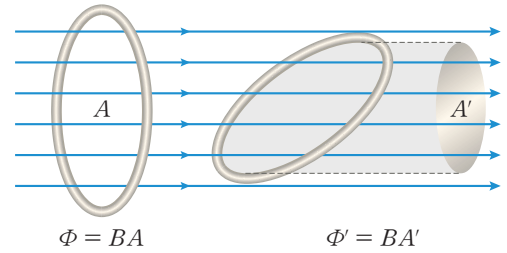


그림 II-46 자기 선속

자기 선속(magnetic flux)
자기장의 세기(B)와 자기장이 수직으로 통과하는 닫힌 면의 면적(A)을 곱한 양이다.

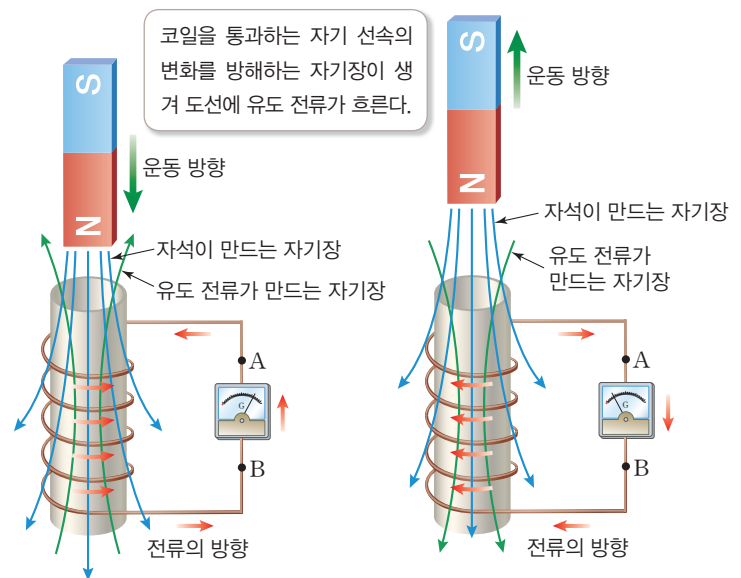
$$\Phi = BA$$

기호로는 Φ 로 표시하고 단위는 Wb(웨버)를 사용한다.

|유도 기전력의 방향 |

1834년 러시아의 과학자 렌츠가 코일에 유도되는 전류는 코일을 통과하는 자기 선속이 변하는 것을 방해하는 방향으로 유도된다는 것을 발견했는데, 이를 렌츠 법칙이라고 한다.

전자기 유도 법칙에서 음(-)의 부호는 자기 선속의 변화를 방해하는 방향으로 유도 기전력이 생김을 나타낸다. 즉, 그림 II-47과 같이 코일을 통과하는 자기 선속이 증가하면 코일에 유도되는 기전력은 자기 선속을 감소시키려는 방향으로 생긴다. 반대로 코일을 통과하는 자기 선속이 감소하면 유도 기전력은 자기 선속을 증가시키는 방향으로 생긴다.



(가) 자기 선속이 증가할 때

(나) 자기 선속이 감소할 때

그림 II-47 렌츠 법칙

전자기 유도 현상이 일어나기 위해서는 반드시 자기 선속이 시간에 따라 변해야 한다. 자기 선속이 변하여 유도 전류가 발생하는 경우를 다음 탐구로 알아보자.



유도 전류 만들기



사고력 탐구 능력

목표 코일에 유도 전류가 발생하는 경우와 유도 전류의 세기에 영향을 미치는 요인을 알 수 있다.

준비물 에나멜선, 네오디뮴 자석, 검류계, 클립, 집게 달린 전선, 칼, 실

과정 1

- ① 에나멜선을 원통형 물체에 10회 감아서 코일을 만든다.
- ② 칼로 코일 양 끝의 에나멜을 벗긴 후 클립으로 만든 지지대에 걸쳐 놓아 코일이 쉽게 회전하도록 한다.
- ③ 코일 아래에 네오디뮴 자석을 놓고 클립 지지대 양 끝을 검류계에 연결한다.
- ④ 코일을 손으로 회전시키고, 검류계 바늘의 움직임을 관찰한다.
- ⑤ 코일의 감은 수를 20회로, 자석의 수를 2개로 각각 바꾸어 가며 실험을 반복한다.

코일을 회전시킬 때			전류의 최댓값 (mA)	
코일의 감은 수	10회	자석의 수	1개	
			2개	
	20회	자석의 수	1개	
			2개	



탐구 도움말 고무마개에 클립을 꽂아 지지대를 만든다.

과정 2

- ① 과정 1에서 만든 코일을 그림과 같이 세우고 클립 지지대 양 끝을 검류계에 연결한다.
- ② 두 네오디뮴 자석 사이에 실을 넣어 붙인 후 실을 꼬아 자석을 코일 근처에서 회전시키며 검류계 바늘의 움직임을 관찰한다.
- ③ 코일의 감은 수를 20회로, 자석의 수를 4개로 각각 바꾸어 가며 실험을 반복한다.

자석을 회전시킬 때			전류의 최댓값 (mA)	
코일의 감은 수	10회	자석의 수	2개	
			4개	
	20회	자석의 수	2개	
			4개	



결과 및 정리

1. 코일이 회전하는 동안 검류계 바늘은 어떻게 변하는가?
2. 자석이 회전하는 동안 검류계 바늘은 어떻게 변하는가?
3. 어떻게 하면 검류계의 바늘이 더 많이 움직이게 할 수 있을까?
4. 유도 기전력의 크기에 영향을 미치는 요인을 말해 보자.

전자기 유도 법칙에 따르면 자기 선속 Φ 가 시간 t 에 따라 변할 때, 즉 자기 선속의 변화율 $\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$ 가 있을 때 전자기 유도 현상이 생긴다.

한편 자기 선속 Φ 는 코일의 단면적 A 와 그에 수직인 자기장의 성분 B 를 곱한 값 BA 이므로, $\frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = \frac{\Delta(BA)}{\Delta t}$ 이다. 그러므로 이 식으로부터 자기 선속이 시간에 따라 변하여 전자기 유도 현상이 생기는 조건은 다음과 같다.

- (1) B 는 일정하고 A 가 변할 때
- (2) A 는 일정하고 B 가 변할 때
- (3) B 와 A 가 함께 변할 때

그림 II-48과 같이 자석은 가만히 있고 코일이 회전할 때는 B 가 상수이므로 $\frac{\Delta(BA)}{\Delta t} = B\frac{\Delta A}{\Delta t}$ 이다. 따라서 유도 기전력의 크기는 시간에 따른 코일의 넓이의 변화율에 비례하므로, 코일을 더 빨리 회전시키면 유도 기전력이 더 커진다. 또 코일이 회전하면서 코일을 통과하는 자기 선속의 방향이 계속 변하므로, 유도되는 기전력의 방향도 코일의 회전에 따라 함께 변한다.

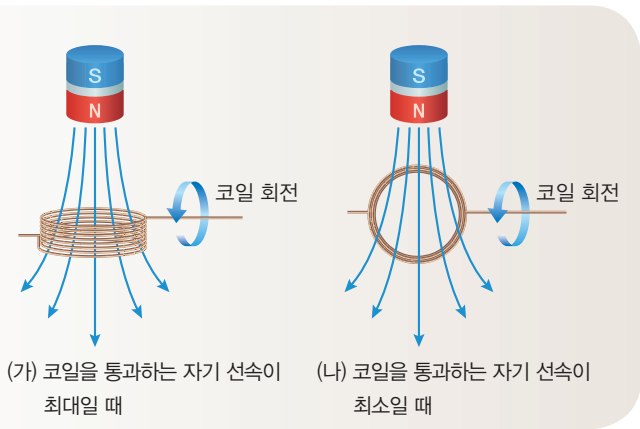


그림 II-48 코일이 회전할 때

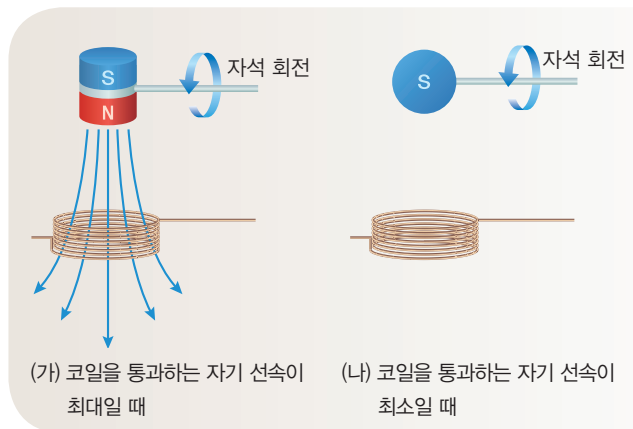
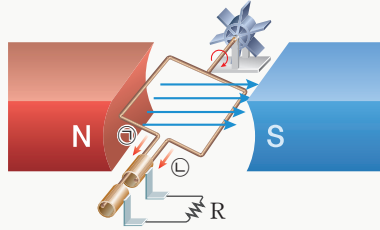


그림 II-49 자석이 회전할 때

그림 II-49와 같이 코일은 가만히 있고 자석만 회전할 때는 자기장이 통과하는 넓이 A 가 상수이므로 $\frac{\Delta(BA)}{\Delta t} = A\frac{\Delta B}{\Delta t}$ 이다. 따라서 유도 기전력의 크기는 시간에 따른 자기장의 변화량에 비례하므로, 자석을 더 빨리 회전시키면 유도 기전력은 더 커진다. 또 자석이 회전하면서 코일을 통과하는 자기 선속의 방향이 계속 변하므로, 유도되는 기전력의 방향도 자석의 회전에 따라 함께 변한다.

그림과 같이 균일한 자기장 속에서 닫혀 있는 사각형 코일이 일정한 각속도로 회전하고 있다.

- (1) 그림에서 코일이 시계 방향으로 회전하는 순간 유도되는 전류의 방향을 쓰시오.
- (2) 이 유도 전류를 크게 하기 위한 방법 두 가지를 쓰시오.



풀이 (1) 그림에서 코일을 오른쪽으로 통과하는 자기 선속이 증가하므로, 유도 기전력은 오른쪽 방향의 자기 선속이 줄어드는 방향으로 생긴다. 즉, 왼쪽 방향으로 자기장이 생기도록 코일에 유도 전류가 흐른다.
 (2) 자기 선속의 변화율이 클수록 유도 기전력이 커진다. 자석을 더 센 것으로 바꾸어 자기장을 더 세게 하거나, 사각형 코일의 회전 속도를 빠르게 하여 면적의 변화율을 크게 한다.

답 (1) ⊙ 방향 (2) 더 센 자석으로 바꾸거나, 사각형 코일의 회전 속도를 빠르게 한다.

유도 기전력은 시간당 자기 선속의 변화량에 비례해.

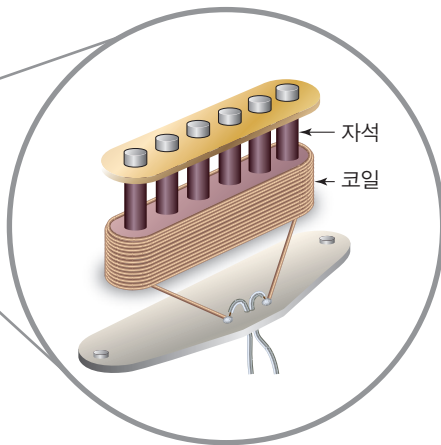


창의력 키우기

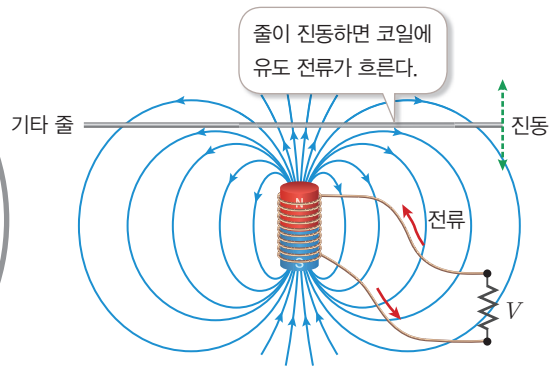
전기 기타에는 자석과 코일이 모두 고정되어 있다. 그렇다면 전자기 유도를 위한 자기장의 변화는 어떻게 발생할까?

자석과 코일의 상대 운동을 전기 에너지로 변환하는 전자기 유도 현상은 발전기처럼 여러 분야에서 중요하게 활용된다.

그림 II-50과 같이 전기 기타의 픽업 앰프 역시 운동 에너지를 전기 에너지로 바꾸는 전자기 유도 현상을 적용한 또 다른 사례이다. 픽업 앰프는 작은 원통형 자석 주변에 코일이 감겨 있는 고리 구조로 되어 있다. 픽업 앰프를 사용하는 기타의 줄은 철 또는 철을 니켈로 감싼 줄인데, 철이나 니켈은 대표적인 강자성체이므로 픽업 앰프 근처의 기타 줄은 자석에 의해 자기화된다. 따라서 기타 줄을 튕기면 픽업 앰프의 코일에 가까이 갔다 멀어졌다를 반복하면서 코일에 자기 선속의 변화를 주게 되고, 코일에 발생하는 유도 기전력에 의해 전류가 흐르게 된다. 이때 발생하는 전류를 증폭하고 조절하여 스피커로 출력하면 기타 소리를 원하는 크기로 재생할 수 있다.



(가) 구조
그림 II-50 픽업 앰프의 구조와 원리



(나) 원리

개념 넓히기 자기장 속에서 움직이는 도체 막대의 유도 기전력

그림 II-51과 같이 균일한 자기장에 수직으로 놓인 ㄷ자형 도선 위에서 도체 막대 ab를 일정한 속도로 잡아당기면 사각형 고리 회로에 유도 전류가 흐르게 된다. 이 회로에는 전지가 연결되어 있지 않으므로, 도체 막대를 잡아당기는 동안 유도 기전력이 생겨서 막대의 운동이 전지의 역할을 하게 된다. 도체 막대의 운동으로 생기는 유도 기전력의 크기와 방향을 알아보자.

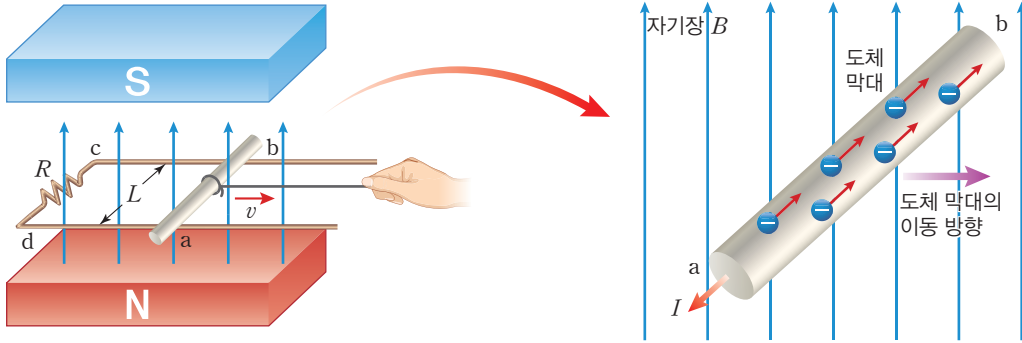


그림 II-51 운동하는 도체 막대에 발생하는 유도 기전력

도체 막대 ab가 일정한 속도로 오른쪽으로 이동함에 따라 사각형 고리 abcd 내부를 통과하는 자기 선속이 증가한다. 위쪽으로 증가하는 자기 선속을 감소시키려면 렌츠 법칙에 따라 아래쪽으로 향하는 자기 선속을 만들어야 한다. 따라서 사각형 고리에는 위에서 볼 때 시계 방향으로 유도 전류가 흐른다.

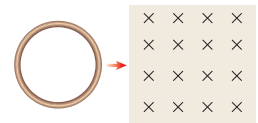
사각형 고리 abcd에 전류가 흐르기 위해 고리 abcd에 생기는 유도 기전력은 패러데이 법칙으로부터 구할 수 있다. 감은 수는 1회, 자기장의 세기를 B , 도체 막대의 이동 속도를 v , 사각형 고리의 폭을 L 이라고 할 때, 자기장의 세기 B 는 일정하므로 자기 선속의 변화는 $\Delta\Phi = \Delta(BA) = B(L \cdot v \Delta t)$ 이다. 따라서 ㄷ자형 도선 위를 도체 막대가 일정한 속도로 움직이는 동안 유도되는 기전력은 다음과 같다.

$$V = -\frac{\Delta(BA)}{\Delta t} = -B \frac{(L \cdot v \Delta t)}{\Delta t} = -BLv$$

평가하기

개념 이해

- 1 자석과 코일의 상대 운동에서 유도 기전력의 크기에 영향을 주는 요인은 무엇인가?
- 2 그림과 같이 코일이 지면에 수직으로 들어가는 균일한 자기장 속으로 들어갈 때, 코일에 유도되는 기전력의 크기는 무엇에 따라 달라지는가?



창의·융합

- 3 전기 기타의 픽업 앰프는 주변의 작은 자기장 변화도 감지할 만큼 민감해서 종종 기타 소리 외의 잡음도 증폭한다. 어떻게 하면 이러한 잡음을 제거할 수 있을까?

03 상호유도

- 상호유도 현상을 이해하고 설명할 수 있다.
- 상호유도가 일상생활에서 활용되는 예를 찾아 설명할 수 있다.



들어가기 전선 없이 충전할 수 있는 방법은?

전자 제품을 사용하기 위해서는 반드시 전원으로부터 전기를 공급받아야 한다. 전원과 전자 제품을 연결하기 위해서 과거에는 반드시 도선이 필요했으나 근래 들어서는 무선으로 충전하는 기술이 점차 확산되고 있다. 최근에는 이 기술이 더 발달하여 예전보다 빠른 시간에 충전할 수 있게 되었다. 무선 충전기는 어떤 원리로 전기 에너지를 전달할까?

알아보기 상호유도

패러데이 법칙에 따르면 코일을 통과하는 자기 선속의 변화가 있으면 유도 기전력이 발생한다. 따라서 자기장의 세기가 시간에 따라 변한다면 코일과 자석의 상대 운동이 없어도 자기 선속이 변하므로 유도 기전력을 만들 수 있다. 전류가 흐르는 도선 주위에서도 자기장이 발생하므로 자석 대신에 전자석을 사용하면 전류의 세기로 자기장의 세기를 조절할 수 있어 시간에 따라 자기장의 세기를 변하게 할 수 있다. 1831년 패러데이는 전자석과 코일을 이용하여 이 현상을 실험적으로 알아내었다. 즉, 전자석에 흐르는 전류가 변하는 동안 근처에 있는 다른 코일에 전류가 유도된다는 것을 관찰하였다.

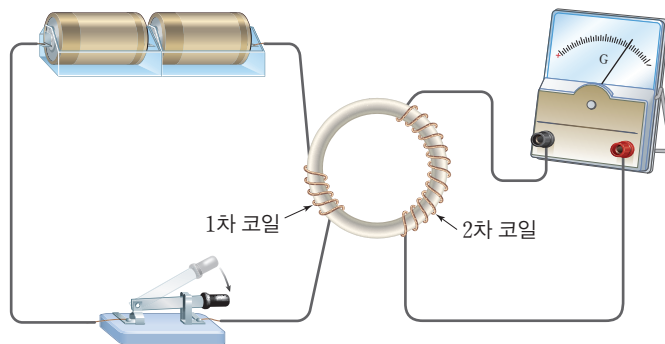


그림 II-52 상호유도

예를 들어, 그림 II-52와 같이 전류가 흐르는 코일 주변에 또 다른 코일이 있으면, 1차 코일에 흐르는 전류의 세기가 변할 때 2차 코일을 통과하는 자기 선속이 변하면서 2차 코일에 유도 기전력이 생긴다. 이처럼 1차 코일에 흐르는 전류의 세기가 변하면 근처에 있는 2차 코일에 유도 기전력이 발생하는 현상을 **상호유도**라고 한다. 상호유도에 의한 유도 기전력을 알아보자.

| 상호유도와 상호 인덕턴스 |

그림 II-53과 같이 전지, 스위치, 저항이 연결된 N_1 번 감긴 1차 코일과 검류계(G)가 연결된 N_2 번 감긴 2차 코일을 가까이 놓고, 1차 코일의 스위치를 닫으면 1차 코일에 흐르는 전류 I_1 이 증가하므로 2차 코일의 고리면을 통과하는 자기 선속 Φ_2 가 증가하여 2차 코일에 유도 기전력 V_2 가 발생한다.

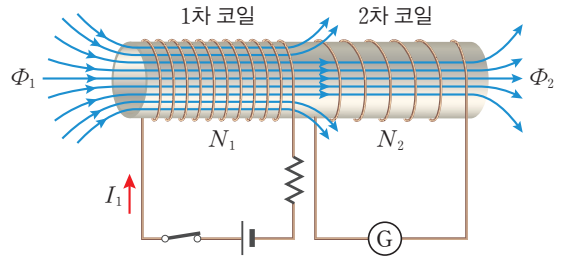


그림 II-53 상호유도

2차 코일에서 발생하는 유도 기전력은 2차 코일을 통과하는 자기 선속 Φ_2 의 변화에 비례한다. 2차 코일을 통과하는 자기 선속 Φ_2 는 1차 코일에 흐르는 전류가 만드는 자기장 때문에 발생한다. 즉, 자기 선속 Φ_2 는 1차 코일에 흐르는 전류 I_1 에 비례한다. 따라서 2차 코일에 유도되는 기전력 V_2 는 다음과 같은 식으로 나타낼 수 있다.

$$V_2 = -N_2 \frac{\Delta\Phi_2}{\Delta t} \propto -\frac{\Delta I_1}{\Delta t}$$

두 코일의 역할을 바꾸더라도 서로 대칭이기 때문에 같은 형태의 관계식이 성립한다. 즉, 2차 코일에 흐르는 전류 I_2 를 변화시킨다면 1차 코일에 발생하는 유도 기전력 V_1 은 다음과 같다.

$$V_1 = -N_1 \frac{\Delta\Phi_1}{\Delta t} \propto -\frac{\Delta I_2}{\Delta t}$$

이 식에서 비례 상수를 M 이라고 하면, 위의 식은 아래와 같이 표현할 수 있다.

$$V_2 = -M \frac{\Delta I_1}{\Delta t}, V_1 = -M \frac{\Delta I_2}{\Delta t}$$

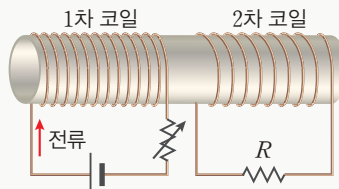
여기서 비례 상수 M 을 상호 인덕턴스라고 하며, 단위는 H(헨리)를 사용한다. 1 H는 1초 동안에 1 A의 비율로 전류가 변하여 1 V의 유도 기전력이 유도될 때의 상호 인덕턴스이다.

상호 인덕턴스

상호유도 계수라고도 한다. 상호 인덕턴스는 코일의 모양, 감은 수, 코일의 상대적 위치, 코일 주위의 물질에 의해 결정된다.

예제

그림과 같이 서로 마주 보는 두 코일이 있다. 이 두 코일의 상호 인덕턴스는 0.3 H이다. 가변 저항기를 조절하여 1차 코일에 흐르는 전류가 0.1초 동안 0.1 A에서 0.3 A로 변했을 때, 2차 코일에 생기는 상호유도 기전력의 크기를 구하시오.



2차 코일에 발생하는 유도 기전력의 크기는 단위 시간당 Φ 의 변화량에 비례해.



풀이 ··· 상호유도에 관한 관계식 $V_2 = -M \frac{\Delta I_1}{\Delta t}$ 에서 $M = 0.3 \text{ H}$, $\Delta t = 0.1 \text{ 초}$,

$\Delta I = 0.2 \text{ A}$ 이므로, 대입하여 계산하면 V 는 0.6 V이다.

답 0.6 V

| 변압기 |

일반적으로 변압기는 그림 II-54와 같이 동일한 철심 양쪽에 두 개의 코일이 감겨 있는 구조로 되어 있다. 코일에서 발생하는 자기력선이 철심을 따라서 형성되기 때문에 1차 코일에서 생기는 자기 선속 Φ_1 과 2차 코일에서 생기는 자기 선속 Φ_2 는 같다. 만일 1차 코일에 교류가 흐르면 전류의 세기가 시간에 따라 주기적으로 변하므로 자기 선속도 주기적으로 변하고, 2차 코일에는 전자기 유도에 따라 유도 기전력이 발생한다.

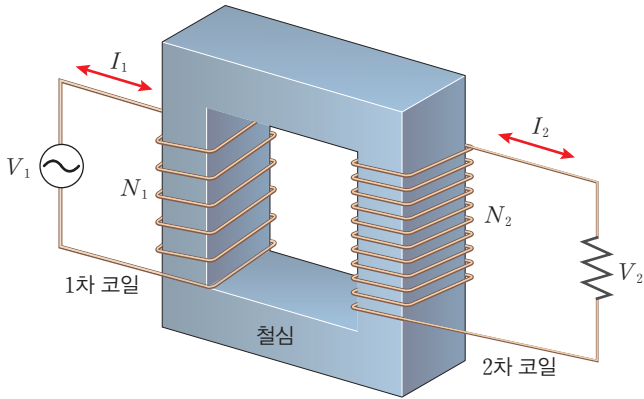


그림 II-54 변압기 구조

패러데이 법칙에 따라 2차 코일에 생기는 유도 기전력 V_2 는 2차 코일을 통과하는 자기 선속 Φ_2 의 시간에 따른 변화량에 비례한다. 따라서 감은 횟수가 N_1 인 1차 코일에 공급되는 기전력 V_1 과 자기 선속 Φ_1 의 관계는 $V_1 = -N_1 \frac{\Delta\Phi_1}{\Delta t}$ 이고, 감은 횟수가 N_2 인 2차 코일에 유도되는 기전력 V_2 와 자기 선속 Φ_2 의 관계는 $V_2 = -N_2 \frac{\Delta\Phi_2}{\Delta t}$ 이다. 이때 $\Phi_1 = \Phi_2$ 이므로

위의 두 식으로부터 $\frac{V_1}{N_1} = \frac{V_2}{N_2}$ 임을 알 수 있다.

이 관계를 이용하면 1차 코일과 2차 코일의 감은 비를 조절하여 쉽게 전압을 바꿀 수 있다. 이처럼 1차 코일에 걸리는 전압 V_1 이 변할 때 2차 코일에 걸리는 전압 V_2 를 변화시키는 상호유도 현상을 이용하여 1차 코일에서 전력을 받아 2차 코일에 전달하는 장치를 변압기라고 한다. 변압기에서 에너지 손실이 없다고 가정하면 입력 전력과 출력 전력이 같을 것이므로 다음과 같은 식이 성립한다.

$$P_1 = V_1 I_1 = P_2 = V_2 I_2$$

따라서 변압기의 코일에 걸리는 전압의 비를 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\frac{V_2}{V_1} = \frac{N_2}{N_1} = \frac{I_1}{I_2}$$

변압기는 발전소에서 송전 전압을 높이거나 가정에서 상용 전압을 낮추는 곳에 많이 사용한다. 전압을 높이고 전류를 작게 하면 도선의 저항에 의한 전력 손실을 줄일 수 있으므로, 발전소에서는 변압기를 이용하여 전압을 높여서 송전하고, 실제 가정에서 사용하기 위해서는 다시 변압기를 거쳐 가정용 전압인 220 V 정도로 낮추어 사용한다. 또 전자 회로 안에도 각 부품에 적절한 전압이 걸리도록 다양한 변압기들이 사용된다.

개념 넓히기 상호유도의 다양한 활용

상호유도 현상은 일상생활에서 변압기에 많이 활용되지만, 최근에는 무선 충전과 정보 통신 등 다양한 분야에서 점점 더 중요하게 활용되고 있다.

그림 II-55의 스마트폰 무선 충전기는 자기장의 변화를 이용하여 코일에 유도 기전력을 만드는 상호유도의 원리를 응용한 것이다. 자기장이 시간에 따라 변하기만 하면 그 근처의 다른 코일에 전자기 유도를 일으켜 유도 기전력을 발생시킬 수 있다. 전원에 연결된 무선 충전기 패드 내부에는 전자석이 들어 있어서 전류의 변화에 따라 자기장을 변화시킬 수 있다. 충전 코일이 내장된 스마트폰을 충전 패드에 가져다 대었을 때, 충전 코일에 전류가 유도되어 스마트폰 전지를 충전할 수 있다.

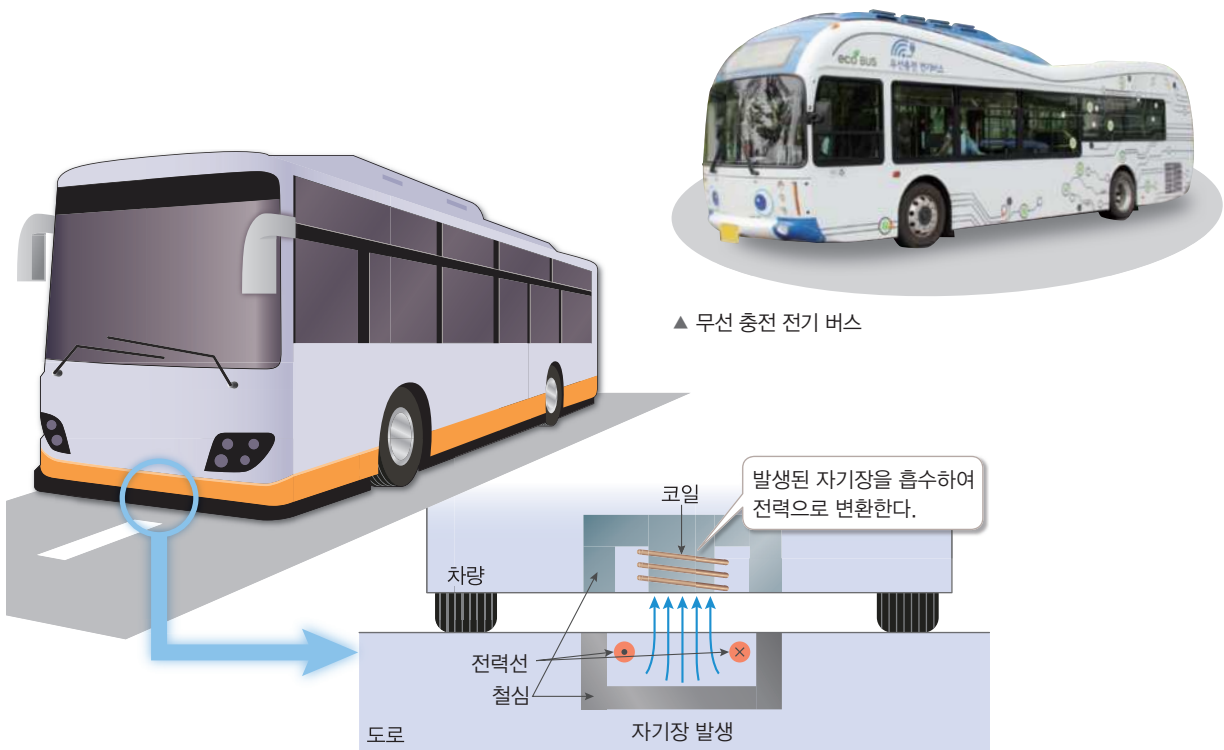
무선 충전 기술은 스마트폰처럼 작은 전자 제품뿐만 아니라 전기 버스와 같은 대용량 전자 제품을 충전하는 기술로도 발전하고 있다. 그림 II-56과 같이 전기 버스는 바닥에 설치된 송전 장치와 버스 내에 설치된 집전 장치의 상호유도 현상에 의해 전기 에너지가 충전된다.



그림 II-55 스마트폰 무선 충전기

참의력 키우기

상호유도를 이용한 무선 충전은 가까운 거리에서의 충전은 잘 되지만, 먼 거리에서의 충전은 어렵다. 그 까닭은 무엇인가?



▲ 무선 충전 전기 버스

그림 II-56 상호유도를 이용한 전기 버스 충전

무선 인식(RFID, Radio Frequency IDentification)은 물체의 정보를 비접촉 방식으로 수집, 판독한 후 저장 처리하는 기술이다. 무선 인식 시스템은 그림 II-57과 같이 크게 태그, 리더(reader), 호스트(host)로 구성된다.

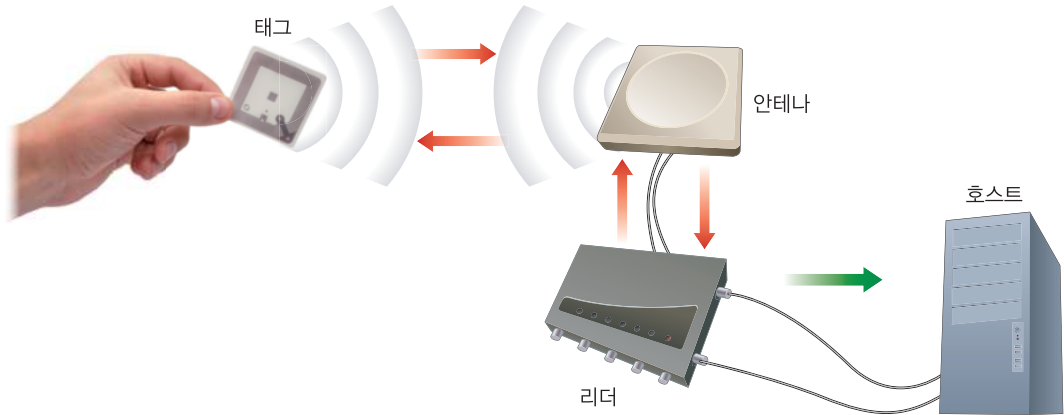


그림 II-57 무선 인식 시스템

무선 인식 기술 중 상호유도 원리를 이용한 방식은 주로 근거리에서 있는 물건에 부착된 전자 태그의 정보를 읽는 데 사용된다.

이때 리더의 안테나가 1차 코일이 되고 태그가 2차 코일이 된다. 리더에는 교류 전원이 연결되어 있고 전자 태그에는 상품 정보를 담고 있는 IC 회로가 코일에 연결되어 있다. 리더에 전원이 공급되어 시간에 따라 변하는 전류가 흐르면 1차 코일에서는 시간에 따라 계속 변하는 자기장이 생긴다. 여기에 전자 태그를 갖다 대면 상호유도 현상에 의해 태그 속 2차 코일에 발생한 유도 전류가 회로를 작동하여 상품의 정보를 읽어 낸다. 최근 많은 도서관에서 이 기술을 도입하여 책을 분류하거나 관리할 때 활용하고 있는데, 바코드 방식에 비해서 편리하기 때문에 점차 그 활용 범위가 확산되고 있다.



▲ 도서관 대출기

▲ 교통 카드

그림 II-58 무선 인식 시스템을 활용한 예

평가하기

개념 이해

1 전자 기기의 스위치를 빠르게 켜다 껐다 반복하면 기기가 망가지기 쉽다. 그 까닭은 무엇인가?

창의·융합

2 변압기의 작동 원리를 에너지 보존 법칙과 상호유도 원리를 이용하여 설명해 보자.

3 IC(Integrated Circuit) 회로를 내장하고 있는 스마트카드 역시 상호유도 현상을 활용한다. 스마트카드가 작동하는 원리를 상호유도 현상으로 설명해 보자.

선 없는 세상, 무선 충전의 미래

무선 인터넷 통신(WiFi), 블루투스(Bluetooth) 등 정보 통신 분야에서 시작된 ‘선 없는 세상’이 이제는 에너지 수송 분야로 확장되고 있다. 전원을 공급하거나 충전하기 위해 더 이상 선으로 연결할 필요가 없는 세상이 시작되고 있다. 전동 칫솔이나 스마트폰 무선 충전처럼 소용량의 전기 에너지를 전원 연결선 없이 충전하는 기술은 이미 보급되어 있다.

현재까지 대부분의 무선 충전 기술은 전자기 유도에 바탕을 둔 상호유도 현상을 기본 원리로 한다. 즉, 1차 코일에 흐르는 전류에 변화를 주어 이로 인한 자기 선속의 변화로 2차 코일에 유도 전류를 만드는 방식이다. 이 과정에서 손실 없이 에너지를 전달하기 위해서는 1차 코일과 2차 코일이 수 mm 이내로 매우 가까이 있어야 한다.

만약 몇 m 떨어진 곳에도 전기 에너지를 전달할 수 있다면 우리 생활은 어떻게 달라질까? 아마도 집 안의 전자 제품 대부분에서 전원 코드가 사라질 것이다.



생각해 보기

1 무선 전력 수송 기술이 발달하면 우리 삶은 어떻게 바뀔까? 무선 전력 수송 기술이 오늘날 무선 인터넷 통신처럼 보편화된 가까운 미래를 상상하고 묘사해 보자.

과학적 문제 해결력

2 전자기 유도를 그대로 적용하는 무선 충전 방식은 매우 가까운 거리에서만 가능하다는 한계가 있어서 이를 극복하기 위한 방안으로 나온 것이 자기 공진 현상을 이용하는 것이다. 공진 또는 공명 현상을 조사하고, 자기 공진 현상이 어떻게 전자기 유도 현상이 갖는 한계를 극복하고 먼 거리까지 전기 에너지를 전달할 수 있게 하는지 설명해 보자.



중단원 정리하기

> 핵심 내용 정리하기

전류에 의한 자기장

1. 자기력선: 자기장 내에서 나침반의 ^①□□극이 가리키는 방향을 연속적으로 이은 선이다.

2. 전류가 만드는 자기장

도선	세기	방향
^② □□ 도선	$B = k \frac{I}{r}$	전류가 오른손 엄지일 때 나머지 네 손가락 방향
^③ □□ 도선	$B = k' \frac{I}{r}$	전류가 오른손 네 손가락일 때 엄지 방향
솔레노이드	$B = k'' nI$	전류가 오른손 네 손가락일 때 엄지 방향

용량 ② | 단원 ② | N ① | 리용

>> 기초 개념 익히기

1 북쪽으로 전류가 흐르는 무한히 긴 직선 도선 바로 아래 나침반이 놓여 있다. 이때 나침반 바늘은 어느 방향을 가리키는가?

2 원형 도선에 시계 방향으로 전류가 흐를 때 원의 중심에 생기는 자기장의 방향은 (지면을 뚫고 나오는 / 지면 안으로 들어가는) 방향이고, 자기장의 세기는 원의 반지름에 (비례 / 반비례)한다.

전자기 유도

1. 자기 선속과 유도 기전력

① 자기 선속(Φ): 자기장의 세기와 그 자기장이 수직으로 통과하는 닫힌 면의 ^①□□을 곱한 값이다.

② 유도 기전력: 자기 선속이 시간에 따라 변할 때 유도 전류가 흐르도록 코일에 생긴 전압이다.

2. 유도 기전력의 크기와 방향

① 패러데이 법칙: 코일에 유도되는 기전력의 크기(V)는 코일의 감은 수(N)에 비례하고 ^②□□□□(Φ)의 변화율에 비례한다.

② 렌츠 법칙: 코일에 유도되는 기전력의 방향은 자기 선속이 변하는 것을 방해하는 방향이다.

용량 | 단원 ② | 리용 ① | 리용

3 코일 근처에 자석이 놓여 있다. 이 코일에 유도 전류가 흐르게 하려면 코일과 자석을 어떻게 해야 하는가?

4 100번 감긴 코일을 통과하는 자기 선속이 10초 동안 20 Wb에서 80 Wb로 변화였다. 이 코일에 유도되는 기전력의 크기는 몇 V인가?

상호유도

1. 상호유도: 1차 코일에 흐르는 전류의 세기가 변하면 근처에 있는 2차 코일에 유도 기전력이 발생하는 현상이다.

$$V_2 = -M \frac{\Delta I_1}{\Delta t}, V_1 = -M \frac{\Delta I_2}{\Delta t}$$

2. 변압기: 각 코일에 유도되는 전압은 각 코일의 감은 수에 ^①□□한다.

$$\frac{V_2}{V_1} = \frac{N_2}{N_1} = \frac{I_1}{I_2}$$

리용 ① | 리용

5 한쪽 코일에 흐르는 전류의 세기가 변하여 근처에 있는 다른 코일에 유도 기전력이 발생하는 현상을 무엇이라고 하는가?

6 변압기의 1차 코일과 2차 코일의 감은 수가 각각 1000번과 50번이다. 1차 코일에 220V 전원을 연결하면 2차 코일에 발생하는 전압은 몇 V인가?

개념 확인하기

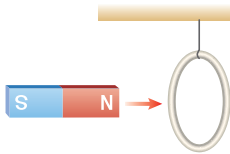
1 남북 방향으로 놓인 직선 도선에 1 A의 전류가 남쪽으로 흐르고 있다. 도선으로부터 수직으로 2 cm 아래 위치한 지점에 나침반을 놓았을 때, 이에 대한 설명으로 옳은 것만을 보기에서 있는 대로 고른 것은?

보기

- ㄱ. 나침반 바늘은 북동쪽을 가리킨다.
- ㄴ. 나침반이 놓인 지점에서 전류에 의한 자기장의 세기는 10^{-5} T이다.
- ㄷ. 도선으로부터 수직으로 떨어진 거리를 1 cm로 줄이면 그 지점에서 자기장의 세기도 줄어든다.

- ① ㄱ ② ㄱ, ㄴ ③ ㄱ, ㄷ
- ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

2 그림과 같이 실에 매달린 코일을 향해 막대자석의 N극을 밀어 넣었더니 코일이 뒤로 밀려났다.



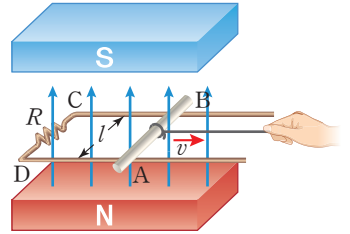
코일이 밀려나는 폭을 크게 하기 위한 방법으로 옳은 것만을 보기에서 있는 대로 고른 것은?

보기

- ㄱ. 센 자석을 사용한다.
- ㄴ. 자석의 S극을 밀어 넣는다.
- ㄷ. 자석을 코일에 빠르게 밀어 넣는다.

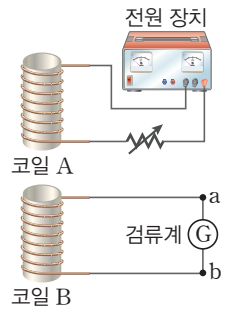
- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ
- ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

3 그림과 같은 상황에서 도선에 흐르는 전류에 대한 설명으로 옳은 것은?



- ① A에 흐르는 전류의 세기는 B에 흐르는 전류의 세기보다 크다.
- ② 도선에 흐르는 전류의 세기는 막대 도선을 당기는 속도와 상관없다.
- ③ 저항 R에 흐르는 전류의 방향은 D → R → C이다.
- ④ 도선의 폭(l)을 줄이면 유도되는 전류의 세기가 증가한다.
- ⑤ 일정한 속도로 잡아당기면 전류가 흐르지 않는다.

4 그림과 같이 코일 A에 전원 장치와 가변 저항기를 연결하고 코일 B에 검류계를 연결하였다. 이에 대한 설명으로 옳지 않은 것은?



- ① 코일 A에 흐르는 전류가 증가하면 검류계에 전류가 흐른다.
- ② 코일 A의 감은 수는 그대로 두고 코일 B의 감은 수를 늘리면 유도되는 기전력이 커진다.
- ③ 코일 B의 감은 수는 그대로 두고 코일 A의 감은 수를 늘리면 유도되는 기전력이 작아진다.
- ④ 코일 A에 교류 전류가 흐르면 코일 B에는 유도 전류가 발생한다.
- ⑤ 코일 A에 흐르는 직류 전류의 세기가 크면 코일 B에 유도되는 전류의 세기도 크다.

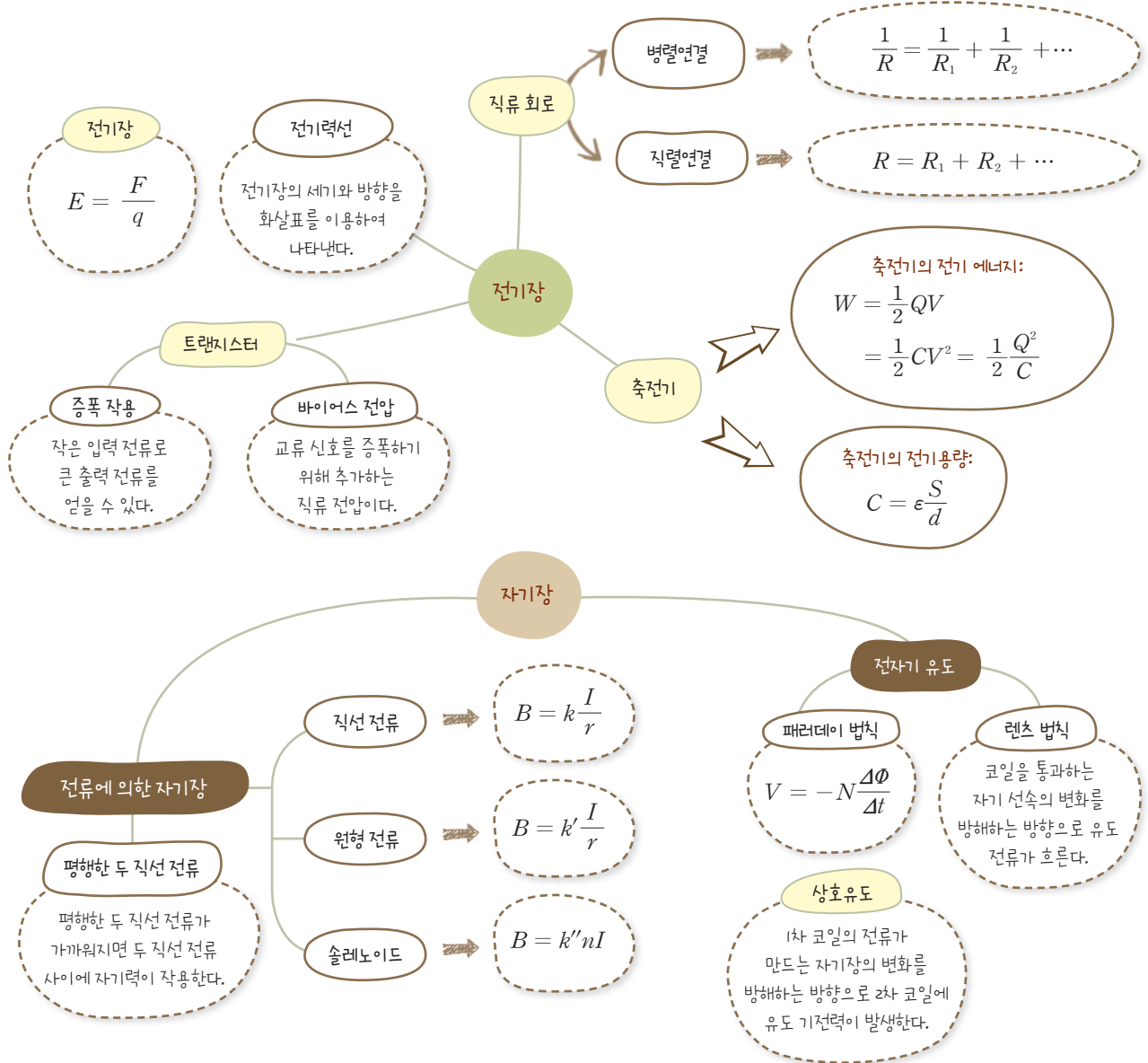
● 평가 점수에 따라 별에 색칠하세요.

스스로 평가하기

- 1 도선의 모양에 따라 전류에 의해 생기는 자기장의 방향과 세기를 설명할 수 있는가? ☆☆☆☆☆
- 2 전자기 유도에 의해 생기는 유도 기전력의 크기와 방향을 설명할 수 있는가? ☆☆☆☆☆
- 3 상호유도 현상을 이용하여 변압기의 원리를 설명할 수 있는가? ☆☆☆☆☆



단원 마무리



● **핵심 개념 설명하기** 다음은 이 단원에서 배운 핵심 개념이다. 주어진 용어를 사용하여 설명하시오.

저항의 연결

- 직렬연결, 병렬연결, 합성 저항, 전위차, 전류, 소비 전력

전자기 유도

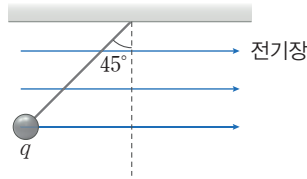
- 자기 선속, 유도 기전력, 렌츠 법칙, 패러데이 법칙

상호유도

- 1차 코일, 2차 코일, 전류의 변화율, 코일의 감은 수

실력 평가하기

- 1 그림은 수평 방향의 균일한 전기장 영역에서 질량 m , 전하량 q 인 대전체가 실에 매달려 정지해 있는 모습을 나타낸 것이다.
이에 대한 설명으로 옳은 것만을 (보기)에서 있는 대로 고른 것은? (단, 중력 가속도는 g 이다.)

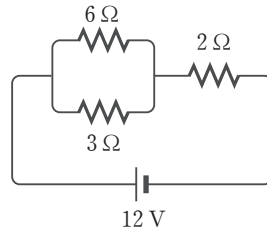


보기

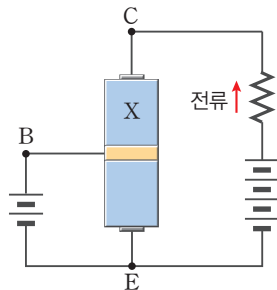
ㄱ. 대전체는 양(+)전하를 띤다.
 ㄴ. 대전체가 받는 중력과 전기력의 크기는 같다.
 ㄷ. 전기장의 세기는 $\frac{mg}{q}$ 이다.

- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄷ
 ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

- 2 그림은 저항값이 6 Ω, 3 Ω, 2 Ω인 저항을 전압이 12 V로 일정한 전원에 연결한 회로를 나타낸 것이다.
 (1) 6 Ω의 저항에 흐르는 전류는 몇 A인가?
 (2) 3 Ω의 저항에서 소모되는 전력은 몇 W인가?
 (3) 2 Ω의 저항에 걸리는 전압은 몇 V인가?



- 3 그림은 n-p-n형 트랜지스터를 포함한 전기 회로에서 저항에 전류가 흐르는 모습을 나타낸 것이다.
이에 대한 설명으로 옳은 것만을 (보기)에서 있는 대로 고른 것은?



보기

ㄱ. X는 주로 전자에 의해 전하가 운반된다.
 ㄴ. B와 E 사이에는 순방향 전압이 걸린다.
 ㄷ. C에 흐르는 전류의 세기는 B에 흐르는 전류의 세기보다 크다.

- ① ㄴ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ
 ④ ㄱ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

핵심 바로 알기

전기장
 전기장은 단위 양(+)전하가 받는 전기력의 크기와 방향이다.
 ➔ 88쪽

저항의 혼합 연결
 저항을 병렬로 연결하면 합성 저항이 작아지고, 직렬로 연결하면 합성 저항이 커진다.
 ➔ 104쪽

트랜지스터
 베이스와 이미터에 순방향 전압이 걸리면 증폭 작용을 한다.
 ➔ 106쪽

핵심 역량 키우기

과학적 문제 해결력
 + 과학적 의사소통 능력
 + 과학적 탐구 능력

7 다음은 절연체 위에 놓인 동일한 금속구 A, B로 수행한 실험 과정이다.

(가) A, B를 서로 접촉시켜 놓고, 음(-)전하로 대전된 물체 C를 B에 가까이 한다.
 (나) (가)의 상태에서 A에 손가락을 갖다 댄다.
 (다) (나)의 상태에서 C와 손가락을 치우고, A와 B를 분리한다.

- (1) (가)에서 A와 B에 유도되는 전하의 종류에 대해 근거를 들어 친구들에게 설명해 보자.
- (2) (다)에서 C와 손가락을 치우는 순서에 따라 A와 B에 유도되는 전하의 종류에 대해 근거를 들어 친구들에게 설명해 보자.

과학적 문제 해결력
 + 과학적 사고력

8 전류의 자기 작용을 나타내는 앙페르 법칙과 전자기 유도 현상을 나타내는 패러데이 법칙은 서로 대칭적인 면이 있다. 두 법칙은 어떤 면에서 대칭되는지 서로의 비슷한 점과 차이점을 설명하시오.

과학적 사고력
 + 과학적 의사소통 능력

9 패러데이 법칙에서 (-)의 부호는 유도 전류의 방향이 자기 선속의 변화를 방해하는 방향임을 나타내고, 이는 렌츠 법칙으로도 설명할 수 있다. 만약 이 법칙에서 (-) 부호가 없다면, 즉 유도 전류의 방향이 자기 선속의 변화 방향과 같다면 어떤 일이 벌어지는지 예상해 보고, 이를 에너지 보존 법칙과 관련하여 설명하시오.



- 반도체는 첨단 산업의 쌀이라고 불리며 정보 통신 기술의 기초가 되었다. 반도체가 걸어온 길과 해결해야 할 문제를 살펴보고 반도체의 역사와 미래를 전망하는 인포그래픽을 만들어 보자.

자료 **반도체의 역사**

TV나 라디오와 같은 전자 제품에 쓰이던 진공관은 부피가 크고 많은 전기 에너지를 소모하며 작동하기까지 시간이 오래 걸렸다. 이렇게 불편한 진공관을 대신한 것이 트랜지스터이다. 벨 연구소에서 트랜지스터를 발명한 이후 반도체 IC(집적 회로), 광전 소자 등이 개발되었고, 고집적 IC, 반도체 레이저 다이오드의 상용화로 이어져 정보 통신 기술의 급격한 발달을 가져왔다. 또한 개인용 컴퓨터나 휴대 전화 등은 반도체 기술의 결정체이며, 세계를 하나로 묶는 인터넷 역시 반도체를 이용한 초고속 광통신 시스템의 구축으로 가능하게 되었다.

최초의 반도체는 저마늄을 이용하였으나 곧 규소를 이용한 반도체로 대체되었다. 규소는 전기적 절연성이 뛰어나고 안정된 구조의 산화물(SiO₂)을 이루는 등 트랜지스터 소재로 저마늄보다 더 적합하다.

오늘날에는 규소 반도체뿐만 아니라 화합물 반도체가 다양한 분야에 활용되고 있다. 화합물 반도체는 1960년대 시작된 반도체 레이저 다이오드(LD) 개발이 가능하게 하였다. 반도체 레이저 다이오드는 광통신용 광원으로 광통신의 핵심 소자이며 CD/DVD용 광원, 원격 조정기(리모컨), 바코드 판독기 등에 활용되고 있다. 또 LD와 비슷한 원리로 작동하는 발광 다이오드(LED)는 대형 모니터, 프린터와 스캐너의 영상 감지 소자 등에 활용되고 있다.

조사하기

- 위 자료에 나온 다음 용어에 대해 좀 더 자세히 조사해 보자.

진공관, 트랜지스터, 집적 회로, 광전 소자, 고집적 IC, 반도체 레이저 다이오드, 화합물 반도체

- 오늘날 반도체가 활용되는 사례를 조사하여 분류해 보자.

예상하기

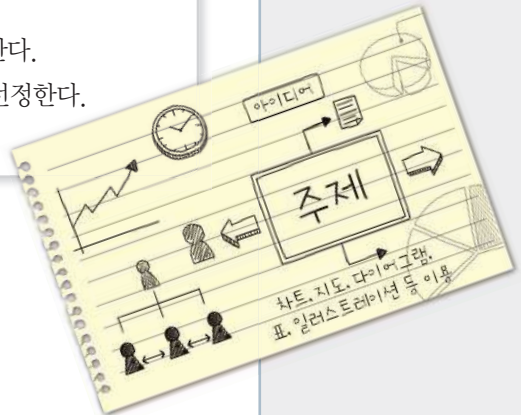
- 미래의 반도체는 어떤 형태와 기능을 할지 예상해 보자.
- 미래의 반도체가 개선해야 할 점들은 무엇인지 토의해 보자.

인포그래픽 만들기

- 위 자료와 조사한 내용을 참고하여 반도체의 발전 과정과 미래를 설명하는 인포그래픽을 만들어 보자.

인포그래픽 만들기 과정

1. 주제 정하기 : 배운 내용을 바탕으로 인포그래픽의 주제를 정한다.
2. 정보 수집 및 분석 : 주제와 관련된 정확한 정보를 수집하고, 핵심 키워드를 정한다.
3. 제작 형태 정하기 : 주제와 전달하려는 정보에 맞게 세부 형태를 결정하고, 색상, 로고, 모양 등을 생각하며 인포그래픽의 콘셉트를 결정한다.
4. 제작하기
 - ① 정보의 중요도에 따라 위치, 크기 등 레이아웃을 정하고 스케치한다.
 - ② 전달력을 높이기 위해 알맞은 색상, 글꼴, 아이콘, 그래프 등을 선정한다.
 - ③ 전체적인 구성을 확인한다.



인포그래픽

정보, 자료 또는 지식을 시각적으로 표현하는 것이다. 정보를 구체적, 즉각적, 실용적으로 전달하기 위해 차트, 지도, 다이어그램, 플로 차트, 로고, 일러스트레이션, 표 등을 이용한다.

글쓰기

인포그래픽 제작 후기

- 인포그래픽으로 표현했을 때 어떤 장단점이 있는지 살펴보고, 인포그래픽으로 표현하면서 느낀 점이나 알게 된 점을 정리해 보자.



올곧은 진술의 반대말은 거짓 진술이다. 하지만 심오한 진리의 반대말은 또 다른 심오한 진리일지도 모른다.

The opposite of a correct statement is a false statement. But the opposite of a profound truth may well be another profound truth.

- Niels Bohr

III

파동과 물질의 성질

01. 파동

02. 현대 물리



파동

01. 전자기파의 간섭과 회절
02. 도플러 효과
03. 전자기파의 발생과 수신
04. 볼록 렌즈에 의한 상
05. 이중 슬릿의 간섭 실험



이 단원의 성취 기준 확인

이 단원에서는 자연에서 만들어지는 신호들이 전자기파를 통하여 전달되는 과정을 설명하기 위해 전자기파의 성질을 이해하고 그 응용 사례를 조사한다. 또한 전자기파는 전하의 전기적 진동으로 발생하므로, 교류 회로를 통한 전자기파의 발생과 수신 과정을 이해한다.



자기 점검 - 알고 있는 용어에 체크해 보자.

파동 보강 간섭 상쇄 간섭 전자기파 교류
 코일 축전기 반사 굴절 볼록 렌즈

▶ 체크하지 못한 용어는 인터넷에서 검색해 보자.



학습 계획 세우기 - 성취 기준을 달성하기 위해 어떤 준비를 할 수 있을지 써 보자.

01 전자기파의 간섭과 회절

- 파동의 간섭과 회절을 이해할 수 있다.
- 전자기파의 간섭과 회절에 관련된 다양한 예를 조사하여 설명할 수 있다.

들어가기 | 멋진 태양 사진을 찍을 수 있는 까닭은?

사진기로 태양을 촬영할 때 조리개의 크기를 적당히 조절하면 태양 주위로 기다란 선이 나타나서 멋진 사진을 얻을 수 있다. 이러한 선이 나타나는 까닭은 무엇일까?

알아보기 | 파동의 간섭과 회절

두 물체가 운동하다가 만나면 충돌을 하여 속도가 변하고, 물체가 운동하다가 장애물 사이를 지나더라도 힘을 받지 않으면 그대로 직진한다. 그렇다면 두 개의 파동이 만날 때와 파동이 장애물 사이를 지날 때는 어떤 현상이 발생하는지 알아보자.

미니 탐구

물결파의 간섭과 회절

탐구 1 파동의 간섭

- 1 그림과 같이 물결과 투영 장치의 두 점파원이 수면에 살짝 잠기게 설치한다.
- 2 광원을 켜 후 두 점파원이 일정한 진동수로 진동할 때 스크린에 나타나는 물결과 무늬를 관찰한다.

❓ 두 물결파가 만나면 어떤 무늬가 만들어지는가?

탐구 2 파동의 회절

- 1 물결과 투영 장치의 막대가 수면에 살짝 잠기게 하고, 막대의 앞에 2개의 장애물을 조금 떨어뜨려서 설치한다.
- 2 광원을 켜 후 막대가 일정한 진동수로 진동할 때 스크린에 나타나는 물결과 무늬를 관찰한다.
- 3 막대의 진동수를 작게 하고 무늬의 변화를 관찰한다.
- 4 장애물 사이의 틈을 좁히고 무늬의 변화를 관찰한다.

- ❓ 물결파가 장애물을 통과할 때 어떤 현상이 나타나는가?
 ❓ 물결파의 진동수나 장애물 사이의 틈을 감소시키면 장애물을 지난 물결파에 어떤 변화가 나타나는가?

목표

물결파의 간섭과 회절을 관찰할 수 있다.

준비물

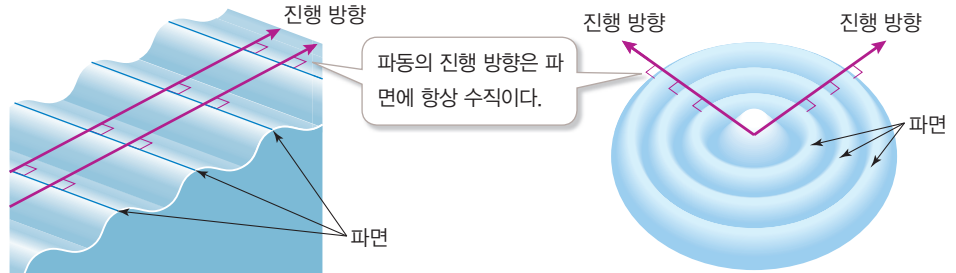
물결과 투영 장치



| 하위헌스 원리 |

파동이 진행할 때 매질의 여러 지점 중에서 진동 상태가 같은 점, 즉 위상이 동일한 지점들을 연결한 선이나 면을 **파면**이라고 한다. 그림 III-1의 (가)는 파면이 직선이거나 평면인 평면파가, 그림 (나)는 파면이 원이거나 구면인 구면파가 진행하는 모습을 나타낸 것이다.

물음 이웃한 파면 사이의 거리는 무엇과 같은가?



(가) 평면파가 진행하는 모습

(나) 구면파가 진행하는 모습

그림 III-1 평면파와 구면파에서의 파면

파동이 진행하는 원리는 하위헌스 원리로 설명할 수 있다. 하위헌스 원리에 의하여 파동이 진행할 때 파면 위의 모든 점은 점파원의 역할을 하여 구면파를 만들며, 이렇게 만들어진 무수히 많은 구면파에 공통으로 접하는 면이 다음 순간의 새로운 파면이 된다. 그림 III-2는 평면파와 구면파의 진행을 하위헌스 원리를 이용하여 나타낸 것으로, 파동의 진행 방향은 파면에 수직이다.



하위헌스(Huygens, C., 1629~1695) 네덜란드의 물리학자이다. 빛의 파동설을 주장하여 빛의 반사, 굴절 및 복굴절 현상을 설명하였다.

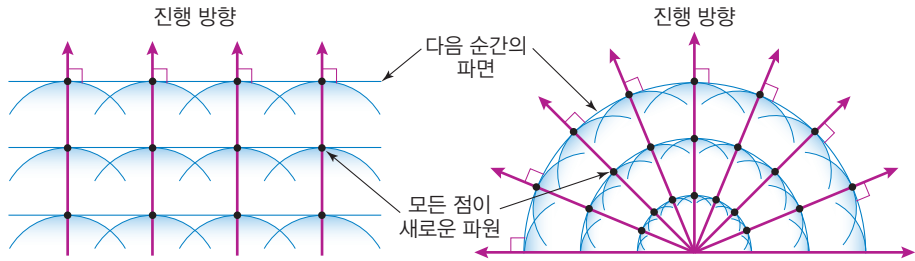
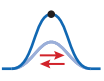


그림 III-2 평면파와 구면파의 전파

| 파동의 간섭 |

탐구에서와 같이 두 개의 점파원에서 파장과 위상이 같은 파동이 발생할 때 나타나는 간섭 현상을 알아보자. 각 점파원에서 발생한 두 물결파가 만나면 중첩 현상이 나타나며, 중첩된 두 파동의 위상에 따라 보강 간섭 또는 상쇄 간섭이 나타난다. 즉, 그림 III-3과 같이 마루와 마루가 만나거나 골과 골이 만나는 지점에서는 진폭이 커지며, 마루와 골이 만나는 지점에서는 진폭이 작아진다.

보강 간섭 지점:
같은 위상으로 중첩되어 진폭이 커진다.



상쇄 간섭 지점:
반대 위상으로 중첩되어 진폭이 작아진다.

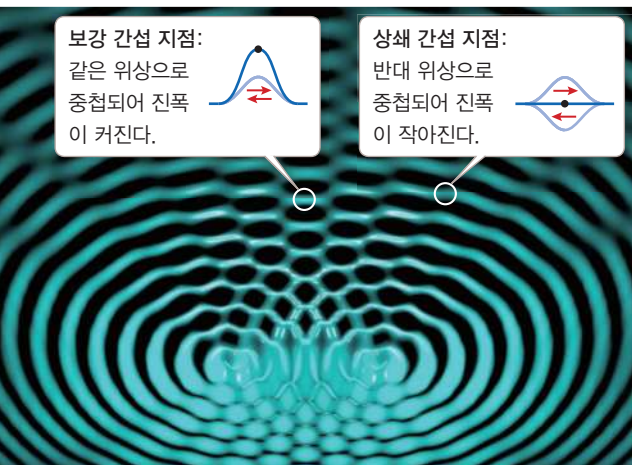
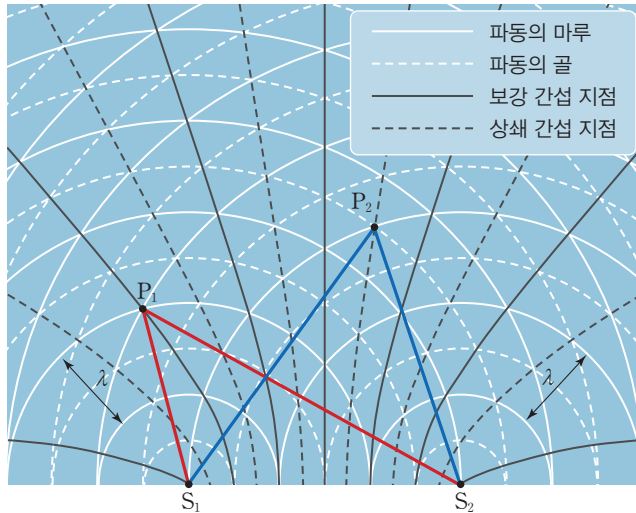


그림 III-3 물결파의 간섭

그림 III-4와 같이 두 점파원 S_1 과 S_2 에서 동일한 위상으로 파장이 λ 인 파동이 발생한다고 하자. 이때 점 P_1 과 같이 S_1, S_2 로부터의 거리의 차이가 $\frac{1}{2}\lambda$ 의 짝수 배(또는 λ 의 정수 배)만큼 차이가 나는 지점에서는 항상 두 파동이 동일한 위상으로 중첩되기 때문에 보강 간섭이 나타난다. 그리고 점 P_2 와 같이 S_1, S_2 로부터의 거리의 차이가 $\frac{1}{2}\lambda$ 의 홀수 배(또는 λ 의 정수 배 + $\frac{1}{2}\lambda$)만큼 차이가 나는 지점에서는 항상 두 파동이 반대 위상으로 중첩되기 때문에 상쇄 간섭이 나타난다.



〈보강 간섭 지점〉
 $|S_1P_1 - S_2P_1| = \frac{\lambda}{2}(2m) \quad (m = 0, 1, 2, \dots)$

〈상쇄 간섭 지점〉
 $|S_1P_2 - S_2P_2| = \frac{\lambda}{2}(2m + 1) \quad (m = 0, 1, 2, \dots)$

그림 III-4 보강 간섭과 상쇄 간섭의 경로차

전자기파는 파동이므로 두 전자기파가 만나서 동일한 위상으로 중첩되면 전기장과 자기장의 진폭이 커지는 보강 간섭이 일어나고, 반대 위상으로 중첩되면 전기장과 자기장의 진폭이 작아지는 상쇄 간섭이 일어난다.

| 파동의 회절 |

그림 III-5와 같이 바다에서 육지로 밀려오는 파도가 좁은 틈을 빠져나올 때 틈 주위로 휘어지면서 퍼져 나가는 것을 볼 수 있다. 이처럼 파동은 진행하다가 장애물을 만나면 그 모서리에서 휘어져 장애물의 뒤쪽으로 전파되는 성질이 있다. 파동의 이러한 성질을 파동의 회절이라고 한다.



그림 III-5 파동의 회절

파동의 회절은 하위헌스 원리로 설명할 수 있다. 그림 III-6과 같이 평면파가 슬릿을 지날 때 파면 위의 모든 점은 점파원의 역할을 하여 구면파를 만들며, 이 중 파면의 가장자리에 있는 점에서 만든 구면파가 장애물의 뒤쪽으로 진행하는 파동을 만든다.

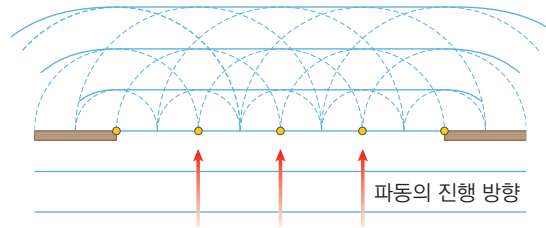
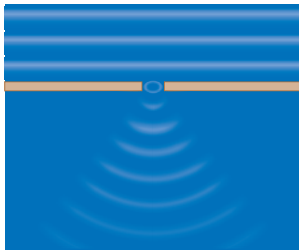


그림 III-6 평면파의 회절

파동이 회절하는 정도는 슬릿의 폭과 파장에 따라 달라진다. 그림 III-7과 같이 슬릿의 폭이 넓을 때보다 슬릿의 폭이 좁을 때 파동이 더 크게 회절한다. 이것은 슬릿의 폭이 좁을수록 슬릿이 점파원에 가까워지면서 구면파 형태의 파동을 발생시키기 때문이다. 그리고 그림 III-8과 같이 파장이 짧을 때보다는 파장이 길 때 파동이 더 크게 회절한다. 이것은 파장이 길수록 상대적으로 슬릿의 폭이 좁아지는 효과가 나타나기 때문이다.



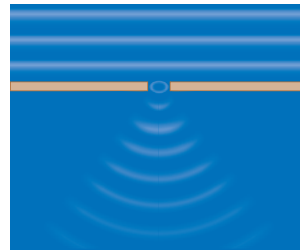
슬릿
장애물 사이의 좁은 틈이다.



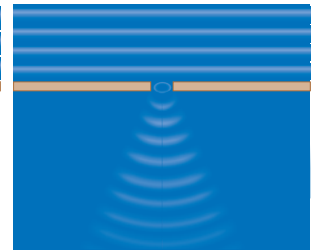
(가) 슬릿의 폭이 좁을 때



(나) 슬릿의 폭이 넓을 때



(가) 파장이 길 때



(나) 파장이 짧을 때

그림 III-7 슬릿의 폭에 따른 물결파의 회절

그림 III-8 파장에 따른 물결파의 회절

그림 III-9와 같이 파동의 회절로 담 너머에 있는 사람의 모습은 보이지 않지만 목소리는 들리는 현상이 나타난다. 전자기파의 한 종류인 가시광선은 파장이 대략 수백 nm 정도로 짧기 때문에 회절하는 정도가 작아 담 너머까지 전달되지 않지만, 목소리는 파장이 대략 1 m 정도로 길기 때문에 회절하는 정도가 커서 담 너머까지 전달된다.



가시광선의 파장
약 380 nm~750 nm이다.

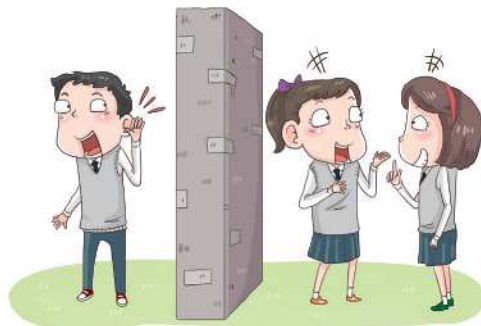


그림 III-9 소리의 회절

개념 넓히기 전자기파의 간섭과 회절에 관련된 예

전자기파는 전기장과 자기장이 진동하는 파동이므로 반사, 굴절, 간섭과 회절 현상이 나타난다. 전자기파의 간섭과 회절이 사용되는 사례를 알아보자.

주파수가 동일한 전파를 여러 사용자가 동시에 사용할 때에는 간섭을 일으켜 서로 영향을 미친다. 전파가 간섭되면 신호가 변형되거나 약해지기 때문에 정확한 정보를 전달하기 힘들다. 예를 들어, 방송사나 통신사에서 같은 주파수를 사용하면 그림 III-10과 같이 전파가 간섭되어 방송이나 통신을 할 수 없다. 따라서 방송사나 통신사는 서로 다른 주파수 대역의 전파를 사용하여 간섭을 방지한다.

라디오 방송에는 주파수가 약 500 kHz~1600 kHz인 전파를 이용하는 AM 방송과 약 90 MHz~110 MHz인 전파를 이용하는 FM 방송이 있다. 그런데 산과 같이 전파의 진행을 방해하는 장애물이 많은 지형에서는 AM 방송은 수신되지만 FM 방송은 수신되지 않는다. 이것은 그림 III-11과 같이 AM 방송의 전파가 FM 방송의 전파보다 파장이 길어서 회절이 크게 일어나기 때문에 나타나는 현상이다.

빛의 회절은 사진 촬영 기법에 이용되기도 한다. 그림 III-12와 같이 태양을 촬영할 때 조리개를 조절하면 태양을 중심으로 기다란 선이 나타나게 할 수 있는데, 기다란 선은 빛이 조리개를 지나면서 회절하기 때문에 나타난 것이다.

주파수

진동수와 같으며, 전파에서는 진동수 대신 주파수를 사용한다.

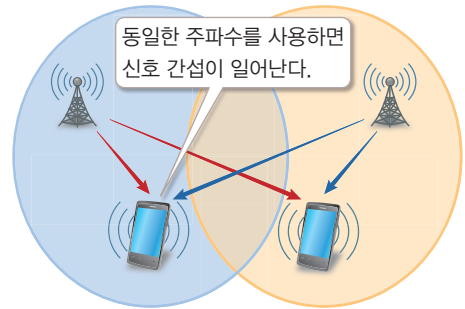


그림 III-10 전자기파의 간섭

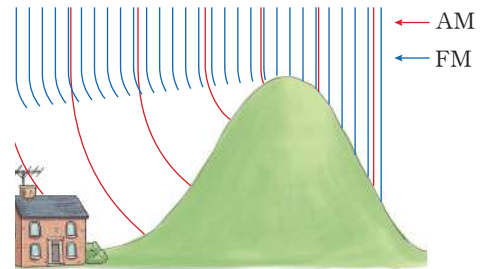


그림 III-11 전자기파의 회절



(가) 조리개를 많이 열었을 때

(나) 조리개를 조금 열었을 때

그림 III-12 빛의 회절

조리개

사진기 렌즈를 통과하는 빛의 양을 조절하는 장치이다.

평가하기

개념 이해

1 두 점파원에서 파장과 위상이 같은 물결파가 발생할 때 보강 간섭 현상은 어떤 지점에서 나타나는가?

2 슬릿을 통과한 빛이 더 크게 회절되게 하기 위한 조건은 무엇인가?

창의·융합

3 전자기파의 간섭과 회절에 관련된 다양한 예를 조사하여 설명해 보자.

02 도플러 효과

- 파원의 속도에 따라 파장이 달라짐을 이해할 수 있다.
- 도플러 효과가 활용되는 사례를 찾아 설명할 수 있다.



들어가기 스피드 건은 야구공의 속력을 어떻게 측정할까?

야구 경기에서 투수가 던진 공은 순식간에 포수에게 도달한다. 스피드 건은 이렇게 짧은 시간 동안 빠르게 운동하는 야구공의 속력을 어떻게 측정하는 것일까?

알아보기 도플러 효과

그림 III-13은 정지해 있는 점파원 S에서 진동수가 f 인 파동이 발생하여 속력 v 로 진행하는 모습을 나타낸 것이다. S 주위에 정지해 있는 관찰자가 측정한 이 파동의 진동수는 얼마일까?



관찰자

파동의 속력이 v 이므로 관찰자에게는 $\frac{\lambda}{v}$ 초마다 1번씩 파면이 도달한다. 따라서 관찰자가 측정하는 파동의 주기는 $T = \frac{\lambda}{v}$ 이고, 진동수는 $f = \frac{v}{\lambda}$

그림 III-13 정지한 파원에서 퍼져 나오는 파동

가 된다. 즉, 파원과 관찰자가 모두 정지해 있을 때는 파원에서 발생한 파동의 진동수와 관찰자가 측정하는 파동의 진동수가 서로 같다.

이제 파원이 운동할 때 어떤 차이가 발생하는지 알아보자.

미니 탐구

음원의 운동에 따른 소리의 진동수 변화

목표

음원의 운동에 따른 소리의 진동수 변화를 관찰할 수 있다.

준비물

소리의 도플러 효과 실험 장치, 소리의 진동수 측정 장치 또는 진동수 측정 애플리케이션이 설치된 스마트폰

주의 사항

- 음원의 회전면과 스마트폰이 동일 평면에 놓이게 한다.
- 음원을 끈에 매달아 회전시킬 때 안전한 거리를 확보한다.


- 1 음원이 정지한 상태에서 소리를 발생시키고, 진동수를 측정한다.
- 2 그림과 같이 한 학생은 소리가 나는 음원을 일정한 속력으로 회전시키고, 다른 학생은 진동수를 측정한다.



- ? 과정 1, 2에서 측정한 진동수에는 어떤 차이가 있는가?
- ? 과정 2의 진동수가 과정 1의 진동수보다 크게 측정될 때 음원은 어느 쪽으로 운동하는가?

그림 III-14는 진동수가 f 인 파동을 발생시키는 점파원이 등속으로 이동하고, 관찰자 A, B가 파원의 앞뒤에서 파동의 진동수를 측정하는 모습을 나타낸 것이다. 이때 관찰자 A는 파동을 실제보다 더 짧은 파장, 즉 더 큰 진동수로 측정하고, 반대로 관찰자 B는 더 긴 파장, 즉 더 작은 진동수로 측정한다. 이렇게 파원과 관찰자가 상대 운동을 할 때, 관찰자가 파동의 진동수를 파원의 진동수와 다르게 측정하는 현상을 **도플러 효과**라고 한다.



 **도플러(Doppler, C. A., 1803~1853)** 오스트리아의 물리학자이다. 1842년 도플러 효과를 발견하였다.

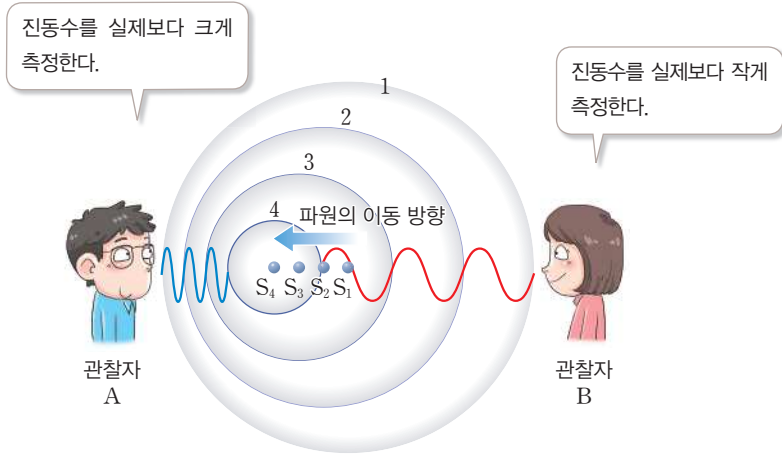


그림 III-14 도플러 효과

파동의 전파 속력이 v , 파원의 이동 속력이 v_s 일 때 A, B가 측정하는 파동의 진동수 f_A, f_B 는 파원의 진동수 f 와 얼마나 차이가 날까? 그림 III-15에서 파면 1이 진행한 시간을 t 라고 하면, 파면 2는 파면 1보다 1주기 이후에 발생했으므로 진행한 시간은 $t - \frac{1}{f}$ 이 된다. 이에 따라 파면 1은 S_1 이 중심인 반지름 vt 인 원이 되고, 파면 2는 S_2 가 중심인 반지름 $v(t - \frac{1}{f})$ 인 원이 된다. S_1 과 S_2 사이의 거리는 $\frac{v_s}{f}$ 이므로, A와 B가 측정하는 파동의 파장 λ_A, λ_B 는 파면 1과 파면 2 사이의 거리와 같다.

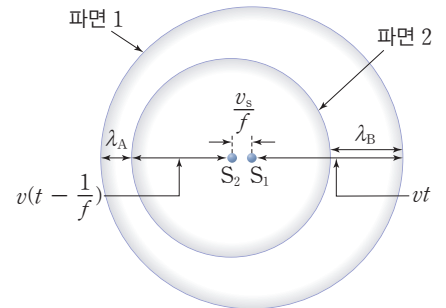


그림 III-15 파면 사이의 거리

$$\lambda_A = vt - v\left(t - \frac{1}{f}\right) - \frac{v_s}{f} = \frac{v - v_s}{f}$$

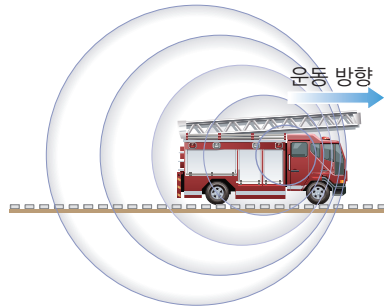
$$\lambda_B = vt - v\left(t - \frac{1}{f}\right) + \frac{v_s}{f} = \frac{v + v_s}{f}$$

또한 $v = f\lambda$ 이므로 파원이 관찰자에 가까워질 때 측정되는 진동수 f_A 와 멀어질 때 측정되는 진동수 f_B 는 다음과 같다.

$$f_A = \frac{v}{\lambda_A} = \left(\frac{v}{v - v_s}\right)f \quad (\text{파원이 관찰자에게 가까워질 때})$$

$$f_B = \frac{v}{\lambda_B} = \left(\frac{v}{v + v_s}\right)f \quad (\text{파원이 관찰자에게서 멀어질 때})$$

도플러 효과는 소방차가 사이렌을 울리며 지나갈 때 경험할 수 있다. 그림 III-16의 (가)와 같이 소방차가 다가올 때는 실제보다 높은 소리로 들리다가 소방차가 옆을 지나 멀어질 때는 실제보다 낮은 소리로 들린다. 또한 그림 (나)와 같이 수면에서 이동하는 물새를 보면 앞쪽이 뒤쪽보다 물결파의 파장이 짧은 것을 관찰할 수 있다.



(가) 사이렌 소리의 도플러 효과
그림 III-16 일상생활에서의 도플러 효과



(나) 물결파의 도플러 효과

예제

정지해 있는 철수가 정지해 있는 소방차에서 발생한 소리의 진동수를 측정했더니 1071 Hz이었다. 이후 소방차가 철수로부터 속력 v_s 로 멀어질 때 소리의 진동수는 1020 Hz이었다. 소리의 속력이 340 m/s일 때 v_s 는?

풀이 ··· 음원이 관찰자로부터 멀어지고 있으므로 $f' = \left(\frac{v}{v + v_s}\right)f$ 를 적용한다.

$$f' = 1020 \text{ Hz}, v = 340 \text{ m/s}, f = 1071 \text{ Hz} \text{이므로 } v_s = 17 \text{ m/s} \text{이다.}$$

답 17 m/s

파원의 속력은 v_s 이고,
소리의 속력은 v 야.



도플러 효과는 파원이 정지해 있고 관찰자가 움직일 때에도 나타난다. 그림 III-17과 같이 관찰자가 파원에 다가가면 정지해 있을 때보다 같은 시간 동안 더 많은 수의 파면이 관찰자에게 도달한다. 따라서 관찰자가 측정하는 진동수는 실제 진동수보다 커진다. 반대로 관찰자가 파원에서 멀어지면 같은 시간 동안 더 적은 수의 파면이 관찰자에게 도달하므로 관찰자가 측정하는 진동수는 실제 진동수보다 작아진다.

물음 음원과 관찰자가 같은 속도로 움직일 때에도 도플러 효과가 발생할까?

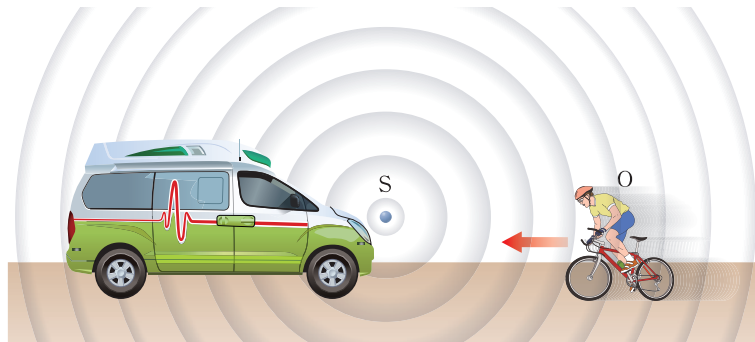


그림 III-17 관찰자가 움직일 때 도플러 효과

개념 넓히기 | 도플러 효과의 이용

소리에서 도플러 효과가 나타나는 것처럼 전자기파에서도 도플러 효과가 나타난다. 그리고 전자기파에서 도플러 효과가 발생할 때 측정되는 진동수는 소리의 도플러 효과에서와 마찬가지로 파원이나 관찰자의 속도에 영향을 받는다. 따라서 움직이는 물체에서 발생한 전자기파의 진동수를 측정하면 물체의 운동 상태 등에 대한 정보를 얻을 수 있다.

그림 III-18과 같은 속도 측정 장치는 적외선에서 발생하는 도플러 효과를 이용한다. 속도 측정 장치가 자동차를 향해 진동수를 알고 있는 적외선 레이저를 발사한 후, 자동차에서 반사된 적외선의 진동수를 측정하여 자동차의 속력을 구한다. 자동차가 속도 측정 장치 쪽으로 접근한다면 반사된 적외선의 진동수는 발사되었을 때보다 큰 값으로 측정되며, 자동차의 속력이 빠를수록 반사된 적외선의 진동수가 크다.



그림 III-18 속도 측정 장치와 원리 | 속력이 빠른 차량일수록 반사되는 적외선의 진동수가 크다.

도플러 효과는 기상 관측에 이용되기도 한다. 구름의 이동 방향과 속력을 측정하면 보다 정확한 날씨를 예측하는 데 도움이 된다. 이를 위해 도플러 레이더가 구름을 향해 전파를 방출하면 그림 III-19와 같이 구름에 도달한 전파가 구름 안에 있는 물방울, 눈, 우박 등에서 반사된 후 다시 레이더로 돌아온다. 이때 방출한 전파의 진동수와 반사된 전파의 진동수를 비교하면 구름의 이동 방향과 속력 등에 대한 정보를 얻을 수 있다.



그림 III-19 도플러 레이더



적색 편이

별, 은하 등이 멀어질 때 빛의 파장이 길게, 진동수가 작게 측정되는 현상이다.

청색 편이

별, 은하 등이 가까워질 때 빛의 파장이 짧게, 진동수가 크게 측정되는 현상이다.

도플러 효과는 천체 관측에도 이용된다. 미국의 과학자 허블은 외부 은하를 관찰하여 대부분의 은하에서 오는 빛이 적색 편이 되었다는 사실을 알아냈다. 이를 통해 은하들이 서로 멀어지고 있다는 사실을 밝혔다. 또한 지구에서 멀리 떨어진 은하에서 오는 빛에서 적색 편이가 더 크게 발생한다는 사실을 통해 멀리 있는 은하일수록 더 빠른 속력으로 멀어지고 있다는 사실도 밝혔다.

도플러 효과를 이용하면 별의 공전 주기도 알 수 있다. 그림 III-21과 같이 별이 공전하면서 지구로 다가올 때는 청색 편이가, 지구에서 멀어질 때는 적색 편이가 나타나므로, 이를 측정하면 별의 속력, 공전 주기 등에 대한 정보를 알 수 있다.

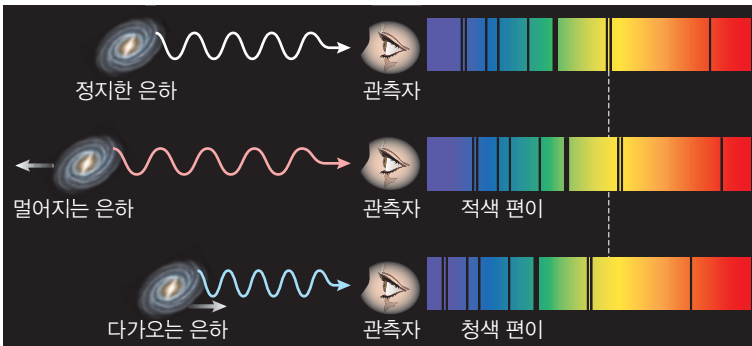


그림 III-20 적색 편이와 청색 편이

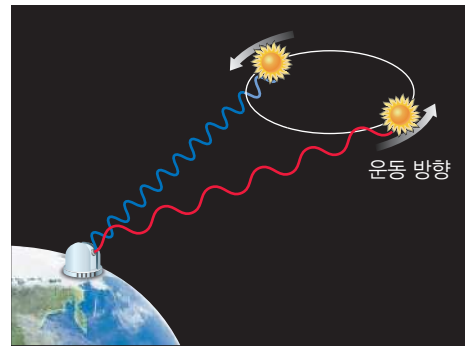


그림 III-21 별이 다가올 때와 멀어질 때

창의력 키우기

도플러 효과를 이용해서 별의 자전 속력을 구할 수 있는 방법을 생각해 보자.

도플러 효과는 인체 내의 건강 상태를 확인하는 데 이용되기도 한다. 그림 III-22와 같이 도플러 초음파 검사를 실시하면 검사 장치에서 발생시킨 초음파와 혈액에서 반사된 초음파의 진동수 차이를 이용하여 혈액의 속력을 측정할 수 있으며, 이를 바탕으로 건강 상태를 확인할 수 있다.

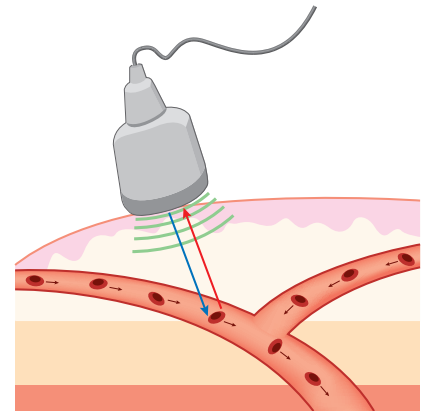


그림 III-22 도플러 초음파 원리

평가하기

개념 이해

- 음원이 관찰자로부터 멀어질 때 소리의 진동수는 어떻게 측정되는가?
- 진동수가 f 인 초음파를 움직이는 물체 A, B에 쏘았더니 되돌아온 초음파의 진동수가 각각 $0.99f$, $0.98f$ 이었다. 속력이 더 빠른 물체는 어떤 것인가?

창의·융합

- 우리 주변에서 도플러 효과를 이용하는 예를 조사해 보자.

03 전자기파의 발생과 수신

- 교류 회로에서 전자기파의 발생 과정을 설명할 수 있다.
- 안테나를 통한 전자기파의 수신 과정을 설명할 수 있다.

들어가기 | 라디오가 하나의 방송만 재생할 수 있는 까닭은?

라디오를 틀면 방송국에서 전파에 실어 보낸 방송 내용을 청취할 수 있다. 그런데 여러 방송국에서 내보낸 많은 수의 전파를 모두 수신하는 라디오는 어떻게 한 방송만을 골라서 재생할 수 있는 것일까?



개념 넓히기 | 전자기파의 발생과 수신 과정

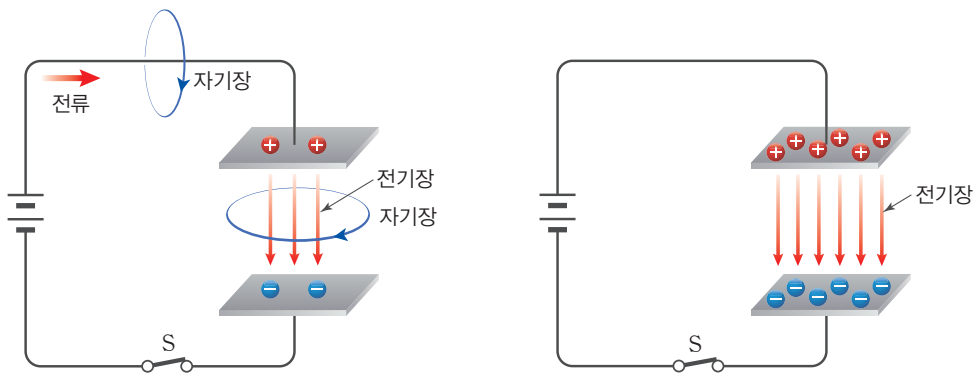
전기장과 자기장이 진동하면서 진행되는 파동인 전자기파는 어떻게 발생하는지 알아보자.

그림 III-23은 축전기에 직류 전원을 연결한 후 스위치를 닫았을 때 회로에 전류가 흐르는 모습을 나타낸 것이다. 도선으로 연결되지 않은 부분인 축전기의 극판 사이에서는 어떤 현상이 일어날까? 그림 (가)와 같이 축전기가 충전되는 동안 도선에는 전류가 흘러 주위에 자기장이 생기고, 축전기의 극판 사이에는 전기장이 변하여 자기장이 생긴다. 그러나 그림 (나)와 같이 축전기가 완전히 충전되면 도선에는 전류가 흐르지 않아 자기장이 생기지 않고, 축전기의 극판 사이에는 전기장이 일정하여 자기장이 생기지 않는다.

즉, 전기장이 일정할 때는 주위에 자기장이 생기지 않지만, 전기장이 변할 때는 주위에 자기장이 생긴다.

전기력과 전기장

전하량이 q 인 전하는 전기장 E 에 있을 때 전기력 $F = qE$ 를 받는다.

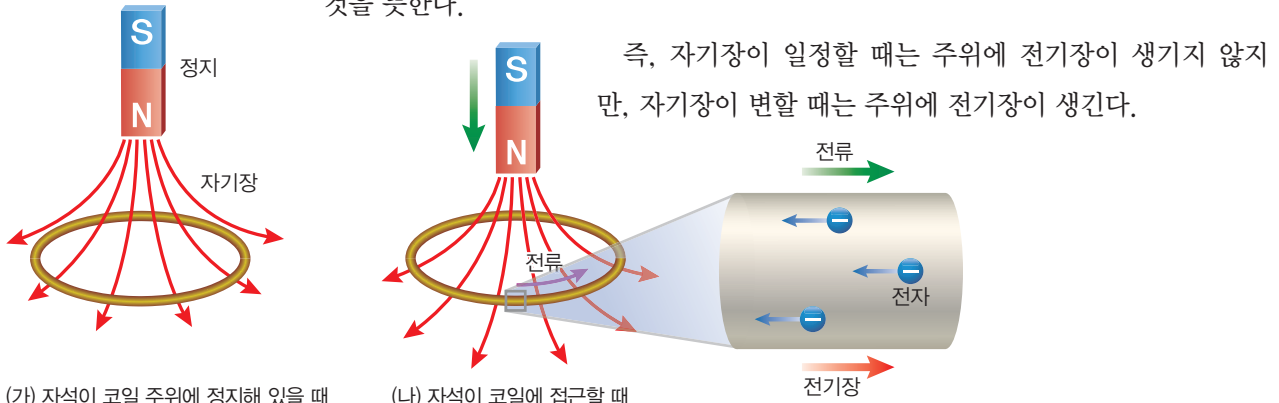


(가) 축전기가 충전될 때

(나) 축전기가 완전히 충전됨.

그림 III-23 전기장에 의한 자기장 발생

그렇다면 자기장에 의해서도 전기장이 생길 수 있는지 알아보자. 그림 III-24의 (가)와 같이 자석이 코일 주위에 정지해 있을 때는 유도 전류가 흐르지 않지만, 그림 (나)와 같이 자석이 코일에 접근할 때는 유도 전류가 흐른다. 도선 속 전자가 전기력을 받아 이동할 때 전류가 흐르므로, 유도 전류가 흐른다는 것은 전기장이 생겼다는 것을 뜻한다.



(가) 자석이 코일 주위에 정지해 있을 때
그림 III-24 전자기 유도

(나) 자석이 코일에 접근할 때

즉, 자기장이 일정할 때는 주위에 전기장이 생기지 않지만, 자기장이 변할 때는 주위에 전기장이 생긴다.

헤르츠의 실험으로 전자기파의 발생과 수신을 확인해 보자.

헤르츠의 전자기파 실험



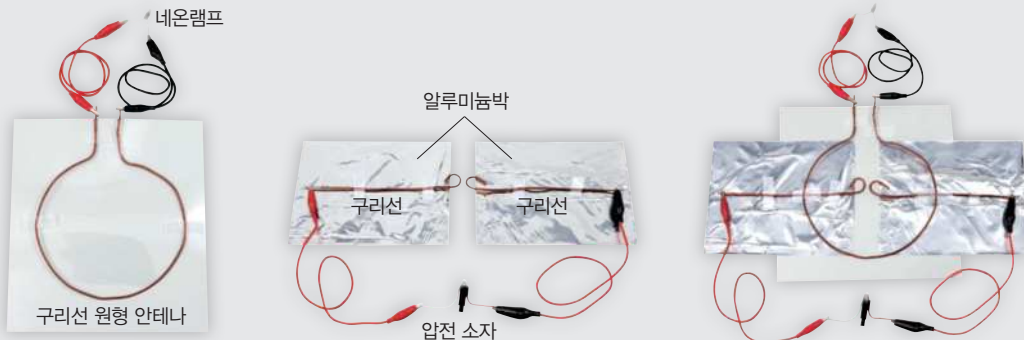
사고력 탐구 능력

목표 전자기파가 발생하고 수신되는 과정을 관찰할 수 있다.

준비물 굵은 구리선, 압전 소자, 네온램프, 알루미늄박, OHP 필름, 종이 판지, 접착테이프

과정

- 1 굵은 구리선으로 지름 20 cm 정도의 원형 안테나를 만들고 네온램프를 연결한다.
- 2 원형 안테나를 OHP 필름 위에 접착테이프로 붙인다.
- 3 한 변이 15 cm인 정사각형 모양의 알루미늄박 두 장을 종이 판지 위에 3 cm 간격을 두고 붙인다.
- 4 알루미늄박 위에 각각 구리선을 붙이고, 그 간격이 3 mm가 되도록 접착테이프로 고정한다.
- 5 알루미늄박 양쪽에 압전 소자를 연결한다.
- 6 원형 안테나를 알루미늄박 위로 가까이 가져간다.



- 결과 및 정리
1. 압전 소자를 누를 때 구리선 사이에서 어떤 현상이 나타나는가?
 2. 압전 소자를 누를 때 네온램프에 빛이 나는 까닭은 무엇인가?

| 전자기파의 발생 |

그림 III-25와 같이 회로에 교류가 흐르면 진동하는 전기장은 진동하는 자기장을 유도하고, 진동하는 자기장은 다시 진동하는 전기장을 유도한다. 이렇게 전기장과 자기장이 서로를 유도하면서 공간을 퍼져 나가는 전자기파가 만들어지며, 이때 전자기파의 진동수는 교류의 진동수와 같다.

| 전자기파의 수신 |

전자기파를 수신할 수 있는 원리는 무엇일까? 그림 III-26과 같이 직선으로 만들어진 금속 안테나에 전자기파가 도달하면 안테나에 있는 자유 전자가 전자기파의 전기장에 의해 전기력을 받는다. 그런데 전자기파의 전기장이 진동하므로 전자도 전자기파와 동일한 진동수로 진동하게 되며, 안테나에는 교류 전류가 흐르게 된다.

물음 전자기파는 횡파인가, 종파인가?

📖 안테나
전자파를 송신하거나 수신하기 위해 사용하는 장치로, 회로의 전기 에너지를 전자기파로 변환하거나 전자기파를 회로의 전기 에너지로 변환한다.

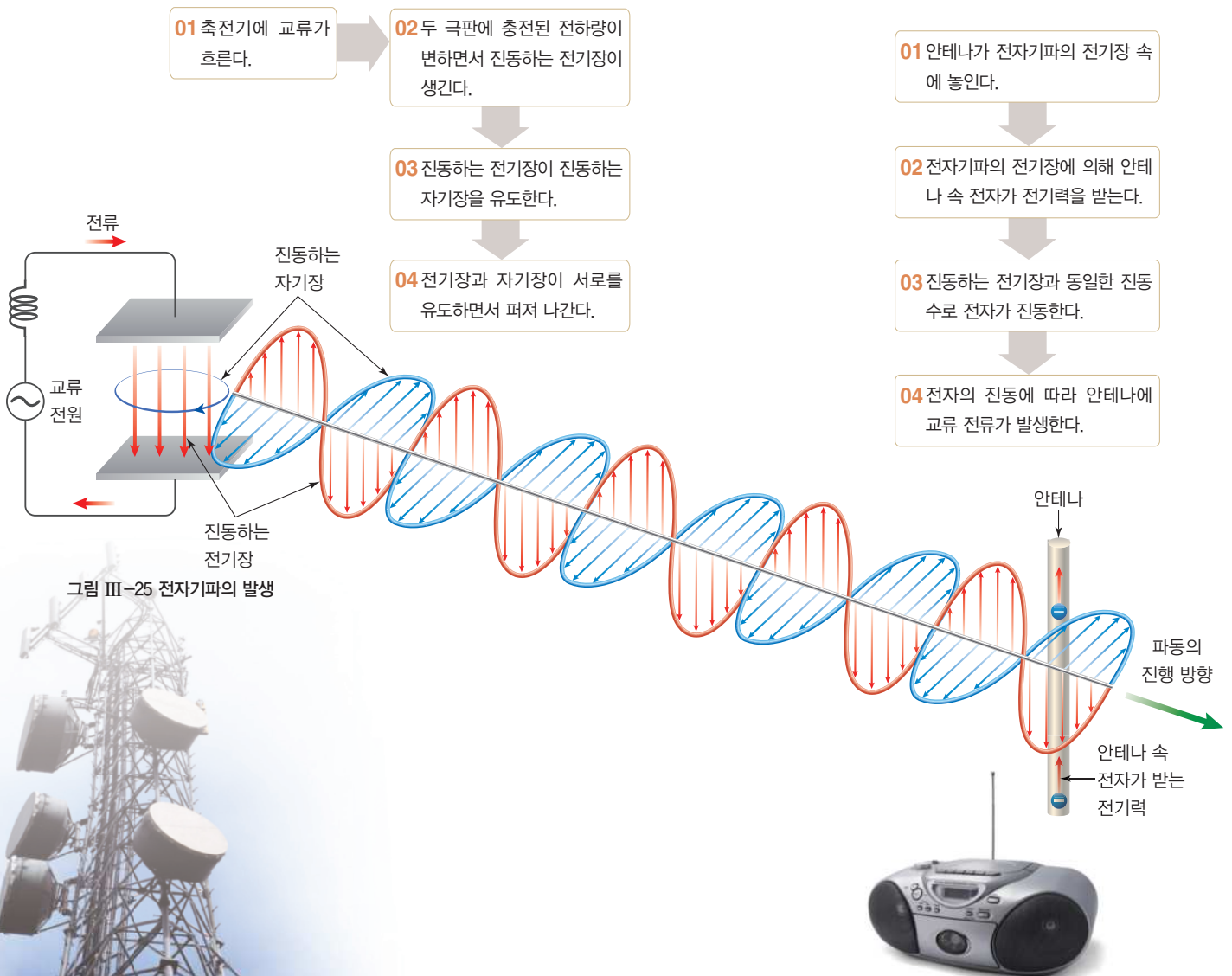
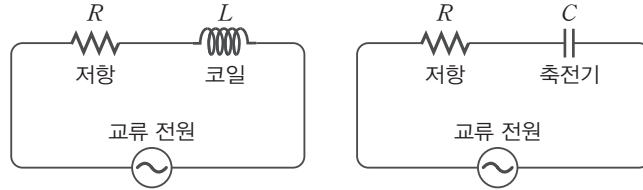


그림 III-25 전자기파의 발생

그림 III-26 안테나에서 전자기파의 수신

개념 넓히기 교류 회로와 방송 통신

건전지와 같은 직류 전원이 연결된 직류 회로에서는 저항을 이용하여 회로에 흐르는 전류의 세기를 조절할 수 있다. 그러나 그림 III-27의 교류 회로에서는 저항 이외에도 코일과 축전기가 전류의 세기에 영향을 준다. 저항은 교류의 진동수에 관계없이 전류의 세기를 약하게 하지만, 코일과 축전기는 교류의 진동수에 따라 전류의 세기를 약하게 하는 정도가 달라진다.



(가) 저항-코일 회로(RL 회로) (나) 저항-축전기 회로(RC 회로)
그림 III-27 교류 회로

자체 인덕턴스
코일에 전류가 흐를 때 유도 기전력이 발생하는 정도를 나타내는 물리량이다.

그림 III-28의 (가)와 같이 코일에 교류가 흐르면 코일 내부의 자기장 변화를 방해하는 방향으로 유도 기전력이 생겨서 전류의 흐름을 방해한다. 이때 교류의 진동수가 클수록, 코일의 자체 인덕턴스가 클수록 큰 유도 기전력이 발생하여 전류의 흐름을 크게 방해한다.

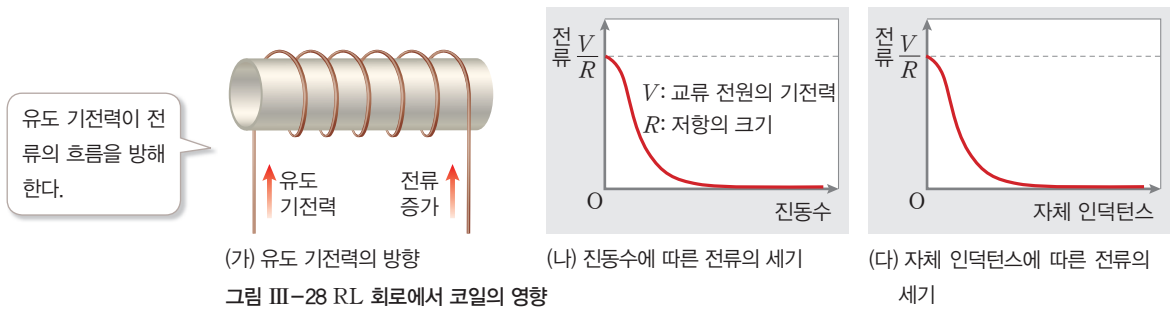


그림 III-28 RL 회로에서 코일의 영향

그림 III-29의 (가)와 같이 축전기에 교류가 흐르면 금속판의 전하가 전류의 흐름을 방해한다. 이때 교류의 진동수가 작을수록, 축전기의 전기 용량이 작을수록 전류가 잘 흐르지 못한다.

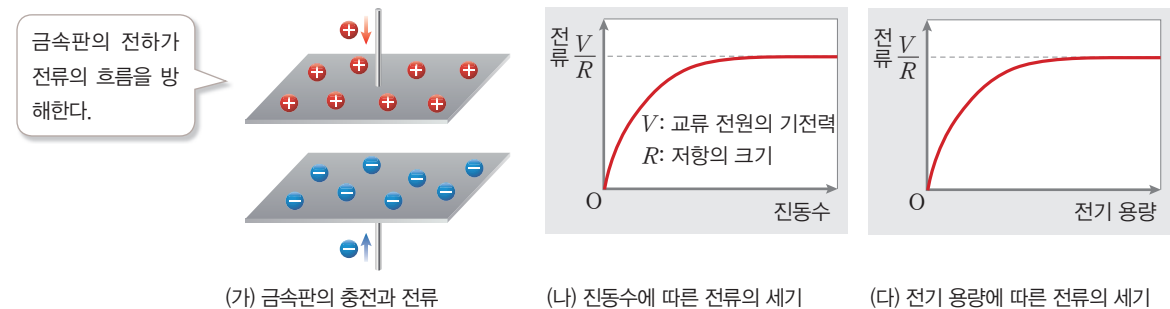
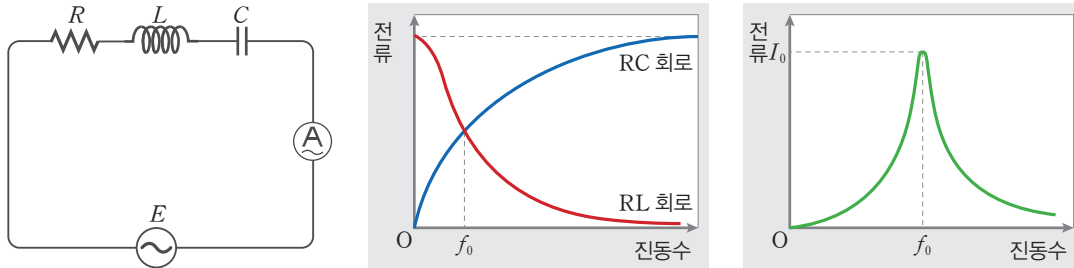


그림 III-29 RC 회로에서 축전기의 영향

이제 그림 III-30의 (가)와 같이 교류 전원 장치에 저항, 코일, 축전기가 모두 연결된 회로를 생각해 보자. 그림 (나)와 같이 회로의 축전기는 진동수가 작을수록, 코일은 진동수가 클수록 전류를 잘 흐르지 못하게 하므로 진동수가 적당한 값을 가질 때 회로에 흐르는 전류의 세기가 최대가 된다. 그림 (다)는 (가)의 회로에 흐르는 전류의 세기를 교류의 진동수에 따라 나타낸 것으로, (나)의 그래프의 교점에 해당하는 진동수 f_0 에서 전류의 세기가 최대가 된다. 그리고 전류의 세기가 최대가 될 때의 진동수인 f_0 을 회로의 공명 진동수라고 한다.



(가) 저항-코일-축전기 회로

(나) 진동수에 따른 전류의 세기

(다) 공명 진동수

그림 III-30 저항, 코일, 축전기가 연결된 교류 회로

또 코일과 축전기는 자체 인덕턴스와 전기 용량에 따라 교류의 세기를 방해하는 정도가 달라지므로, 자체 인덕턴스와 전기 용량이 변하면 회로의 공명 진동수도 변하게 된다. 자체 인덕턴스나 전기 용량이 증가하면 공명 진동수는 감소하고, 반대로 자체 인덕턴스나 전기 용량이 감소하면 공명 진동수는 증가한다.

라디오 방송국은 매우 많으며 각 방송국에서는 서로 다른 진동수의 전파를 이용해 방송을 내보낸다. 안테나는 모든 진동수의 전파를 수신하므로 여러 진동수의 교류를 동시에 발생시키는 전원 장치의 역할을 한다.

하지만 그림 III-31과 같이 라디오 회로에 있는 축전기와 코일에 의해 결정된 공명 진동수와 동일한 진동수를 갖는 전파만이 회로에 큰 전류를 흐르게 하므로, 청취자가 하나의 방송국만을 선택해서 청취하는 것이 가능하다. 청취하고자 하는 방송을 바꿀 때는 코일의 자체 인덕턴스나 축전기의 전기 용량을 변화시켜서 회로의 공명 진동수를 바꾼다.

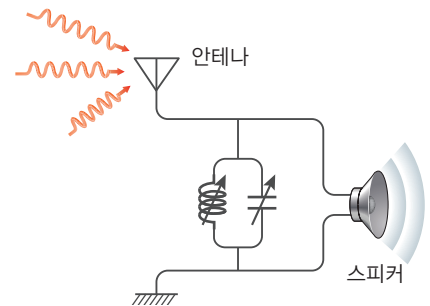


그림 III-31 전파 수신 회로

평가하기

개념 이해

1 교류 회로의 공명 진동수는 무엇에 의해서 결정되는가?

2 안테나는 전파 수신 회로에서 어떤 역할을 하는가?

창의·융합

3 전자기파를 이용하는 정보 통신 기기에 대해 조사해 보자.

04 볼록 렌즈에 의한 상

- 볼록 렌즈에 의해 상이 만들어지는 과정을 설명할 수 있다.
- 볼록 렌즈의 초점과 상의 관계를 정량적으로 구할 수 있다.



들어가기 | 수조의 일부가 볼록한 까닭은?

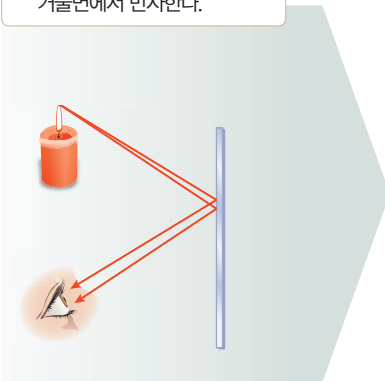
수족관에 가면 수조 속에 들어 있는 다양한 종류의 수중 생물을 볼 수 있다. 그런데 어떤 수조는 그림과 같이 일부분이 동그랗게 튀어나와 있다. 수조를 이렇게 만든 까닭은 무엇일까?

알아보기 | 볼록 렌즈가 만드는 상

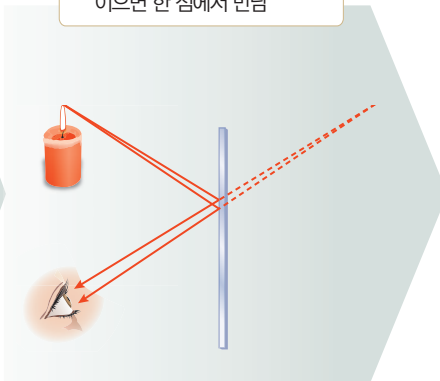
| 상 |

상이란 물체에서 나온 빛이 거울, 렌즈 등과 같은 광학 기기에서 반사 또는 굴절되어 사람의 눈에 들어왔을 때 보이는 물체의 모습이다. 예를 들어, 평면거울로 보는 물체의 모습은 빛이 거울면에서 반사하여 만들어진 상이다. 이때 상의 위치는 그림 III-32와 같이 물체에서 나오는 무수히 많은 광선 중에서 거울면에서 반사하는 광선 2개를 그려서 알 수 있다.

01 물체의 한 점에서 나온 빛이 거울면에서 반사한다.



02 눈에 들어온 광선의 연장선을 이으면 한 점에서 만남



03 연장선이 만나는 곳에 거울에 의한 상이 생긴다.

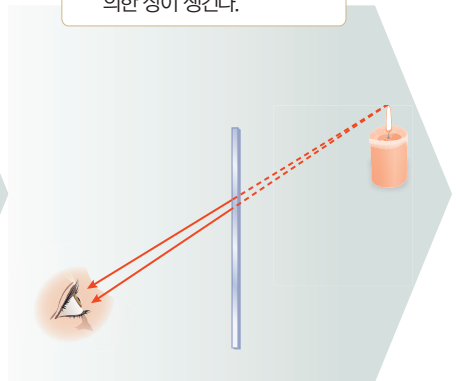
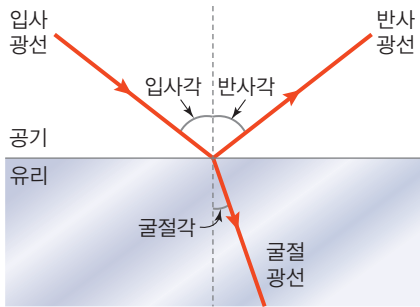


그림 III-32 평면거울에서 상이 맺히는 원리

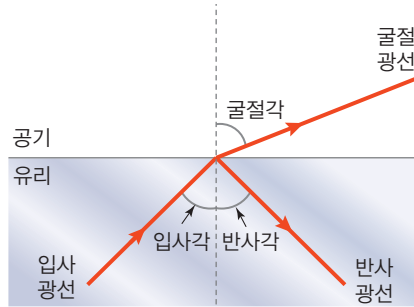
| 빛의 반사와 굴절 |

빛과 같은 파동은 진행하는 매질이 바뀔 때 반사와 굴절을 한다. 파동이 반사할 때 입사각과 반사각은 항상 동일하며, 이를 반사 법칙이라고 한다. 파동이 굴절할 때는 매질에서의 파동의 속력에 의해 굴절하는 정도가 결정된다.

그림 III-33과 같이 속력이 빠른 매질에서 느린 매질로 진행할 때는 입사각이 굴절각보다 크고, 반대로 진행할 때는 굴절각이 입사각보다 크다.



(가) 속력이 빠른 매질에서 느린 매질로 진행할 때
그림 III-33 빛의 반사와 굴절



(나) 속력이 느린 매질에서 빠른 매질로 진행할 때

그림 III-34는 빛이 공기 중에 놓여 있는 프리즘을 통과할 때의 진행 경로를 나타낸 것이다. 빛의 속력은 공기에서가 프리즘에서보다 빠르기 때문에 빛이 프리즘으로 들어갈 때는 입사각이 굴절각보다 크고, 프리즘에서 나올 때는 입사각이 굴절각보다 작다.

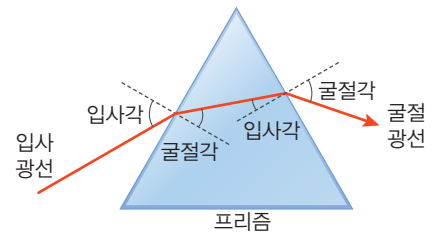


그림 III-34 프리즘에서 빛의 굴절

| 볼록 렌즈의 초점 |

빛은 프리즘에서와 마찬가지로 렌즈를 지나면서 렌즈에 들어갈 때와 나올 때 모두 굴절을 한다. 이때 렌즈가 공기 중에 있다면 빛의 속력은 공기에서가 렌즈에서보다 빠르기 때문에 빛이 렌즈로 들어갈 때는 입사각이 굴절각보다 크고, 렌즈에서 나올 때는 굴절각이 입사각보다 크다. 이에 따라 그림 III-35와 같이 볼록 렌즈의 광축에 나란하게 입사한 빛은 렌즈에서 나온 후 한 점에서 모이는데, 이 점을 볼록 렌즈의 초점이라고 한다.

그림 III-36과 같이 초점은 렌즈의 양쪽에 모두 있으며, 렌즈에서 두 초점까지의 거리는 서로 같다. 또한 초점 거리는 렌즈의 굴절률이 클수록, 렌즈의 표면이 많이 굽어 있을수록 짧다.

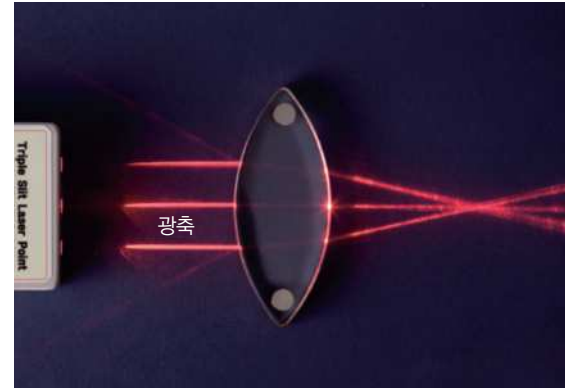
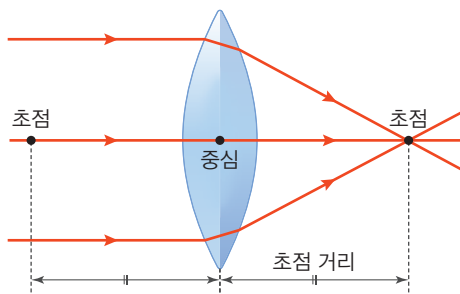
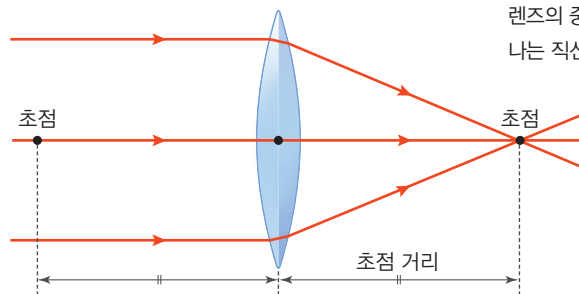


그림 III-35 볼록 렌즈의 초점



(가) 표면이 많이 굽었을 때
그림 III-36 볼록 렌즈의 초점 거리



(나) 표면이 약간 굽었을 때



광축

렌즈의 중심과 곡면의 중심을 지나는 직선이다.

| 볼록 렌즈에 의한 상 |

볼록 렌즈 앞에 물체를 놓으면 물체에서 나온 빛은 렌즈에서 굴절하여 상을 만든다. 물체에서는 무수히 많은 광선이 나오며 이 중 볼록 렌즈를 통과하는 광선 3개를 다음과 같이 간단하게 그릴 수 있다. 이때 상의 위치는 3개의 광선 중 최소 2개의 교점을 찾아서 구한다.

📖 볼록 렌즈의 상을 작도할 때의 가정

- ① 렌즈의 두께가 매우 얇은 볼록 렌즈만을 다룬다.
- ② 빛의 경로를 그릴 때 렌즈의 내부에서 한 번만 굴절하는 것으로 그린다.

볼록 렌즈에 의한 상의 작도 방법

1. 광축에 평행하게 입사한 광선은 렌즈에서 굴절하여 초점을 지난다.
2. 렌즈의 중심을 향해 입사한 광선은 렌즈를 지날 때 그대로 직진한다.
3. 초점을 지나서 입사한 광선은 렌즈에서 굴절하여 광축에 평행하게 진행한다.

물체가 초점보다 멀리 있을 때는 그림 III-37과 같이 렌즈를 통과한 빛이 한 점에 서 만나는 실상이 만들어진다. 그리고 상은 물체와 반대 방향으로 서 있다.

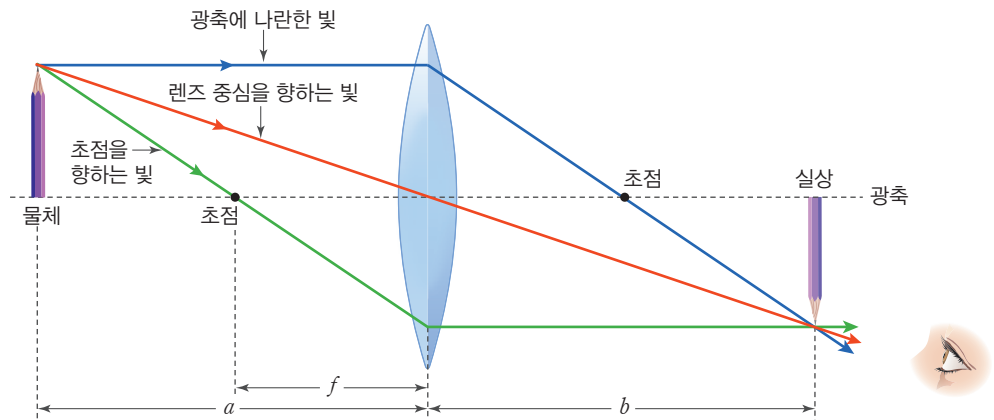


그림 III-37 물체가 초점보다 멀리 있을 때

📖 실상과 허상

- 실상: 빛이 실제로 모여서 만들어진 상
- 허상: 빛이 한 점에서 나온 것처럼 보이는 상

물체가 초점보다 가까이 있을 때는 그림 III-38과 같이 렌즈를 통과한 빛이 모이지 않는다. 다만 눈으로 보았을 때 광선의 연장선의 교점에 허상이 있는 것으로 보인다. 그리고 상은 물체와 같은 방향으로 서 있다.

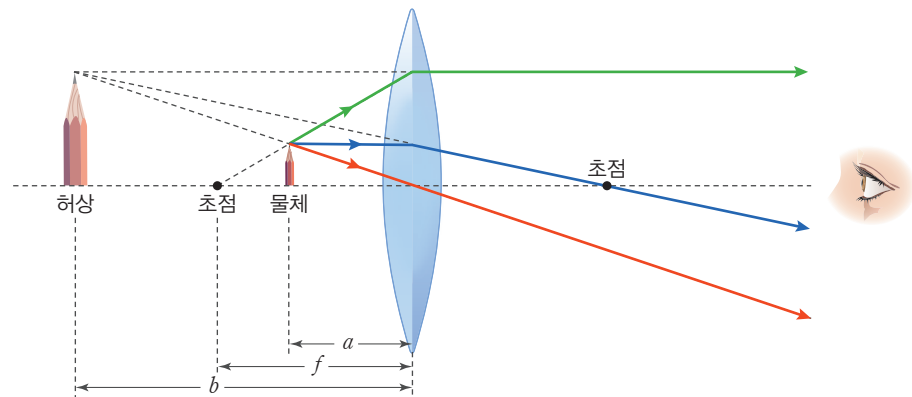


그림 III-38 물체가 초점보다 가까이 있을 때

💡 물음 물체가 볼록 렌즈의 초점에 있을 때의 상은?

물체에서 렌즈까지의 거리를 a , 렌즈에서 상까지의 거리를 b , 렌즈의 초점 거리를 f 라고 할 때 다음의 관계가 성립한다.

$$\frac{1}{a} + \frac{1}{b} = \frac{1}{f}$$

b 는 실상의 경우 (+)값을, 허상의 경우 (-)값을 가진다.



볼록 렌즈의 초점 거리 구하기

사고력 | 탐구 능력

목표 볼록 렌즈가 만드는 상을 관찰하고 초점 거리를 구할 수 있다.

준비물 볼록 렌즈, 형광등, 스크린, 자, LED, 건전지, 집게 달린 전선, 건전지, 스탠드

과정

- ① 그림 (가)와 같이 형광등 아래의 바닥에 스크린을 놓는다.
- ② 볼록 렌즈로 스크린에 형광등의 상을 최대한 또렷하게 만든 후 렌즈와 스크린 사이의 거리를 측정한다.
- ③ 그림 (나)과 같이 LED, 볼록 렌즈, 스크린을 놓고 스크린에 또렷한 상을 만든다.
- ④ LED와 볼록 렌즈 사이의 거리(a)를 30 cm~60 cm에서 바꿔 가며 스크린에 또렷한 상이 만들어지도록 스크린을 움직인 후 렌즈와 스크린 사이의 거리(b)를 측정한다.
- ⑤ 과정 ④의 측정 결과를 이용해서 렌즈의 초점 거리(f)를 구한다.

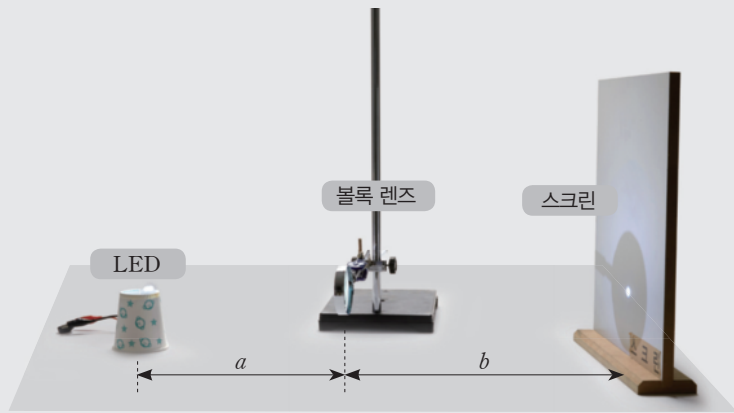
a	b	$f = \frac{ab}{a+b}$
30 cm		
40 cm		
50 cm		
60 cm		

주의 사항

- 형광등과 렌즈 사이의 거리는 최대한 멀게 한다.
- 렌즈와 LED 사이의 거리는 렌즈의 초점 거리보다 크게 한다.



(가)



(나)

결과 및 정리

1. 과정 ②에서 측정한 거리는 무엇에 해당하는가?
2. 과정 ②에서 측정한 거리와 과정 ⑤에서 구한 초점 거리를 비교해 보자.

개념 넓히기 상의 종류와 배율

상은 물체보다 클 때도 있고 작을 때도 있다. 이때 물체와 상의 크기 비율을 배율이라고 한다. 그림 III-39와 같이 볼록 렌즈에 의해 실상과 허상이 만들어질 때 물체의 크기와 상의 크기의 비인 $\frac{l'}{l}$ 은 물체와 상까지의 거리의 비인 $\frac{b}{a}$ 와 같다.

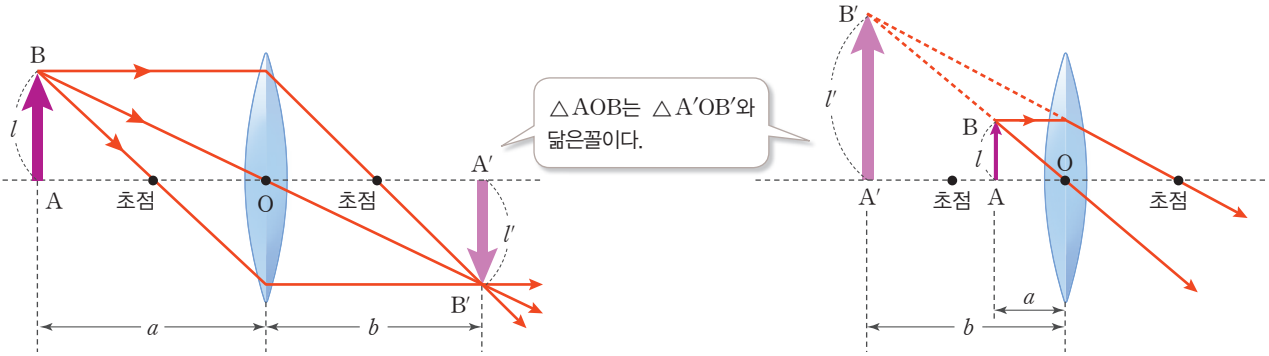


그림 III-39 볼록 렌즈에 의한 상의 종류

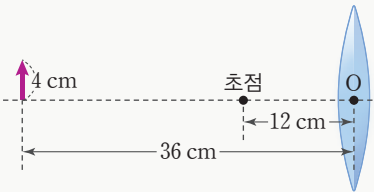
따라서 볼록 렌즈의 배율은 다음과 같다.

$$\text{볼록 렌즈의 배율} = \left| \frac{b}{a} \right|$$

볼록 렌즈에 의한 실상은 물체보다 큰 상, 작은 상, 같은 크기의 상이 모두 만들어질 수 있지만, 허상은 항상 물체보다 크게 만들어진다. 수조의 동그란 부분은 볼록 렌즈의 역할을 하여 사람들이 수중 생물을 직접 볼 때보다 크게 관찰할 수 있도록 돕는다.

예제

초점 거리가 12 cm인 볼록 렌즈에서 왼쪽으로 36 cm 떨어진 지점에 크기가 4 cm인 물체가 놓여 있다. 볼록 렌즈에 의해 생기는 상의 종류, 상의 위치, 상의 크기를 구하시오.



풀이 ∵ $\frac{1}{a} + \frac{1}{b} = \frac{1}{f}$ 에서 $a = 36$ cm, $f = 12$ cm이므로 $b = 18$ cm이다.

$b > 0$ 이므로 실상이고, 실상은 물체의 반대쪽에 만들어지므로 렌즈의 오른쪽 18 cm

지점에 있다. 배율은 $\left| \frac{b}{a} \right| = \frac{1}{2}$ 이므로 상의 크기는 2 cm이다.

답 실상, 렌즈의 오른쪽 18 cm 지점, 2 cm

b 는 실상이면 (+)값을, 허상이면 (-)값을 가진다.



평가하기

개념 이해

1 볼록 렌즈는 빛의 어떤 현상을 이용한 광학 기기인가?

2 볼록 렌즈는 어떤 때 실상을 만드는가?

창의·융합

3 볼록 렌즈가 실상을 만들 때 렌즈의 절반을 가리면 상에는 어떤 변화가 나타나는가?

05 이중 슬릿의 간섭 실험

- 이중 슬릿의 간섭 실험을 이해할 수 있다.
- 이중 슬릿의 간섭 실험으로 빛의 파장을 구할 수 있다.

들어가기 | 틈의 수와 무늬의 수가 서로 다른 까닭은?

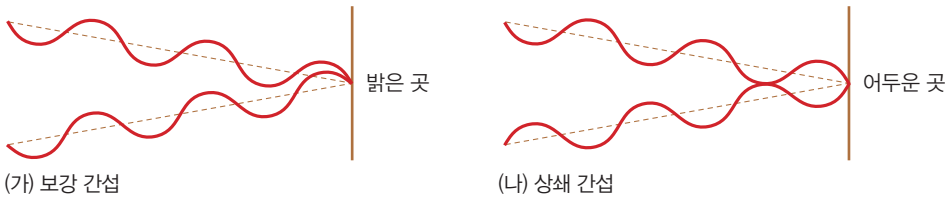
그림은 2개의 작은 틈이 조금 떨어져 있는 이중 슬릿과 이중 슬릿을 통과한 레이저 빛이 만들어 낸 무늬를 나타낸 것이다. 틈은 2개인데 무늬는 여러 개가 나타난 까닭은 무엇일까?



알아보기 | 이중 슬릿에 의한 빛의 간섭

빛은 파동의 성질을 지니고 있기 때문에 두 빛이 중첩되면 물결파의 간섭에서와 마찬가지로 간섭 현상이 나타나며, 그림 III-40과 같이 보강 간섭 지점은 밝아지고 상쇄 간섭 지점은 어두워진다.

연계 학습
물결파의 간섭 ▶ 150쪽 참조



(가) 보강 간섭
그림 III-40 빛의 간섭

그림 III-41은 이중 슬릿에 동일한 위상으로 입사한 빛이 회절하여 진행하는 모습을 파면으로 나타낸 것이다. 이때 각 슬릿은 크기가 매우 작기 때문에 두 슬릿을 점광원으로 다룰 수 있다. 두 점광원에서 나온 파동이 간섭하는 것처럼 두 슬릿에서 나온 빛은 간섭하여 스크린에 무늬를 만든다.

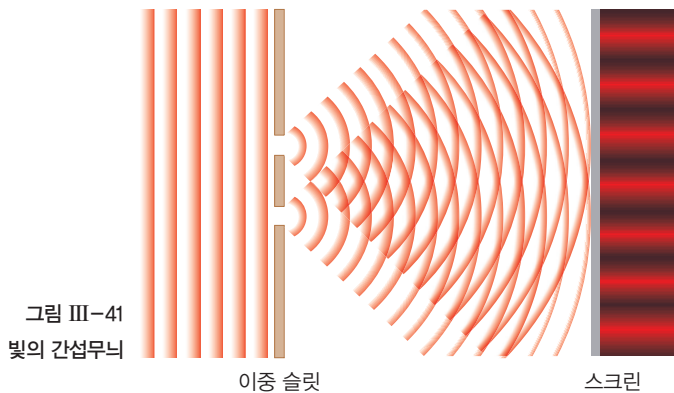
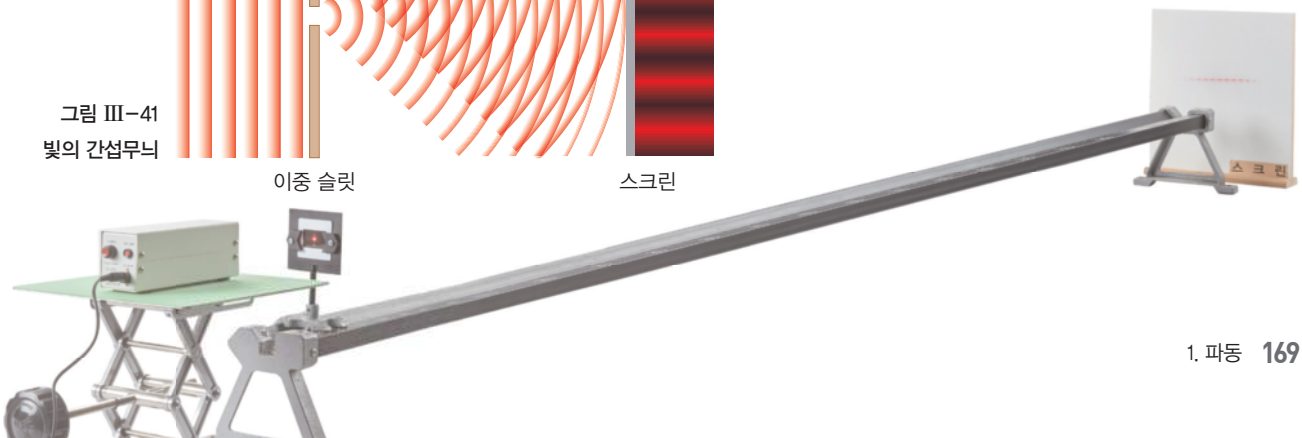


그림 III-41
빛의 간섭무늬



이중 슬릿 간섭의 가정
 d 에 비해 L 이 매우 크므로(d 는 보통 수 μm , L 은 보통 수 m 이다.) S_1P 와 S_2P 는 평행으로 간주한다.

이제 스크린의 어떤 지점에서 보강 간섭, 상쇄 간섭이 나타나는지 알아보자. 그림 III-42와 같이 파장이 λ 인 빛이 간격이 d 인 두 슬릿 S_1, S_2 에 입사하여 스크린의 중심 O 에서 거리 x 만큼 떨어진 점 P 에서 만날 때 슬릿과 스크린 사이의 거리 L 이 d 보다 매우 크면 두 빛은 평행한 광으로 근사할 수 있고 경로차는 다음과 같다.

$$\text{경로차: } |\overline{S_1P} - \overline{S_2P}| = d \sin\theta \approx d \tan\theta = d \frac{x}{L}$$

$\sin\theta$ 값의 근사
 θ 가 거의 0° 인 경우
 $\sin\theta \approx \tan\theta$ 이다.

θ	$\sin\theta$	$\tan\theta$
0°	0	0
5°	0,09	0,09
10°	0,17	0,18
15°	0,26	0,27

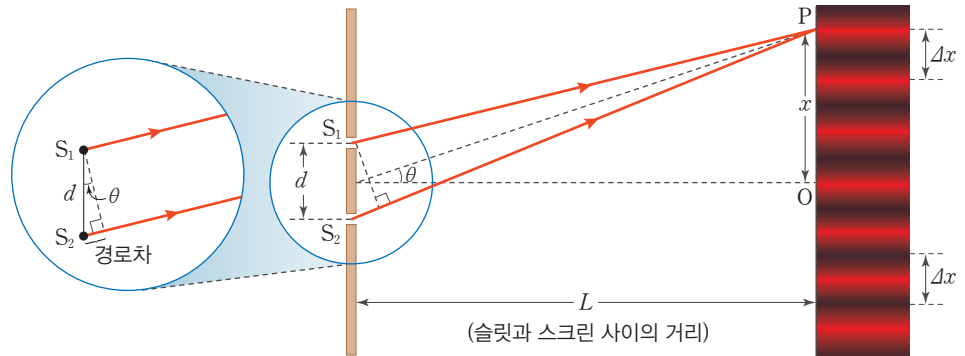


그림 III-42 빛의 간섭에서 경로차

두 슬릿에서 동일한 위상으로 빛이 나올 때 P 에서 보강 간섭 또는 상쇄 간섭 현상이 나타나기 위한 조건은 다음과 같다.

$$\text{보강 간섭: } d \frac{x}{L} = m\lambda \quad (m = 0, 1, 2, \dots)$$

$$\text{상쇄 간섭: } d \frac{x}{L} = \left(m + \frac{1}{2}\right)\lambda \quad (m = 0, 1, 2, \dots)$$

이웃한 간섭무늬 간격

• 보강 간섭 할 때

$$x_{m+1} = (m+1) \frac{L\lambda}{d}$$

$$x_m = m \frac{L\lambda}{d}$$

• 상쇄 간섭 할 때

$$x_{m+1} = \left(m + \frac{3}{2}\right) \frac{L\lambda}{d}$$

$$x_m = \left(m + \frac{1}{2}\right) \frac{L\lambda}{d}$$

이중 슬릿의 간섭무늬에서 이웃한 보강 간섭 지점 사이의 간격 또는 이웃한 상쇄 간섭 지점 사이의 간격 $\Delta x = x_{m+1} - x_m$ 은 다음과 같다.

$$\Delta x = \frac{L\lambda}{d}$$

따라서 이중 슬릿을 지난 빛이 스크린에 만드는 이웃한 밝은 무늬 사이의 간격과 이웃한 어두운 무늬 사이의 간격은 모두 슬릿에서 스크린까지의 거리가 멀수록, 빛의 파장이 길수록, 두 슬릿 사이의 간격이 좁을수록 커진다.

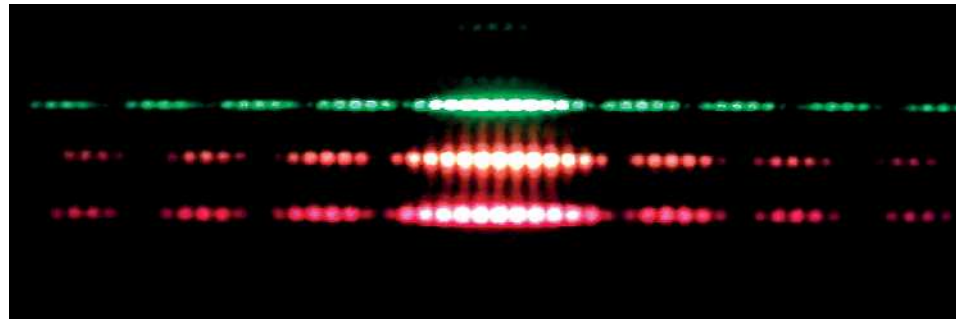


그림 III-43 빛의 파장에 따른 이중 슬릿의 간섭무늬

파장이 600 nm인 레이저 빛을 슬릿 간격이 120 μm인 이중 슬릿에 비춘 후 이로부터 2 m 떨어진 스크린에 간섭무늬가 만들어지게 하였다.

- (1) 어두운 무늬 사이의 간격은 얼마인가?
- (2) 스크린 중앙의 밝은 무늬로부터 3번째 밝은 무늬까지의 거리는 얼마인가?

풀이 (1) 간섭무늬 간격 $\Delta x = \frac{L\lambda}{d}$ 이므로 어두운 무늬 사이의 간격은

$$\Delta x = \frac{2 \text{ m} \times 600 \times 10^{-9} \text{ m}}{120 \times 10^{-6} \text{ m}} = 10 \text{ mm이다.}$$

- (2) 밝은 무늬 사이의 간격도 10 mm이므로 무늬 중앙에서 3번째 밝은 무늬까지의 거리는 30 mm이다.

답 (1) 10 mm (2) 30 mm

길이의 단위 변환

$$1 \text{ nm} = 10^{-9} \text{ m}$$

$$1 \mu\text{m} = 10^{-6} \text{ m}$$

밝은 무늬 사이의 간격과 어두운 무늬 사이의 간격은 같아.



다음 탐구에서 이중 슬릿 간섭무늬를 이용하여 빛의 파장을 구해 보자.

미니 탐구

빛의 간섭을 이용하여 빛의 파장 구하기

- 1 그림과 같이 광학 지지대에 레이저 광원을 고정하고 간격을 알고 있는 이중 슬릿을 레이저 광원으로부터 약 10 cm 떨어진 지점에 고정한다.
- 2 흰 종이를 붙인 스크린을 슬릿으로부터 0.5 m 떨어진 지점에 장치한 후 스크린에 생긴 어두운 무늬의 위치를 연필로 표시한다.
- 3 레이저 광원을 끈 후 자를 이용하여 무늬 사이의 간격 Δx 를 측정한다.
- 4 스크린을 슬릿으로부터 1 m, 1.5 m 떨어진 지점에 장치한 후 과정 2, 3을 반복한다.

목표

이중 슬릿 간섭무늬를 관찰하고 빛의 파장을 구할 수 있다.

준비물

레이저 광원, 광학 지지대, 이중 슬릿, 스크린, 흰 종이, 자, 연필

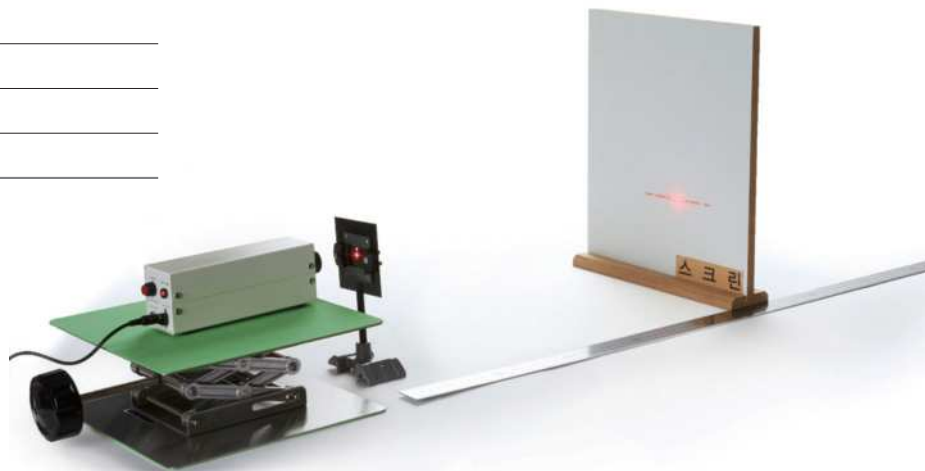
주의 사항

레이저 빛이 눈에 들어가지 않도록 주의한다.

슬릿 간격 d : () mm

횟수	L (mm)	Δx (mm)	$\lambda = \frac{d\Delta x}{L}$ (nm)
1	500		
2	1000		
3	1500		
평균값			

- ❓ 스크린의 위치에 따라 간섭무늬의 간격은 어떻게 변하는가?
- ❓ 레이저 광원의 파장을 조사해 보고, 실험으로 구한 값과 비교해 보자.



개념 넓히기 영의 실험



영(Young, T., 1773~1829) 영국의 물리학자이자 생리학자, 언어학자, 의사이다.

영국의 과학자 영은 최초로 이중 슬릿의 간섭 실험을 수행하였으며, 이와 동시에 단일 슬릿의 회절 실험도 수행하였다. 영의 간섭 실험과 회절 실험은 어떤 의미를 갖는 것일까?

중력 법칙, 운동 법칙 등을 발견한 뉴턴은 빛에 대해서도 많은 연구를 했으며, 공기 입자의 흐름인 바람과 같이 빛도 작은 입자의 흐름일 것이라고 추측하였다. 이후 약 100년 동안 대다수의 과학자들은 빛이 입자의 성질을 지니고 있다고 생각하였다. 하지만 빛이 입자가 아니라 소리와 같은 파동의 성질을 지니고 있다고 생각하는 과학자들도 있었으며, 이들은 빛의 파동성을 증명하려고 많은 노력을 하였다.

마침내 19세기 초에 영이 빛의 이중 슬릿 실험과 단일 슬릿 실험을 통해서 빛의 간섭무늬와 회절 무늬를 관찰하였다. 반사나 굴절과는 달리 간섭과 회절은 입자의 흐름으로는 설명할 수 없고 파동으로만 설명할 수 있는 현상이기 때문에 이 실험들은 빛의 파동성을 지지하는 강력한 증거가 되었다.

물음 영이 실제로 수행한 이중 슬릿 실험에서 단일 슬릿이 있는 까닭은 무엇일까?

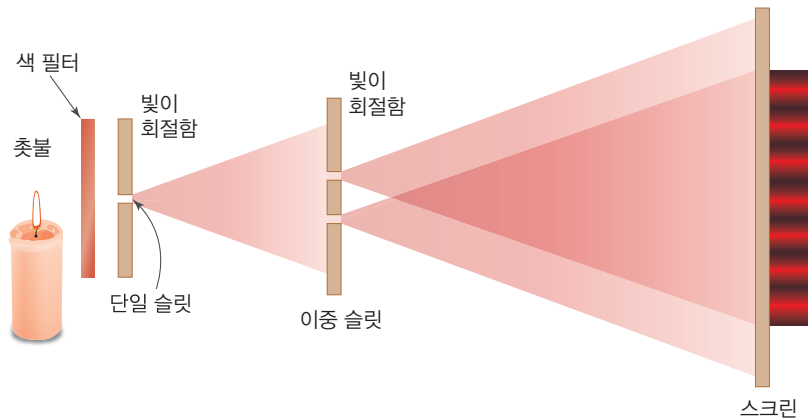


그림 III-44 영이 실제로 수행한 실험

영의 실험 이후 약 100년 동안 과학자들은 빛이 파동의 성질을 지니고 있다고 생각하였다. 하지만 빛의 파동성으로는 설명할 수 없는 현상이 나타나면서 빛의 성질에 대한 논란이 다시 발생하게 되었다.

평가하기

개념 이해

1 이중 슬릿 실험에서 두 슬릿은 어떤 역할을 하는가?

창의·융합

2 이중 슬릿 실험에서 무늬 간격을 넓히기 위해서는 어떻게 해야 하는가?

3 이중 슬릿 실험에서 파장에 관계없이 모든 빛이 보강 간섭 되는 지점은 어디일까?

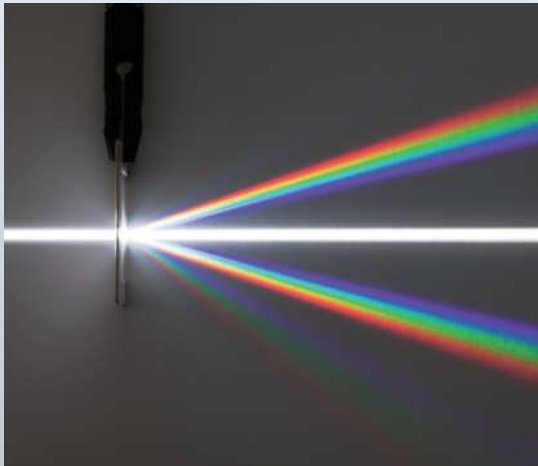
간섭의 활용

우리 주위에서 이중 슬릿 자체가 이용되는 예는 많지 않지만 이중 슬릿과 비슷한 구조를 가진 회절격자는 많이 이용된다. 그림과 같이 이중 슬릿과 동일한 슬릿 간격을 갖는 7중 슬릿에 빛을 통과시키면 보강 간섭과 상쇄 간섭은 동일한 위치에서 나타나지만 밝은 무늬의 폭이 좁아지는 효과가 나타난다. 밝은 무늬의 폭을 더 가느다랗게 하기 위해서는 매우 많은 슬릿이 필요하며, 1 mm에 수백 개의 슬릿이 있는 회절격자를 이용하면 이것이 가능해진다.



▲ 이중 슬릿과 7중 슬릿

회절격자에 입사한 백색광은 빛의 파장, 즉 빛의 색깔에 따라 서로 다른 위치에서 보강 간섭 된다. 이렇게 회절격자는 파장이 서로 다른 빛을 분리하는 성질을 지니고 있기 때문에 분광기에 이용된다. 또한 레이저 빛을 회절격자에 통과시키면 무늬의 폭이 가느다란 빔(beam) 형태로 나오기 때문에 회절격자는 레이저 쇼에도 이용된다.



▲ 회절격자를 통과한 빛



▲ 회절격자를 이용한 레이저 쇼

과학적 문제 해결력

- 1 cm당 100개의 슬릿이 있는 회절격자와 300개의 슬릿이 있는 회절격자 중에서 빛을 더 잘 분광시키는 것은?



중단원 정리하기

> 핵심 내용 정리하기

전자기파의 간섭, 회절과 도플러 효과

1. 전자기파의 간섭과 회절

① 간섭: 두 파동이 중첩되어 이 달라지는 현상이다.

- 보강 간섭 지점: 동일한 위상으로 중첩되어 진폭이 증가
- 상쇄 간섭 지점: 반대 위상으로 중첩되어 진폭이 감소

② 회절: 파동이 장애물 뒤까지 전달되는 현상이다.

- 파장이 길수록, 슬릿의 폭이 수록 크게 발생

2. 도플러 효과: 파원과 관찰자가 상대 운동 할 때, 관찰자가 진동수를 파원의 진동수와 다르게 측정하는 현상이다.

파원이 관찰자에게 다가갈 때

$$f_A = \frac{v}{\lambda_A} = \left(\frac{v}{v - v_s} \right) f$$

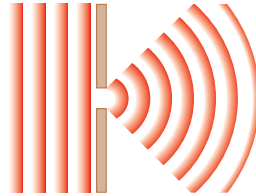
파원이 관찰자에게서 멀어질 때

$$f_B = \frac{v}{\lambda_B} = \left(\frac{v}{v + v_s} \right) f$$

문물 2 | 높이 1 | 리유

>> 기초 개념 익히기

1 그림과 같이 장애물 사이를 통과한 파동이 장애물 뒤까지 진행되는 현상을 무엇이라고 하는가?



2 구급차가 진동수가 f 인 소리를 내며 지나갈 때, 구급차의 앞에 있는 사람은 f 보다 (큰 / 작은) 진동수의 소리를 듣는다.

전자기파의 발생과 수신

1. 전자기파의 발생: 전기 회로에 가 흐르면 전기장의 진동과 자기장의 진동이 서로를 유도하며 진행되는 전자기파가 발생한다.

2. 전자기파의 수신: 전기 회로가 전자기파를 수신할 때, 회로의 공명 진동수와 동일한 진동수의 전자기파를 가장 강하게 수신한다.

3. 진동수: 코일과 축전기가 연결된 회로에서 가장 강한 전류가 흐를 때의 진동수이다.

3 어떤 전기 회로가 전파를 수신할 때, 회로의 공명 진동수를 결정하는 전기 소자 2가지는 무엇인가?

문물 2 | 플린 1 | 리유

블록 렌즈에 의한 상과 이중 슬릿의 간섭 실험

1. 블록 렌즈에 의한 상

상의 위치

$$\frac{1}{a} + \frac{1}{b} = \frac{1}{f}$$

렌즈의 배율

$$\left| \frac{b}{a} \right|$$

2. 이중 슬릿의 간섭 실험

- 이중 슬릿을 통과한 빛은 간격이 일정한 무늬를 만든다. $\Delta x = \frac{L\lambda}{d}$

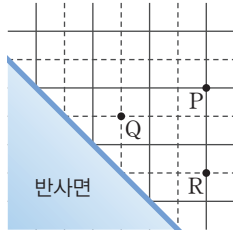
- 간섭무늬는 빛이 의 성질을 지님을 보여 준다.

4 파장이 λ 인 레이저 빛을 슬릿 간격이 d 인 이중 슬릿에 비추었더니, 슬릿으로부터 거리 L 만큼 떨어진 스크린에 간섭무늬가 나타났다. 간섭무늬에서 어두운 무늬 사이의 간격을 증가시키기 위한 방법 3가지를 쓰시오.

문물 2 | 리유 1 | 리유

개념 확인하기

1 그림은 반사면에 입사한 파동과 반사한 파동을 파면으로 나타낸 것이다. 실선은 마루, 점선은 골이다. P, Q, R 중 보강 간섭이 일어난 지점만을 있는 대로 고른 것은?



- ① P ② Q ③ R
 ④ P, Q ⑤ P, R

2 어떤 음원에서 진동수가 f_0 인 소리를 내고 있으며, 영희가 이 소리를 듣고 있다. 영희가 듣는 소리의 진동수가 f_0 보다 작은 경우를 보기에서 있는 대로 고른 것은?

보기

- ㄱ. 영희는 정지해 있고 음원이 영희에게 다가갈 때
 ㄴ. 음원은 정지해 있고 영희가 음원에서 멀어질 때
 ㄷ. 영희와 음원이 서로에게서 멀어지고 있을 때

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ
 ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

3 교류 회로에서 진동하는 전기장이 발생했을 때, 진동하는 전기장이 유도하는 것은 무엇인가?

- ① 일정한 전기장 ② 일정한 자기장
 ③ 진동하는 자기장 ④ 초음파
 ⑤ 간섭무늬

4 볼록 렌즈에서의 빛의 굴절과 볼록 렌즈가 만드는 상에 대한 설명으로 옳은 것은?

- ① 빛은 볼록 렌즈 내부에서 1번 굴절한다.
 ② 초점을 지나 볼록 렌즈에 입사한 빛은 굴절한 후 다른 초점을 지난다.
 ③ 물체가 초점보다 멀리 있으면 항상 물체보다 작은 상이 만들어진다.
 ④ 물체가 초점보다 가까이 있으면 항상 물체보다 큰 상이 만들어진다.
 ⑤ 물체가 초점보다 가까이 있으면 거꾸로 선 상이 만들어진다.

5 빛의 이중 슬릿에 의한 간섭무늬에 대한 설명으로 옳은 것만을 보기에서 있는 대로 고른 것은?

보기

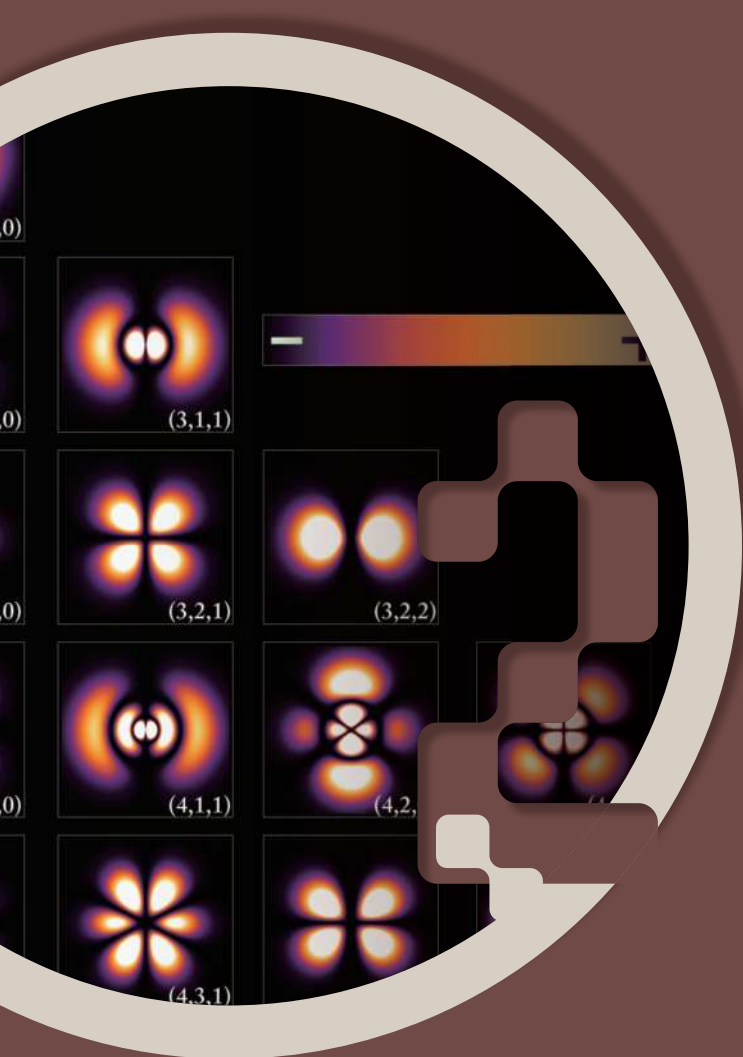
- ㄱ. 어두운 무늬는 빛이 상쇄 간섭 된 지점에서 나타난다.
 ㄴ. 어두운 무늬 사이의 간격은 이중 슬릿 사이의 간격이 좁을수록 크다.
 ㄷ. 동일한 조건에서 실험하면 간섭무늬 사이의 간격은 빨간색 빛을 사용할 때가 파란색 빛을 사용할 때보다 좁다.

- ① ㄴ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ
 ④ ㄱ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ



평가 점수에 따라 별에 색칠하세요.

- | | |
|---|-------|
| 1 전자기파의 간섭과 회절에 대해 설명할 수 있는가? | ☆☆☆☆☆ |
| 2 도플러 효과를 설명하고, 관측되는 진동수를 구할 수 있는가? | ☆☆☆☆☆ |
| 3 전기 회로에서 전자기파의 발생 과정과 수신 원리를 설명할 수 있는가? | ☆☆☆☆☆ |
| 4 빛의 이중 슬릿 간섭무늬 실험에서 무늬 사이의 간격을 구할 수 있는가? | ☆☆☆☆☆ |
| 5 볼록 렌즈가 만드는 상의 종류와 상의 위치 및 배율을 구할 수 있는가? | ☆☆☆☆☆ |



현대 물리

- 01. 빛의 입자성
- 02. 입자의 파동성
- 03. 불확정성 원리



이 단원의 성취 기준 확인

이 단원에서는 빛의 입자성의 증거로 광전 효과를 이해하고, 입자의 파동성을 전자 회절 실험을 근거로 설명한다. 또한 불확정성 원리를 이용하여 수소 원자 내에서 전자의 궤도를 설명한다.



자기 점검 - 알고 있는 용어에 체크해 보자.

빛의 이중성 <input type="checkbox"/>	광양자 <input type="checkbox"/>	광전 효과 <input type="checkbox"/>	물질의 이중성 <input type="checkbox"/>
물질파 <input type="checkbox"/>	회절 <input type="checkbox"/>	보어 원자 모형 <input type="checkbox"/>	운동량 <input type="checkbox"/>

▶ 체크하지 못한 용어는 인터넷에서 검색해 보자.



학습 계획 세우기 - 성취 기준을 달성하기 위해 어떤 준비를 할 수 있을지 써 보자.

학습 목표를 세우자.

01 빛의 입자성

- 광전 효과 실험을 통하여 빛의 입자성을 설명할 수 있다.
- 광전 효과에서 일함수의 의미를 통하여 빛의 입자성이 확인되는 과정을 설명할 수 있다.

들어가기 태양광 자동차의 에너지는 어디서 나오는 걸까?

최근 환경오염 문제와 에너지 문제 때문에 화석 연료 대신에 태양광으로 움직이는 자동차가 등장하고 있다. 태양광 자동차는 빛 에너지를 전기 에너지로 바꾼다. 태양 전지는 어떤 원리로 빛을 전기 에너지로 바꿀 수 있을까?




알아보기 광전 효과

1887년 헤르츠는 그림 III-45와 같이 전자기파 검출 실험을 하는 중에 우연히 유도 코일에 연결된 방전 전극에 자외선을 쬐이면 방전이 훨씬 잘 일어난다는 것을 발견하였지만, 그 원리를 설명할 수 없었다. 1897년 톰슨이 전자를 발견하여 이 현상이 빛에 의한 전자의 발생으로 나타난다는 것을 알았다.

그림 III-46과 같이 금속 표면에 빛을 쬐이면 전자가 방출되는 현상을 광전 효과라고 하며, 이때 방출되는 전자를 광전자라고 한다. 빛에 대한 플랑크의 양자 개념을 받아들인 아인슈타인은 1905년 빛은 연속적인 파동의 흐름이 아니라 광양자 또는 광자(photon)라는 불연속적인 에너지 입자의 흐름이라는 광양자설로 광전 효과를 설명하였다.



 헤르츠(Hertz, H. R., 1857~1894) 독일의 물리학자이다. 1887년 광전 효과 현상을 최초로 발견하였으며, 전자기파의 존재를 확인하였다.

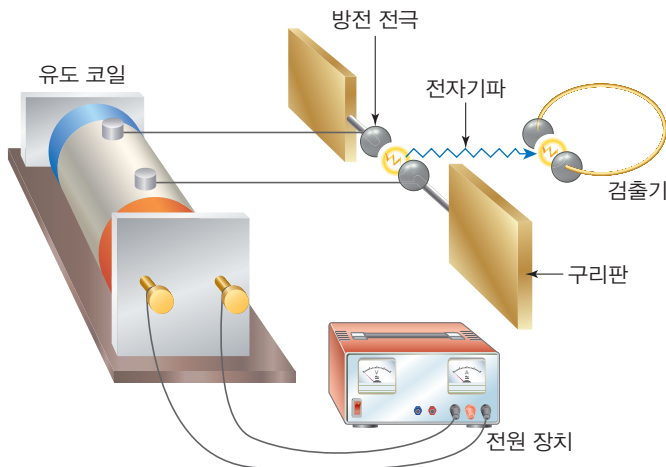


그림 III-45 헤르츠 실험

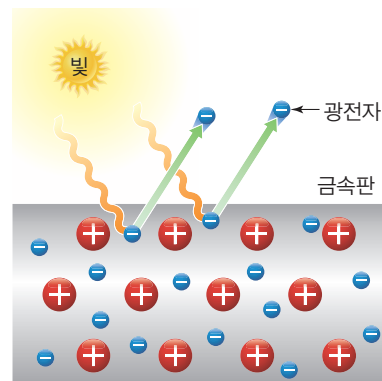


그림 III-46 광전 효과의 원리

다음 탐구에서 태양 전지(광전지)를 이용하여 광전 효과를 알아보자.



태양 전지의 전류 측정하기



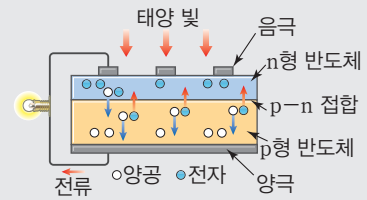
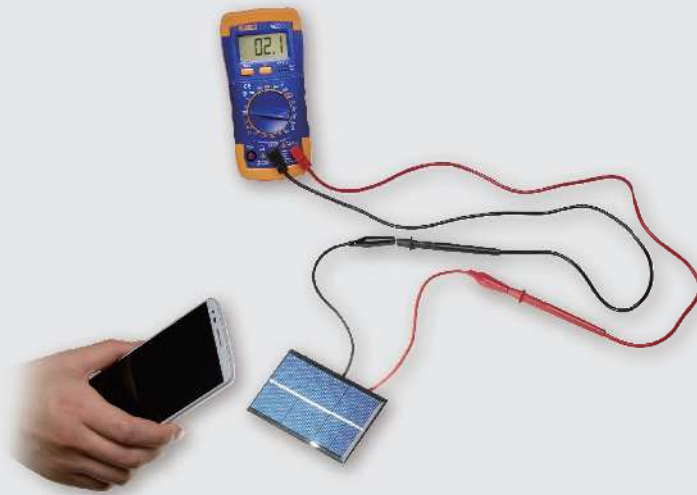
사고력 탐구 능력

목표 태양 전지를 이용하여 광전 효과를 알 수 있다.

준비물 태양 전지(3 V, 170 mA), 스마트폰 전등, 적외선등, 자외선등, 멀티미터

과정

- 어두운 곳에서 멀티미터를 이용하여 태양 전지에서 발생하는 전류를 측정한다.
- 스마트폰 전등 하나를 켜서 태양 전지에 비추는 다음 태양 전지에서 발생하는 전류를 측정한다.
- 스마트폰 전등 2개, 3개를 켜서 태양 전지에 비추고 각각의 경우 태양 전지에서 발생하는 전류를 측정한다.



▲ 태양 전지의 구조 | 태양 전지에 빛을 쏘이면 광전 효과에 의해 전류가 흐른다.

⚠ 주의 사항

태양 전지와 광원(스마트폰 전등, 적외선등, 자외선등) 사이의 거리를 일정하게 유지한다.

- 멀티미터에 나타나는 태양 전지의 전류를 표에 기록한다.

스마트폰 전등의 수	어두울 때	1개 켰을 때	2개 켰을 때	3개 켰을 때
태양 전지의 전류				

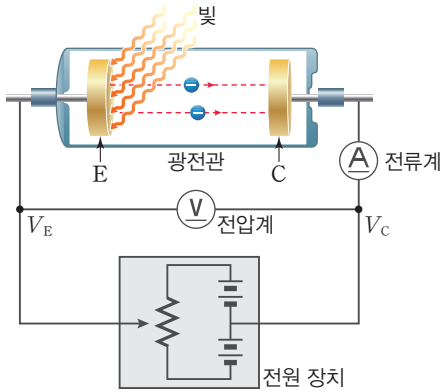
- 스마트폰 전등 대신 적외선등과 자외선등으로 과정 ②~④를 반복한다.

적외선등의 수	어두울 때	1개 켰을 때	2개 켰을 때	3개 켰을 때
태양 전지의 전류				

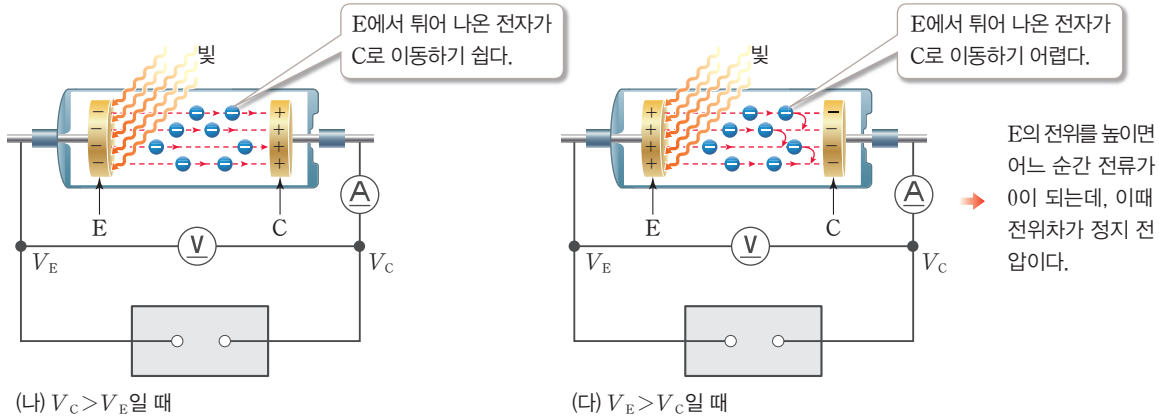
자외선등의 수	어두울 때	1개 켰을 때	2개 켰을 때	3개 켰을 때
태양 전지의 전류				

- 결과 및 정리
- 빛의 양과 태양 전지의 전류는 어떤 관계가 있는가?
 - 태양 전지에서 발생하는 전기 에너지는 빛의 파장과 어떤 관계가 있는가?

그림 III-47의 (가)는 광전 효과를 알아볼 수 있는 실험 장치로, 가변 저항을 이용하여 광전관 안의 두 금속판 C와 E에 걸리는 전압을 조절할 수 있다. 그림 (나), (다)는 금속판 E에 단색광을 쬐일 때 가변 저항에 따른 전류의 흐름을 나타낸 것이다.



(가) 광전 효과 실험 장치



(나) $V_C > V_E$ 일 때

(다) $V_E > V_C$ 일 때

그림 III-47 광전 효과 실험 장치에서 전류의 흐름

그림 (나)와 같이 C의 전위(V_C)가 E의 전위(V_E)보다 더 높으면 빛에 의해 E에서 튀어 나온 광전자는 전위차 $\Delta V = V_C - V_E$ 때문에 C로 쉽게 이동한다. 이렇게 광전자의 이동에 의하여 두 금속 사이에 흐르는 전류를 광전류라고 한다.

광전류의 세기를 I 라고 할 때 시간 Δt 동안 발생한 광전자의 수 N 과 전자의 전하량 e 의 관계는

$$I = \frac{Q}{\Delta t} = \frac{Ne}{\Delta t}$$

이고, 광전류의 세기를 측정하면 금속판에서 1초 동안 발생한 광전자의 수를 알 수 있다.

이번에는 전류가 흐르지 못하도록 그림 (다)와 같이 가변 저항을 이용하여 E의 전위를 C보다 더 높게 하면 C로 향하는 광전자들의 속력이 느려진다. 속력이 느려진 광전자들은 C에 도달하지 못하여 광전류가 줄어든다. E의 전위를 서서히 증가시키

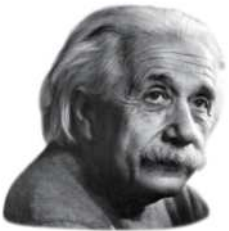
면 광전류가 점차 줄어들다가 어느 순간 더 이상 흐르지 않는데, 이처럼 광전자가 C에 도달하지 못해 전류가 0이 되는 순간의 C와 E 사이의 전위차를 정지 전압 V_s 라고 한다.

정지 전압 V_s 를 걸어 광전자가 튀어 나오지 못하게 하려면, 전기력이 전자에 한 일 eV_s 가 광전자가 가질 수 있는 최대 운동 에너지 $E_{\text{최대}}$ 와 동일해야 하므로

$$E_{\text{최대}} = \frac{1}{2}mv_{\text{최대}}^2 = eV_s$$

이며, 이때 $m, v_{\text{최대}}$ 는 각각 광전자의 질량과 최대 속력이다. 따라서 정지 전압을 측정하면 광전자의 최대 운동 에너지를 알 수 있다.

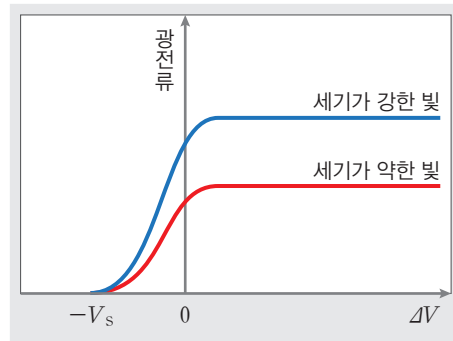
다음은 광전 효과 실험 결과를 정리한 것이다.



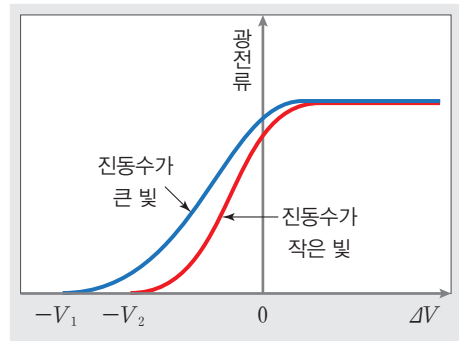
📖 아인슈타인(Einstein, A., 1879~1955) 독일 태생의 물리학자이다. 광양자설, 브라운 운동 이론, 특수 상대성 이론, 일반 상대성 이론을 발표하였다.

1. 광전자는 특정한 진동수 이상의 빛을 쬐일 때에만 방출된다. 이 특정한 진동수를 문턱 진동수라고 하며, 금속의 종류에 따라 다르다. 문턱 진동수 미만의 빛은 아무리 센 빛을 쬐여도 광전자를 방출하지 못한다.
2. 문턱 진동수 이상의 빛을 금속판에 쬐이면 아무리 빛의 세기가 약하여도 즉시 광전자가 방출되어 전류가 흐르기 시작하며, 빛의 진동수가 같을 때 빛의 세기가 셀수록 광전자를 많이 방출한다. (그림 III-48의 (가))
3. 방출된 광전자의 최대 운동 에너지(또는 정지 전압)는 빛의 진동수가 커질수록 증가하지만(그림 III-48의 (나)) 빛의 세기에는 관계없다. (그림 III-48의 (가))

💡 빛이 파동이면 방출된 전자의 운동 에너지와 빛의 세기는 어떤 관계를 가질까?



(가) 빛의 진동수가 같을 때



(나) 빛의 세기가 같을 때

그림 III-48 빛의 세기와 진동수를 각각 달리할 때 전압차에 따른 광전류의 세기

빛이 전자기파라는 파동의 성질만 가지고 있다면 진동수에 관계없이 빛의 세기를 증가시키면 광전 효과가 일어나야 한다. 하지만 문턱 진동수보다 작은 진동수를 가진 빛을 아무리 강하게 쬐여도 전류가 흐르지 않는 현상은 전자기파 이론으로 설명할 수 없다.

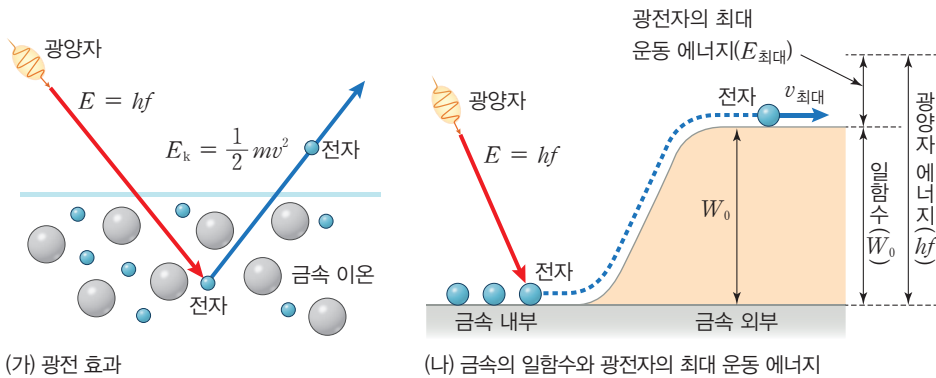
아인슈타인은 빛이 광양자라는 불연속적인 에너지 입자의 흐름이라는 생각으로부터 광전 효과로 방출된 광전자의 최대 운동 에너지(또는 정지 전압)가 빛의 진동수에 비례한다는 것을 보였다.

개념 넓히기 | 아인슈타인의 광양자설-빛의 입자성

진공 속에서의 광속을 c , 빛의 진동수와 파장을 각각 f 와 λ 라고 할 때 광양자의 에너지 E 는

$$E = hf = \frac{hc}{\lambda}$$

로 나타낼 수 있고, h 는 플랑크 상수로, 그 값은 $6.63 \times 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s}$ 이다. 아인슈타인은 광양자가 물질과 상호 작용할 때 그림 III-49와 같이 입자처럼 행동하며, 전자와 충돌할 때 가지고 있던 에너지 hf 를 전자에게 주기 때문에 전자가 금속 표면으로부터 튀어 나온다고 설명하였다.



(가) 광전 효과

(나) 금속의 일함수와 광전자의 최대 운동 에너지

그림 III-49 광양자와 광전 효과

튀어 나오는 광전자의 최대 운동 에너지 $E_{\text{최대}}$ 는 광양자의 에너지 hf 보다 작은 값을 가진다. 금속에 있던 자유 전자는 금속 이온으로부터 인력을 받기 때문에 이 인력에 대하여 일을 해 주어야 금속 표면으로부터 방출된다. 이렇게 금속 표면에서 전자를 방출하는 데 필요한 최소의 에너지를 일함수라고 하며, W_0 으로 나타낸다.

아인슈타인의 광양자설에 의하면 광전자의 최대 운동 에너지는 다음과 같다.

$$E_{\text{최대}} = \frac{1}{2}mv_{\text{최대}}^2 = hf - W_0 = \frac{hc}{\lambda} - W_0$$

문턱 진동수 f_0 을 가지는 빛을 쬐어 주면 $E_{\text{최대}} = 0$ 이므로 $hf_0 - W_0 = 0$ 을 만족한다. 즉, 금속의 일함수는 $W_0 = hf_0$ 이다.

또한 전자가 광양자를 흡수하는 순간에 금속의 표면에 있지 않고 안쪽에 있었다면, 금속 표면까지 이동하는 데에도 에너지가 필요하다. 전자가 금속 표면에서 떨어져 나온 후에 가질 수 있는 에너지는 원래 광양자의 에너지에서 일함수를 뺀 것보다도 작게 된다. 따라서 방출된 광전자가 가질 수 있는 최대 운동 에너지는

$$E_{\text{최대}} = hf - W_0 = h(f - f_0)$$

가 된다. 쬐어 준 빛의 진동수가 문턱 진동수보다 작으면 전자에 전달되는 에너지가 일함수보다 작으므로 광전자가 방출될 수 없다.

금속의 종류에 따른 일함수

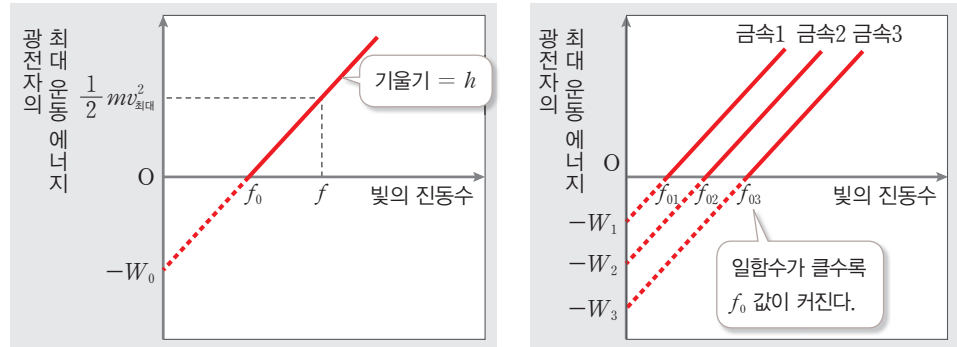
금속	일함수(eV)
세슘(Cs)	1.95
구리(Cu)	4.48
나트륨(Na)	2.36
아연(Zn)	3.63

출처: 『CRC Handbook of Chemistry and Physics 95th Ed.』, 2014.

eV(전자볼트)

1 eV는 약 $1.6 \times 10^{-19} \text{ J}$ 에 해당한다.

빛의 진동수 f 를 바꾸어 가면서 광전자의 최대 운동 에너지를 측정하면 그림 III-50의 (가)와 같이 기울기가 일정한 직선을 얻게 된다. 여기에서 기울기는 플랑크 상수 h 에 해당한다.



(가) 광전자의 최대 운동 에너지 - 빛의 진동수 그래프 (나) 서로 다른 금속들의 일함수 효과
 그림 III-50 빛의 진동수와 광전자의 최대 운동 에너지 사이의 관계

빛의 세기를 세게 한다는 것은 광양자의 수를 증가시킨다는 뜻이므로, 광양자의 수가 증가하지만 각각의 광양자가 가지고 있는 에너지는 변하지 않는다. 즉, 방출되는 전자의 수는 증가하지만 각각의 전자가 가지는 최대 운동 에너지는 변하지 않는다. 한편 그림 (나)와 같이 일함수는 금속의 종류에 따라 다르지만 쪼여 준 빛의 진동수와 광전자의 최대 운동 에너지의 관계 그래프에서 기울기 h 는 금속에 관계없이 일정하다.

아인슈타인은 광양자설로 광전 효과의 실험 결과를 잘 설명할 수 있었다. 빛의 파동설을 굳게 믿었던 밀리컨은 광양자설을 부정하기 위해 5년에 걸쳐 정밀한 실험을 하였으나, 오히려 1914년 광양자설이 옳다는 것을 인정할 수밖에 없었다. 아인슈타인은 광전 효과에 대한 빛의 광양자 이론으로 1921년 노벨 물리학상을 수상하였다.

평가하기

개념 이해

- 1 광전 효과 실험에서 방출된 광전자의 최대 운동 에너지를 어떻게 측정하는가?
- 2 에너지가 E 인 광양자의 파장 λ 와 진동수 f 는 각각 얼마인가?

창의·융합

- 3 가로등을 자동으로 켜고 끄는 데 광 다이오드를 사용한다면, 이 광 다이오드는 어떤 파장에 최대 전력이 생기도록 설계하는 것이 좋을까?

02 입자의 파동성

- 물질파 이론을 설명할 수 있다.
- 물질파 이론과 전자 회절 실험을 통하여 입자의 파동성을 설명할 수 있다.



들어가기 | 야구공과 전자의 파동성을 관측할 수 있을까?

파동의 성질을 갖는 빛은 입자의 성질도 갖는다. 그러면 입자의 성질을 가진 전자는 파동의 성질을 가질 수 있을까? 야구공은 어떨까?

알아보기 | 물질파 이론

영의 이중 슬릿 실험에 의하여 빛의 간섭 현상이 관찰된 후 빛은 파동으로 생각되었다. 그러나 광전 효과를 설명하기 위해 빛은 입자의 성질도 가지고 있어야만 한다는 것을 알게 되었다. 아인슈타인이 광양자설을 발표한 후 20년이 지나 프랑스의 물리학자 드브로이는 파동이 입자의 성질을 가질 수 있다면 반대로 입자도 파동의 성질을 가질 수 있을 것이라고 주장하였다. 이처럼 입자가 파동의 성질을 나타낼 때, 이 파동을 물질파 또는 드브로이파라고 한다.

질량 m 인 입자가 속력 v 로 운동하면 운동량 p 와 에너지 E 를 갖는다. 따라서 운동하는 전자는 운동량 p 와 에너지 E 로 나타낼 수 있다. 반면에 전자가 파동성을 띠다면 전자의 상태를 파장 λ 와 진동수 f 로 표현할 수 있어야 한다. 드브로이는 질량 m 인 입자가 속력 v 로 운동하면 입자의 파장은

$$\lambda = \frac{h}{mv} = \frac{h}{p}$$

를 만족한다고 제안하였다. 이것이 드브로이의 물질파 이론이다. 여기서 λ 를 드브로이 파장 또는 물질파 파장이라고 한다.

| 보어 원자 모형과 물질파 |

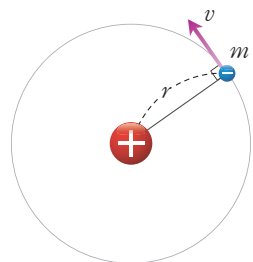
보어는 원자의 안정성을 설명하기 위하여 원자 속의 전자는 특정한 조건을 만족하는 원 궤도를 회전할 때 전자기파를 방출하지 않고 안정된 상태에 있어야 한다고 가정하였다. 이것을 양자 조건이라고 한다.

보어의 양자 조건: 질량이 m , 속력이 v 인 전자가 반지름이 r 인 원 궤도를 돌 때의 허용 가능한 전자의 궤도는 $2\pi r m v = n h$ ($n = 1, 2, 3, \dots$)를 만족해야 한다. 여기서 n 을 양자수라고 한다.



드브로이(de Broglie, L. V., 1892~1987) 프랑스의 물리학자이다. 1924년 「양자론의 연구」라는 논문에 물질파(또는 드브로이파)에 관한 견해를 제시하였다.

보어 원자 모형



보여는 이 양자 조건을 통해 수소 원자에서 전자의 에너지가 양자화됨을 설명하였으나, 전자가 양자 조건을 만족해야 하는 까닭은 설명하지 못하였다.

기타와 같이 양 끝이 고정된 줄을 튕기면 진행파와 반사파가 서로 반대 방향으로 진행하면서 중첩되어, 그림 III-51과 같이 파동이 진행하지 않고 제자리에서 진동하는 것처럼 보인다. 이러한 파동을 정상파라고 하며, 매질이 진동하지 않는 부분을 마디, 최대 진동하는 부분을 배라고 한다. 양 끝이 고정되어 있는 줄에서는 그림 III-52와 같이 양 끝이 마디가 될 때만 정상파가 만들어진다.

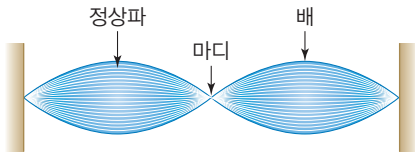


그림 III-51 정상파

정상파의 진동
 파장이 가장 길어 진동수가 가장 작은 진동을 기본 진동이라고 하며, 기본 진동에 대하여 진동수가 2배, 3배, ...인 진동을 2배 진동, 3배 진동, ...이라고 한다.

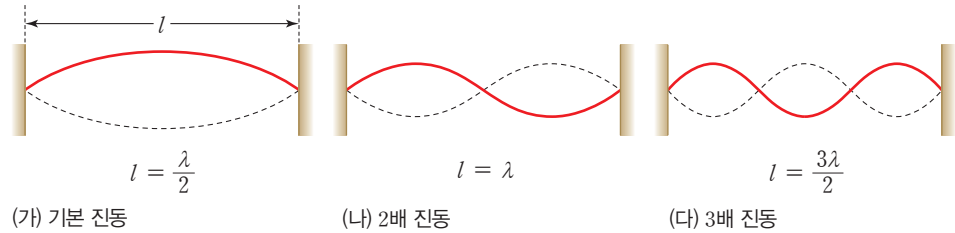


그림 III-52 정상파의 진동

따라서 양 끝에 고정된 현의 길이를 l 이라고 할 때, 정상파의 파장 λ 는

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

의 관계를 만족한다.

1924년 드브로이는 전자가 파동이라면 정상파 조건이 보어의 양자 조건을 설명할 수 있다고 주장하였다. 반지름이 r 인 원 궤도에 대한 정상파의 조건은

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

를 만족한다. 이 정상파 조건에 드브로이 파장 $\lambda = \frac{h}{mv}$ 를 대입하면 보어의 양자 조건인 $2\pi r m v = nh$ ($n = 1, 2, 3, \dots$)를 구할 수 있다. 이것은 그림 III-53과 같이 원 궤도의 둘레가 전자의 드브로이 파장의 정수 배가 되어 정상파를 이룰 때만 전자가 안정한 궤도를 이룬다고 해석할 수 있다. 이처럼 드브로이의 정상파 조건으로부터 보어의 양자 조건을 설명할 수 있다.

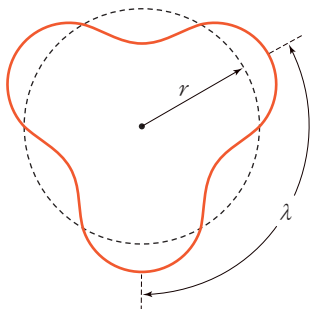


그림 III-53 원자에서 전자의 정상파

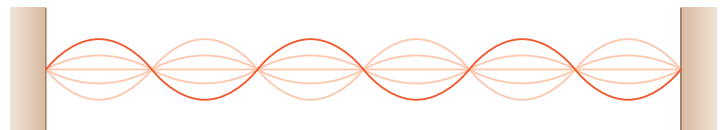
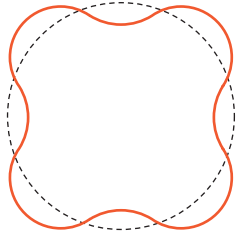
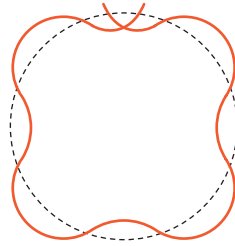


그림 III-54와 같이 파장의 정수 배가 원 궤도의 둘레와 일치하여야 파동이 소멸되지 않고 계속 존재할 수 있다.



(가) 전자가 존재할 수 있는 궤도



(나) 전자가 존재할 수 없는 궤도

그림 III-54 원자 내 전자의 궤도

| 가속된 전자의 드브로이 파장 |

입자가 물질파의 성질을 나타낼 때 드브로이 파장은 운동량이 아닌 입자의 운동 에너지로도 표현할 수 있다. 그림 III-55와 같이 전자를 가속시킬 때 전자의 드브로이 파장을 전자의 운동 에너지로 나타내어 보자.

전기장이 전자에 한 일 $W = eV$ 와 정지 상태에서 전압 V 로 가속된 전자의 운동 에너지 $\frac{1}{2}mv^2$ 은 같으므로

$$eV = \frac{1}{2}mv^2 = \frac{(mv)^2}{2m} = \frac{p^2}{2m}$$

이다. 따라서 전자의 운동량은 $p = \sqrt{2meV}$ 이고, 전자의 드브로이 파장은

$$\lambda = \frac{h}{p} = \frac{h}{\sqrt{2meV}}$$

가 된다. 전자의 드브로이 파장은 가속 전압이 증가할수록 짧아지며, 가속 전압을 조절하여 원하는 드브로이 파장을 얻을 수 있다.

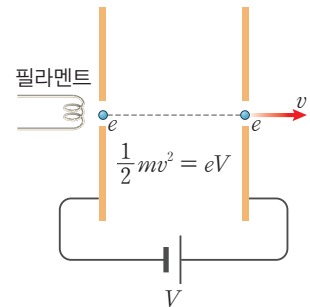


그림 III-55 전위차 V 로 가속된 전자의 운동 에너지

질량이 0.14 kg인 야구공을 30 m/s의 속력으로 던졌을 때 야구공의 드브로이 파장과 정지 상태에서 54 V의 전압으로 가속된 전자의 드브로이 파장을 각각 구하시오. (단, 전자의 질량은 9.11×10^{-31} kg이다.)

풀이 야구공의 드브로이 파장은

$$\lambda = \frac{h}{mv} = \frac{6.63 \times 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s}}{0.14 \text{ kg} \times 30 \text{ m/s}} \approx 1.58 \times 10^{-34} \text{ m}$$

이다. 한편 54 V로 가속된 전자의 드브로이 파장은

$$\lambda = \frac{h}{p} = \frac{h}{\sqrt{2meV}} = \frac{6.63 \times 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s}}{\sqrt{2 \times 9.11 \times 10^{-31} \text{ kg} \times 1.60 \times 10^{-19} \text{ C} \times 54 \text{ V}}} \approx 1.67 \times 10^{-10} \text{ m}$$

답 야구공: 1.58×10^{-34} m, 가속 전자: 1.67×10^{-10} m

예제

전자의 전하량(e)

$$e = 1.60 \times 10^{-19} \text{ C}$$

야구공의 드브로이 파장은 가속 전자의 드브로이 파장에 비해 매우 짧아.



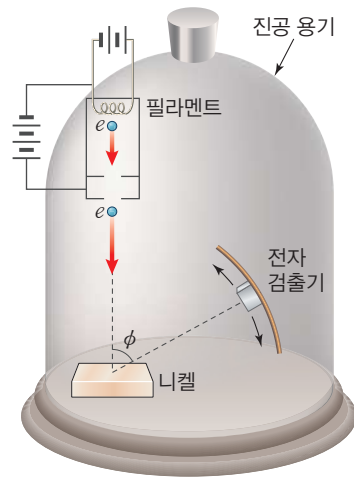
개념 넓히기 | 물질파의 확인 - 전자 회절 실험

드브로이가 물질파를 제안한 지 3년 후인 1927년 미국의 두 물리학자 데이비슨과 거머는 전자가 파동성을 띠고 있다는 사실을 다음과 같은 전자 회절 실험을 통해 확인하였다.

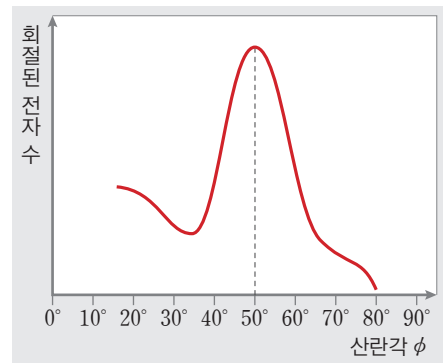
데이비슨과 거머는 그림 III-56의 (가)에서와 같이 니켈 결정에 낮은 전압으로 가속된 전자선을 쬐었을 때 그림 (나)에서와 같이 특정한 각도에서 전자가 많이 산란되는 것을 발견하였다. 즉, 54 V로 가속된 전자선을 원자 간격이 $d = 2.15 \times 10^{-10}$ m 인 니켈 결정 표면에 충돌시키자 산란각 $\phi = 50^\circ$ 에서 전자가 최대로 산란되었다. 그들은 이것이 X선이 결정 표면에서 산란할 때 회절하는 것과 같이 전자도 회절하는 것이라고 생각하였다.



데이비슨(Davisson, C. J., 1881~1958)과 **거머**(Germer, L. H., 1896~1971) 미국의 물리학자이다. 1927년 니켈 결정면을 이용한 전자선의 회절을 발견하여 전자의 파동성을 증명하였다.



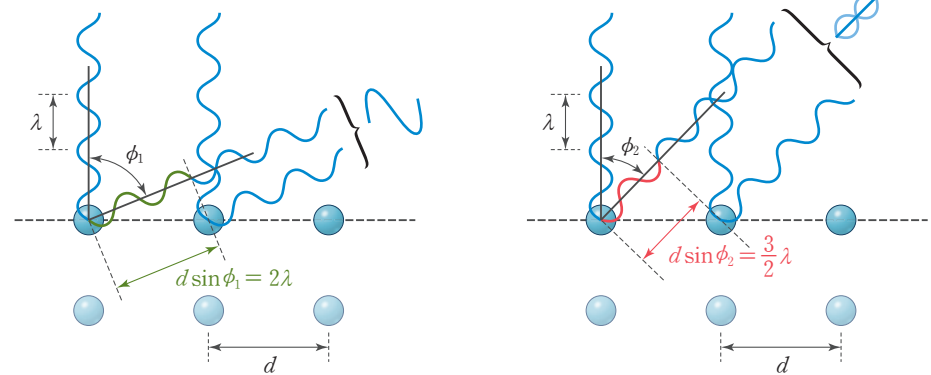
(가) 실험 장치 모식도



(나) 산란각에 따른 회절된 전자 수

그림 III-56 데이비슨·거머 전자 회절 실험

그림 III-57은 니켈 결정 표면에 일렬로 서 있는 원자들에 의해 전자가 산란되는 모습을 나타낸 것이다. 전자가 파동이라면 파동이 회절하면서 보강 간섭 되는 조건은 그림 (가)와 같다.



(가) 보강 간섭

(나) 상쇄 간섭

그림 III-57 결정 표면에서 전자의 회절

결정 표면의 원자 간격이 d , 파동의 파장이 λ 일 때 결정 표면에서 ϕ 의 각으로 산란된 두 파동이 보강 간섭 하여 밝은 무늬를 만들 조건은


$$d \sin \phi = n\lambda \quad (n = 1, 2, 3, \dots)$$

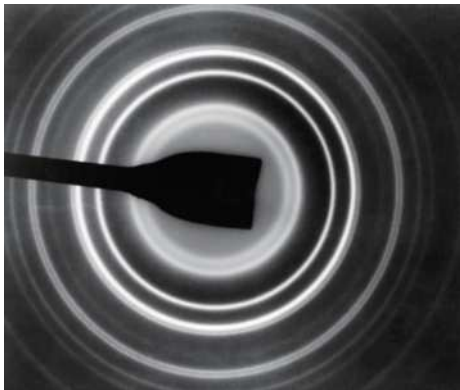
로 두 파동의 경로차가 파장의 정수 배를 만족해야 한다.

데이비슨과 거머는 니켈 결정에 쏘인 전자의 산란 실험 결과로부터 이 식을 이용해 구한 전자선의 파장($\lambda = d \sin \phi$)과 전자의 물질파 이론으로부터 구한 파장 $\lambda = \frac{h}{p} = \frac{h}{\sqrt{2meV}}$ 가 잘 일치한다는 것을 확인함으로써 드브로이의 물질파 이론이 옳다는 것을 증명하였다.

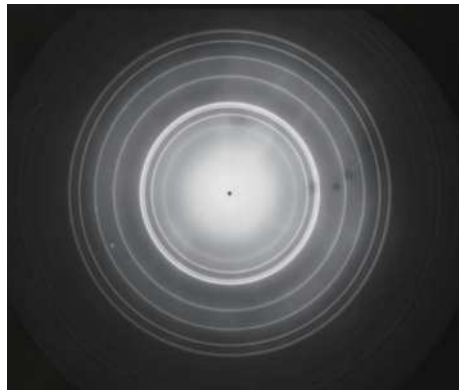
데이비슨·거머 전자 회절 실험 1년 후인 1928년 톰슨은 아주 얇은 금속박에 고속으로 가속된 전자선을 통과시켜 전자의 회절 무늬를 관측하였고, 이 회절 무늬는 동일한 결정면을 통과한 X선 회절 무늬와 같음을 보였다. 그림 III-58은 X선과 전자선의 회절 무늬를 나타낸 것이다. 이 실험 또한 입자인 전자가 파동과 같은 형태의 회절을 일으킨다는 사실을 보여 줌으로써 드브로이의 물질파 이론을 확인한 물리학적 의의를 갖는다. 이후 전자뿐만 아니라 다양한 이온과 중성자를 이용한 회절 실험이 이루어졌고, 이 모든 실험들은 드브로이의 물질파 이론과 일치하는 결과를 보였다.



 톰슨(Thomson, G. P., 1892~1975) 영국의 물리학자이며, 전자를 발견한 톰슨(Thomson, J. J.)의 아들이다. 얇은 금속박에 전자빔을 쏘아 X선과 같은 회절 무늬를 얻어 전자의 파동성을 증명하였다.



(가) X선의 회절 무늬



(나) 전자의 회절 무늬

그림 III-58 X선과 전자의 회절 무늬

물음 전자 현미경은 전자의 어떤 성질을 이용해 만든 장치인가?

평가하기

개념 이해

- 1 전자와 총알이 같은 속력으로 움직일 때, 어느 것의 파장이 더 짧을까?
- 2 야구공에서 입자의 파동성을 관찰하기 어려운 까닭은 무엇인가?

창의·융합

- 3 회절격자를 통과한 전자선의 회절 무늬 간격이 가속 전압의 크기에 따라 어떻게 변할지 생각해 보자.

03 불확정성 원리

- 불확정성 원리를 설명할 수 있다.
- 수소 원자 내에서 전자의 궤도를 고전 역학으로 설명할 수 없음을 불확정성 원리를 사용하여 설명할 수 있다.



들어가기 전자의 위치를 정확히 알 수 있을까?

보이는 원자핵을 중심으로 전자가 원형의 궤도를 돌고 있는 원자 모형을 제안하였다. 만약에 매우 정밀한 측정 장치가 있다고 가정하면 수소 원자에 있는 전자의 위치를 정확히 알 수 있을까?

살펴보기 위치와 운동량의 불확정성 원리

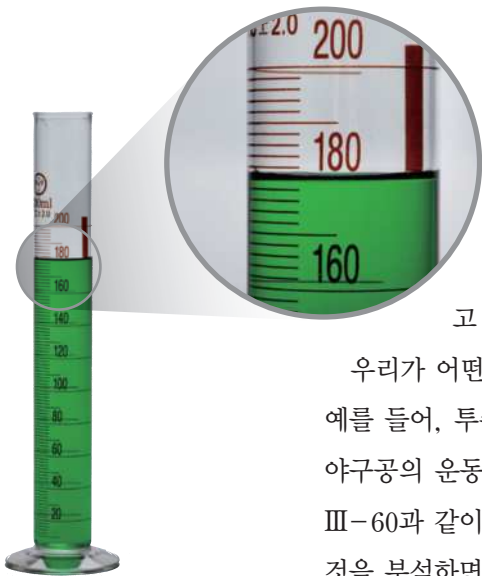


그림 III-59 액체 기둥의 높이 측정

그림 III-59와 같이 액체 기둥의 높이를 측정한다고 하자. 측정을 여러 번 반복할 때 매번 측정값이 달라질 수 있다. 우리는 오차의 원인을 액체 기둥의 높이 자체가 아니라 눈금 또는 관측자 때문에 생기는 부정확성 때문이라고 생각한다. 반면에 원자보다 작은 미시 세계에서는 어떤 대상의 측정 오차는 거시 세계에서 생각하는 관측자 또는 측정 도구의 부정확성 때문이 아니라 측정 자체에 존재하는 오차라고 생각한다.

우리가 어떤 물체를 본다는 것은 그 물체에서 반사되어 나오는 빛을 보는 것이다. 예를 들어, 투수가 던진 야구공은 빛을 반사하기 때문에 우리에게 관측되지만, 빛이 야구공의 운동에 미치는 효과는 무시할 만큼 작다. 미시 세계도 마찬가지로 그림 III-60과 같이 전자의 위치를 알아내려면 그 전자에 빛을 쬐어 그 빛이 튕겨 나오는 것을 분석하면 된다. 야구공과는 달리 전자에 충돌한 빛은 전자의 운동에 무시할 수 없는 영향을 미친다. 다시 말해 거시적으로는 정확해 보이는 측정이라도 미시적으로는 측정의 부정확성을 항상 내포하고 있다.



(가) 광자가 전자에 충돌 전

(나) 광자가 전자에 충돌 후

그림 III-60 전자의 위치 측정과 운동량의 변화

| 하이젠베르크의 불확정성 원리 |

원자보다 작은 미시 세계를 다루는 물리 이론인 양자 역학에 따르면 물체의 위치와 운동량을 동시에 정확히 측정하는 것은 원리적으로 불가능하다. 이는 측정 장비의 정밀성과는 상관없이 근본적으로 존재하는 불확정성으로 미시 세계의 대표적 현상인 입자성과 파동성을 모두 갖는 물질의 이중성과 밀접한 관계가 있다.

입자와 파동의 이중성을 나타내는 드브로이 물질파 관계식

$$\lambda = \frac{h}{p}$$

로부터 입자의 운동량을 알면 파장을 알 수 있다. 그림 III-60에서 전자의 위치를 보다 정확히 측정하려고 빛의 파장을 매우 짧게 하면 광자의 운동량이 커져서 충돌하는 전자의 운동량에 대한 불확정성이 매우 커진다. 반대로 전자의 운동량을 보다 정확히 측정하려고 광자의 운동량을 작게 하면 빛의 파장이 길어져 전자의 위치에 대한 불확정성이 매우 커진다.

이로부터 1927년 독일의 물리학자 하이젠베르크는 입자성과 파동성을 모두 띠고 있는 물체의 위치와 운동량을 동시에 정확하게 측정하는 것은 원리적으로 불가능하다는 논문을 발표하였다. 이를 하이젠베르크의 불확정성 원리라고 한다.




 하이젠베르크(Heisenberg, W. K., 1901~1976) 독일의 이론 물리학자이다. 불확정성 원리에 대한 연구로 20세기 초 양자 역학의 발전에 큰 공헌을 하였다.



그림 III-61 위치와 운동량에 대한 불확정성 원리

하이젠베르크는 위치와 운동량의 불확정성 원리를 다음과 같은 식으로 표현하였다.

$$\Delta x \Delta p \geq \frac{\hbar}{2}$$

여기서 Δx 와 Δp 는 각각 위치의 불확정도와 운동량의 불확정도를 나타낸 것이고 $\hbar = \frac{h}{2\pi}$ 이다. 한편 $\Delta x \Delta p = \frac{\hbar}{2}$ 는 위치와 운동량의 불확정도가 최소가 되는 조건을 의미한다. 거시 세계에서는 $h (= 6.63 \times 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s})$ 정도의 오차는 충분히 무시할 수가 있으나, 미시 세계에서는 이 오차가 상대적으로 크기 때문에 위치와 운동량을 동시에 정확하게 기술할 수는 없다.

단일 슬릿을 통과하는 물질파 회절 실험으로 하이젠베르크의 불확정성 원리를 어떻게 설명할 수 있는지를 알아보자.

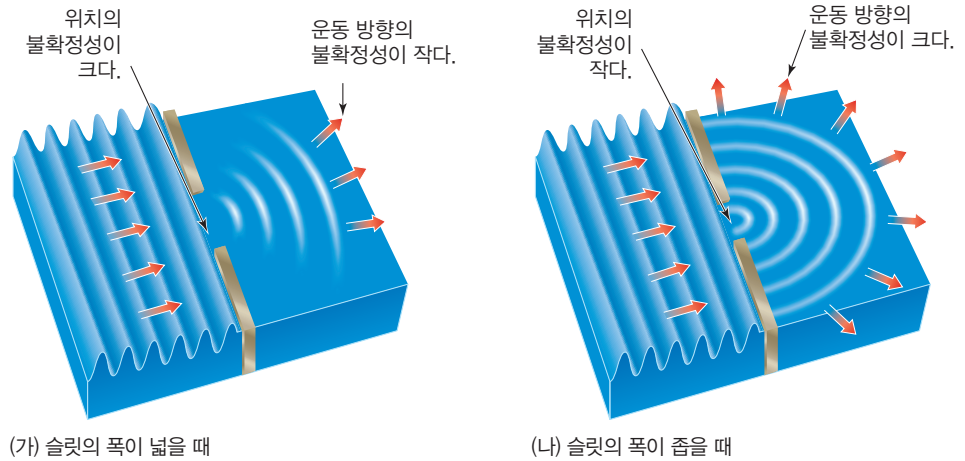


그림 III-62 물질파가 단일 슬릿을 통과할 때 파동의 모습

그림 III-62와 같이 전자도 물질파이기 때문에 슬릿의 폭이 넓을 때는 (가)와 같이 회절 정도가 작게 나타나고 슬릿의 폭이 좁을 때는 (나)와 같이 회절 정도가 크게 나타날 것이다. 전자가 슬릿을 통과할 때 전자의 위치 불확정도 Δx 는 그림 III-62에서 슬릿의 폭에 해당한다. 이때 위치 불확정도 Δx 가 감소하면, 회절의 정도가 커져 전자의 운동 방향이 많이 변하므로 운동량 불확정도 Δp 가 증가한다.

즉, 전자의 위치를 정확하게 알기 위해 슬릿의 폭을 좁히면 전자의 운동량 불확정도가 더 커진다. 반대로 전자의 운동량을 정확하게 측정하기 위해 슬릿의 폭을 넓히면 그만큼 전자의 위치 불확정도가 커진다.

일상생활에서 하이젠베르크의 불확정성 원리를 관측할 수 없는 까닭은 플랑크 상숫값이 일상생활에서 느끼기에는 매우 작기 때문이다. 즉, 야구공과 같은 거시적인 물체의 위치와 운동량의 불확정도값은 무시할 만큼 매우 작지만 0이 아니므로 야구공의 위치와 운동량 또한 동시에 정확히 측정할 수 없다.

그러나 원자와 같이 매우 작은 미시 세계에서는 h 값을 무시할 수 없으므로 불확정성 원리는 매우 중요하다. 위치와 운동량의 불확정성 원리가 미시 세계인 원자 내 전자의 운동에 미치는 영향을 보어의 수소 원자 모형으로 알아보자.

|보어의 수소 원자 모형과 불확정성 원리|

보어는 전자가 양자 조건을 만족하는 원 궤도를 따라 운동해야 함을 주장하였고, 드브로이는 전자에 대한 물질파 이론을 이용해 보어의 양자 조건을 성공적으로 설명하였다. 즉, 드브로이는 수소 원자 내 전자가 특정한 원 궤도를 돈다고 주장한 보어 모형이 수정되어야 함을 보여 주었다.

하이젠베르크의 불확정성 원리 또한 수소 원자 내 전자가 원 궤도를 따라 운동할 수 없음을 설명하고 있다.

보어의 수소 원자 모형에 따르면, 전자는 핵으로부터 반지름이 약 0.5×10^{-10} m 인 원 궤도를 약 10^6 m/s 정도의 속력으로 운동한다. 위치와 운동량의 불확정성 원리 $\Delta x \Delta p \geq \frac{\hbar}{2}$ 에 따르면 전자의 위치와 운동량을 동시에 정확히 측정하는 것은 불가능하다. 따라서 그림 III-63과 같이 전자의 위치를 매우 정확히 측정해서 Δx 를 매우 작게 하면 전자의 운동에 대한 불확정도 Δp 가 매우 커진다.

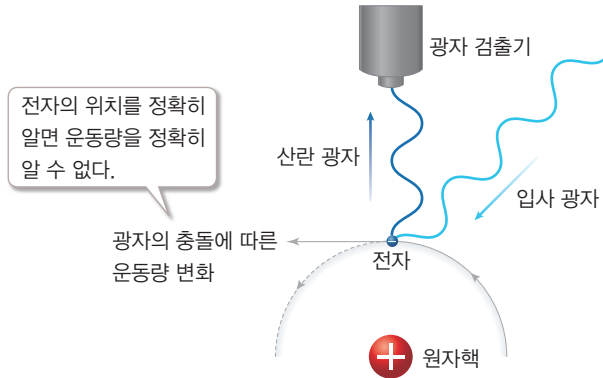


그림 III-63 보어의 수소 원자 모형과 불확정성 원리

마찬가지로 전자의 속력을 매우 정확히 측정해서 Δp 를 작게 하면 Δx 가 매우 커져 전자의 위치를 정확히 알 수 없다.

그러면 수소 원자 내에서 전자의 운동량 불확정도가 매우 작을 때, 위치 불확정도는 얼마나 커지게 되는지 예제로 알아보자.

예제

보어의 수소 원자 모형에서 질량이 9.11×10^{-31} kg인 전자의 속력이 1% 오차 범위에서 2×10^6 m/s로 측정되었다고 가정하자. 즉, 전자의 속력 불확정도가 $\Delta v = 0.01 \times 2 \times 10^6$ m/s일 때, 전자의 위치 불확정도 Δx 를 구하시오.

풀이 전자의 운동량 불확정도는

$$\Delta p = m \Delta v = 9.11 \times 10^{-31} \text{ kg} \times 0.01 \times 2 \times 10^6 \text{ m/s} \\ = 1.82 \times 10^{-26} \text{ kg} \cdot \text{m/s}$$

이다. 따라서 불확정성 원리를 이용하면 전자의 위치 불확정도는

$$\Delta x \geq \frac{\hbar}{2\Delta p} = \frac{6.63 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}}{4\pi \times 1.82 \times 10^{-26} \text{ kg} \cdot \text{m/s}} \approx 2.90 \times 10^{-9} \text{ m}$$

이다. 이것은 원자의 크기가 약 10^{-10} m이므로 원자 내 전자의 위치가 수천 % 이상의 오차로 측정된다는 뜻이다.

답 $\Delta x \geq 2.90 \times 10^{-9} \text{ m}$

전자의 운동량을 정확히 알수록 전자의 위치를 정확히 알 수 없어!



이 예제에서 볼 수 있듯이 원자 내부의 전자 위치의 불확정도가 원자 크기 정도임을 고려하면 운동량을 정확하게 측정하는 것이 불가능함을 알 수 있다.

개념 넓히기 현대의 수소 원자 모형

1924년 드브로이는 원 궤도의 둘레가 드브로이 파장의 정수 배를 만족하는 전자의 물질파만이 보어의 양자 조건을 만족함을 보였다. 이 조건을 만족하는 물질파가 안정된 원 궤도에서 정상파를 이룬다고 보면 전자가 에너지를 방출하지 않게 되므로 원자가 안정한 상태를 유지하는 것을 설명할 수 있다.

드브로이의 물질파 이론과 하이젠베르크의 위치와 운동량의 불확정성 원리는 전자가 입자처럼 핵 주위를 원운동한다는 보어의 고전적 수소 원자 모형은 더 이상 성립하지 않는다는 것을 보여 주었다.

한편 1926년 슈뢰딩거는 수소 원자 내 전자의 위치를 정확히 아는 것은 불가능하며, 단지 전자가 존재할 수 있는 위치를 확률적으로밖에 알 수 없다고 제안하였다. 현대의 수소 원자 모형은 슈뢰딩거가 제안한 수소 원자 모형을 말하며, 그림 III-64와 같이 전자가 확률적으로 분포한다고 해서 ‘전자구름’ 모형으로도 불린다.



슈뢰딩거(Schrödinger, E., 1887~1961) 오스트리아의 물리학자이다. 슈뢰딩거 방정식으로 양자 역학에 기여한 공로로 1933년 노벨 물리학상을 수상하였다.

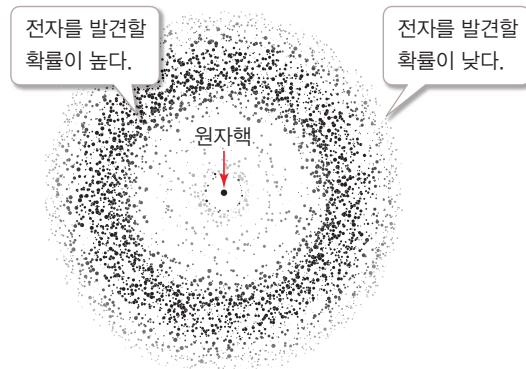


그림 III-64 현대의 수소 원자 모형(전자구름 모형)

그림 III-65는 슈뢰딩거의 수소 원자 모형에서 전자의 확률 분포를 나타낸 것으로, 밝게 표시된 영역일수록 전자를 발견할 확률이 높고, 어둡게 표시된 영역일수록 전자를 발견할 확률이 낮다. 실험적으로는 어떤 시간에 특정한 영역에서 전자를 발견할 확률은 유한하고, 그 값은 0과 1 사이이다. 여기서 확률이 0이면 입자를 결코 발견할 수 없다는 것이고, 확률이 1이면 항상 발견할 수 있다는 것이다.

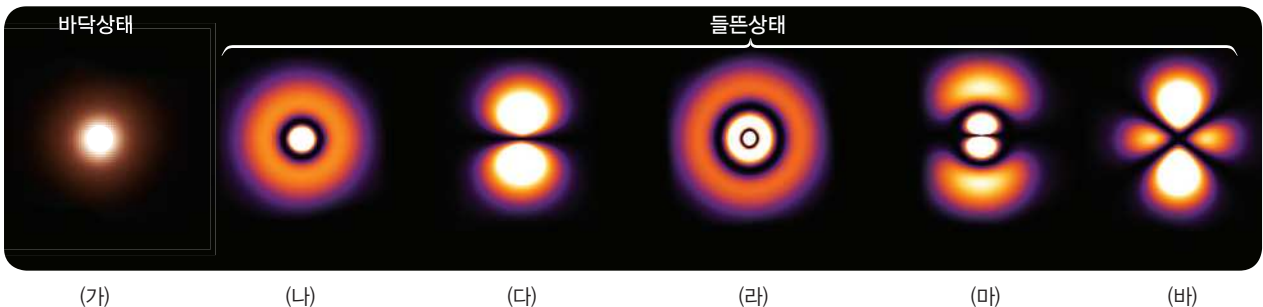


그림 III-65 수소 원자 내 전자의 분포

그림 III-66은 2013년 실험적으로 관측한 수소 원자 내 전자 구름 모양의 하나이다. 이것은 수소 원자 내 전자의 위치를 정확히 측정하는 것은 불가능하며 단지 확률적으로만 구할 수 있다는 현대 원자의 전자구름 모형을 실험적으로 증명한 것이다.

이처럼 물질과 이론과 불확정성 원리는 미시 세계가 거시 세계와 달리 입자와 파동의 이중성을 반드시 고려해야 하는 세계라는 것을 알게 하였고, 이를 토대로 슈뢰딩거는 구름 모형을 제시하여 수소 원자 내 전자의 위치를 정확히 아는 것은 불가능하며 단지 확률적으로만 구할 수 있다는 것을 보여 주었다. 전자구름 모형은 현대 수소 원자 모형의 토대가 되었으며 전자나 원자처럼 매우 작은 미시 세계의 운동을 설명하는 새로운 물리 이론인 양자 역학으로 발전하게 되었다.

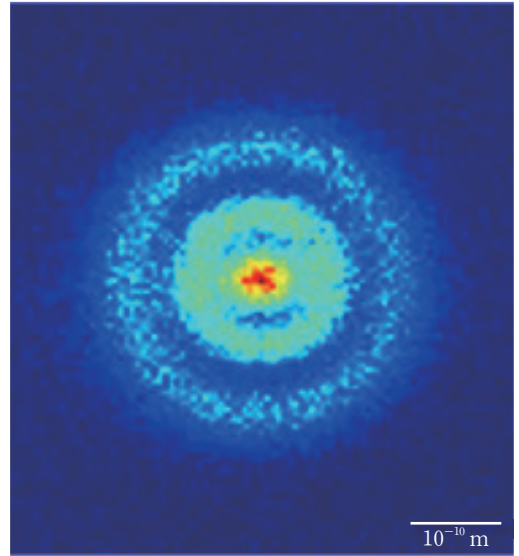


그림 III-66 전자구름 모형의 실험적 증거

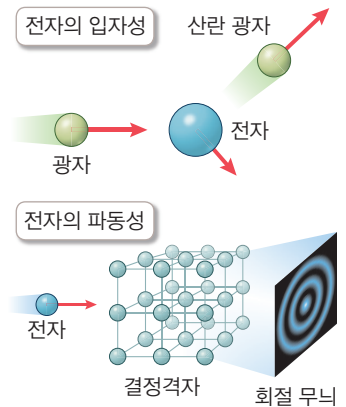
원리가 보이는 물리

불확정성 원리와 상보성 원리

어떤 전자의 위치를 보다 정확히 알기 위해서는 짧은 파장(또는 큰 운동량)의 현미경을 사용해야 하지만, 이 때문에 전자의 운동량 측정은 더욱 부정확해진다. 하이젠베르크는 관측 행위가 관측 대상에 영향을 준다는 새로운 사고의 틀을 찾아내었다.

이와 유사하게 보어는 양자 역학이 적용되는 미시 세계의 물체는 어떤 실험을 하느냐에 따라 입자 또는 파동의 성질을 보인다고 주장하였다. 이를 보어의 상보성 원리라고 한다. 예를 들면, 전자는 광자와 충돌할 때는 입자의 성질을 보이지만 결정격자를 통한 회절 실험에서는 파동처럼 행동한다. 하지만 절대로 동시에 입자이며 파동일 수 없다는 점에서 상호 보완성 또는 상보성이라고 부른다.

- 보어의 상보성 원리를 빛에 적용해 설명해 보자.



평가하기

개념 이해

- 1 불확정성 원리에서 위치의 불확정도가 감소할 때 불확정도가 커지는 물리량은 어떤 것들이 있을까?
- 2 현대의 수소 원자 모형에서 전자는 어떤 모습으로 존재하는가?

창의·융합

- 3 현대의 수소 원자 모형과 보어의 수소 원자 모형에 대해 비교하고 토론해 보자.



중단원 정리하기

> 핵심 내용 정리하기

빛의 입자성

1. 광전 효과: 금속 표면에 빛을 비추었을 때 금속 표면에서 전자가 방출되는 현상이다.

① 광전자: 광전 효과에 의해 방출된 전자

② W_0 : 금속 표면에서 전자를 방출하는데 필요한 최소 에너지로, 금속에 따라 다르다.

③ 정지 전압: 광전류가 흐르지 못하게 하는 역방향 전압의 최솟값이다.

2. 광양자설: 빛은 광양자라는 불연속적인 에너지의 흐름이다.

① 진동수가 f 인 빛은 에너지가 $E = hf$ 인 입자이다.

② 광전자의 최대 운동 에너지:

$$E_{\text{최대}} = hf - W_0$$

① 1번 ② 2번 ③ 1번

>> 기초 개념 익히기

1 빛은 연속적인 파동의 흐름이 아니라 ()라는 불연속적인 에너지 입자의 흐름이다.

2 진동수가 f 인 광양자의 에너지는 ()이다.

3 문턱 진동수가 f_0 인 금속 표면에 진동수가 f 인 빛을 비추었을 때 전자가 방출되었다면, 방출된 광전자의 최대 운동 에너지는 ()이다.

물질의 파동성

1. 물질파: 입자가 파동의 성질을 나타낼 때, 이 파동을 물질파 또는 드브로이파라고 한다.

2. 보어의 양자 조건: 원자 속의 전자는 특정한 조건을 만족하는 원 궤도를 회전할 때 $2\pi r = n\lambda$ 를 방출하지 않고 안정된 운동을 한다.

3. 슈뢰딩거의 정상파 조건: 양자화된 특정한 원 궤도를 따라 운동하는 전자의 물질파는 $2\pi r = n\lambda$ 를 이룬다.

4. 물질파의 확인: 데이비슨·거머 전자 회절 실험, 톰슨 전자 회절 실험

① 1번 ② 1번 ③ 1번

4 운동량이 p 인 입자의 드브로이 파장 λ 는 ()이다.

5 반지름이 r 인 원 궤도를 따라 운동하는 파장이 λ 인 물질파가 정상파를 이루기 위한 조건은 ()이다.

불확정성 원리

1. 위치-운동량 불확정성 원리: 입자의 위치와 Δx 을 동시에 정확하게 측정할 수 없다는 원리이다.

$$\Delta x \Delta p \geq \frac{\hbar}{2}$$

2. 현대의 수소 원자 모형(전자구름 모형): 수소 원자 내 전자의 위치를 정확히 측정하는 것은 불가능하며 단지 Δx 적으로만 구할 수 있다.

① 1번 ② 1번 ③ 1번

6 위치의 불확정도가 Δx , 운동량의 불확정도가 Δp 일 때, 위치와 운동량 사이의 불확정성은 ()이다.

개념 확인하기

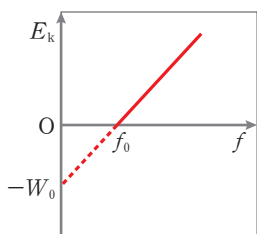
1 광전 효과 실험 결과에 대한 설명으로 옳은 것만을 보기에서 있는 대로 고른 것은?

보기

- ㄱ. 빛의 입자성을 증명한 실험이다.
- ㄴ. 문턱 진동수 이상의 빛만 광전자를 방출한다.
- ㄷ. 광전자의 최대 운동 에너지는 쪼여 주는 빛의 세기에 비례한다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄴ
- ④ ㄱ, ㄷ ⑤ ㄴ, ㄷ

2 그림은 진동수를 바꾸어 가며 금속판에 빛을 쪼였을 때 발생한 광전자의 최대 운동 에너지 E_k 와 빛의 진동수 f 의 관계를 나타낸 것이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 보기에서 있는 대로 고른 것은?

보기

- ㄱ. 기울기는 플랑크 상수 h 이다.
- ㄴ. 문턱 진동수는 f_0 이다.
- ㄷ. 금속의 일함수는 hf_0 이다.

- ① ㄴ ② ㄱ, ㄴ ③ ㄱ, ㄷ
- ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

3 전자 A의 운동 에너지가 전자 B의 운동 에너지의 4배일

때, 두 전자의 드브로이 파장의 비 $\frac{\lambda_A}{\lambda_B}$ 는?

- ① $\frac{1}{4}$ ② $\frac{1}{2}$ ③ 1
- ④ 2 ⑤ 4

4 그림 (가)는 보어의 수소 원자 모형을 나타낸 것이고, 그림 (나)는 현대의 수소 원자 모형을 나타낸 것이다.



(가) (나)

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 보기에서 있는 대로 고른 것은?

보기

- ㄱ. 보어는 (가)에서 전자의 파동성을 설명하였다.
- ㄴ. (나)에서 전자의 위치와 운동량을 동시에 정확히 측정할 수 있다.
- ㄷ. (나)에서 전자의 위치는 확률적으로만 알 수 있다.

- ① ㄴ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ
- ④ ㄱ, ㄷ ⑤ ㄴ, ㄷ

스스로 평가하기

- 1 광전 효과 실험을 근거로 빛의 입자성을 설명할 수 있는가? ☆☆☆☆☆
- 2 입자의 파동성을 물질파 이론과 전자 회절 실험을 근거로 설명할 수 있는가? ☆☆☆☆☆
- 3 수소 원자 내에서 전자의 궤도를 고전 역학으로 설명할 수 없음을 불확정성 원리를 이용하여 설명할 수 있는가? ☆☆☆☆☆

● 평가 점수에 따라 별에 색칠하세요.



단원 마무리

파동

전자기파의 간섭과 회절

간섭: 두 전자기파가 중첩되어 진폭이 달라지는 현상



이중 슬릿의 간섭 실험



$$\Delta x = \frac{L\lambda}{d}$$

회절: 파동이 장애물 뒤에까지 전달되는 현상

도플러 효과

파원과 관찰자의 상대 속도에 따라 진동수가 달라지는 현상

볼록 렌즈에 의한 상

$$\text{초점과 상의 위치: } \frac{1}{a} + \frac{1}{b} = \frac{1}{f}$$

$$\text{렌즈의 배율: } \left| \frac{b}{a} \right|$$

전자기파의 발생과 수신

전자기파의 발생: 전기장과 자기장이 서로를 유도하면서 퍼져 나간다.

안테나를 통한 수신: 안테나 속 전자가 전자기파의 전기장에 의해 진동한다.

현대물리

광전 효과

일함수: 금속 표면에서 광전자를 방출하는 데 필요한 최소에너지

$$\text{광전자의 최대 운동 에너지: } E_{\text{최대}} = hf - W_0$$

물질파

물질파 파장

$$\lambda = \frac{h}{p}$$

전자 궤도의 정상파 조건

$$2\pi r = n\lambda$$

불확정성 원리

위치-운동량 불확정성 원리

$$\Delta x \Delta p \geq \frac{\hbar}{2}$$

현대 원자 모형

전자의 위치를 확률적으로만 알 수 있다.

● 핵심 개념 설명하기 다음은 이 단원에서 배운 핵심 개념이다. 주어진 용어를 사용하여 설명하시오.

간섭과 회절

- 간섭, 회절, 이중 슬릿

전자기파의 발생과 수신

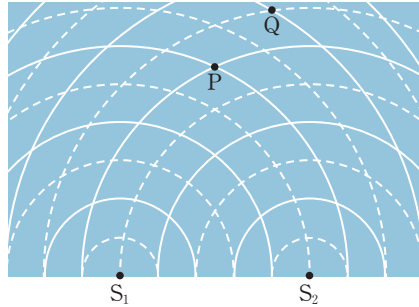
- 전기장, 자기장, 공명 진동수

불확정성 원리

- 위치, 운동량, 불확정성

실력 평가하기

1 그림은 점파원 S_1, S_2 에서 동일한 위상으로 파장이 λ 인 구면파가 발생하는 모습을 나타낸 것으로, 실선은 마루, 점선은 골에 해당한다.



(1) $|\overline{S_1P} - \overline{S_2P}|$ 와 $|\overline{S_1Q} - \overline{S_2Q}|$ 를 각각 구하시오.

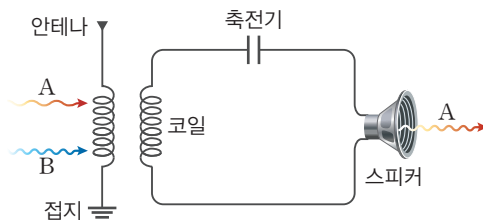
(2) S_1, S_2 에서 파장이 $\frac{\lambda}{2}$ 인 구면파가 발생하면 점 P, Q에서는 각각 어떤 간섭 현상이 나타나겠는가?

2 그림은 진동수가 f_0 인 소리를 발생시키는 구급차가 영희 주위를 일정한 속도로 지나가는 모습을 나타낸 것이다. 구급차가 A 지점과 B 지점을 지날 때 영희가 듣는 소리의 진동수는 각각 f_A, f_B 이다.



$f_A = \frac{100}{95} f_0$ 일 때, f_B 를 구하시오.

3 그림은 방송국 A, B에서 내보낸 전파를 라디오 안테나가 수신한 후 A의 방송만을 스피커로 재생하는 모습을 모식적으로 나타낸 것이다. 이에 대한 설명으로 옳은 것만을 보기에서 있는 대로 고른 것은?



- 보기**
- ㄱ. 회로의 공명 진동수는 코일과 축전기에 의해 결정된다.
 - ㄴ. 회로의 공명 진동수는 A에서 내보낸 전파의 진동수와 같다.
 - ㄷ. 축전기의 전기 용량을 조절하면 B의 방송을 스피커로 재생할 수 있다.

- ① ㄴ
- ② ㄷ
- ③ ㄱ, ㄴ
- ④ ㄱ, ㄷ
- ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

핵심 바로 알기

파동의 간섭

두 파동이 동일한 위상으로 중첩되면 보강 간섭이, 반대 위상으로 중첩되면 상쇄 간섭이 일어난다.

➔ 151쪽

도플러 효과

음원이 운동할 때 관찰자가 측정하는 파동의 진동수는 다음과 같다.

$$f = \left(\frac{v}{v \pm v_s} \right) f_0$$

v : 파동의 속력

v_s : 파원의 속력

(+) 부호: 파원이 멀어질 때

(-) 부호: 파원이 다가올 때

➔ 155쪽

방송 통신

교류 회로의 공명 진동수는 코일과 축전기에 의해서 결정되며, 전파의 진동수가 회로의 공명 진동수와 같을 때 전류가 가장 잘 흐른다.

➔ 163쪽



핵심 바로 알기

이중 슬릿에 의한 간섭
간섭무늬 사이의 간격(Δx)은
다음과 같다.

$$\Delta x = \frac{L\lambda}{d}$$

L : 슬릿과 스크린 사이의 거리
 d : 두 슬릿 사이의 간격
 λ : 빛의 파장

→ 170쪽

광전자의 최대 운동 에너지
금속판에서 튀어 나오는 광전자의
최대 운동 에너지는 다음과
같다.

$$E_{\text{최대}} = hf - W_0 \\ = \frac{hc}{\lambda} - W_0$$

→ 181쪽

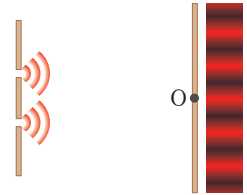
드브로이 정상파 조건

드브로이 정상파 조건은 다음과
같다.

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

→ 184쪽

- 4 그림은 이중 슬릿에 입사한 빨간색 레이저 빛에 의해 스크린에 나타난 간섭무늬이다. 점 O는 두 슬릿에서 같은 거리만큼 떨어진 지점이다. 이중 슬릿에 입사시키는 빛만 파란색 레이저 빛으로 바꾸었을 때, 이에 대한 설명으로 옳은 것만을 보기에서 있는 대로 고른 것은?

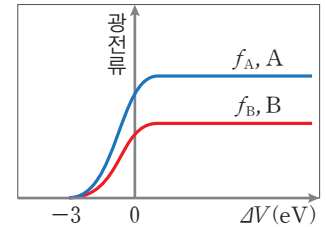


보기

- ㄱ. 슬릿에서 빛이 더 크게 회절한다.
- ㄴ. O에서 두 빛이 보강 간섭 한다.
- ㄷ. 간섭무늬의 간격이 좁아진다.

- ① ㄱ
- ② ㄴ
- ③ ㄱ, ㄴ
- ④ ㄴ, ㄷ
- ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

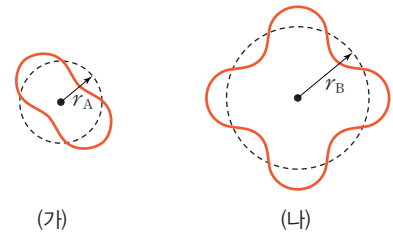
- 5 그림은 광전관의 금속판에 진동수가 각각 f_A, f_B 인 두 빛 A와 B를 비추었을 때, 회로에 흐르는 광전류와 금속판 양단의 전압차 ΔV 사이의 관계를 나타낸 것이다.



- (1) A와 B에 의한 광전자의 최대 운동 에너지를 비교하시오.

- (2) 금속의 일함수가 3 eV일 때, 빛 A의 광자 1개가 갖는 에너지는 몇 eV인가?

- 6 그림은 보어의 수소 원자 모형에서 반지름이 각각 r_A, r_B 인 궤도에 대한 전자의 물질파가 정상파를 이루는 모습을 모식적으로 나타낸 것이다. 양자수가 n 일 때 원자의 에너지 준위는 E_n 이다. 이에 대한 설명으로 옳은 것만을 보기에서 있는 대로 고른 것은?



보기

- ㄱ. (가)에서 전자의 물질파 파장은 $2\pi r_A$ 이다.
- ㄴ. (나)에서 전자의 에너지 준위는 E_4 이다.
- ㄷ. $r_A : r_B = 1 : 4$ 일 때, (가)에서 전자의 속력은 (나)에서의 2배이다.

- ① ㄴ
- ② ㄷ
- ③ ㄱ, ㄴ
- ④ ㄱ, ㄷ
- ⑤ ㄴ, ㄷ

핵심 역량 키우기

과학적 사고력

- + 과학적 의사소통 능력
- + 과학적 탐구 능력

7 전파는 무선 통신에 많이 이용되고 있는 전자기파로, 파장에 따라 더욱 세분화하여 여러 분야에 이용되고 있다. 파장이 긴 전파와 짧은 전파는 각각 무선 통신에서 어떤 장점을 지니고 있을지 서술하시오.

과학적 문제 해결력

- + 과학적 의사소통 능력
- + 과학적 탐구 능력

8 그림은 볼록 렌즈로 만든 휴대용 확대경을 이용하여 화강암의 모습을 확대해서 관찰하는 모습을 나타낸 것이다.



- (1) 렌즈와 화강암 사이의 거리를 렌즈의 초점 거리와 비교하시오.
- (2) 확대경에 이용하는 볼록 렌즈를 초점 거리가 짧은 것으로 바꾸면 어떤 장점과 단점이 생기는지 서술하시오.

과학적 문제 해결력

- + 과학적 사고력

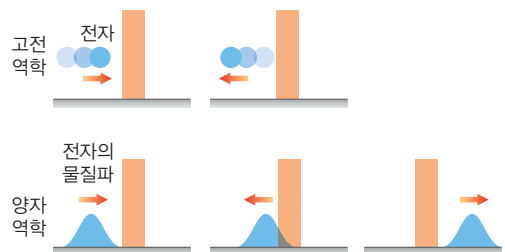
9 러더퍼드는 수소 원자 내 전자가 원자핵을 중심으로 원운동한다고 주장하였다. 하지만 전자기 이론에 의하면 전자가 가속도 운동을 하면, 그림과 같이 전자기파를 방출하며 에너지를 잃어버리고 나선을 그리며 핵으로 끌려 들어가 핵과 충돌해야 한다. 러더퍼드의 주장과는 달리 전자가 원자핵과 충돌할 수 없음을 불확정성 원리를 이용하여 서술하시오.



- 우리는 미시 세계의 여러 현상을 접할 때마다 역설을 만나곤 한다. 하지만 이러한 현상들은 역설이 아니라 거시 세계에 살고 있는 우리에게 익숙하지 않은 현상일 뿐이다. 다음 자료를 통해 미시 세계의 현상을 알아보자.

자료 1 터널링 효과

그림과 같이 장벽의 높이보다 작은 에너지를 갖는 입자들은 장벽을 통과할 수 없다. 하지만 양자 역학이 적용되는 미시 세계의 전자나 입자들은 파동의 성질도 갖고 있어 고전적 이론으로는 뚫고 지나갈 수 없어 보이는 장벽을 뚫고 지나갈 확률이 존재한다. 이러한 현상을 ‘터널링’ 효과라고 한다.



자료 2 슈뢰딩거의 고양이 역설

보어를 중심으로 한 코펜하겐 학파의 양자 역학 해석에 따르면, 미시 세계의 한 입자는 관측하기 전에는 동시에 여러 가능한 상태에 있을 수 있으며, 관측을 하는 순간 어느 한 상태만이 실현된다.



슈뢰딩거는 이러한 해석에 이의를 제기하기 위해 고양이와 독가스 병이 들어 있는 상자를 생각하였다. 병은 마개로 막혀 있고, 방사능 물질이 붕괴하면 망치가 병을 내리쳐 독가스가 유출된다. 방사능 물질이 1시간 내에 붕괴할 확률이 $\frac{1}{2}$ 이라고 하면 상자를 열기 전에는 고양이의 상태를 알 수 없으며, 고양이는 살아 있으면서 동시에 죽어 있는 상태를 가져야 한다. 슈뢰딩거는 “살아 있으면서 동시에 죽어 있는 고양이 상태가 가능한가?”라는 질문을 함으로써 코펜하겐 학파의 해석에 이의를 제기하였다. 하지만 이 사고 실험은 역설적이게도 이후 양자 역학의 해석이 옳다는 것을 입증하는 데 자주 인용되고 있으며, 이를 ‘슈뢰딩거의 고양이 역설’이라고 한다.

코펜하겐 학파
양자 역학의 체계를 확립한 보어를 주축으로 하이젠베르크, 보른, 파울리 등이 속한 학파로, 양자 역학의 발전을 주도하였다.

토의하기

- 자료 1을 읽고 낙타가 바늘구멍을 통과할 수 있는지 없는지를 고전 역학과 양자 역학 관점에서 토의해 보자.

조사하기

- 자료 2에서 측정하기 전 입자가 동시에 여러 가능한 상태에 있을 수 있다는 양자 역학의 해석이 옳다는 것을 입증하는 예를 조사해 보자.

예 야구 경기를 통한 여러 상태의 중첩 현상

1. 타자가 타석에 들어서면 공을 치기 전까지는 여러 가지 가능성(상태)이 중첩되어 있다. (삼진, 안타, 홈런, 몸에 맞는 볼 등등)
2. 공을 치는 순간 가능한 모든 상태 중 한 가지만 실현된다.
3. 타자의 타율은 양자 역학에서 각각의 상태가 실현될 확률과 비슷하다.



글쓰기

- 자료 1과 2의 미시 세계 현상을 조사하면서 느낀 점이나 알게 된 점을 정리해 보자.










부록

도움 자료	• 203
실험실 안전 수칙	• 205
정답과 해설	• 208
찾아보기	• 218
자료 출처	• 221



국제단위계(SI)

(1) SI 기본단위

기호(명칭)	양	정의
 m(미터)	길이	1 m는 빛이 진공 중에서 $\frac{1}{299792458}$ 초 동안 진행한 경로의 길이이다.
 kg(킬로그램)	질량	1 kg은 질량의 단위이며, 국제 킬로그램원기의 질량이다. 킬로그램원기는 프랑스의 무게와 측정에 관한 국제 사무국의 Sevres 지하실에 보관되어 있고, 백금과 이리듐의 합금으로 특수 제작된 원기둥이다.
 s(초)	시간	1초는 세슘-133 원자의 바닥상태에 있는 두 개의 초미세 준위 사이의 전이에 해당하는 복사선의 주기의 9192631770배에 해당하는 시간이다.
 K(켈빈)	온도	1 K은 순수한 물의 삼중점의 열역학적 온도의 $\frac{1}{273.16}$ 을 단위로 한 열역학적 온도의 단위이다.
 cd(칸델라)	광도	1 cd는 임의의 방향으로 진동수 540×10^{12} Hz인 단색 복사선을 방출하고, 그 방향으로 스테라디안당 $\frac{1}{683}$ W의 복사 세기를 가지는 광원의 발광 강도이다.
 A(암페어)	전류	1 A는 진공 중에서 1 m 떨어져 있고, 단면적을 무시할 수 있는 무한히 긴 평행 도체 사이에 1 m 당 2×10^{-7} N의 힘이 작용하도록 하는 정상 전류이다.
 mol(몰)	물질량	1 mol은 질량수 12인 탄소 0.012 kg에 있는 탄소 원자의 수와 같은 실체들을 포함하고 있는 계에 있는 물질의 양이다.

(2) SI 유도단위

기호(명칭)	유도량	정의
N(뉴턴)	힘	1 N은 1 kg의 질량에 1 m/s^2 의 가속도가 생기게 하는 힘이다.
J(줄)	에너지, 일, 열량	1 J은 1 N의 힘을 작용하여 힘의 방향으로 1 m를 이동할 때 일이다.
W(와트)	일률, 전력, 복사선속	1 W는 1초당 1 J의 에너지를 소모하는 전력이다.
C(쿨롱)	전하량	1 C은 1 A의 전류가 1초당 운반하는 전하량이다.
V(볼트)	전위차, 기전력	1 V는 도선에서 두 점 사이에 소모되는 전력이 1 W일 때, 1 A의 일정한 전류를 운반하는 두 점 사이의 전위차이다.
Ω(옴)	전기 저항	1 Ω은 도체의 두 점 사이에 가해진 1 V의 일정한 전위차에서 그 도체에 1 A의 전류가 흐르게 하는 도체의 두 점 사이의 전기 저항이다.



(3) SI 접두어

인자	접두어	기호	인자	접두어	기호
10^{12}	테라(tera)	T	10^{-1}	데시(deci)	d
10^9	기가(giga)	G	10^{-2}	센티(centi)	c
10^6	메가(mega)	M	10^{-3}	밀리(milli)	m
10^3	킬로(kilo)	k	10^{-6}	마이크로(micro)	μ
10^2	헥토(hecto)	h	10^{-9}	나노(nano)	n
10^1	데카(deca)	da	10^{-12}	피코(pico)	p

물리 상수

물리량	기호	상수값: () 안의 값은 마지막 두 자리 값에 대응하는 불확도
광속(진공에서)	c	2.99792458×10^8 m/s
중력 상수	G	6.67259×10^{-11} N·m ² /kg ²
중력 가속도	g	9.80665 m/s ²
볼츠만 상수	k	$1.3806503(24) \times 10^{-23}$ J/K
진공 유전율	ϵ_0	$8.854187817 \times 10^{-12}$ F/m
기본 전하량	e	$1.602176462(63) \times 10^{-19}$ C
전자의 정지 질량	m_e	$9.10938188(72) \times 10^{-31}$ kg
플랑크 상수	h	$6.62606876(52) \times 10^{-34}$ J·s

회로 기호

전구	전지	가변 저항	전압계	다이오드	n-p-n형 트랜지스터
스위치	저항	접지	전류계	발광 다이오드	p-n-p형 트랜지스터



실험실에서 **안전하게 실험**하려면

안경

- 긴 머리는 묶는다.
- 콘택트렌즈는 착용하지 않는다.

보안경

- 약품이 튀거나 눈에 이물질이 닿을 때를 대비하여 착용한다.
- 레이저 광원을 사용하는 실험, 파편이 튀는 실험을 할 때 착용한다.

마스크

- 끈을 조여 최대한 얼굴에 밀착되게 착용한다.

실험복

- 불이 잘 안 붙고 약품 등과의 반응이 적은 재질로 되어 있다. 따라서 실험을 할 때는 반드시 실험복을 입는다.
- 내 몸에 맞는 실험복을 입는다.
- 실험복은 정기적으로 세탁하고 심하게 오염된 것은 폐기한다.

실험용 보호 장갑

- 면장갑, 방열 장갑, 라텍스 장갑 등 여러 종류가 있으니 필요에 맞게 선택한다.
- 손을 완전히 덮고 장갑과 손목 사이에 틈이 생기지 않게 충분히 길어야 한다.
- 장갑을 벗을 때는 피부에 닿지 않게 주의하고, 장갑을 벗은 후 손을 비누로 씻는다.

운동화와 같이 발등을 덮는 신발을 신는다. 절대 슬리퍼를 신지 않는다.

실험 **도구 주의** & 안전한 **행동 지침**

실험 도구 주의	안전한 행동 지침
<ul style="list-style-type: none"> • 인화성 물질을 사용할 때에는 알코올램프나 핫플레이트와 같은 열원을 멀리 해야 한다. • 전기 기구는 절대 젖은 손으로 만지지 않는다. • 알코올램프 사용에 특히 주의하며, 유리 기구는 깨지지 않도록 주의하여 다룬다. • 모든 시약은 유독하다고 간주하고 직접 접촉하지 않으며, 시약병을 함부로 들고 다니지 않는다. 	<ul style="list-style-type: none"> • 실험실 내에서는 잡담하거나 뛰는 등의 장난을 치지 않는다. • 실험실 내에서 음식을 먹어서는 안 되며, 무단으로 자리를 이탈하지 않는다. • 실험실에 비치된 소화기, 안전 샤워기, 비상구, 전기 차단기의 위치를 미리 확인한다. • 실험 전후에 정리 정돈을 잘한다.

안전사고 대처 요령은

전기 기구의 고장을 발견하거나 위험을 느꼈을 때

위험 발견! 상태가 이상해요!

즉시 선생님이나 주변 학생들에게 알린다.

학생 → 신고 → 선생님

다른 학생이 감전되었을 때

전원을 내리고 재빨리 전기 기구와 분리시키며 119에 신고한다.

감전 사고 발생 → 전원 OFF → 전기 기구 분리 → 신고 → 병원

감전으로 학생의 의식이 없을 때

- 1 안전한 바닥에 눕히고
- 2 119 구급대가 도착할 때까지 심폐소생술을 실시한다.

도착할 때까지 → 하나, 둘

유리 기구가 깨졌을 때

깨진 유리 조각은 만지지 않고 선생님께 알린 후 지시에 따라 처리한다.

X (만지지 않음) → 쟁그랑 (깨짐) → 처리

상처가 났을 때 피가 나면

소독용 에탄올로 소독한 후 깨끗한 천으로 눌러 지혈하고 보건실이나 병원에서 치료를 받는다.

누른다 → 소독 → 지혈

어지러움을 느낀다면

선생님과 다른 학생들에게 상황을 알린 후 옷을 느슨하게 풀고 편한 의자에 앉거나 눕는다.

어지러워 → 옷을 느슨하게

화재가 발생했을 때

“불이야!”라고 외쳐 선생님과 다른 학생들에게 상황을 알리고, 젖은 걸레나 실험복 등으로 덮어서 끈다.

소화기 → 신고 → 119

- 1 큰 불이 났을 때 소화기로 불을 끄며 화재경보기를 울리고 119에 신고한다.
- 2 신속하게 대피 몸을 낮춘 상태에서 수건 등으로 코와 입을 막고 비상 대피로를 통해 밖으로 나간다.

불이야! → 불이야! → 대피 → 몸을 낮추고

화상을 입었을 때


차가운 물로 씻고 열기를 식힌 후 즉시 선생님께 상황을 알리고 의사의 진료를 받는다.

신고 → 진료 → 의사

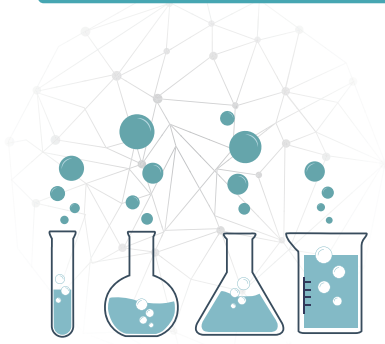
옷에 불이 붙으면

물에 젖은 실험복으로 덮어서 불을 끈다.

불이야! → 덮는다



안전사고가 일어나면 주변에 큰 소리로 알리고, 선생님의 지시를 따라야 한다.



나의 실험실 안전 불감증 지수는?

내용	확인	
	예	아니오
1 실험실에서 장난을 치거나 음식을 먹은 적이 있다.	예	아니오
2 경미한 실험실 사고를 비밀로 덮어 둔 적이 있다.	예	아니오
3 젖은 손으로 전기 기구나 전선을 만진 적이 있다.	예	아니오
4 전기 기구를 사용할 때 연결 상태를 확인하지 않고 전원을 켜 적이 있다.	예	아니오
5 레이저를 스크린이 아닌 곳에 비춘 적이 있다.	예	아니오
6 실험 중 자리를 비운 적이 있다.	예	아니오
7 실험 유의 사항을 제대로 듣지 않은 적이 있다.	예	아니오
8 실험복, 보호 장갑, 보안경 등 안전 장비를 착용하지 않은 적이 있다.	예	아니오
9 실험을 하고 나서 폐기물을 함부로 버린 적이 있다.	예	아니오
10 실험실 사고가 나에게서는 일어나지 않을 것으로 믿는다.	예	아니오
'예'의 개수		

나의 안전 지수

'예'라고 답한 개수	
8개~10개	심각한 안전 불감증입니다. 앞으로는 실험실 안전 주의 사항을 꼼꼼히 읽고 실험에 임하세요!
4개~7개	안전 불감증이 우려됩니다. "나는 실험실 수칙을 잘 지키고 있다."라고 착각하고 있지는 않은지 확인해 보세요. 나의 안전은 누구도 대신 책임지지 않습니다.
1개~3개	안전 수칙을 지키려고 노력하지만 2% 부족합니다. 사고는 부족한 2%에서 일어납니다. 완벽하게 숙지해 주세요.
0개	짜짜짜~! 당신을 실험실 안전맨으로 임명합니다. 당신의 안전 바이러스를 주변 사람들에게도 널리 퍼뜨려 주세요.



I 역학적 상호 작용

01 힘과 평형

15쪽 평가하기 1 벡터량, 스칼라량

2 50 N

3 변위는 같지만 이동 거리는 달라진다. 또한, 걸린 시간이 달라지면 평균 속력과 평균 속도도 달라진다.

20쪽 평가하기 1 10 N·m

$$\tau = rF = 0.5 \text{ m} \times 20 \text{ N} = 10 \text{ N} \cdot \text{m}$$

2 힘의 평형과 돌림힘의 평형

3 지레, 문손잡이, 드라이버, 스패너, 자전거의 기어, 도르레 등

21쪽 **생각해 보기** 1 아래쪽이 넓을수록 바닥면과 접촉면이 커서 구조물의 안정성이 높기 때문이다.

과학적 문제 해결력 2 다리가 3개일 때 바닥면이 고르지 않아도 바닥면에 삼각형의 접촉면을 쉽게 만들 수 있으며, 카메라를 꼭짓점으로 사면체 형태가 되어 다른 입체 도형에 비해 바닥면과 접촉하는 면적이 커서 안정적으로 카메라를 지탱할 수 있기 때문이다.

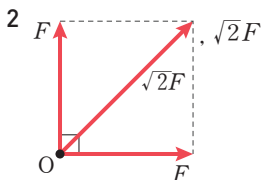


중단원 정리하기

22쪽, 23쪽

기초 개념 익히기

1 속도, 가속도, 운동량



3 밧, 클

4 드라이버, 스패너 등

5 20 N·m

$$\tau = rF = 0.5 \text{ m} \times 40 \text{ N} = 20 \text{ N} \cdot \text{m}$$

6 힘, 돌림힘

개념 확인하기

1 ㄱ

ㄱ은 합력이 $4\sqrt{3}$ N이고, ㄴ, ㄷ, ㄹ의 합력은 5 N이다.

2 ④

(나)는 두 힘이 평형을 이루지만, 돌림힘이 평형을 이루지 않아 물체가 회전한다.

3 ④

시소는 받침대를 중심으로 돌림힘이 평형을 이루어야 한다. 따라서 $40 \text{ kg} \times 90 \text{ cm} = 30 \text{ kg} \times x$ 에서 $x = 120 \text{ cm}$ 이다.

4 ③

물체의 무게는 40 N보다 크고, 손에 의한 돌림힘과 물체의 무게에 의한 돌림힘은 같다.

02 물체의 운동

28쪽 **물음** 연직 위로 던진 물체의 가속도는 위치에 상관없이 9.8 m/s^2 이다.

28쪽 평가하기 1 등가속도 운동

2 2 m/s^2

20 m/s로 달리다가 10초 만에 정지하였으므로 가속도는

$$\frac{(0 - 20) \text{ m/s}}{10 \text{ s}} = -2 \text{ m/s}^2 \text{이다.}$$

3 공기 저항이 없을 때 지면에 충돌하기 직전 빗방울의 속도는 고도가 높을수록 빨라진다. 2 km의 고도에서 떨어진 빗방울은 지면에 도달할 때 거의 200 m/s의 속력이 된다.

33쪽 평가하기 1 수평 방향은 작용하는 힘이 없으므로 등속도 운동이고, 연직 방향은 일정한 크기의 중력이 작용하므로 등가속도 운동이다.

2 던지는 속력과 던지는 각도

3 비행기에서 떨어뜨린 구명조끼는 수평으로 던진 포물선 운동을 하며, 낙하하는 데 걸리는 시간 t 는 $\sqrt{\frac{2H}{g}}$ 이다. 따라서 수평 방향 이동 거리 R 는 $v_0 \sqrt{\frac{2H}{g}}$ 이다. 그러므로 구명조끼를 받을 사람으로부터 수평으로 $v_0 \sqrt{\frac{2H}{g}}$ 떨어진 거리에서 구명조끼를 떨어뜨린다.

37쪽 **창의력 키우기** 추가 가장 높은 지점을 지날 때 줄이 당기는 힘과 추에 작용하는 중력은 그 방향이 같다. 추가 가장 낮은 지점을 지날 때 장력은 중력과 반대 방향으로 작용한다. 등속 원운동을 하므로 이 두 지점에서 추의 구심력은 같다. 따라서 줄이 추를 당기는 힘은 최고점을 지날 때 더 작다. 이를 식으로 정리하면 다음과 같다.

$$\text{최고점: } \frac{mv^2}{r} = T_t + mg, T_t = m\left(\frac{v^2}{r} - g\right)$$

$$\text{최저점: } \frac{mv^2}{r} = T_b - mg, T_b = m\left(\frac{v^2}{r} + g\right)$$

38쪽 평가하기 1 운동하는 때 순간 속도의 방향이 바뀌기 때문이다.

$$2 a = r\omega^2, a = \frac{v^2}{r}$$

3 경사면 아래로 미끄러지지 않게 한다.

42쪽 창의력 키우기 실험을 위해 막대의 양 끝에 납으로 된 크기와 질량이 동일한 공을 매달고 이를 가느다란 줄에 매달아 수평 방향으로만 회전하게 한다. 이 두 공 부근에 또 다른 동일한 큰 공 두 개를 각각 가까이 대면 중력에 의해 서로 끌어당기게 되고 이때 막대가 회전한 각도를 측정하여 중력을 계산하여 중력 상수를 알아내었다.

42쪽 평가하기 1 행성의 공전 주기의 제곱은 긴반지름의 세제곱에 비례한다.

2 거리의 제곱에 반비례한다.

3 지표면상에서 떨어지는 물체는 일정한 중력 가속도로 지구 중심을 향해 떨어진다. 물이 높은 곳에서 낮은 곳으로 흐르고, 중력 때문에 공기의 밀도 차이로 대류가 일어난다.

43쪽 생각해 보기 1 지표면 부근에서 자유 낙하 하는 물체는 1초에 약 5 m를 낙하한다. 그런데 지구의 지표면은 수평으로 8 km마다 지구의 중심 방향으로 약 5 m씩 줄어드는 모양을 하고 있다. 따라서 포탄의 속력이 약 8 km/s 정도이면 원운동을 할 수 있다.



중단원 정리하기

44쪽, 45쪽

기초 개념 익히기

1 변위

2 19.6 m

$$s = v_0 t + \frac{1}{2} a t^2 = \frac{1}{2} \times 9.8 \text{ m/s}^2 \times (2 \text{ s})^2 = 19.6 \text{ m}$$

3 등속도, 등가속도

4 20 m/s

5 10초

6 각속도는 2배가 된다.

7 면적 속도

8 $1 : 2\sqrt{2}$

개념 확인하기

1 ③

$$v = v_0 + at = 20 \text{ m/s} - 10 \text{ m/s}^2 \times 3 \text{ s} = -10 \text{ m/s}$$

2 ⑤

1.2초마다 한 바퀴, $2\pi \text{ rad}$ 을 회전하므로 3초에 두 바퀴 반을 회전한다. 따라서 $5\pi \text{ rad}$ 을 회전한다.

3 ③

정지 위성의 공전 궤도 반경은 $35800 \text{ km} + 6400 \text{ km} = 42200 \text{ km}$ 이다. 정지 위성의 주기가 24시간이므로 $v = \frac{2\pi r}{T} = \frac{2 \times 3.14 \times 42200 \text{ km}}{24 \text{ h}} \approx 11042 \text{ km/h}$ 이다.

4 ③

원운동하는 물체의 질량은 공전 속력과 관계없다.

5 건널 수 있다.

수평으로 이동하는 거리 R 는 $R = v_0 \times \cos\theta \times t = 40 \text{ m/s} \times \cos 15^\circ \times 0.5 \text{ s} = 19.4 \text{ m}$ 이므로 건널 수 있다.

03 일반 상대성 이론

51쪽 물음 가속 방향의 반대 방향

51쪽 평가하기 1 관성력

2 등가 원리

3 • 우주선 안의 우주인: 관성력을 경험하므로 아래쪽으로 작용하는 관성력에 의해 물체는 포물선 운동 한다고 관측한다.

• 지구 관측자: 무중력 공간이므로 물체는 직선 운동 한다고 관측한다.

53쪽 물음 • 뉴턴의 중력: 질량을 가진 두 물체 사이에는 인력이 작용한다. 빛과 같은 질량이 없는 물체는 뉴턴의 중력을 받지 않으므로 빛은 항상 직진한다.

• 아인슈타인의 중력: 질량을 가진 물체는 시공간을 휘게 만들고, 이렇게 휘어진 시공간에 의해 중력이 생긴다. 따라서 빛도 질량을 가진 물체 주위를 지나갈 때는 경로가 휘어진다.

56쪽 평가하기 1 중력 렌즈 효과

2 블랙홀

3 블랙홀은 질량에 따라 항성 질량 블랙홀(태양의 3~수십 배), 중간 질량 블랙홀(태양의 수백~수천 배), 초대 질량 블랙홀(태양의 10만~10억 배) 등으로 나눌 수 있다. 한편 블랙홀로 주변 물질이 빠른 속도로 빨려 들어가면서 내는 X선과 자외선을 우주 망원경을 통해 관측할 수 있다.

57쪽 생각해 보기 1 레이저를 서로 수직인 두 방향으로 분리하여 보낸 후 반사된 빛을 다시 합성해 경로 변화를 측정하는 방식으로 시공간의 뒤틀림을 측정한다.

과학적 문제 해결력 2 모범 답안 발견 당시에는 바로 응용할 수 없었던 기초 과학의 발견(예: 상대성 이론)이 오늘날 인류에 지대한 영향을 미치듯이 중력파가 미래 인류에 기여할 수 있는 방향에 대해 상상력을 발휘해 기술해 본다.



중단원 정리하기

58쪽, 59쪽

기초 개념 익히기

1 반대

2 관성, 가속

3 관성 좌표계, 가속 좌표계

4 관성



- 5 중력 렌즈 효과
- 6 질량, 반지름(또는 크기)
- 7 블랙홀

개념 확인하기

- 1 ②
 - ㄱ. 버스의 속도는 점점 감소한다. ㄴ. 영희가 볼 때, 버스의 손잡이에 작용하는 알짜힘(중력 + 장력)은 왼쪽으로 작용하고, 장력이 중력보다 크다.
- 2 ②
 - ㄴ. 원운동하는 물체의 궤도 속력은 물체의 질량에 관계없다.
- 3 ⑤

일반 상대성 원리에 의하면 중력이 시공간을 휘게 하고, 빛이 휘어진 시공간을 따라 이동한다. 또 등가 원리에 따라 중력에 의한 효과와 관성력에 의한 효과를 구분할 수 없다.
- 4 ④
 - ㄴ. 크기가 같을 때 질량이 클수록 공간의 휘어짐이 더 크므로 질량은 항상 B가 A보다 크다.

04 열과 에너지

65쪽 평가하기 1 70 J
 10 N × 7 m = 70 J
 2 500 J

$$\frac{1}{2} m \Delta v^2 = \frac{1}{2} \times 40 \text{ kg} \times (5 \text{ m/s})^2 = 500 \text{ J}$$

3 등속 원운동은 원의 중심으로 구심력이 일정하게 작용하지만 방향만 변할 뿐 속력의 변화가 없으므로 운동 에너지는 변하지 않는다.

70쪽 물음 중앙점에서의 속력은 중력 가속도를 9.8 m/s²으로 했을 때

$$v = \sqrt{2gl(1 - \cos 15^\circ)}$$

$$= \sqrt{2 \times 9.8 \text{ m/s}^2 \times 1 \times (1 - 0.97) \text{ m}}$$

$$\approx 0.77 \text{ m/s로, 측정값과 거의 일치한다.}$$

70쪽 창의력 키우기 단진자의 주기는 $2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$ 이므로 중력 가속도가 4배가 되면 주기는 절반이 되어 1초가 된다. 역학적 에너지는 중력 퍼텐셜 에너지(mgh)와 운동 에너지($\frac{1}{2}mv^2$)의 속력의 제곱($v^2 = 2gl(1 - \cos\theta)$)이 모두 중력 가속도에 비례하므로 지구와 마찬가지로 보존될 것이다.

71쪽 평가하기 1 퍼텐셜 에너지

- 2 진동 궤도의 양 끝점
- 3 서서 탈 때

그네를 서서 타면 무게중심이 위에 있어서 진자의 길이가 줄어

드는 것과 같다. 따라서 서서 탈 때 주기가 짧아 더 빨리 진동한다.

75쪽 평가하기 1 단위 열을 내는 데 필요한 일의 양

2 $1.68 \times 10^6 \text{ J}$
 $400 \text{ kcal} = 400 \text{ kcal} \times 4.2 \times 10^3 \text{ J/kcal} = 1.68 \times 10^6 \text{ J}$
 3 218750명
 다이빙하는 사람의 수를 n이라 하면, 이 사람들이 하는 일 = $n \times 600 \text{ N} \times 10 \text{ m}$ 이다.
 수영장 온도를 높이는 데 드는 열 = $Q = cm\Delta T = 1 \text{ kcal/kg} \cdot \text{K} \times (25 \times 25 \times 5 \times 10^3) \text{ kg} \times 0.1 \text{ }^\circ\text{C} = 312500 \text{ kcal}$ 이다. 이는 $312500 \text{ kcal} \times 4.2 \times 10^3 \text{ J/kcal} = 1312500000 \text{ J}$ 이다. 따라서 $\frac{1312500000 \text{ J}}{6000 \text{ N} \cdot \text{m}} = 218750$ 명이 필요하다.



중단원 정리하기

76쪽, 77쪽

기초 개념 익히기

- 1 0
- 2 10 m/s
- 3 A, E
- 4 10 J
- 5 일
- 6 내부 에너지(온도)

개념 확인하기

1 ④
 공을 던지는 순간 연직 방향의 속도에 의한 운동 에너지가 5 m 높이에 도달할 때 증가한 퍼텐셜 에너지(ΔE_p)와 같아야 한다.

$$\frac{1}{2} m v_0^2 \sin^2 \theta = \Delta E_p = mgh$$

$$v_0^2 = 400 \text{ m}^2/\text{s}^2$$

$$v_0 = 20 \text{ m/s}$$

2 ④
 공이 출발 지점과 같은 높이로 돌아오면 출발 지점의 운동 에너지와 동일한 운동 에너지를 갖는다.

3 ③
 진자의 주기는 진자의 질량과 관계없다.

4 ④
 역학적 에너지가 열로 전환되는 비율은 항상 일정하다.



단원 마무리

79쪽~81쪽

실력 평가하기

11 : 4

80 N의 물체로부터 0.2 m 위치에 받침대를 놓으면 된다. 무게 비가 4 : 1일 때 돌림힘의 평형을 이루기 위해서는 받침대 사이의 거리 비가 1 : 4가 되어야 한다.

2.4 m/s²

등속 원운동에서 구심 가속도 $a = \frac{v^2}{r}$ 으로 속력이 변하지 않을 때 반지름에 반비례한다. 따라서 반지름이 두 배가 되면 구심 가속도는 $\frac{1}{2}$ 배가 된다. 그러므로 구심 가속도는 4 m/s²이다.

3. 3000 J, 100 N

일·운동 에너지 정리에 의해 마찰력이 한 일은 감소한 운동 에너지와 같다. 썰매와 아이의 운동 에너지는 언덕 위에서 수평면으로 내려오는 동안 감소한 퍼텐셜 에너지와 같다. 따라서 감소한 퍼텐셜 에너지 = 감소한 운동 에너지 = 마찰력이 한 일이다.

$F_{\text{마찰력}} \cdot s$ 로부터 마찰력은 $3000 \text{ J} \div 30 \text{ m} = 100 \text{ N}$ 이다.

4 ①

ㄱ. 우주인에게 작용하는 관성력의 크기는 mg 이다. ㄴ. 운동하는 우주선에서 우주인의 몸무게는 지표면에서의 몸무게와 같다. ㄷ. 우주인이 볼 때, 우주인이 수평으로 공을 던지면 공은 포물선 운동을 한다.

5 ②

ㄱ. 줄의 길이를 2배로 하면 주기는 $\sqrt{2}$ 배가 된다. ㄴ. 진자 운동에서 역학적 에너지가 보존되므로 모든 점에서 역학적 에너지는 동일하다. ㄷ. A점에서 O점을 향해 내려갈 때 중력의 운동 방향 성분이 추의 운동 방향과 같으므로 중력은 양(+)의 일을 한다.

6. 1 kcal

$$mgh = 2 \times 5 \text{ kg} \times 10 \text{ m/s}^2 \times 2 \text{ m} \times 20 = 4000 \text{ J}$$

$$\frac{4000}{4} \text{ cal} = 1000 \text{ cal} = 1 \text{ kcal}$$

핵심 역량 키우기

7 언덕을 올라갈 때 저속 기어를 사용하면 축에서부터 힘을 작용하는 체인까지 거리가 멀어 돌림힘의 크기가 커지기 때문이다.

8 블랙홀 주변의 물질이 블랙홀로 원반 형태로 소용돌이치며 빨려 들어갈 때 매우 높은 온도로 가열되어 X선을 방출하므로 블랙홀의 존재를 알 수 있다.

9 **모범 답안** 다양한 형태의 에너지 중에서 인간이 조절하여 사용할 수 있는 에너지의 형태는 제한적이다. 발전소에서 만드는 전기 에너지는 인간이 사용할 수 있지만 번개가 칠 때 생기는 전기 에너지는 사용할 수 없다. 마찰에 의해 발생하는 열에너지는 대부분 공기 중으로 전달되어 사용할 수 없다. 에너지 절약은 인간이 조절하여 사용할 수 있는 에너지를 절약해야 한다는 말이다.

II 전자기장

01 전기장

88쪽 **물음** 반대 방향

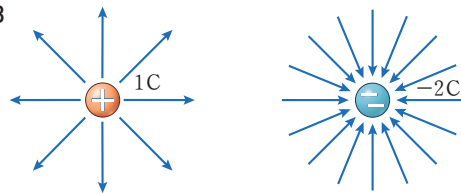
단위 양(+)전하가 받는 전기력의 방향이 전기장의 방향이므로, 음(-)전하는 전기장의 방향과 반대 방향으로 전기력을 받는다.

92쪽 **평가하기 1** 전기력선의 접선 방향이 전기장의 방향이다. 또 단위 면적을 통과하는 전기력선의 수가 많을수록 전기장의 세기가 세다.

2 $\frac{1}{2}E$, 서쪽 방향

+ q 인 점전하에서 거리 r 만큼 떨어진 지점에서의 전기장은 $E = \frac{kq}{r^2}$ 이다. $-2q$ 인 점전하에서 같은 방향으로 거리 $2r$ 만큼 떨어진 지점에서의 전기장은 $-\frac{2kq}{4r^2} = -\frac{1}{2}E$ 이다.

3



전기장의 방향은 전하량이 +1 C일 때는 점전하에서 나오는 방향이고 전하량이 -2 C일 때는 점전하로 들어오는 방향이다. 또 점전하에서 나가거나 들어오는 전기력선의 개수는 -2 C가 +1 C의 2배이다.

94쪽 **참의력 키우기** 원자핵을 구성하는 양성자나 중성자의 질량은 전자의 질량보다 약 1800배 크다. 원자핵은 여러 개의 양성자와 중성자로 구성되므로 전자보다 훨씬 무겁다. 대전체 주위에 있는 원자핵이나 전자가 대전체로부터 받는 전기력의 크기는 같지만 상대적으로 가벼운 전자가 이동하게 된다.

95쪽 **물음** 0

검전기에서 금속막으로 이동하는 전자의 전하량만큼 금속판이 양(+)전하를 띠므로 검전기 전체의 전하량은 0이다.

96쪽 **원리가 보이는 물리 1** 강유전체는 일정 온도 이하에서 전하를 저장하는 효율이 크기 때문이다.

2 강유전체는 유전 분극 상태가 되면 외부 전기장이 사라져도 분극 상태를 유지하기 때문이다.

97쪽 **평가하기 1** 중위조각에서 대전체에 가까운 쪽은 대전체와 다른 종류의 전하를 띠므로 끌려오는 방향으로 전기력을 받고, 대전체에서 먼 쪽은 대전체와 같은 종류의 전하를 띠므로 밀려



나는 방향으로 전기력을 받는다. 그런데 대전체와의 거리가 다르므로 끌려오는 방향의 전기력이 밀려나는 방향의 전기력보다 커서 종잇조각이 대전체 쪽으로 끌려온다.

2 양(+), 음(-)

3 열쇠 같은 금속을 먼저 자동차 문손잡이에 접촉시켜 전자가 빠져나가도록 한다.

99쪽 **물음** 40 mA

$$I = \frac{200 \text{ V}}{5000 \Omega} = 0.04 \text{ A} = 40 \text{ mA}$$

102쪽 **물음** 두 저항이 직렬로 연결된 회로에서는 전자가 두 저항을 차례대로 지나지만 병렬로 연결된 회로에서는 전자가 두 저항 중 한쪽으로부터 흐른다.

104쪽 **창의력 키우기** 체지방 측정기는 사람의 몸을 오른팔, 왼팔, 오른쪽 다리, 왼쪽 다리, 몸통의 5개 원통으로 단순화하여 저항이 혼합 연결된 형태로 간주하고, 각 저항들 사이에 전류를 흐르게 하고 전압을 측정하여 각각의 전기 저항을 구한다. 이를 이용해 인체에 포함된 물과 단백질, 무기질의 양을 구하고, 체중에서 이들의 합을 빼는 방식으로 체지방 양을 구한다.

104쪽 **평가하기 1** 전류, 전압

2 2 : 9

저항값이 각각 6 Ω, 3 Ω인 두 저항을 직렬로 연결하면 전체 저항은 9 Ω이고, 병렬로 연결하면 전체 저항은 2 Ω이 된다. 전압

이 일정할 때 회로에서 소모되는 전력은 $P = \frac{V^2}{R}$ 으로 저항에 반비례하므로, 직렬연결과 병렬연결한 회로에서 소모하는 전력의 비는 2 : 9이다.

3 멀티탭에 연결되는 전기 기구들은 병렬로 연결되므로 많이 연결하면 전체 전류가 증가한다. 멀티탭에 과도한 전류가 흐르면 전선에 열이 많이 발생하여 화재 위험이 있다.

108쪽 **물음** 0.6 V

$$V_B = \frac{1 \text{ k}\Omega}{9 \text{ k}\Omega + 1 \text{ k}\Omega} \times 6 \text{ V} = 0.6 \text{ V}$$

108쪽 **평가하기 1** 컬렉터

2 증폭

3 트랜지스터는 소형이고 적은 전력을 소모하며 능동적으로 전기 신호를 제어할 수 있어서 오늘날 널리 쓰이는 컴퓨터, 스마트폰, 라디오, TV, 프린터, 냉장고 등 거의 모든 전자 기기에는 트랜지스터가 쓰이고 있다.

109쪽 **생각해 보기** 1 AND 게이트: 트랜지스터 1과 트랜지스터 2의 베이스에 모두 전류가 흐른다.

OR 게이트: 트랜지스터 1과 트랜지스터 2 중 한 쪽 또는 두 쪽 모두의 베이스에 전류가 흐른다.

과학적 문제 해결력 2 반가산 회로: 한 자리 이진수의 덧셈을 처리한다.

전가산 회로: 올림을 포함한 이진수의 덧셈을 처리한다.

115쪽 **평가하기 1** 평행판의 면적, 두 판 사이의 간격, 판 사이에 채워지는 물체의 유전율에 따라 달라진다.

2 전기 용량이 일정할 때 축전기에 저장되는 에너지는 전위차의 제곱에 비례한다. 따라서 전위차가 2배가 되면 축전기에 저장되는 에너지는 4배가 된다.

3 전기 제품 내에는 여러 종류의 축전기가 들어 있다. 전원을 끄더라도 축전기가 충전되어 있을 수 있으므로, 회로를 만지면 방전되어 감전될 수 있다.



중단원 정리하기

116쪽, 117쪽

기초 개념 익히기

15 N/C

$$E = \frac{F}{q} = \frac{10 \text{ N}}{2 \text{ C}} = 5 \text{ N/C}$$

2 양(+), 음(-)

3 직렬연결: 9 Ω, 병렬연결: 2 Ω

직렬로 연결하면 $R = 6 \Omega + 3 \Omega = 9 \Omega$ 이고, 병렬로 연결하면 $\frac{1}{R} = \frac{1}{6 \Omega} + \frac{1}{3 \Omega}$ 에서 $R = 2 \Omega$ 이다.

4 6 Ω: 6 W, 3 Ω: 12 W

저항을 병렬로 연결하면 저항 양단에 걸리는 전압이 6 V로 같다. 따라서 소모 전력은 $P = \frac{V^2}{R}$ 에서 $P_6 = \frac{(6 \text{ V})^2}{6 \Omega} = 6 \text{ W}$,

$$P_3 = \frac{(6 \text{ V})^2}{3 \Omega} = 12 \text{ W}$$

5 순방향

6 4배

$C = \epsilon \frac{S}{d}$ 이므로 S 가 2배, d 가 $\frac{1}{2}$ 배가 되었으므로 전기 용량은 총 4배 증가한다.

개념 확인하기

1 ㉓

ㄱ, ㄴ. 전기력선은 양(+전하)에서 나와 음(-전하)로 들어가며, 전기력선 밀도가 클수록 전기장의 세기가 세다.

2 ㉓

ㄱ. 도체에서는 정전기 유도가 일어난다. ㄴ. 절연체에서 유전분극이 일어날 때 대전체에서 먼 쪽은 대전체와 같은 종류의 전하를 띤다.

3 ㉓

전체 저항이 6 Ω이므로 전류의 세기는 2 A이다.

4 ①

트랜지스터에 전류가 흐르려면 이미터와 베이스에는 순방향 바이어스가 걸려야 한다.

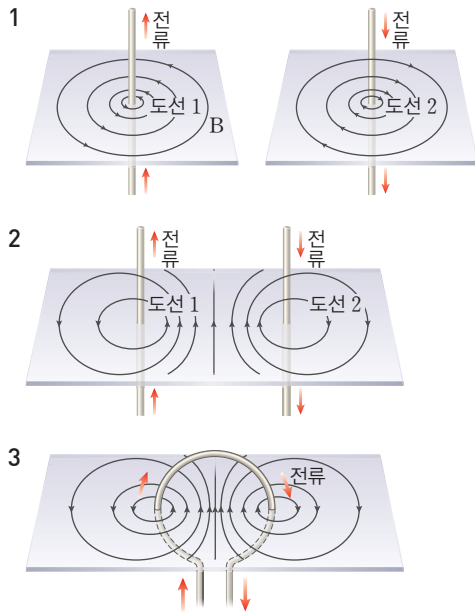
5 $1.13 \times 10^8 \text{ m}^2$

전기 용량 $C = 1 \text{ F}$, 진공의 유전율이 $\epsilon_0 = 8.85 \times 10^{-12} \text{ F/m}$ 이고 극판 간격 $d = 10^{-3} \text{ m}$ 이므로 $C = \epsilon \frac{S}{d}$ 에 각각 대입하면, $S = 1.13 \times 10^8 \text{ m}^2$ 이다.

02 자기장

121쪽 물음 도선을 보다 촘촘히 감아 단위길이상 도선의 감은 수를 크게 한다.

123쪽 스스로 학습하기



4 원형 도선은 여러 개의 작은 직선 도선의 합으로 볼 수 있다. 즉, 그림 (라)에서 전류가 지면 밖으로 흐르는 도선을 그림 (가)의 도선 1, 전류가 지면 아래로 흐르는 도선을 그림 (나)의 도선 2라고 생각할 수 있다. 이렇게 독립된 도선 사이의 거리가 가까워지면서 서로 다른 도선이 만드는 자기장과 합쳐지는데, 이때 원형 도선 중심으로 생기는 자기장의 세기는 강해지고 원형 도선 밖으로 생기는 자기장의 세기는 약해진다.

125쪽 평가하기 1 $2\pi \times 10^{-7} \text{ T}$

$$B = k' \frac{I}{r} = 2\pi \times 10^{-7} \text{ T} \cdot \text{m/A} \times \frac{1 \text{ A}}{1 \text{ m}} = 2\pi \times 10^{-7} \text{ T}$$

2 단위길이상 코일의 감은 수, 전류의 세기에 비례한다.

3 전류에 의한 자기장의 세기는 직선 도선이든 원형 도선이든 작은 직선 선분에 의한 자기장의 합이라고 볼 수 있다. 원의 중심

에서 원형 도선의 모든 선분까지의 거리가 같아서 원형 도선은 중심에서 각 선분이 미치는 자기장의 세기가 같지만, 직선 도선은 수직으로 양 끝으로 갈수록 점점 거리가 멀어지므로 각 선분이 만드는 자기장의 세기가 작아진다. 따라서 그 합인 자기장의 세기도 원형 전류에 비해 작아진다.

130쪽 창의력 키우기 전기 기타의 줄은 강자성체인 철이나 니켈 등으로 이루어졌다. 자석 근처에 있는 강자성체 기타 줄은 자기화되어 있다가, 기타 줄을 튕기면 슬레노이드 근처에서 진동하게 된다. 따라서 슬레노이드에는 기타 줄(자석)의 진동에 의해 전류가 유도된다.

131쪽 평가하기 1 시간에 따른 자기 선속의 변화량. 즉, 자석의 세기가 클수록, 그리고 자석과 코일의 상대적인 운동 속력이 클수록 유도 기전력의 세기가 커진다.

2 자기장의 세기, 코일의 폭, 코일이 움직이는 속도

3 서로 반대 방향으로 감은 픽업 앰프 두 개를 붙여 놓으면 외부의 자기장 변화로 생기는 유도 전류는 서로 상쇄되지만, 기타 줄의 진동으로 생긴 유도 전류는 증폭된다.

135쪽 창의력 키우기 앙페르가 발견한 전류의 세기에 따른 자기장의 세기의 관계를 보면 전류에서 거리가 멀어질수록 자기장의 세기가 약해지는 것을 알 수 있다. 따라서 충전기 패드 내부의 1차 코일과 충전할 기기 내부의 2차 코일 사이의 거리가 멀어질수록 2차 코일에 유도되는 자기장의 세기가 감소하여, 2차 코일 주위에 유도되는 자기장의 세기가 감소하며, 자기장에 의해 유도되는 전류의 세기도 감소한다.

136쪽 평가하기 1 스위치를 켜다 켜다를 빠르게 하면 그만큼 전류가 빠르게 변하므로 상호유도 현상에 의해 유도되는 기전력도 커진다. 이러한 과정에서 전자 부품이 견딜 수 있는 전압 이상의 기전력이 생기면 고장 날 수 있다.

2 1차 코일에서의 자기 선속 변화는 2차 코일에서의 자기 선속 변화와 같다. 이는 에너지 보존 법칙에 해당한다. 유도 기전력은 코일의 감은 수와 자기 선속의 변화율과 같으므로, 자기 선속의 변화율이 같을 때 유도 기전력은 코일의 감은 수에 비례한다. 따라서 코일의 감은 수의 비를 조절하면 유도되는 기전력의 크기를 조절할 수 있는데, 이것이 변압기의 원리이다.

3 스마트카드 내에는 코일이 IC 칩에 연결되어 있다. 카드 단말기는 1차 코일이고 스마트카드는 2차 코일이라고 한다면, 1차 코일에서 생긴 자기 선속의 변화가 상호유도 현상을 일으켜 2차 코일에 유도 기전력을 만들어 스마트카드의 IC 회로가 작동하게 된다.

137쪽 생각해 보기 1 집 안에 콘센트와 각종 전선들이 대부분 사라져서 전자 제품의 디자인이 예전보다 중요해질 것이다. 각종 전자 제품에서 전원 코드가 사라지면서 방수 기능을 비롯하여 휴대성이 더 좋아진다. 보조 배터리 개념이 사라지는 대신에



전자파의 유해성을 방지하기 위한 제품이나 장치들이 등장할 것이다.

과학적 문제 해결력 공진 또는 공명이란 물체가 가진 공명 진동수와 같은 진동수의 외력이 주기적으로 전달되어 진폭이 크게 증가하는 현상을 의미한다. 라디오 주파수를 맞추거나 공중파 TV 채널을 맞추는 것이 공진 현상을 응용한 예이다. 자기 공진 현상은 라디오 주파수를 맞추는 것과 유사하다. 즉, 1차 코일에서 발생한 전자기 진동이 전자기파의 형태로 퍼져 나가 원거리에 떨어진 2차 코일에서 공진을 일으키게 하는 것이다.



중단원 정리하기

138쪽, 139쪽

기초 개념 익히기

- 1 북서쪽
- 2 지면 안으로 들어가는, 반비례
- 3 자석을 코일 속으로 가까이 가져가거나 멀어지게 한다. 또는 자석이나 코일을 회전시킨다.

4 600 V

$$V = N \frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = 100 \times \frac{80 \text{ Wb} - 20 \text{ Wb}}{10 \text{ s}} = 600 \text{ V}$$

5 상호유도 현상

6 11 V

개념 확인하기

- 1 ②
도선으로부터 수직으로 떨어진 거리가 줄어들면 자기장의 세기는 증가한다.
- 2 ③
코일이 뒤로 밀려가는 까닭은 코일에 자기 선속의 변화를 방해하는 방향으로 유도 전류가 생겼기 때문이다. 따라서 코일이 밀려가는 폭을 크게 하려면 유도 전류가 더 세게 흐르게 해야 한다. 이를 위해서는 자석의 세기를 세게 하거나 자석의 이동 속도를 더 빠르게 해야 한다.
- 3 ③
도선면을 통과하는 자기 선속의 증가를 방해하는 방향으로 유도 전류가 흘러야 하므로 유도 전류는 D → C 방향으로 생긴다. 따라서 A점에서의 전압이 B점에서의 전압보다 높고, 이때 생기는 기전력은 자기장의 세기, 도선의 폭 l, 도선의 속력 v에 비례한다.
- 4 ⑤
1차 코일에 흐르는 전류가 변하면 2차 코일에 전류가 유도된다. 이러한 상호유도에서 2차 코일에 유도되는 기전력은 1차 코일에 흐르는 전류의 세기와 관계없으며, 단위 시간당 전류의 변화율

에 비례한다.



단원 마무리

141쪽~143쪽

실력 평가하기

1 ④

ㄱ. 대전체가 전기장과 반대 방향으로 전기력을 받으므로 대전체는 음(-)전하를 띤다. ㄴ, ㄷ. 대전체가 기울어진 각도가 45°이므로 대전체가 받는 중력과 전기력의 크기가 같다. $qE = mg$

에서 $E = \frac{mg}{q}$ 이다.

2 (1) 1 A

6 Ω과 3 Ω의 합성 저항은 2 Ω이므로 전체 저항은 4 Ω이다. 6 Ω과 3 Ω의 저항에는 6 V의 전압이 걸리므로 6 Ω 저항에 흐르는 전류는 1 A이다.

(2) 12 W

소비 전력은 $\frac{V^2}{R}$ 이므로 $\frac{(6 \text{ V})^2}{3 \Omega} = 12 \text{ W}$ 이다.

(3) 6 V

전체 전류가 $\frac{12 \text{ V}}{4 \Omega} = 3 \text{ A}$ 이므로 2 Ω의 저항에는

$2 \Omega \times 3 \text{ A} = 6 \text{ V}$ 의 전압이 걸린다.

3 ⑤

ㄱ, ㄴ. B와 E 사이에 순방향 바이어스가 걸려야 트랜지스터에 전류가 흐른다. 이때 C와 B 사이에는 역방향 바이어스가 걸린다. 전류의 방향이 C → X → E 방향이므로 X는 n형 반도체이고, 전자가 주요 전하 운반체이다.

4 (1) 지면에서 나오는 방향

두 도선 중앙에서 도선 P에 의한 자기장 방향은 지면으로 들어가는 방향이고, 도선 Q에 의한 자기장 방향은 지면에서 나오는 방향이다. 도선 Q에 흐르는 전류의 세기가 도선 P의 2배이므로 자기장의 방향은 도선 Q에 의한 자기장의 방향과 같이 지면에서 나오는 방향이다.

(2) 지면에서 나오는 방향, (1)의 4배

도선 P에 의한 자기장의 세기는 원래 세기의 2배, 방향은 지면에서 나오는 방향으로 바뀐다. 따라서 두 도선 중앙에서의 자기장은 도선 P와 도선 Q에 의한 자기장의 합이 되므로 방향은 지면에서 나오는 방향, 세기는 (1)의 4배가 된다.

5 ④

0초~t₁초 동안 자기장의 세기가 일정하게 변하므로 일정한 세기의 유도 전류가 생기고, 자기장 변화를 방해하므로 시계 반대 방향으로 유도 전류가 생긴다.

6 유도 기전력의 세기가 증가한다. 강자성체 때문에 두 코일 사이에 생기는 자기 선속이 커지므로 자기 선속의 변화율도 커진다. 따라서 유도되는 기전력도 커진다.

핵심 역량 키우기

7 (1) 음(-)전하를 띠는 대전체가 B에 가까이 오면, 정전기 유도에 의해 A는 음(-)전하, B는 양(+)-전하를 띤다.

(2) (나)에서 A에 있던 음(-)전하가 손가락을 따라 이동하므로, (다)에서 손가락을 먼저 떼고 C를 치우면 A와 B는 모두 양(+)-전하로 대전된다. 그러나 C를 먼저 치우면 전자가 손가락을 따라 다시 금속구로 이동하므로 A와 B는 전하를 띠지 않는다.

8 앙페르 법칙은 전기장의 변화로 자기장을 유도하는 것을, 패러데이 법칙은 자기장의 변화로 전기장을 유도하는 것을 나타내는 법칙이다. 두 법칙 모두 한 종류의 장이 다른 종류의 장을 유도한다는 점에서 유사하지만, 전기장과 자기장이 서로 바뀌었다는 점에서 차이가 있다.

9 패러데이 법칙에서 (-)부호가 (+)부호로 바뀐다면 유도 전류의 방향은 자기 선속의 변화와 같은 방향이 된다. 그러므로 자기 선속이 변하면 유도 전류가 생겨 자기 선속이 더 크게 변하게 되고, 이 때문에 유도 전류가 더 크게 생긴다. 이런 과정이 반복되면 자기 선속은 무한대로 커지게 된다. 이는 명백히 에너지 보존 법칙을 위배하는 것이므로 자연계에서 일어나지 않을 것이다.

III 파동과 물질의 성질

01 파동

150쪽 **물음** 파장

153쪽 **평가하기 1** 두 점파원에서부터의 거리의 차이가 파장의 정수 배가 되는 지점

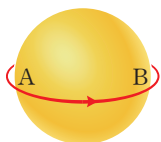
2 파장을 길게, 슬릿의 폭을 작게 한다.

3 간섭: 레이저는 원자에서 자발 방출된 빛과 유도 방출된 빛의 보강 간섭을 이용해서 강한 세기의 빛을 내보낸다.

회절: X선 회절을 이용해 물질의 내부 구조를 알아본다.

156쪽 **물음** 도플러 효과가 나타나지 않는다.

158쪽 **창의력 키우기** 별의 자전에 따라 지구 방향으로 움직이는 A점에서 방출되는 빛은 청색 편이 되고, 반대로 지구에서 멀어지는 방향으로 움직이는 B점에서 방출되는 빛은 적색 편이 된다. 이를 측정하면 별의 자전 속력을 구할 수 있다.



158쪽 **평가하기 1** 작게 측정된다.

2 B

3 잠수함에서는 초음파를 발생시킨 후 반사된 초음파의 진동수를 측정하여 상대 잠수함의 속력과 이동 방향을 추정한다.

161쪽 **물음** 황파

163쪽 **평가하기 1** 코일과 축전기

2 교류 전원 장치

3 휴대 전화, TV, 라디오, 와이파이, DMB 등

166쪽 **물음** 상이 생기지 않는다.

168쪽 **평가하기 1** 굴절

2 물체가 초점보다 멀리 있을 때

3 상의 밝기가 어두워진다.

172쪽 **물음** 이중 슬릿에 도달하는 파동의 위상을 같게 하기 위해서이다.

172쪽 **평가하기 1** 구면파를 만드는 점파원의 역할을 한다.

2 파장을 길게 한다. 이중 슬릿 사이의 간격을 좁게 한다. 슬릿과 스크린 사이의 거리를 멀게 한다.

3 두 슬릿으로부터의 거리가 동일한 스크린의 중앙 지점

173쪽 **과학적 문제 해결력** 300개의 슬릿이 있는 회절격자 빛을 슬릿에 통과시켰을 때 슬릿의 개수가 많을수록 밝은 무늬의 폭이 좁아지므로 빛을 더 잘 분광시킨다.



중단원 정리하기

174쪽, 175쪽

기초 개념 익히기

1 회절

2 큰

3 코일, 축전기

4 λ 를 크게 한다. d 를 작게 한다. L 을 크게 한다.

개념 확인하기

1 ④

마루와 마루가 중첩되거나 골과 골이 중첩되는 지점에서 보강 간섭이 일어난다.

2 ④

음원과 관찰자가 멀어질 때 발생한 진동수보다 작은 진동수의 파동이 관측된다.

3 ③

진동하는 전기장은 진동하는 자기장을 유도하고, 진동하는 자기장은 진동하는 전기장을 유도한다.



4 ④

물체가 초점보다 가까이 있으면 항상 물체보다 큰 똑바로 선 허상이 만들어진다.

5 ③

ㄱ. 빛은 보강 간섭 되면 밝아지고, 상쇄 간섭 되면 어두워진다.
 ㄴ. 이중 슬릿에 의해 만들어지는 간섭무늬에서 무늬 사이의 간격은 $\Delta x = \frac{L\lambda}{d}$ 이다. ㄷ. 빨간색 빛이 파란색 빛보다 파장이 크므로 간섭무늬 사이의 간격이 더 크다.

02 현대 물리

180쪽 물음 빛이 파동이면 빛의 세기가 증가할수록 전자의 운동 에너지가 증가한다.

182쪽 평가하기 1 정지 전압을 측정한다.

$$2 \lambda = \frac{hc}{E}, f = \frac{E}{h}$$

3 태양 복사 에너지의 세기가 가장 큰 파장(약 510 nm)에서 최대 전력이 생기도록 설계한다.

187쪽 물음 전자의 파동성

187쪽 평가하기 1 총알

2 야구공의 물질과 파장이 야구공의 크기에 비해 매우 짧기 때문이다.

3 전자의 물질과 파장은 가속 전압이 커질수록 짧아지므로 회절 무늬 간격도 가속 전압이 커질수록 짧아진다.

193쪽 원리가 보이는 물리 빛은 광전 효과 실험에서는 입자의 성질을 나타내지만, 이중 슬릿의 간섭 실험에서는 파동의 성질을 나타낸다. 하지만 빛이 동시에 입자성과 파동성을 나타내는 현상은 발견할 수 없다.

193쪽 평가하기 1 운동량

2 전자구름

수소 원자 내 전자가 확률적으로 분포해서 '전자구름' 모습을 띠고 있다고 한다.

3 **모범 답안** 현대의 전자구름 모형과 고전적 보어 모형의 차이점에 대해 비교해 본다.



중단원 정리하기

194쪽, 195쪽

기초 개념 익히기

1 광양자 또는 광자

2 hf

$$3 h(f - f_0)$$

$$4 \frac{h}{p}$$

$$5 2\pi r = n\lambda \quad (n = 1, 2, 3)$$

$$6 \Delta x \Delta p \geq \frac{\hbar}{2}$$

개념 확인하기

1 ③

ㄷ. 광전자의 최대 운동 에너지는 빛의 세기에 관계없고, 빛의 진동수에 비례한다.

2 ⑤

기울기는 플랑크 상수 h 를 뜻한다. f_0 은 문턱 진동수이고, 일함수 $W_0 = hf_0$ 이다.

3 ②

전자 A와 B의 운동 에너지의 비가 $\frac{E_A}{E_B} = \frac{p_A^2}{p_B^2} = 4$ 이므로,

A와 B의 운동량의 비는 $\frac{p_A}{p_B} = 2$ 이다. 따라서 파장의 비 $\frac{\lambda_A}{\lambda_B}$

$$= \frac{p_B}{p_A} = \frac{1}{2}$$
이다.

4 ②

ㄱ. 보어 모형에서 보어는 전자를 입자로 취급하였다. ㄴ. (나)에서 위치-운동량의 불확정성 원리에 의해 전자의 위치와 운동량을 동시에 정확히 측정할 수 없다.

다들 물어봐

197쪽~199쪽

실력 평가하기

$$1 (1) |\overline{S_1P} - \overline{S_2P}| = 0, |\overline{S_1Q} - \overline{S_2Q}| = \frac{\lambda}{2}$$

P는 S_1 과 S_2 로부터 각각 3λ 떨어진 지점이고, Q는 S_1 과 S_2 로부터 각각 $4\lambda, 3.5\lambda$ 떨어진 지점이다.

(2) P: 보강 간섭, Q: 보강 간섭

P는 거리차가 0이므로 어떤 파장의 파동이 발생해도 보강 간섭 지점이 된다. Q는 거리차가 파장의 1배가 되므로 보강 간섭 지점이 된다.

$$2 \frac{100}{105} f_0$$

$$f_A = \left(\frac{v}{v - v_s} \right) f_0 = \frac{100}{95} f_0 \text{이므로 } v_s = 0.05 v \text{이다. 따라서}$$

$$f_B = \left(\frac{v}{v + 0.05 v} \right) f_0 = \frac{100}{105} f_0 \text{이다.}$$

3 ⑤

ㄱ. 코일과 축전기는 진동수에 따라 전류를 방해하는 정도가 달라지기 때문에, 두 소자가 직렬로 연결된 회로는 공명 진동수를 갖는다. ㄴ. 전류의 진동수가 회로의 공명 진동수와 같을 때 회로에 강한 전류가 흐른다. ㄷ. 전기 용량을 바꾸면 회로의 공명 진동수가 바뀐다.

4 ④

ㄱ. 파동은 파장이 길수록 크게 회절한다. 파란색 빛은 빨간색 빛보다 파장이 짧다. ㄴ. 두 슬릿에서 거리차가 0인 O점에서는 보강 간섭이 일어난다. ㄷ. 간섭무늬의 간격은 파장이 짧을수록 좁아진다.

5 (1) 같다.

광전자의 최대 운동 에너지는 정지 전압과 같다. 따라서 A와 B에 의한 광전자의 최대 운동 에너지 준위는 서로 같고, 그 값은 3 eV이다.

(2) 6 eV

광자 1개의 에너지는 $hf = E_{\text{최대}} + W_0 = 3 \text{ eV} + 3 \text{ eV} = 6 \text{ eV}$ 이다.

6 ⑤

ㄱ. 드브로이의 정상파 조건 $2\pi r = n\lambda$ ($n = 1, 2, 3, \dots$)로부터 (가)의 상태는 $n = 2$ 이므로, 정상파의 파장은 πr_A 이다. ㄴ.

(나)의 상태는 $n = 4$ 이므로, 에너지 준위는 E_4 이다. ㄷ. 보어의 양자 조건 $2\pi r m v = nh$ ($n = 1, 2, 3, \dots$)로부터 $\frac{r_A v_A}{r_B v_B} = \frac{2}{4}$ 이므로 $v_A = 2v_B$ 이다.

핵심 역량 키우기

7 파장이 긴 전파는 회절을 크게 하므로, 주위에 장애물이 있어도 정보를 잘 전달할 수 있다. 파장이 짧은 전파는 단위 시간 동안 전달할 수 있는 정보의 양이 많다.

8 (1) 확대된 바로 선 허상을 관찰하므로, 렌즈와 화강암 사이의 거리는 렌즈의 초점 거리보다 짧다.

(2) 화강암의 모습을 더 크게 관찰할 수 있는 장점이 있지만, 화강암을 렌즈에 더 가까운 지점에 두어야만 하는 단점이 있다.

9 위치와 운동량의 불확정성 원리에 따르면 전자가 원자핵과 충돌할 때, 위치의 불확정도가 0이 되고 전자의 운동량(또는 속도)의 불확정도가 무한대가 되어 원자핵이 전자를 속박할 수 없게 된다. 이러한 일은 원자에서 일어날 수 없으므로 전자의 위치 불확정도는 0이 되어서는 안 되고, 전자는 결코 원자핵과 충돌할 수 없다.



ㄱ

가속도	25
가속 좌표계	47
각속도	35
간섭무늬	169
강유전체	96
검전기	94
공명 진동수	163
공전	39
공주 거리	65
관성계	47
관성력	48
관성 좌표계	47
관성 질량	51
광양자	177
광양자설	181
광자	177
광전류	179
광전자	177
광전지	178
광전 효과	177
광축	165
구면파	150
구심 가속도	37
구심력	37
구조물의 안정성	20
근일점	40
기전력	98
긴반지름	40

ㄴ

논리 회로	109
뉴턴	43

ㄷ

단진자	68
단진자 운동	68

대전체	93
도플러 레이더	157
도플러 효과	155
돌림힘(토크)	16
돌림힘의 평형	19
드브로이파	183
드브로이 파장	183
들뜬상태	192
등가 원리	50
등가속도 운동	27
등가속도 직선 운동	27
등가속도 직선 운동 관계식	27
등속도 운동	27
등속 원운동	34

ㄹ

라디안	35
라이고	57
렌츠 법칙	127

ㅁ

마디	184
마찰력	62
면적 속도	41
면적 속도 일정 법칙	41
무게중심	20
무선 인식(RFID)	136
무선 충전	135
무선 충전 버스	135
문턱 진동수	180
물결파의 간섭	150
물질파	183
물질파 파장	183

ㅂ

바닥상태	192
바이어스 전압	107

반도체	144
받침점	17
발전기	130
방전	111
배	184
배울	168
번개	90
베이스	106
벡터	11
벡터량	11
벡터의 분해	14
벡터 평행 이동	12
변압기	134
변위	28
병렬연결	100
보강 간섭	151
보어 원자 모형	183
보어의 양자 조건	183
블록 렌즈	165
불확정성 원리	189
브라헤	39
블랙홀	55
비관성 좌표계	47
비열	72
빛의 간섭	169
빛의 굴절	165
빛의 반사	165

ㅅ

사고 실험	43
삼각형법	13
상	164
상보성 원리	193
상쇄 간섭	151
상의 작도	166
상호유도	132
상호 인덕턴스	133
소비 전력	99

속도 측정 장치	157
슬레노이드가 만드는 자기장	121
송전	125
송전 전압	134
수직 항력	62
수평으로 던진 물체의 운동	29
슈뢰딩거의 고양이 역설	200
스위칭 작용	107
스칼라량	11
스페이서	125
슬릿	152
시공간	53
실상	166

○

아인슈타인의 십자가	54
안전거리	65
안테나	161
RC 회로	162
RL 회로	162
알짜힘	19
양자수	183
n-p-n형 트랜지스터	106
역학적 에너지 보존	66
연직 운동	28
열기관	75
열량	72
열소	73
열역학 제1법칙	75
열의 일당량	74
영의 실험	172
오른손 법칙	120
옴의 법칙	99
원심력	48
원일점	40
원형 전류가 만드는 자기장	120
유도 기전력	126
유도 전류	126

유전 분극	96
유전율	112
유전체	96
이미터	106
이중 슬릿	169
인공 중력	49
일	61
일·운동 에너지 정리	63
일함수	181

ㄷ

자기력	119
자기력선	119
자기 선속	127
자기장	119
자동 제세동기	114
자유 낙하 운동	66
자체 인덕턴스	162
장력	71
저항	99
적색 편이	158
전기 기타	13
전기력	87
전기력선	89
전기 에너지	99
전기 용량	111
전기 자동차	114
전기장	88
전력 손실	134
전압	92
전압 분할	108
전위	91
전위차	92
전자구름 모형	192
전자기 유도	126
전자기 유도 법칙	127
전자기파의 간섭	153
전자기파의 회절	153

전자레인지	97
전자 태그	136
전자 회절 실험	186
점전하	87
정상파	184
정전기	93
정전기 유도	93
정지 거리	65
정지 위성	34
정지 전압	180
제동 거리	65
조리개	153
조화 법칙	41
주기	35
주파수	153
줄의 실험 장치	73
중력 가속도	28
중력 렌즈 효과	54
중력 법칙	42
중력 상수	42
중력장	91
중력 질량	51
중력파	57
중폭 작용	107
지레	17
지레의 팔	16
직렬연결	100
직선 전류가 만드는 자기장	120
진자 운동	68
짧은반지름	40

ㄸ

청색 편이	158
초점	40, 165
초점 거리	165
축바퀴	18
축전기	110
충전	111

ㄱ

cal(칼로리)	72
커패시터	110
컬렉터	106
케플러 제1법칙	40
케플러 제2법칙	41
케플러 제3법칙	41
콘덴서	110
C(쿨롱)	87
쿨롱 법칙	87
키보드	115

ㄷ

타원 궤도	39
타원 궤도 법칙	40
탈출 속도	55

터널링 효과	200
터치스크린	115

ㅇ

파동의 간섭	150
파동의 회절	151
파면	150
패러데이 법칙	127
F(패럿)	111
퍼텐셜 에너지	66, 91
평면거울	164
평면파	150
평행사변형법	13
평행한 두 금속판	92
평형 상태	19
포물선 운동	29
피뢰침	90

p-n 접합 다이오드	105
p-n-p형 트랜지스터	106
픽업 앰프	130

ㅎ

하위헌스 원리	150
합력	12
합성	11
허상	166
헤르츠 실험	160
현대의 수소 원자 모형	192
혼합 연결	104
회전각	35
회전 반지름	38
회절 무늬	187
힘의 작용선	19
힘의 평형	19



사진 자료

표지 놀이기구, 전자: 셔터스톡

I 역학적 상호 작용

- 2, 4, 6쪽 블랙홀: 미국 항공우주국(NASA)
(<http://www.nasa.gov/>)
- 6쪽 트랜지스터: 셔터스톡
- 7쪽 태양과 나무: 게티이미지코리아
물결파 간섭: 윤익이미지
방송탑: 게티이미지코리아
- 8쪽 자동차: 셔터스톡
- 10쪽 고층 건물: 게티이미지코리아
- 11쪽 줄타기: 게티이미지코리아
- 15쪽 I-9: 게티이미지코리아
- 16쪽 들어가기: 토픽이미시스
- 18쪽 드라이버, 자전거: 게티이미지코리아
- 20쪽 I-16: 토픽이미시스
배경: 게티이미지코리아
- 21쪽 피라미드, 콜로세움, 피사의 사탑, 배경, 사진첩:
게티이미지코리아
- 24쪽 행성: 게티이미지코리아
- 25쪽 들어가기: 게티이미지코리아
- 27쪽 배경, 고층 건물: 게티이미지코리아
- 29쪽 포환던지기: 연합뉴스
- 34쪽 들어가기: 한국항공우주연구원(KARI)
- 37쪽 대관람차: 토픽이미시스
- 38쪽 회전 그네: 게티이미지코리아
- 39쪽 들어가기: 게티이미지코리아
- 40-41쪽 배경, 고층 건물: 토픽이미시스
- 43쪽 포탄, 지구: 게티이미지코리아
- 46쪽 블랙홀: 미국 항공우주국(NASA)
- 47쪽 국제 우주 정거장: 미국 항공우주국(NASA)
I-39: 연합뉴스
- 48쪽 I-41의 곡선 도로: 게티이미지뱅크
- 53쪽 I-46의 지구: 셔터스톡
- 54쪽 I-49: 미국 항공우주국(NASA)
- 56쪽 I-53: 게티이미지코리아
I-54: 미국 항공우주국(NASA)
- 57쪽 중력파: 미국 항공우주국(NASA)
중력파 검출 장치: Caltech / Getty Images
- 60쪽 전자: 게티이미지코리아

- 61쪽 컬링: 연합뉴스
- 63쪽 예제: 토픽이미시스
- 66쪽 바이킹: 토픽이미시스
- 68쪽 시계: 게티이미지코리아
- 72쪽 돋보기: 게티이미지코리아
- 73쪽 럼퍼드, 줄, 줄의 실험 장치: 게티이미지코리아
- 75쪽 믹서: 게티이미지코리아
제트기: 게티이미지뱅크
자전거: 게티이미지코리아

II 전자기장

- 86쪽 정전기불: 게티이미지코리아
- 87쪽 피뢰침: 셔터스톡
- 98쪽 장식용 전구: 윤익이미지
- 105쪽 트랜지스터: 셔터스톡
- 110쪽 전기 자동차: 연합뉴스
- 114쪽 II-33의 축전기(플래시): 셔터스톡
II-33의 일회용 카메라: 윤익이미지
II-34: 연합뉴스
II-35의 축전기, 전기 자동차: 게티이미지코리아
- 115쪽 II-37의 터치스크린: 셔터스톡
- 119쪽 스페이서: 셔터스톡
- 120쪽 앙페르: 윤익이미지
- 126쪽 기타: 셔터스톡
패러데이: 게티이미지코리아
- 130쪽 II-50의 기타: 셔터스톡
- 132쪽 무선 충전기: 셔터스톡
- 135쪽 II-55: 셔터스톡
II-56의 무선 충전 전기 버스: 연합뉴스
- 136쪽 II-57의 RFID: 셔터스톡
II-58의 출입 카드: 셔터스톡
- 144쪽 반도체: 게티이미지코리아

III 파동과 물질의 성질

- 148쪽 전파 통신: 게티이미지뱅크
- 149쪽 들어가기: 게티이미지코리아
- 150쪽 하위헌스: 게티이미지코리아
III-3: Russell Kightley / 윤익이미지



- 151쪽 III-5: 게티이미지코리아
- 153쪽 III-12의 (가), (나): 게티이미지코리아
- 154쪽 야구장 배경: 연합뉴스
스피드 건: 뉴스뱅크
- 155쪽 도플러: 게티이미지코리아
- 156쪽 III-16의 (나): 게티이미지뱅크
- 157쪽 III-18: 연합뉴스
배경: 연합뉴스
- 159쪽 라디오: 게티이미지코리아
- 161쪽 라디오, 방송탑: 게티이미지코리아
- 169쪽 레이저 간섭무늬: Edward Kinsman / Science Source / Getty Images
- 170쪽 III-43: TSG@MIT PHYSICS(<http://tsgphysics.mit.edu/>)
- 172쪽 영: 게티이미지코리아
- 173쪽 회전격자: 게티이미지코리아
레이저 쇼: 게티이미지뱅크
- 176쪽 수소 확률 분포: PoorLeno
- 177쪽 태양광 자동차: 게티이미지코리아
헤르츠: 게티이미지코리아
- 180쪽 아인슈타인: 게티이미지코리아
- 183쪽 투수: 연합뉴스
드브로이: 게티이미지코리아
- 186쪽 데이비슨과 거머: 미국 물리학회(<http://www.aps.org/>)
- 187쪽 III-58의 (가), (나): Omikron / Science Source / Getty Images
툼슨: 게티이미지코리아
- 189쪽 하이젠베르크: 게티이미지코리아
- 192쪽 슈뢰딩거: 게티이미지코리아
III-65: PoorLeno
- 193쪽 III-66: A. S. Stodolna et al., 『Hydrogen Atoms under Magnification: Direct Observation of the Nodal Structure of Stark States』, 『Phys. Rev. Lett. 110, 213001』, 2013.
- 202쪽 원자: 게티이미지뱅크

출처 표시를 안 한 사진 및 삽화 등은 저작자 및 발행사에서 저작권을 가지고 있는 경우임.

인용 자료

- 41쪽 그림 I-36: 미국 항공우주국(NASA), Fact Sheet, <<https://nssdc.gsfc.nasa.gov/planetary/factsheet/>>, 2016.
- 55쪽 천체의 탈출 속력: 미국 항공우주국(NASA), Fact Sheet, <<https://nssdc.gsfc.nasa.gov/planetary/factsheet/>>, 2016.
- 65쪽 보통 승용차의 급제동 시 정지 거리: 도로교통공단, 안전거리 미확보 사고, 2016.
- 181쪽 금속의 종류에 따른 일함수: W. M. Haynes et al., 『CRC handbook of chemistry and Physics 95th Ed.』, CRC Press, 2014.

집필진의 직접 집필인 경우 출처를 밝히지 않았음.

집 | 필 | 진



강남화

서울대학교 사범대학 물리교육과 졸업
 서울대학교 대학원 과학교육과 석사
 조지아주립대학교 사범대학 과학교육과 박사
 |현| 한국교원대학교 물리교육과 교수



최호명

한양대학교 물리학과 졸업
 한양대학교 대학원 물리학과 석사
 노스캐롤라이나주립대학교 물리학과 박사
 |현| 경북대학교 사범대학 물리교육과 교수



최원석

대구대학교 사범대학 물리교육과 졸업
 대구대학교 교육대학원 물리교육과 석사
 |현| 신상중학교 교사



임성민

서울대학교 사범대학 물리교육과 졸업
 서울대학교 대학원 과학교육과 석사
 서울대학교 대학원 과학교육과 박사
 |현| 대구대학교 사범대학 과학교육학부(물리교육전공) 교수



강태욱

서울대학교 사범대학 물리교육과 졸업
 서울대학교 대학원 과학교육과 석사
 |현| 고려대학교 사범대학부속고등학교 교사



김익수

서울대학교 사범대학 물리교육과 졸업
 서울대학교 대학원 과학교육과 석사
 |현| 서울과학고등학교 교사

단 | 원 | 별 | 집 | 필

- | | |
|----------------|---------------|
| I 역학적 상호 작용 | 강남화, 최호명, 최원석 |
| II 전자기장 | 임성민, 강태욱 |
| III 파동과 물질의 성질 | 최호명, 김익수 |

검정심의회

- 위 원 장: 지찬수(강원대학교)
- 간 사: 류지열(한국과학창의재단)
- 연구위원: 고성민(경남과학고등학교), 김동욱(이화여자대학교), 김세현(제주대학교), 송인필(권선고등학교), 유건호(경희대학교), 임명선(미래산업과학고등학교), 김형배(국립국어원), 정수용(前 국립국어원), 정수현(건국대학교)
- 검정위원: 강재욱(인천영종고등학교), 강지훈(국민대학교), 김대관(대구서부공업고등학교), 이근설(인하대학교), 이성배(광주과학기술원), 이종훈(영남대학교), 장은희(세명컴퓨터고등학교), 최연호(금오고등학교)

한국과학창의재단

조향숙, 김기상, 최임정, 김대수, 나준영, 남소현, 조혜정

편 집 이우천, 김은정, 유나연

삽 화 표지: 송금진 내지: 정승연

사 진 남궁신, 양창모, 조희태, 박정수, 송영신, 김태우

디 자 인 표지: 김희정, 박민정, 안채리 내지: 박희준, 디자인뷰

일러스트 채창기

고등학교 물리학Ⅱ

교육부의 위탁을 받아 한국과학창의재단이 검정 심사를 하였음.

2018. 3. 1. 초판 발행
정가 원

지은이 강남화 외 5인
발행인 (주)천재교육 (서울시 금천구 가산로 9길 54)
인쇄인 (주)프린피아 (서울시 금천구 가산로 9길 54)

이 교과서의 본문 용지는 우수 재활용 제품 인증을 받은 재활용 종이를 사용하였습니다.

교과서에 대한 문의 사항이나 의견이 있으신 분은 '교과서민원바로처리센터(전화: 1566-8572, www.textbook114.com 또는 www.교과서114.com)'에 문의하여 주시기 바랍니다.

이 도서에 게재된 저작물에 대한 보상금은 문화체육관광부 장관이 정하는 기준에 의거 사단법인 한국복제전송저작권협회(전화: 02-2608-2800, www.korra.kr)에서 저작권산권자에게 지급합니다.

내용 관련 문의 · (주)천재교육 중등과학부 · 전화: (02) 3282-1719 · 전송: (02) 857-4274
공급 업무 대행 · 사단법인 한국검인정교과서협회 · (10881)경기도 파주시 문발로 439-1 (신촌동 734-1)
개별 구입 문의 · 홈페이지 주소: www.ktbook.com · 전화: (031) 956-8581~4 사단법인 한국검인정교과서협회
www.chunjae.co.kr · 전화: (02) 3282-2851 (주)천재교육

ISBN 979-11-259-2740-2 53400