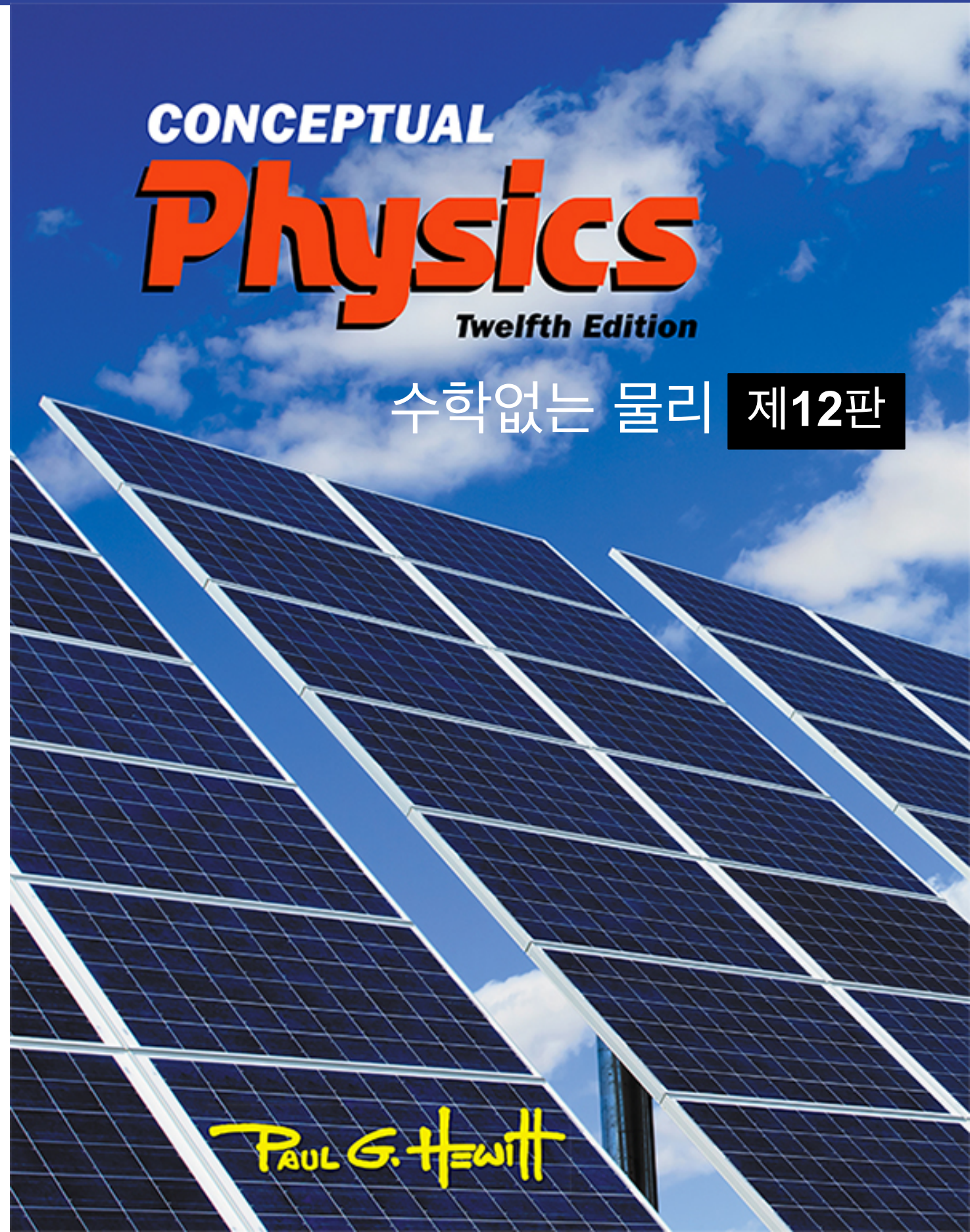


## 제11장

## 물질의 원자론

## The Atomic Nature of Matter



# 강의 개요

- ◆ 원자가설
- ◆ 원자의 특성
- ◆ 원자의 모습
- ◆ 원자의 구조
- ◆ 원소
- ◆ 원소의 주기율표
- ◆ 원자의 상대적 크기
- ◆ 동위원소
- ◆ 화합물과 혼합물
- ◆ 분자
- ◆ 반물질
- ◆ 암흑물질

# 원자

- ◆ “모든 물질은 원자로 이루어져 있으며, 이들은 영원히 운동을 계속하는 작은 입자로서 거리가 어느 정도 이상 떨어져 있을 때에는 서로 잡아당기고, 외부의 힘에 의해 압축되어 거리가 가까워지면 서로 밀어낸다.”

—리처드 파인만(Richard Feynman)

# 원자가설

## ◆ 물질에 대한 생각

- 기원전 5세기, 그리스
  - ▶ 더 이상 쪼개지지 않는 가장 작은 돌, 즉 “원자”가 존재할 것으로
- 아리스토텔레스 (BC 4C)
  - ▶ 모든 물질은 네 개의 기본 원소인 흙, 공기, 불, 물로 구성되어 있다.
- 존 돌턴(John Dalton, 1800년대 초반)
  - ▶ 모든 물질이 **원자**로 구성된다는 가정 하에 화학반응을 성공적으로 설명

# 원자가설

## ◆ 브라운 운동

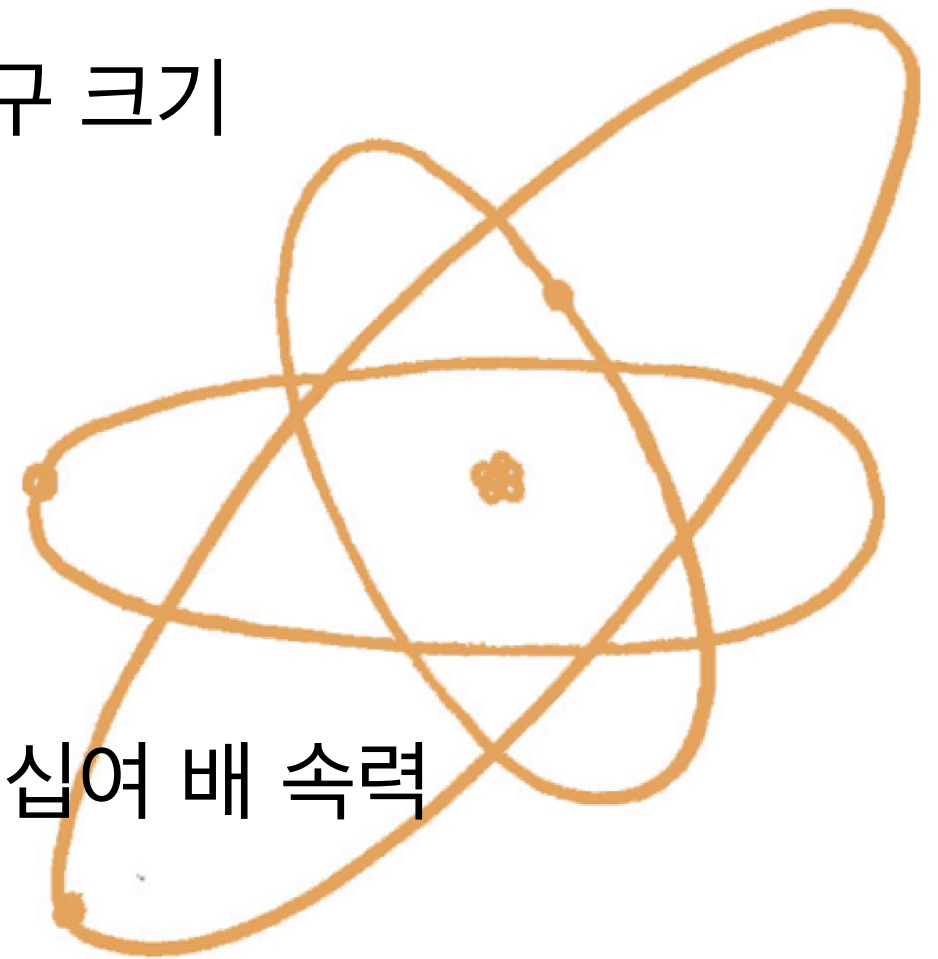
- 로버트 브라운 – 1827, 스코틀랜드 식물학자
  - ▶ 물 위에 퍼져있는 꽃가루를 현미경으로 관찰할 때 꽃가루들이 끊임없이 떠다니는 현상 발견  
→ ‘브라운 운동’
- 아인슈타인
  - ▶ 1905년에 브라운 운동을 명쾌히 설명
  - ▶ 눈에 보이는 입자나 알갱이들의 무질서한 운동은 눈에 보이지 않는 주변 입자들과의 충돌로 생겨남.
  - ▶ 원자가 존재한다는 증거



# 원자의 특성

## ◆ 원자의 특성:

- 원자는 매우 작다
  - ▶ 원자가 사과와 크기라면 사과는 지구 크기
- 원자의 수는 엄청나다
  - ▶ 1g의 물에  $10^{23}$ 개의 원자가 있음
- 원자는 끊임없이 움직인다
  - ▶ 대기 속의 원자나 분자들은 음속의 십여 배 속력
- 원자는 영원하다
  - ▶ 다양한 형태로 재활용



## 원자의 특성 확인문제

다음 원자에 대한 설명 중 옳바르지 않은 것은?

- A. 원자는 가시광선의 파장보다 더 작다.
- B. 태양계의 대부분이 빈 공간인 것과 같이, 원자는 대부분이 빈 공간으로 되어 있다.
- C. 원자는 끊임없이 움직인다.
- D. 원자는 식물과 임신 기간의 인간에게서 만들어진다.
- E. 모두 옳다.

# 원자의 특성

## 확인문제

다음 원자에 대한 설명 중 옳바르지 않은 것은?

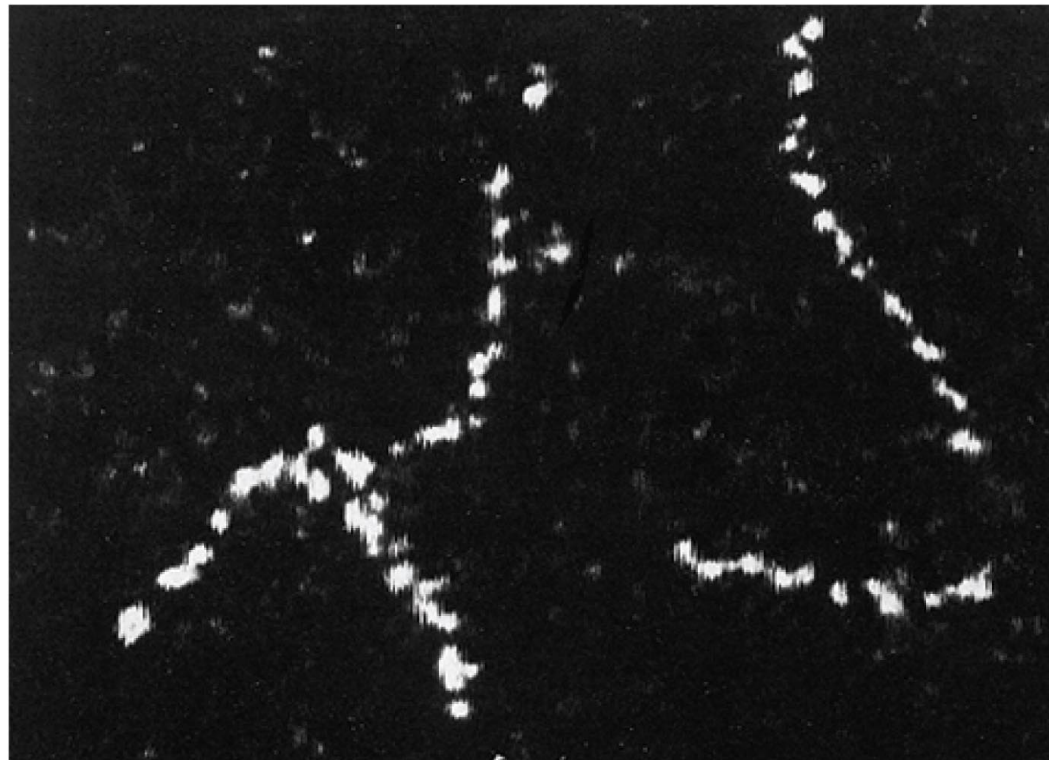
- A. 원자는 가시광선의 파장보다 더 작다.
- B. 태양계의 대부분이 빈 공간인 것과 같이, 원자는 대부분이 빈 공간으로 되어 있다.
- C. 원자는 끊임없이 움직인다.
- D. 원자는 식물과 임신 기간의 인간에게서 만들어진다.
- E. 모두 옳다.



# 원자의 모습

## ◆ 원자 보기

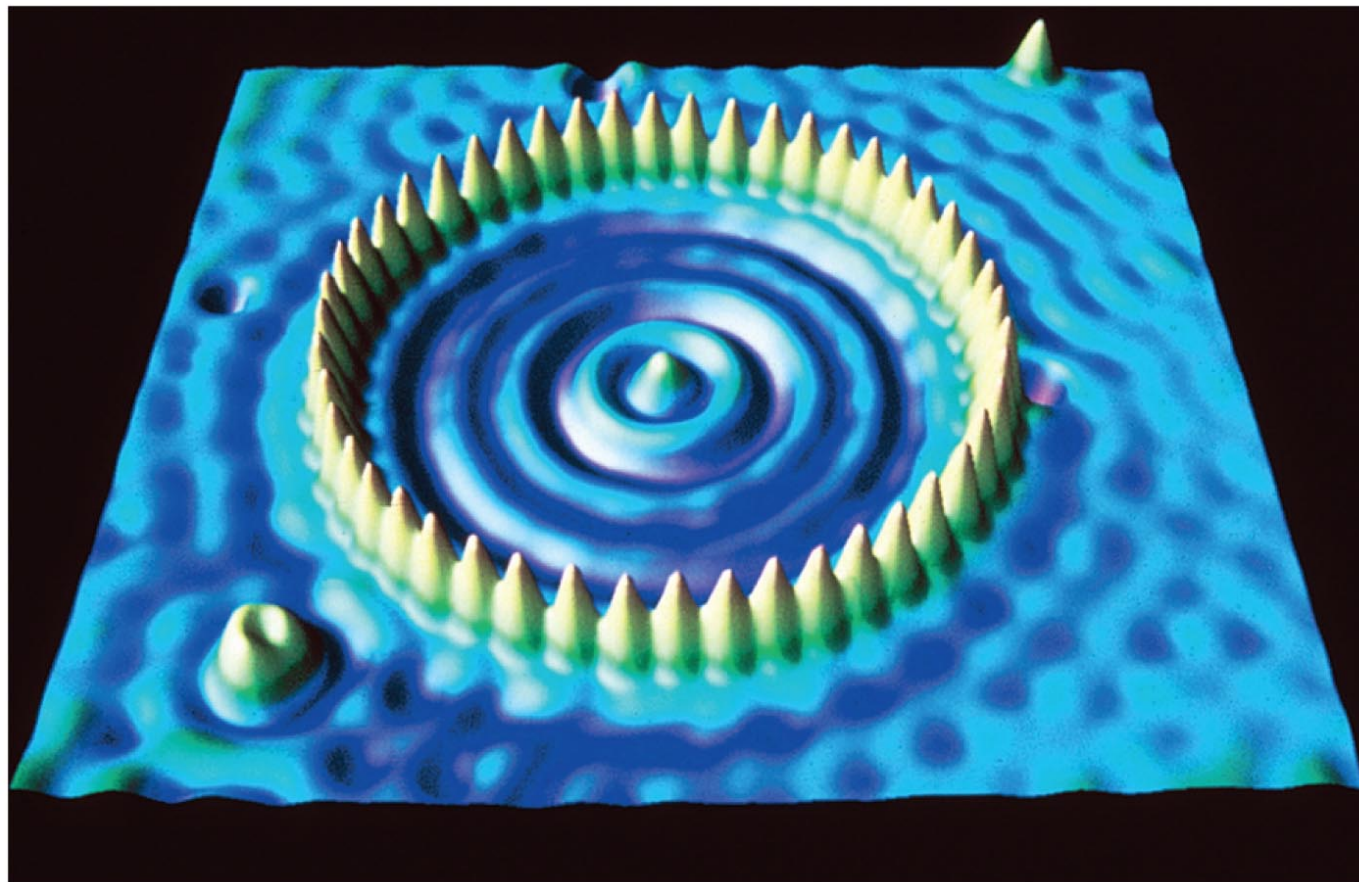
- 원자는 너무 작아서 가시광선으로 볼 수 없음
- 1970년에 개별 토륨 원자의 사슬 사진을 찍음
  - ▶ 주사현미경의 전자빔으로 얻음
  - ▶ 앨버트 크류 (시카고 대학의 엔리코 페르미 연구소)



# 원자의 모습

## ◆ 원자 보기 (계속)

- 1980년대 중반, 주사터널링현미경 개발
  - ▶ 구리 결정 표면 위에 전자들이 만든 “목장울타리” 같은 원형 고리안에 48개의 철 원자들이 들어있음



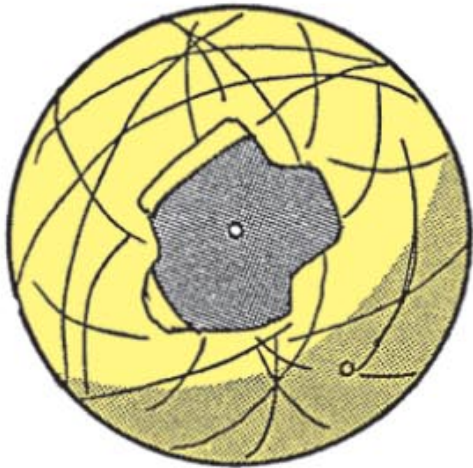
# 원자의 모습

## ◆ 초기 원자 모형 – 태양계와 비슷

- 대부분의 원자 공간은 비어 있음
- 중심에 극히 작지만 대부분의 질량들이 모여있는 **원자핵**이 존재
- 궤도비행하는 **전자**들의 “껍질”이 핵을 둘러싸고 있음
- 원자핵은 양의 전하, 전자는 음의 전하를 지님
- 핵의 전하량이 커지면 전자를 더 가까이 끌어당기므로 껍질의 크기가 줄어듦

# 원자의 모습

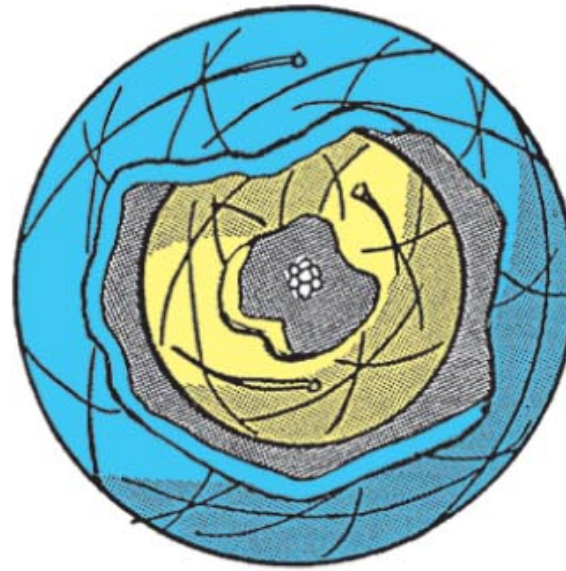
수소:  
1껍질에  
1개의 전자



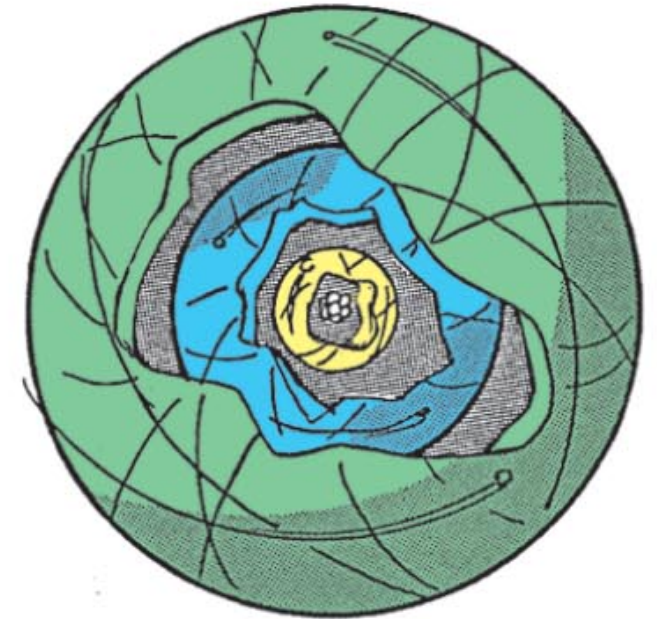
헬륨:  
1껍질에  
2개의 전자



리튬:  
2껍질에 3개의 전자



알루미늄:  
3껍질에  
13개의 전자



# 원자의 구조

## ◆ 원자의 구조

- 원자핵

- ▶ 거의 모든 질량이 집중

- 핵자

- ▶ 원자핵의 기본 구성요소
- ▶ 모두 똑같다
  - 전기적으로 중성이면 → 중성자
  - 양으로 대전되면 → 양성자

✓ 양전하는 양전하를 밀어내고 음전하를 끌어당김

- 쿼크 – 핵자를 구성하는 기본 입자



# 원소

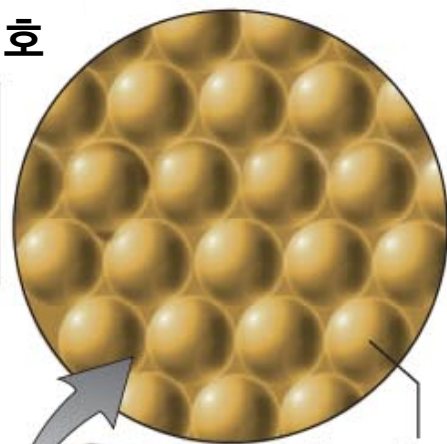
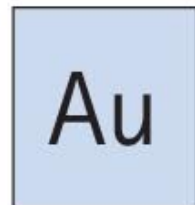
## ◆ 원자

- 물질을 만드는 개별 입자

## ◆ 원소 물질

- 한 종류의 원자로 구성된 물질

금의 원소기호

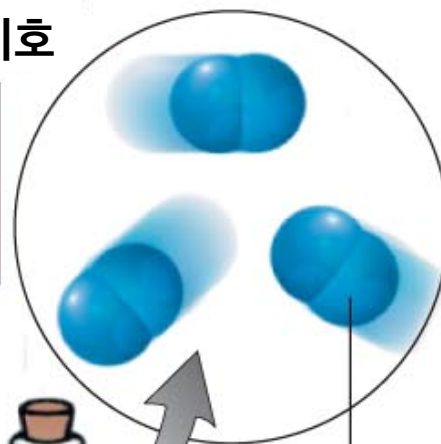
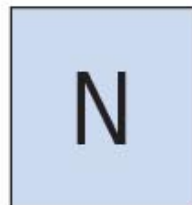


금 원자

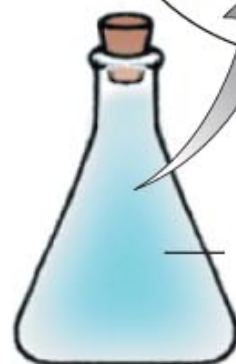


금 원소

질소의 원소기호

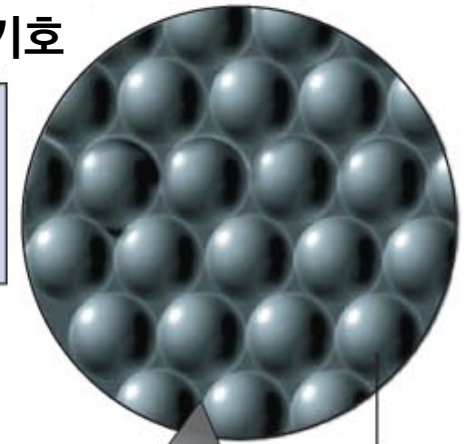


질소 분자의 질소 원자



질소 원소

탄소의 원소기호



탄소 원자



탄소 원소



# 원소

## ◆ 원소 물질 (계속)

- 원소와 원자는 가끔 같은 뜻으로도 사용
- 오늘날 약 115개의 원소가 알려져 있음
  - ▶ 약 90개는 자연에 존재
  - ▶ 나머지 원소들은 고에너지 가속기나 핵반응로에서 만들어지고, 불안정함
  - ▶ 우주에서 수소가 가장 가볍고 가장 풍부한 원소

# 원소

◆ 생명체를 구성하는 주요 다섯 원소:

- 산소
- 탄소
- 수소
- 질소
- 칼슘



# 원소의 주기율표

◆ 원자번호: 원자핵 속의 양성자 수

- 예: 수소(1), 헬륨(2), ..., 우라늄(95), ...

◆ 주기율표 (멘델레예프가 창안)

- 원자번호 순서대로 원소들을 배열한 도표
  - ▶ 화학자의 이정표
- 왼쪽에서 오른쪽으로 갈 때
  - ▶ 앞의 원자보다 양성자와 전자가 하나씩 늘어남
  - ▶ 맨 오른쪽에 있는 원소는 맨 바깥 껍질이 가득 채워져 있음  
→ 불활성 또는 비활성 기체



# 원소 주기율표

주기

1

2

3

4

5

6

7

1

H

Hydrogen

1.0079

3

Li

Lithium

6.941

11

Na

Sodium

22.990

19

K

Potassium

39.098

37

Rb

Rubidium

85.468

55

Cs

Cesium

132.905

87

Fr

Francium

(223)

4

Be

Beryllium

9.012

12

Mg

Magnesium

24.305

20

Ca

Calcium

40.078

38

Sr

Strontium

87.62

56

Ba

Barium

137.327

88

Ra

Radium

226.025

21

Sc

Scadium

44.956

29

Cu

Copper

63.546

39

Y

Yttrium

88.906

47

Tc

Technetium

(98)

57

La

Lanthanum

138.906

89

Ac

Actinium

227.028

22

Ti

Titanium

47.88

30

Zn

Zinc

65.39

40

Zr

Zirconium

91.224

48

Ru

Ruthenium

101.07

72

Hf

Hafnium

178.49

104

Rf

Rutherfordium

(261)

23

V

Vanadium

50.942

31

Ga

Gallium

69.723

41

Nb

Niobium

92.906

49

Rh

Rhodium

102.906

73

Ta

Tantalum

180.948

105

Db

Dubnium

(262)

24

Cr

Chromium

51.996

32

Ge

Germanium

72.61

42

Mo

Molybdenum

95.94

50

Sn

Tin

118.71

74

W

Tungsten

183.84

106

Sg

Seaborgium

(266)

25

Mn

Manganese

54.938

33

As

Arsenic

74.922

43

Tc

Technetium

(98)

51

Sb

Antimony

121.76

75

Re

Rhenium

186.207

107

Bh

Bohrium

(264)

26

Fe

Iron

55.845

34

Se

Selenium

78.96

44

Ru

Ruthenium

101.07

52

Te

Tellurium

127.60

76

Os

Osmium

190.23

108

Hs

Hassium

(269)

27

Co

Cobalt

58.933

35

Br

Bromine

79.904

45

Rh

Rhodium

102.906

53

I

Iodine

126.905

77

Ir

Iridium

192.22

109

Mt

Meitnerium

(268)

28

Ni

Nickel

58.69

36

Kr

Krypton

83.8

46

Pd

Palladium

106.42

54

Xe

Xenon

131.29

78

Pt

Platinum

195.08

110

Ds

Darmstadtium

(271)

29

Cu

Copper

63.546

37

Br

Bromine

79.904

47

Ag

Silver

107.868

55

Sb

Antimony

121.76

79

Au

Gold

196.967

111

Rg

Roentgenium

(272)

30

Zn

Zinc

65.39

38

Kr

Krypton

83.8

48

Cd

Cadmium

112.411

56

Te

Tellurium

127.60

80

Hg

Mercury

200.59

112

Cn

Copernicium

(285)

31

Ga

Gallium

69.723

39

Br

Bromine

79.904

49

In

Indium

114.82

57

Sb

Antimony

121.76

81

Tl

Thallium

204.383

113

Uut

32

Ge

Germanium

72.61

40

Kr

Krypton

83.8

50

Sn

Tin

118.71

58

Er

Erbium

167.26

82

Pb

Lead

207.2

114

Fl

Flerovium

289

33

As

Arsenic

74.922

41

Kr

Krypton

83.8

51

Sb

Antimony

121.76

59

Er

Erbium

167.26

83

Bi

Bismuth

208.980

115

Uup

34

Se

Selenium

78.96

42

Kr

Krypton

83.8

52

Te

Tellurium

127.60

60

Er

Erbium

167.26

84

Po

Polonium

(209)

116

Lv

Livermorium

293

35

Br

Bromine

79.904

43

Kr

Krypton

83.8

53

I

Iodine

126.905

61

Er

Erbium

167.26

85

At

Astatine

(210)

117

Uus

36

Kr

Krypton

83.8

44

Kr

Krypton

83.8

54

Xe

Xenon

131.29

62

Er

Erbium

167.26

86

Rn

Radon

(222)

118

Uuo

금속

반금속

비금속

족

란타넘족

악티늄족

58

Ce

Cerium

140.115

62

Sm

Samarium

150.36

66

Dy

Dysprosium

162.5

70

Yb

Ytterbium

173.04

74

Lu

Lutetium

174.967

59

Pr

Praseodymium

140.908

63

Eu

Europium

151.964

67

Ho

Holmium

164.93

71

Lu

Lutetium

174.967

60

Nd

Neodymium

144.24

64

Gd

Gadolinium

157.25

68

Er

Erbium

167.26

72

Lu

Lutetium

174.967

61

Pm

Promethium

(145)

65

Tb

Terbium

158.925

69

Tm

Thulium

168.934

73

Lu

Lutetium

174.967

90

Th

Thorium

232.038

94

Pu

Plutonium

(244)

98

Cf

Californium

(251)

102

No

Nobelium

(259)

106

Lr

Lawrencium

(262)

91

Pa

Protactinium

231.036

95

Am

Americium

(243)

99

Es

Einsteinium

(252)

103

Lr

Lawrencium

(262)

92

U

Uranium

238.029

96

Cm

Curium

(247)

100

Fm

Fermium

(257)

104

No

Nobelium

(259)

93

Np

Neptunium

237.05

97

Bk

Berkelium

(247)

101

Md

Mendelevium

(258)

105

No

Nobelium

(259)

# 원소의 주기율표 확인문제

Ne-20의 원자핵에서 양성자 2개와 중성자 2개를 없애면 어떤 핵이 되는가?

A. Mg-22

B. Mg-20

C. O-18

D. O-16

# 원소의 주기율표 확인문제

Ne-20의 원자핵에서 양성자 2개와 중성자 2개를 없애면 어떤 핵이 되는가?

A. Mg-22

B. Mg-20

C. O-18

D. O-16



# 원자의 상대적 크기

## ◆ 바깥 전자 껍질 지름:

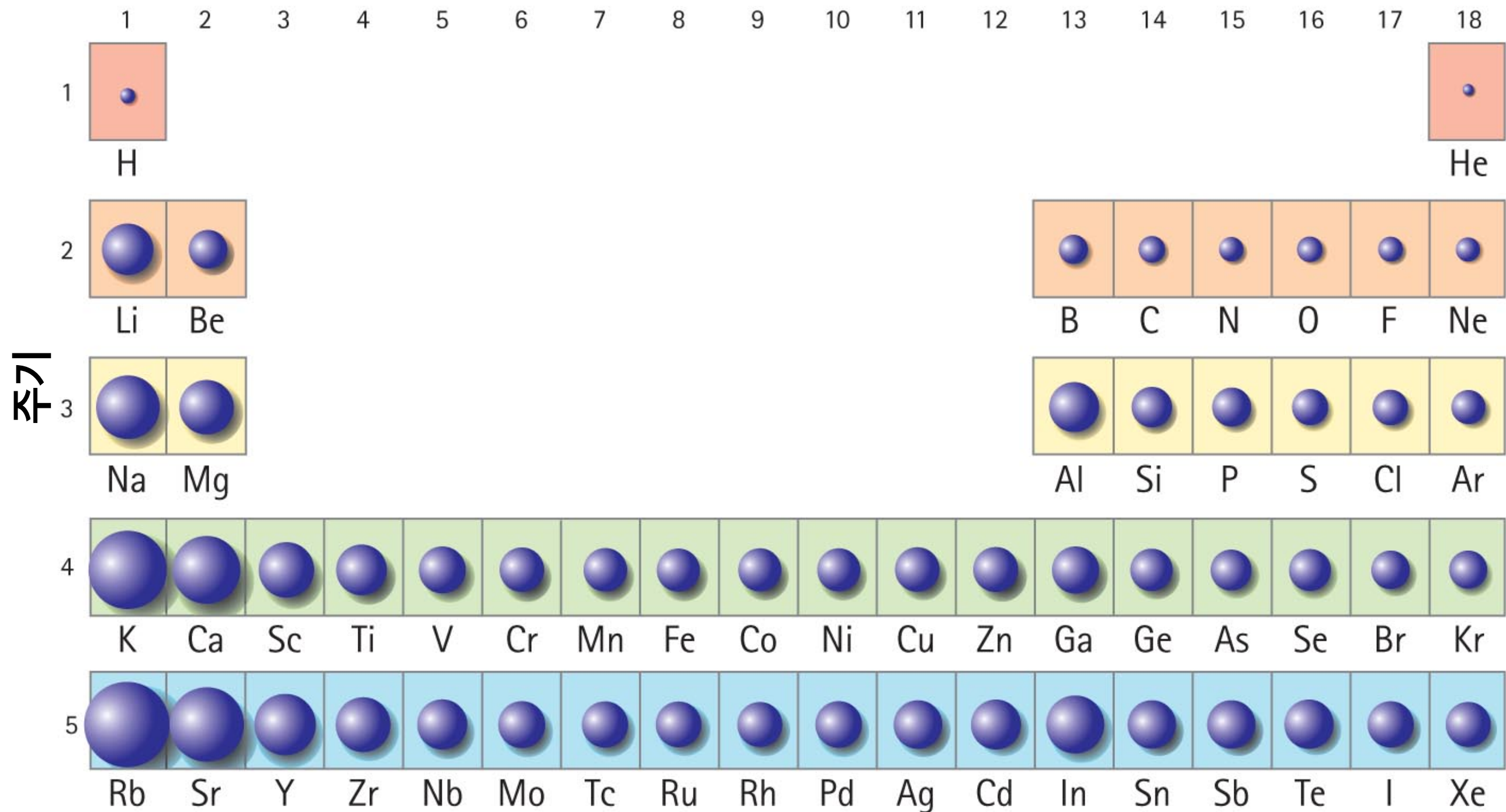
- 핵의 전하량에 의해 결정됨
- 주기율표의 왼쪽에서 오른쪽으로 가면서 원자의 크기가 작아짐

## ◆ 핵전하가 증가하면 전자는 바깥쪽 궤도에 추가되고, 전기력에 의해 안쪽 궤도는 줄어들음

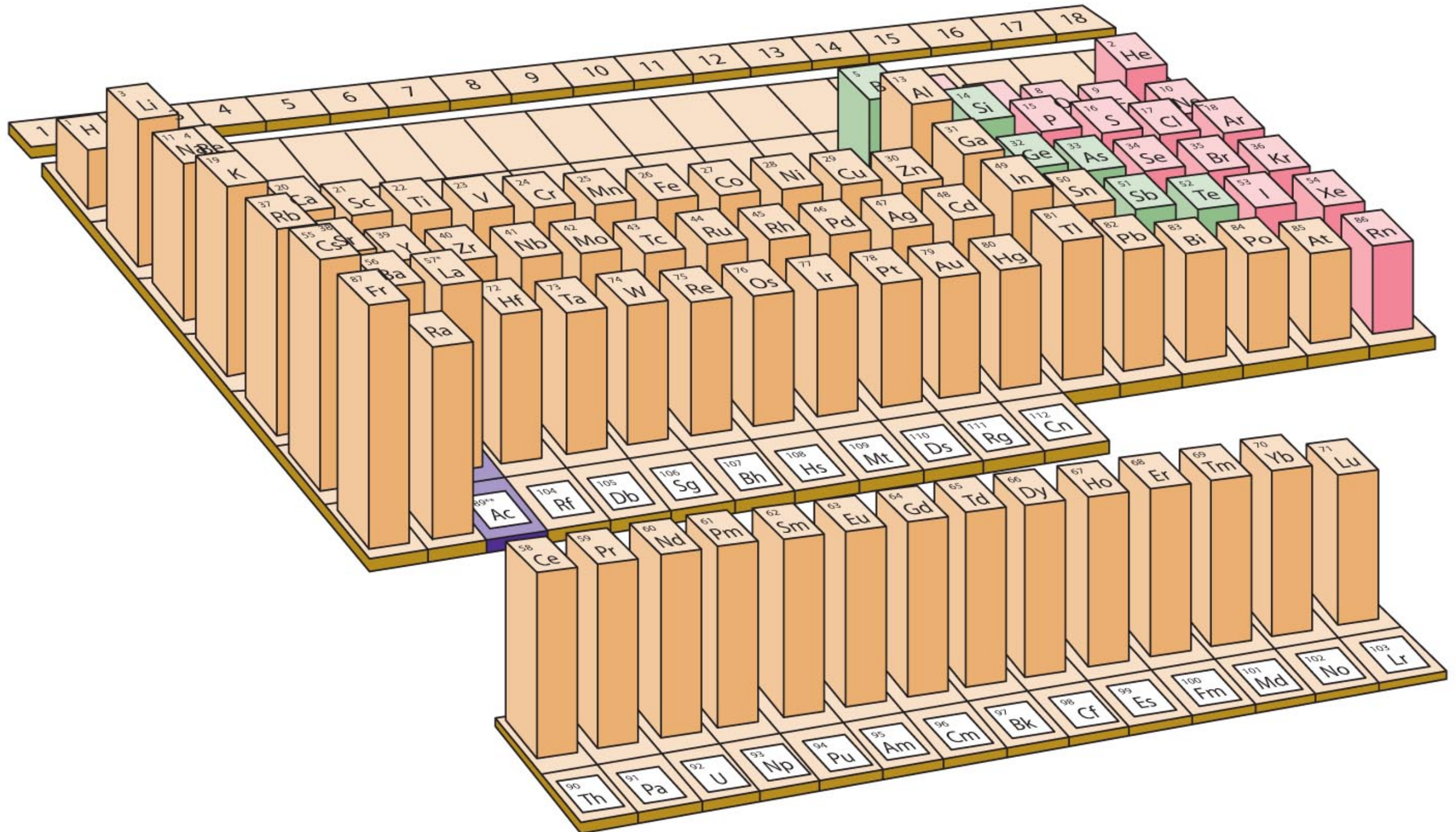
- 따라서 무거운 원자의 지름은 가벼운 원자의 지름보다 그리 크지 않다.
- 예: 헬륨보다 33배 무거운 제논 원자의 지름은 헬륨의 4배에 지나지 않음

# 원자의 상대적 크기

족



# 원자의 상대적 크기



# 원자의 상대적 크기 확인문제

원자의 크기를 결정하는 기본힘은 무엇인가?

답: 전기력



# 이온과 동위원소

## ◆ 이온은 대전된 원자

- 양이온 – 핵의 양전하가 음전하(전자)보다 많은 경우
- 음이온 – 핵의 양전하보다 음전하가 많은 경우

## ◆ 동위원소:

- 같은 원소의 원자지만 중성자의 수가 다른 원자
- 같은 수의 전자를 가지므로 화학적으로 동일

# 동위원소

- ◆ 중성원자의 경우 핵의 양성자 수와 주위의 전자 수가 정확히 같다.
- ◆ 동위원소:
  - 같은 원소의 원자이지만 중성자의 수가 다른 원자
  - 화학적으로 동일 (같은 수의 전자를 갖기 때문)
  - 질량수로 구분
    - ▶ 질량수: 핵 속의 양성자와 중성자 수의 합 (즉, 핵자의 수)
    - ▶ 예:
      - 철(26개의 양성자, 30개의 중성자)의 질량수는 56 → 철-56
      - 철(26개의 양성자, 29개의 중성자)의 질량수는 55 → 철-55



# 동위원소

수소-1



양성자 1개  
중성자 0개  
(프로튬)

수소-2



양성자 1개  
중성자 1개  
(중수소)

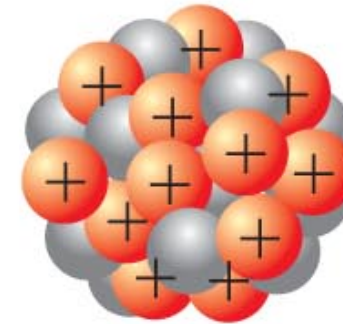
수소-3



양성자 1개  
중성자 2개  
(중수소)

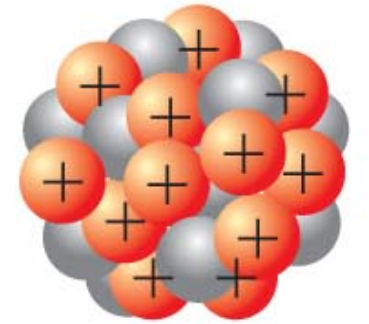
수소 동위원소

철-56



양성자 26개  
중성자 30개

철-55



양성자 26개  
중성자 30개

철 동위원소

원소의 표기: (A: 원소기호,  $n$ : 원자번호,  $m$ : 질량수)

# 동위원소

## ◆ 원자질량

- 원자의 전체질량:
  - ▶ 모든 구성요소(양성자, 중성자, 전자)들 질량의 총합
- 원자질량단위(amu)
  - ▶  $1 \text{ amu} = \text{탄소-12(또는 ) 원자질량의 } 1/12$
  - ▶ 주기율표의 원자질량
    - 지상에 존재하는 동위원소들의 존재비에 따라 모든 동위원소들의 질량을 평균한 값

# 동위원소 확인문제

원소의 원자번호는 무엇과 일치하는가?

- A. 원자핵의 양성자 수
- B. 중성원자의 전자 수
- C. 위 둘 다
- D. 이 중에는 정답 없음

# 동위원소 확인문제

원소의 원자번호는 무엇과 일치하는가?

- A. 원자핵의 양성자 수
- B. 중성원자의 전자 수
- C. 위 둘 다
- D. 이 중에는 정답 없음

## 동위원소 확인문제

원자번호가 44이고 질량수가 100인 원자의 핵에 있는 중성자의 개수는?

A. 44

B. 56

C. 100

D. 알 수 없음

## 동위원소 확인문제

원자번호가 44이고 질량수가 100인 원자의 핵에 있는 중성자의 개수는?

A. 44

B. 56

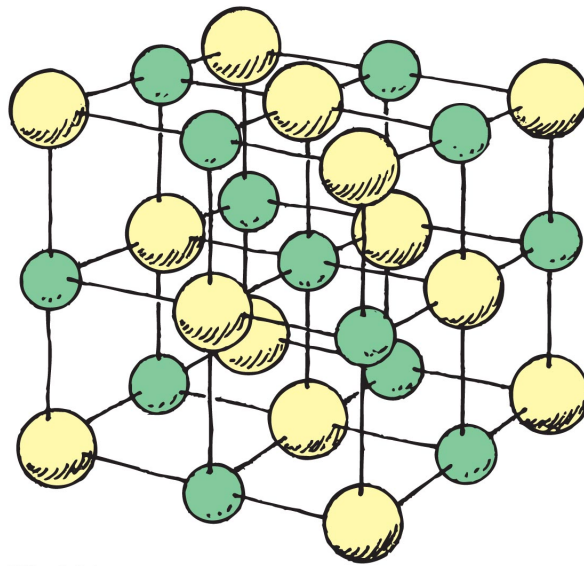
C. 100

D. 알 수 없음



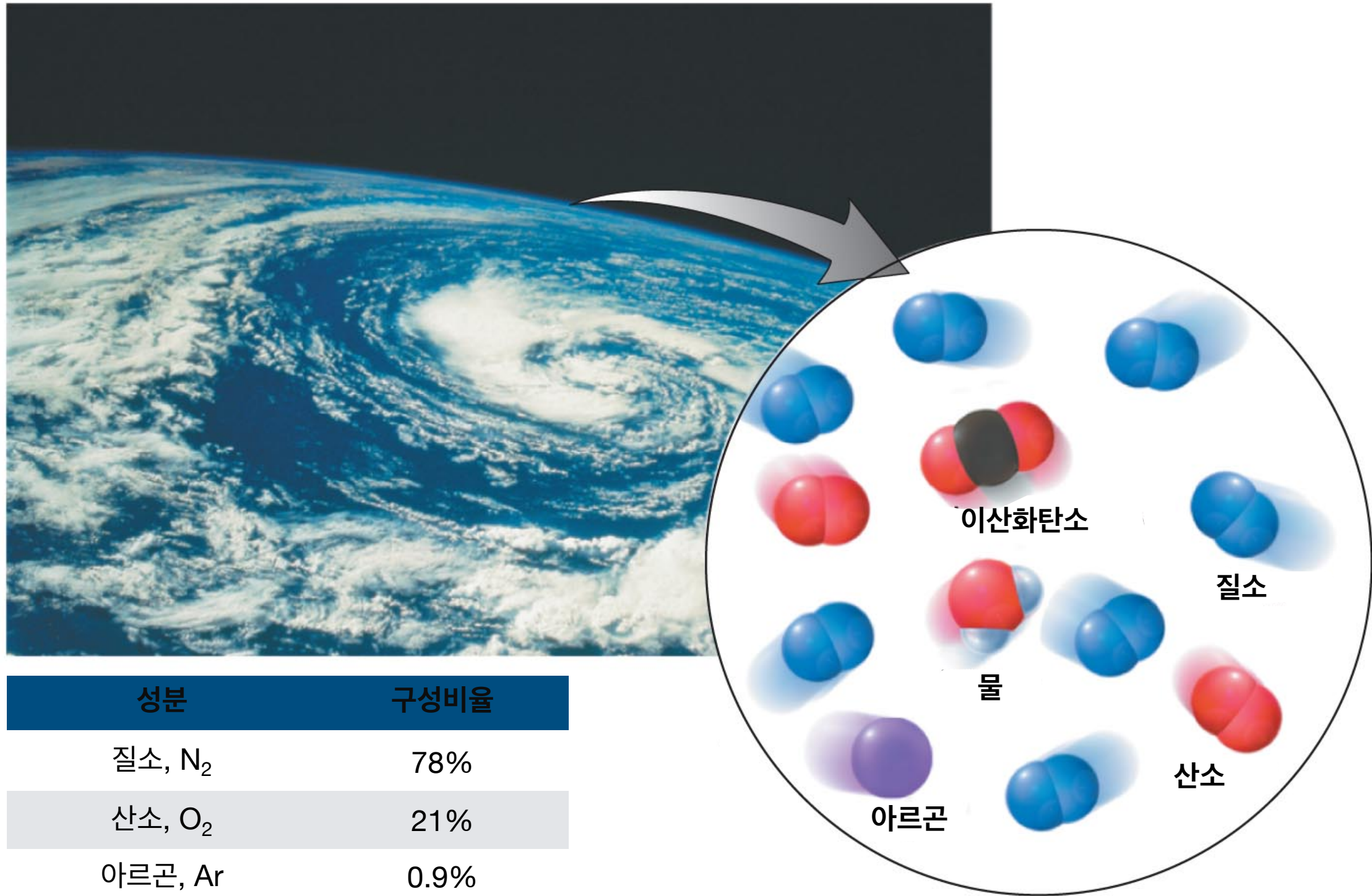
# 화합물과 혼합물

- ◆ **화합물**: 서로 다른 원자들이 결합된 물질
  - 자신의 구성 원소와 전혀 다른 특성을 가짐
  - 화학적 방법으로만 구성 원소로 분리할 수 있음
  - 예: 소금 (소듐[나트륨]과 염소의 화합물)



- ◆ **혼합물**: 화학적으로 결합하지 않고 서로 섞여있는 물질
  - 예: 공기 (대부분은 질소와 산소, 약간의 아르곤, 이산화탄소 등)

# 화합물과 혼합물

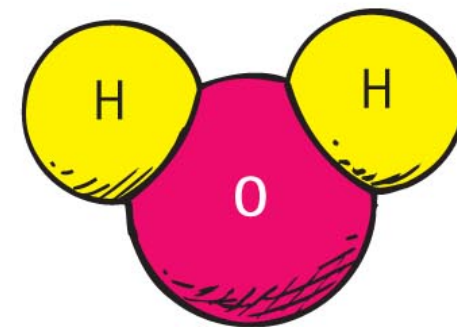
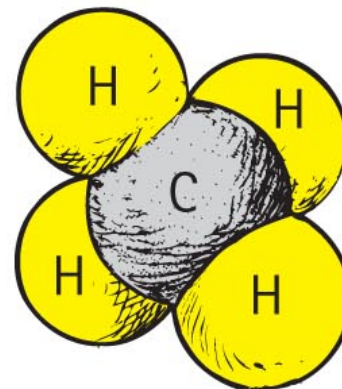
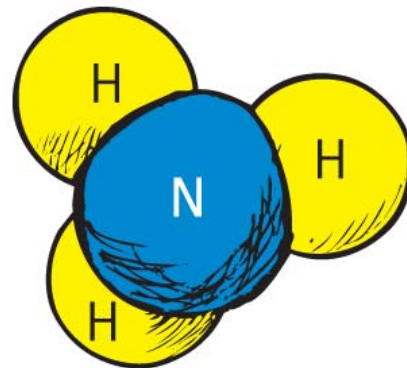
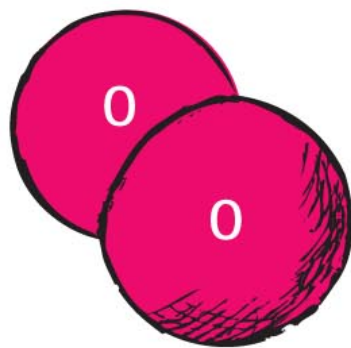


성분	구성비율
질소, $N_2$	78%
산소, $O_2$	21%
아르곤, Ar	0.9%
물, $H_2O$	0~4% (변함)
이산화탄소, $CO_2$	0.034 (변함)

# 분자

## ◆ 분자

- 2개 이상의 원자들이 결합된 것 또는 독립적 입자로 행동하는 원소 자체
- 예:
  - ▶  $\text{NH}_3$  (암모니아)
  - ▶ 3개의 수소 원자와 1개의 질소 원자



# 분자

## ◆ 화학반응:

- 원자가 재배열하여 분자를 형성하는 과정
- 예:
  - ▶ 분자를 분리하려면 에너지가 필요
    - 광합성하는 동안, 나무는 태양에너지를 이용하여 대기 중의 이산화탄소( $\text{CO}_2$ )를 분리하여 산소( $\text{O}_2$ )와 탄소를 만듦 → 탄소와 물을 결합하여 탄수화물 생성
  - ▶ 원자가 결합하여 에너지를 방출
    - 산소 원자가 철 원자와 느리게 결합하면서 에너지를 방출하는 현상이 녹스는 것임

# 반물질

## ◆ 물질:

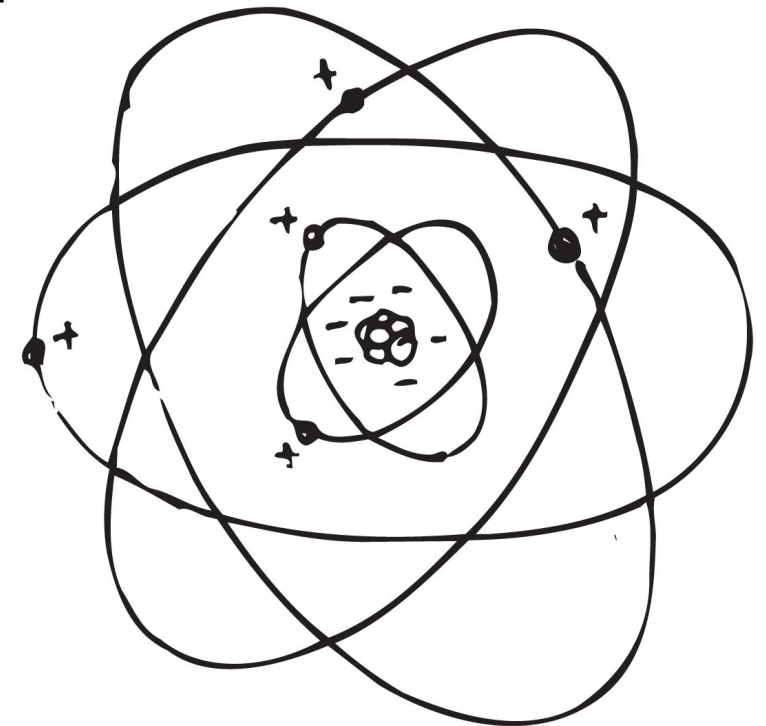
- 양전하를 띤 원자핵과 음전하를 띤 전자로 이루어진 원자로 구성

## ◆ 반물질:

- 음전하를 띤 원자핵과 양전하를 띤 전자, 즉 양전자로 이루어진 원자로 구성

## ◆ 물질과 반물질은 접촉하는 순간 완전히 에너지로 전환됨

- 따라서, 물질과 반물질이 동시에 존재할 수 없음



# 반물질

## ◆ 양전자

- 전자와 질량과 전하량은 같으나 전하의 부호가 반대, 즉 양전하를 띠

## ◆ 반양성자

- 양성자와 질량과 전하량은 같으나 음전하를 띠



# 암흑물질

## ◆ 암흑물질

- 은하계의 별을 강력한 중력으로 끌어당기지만 눈에 보이지 않고 그 실체도 모르는 물질
- 우주에 있는 물질의 23%를 차지

## ◆ 암흑에너지

- 척력(반중력)으로 작용해 우주를 가속 팽창시킴
- 우주 구성 물질의 73%에 해당

## ◆ 암흑물질과 암흑에너지의 정체를 밝히는 것이 오늘날 주요 과제임

“본 강의 동영상 및 자료는 대한민국 저작권법을 준수합니다. 본 강의 동영상 및 자료는 상명대학교 재학생들의 수업목적으로 제작·배포되는 것이므로, 수업목적으로 내려받은 강의 동영상 및 자료는 수업목적 이외에 다른 용도로 사용할 수 없으며, 다른 장소 및 타인에게 복제, 전송하여 공유할 수 없습니다. 이를 위반해서 발생하는 모든 법적 책임은 행위 주체인 본인에게 있습니다.”