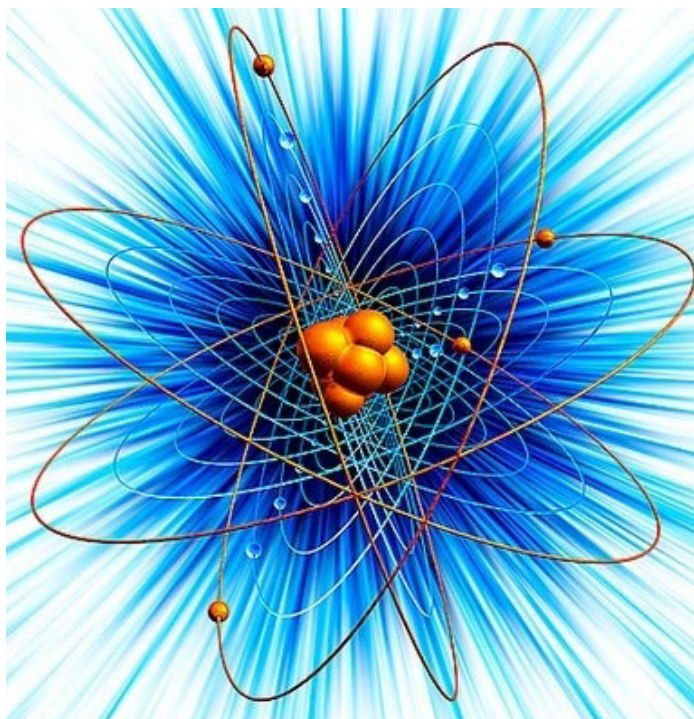


03 원자의 형성

Part01



1. 수소 원자와 헬륨 원자의 형성

이번 단원을 들어가기에 앞서, 84쪽에서 설명된 우주연대기를 다시 생각해 보자.

빅뱅 후 $10^{-35} \sim 10^{-32}$ 초 사이(인플레이션시기)에 우주 최초의 물질인 쿼크(quark) · 반쿼크(antiquark) · 렙톤(lepton) · 반렙톤(antilepton)이 만들어진다.

그리고 10^{-12} 초 ~ 1 초 사이(강입자시기)에 쿼크가 모여서 양성자 · 중성자를 만든다. 그러나 이 시기의 우주온도는 10^{12} (1조) K로 매우 높았다. 따라서 양성자와 중성자는 다시 쿼크로 분해되고 만다.

안정적인 양성자 · 중성자가 만들어진 것은 우주온도가 10^{10} (100억) K로 낮아진 시기인 빅뱅 후 1초가 지나서의 일이다.

그리고 빅뱅 후 15초가 되면 우주온도가 3×10^9 (30억) K로 더 낮아지면서 수소핵융합반응에 의해 가벼운 중수소원자핵 · 헬륨원자핵이 만들어진다.

우리가 이 단원에서 배우고자 하는 것은 중수소원자핵과 헬륨원자핵이 어떤 과정을 통해서 만들어졌는가 하는 것이다.

이를 위하여 먼저 원자를 구성하는 기본입자인 쿼크와 렙톤에 대하여 자세히 알아보고자 한다.

1 쿼크와 렙톤

중학교 때까지, 우리는 물질을 만드는 기본입자는 <원자(原子, atom)>라고 배웠다. 더 자세히 배운 학생이라면 <원자핵(양성자(陽性子, proton)와 중성자(中性子, neutron))과 <전자(電子, electron)>가 물질을 만드는 기본입자라고 답할 것이다.

이것이 옳은 대답일까?

옳은 대답이라고 하기에는 부족하다.

사실 양성자와 중성자와 같은 소립자보다 더 작은 입자가 있다.

양성자와 중성자는 몇 개의 초소립자(超素粒子, ultraelementary particle)가 모여서 만들어진다. 양성자와 중성자를 만드는 초소립자를 <쿼크(quark)>라고 한다.

한편 전자(電子, electron)는 쿼크와는 관계없이 독립적으로 존재하는 소립자(素粒子, elementary particle)이다. 이렇게 쿼크와는 관계없이 존재하면서 물질을 구성하는 기본입자를 <렙톤(lepton)>이라고 한다.^①

따라서 원자는 원자핵과 전자 또는 양성자, 중성자, 전자로 이루어졌다고 한다면 60점짜리 답이다. 세밀하게 본다면, 원자는 쿼크와 렙톤으로 이루어져 있다고 해야 할 것이다.

자, 다시 한번 질문하도록 하자. 물질을 만드는 기본입자는?
원자가 아니다. 쿼크와 렙톤이다.

쿼크와 렙톤은 빅뱅 후 우주가 인플레이션 되면서 만들어졌다.

쿼크와 렙톤은 우주물질을 만드는데 있어서 가장 궁극적인 구성입자이다.

그림1은 원자와 쿼크, 렙톤(전자)의 관계를 나타낸 것이다.

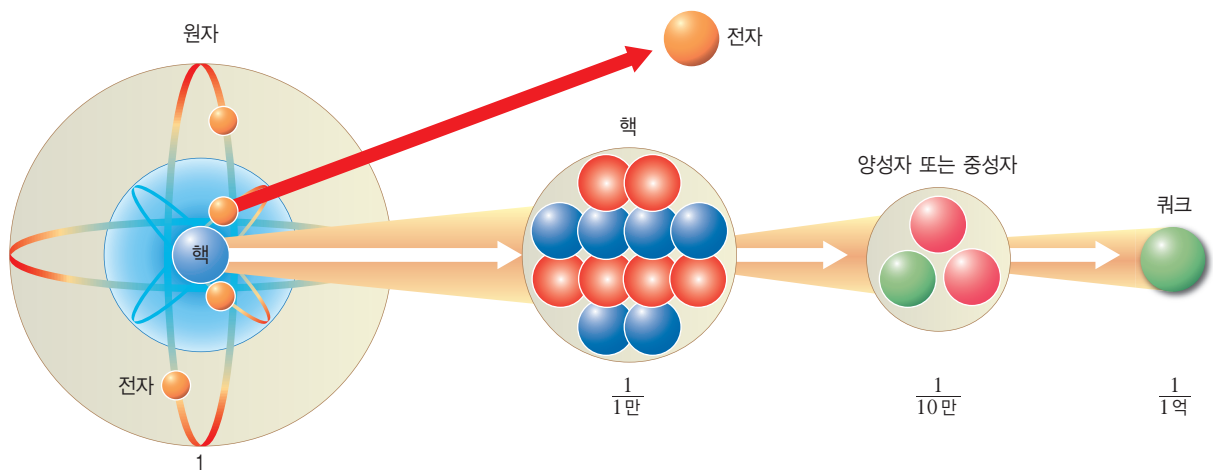


그림1 원자와 쿼크, 렙톤(전자)의 관계

1. 수소원자와 헬륨원자의 형성



① 쿼크, 초소립자, 소립자

쿼크(quark)는 <초소립자(超素粒子, ultraelementary particle)>라고 하기도 한다.

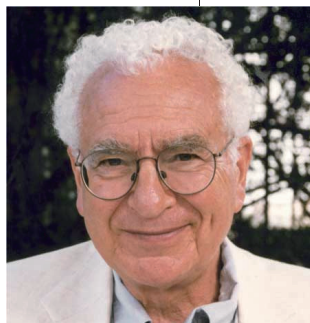
양성자, 중성자, 중간자와 같은 소립자(素粒子, elementary particle)는 초소립자가 모여서 만들어진다.

그렇다고 해서 모든 소립자가 초소립자로 이루어진 것은 아니다. 소립자 중에서 렙톤은 쿼크와는 관계없이 독립적으로 존재하는 한다. 전자는 대표적인 렙톤이다.



② 중간자

질량이 양성자와 전자의 중간에 위치한다는 의미에서 〈중간〉을 뜻하는 그리스말인 〈meson〉에서 중간자라는 말이 유래하였다.



머리 겔만(Murray Gell-Mann, 1929~)

③ 쿼크의 뜻

아일랜드의 소설가이자 시인으로 제임스 조이스(James Augustine Aloysius Joyce, 1882~1941)라는 사람이 있다. 그가 쓴 소설로는 〈율리시스(Ulysses)〉와 〈더블린 사람들(Dubliners)〉가 유명하다. 또한 그의 소설 중에 〈피네간의 경야(經夜)(Finnegans Wake)〉라는 것이 있다. 처음에 겔만은 이 초소립자를 오리의 울음 소리를 따라 쿼크라고 이름을 지었는데, 그 스펠링을 결정하지 못하고 있었다. 우연히 겔만이 제임스 조이스의 〈피네간의 경야〉에서 있는 한 구절에서 〈quark〉라는 단어를 보고 그 스펠링을 〈quark〉라고 결정했다.

〈Three quarks for Muster Mark!
Sure he has not got much of a bark
And sure any he has it's all
beside the mark.〉

이것이 그 구절이다.

용어 돋보기

* 글루온(gluon)

글루온(gluon)에서 〈glu-〉는 접착제의 일종인 아교(glue)를 뜻한다. 양자역학적으로 말해서 글루온은 질량·전하가 모두 0인 소립자이다.

④ 쿼크란 무엇일까?

전자·양성자·중성자·중간자(中間子, meson)^②처럼 원자를 구성하는 입자들을 〈소립자(素粒子, elementary particle)〉라고 한다. 또한 소립자와 대칭되는 입자로 〈반소립자(反素粒子, antiparticle)〉가 있다.

1960년대 전까지 원자는 소립자와 반소립자의 조합이라고 생각되었다. 그러나 실험기기가 발달함에 따라 소립자나 반소립자를 구성하는 더 작은 입자들이 있을 것이라고 생각되었다.

1964년 미국 물리학자인 겔만(Murray Gell-Mann, 1929~)은 이 작은 입자를 〈쿼크〉^③라고 불렀고, 총 6개의 쿼크가 있을 것으로 예상하였다.

최초의 쿼크는 1967년에 발견되었고, 1995년까지 총 6개의 쿼크가 발견된다.

쿼크는 강력이 작용하는 최소단위의 입자이다.
쿼크는 결코 독립적으로 존재하지 않기 때문에 강력이 작용하여 이루어진 입자 속에서 몇 개의 쿼크가 함께 관측된다.

쿼크끼리는 〈글루온(gluon)〉이라는 입자를 매개체로 하여 강력(강한 상호작용)을 통해서 강하게 결합함으로써 양성자·중성자·중간자와 같은 강입자(强粒子, hadron)를 형성한다.

⑤ 강입자(중입자·중간자)·경입자(렙톤)란 무엇일까?

강력(강한 상호작용)이 작용하는 소립자를 강입자라고 하며, 강입자는 쿼크의 조합에 의해 만들어진다. 강입자를 구성하는 쿼크수에 따라, 중입자(重粒子, baryon)와 중간자(中間子, meson)로 구분된다.

중입자는 3개의 쿼크가 강력에 의해 강하게 결합함으로써 만들어지는 소립자로, 양성자와 중성자가 대표적인 중입자이다.

중간자는 쿼크와 반쿼크가 각각 1개씩 짝을 이루어 만들어진다.

한편 렙톤(lepton)은 〈경입자(輕粒子)〉라고도 한다.
이것은 렙톤이 중입자와는 달리 가볍고 약력(약한 상호작용)이 작용하기 때문에 붙여진 이름이다.

경입자(렙톤)는 쿼크와는 달리 약력(약한 상호작용)이 작용하므로 서로 뭉치지 않는다. 만약 경입자(렙톤)에게 강력(강한 상호작용)에 작용한다면 뭉치겠지만 이런 경우는 없으므로 렙톤은 쿼크와는 전혀 성질이 다른 입자인 것이다.

경입자(렙톤)은 총 6종류가 있다. 이 중에서 대표적인 것이 전자(電子, electron)와 중성미자(中性微子, neutrino)이다.



TIPS



쿼크의 종류 >>>

지금까지 발견된 쿼크(quark)는 총 6종류이다. 6종류의 쿼크를 나타내면 다음과 같다.

	업 (up) 위	다운 (down) 아래	스트레인지 (strange) 야릇한	참 (charm) 맵시	톱 (top) 꼭대기	보텀 (bottom) 바닥
기호	u	d	s	c	t	b
전하량 (전자 1개 전하량에 대해)	$+\frac{2}{3}$	$-\frac{1}{3}$	$-\frac{1}{3}$	$+\frac{2}{3}$	$+\frac{2}{3}$	$-\frac{1}{3}$
질량(전자 1개 질량×)	10	20	200	3,000	9,000	60,000

쿼크 중에서 업쿼크(u)와 다운쿼크(d)는 양성자와 중성자를 구성할 때 사용되는 쿼크이다. 그리고 나머지 쿼크들(s·c·t·b)은 업쿼크나 다운쿼크보다 질량이 너무 커서 순식간에 붕괴되고 만다.

중간자 >>>

중간자는 현재까지 약 140여 종이 있는 것으로 알려져 있다. 각각의 중간자는 그 기능이 다르다.

파이중간자(π -meson)는 파이온(pion)이라고도 한다. π 중간자는 원자핵 안의 핵자(核子, nucleon) 사이에서 강력이 작용하게 하는 매개체 역할을 한다. 이때 핵자 사이에 작용하는 강력을 핵력(核力, nuclear force)이라고 한다. π 중간자가 없다면 원자핵이 존재할 수 없다.⁴

K중간자(K-meson)는 케이온(kaon)이라고도 한다. K중간자는 핵자와 핵자의 충돌 또는 핵자와 π 중간자의 충돌에 의해 만들어진다. K중간자의 질량은 핵자보다는 크지만 π 중간자가 나타내는 강력과 비슷한 크기의 강력을 일으킨다.⁵

중성미자 >>>

중성미자(中性微子, ν)를 뜻하는 <neutrino>는 <중성의 입자>라는 뜻의 그리스어 <neutro->와 <작다>는 뜻의 이탈리아어 <-ino>가 합쳐져 만들어진 말이다. 따라서 중성미자는 전기적으로 중성이고 가벼운 입자를 뜻한다. 중성미자는 총 3종류가 있다.

중성미자는 1934년에 이탈리아의 물리학자 페르미(Enrico Fermi, 1901~1954)에 의하여 그 존재가 예상되었다.

중성미자가 처음으로 검출된 것은 1953년의 일로 미국의 물리학자 라이네스(Frederick Reines, 1918~1998)와 코완(Clyde Lorrain Cowan Jr., 1919~1974)에 의해서였다. 이들은 그 공로로 1995년에 노벨물리학상을 받는다.

중성미자는 실험실에서는 어떤 원자핵이 방사선을 방출하면서 다른 원자핵으로 변하는 과정인 핵붕괴(核崩壞, decay)과정에서 얻어질 수 있다.

1. 수소원자와 헬륨원자의 형성



4 파이(π)중간자의 발견

π 중간자(π -meson)는 일본의 물리학자 유가와 히데키(Yukawa Hideki, 1907~1981)가 1935년에 그 존재를 예언하였지만 실제로 확인된 것은 1947년의 일이다. 영국의 물리학자 파웰(Cecil Frank Powell, 1903~1969)을 중심으로 한 다국적 물리학자팀은 우주선(宇宙線, cosmic rays)을 검출하는 실험을 진행하고 있었다. 우주선이란 우주에서 지구로 쏟아져 들어오는 고에너지의 가진 미립자나 방사선을 말하는 것이다. 이들은 지구로 쏟아져 들어온 우주선은 사진건판에 흔적을 남길 것이라고 예측하고 실험한 결과 사진건판에서 우주선 속에 담긴 π 중간자를 확인할 수 있었다. 이에 대한 공로로 유가와 히데키는 1949년, 파웰은 1950년에 노벨물리학상을 받게 된다.

5 케이(K)중간자의 발견

K중간자(K-meson)는 1947년에 영국의 물리학자 로체스터(George Dixon Rochester, 1908~2001)와 버틀러(Sir Clifford Charles Butler, 1922~1999)에 의해 우주선 속에서 발견되었다.

용어 돋보기

* 핵자(核子, nucleon)

원자핵을 구성하는 소립자인 양성자와 중성자를 합쳐서 핵을 구성하는 입자라는 뜻으로 <핵자(核子, nucleon)>라고 한다.



⑥ 양성자의 생성

전자 1개의 전하량을 q 라고 할 때 그림2에 나타난 것처럼 양성자는 전하량이 $+2/3q$ 인 업쿼크(u) 2개와 전하량이 $-1/3q$ 인 다운쿼크(d) 1개가 모여 만들어진다. 따라서 양성자는 $+q$ 만큼의 전하량을 갖게 된다.

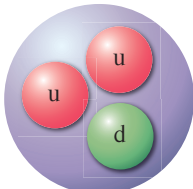


그림2 양성자의 형성

⑦ 중성자의 생성

그림3에 나타난 것처럼 중성자는 전하량이 $+2/3q$ 인 업쿼크(u) 1개와 전하량이 $-1/3q$ 인 다운쿼크(d) 2개가 모여 만들어진다. 따라서 중성자는 전하를 띠지 않는 중성입자가 된 것이다.

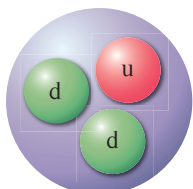


그림3 중성자의 형성

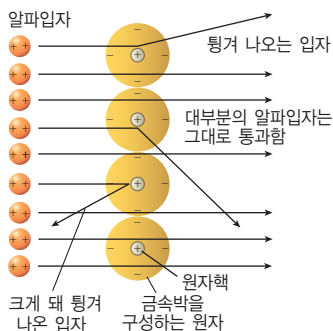
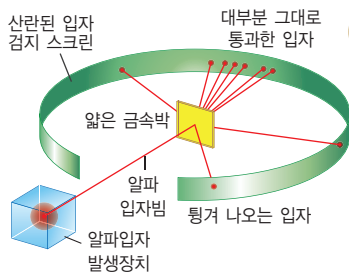


그림4 알파입자 산란실험

2 양성자와 중성자는 어떻게 만들어질까?

양성자·중성자는 원자핵을 구성하는 소립자이다. 양성자와 중성자는 모두 3개의 쿼크로 이루어져 있다.

④ 양성자의 형성

양성자(陽性子, proton, ${}^1\text{H}^+$)는 양(+)전하를 가지고 있는 소립자이다.

양성자 1개는 수소원자핵과 같으며, 반지름은 약 $1.2 \times 10^{-15}\text{m}$ 이다.

양성자 1개의 전하량은 $1.602 \times 10^{-19}\text{C}$ 으로 전자 1개가 가지고 있는 전하량과 같지만 질량은 $1.673 \times 10^{-27}\text{kg}$ 으로 전자보다 약 1,836배 무겁다.

빅뱅 후 10^{-4} 초가 되자 우주가 팽창되면서 우주온도가 낮아지고 이로 인해 활발히 운동하던 쿼크는 강력(강한 상호작용)이 작용하여 서로 뭉칠 수 있을 만큼 느려지게 된다. 그 결과, 양성자·중성자·중간자가 형성된다.

양성자는 그림2처럼 3개의 쿼크 결합에 의해 만들어진다.^⑥

④ 중성자의 형성

중성자(中性子, neutron, ${}^1_0\text{n}$)는 전하를 가지고 있지 않은 중성의 소립자이다. 양성자와 강력(강한 상호작용)에 의해 결합되어 원자핵을 구성한다.

중성자의 반지름은 양성자와 같으며, 중성자 1개의 질량은 $1.675 \times 10^{-27}\text{kg}$ 으로 양성자의 약 1.0014배가 된다.

중성자는 양성자와 같은 시기에 쿼크에게 작용한 강력(강한 상호작용)에 의하여 형성된다. 중성자도 그림3처럼 양성자처럼 3개의 쿼크의 결합에 의해서 만들어지는 하지만 결합되는 쿼크의 종류가 다르다.^⑦

TIPS

양성자 >>>

1909년에 영국 물리학자 러더포드(Ernest Rutherford, 1871~1937)는 그림4처럼 얇은 금속박에 양(+)전하를 띤 α 입자(${}^4\text{He}^{2+}$, 헬륨원자핵이다)를 쏘는 실험을 하였다. 그 결과 대부분의 α 입자는 금속박을 통과했지만 일부 α 입자는 산란되는 것을 발견하였다. 이것은 금속박을 구성하는 원자 중심에 양(+)전하를 띤 원자핵이 있음을 증명하는 것이었다. 그리고 1914년에 원자핵 속에 양(+)전하를 띤 입자가 있음을 주장하고, 이 입자를 양성자(陽性子, proton)라고 이름붙였다.

중성자 >>>

중성자는 1933년에 러더포드의 제자인 영국 물리학자 채드윅(James Chadwick, 1891~1974)이 α 입자를 얇은 베릴륨(Be)막에 쏘는 실험을 통해 발견했다. 이 업적으로 1935년 러더포드와 함께 노벨물리학상을 받는다

한편 중성자를 처음 언급한 사람은 하킨스(William Draper Harkins, 1873~1951)라는 미국 물리학자였다. 그는 중성자·중수소의 존재를 예측했고, 1921년에 〈Philosophical Magazine〉에서 중성자를 〈neutron〉으로 표현했다.



TIPS



〈융합형 과학〉은 무엇을 위한 과학인가? >>>

2010년 11월 10일에 국내 신문에 일제히 다음과 같은 기사가 실렸다. 기사 제목은 〈양성자 대신 납이온 충돌 - 미니 빅뱅 재현 성공〉이었다.

【우주를 탄생시킨 대폭발인 〈빅뱅〉 직후의 상태를 작은 규모로 재현하는 실험이 7일 유럽 입자물리연구소(CERN)의 거대강입자가속기(LHC)에서 성공했다고 AP통신이 보도했다.

CERN 소속 과학자들은 그동안 사용해온 양성자 대신 납이온을 충돌시키는 방법으로 태양 중심부 온도보다 100만 배 높은 극초고온과 극초밀도를 만들어냈다. LHC는 7일 처음으로 납이온 충돌에 성공했으며 이후 실험을 시작하기에 충분한 정도로 2개의 입자빔이 안정화됐다고 CERN은 밝혔다. 바르바라 바름바인 CERN 대변인은 〈가속기 안에서 일어난 것은 매우, 매우, 매우 작은 규모의 폭발(bang)이었다〉고 말했다.

과학자들은 LHC 내 충돌이 우주가 어떻게 시작됐는가를 파악하는 데 도움이 되는 〈쿼크-글루온 플라즈마〉로 이루어진 걸쭉한 물질 수프를 만들어낼 만큼 강력하기를 기대하고 있다. 이들은 앞으로 수주일 동안 납이온 충돌실험을 더 실시해 우주 탄생의 비밀에 대해 좀 더 많은 것을 밝혀낼 계획이다. 바름바인 대변인은 〈수개월 뒤에는 과학자들이 중요한 발견에 이를 수 있을 것〉이라고 말했다.

100억 달러를 들여 프랑스와 스위스 국경지대에 건설된 길이 27km의 원형 터널 구조물인 LHC는 2개의 입자빔을 광속에 가까운 속도로 충돌시킴으로써 빅뱅 직후의 상황을 재현할 목적으로 만들어졌다. 2008년부터 가동되기 시작했으며 과학계는 LHC가 우주에 관한 이해와 지식의 폭을 넓혀줄 것으로 기대하고 있다.

LHC는 암흑물질과 반(反)물질의 증거를 찾아내고 시공간의 숨은 차원까지 찾아내기 위해 주로 양성자 충돌실험에 사용되지만 매년 12월 정비를 위해 가동이 중단되기 전 한 달간은 납이온 충돌실험이 진행된다고 CERN 측은 설명했다. 납이온은 양성자보다 무거워 순환시키는 데 더 많은 에너지가 필요하기 때문에 과학자들이 찾고자 하는 물질의 상태를 만들어낼 가능성이 큰 것으로 알려졌다.】

이 신문기사를 보면 앞에서 우리가 배워서 익숙한 용어들이 나온다.

〈빅뱅〉, 〈CERN〉, 〈LHC〉, 〈쿼크〉, 〈글루온〉, 〈플라즈마〉, 〈암흑물질〉, 〈반물질〉^⑧

만약 우리가 위에 나열한 용어의 뜻을 모른다면, 이 신문기사가 무엇을 말하려고 하는지 알 수 없었을 것이다. 그러나 우리는 이 용어를 배웠기 때문에 이 신문기사를 충분히 이해할 수 있다. 이것이 〈융합형 과학〉이 여러분에게 주고자 하는 것이다.

현대사회를 살아가는데 있어서 필요한 최소한의 지식을 쌓자!

적어도 신문기사를 읽고 이를 제대로 이해할 수 있는 사람이 되자!

이것이 〈융합형 과학〉이 추구하는 바이다. 만약 여러분이 〈융합형 과학〉을 공부하지 않았다면 신문기사에 쓰여 있는 글자는 읽지만 그 뜻은 제대로 이해하지 못하는 〈현대문맹인(現代文盲人)〉으로 살아가야만 했을 것이다.

앞으로 계속 배우게 될 학습내용도 사실 현대문맹(現代文盲)을 벗어나기 위해 필요한 것들이다. 〈융합형 과학〉이 중학교 때까지 배워왔던 과학에 비해 좀 어렵더라도 힘내어 공부하도록 하자!

1. 수소원자와 헬륨원자의 형성



⑧ 물질과 반물질

양성자·중성자·전자를 소립자(素粒子, elementary particle)라고 한다.

한편 반양성자(反陽性子 antiproton)·반중성자(中性子, antineutron)·양전자(陽電子, positron)와 같은 것을 반소립자(反素粒子, antielementary particle)라고 부른다.

원자는 크게 볼 때 양성자·중성자·전자로 이루어져 있다. 즉, 소립자로만 구성되어 있다. 이렇게 소립자로만 구성되어 있는 것을 물질(物質, matter)이라고 한다.

이에 대하여 반양성자·반중성자·양전자와 같은 반소립자로만 구성된 것을 반물질(反物質, antimatter)이라고 한다. 반물질을 확인하기는 어렵지만 실험실에서 조작을 통하여 만들어낼 수 있다.

빅뱅(Big Bang) 직후에 초소립자와 반초소립자, 렙톤(경입자)과 반렙톤(반경입자)가 쌍으로 생성되었고 이에 따라서 물질과 반물질이 쌍으로 생성되었다고 생각되고 있다. 현재 우주공간 안에는 물질만 존재하고 있다. 반물질은 우주탄생의 비밀을 가지고 있는 것으로 여겨지고 있다.



용어 돋보기

* 양성자의 뜻

양성자를 뜻하는 〈proton〉은 그리스어에서 〈first(최초, 제1의, 중요한)〉를 뜻하는 〈protos〉에서 나온 말이다.

* 중성자의 뜻

중성자를 뜻하는 〈neutron〉은 라틴어 〈neutr(al)+on〉의 합성어이다. 〈neutr(al)〉은 〈ne-(not)+uter(two)〉 즉, 둘 중에 어느 것도 아니라는 뜻이다. 〈-on〉은 소립자에 붙는 어근이다.

* 쿼크, 경입자(렙톤), 강입자의 종류

쿼크 : 6종류(u·d·s·c·t·b)가 있다.

경입자 : 6종류가 있다. 음(-)전하를 띤 입자로는 전자·뮤온(muon)·타우온(tauon)이 있다. 그리고 이에 대응되는 3종류의 중성미자가 있다. 뮤온(1/200만 초)과 타우온(1/10조 초)은 수명이 매우 짧은 입자로 물리 I에서 배울 것이므로 이름 정도만 알고 넘어가도록 한다.

강입자 : 강입자는 중입자와 중간자로 나뉜다. 중입자는 3개의 쿼크로 이루어진 입자이다. 양성자·중성자가 대표적인 중입자이다. 중간자는 140여 종으로, 쿼크와 반쿼크가 1개씩 결합하여 만들어진다.



실전예제 01

다음은 쿼크에 대한 설명이다. 옳지 못한 것을 고르시오.

- ① 물질을 구성하는 가장 기본적인 단위의 입자는 쿼크이다.
- ② 쿼크는 총 6개의 쿼크가 발견되었는데, 6개의 반쿼크도 존재한다.
- ③ 쿼크 중에서 업쿼크(u)와 다운쿼크(d)는 양성자와 중성자의 재료가 된다.
- ④ 전자 1개의 전하량을 1이라고 할 때 업쿼크의 전하량은 $+2/3$, 다운쿼크는 $-1/3$ 이다.
- ⑤ 쿼크는 독립적으로 존재할 수 없다.

풀이

물질을 구성하는 가장 기본적인 입자는 쿼크와 렙톤(경입자)이다.

쿼크는 독립적으로 존재하지 않는다. 쿼크와 쿼크 사이에는 〈글루온(gluon)〉이라는 소립자를 매개체가 되어 강력(강한 상호작용)이 작용하기 때문에 2개 이상의 쿼크가 함께 발견된다.

그 결과 양성자·중성자·중간자와 같은 강입자(强粒子, hadron)를 형성한다.

양자역학에 따르면 어떤 (초)소립자가 있다면 이 (초)소립자와 성질이 정반대인 반(초)소립자가 있다고 한다.

쿼크의 반입자는 반쿼크이다. 따라서 6개의 쿼크가 있다면 6개의 반쿼크도 존재한다.

렙톤(경입자)은 약력(약한 상호작용)이 작용하는 입자로 쿼크와는 전혀 성질이 다른 입자이다.

전자는 대표적인 렙톤이다.

인플레이션시기에 쿼크와 반쿼크, 렙톤과 반렙톤이 만들어진다.

정답

①

실전예제 02

다음은 우주를 구성하는 입자에 대한 설명이다. 옳지 못한 것을 고르시오.

- ① 양성자와 중성자는 소립자, 쿼크는 초소립자라고 한다.
- ② 쿼크는 강력(강한 상호작용)이 작용하는 최소단위의 입자이다. 렙톤(경입자)은 약력(약한 상호작용)이 작용하므로 렙톤(경입자)끼리는 서로 뭉칠 수 없다.
- ③ 강입자는 강입자를 구성하는 쿼크의 수에 따라 중입자와 중간자로 구분된다. 중입자는 3개의 쿼크로 이루어진 입자이고, 중간자는 쿼크와 반쿼크가 각각 1개씩 짝을 이루어 만들어진다.
- ④ 전자는 렙톤(경입자)에 속하는 것으로는 대표적인 입자이다.
- ⑤ 우주물질을 구성하는 가장 기본적인 입자는 쿼크와 렙톤(경입자)으로 빅뱅후 3분 후에 만들어졌다.

풀이

우주물질을 구성하는 가장 기본적인 입자는 쿼크와 렙톤(경입자)이다.

쿼크와 쿼크가 강력(강한 상호작용)에 의해 작용하여 강입자를 만들지만 렙톤은 약력(약한 상호작용)이 작용하므로 렙톤끼리 뭉치는 경우는 없다.

쿼크와 렙톤은 빅뱅후 인플레이션시기(빅뱅 후 10^{-35} 초 $\sim 10^{-32}$ 초)에 만들어졌다.

정답

⑤

다음은 양성자와 중성자에 대한 설명이다. 빈 칸에 알맞는 말을 보기에서 고르시오.

온도가 아주 높으면 쿼크와 쿼크 사이에 (①)이 작용할 수 없다. 우주온도가 낮아져서 쿼크와 쿼크 사이에 (①)이 작용할 수 있게 되자 (②)가 만들어지기 시작했다. (②)는 (③)에 속하는 양성자와 중성자 그리고 중간자 등이 있다.

빅뱅 후 (④)초가 되면 쿼크가 모여서 양성자와 중성자를 형성한다. 이때 생성되는 양성자와 중성자의 비율은 약 (⑤)이었다. 그러나 이 시기의 우주는 너무 뜨거웠기 때문에 양성자와 중성자는 곧 다시 쿼크로 분해되고 말았다.

양성자·중성자가 다시 쿼크로 분해되지 않게 된 것은 우주온도가 더 낮아진 빅뱅 후 (⑥)초가 지난 후부터였다. 이 시기에 만들어진 중성자 중 일부는 다시 양성자로 바뀌게 된다. 그 결과 양성자와 중성자의 비율은 지금처럼 약 (⑦)이 된다.

양성자의 질량은 중성자의 질량보다 약간 (⑧). 전자의 전하량이 q 라고 할 때 양성자의 전하량은 (⑨)가 된다. 양성자의 전하량이 (⑨)인 것은 양성자는 업쿼크 (⑩)개와 다운쿼크 (⑪)개로 이루어졌기 때문이다. 한편 중성자는 업쿼크 (⑫)개와 다운쿼크 (⑬)개로 이루어져 있기 때문에 전하량은 (⑭)이 된다.

보기

- | | | | | |
|--------------|--------------|-------------|-------------|--------------|
| ㉠ 강력 | ㉡ 약력 | ㉢ 전자기력 | ㉣ 중력 | ㉤ 높아져서 |
| ㉥ 낮아져서 | ㉦ 강입자 | ㉧ 중입자 | ㉨ 경입자 | ㉩ 10^{-21} |
| ㉪ 10^{-12} | ㉫ 10^{-11} | ㉬ 10^{-6} | ㉭ 10^{-4} | ㉮ 1 : 1 |
| ㉯ 2 : 1 | ㉰ 3 : 1 | ㉱ 7 : 1 | ㉲ 8 : 1 | ㉳ 9 : 1 |
| ㉴ 작다 | ㉵ 크다 | ㉶ $+1/2q$ | ㉷ $-1/2q$ | ㉸ $+q$ |
| ㉹ $-q$ | ㉺ 0 | ㉻ 1 | ㉼ 2 | ㉽ 3 |

풀이

쿼크와 쿼크 사이에는 글루온이 매개가 되어 강력(강한 상호작용)이 작용한다. 이렇게 강력이 작용하여 2개 이상의 쿼크의 조합에 의해 만들어진 소립자를 강입자라고 한다.

강입자는 중입자와 중간자로 구분된다. 중입자로는 양성자·중성자 등이 있다.

빅뱅은 우주의 공간을 만들어낸 순간이다. 아직 양성자와 중성자가 만들어진 것은 아니다.

인플레이션시기인 빅뱅 후 10^{-35} 초~ 10^{-32} 초가 되었을 때 에너지의 상변화하는 과정에서 발생한 에너지에 의해 쿼크와 반쿼크, 렙톤과 반렙톤이 만들어진다.

양성자와 중성자는 빅뱅 후 10^{-4} 초가 지난 후부터 만들어진다. 이때 생성된 양성자와 중성자의 비율은 1 : 1 이었다. 그러나 이 시기의 우주는 너무 뜨거웠기 때문에 양성자·중성자는 다시 쿼크로 분해되고 만다.

양성자·중성자가 다시 쿼크로 분해되지 않게 된 것은 우주온도가 더 낮아진 빅뱅 후 1초이 지난 후부터였다. 이 시기에 만들어진 중성자 중 일부는 다시 양성자로 바뀌게 된다. 그 결과 양성자와 중성자의 비율은 지금처럼 약 7 : 1이 된다. 중성자는 양성자보다는 1.0014배 정도 무겁다.

전자의 전하량을 q 라고 하자.

양성자는 전하량이 $+2/3q$ 인 업쿼크(u) 2개와 $-1/3q$ 인 다운쿼크(d) 1개로 이루어져 있다. 따라서 양성자는 $+q$ 만큼의 전하량을 나타낸다. 이에 비해 중성자는 업쿼크 1개와 다운쿼크 2개로 이루어져 있다. 따라서 중성자는 전하량이 0이 되어서 전기적으로 중성을 나타낸다.

1. 수소원자와 헬륨원자의 형성



정답

- ① ㉠ ② ㉤ ③ ㉢ ④ ㉢ ⑤ ㉤
 ⑥ ㉡ ⑦ ㉦ ⑧ ㉡ ⑨ ㉸ ⑩ ㉢
 ⑪ ㉢ ⑫ ㉢ ⑬ ㉢ ⑭ ㉺



3 수소와 중수소는 어떻게 다를까?

원자의 표시법

원자는 전기적인 중성이다. 이 말은 원자가 가지고 있는 양성자와 전자수가 같다는 뜻이다. 즉, 양성자가 나타내는 양(+)전하와 전자가 나타내는 음(-)전하의 양이 같기 때문에, 전기적으로 양(+)이나 음(-)이 아니란 말이다.

원자를 구성하는 양성자와 중성자의 합(양성자수 + 중성자수)을 <질량수(質量數, mass number)>라고 한다. 원자마다 양성자수가 다르기 때문에 양성자수를 이용하여 원자를 나타내게 된다. 원자가 갖고 있는 양성자수를 <원자번호(原子番號, atomic number)>라고 한다.

다음은 원자의 원자번호가 a, 질량수가 b인 원자 X를 나타낸 것이다.

원자 표시법		뜻
표시법	${}_a^bX$	a : 원자번호 (= 양성자수 = 전자수)
		b : 질량수 (= 양성자수 + 중성자수 = 핵자수)

앞의 원자를 표시하는 방법에 따라서 여러 가지 원자를 표시하면 다음과 같다.

	헬륨	리튬	탄소	질소	산소	나트륨	철	구리	아연	우라늄
화학기호	${}_2^4\text{He}$	${}_3^6\text{Li}$	${}_6^{12}\text{C}$	${}_7^{14}\text{N}$	${}_8^{16}\text{O}$	${}_{11}^{23}\text{Na}$	${}_{26}^{56}\text{Fe}$	${}_{29}^{63}\text{Cu}$	${}_{30}^{65}\text{Zn}$	${}_{92}^{238}\text{U}$
원자번호	2	3	6	7	8	11	26	29	30	92
질량수	4	6	12	14	16	23	56	63	65	238
양성자수	2	3	6	7	8	11	26	29	30	92
중성자수	2	3	6	7	8	12	30	34	35	146
핵자수	4	6	12	14	16	23	56	63	65	238
전자수	2	3	6	7	8	11	26	29	30	92

수소의 동위원소

수소는 3가지가 있다.

우리가 일반적으로 <수소(水素, hydrogen)>라고 부르는 것과 <중수소(重水素, deuterium)>, <삼중수소(三重水素, tritium)>가 그것이다.

수소, 중수소, 삼중수소는 양성자수와 전자수가 같아 화학적 성질은 같지만 중성자수는 달라 물리적 성질이 다르다. 이런 관계의 물질을 <동위원소(同位元素, isotope)>라고 부른다. 수소, 중수소, 삼중수소는 동위원소 관계이다.

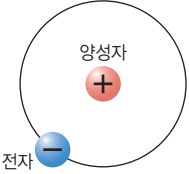
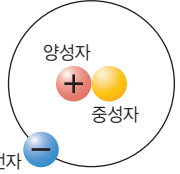
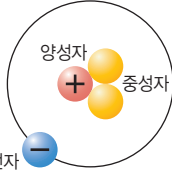
다음 표는 수소, 중수소, 삼중수소를 나타낸 것이다.

용어 돋보기

* 동위원소(同位元素, isotope)

동위원소(同位元素, isotope)란 양성자와 전자수는 같아서 화학적으로 같은 원소이지만 중성자수가 달라서 물리적 성질이 다른 원자를 말한다. 자연 속에 존재하는 원소는 약 90 여종 정도인데, 대부분의 원소들은 동위원소를 가지고 있다. 아래 표는 대표적인 동위원소들을 나타낸 것이다.

동위원소의 예	
수소	${}_1^1\text{H}$, ${}_1^2\text{H}$, ${}_1^3\text{H}$
헬륨	${}_2^3\text{He}$, ${}_2^4\text{He}$
탄소	${}_6^{12}\text{C}$, ${}_6^{13}\text{C}$, ${}_6^{14}\text{C}$
산소	${}_8^{16}\text{O}$, ${}_8^{17}\text{O}$, ${}_8^{18}\text{O}$
철	${}_{26}^{54}\text{Fe}$, ${}_{26}^{56}\text{Fe}$, ${}_{26}^{57}\text{Fe}$, ${}_{26}^{58}\text{Fe}$
우라늄	${}_{92}^{234}\text{U}$, ${}_{92}^{235}\text{U}$, ${}_{92}^{238}\text{U}$

	수소(${}^1\text{H}$)	중수소(${}^2\text{H}$)	삼중수소(${}^3\text{H}$)
			
원자번호	1	1	1
질량수	1	2	3
양성자수	1	1	1
중성자수	0	1	2
전자수	1	1	1

실전예제 04

다음 설명 중 옳지 못한 것을 고르시오.

- ① 원자는 전기적으로 중성이다.
- ② 질량수란 원자가 가지고 있는 양성자수와 전자수의 합을 말한다.
- ③ 원자번호는 양성자수와 같다.
- ④ ${}_a^b\text{X}$ 에서 a는 원자번호, b는 질량수를 뜻한다.
- ⑤ 동위원소란 원자번호는 같지만 질량수가 다른 원소를 말한다.

풀이

작게 보면 원자는 쿼크와 중간자, 전자의 모임이라고 할 수 있다. 그러나 크게 보면 원자는 원자핵과 전자, 원자핵은 양성자와 중성자로 이루어져 있다. 한편 양성자·중성자의 질량에 비해 전자의 질량은 매우 작으므로 원자의 질량을 생각할 때 전자의 질량은 무시해도 좋다. 그러므로 원자의 질량을 결정하는 값인 질량수는 양성자수와 중성자수의 합으로 나타내게 되는 것이다.

실전예제 05

다음의 빈 칸에 알맞는 숫자를 써 넣으시오.

철(${}^{56}_{26}\text{Fe}$)는 원자번호는 (①)이고, 질량수는 (②)이다. 양성자수는 (③), 중성자수는 (④), 전자수는 (⑤), 핵자수는 (⑥)가 된다. 한편 동위원소관계에 있는 수소·중수소·삼중수소를 원소기호·원자번호·질량수를 이용해서 표시하면 각각 (⑦), (⑧), (⑨)처럼 표시된다.

풀이

${}_a^b\text{X}$ 에서 a는 원자번호, b는 질량수를 뜻한다. 원자번호 = 양성자수 = 전자수이며, 질량수 = 양성자수 + 중성자수 = 핵자수이다. 수소·중수소·삼중수소는 각각 ${}^1\text{H}$, ${}^2\text{H}$, ${}^3\text{H}$ 로 표시된다.

1. 수소원자와 헬륨원자의 형성



정답

②

정답

- ① 26 ② 56 ③ 26 ④ 30 ⑤ 26
⑥ 56 ⑦ ${}^1\text{H}$ ⑧ ${}^2\text{H}$ ⑨ ${}^3\text{H}$