

결합할 때 발생하는 질량 결손 등을 고려해 보정해야만 정확한 중성자의 질량을 구할 수 있습니다. 중성자와 양성자의 질량은 거의 같지만, 중성자가 아주 조금 더 무겁습니다.



소립자가 아닌 원소를
물질의 기본 단위로 정의하는
이유가 무엇인가요?

17



장흥제 교수가 답하다

‘물질은 무엇으로 이뤄져 있는가’는 대답하기 쉬운 것 같으면서도 은근히 까다로운 질문입니다. 조건에 따라 답이 달라질 수 있기 때문입니다. 이 질문에 가장 보편적이면서 오류가 적은 답은 ‘물질은 하나 혹은 여러 가지 종류의 원소로 이뤄져 있다’라고 생각합니다. 소립자처럼 물질을 구성하는 더 작은 입자가 발견됐지만, 현재 통용되는 물질의 기본 단위는 여전히 원소이기 때문입니다.

더 이상 나눌 수 없는 원자가 깨지다

원자와 원소에 대한 최초의 기본적인 개념은 자연과학의 뿌리라 할 수 있는 철학에서 시작됩니다. 통상 철학의 시조로 일컬어지는 밀레토스 학파의 철학자들은 세상의 근원에 대해 탐구하며 원자와 원소에 대한 개념을

발전시켰습니다. 공기를 근원으로 생각한 아낙시메네스(Anaximenes), 흙을 근원으로 삼은 크세노파네스(Xenophanes), 그리고 불을 근원으로 정의한 헤라클레이토스(Heraclitus)를 거쳐 레우키포스(Leucippus)와 그 제자 데모크리토스(Democritus)는 모든 것을 이루는 가장 작고 기본적인 원자라는 객체가 존재한다는 원자설을 완성했습니다.

데모크리토스는 앞서 언급된 물, 공기, 흙, 불 네 가지 원소를 기본으로 한 더 이상 분할할 수 없는 원자와 공허로 세상이 이뤄져 있다는 4원소설을 주창하며, 원자는 생겨나거나 소멸하지 않는다는 이론을 만들었습니다. 하지만 데모크리토스는 유물론(Materialism)과 유신론(Theism)의 중간적인 관점에서, 원자가 세상을 물질적으로 구성하고 있으나 원자의 운동은 신에 의해 예정된 필연적 거동으로 해석했습니다. 이후 에피쿠로스(Epicurus)와 루크레티우스(Lucretius)가 원자의 운동이 무작위적으로 이뤄져 있음을 주장하며 근대 원자론의 기틀이 마련됐습니다.

이후의 원자설은 우리에게 익숙한 존 돌턴(John Dalton)의 이론입니다. 돌턴은 물질이 더 이상 분해할 수 없는 원자로 이뤄져 있다고 설명했습니다. 이 개념은 조지프 톰슨(Joseph John Thomson)이 음극선관 실험을 통해 전자를 발견하고, 어니스트 러더퍼드(Ernest Rutherford)가 알파입자 산란 실험을 통해 원자핵을 발견하면서 와장창 깨져버리고 맙니다. 원자가 단순히 동그랗고 단단한, 작은 기본 입자가 아니라는 사실이 밝혀진 것입니다. 중앙에 높은 밀도로 뭉쳐있는 원자핵이 존재하고, 그 주위에 전자가 자리잡고 있는 세부적인 구조를 상상할 수 있게 된 것이죠.

이후 인류는 원자핵과 전자보다 더 기본적인 입자인 소립자(elementary particle)의 존재를 확인하게 됩니다. 머리 겔만(Murray Gell-Mann)과 조지 츠바이크(George Zweig)는 원자핵이 $+\frac{2}{3}$ 만큼의 양의 전하를 갖는 업 쿼크(up-

quark)와 $-\frac{1}{3}$ 만큼의 음의 전하를 갖는 다운 쿼크(down-quark)로 이뤄져 있다는 사실을 알아냈습니다. 이들이 각기 다른 비율로 3개씩 모여서 양성자(업 쿼크 2개, 다운 쿼크 1개)와 중성자(업 쿼크 1개, 다운 쿼크 2개)를 이루고 있으며 이들이 원자핵을 구성한다는 좀 더 심층적인 영역으로 들어갈 수 있게 됐습니다. 또 쿼크는 이들 외에도 4가지가 더 있어 총 6가지가 존재한다는 것과, 전자를 포함해 총 6가지 종류로 렙톤(Lepton)이라는 소립자가 존재한다는 사실까지 밝혀지면서 세상을 이루는 기본 입자에 대한 개념은 더 작고 상세하게 쪼개졌습니다.

물질의 '성질'을 설명하는 기본 단위, 원소

그렇다면 원소는 더 이상 물질의 기본 단위가 될 수 없는 걸까요? 질문에 대한 답은 물질의 기본 단위를 어떻게 정의하느냐에 따라 결정될 수밖에 없습니다. 물질은 다양한 사전적 정의가 존재하지만, 가장 대표적으로 '물체의 본바탕'으로 정의합니다. 물체의 본바탕을 보여주는 기본 단위가 작고 기본적인 소립자인지, 혹은 제각각의 특성을 갖는 원소인지 생각해볼 필요가 있습니다.

쉬운 예로 설명해 보겠습니다. 건물을 짓거나 살펴볼 때 우리가 생각하는 기본 구성 요소는 철골, 유리, 대리석 등입니다. 이것을 철가루, 규소화합물, 모래 등으로 더 작게 쪼개지 않습니다. 철골, 유리, 대리석이 기본적인 재료의 특성과 기능을 갖고 있기 때문입니다. 마찬가지로 물(H₂O)을 설명할 때도 물의 특성을 만들어내는 수소와 산소의 조합으로 설명합니다. 즉, 작고 가벼우며 분자 상태로는 폭발성과 생체 독성을 보이는 수소라는 원소와, 안정하지만 반응성이 높고 분자로서 물질대사와 생체 반응의 핵



라돈(Rn)

라돈 방사성 붕괴로 처음 발견된 18족 비활성 기체 원소. 색, 냄새, 맛이 없는 기체로, 모든 동위원소들이 강한 방사선을 내고 반감기가 짧다. 영국의 핵물리학자인 어니스트 러더퍼드는 라돈이 알파붕괴를 통해 라돈으로 변하고 알파입자를 방출하는 현상을 연구해 내부에 원자핵이 있는 새로운 원자 모형을 제시했다.



심이 되는 산소라는 원소가 2:1의 비율로 배열돼 형성했다고 말하죠. 그로 인해 높은 비열을 가지고, 수소결합을 할 수 있는 극성 용매라는 관점에서 물을 이야기하지, 그것을 형성하고 있는 쿼크와 렙톤의 산술적인 집약으로 이야기하지 않습니다. 핵분열 또는 핵융합 반응도 쿼크와 렙톤으로 설명하기는 너무나 힘이 듭니다.

물질을 소립자 단위로 이해하느냐, 원소 단위로 이해하느냐는 물리적 접근법과 화학적 접근법의 차이라고 생각합니다. 물질의 성질과 배열을 다루는 화학적 관점에서는 원자핵이 더욱 작은 소립자의 형태까지 분해되는 일은 일어날 수 없는 사건입니다.

반대로 입자물리학이나 양자물리학적 관점에서 물질을 살펴본다면 그 본질적인 기본 단위는 다양한 소립자나 그보다 더 작은 단위로 통용될 수 있겠죠. 그런 의미에서 저는 화학 분야에서 모든 물질의 기본 단위는 원소라는 점이 여전히 유효하며, 원소에서 출발한 표현인 원소기호, 금속 원소, 비금속 원소 등이 사람들간의 이해와 소통을 돕는 적절한 표현이라고 생각합니다.



150년 전 멘델레예프가 만든 주기율표를 계속 사용하는 이유가 뭔가요?

18