

다(상대적으로 무거운 별들은 계속 중력수축을 일으켜 블랙홀로 변합니다). 킬로노바는 바로 이런 중성자별 두 개가 서로의 주변을 돌다가 충돌하면서 발생하는 폭발입니다. 킬로노바는 태양계로부터 약 1억4000만 광년 떨어진 ‘NGC 4993’ 은하에서 2017년 처음으로 관측됐는데요. ‘GW170817’이라고 명명된 이 발견은 국제학술지 ‘사이언스’가 선정한 ‘2017 올해의 과학 연구 성과’ 중 1위로 뽑히기도 했습니다.

다시 본론으로 돌아와, 최근에는 이런 중성자별 충돌, 즉 킬로노바로 부터 무거운 원소가 탄생했다는 가설을 지지하는 연구 결과가 속속 나오고 있습니다. 한 예로 지구 대양 바닥에 존재하는 불안정한 동위원소이자 8100만 년의 반감기를 가진 무거운 플루토늄-244(^{244}Pu)의 기원을 조사한 연구를 들 수 있습니다. doi: 10.1038/nphys3574

이스라엘 연구팀은 지각의 플루토늄-244 존재량을 통해 초신성 폭발로 무거운 원소가 얼마나 만들어졌는지를 알 수 있을 것으로 보고 존재량을 측정했습니다. 그러나 초신성 폭발로 만들어졌다고 하기에는 플루토늄-244의 존재량이 너무 적었습니다. 이는 초신성 폭발보다 훨씬 드문 이벤 트인 중성자별 충돌 등에 의해 무거운 원소가 생성됐음을 시사합니다.

2019년 10월 국제학술지 ‘네이처’에는 2017년 관측한 킬로노바 자료를 분석한 결과, 중성자별 충돌 과정에서 중성자 포획을 통해 원자번호 38번 스트론튬(Sr)이 만들어졌음을 밝힌 연구도 실렸습니다. 이는 중성자별이 중성자로 이뤄졌으며 r-과정이 중성자별에서 일어날 수 있음을 확인한 결과입니다. doi: 10.1038/s41586-019-1676-3 아직 확신할 수는 없지만 무거운 원소의 탄생을 설명하는 패러다임이 조만간 크게 바뀔 수도 있음을 조심스럽게 예측해 봅니다.



원소는 앞으로
 몇 개까지 나올 수
 있나요?

10



지금까지 발견된 원소는 모두 118개입니다. 원자번호 1번 수소(H)에서 118번 오가네손(Og)까지 118개 원소 중에는 자연에 존재하는 원소들도 있고 인간이 실험실에서 만들어 낸 원소들도 있습니다. 이런 원소들은 앞으로 몇 개까지 더 나올 수 있을까요?

멘델레예프가 예측한 원소를 만들다

자연에 존재하는 원소들을 하나둘씩 발견한 인류는 원소를 인공으로 합성하는 데에도 관심을 가졌습니다. 새로운 원소를 찾아내면 원소의 이름을 제안할 수 있는 큰 기회가 주어지기 때문에 과학기술력과 국력을 자랑하고자 하는 나라들이 앞다퉀 인공원소 연구에 뛰어들었습니다.

인류가 첫 번째로 만들어 낸 인공원소는 원자번호 43번인 테크네튬(Tc)

입니다. 1937년 이탈리아 연구팀이 몰리브데넘(Mo)에 가속된 중수소의 원자핵(중양성자)을 충돌시키는 과정에서 우연히 발견했습니다. 재밌게도 이 원소는 러시아의 화학자 드미트리 멘델레예프가 주기율표를 만들 당시 예언했던 원소였습니다. 멘델레예프는 족과 주기로 나열되는 주기율표를 만들면서 당시까지 발견된 원소들을 채워 넣었는데, 그 과정에서 6족 몰리브데넘과 8족 루테튬(Ru) 사이에 존재해야만 하는 원소가 있다는 사실을 깨달았습니다. 멘델레예프는 이 원소의 성질을 7족의 망가니즈(Mn)를 통해 예측하고, '에카-망가니즈(Em·Eka-manganese)'라는 임시 이름을 붙여 주기율표상의 자리를 비워뒀습니다.

새로운 원소는 바로 이런 에카-망가니즈와 유사한 여러 가지 성질을 가지고 있었습니다. 과학자들은 인류가 만들어낸 첫 번째 인공원소라는 의미를 기리기 위해서 그리스어 '테크네토스(technetos·'인공'이라는 뜻)'에서 이름을 따 테크네튬이라고 명명했습니다.

우라늄보다 무거운 초우라늄 원소들에 주목

테크네튬의 발견은 과학자들에게 앞으로 어떤 방식으로 새로운 원소를 찾아낼 수 있을지 실마리를 줬습니다. 같은 방식으로 과학자들은 주기율표로부터 존재가 예상되지만 아직 발견되지 않은 원소, 또는 자연계에 존재하지 않는 초우라늄 원소들을 탐색해 나갔습니다.

덕분에 플루토늄(Pu), 아메리슘(Am), 퀴륨(Cm), 오가네손 같은 다양한 새로운 원소가 밝혀졌고, 2016년에는 일본 연구팀이 발견한 원자번호 113번의 인공원소가 니호늄(Nh)이란 이름으로 주기율표에 공식 등록됐습니다. 그리고 대중에게 공식적으로 알려지지 않았지만, 118번 오가네손

테크네튬(Tc)

인류가 인공적으로 만든 최초의 원소. 그리스어 '테크네토스(technetos-‘인공’이라는 뜻)'에서 이름을 따왔다. 원자번호 43번인 테크네튬은 멘델레예프가 1871년 예측한 에카-망가니즈에 해당한다. 자연에서는 우라늄 광석에 극미량 존재한다. 강철 합금 제조나 방사선 의료 진단에 활용된다.



바로 다음 원소인 119번 우눈에늄(Ununennium)에 대한 연구가 일본 이화학연구소(RIKEN), 러시아 합동원자핵연구소(JINR) 주도로 최근 시작됐습니다.

그렇다면 인류는 앞으로 새로운 원소를 얼마나 더 찾아낼 수 있을까요. 새로운 원소를 발견하는 일은 갈수록 더 높은 수준의 기술을 필요로 합니다. 원자번호가 높아질수록 원소는 극도로 불안정해 짧게는 수 μs (마이크로초·1 μs 는 100만분의 1초)도 안 되는 시간 동안만 존재하고, 이내 붕괴해 다른 원소로 바뀌어버리기 때문입니다.

과학자들은 초악티늄 원소에 집중하고 있습니다. 초악티늄 원소는 초우라늄 원소 중 일부입니다. 초우라늄 원소는 자연 상태에 존재하는 원소들 중 가장 무거운 원소인 우라늄(U)을 기준으로 그 보다 높은 원자번호를 갖는, 원자번호 93번 넵투늄(Np)부터 118번 오가네손까지의 원소들을 말합니다. 초악티늄 원소는 그중 원자번호가 104번 이상(혹은 정의에 따라 원자번호 110번 이상)인 원소들입니다.

우라늄보다 무거운 원소라고 해서 지구상에 존재할 수 없는 것은 아닙니다. 다만, 원자량이 높을수록 원소의 불안정성이 커져서 방사성 붕괴를 통해 존재량이 절반으로 감소하는 시간인 반감기가 짧아집니다. 초악티늄 계열 원소들은 반감기가 극도로 짧아 녹는점이나 결정구조와 같은 기본 특성들조차 아직 밝혀지지 않았습니다.

원자번호 높을수록 불안정한 이유

원소의 방사성 붕괴 현상, 나아가 새로운 원소를 얼마나 더 찾을 수 있을지를 이해하기 위해서는 조금 어렵지만 원자의 구조를 이해해야 합니다.

테크네튬이 발견되기 전인 1900년대 초기에는 수많은 화학적 개념의 혁명이 일어났던 시기였습니다. 어니스트 러더퍼드의 알파입자 산란 실험을 통해 원자핵의 존재가 관찰됐고, 닐스 보어의 원자 구조와 양자이론 등 원자의 구조와 상태에 대한 분석도 이 시기에 이뤄졌습니다.

원자의 구조와 거동을 조금씩 이해하게 되면서 원소 발견의 한계를 예상할 수 있는 몇 가지 단서도 나왔습니다. 원자의 구조상 중심에 존재하는 원자핵에는 양전하를 띠는 양성자와 이들 간의 반발력을 억제하고 매우 좁은 공간에 하나로 뭉쳐 있도록 돕는 중성자가 존재합니다. 이들 주변을 전자가 구름과도 같은 분포로 둘러싸며, 전자가 존재할 수 있는 특정한 에너지 조건을 만족하는 위치가 정해집니다. 이것을 우리는 전자껍질이라고 이해하며, 연속적이지 않은 위치들에 전자가 자리 잡고 있다고 설명합니다.

이런 구조로부터 우리는 원자핵에 가까운 전자와 멀리 위치한 전자들 간의 차이점을 예상할 수 있습니다. 원자핵 근처에 있는, 강한 양전하에 단단히 결합된 가장 안쪽의 전자들은 정전기적 인력에 의해 원자핵에 충돌하지 않도록 광속에 가까운 속도로 궤도를 그리며 공전합니다. 이런 안쪽 전자가 알베르트 아인슈타인의 특수상대성 이론에 따라 물체에 질량을 부여합니다.

결국, 안쪽 전자가 바깥쪽 전자보다 무거워지며 바깥쪽 전자에 의해 원소의 화학적 특성(전자의 출입에 따른 이온의 생성 등)이 결정됩니다. 원자번호가 높아지면 원자핵의 양전하가 증가함에 따라 이런 경향은 더 강해집니다. 원자번호가 높을수록 원소의 안정성이 감소해 방사성 붕괴 등의 현상이 발생하는 것입니다.

여기에 또 한 가지 흥미로운 사실이 존재합니다. 18족 원소인 비활성 기

체처럼 원자 구조에서 전자껍질에 전자가 가득 채워져 있는 경우, 원소가 높은 안정성을 보인다고 알려져 있는데요. 각각의 전자껍질 상태에서 원자핵의 양성자 수와 중성자 수에 따라서도 원소의 안정성이 달라집니다. 전자껍질과 원자핵의 안정성 ‘궁합’이 가장 잘 맞는 헬륨(He·원자번호 2번), 산소(O·원자번호 8번), 칼슘(Ca·원자번호 20번), 니켈(Ni·원자번호 28번), 주석(Sn·원자번호 50번), 그리고 납(Pb·원자번호 82번) 등은 유독 안정적입니다.

현재 가장 발견이 유력한 122번 운비튴(에카-토륨) 역시 원자핵의 안정성이 기대되는 원소입니다. 하지만 앞으로 발견될, 원자번호가 119 이상인 원소들은 모두 8주기에 해당하는 무거운 원소들이기 때문에 앞서 말한 이론들이 모두 그대로 적용되지는 않을 가능성이 높습니다.

이론상 가장 높은 원자번호는 137번? 173번?

어쨌든 이렇게 전자껍질과 원자핵의 형태를 고려하면 앞으로 원자번호가 몇 번까지 높아질지 예상할 수 있습니다. 미국의 물리학자 리처드 파인만은 가장 안쪽 전자껍질에 위치한 전자가 원자핵의 높은 양전하로 인해 안정적인 궤도를 갖는 것이 불가능하다는 계산을 통해서 137개의 양성자를 가진 원자, 즉 원자번호 137번이 한계조건이라고 언급한 바 있습니다.

반면 이는 핵의 크기가 0이라는 가정 하에 계산한 결과로 좀 더 정확하게 계산하면 원자번호가 173번까지 존재 가능할 것이라는 의견도 존재합니다. 조금은 복잡한 이야기이지만 원자핵의 양전하가 그 이상으로 높아지면 전자의 반물질인 양전자를 유발해 전자가 소멸할 수 있는 불안정한 상태가 될 수 있기 때문입니다.

이처럼 새로운 원소의 발견은 주먹구구식 시도가 아닌, 철저한 계산과

예측에 의한 실험으로 이뤄지고 있습니다. 화학자뿐만 아니라 수학자, 물리학자도 힘을 합쳐 미개척지를 향해 도전하고 있습니다. 비록 새로운 원소가 안정성이 낮고 존재 가능성이 희박하더라도, 그래서 실생활에 활용할 기회가 아주 적더라도 인공원소 연구가 높은 가치를 인정받는 이유가 바로 여기에 있습니다.



아스타틴은
실제로 만들어진 적이
있나요?

