

Chapter 1. 지구와 환경

10

권윤규 서울 불암초 5
최명현 인천 청림중 2

입자의 움직임을 눈으로
볼 수 있을까요

A



석원경 교수가 답하다

사람들은 오래전부터 물체의 움직임에 주목해왔습니다. 별의 움직임에서 우주의 근본 원리를 알아내려고 노력했고, 주변 사물의 움직임에서 물체 운동의 기본 법칙을 도출하려 애썼습니다. 그러나 물체의 움직임을 정확하게 파악하기는 쉽지 않았습니다. 갈릴레오 갈릴레이가 지동설을 주장할 때까지 우주는 지구를 중심으로 움직이는 것으로 여겨졌습니다. 아이작 뉴턴이 관성의 법칙을 알아내기까지는 정지 상태가 물체의 본성이라는 아리스토텔레스의 주장을 믿었습니다.

원자의 존재를 밝혀준 꽃가루

1827년 스코틀랜드의 식물학자 로버트 브라운은 물에 떨어진 꽃가루를 현미경으로 관찰하다 꽃가루가 마치 살아있는 생물처럼 활발하게 움직이

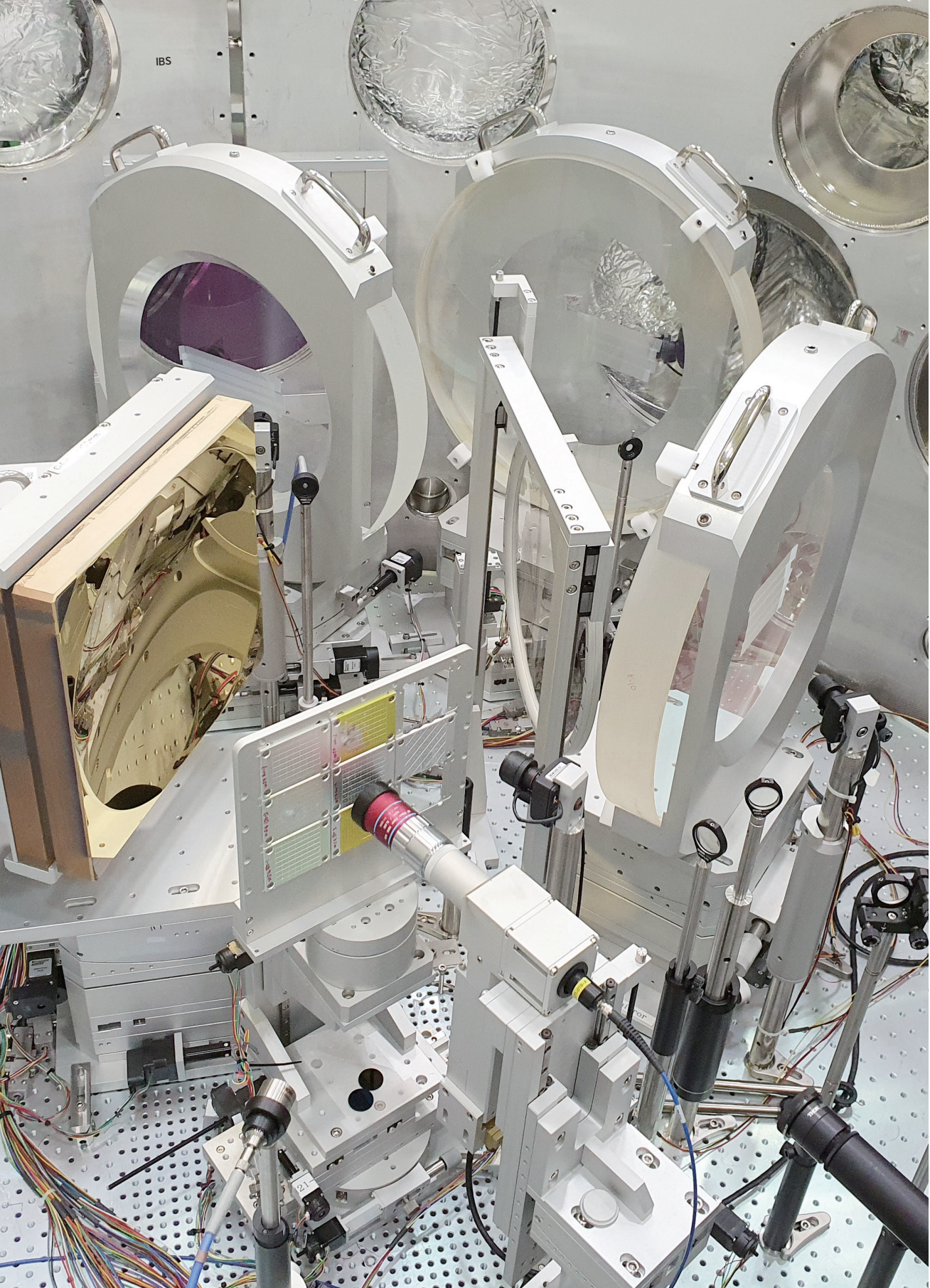
는 모습을 목격했습니다. 처음에 브라운은 꽃가루가 불규칙적으로 움직이는 이유가 그 속에 숨어있는 작은 정령 때문이라고 추측했습니다.

브라운은 자신의 추측을 검증하기 위해 유리, 금속 등 무기물을 곱게 간 가루를 준비했습니다. 그리고 이 가루를 액체에 뿌렸을 때, 입자가 꽃가루와 똑같이 움직인다는 사실을 확인했습니다. 더욱이 액체의 온도가 높아지면 입자의 움직임이 더욱 활발해졌습니다. 브라운은 이를 통해 입자의 운동이 열에 의한 액체의 대류가 보여주는 현상이라고 짐작했습니다.

이러한 브라운 운동에 대한 정확한 해석은 1905년 물리학자인 알베르트 아인슈타인에 의해서 제시됐습니다. 그는 브라운 운동이 발생하는 원인이 꽃가루가 주변의 액체 분자와 충돌하며 움직이기 때문이라고 설명했습니다. 또 입자의 확산 모형을 이용해서 꽃가루 입자가 불규칙적으로 움직이도록 만든 물 분자의 크기와 질량을 추정했습니다.

액체 분자가 꽃가루에 부딪혀 꽃가루를 움직인다는 것은 액체가 분자, 더 나아가 원자라는 작은 입자로 구성돼 있다는 사실을 증명합니다. 물질이 더 쪼갤 수 없는 원자로 구성되어 있다는 고대 그리스 시대 데모크리토스의 '원자론'은 사실 과학적 근거를 제시하지 못했던 막연한 추론이었습니다.

1808년 영국의 존 돌턴이 제시했던 '원자설' 역시 다양한 화학 반응을 설명하기 위한 유용한 수단에 그쳤습니다. 19세기 말 원자의 존재를 근거로 통계 열역학 이론을 정립했던 오스트리아의 물리학자 루트비히 볼츠만이 원자설을 거부하는 에른스트 마흐를 비롯한 물리학자들의 격렬한 반대에 절망해 스스로 목숨을 포기한 일도 있습니다. 아인슈타인이 제대로 파악한 브라운 운동에 대한 해석은 물질을 구성하는 원자의 존재를 가장 확실하게 입증해 준 이론입니다.



IBS

21

빠르게 움직이는 입자

분자 세계에서 움직임은 상상을 넘어설 정도로 빠릅니다. 수소 기체의 경우 상온에서 초속 1700m의 엄청난 속도로 날아다닙니다. 분자 사이의 화학 반응도 펨토초(femtosecond, 1펨토초는 10^{15} 분의 1초) 단위로 빠르게 진행됩니다. 얼음이 녹는 과정은 외부에서 충분한 에너지가 전달된 후에 느린 속도로 진행되는 것처럼 보입니다. 그러나 펨토초 단위로 관찰한 결과에 따르면, 에너지가 얼음에 제대로 전달되기도 전부터 얼음을 이루는 물 분자 사이의 결합이 깨지기 시작하는 것으로 밝혀졌습니다.

빠르게 움직이는 입자를 관찰하기 위해서는 짧은 시간 동안에만 작동하는 초고속 펄스 레이저가 필요합니다. 입자와 충돌해 발생한 펄스는 충돌 순간의 정보를 갖고 있어 이를 분석하면 충돌 시 입자의 상태를 파악할 수 있습니다. 미국의 화학자 아흐메드 즈웨일은 펨토초 레이저를 이용해서 화학 반응의 중간 과정을 관찰하는 ‘펨토 화학’을 개척한 공로로 1999년 노벨화학상을 받았습니다. 펨토 화학 덕분에 우리는 녹색 식물의 엽록소에서 일어나는 광합성 과정을 관찰할 수 있었습니다. 우리 눈의 망막에서 물체의 영상이 전기 신호로 바뀌어 시신경으로 전달되는 과정도 펨토 레이저로 찍어서 영화처럼 느린 속도로 살펴볼 수 있게 되었습니다.

한국의 기초과학연구원(IBS)에서도 펨토 화학을 연구하고 있습니다. X선 영역의 전자선이 펨토초 펄스를 만들어 내는 자유전자 레이저를 이용한 회절 실험에서 금 원자 3개가 결합하는 과정을 실시간으로 촬영했습니다. 그 결과 35펨토초 동안 2개의 금 원자가 먼저 결합하고, 세 번째 금 원자가 결합하기까지는 350펨토초가 걸린다는 사실을 확인했습니다. 서로 화학적으로 결합한 3개의 금 원자가 대칭 진동하는 모습도 관찰했습니다.

펨토초 기술을 이용하면 화학 반응이 일어날 때 원자 속 전자구름의 모양에 대한 정확한 정보도 얻을 수 있을 것입니다.

초고속 전자 회절 기술을 이용해서 원자의 움직임을 연속적으로 관찰할 수 있는 전자 카메라도 개발됐습니다. 원자의 순간적 움직임을 관찰하기 위해서는 특별한 방법을 사용해야 합니다. 레이저 펄스를 쏘여 원자가 움직이게 한 뒤 전자빔을 이용해서 이를 관찰하는 방식입니다. 전자 카메라의 해상도는 전자빔의 세기에 비례합니다. 하지만, 서로 반발하는 성질을 가진 전자를 좁은 공간 속에 모아 빔 형태로 쏘아 보내기는 어렵습니다. 빔 속에 있는 전자가 서로 반발해 빔이 퍼지면서 전자빔의 밝기가 약해지는 문제도 있었습니다. 이를 극복하기 위해 전자빔이 90도 각도로 돌아 나와서 시료에 도달하는 '90도 휩' 구조를 만들었습니다. 전자가 모여 있는 시간이 아주 짧기에 촬영 속도와 밝기 문제를 해결할 수 있습니다.

이제는 아토초(attosecond, 1아토초는 10^{18} 분의 1초) 단위의 시간 분해능을 가진 전자 카메라도 개발되고 있습니다. 한국과학기술연구원(KIST)에서는 고출력의 펨토초 레이저를 아르곤 기체에 쬐는 방식으로 아토초 펄스를 만들어 헬륨 원자가 이온화하는 과정을 관찰했습니다. 아토초 카메라를 사용하면 원자, 분자, 나노 물질의 내부에서 전자가 어떻게 움직이는지도 관찰할 수 있을 것으로 기대하고 있습니다.

플라스마 내의 전자가 상대적으로 가속되거나 느려지면서 생성되는 아토초 펄스를 제어해 더욱더 짧은 켈토초(zepotosecond, 1켈토초는 10^{21} 분의 1초) 펄스를 만드는 기술도 개발되고 있습니다. 켈토초 펄스가 등장하면 원자핵의 운동도 연구할 수 있게 될 것입니다.