

체 원소임을 확인하고 ‘니톤(Ni)’이라 명명했습니다. 이 원소가 오늘날 라돈이라 불리는 원소입니다. 이렇게 비활성 기체 원소 4개를 직접 발견하고 나머지 두 원소의 발견에도 깊이 관여한 램지 경은 명실상부 ‘비활성 기체 원소의 아버지’라 할 수 있습니다.

A black speech bubble icon containing a white letter 'Q'.

오비탈 이름은  
어떻게 정했나요?

25



장흥제 교수가 답하다

오비탈이라는 개념은 원자의 구조와 전자 배치, 결합의 종류의 특성, 화학 반응의 형태와 입체적인 분자 구조 등 수많은 현대 화학의 핵심을 관통하는 개념입니다. 영국의 물리학자 조지프 톰슨(Joseph John Thomson)이 음극선관 실험을 통해 원자 구조에 대한 인식을 바꾼 뒤 현재 정설로 받아들여지는 슈뢰딩거 원자 모형에 이르기까지, 원자 모형의 논리적 오류를 극복하기 위한 노력은 끊임없이 이어져 왔습니다.

결과적으로 오늘날 확립된 원자 모형은 높은 밀도와 질량을 갖는 원자핵이 있고, 그 주변에 전자가 확률적으로 존재하고 있습니다. 전자의 발견 확률이 90% 이상인 영역이 바로 오비탈입니다.

오비탈의 이름은 s, p, d, f 등 매우 다양합니다. 자칫 오비탈의 모양 때문에 이런 이름이 붙었다고 오해하기 쉬우나(마침 s오비탈은 구형(sphere)을, p오비탈은 양극성(polar) 형태를 갖습니다), 그 이상은 설명하기 힘들다는 것을 알 수

있습니다. 사실 오비탈의 이름은 이보다 더 근본적인 이유에 기반을 두고 있습니다.

#### 4가지 선 스펙트럼의 형태 구분에서 출발

오비탈의 종류와 차이에 대한 연구는 빛의 반응을 연구하는 분광학에서 시작됐습니다. 오스트리아의 물리학자 루트비히 볼츠만(Ludwig Eduard Boltzmann)을 중심으로 소리를 파장과 주기적인 반복으로 표현하는 연구가 시작됐죠. 이들은 알칼리 금속에서 얻은 선 스펙트럼을 관찰하며 강도와 형태에 따라 날카로운(sharp), 주요한(principal), 확산된(diffuse), 그리고 근본적인(fundamental)이라는 4개의 기본적인 스펙트럼 형태를 정의했습니다.

닐스 보어(Niels Bohr)는 이후 원자에 에너지 준위가 존재함을 설명하면서 원자의 선 스펙트럼을 고성능의 분광기로 관찰한 결과를 증거로 활용했습니다. 하나의 선으로 보이던 스펙트럼이 2개 이상의 선으로 갈라지면 이것은 같은 전자껍질에 있지만 에너지가 서로 다른 전자를 의미했습니다. 이렇게 전자가 들뜬 상태가 되거나 에너지를 방출하는 현상을 설명하기 위해 오늘날 우리가 아는 s, p, d, f오비탈이 만들어졌습니다.

현재 중·고등학교 교육과정에는 s, p, d, f오비탈 각각의 명칭과 개략적인 형태에 대해서만 나옵니다. 그런데 사실 오비탈의 의미를 명확히 이해하기 위해서는 양자수(quantum number)라고 하는, 원자 내에서 전자가 가질 수 있는 특정한 조건에 대해 알아야 합니다.

원자 내 전자의 양자수는 총 네 가지 종류로 나뉩니다. 원자핵으로부터의 거리와 에너지 준위를 의미하는 주 양자수(n), 전자의 궤도와 각운동량

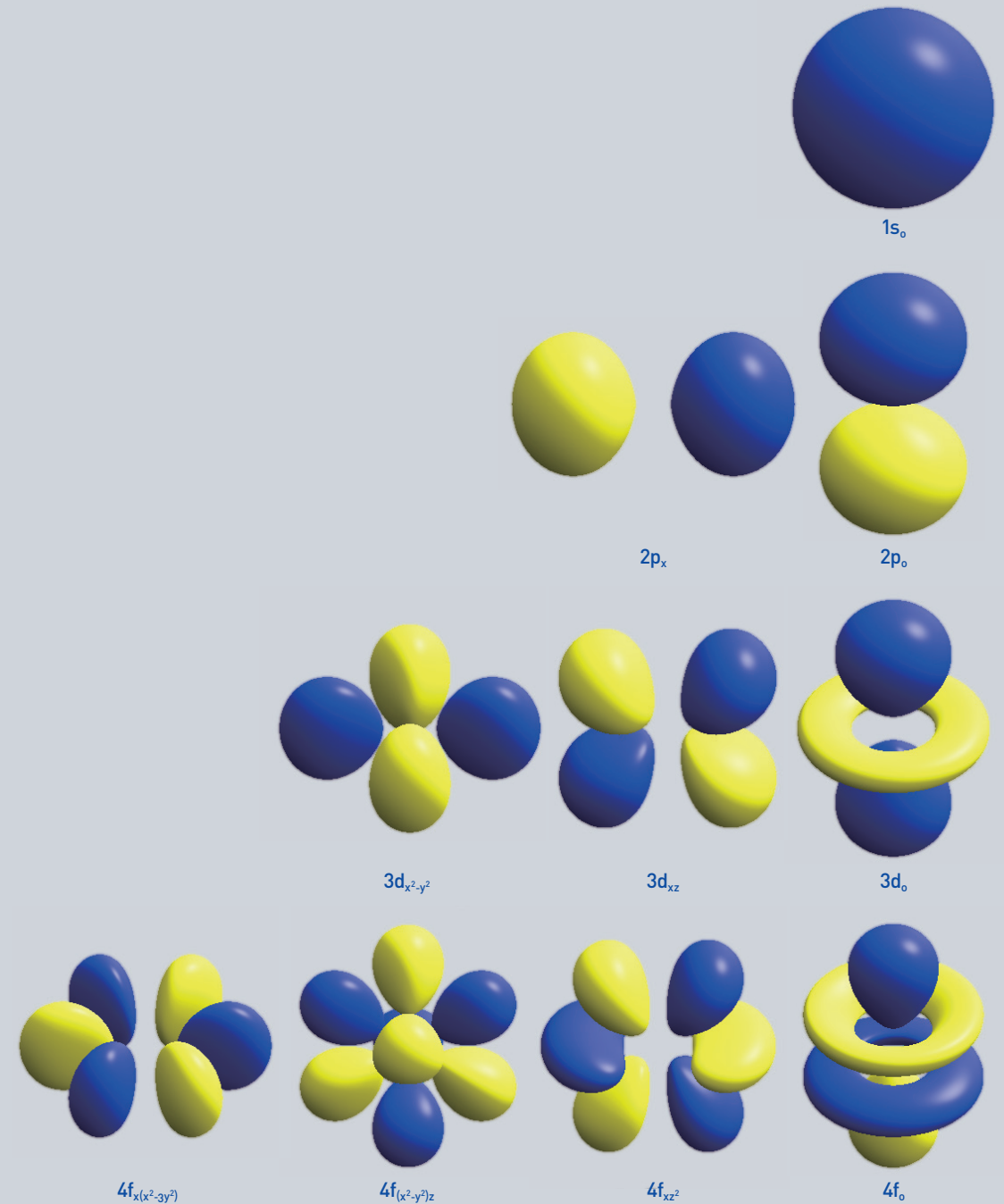
을 의미하는 각운동량 양자수( $l$ -부 양자수, 궤도 양자수, 방위 양자수 등 다양한 명칭이 있습니다), 각운동량의 방향을 나타내는 자기 양자수( $m$ ), 이 세 가지는 슈뢰딩거 방정식의 해로 얻어지는 항목입니다. 나머지 한 가지는 실험적으로 얻어진 전자의 자전에 대한 정보를 의미하는 스핀 양자수( $s$ )입니다.

### 전자의 상호작용, 오비탈 모양 변화시켜

이중 각운동량 양자수와 스핀 양자수는 스핀-궤도 결합(spin-orbit coupling)이라는 상호작용을 일으킵니다. 이로 인해 선 스펙트럼이 몇 개로 나뉘지는 미세구조가 형성됩니다. 전자가 원자 내부의 궤도를 공전하는 상황을 전자의 입장에서 상상해보면, 멈춰 있는 전자의 주위를 양전하를 띠는 핵이 공전하며 전류 고리로 형성된 자기장을 특정한 방향으로 구현하고 있는 것처럼 보일 수 있습니다. 이 경우 각운동량과 스핀 사이의 상호작용에 의해 전자의 위치에너지가 커지거나 작아지는 두 가지 선택지가 발생합니다. 그 결과로 전자의 선 스펙트럼이 갈라지게 됩니다. 스핀-궤도 결합에 의해 시각적으로 달라진 선 스펙트럼을 보고 그것의 강도와 폭에 따라  $s$ ,  $p$ ,  $d$ ,  $f$ 오비탈 중 어떤 오비탈인지를 판단내립니다.

오비탈들의 각운동량 양자수에 기반한 스펙트럼이 자기장과 전기장에 의해 스핀-궤도 결합 갈라짐이 발생하면,  $s$ 오비탈은 두 개의 선으로 갈라져 날카롭고 강하게 관찰됩니다.  $p$ 오비탈은 6개,  $d$ 오비탈은 10개, 그리고  $f$ 오비탈은 총 14개의 선으로 갈라져 점차적으로 넓게 분포하는 형태를 보입니다. 이는 각 오비탈에 들어갈 수 있는 총 전자의 개수와 동일합니다.

그 다음은  $g$ 오비탈입니다.  $g$ 오비탈이라는 이름은 어떻게 지어진 걸까요? 현재까지 발견된 어떠한 원소도  $g$ 오비탈에 전자가 포함된 유효한 구



조를 가진 경우는 없습니다. 당연히 내부 전자들의 선 스펙트럼이 관측된 적도 없습니다. 다만 한 가지 예상은 가능합니다. g오비탈이 f오비탈보다 더 많이 갈라져서 보다 넓은 영역에 퍼져있는 형태로 확인될 것이라는 점입니다.

아직 관찰된 적 없는 원소의 이름을 미리 정하지 않듯 g오비탈 역시 특별한 사유나 근거로부터 이름이 정해지지 않았습니다. 단순히 알파벳 순으로 나열한다면 f 다음에 g가 나오기 때문에, f오비탈의 다음 오비탈이라는 의미로 g오비탈이라고 부르고 있습니다. 앞으로 발견될 원자번호 118번 이상의 원소들은 바로 이 g오비탈이 유효하게 작용할 것입니다.

g오비탈 다음에 오는 오비탈의 이름은 아마도 h오비탈이 될 가능성이 높습니다. 보통 원자가 보유한 전자의 상태를 집약적으로 표현하기 위해 '항 기호(Term symbol)'라는 기호 표현 방식을 사용하는데, 여기서 이미 오비탈과 맞춰 S, P, D, F의 기호를 사용하고 있고, G, H, I 등 이후의 기호들도 알파벳 순으로 이미 사용하고 있기 때문입니다.

Q

원자끼리 사중결합을 형성할 수 있나요?

26