

[4~8] 물리학 : 보어의 원자 모형과 슈뢰딩거의 양자 역학적 원자 모형 (172p)

20세기 초, 러더퍼드의 원자 모형은 원자핵 주위에 전자가 행성처럼 돌고 있다는 그림을 제시했지만, 이는 당시의 물리학 이론과 심각한 모순을 ㉠ 빚었다. 고전 전자기학에 따르면 가속 운동하는 전하는 전자기파를 방출하며 에너지를 잃어야 하므로, 전자는 순식간에 나선형 궤적을 그리며 원자핵과 충돌해야 했다. 이는 원자가 안정적으로 존재한다는 현실과 명백히 ㉢ 배치되는 문제였으며, 수소 원자가 방출하는 불연속적인 선 스펙트럼 또한 설명할 수 없었다. 이러한 고전 물리학의 한계를 극복하고 원자의 안정성과 스펙트럼의 비밀을 풀기 위한 새로운 시도가 필요했다.

이러한 문제에 대한 첫 번째 돌파구는 닐스 ㉡ 보어의 원자 모형에서 비롯되었다. 보어는 전자가 원자핵 주위의 아무 궤도에서나 운동할 수 있는 것이 아니라, 특정한 에너지 값을 갖는 양자화된 궤도, 즉 전자 껍질에만 안정적으로 존재할 수 있다는 혁명적인 가설을 도입했다. 이 안정한 궤도에 있는 전자는 에너지를 방출하지 않으며, 전자가 한 궤도에서 다른 궤도로 이동하는 '양자 도약'을 할 때에만 두 궤도의 에너지 차이에 해당하는 특정 에너지의 빛을 흡수하거나 방출한다고 설명했다. 이 모형은 전자가 왜 원자핵으로 돌진하지 않는지에 대한 해답을 제시했을 뿐만 아니라, 수소 원자의 불연속적인 선 스펙트럼이 나타나는 이유를 에너지 준위의 차이로 명쾌하게 ㉣ 규명하며 큰 성공을 거두었다.

하지만 보어의 모형 역시 완전하지는 않았다. 이 모형은 전자가 하나인 수소 원자나 이온의 스펙트럼은 정확하게 예측했지만, 전자가 두 개 이상인 다전자 원자의 복잡한 스펙트럼은 설명하지 못하는 명백한 한계를 보였다. 또한, 스펙트럼 선들의 상대적인 세기를 설명할 수 없었고, 양자화된 궤도가 왜 특정한 조건에서만 허용되는지에 대한 근본적인 이유를 제시하지 못한 채 일종의 임시방편적인 규칙으로 남았다. 이러한 한계는 전자를 고전적인 입자로 간주하고 그 위치와 경로를 명확한 궤도로 ㉤ 상정한 보어 모형의 근본적인 관점에서 기인한 것이었다.

이후 드브로이의 물질파 이론과 하이젠베르크의 불확정성 원리가 등장하면서 원자 세계를 바라보는 관점은 근본적으로 변화했다. 전자가 입자일 뿐만 아니라 파동의 성질도 지닌다는 것과, 전자의 위치와 운동량을 동시에 정확하게 측정하는 것이 원리적으로 불가능하다는 사실이 밝혀지면서 명확한 궤도를 상정하는 것은 의미를 잃게 되었다. 이러한 패러다임의 전환을 바탕으로 슈뢰딩거는 전자의 움직임을 확률적으로 기술하는 ㉠ 양자 역학적 원자 모형을 정립했다. 이 모형에서 전자의 상태는 파동 함수로 ㉢ 기술되며, 이 함수의 절댓값 제곱은 특정 공간에서 전자가 발견될 확률 밀도를 나타낸다. 즉, 전자의 위치는 확정된 경로가 아닌 확률적 분포로만 예측될 뿐이며, 전자가 존재할 확률이 높은 3차원적 공간 영역을 '오비탈'이라 부른다. 오비탈의 에너지 역시 불연속적인 값을 갖지만, 이는 보

어처럼 가설로 도입된 것이 아니라 파동 함수에 대한 슈뢰딩거 방정식을 풀어서 얻어지는 필연적인 결과라는 점에서 더욱 근본적인 설명 체계를 제공한다.

4. 윗글에 대한 설명으로 가장 적절한 것은?

- ① 러더퍼드의 원자 모형은 원자의 안정성을 설명했다.
- ② 보어의 원자 모형은 다전자 원자의 스펙트럼을 예측했다.
- ③ 보어의 원자 모형에 따르면 전자는 양자 도약을 할 때 에너지를 방출하지 않는다.
- ④ 양자 역학적 원자 모형은 파동 함수의 절댓값 제곱으로 전자가 발견될 확률을 나타낸다.
- ⑤ 불확정성 원리는 전자의 위치와 운동량을 동시에 측정 가능함을 밝혀 보어 모형의 한계를 극복했다.

5. 윗글을 이해한 내용으로 적절하지 않은 것은?

- ① 러더퍼드의 원자 모형은 원자의 안정성을 설명하지 못했다.
- ② 오비탈은 전자가 발견될 확률이 높은 공간적 영역을 의미한다.
- ③ 보어의 모형은 전자가 두 개 이상인 원자의 스펙트럼을 설명하는 데 한계가 있었다.
- ④ 보어의 원자 모형은 양자화된 궤도가 허용되는 근본적인 이유를 파동 함수를 통해 설명했다.
- ⑤ 하이젠베르크의 불확정성 원리가 등장하면서 명확한 궤도를 상정하는 것은 의미를 잃게 되었다.

6. 윗글을 바탕으로 <보기>를 이해한 내용으로 가장 적절한 것은?

<보 기>

과거의 도시 교통 안내 시스템은 목적지까지의 최단 거리를 계산하여 하나의 '고정된 최적 경로'를 제시했다. 이 시스템은 도로망이 단순한 소도시에서는 유용했지만, 교통량이 많고 변수가 많은 대도시에서는 실시간 교통 체증이나 돌발 상황을 반영하지 못해 비효율적인 경우가 많았다. 이를 개선하기 위해 등장한 새로운 시스템은 특정 경로를 고수하는 대신, 수많은 차량의 이동 데이터를 실시간으로 분석하여 각 도로 구간을 통과할 '예상 소요 시간의 확률 분포'를 운전자에게 제공한다. 운전자는 이를 바탕으로 특정 시점에 가장 막히지 않을 것으로 예측되는 경로를 유연하게 선택할 수 있다. 이 시스템에서 최적 경로는 미리 정해진 것이 아니라, 전체 교통 상황의 동적인 변화 속에서 확률적으로 도출되는 결과물이다.

- ① 두 시스템의 차이는 전자를 입자로만 간주한 관점과 파동으로만 간주한 관점의 차이에 해당한다.
- ② 과거 시스템의 '고정된 최적 경로'는 러더퍼드의 원자 모형이 제시한 전자의 궤적에 해당한다.
- ③ 과거 시스템이 대도시에서 한계를 보이는 것은 보어 모형이 다전자 원자를 설명하지 못한 한계와 유사하게 볼 수 있다.
- ④ 새로운 시스템이 제시하는 '확률 분포'는 보어 모형이 특정한 에너지 값을 갖는 궤도를 가설로 제시한 것과 같은 발상이다.
- ⑤ 새로운 시스템에서 최적 경로가 확률적으로 도출되는 것은, 전자의 명확한 궤도를 상징하는 것이 의미를 잃게 된 양자역학적 관점을 반영한다.

7. ㉠과 ㉡에 대한 이해로 가장 적절한 것은?

- ① ㉠은 전자의 위치를 확률로 기술하며, ㉡은 전자의 명확한 경로를 상징한다.
- ② ㉠은 원자의 안정성을 설명하지 못했고, ㉡은 전자가 원자핵과 충돌하지 않는 이유를 규명했다.
- ③ ㉠과 달리 ㉡은 에너지 준위가 불연속적이라는 가설을 처음으로 도입하였다.
- ④ ㉠은 다전자 원자의 스펙트럼을 설명했고, ㉡은 스펙트럼 선들의 상대적 세기는 설명하지 못했다.
- ⑤ ㉠은 전자를 고전적인 입자로 간주한 반면, ㉡은 전자의 파동성을 이론의 바탕으로 삼는다.

8. 문맥상 ㉠~㉡와 바꾸어 쓰기에 적절하지 않은 것은?

- ① ㉠: 야기(惹起)했다
- ② ㉡: 대응(對應)하는
- ③ ㉢: 밝히며
- ④ ㉣: 가정(假定)한
- ⑤ ㉤: 서술(敘述)되며

정답 및 해설

문항 번호	정답						
1	②	2	③	3	⑤	4	④
5	④	6	⑤	7	⑤	8	④
9	②	10	⑤	11	③	12	②
13	③	14	⑤	15	①	16	①
17	⑤	18	④	19	②	20	①

1. ②

[정답해설]

② 4문단에서 콩과 식물은 광합성으로 생산한 탄수화물을 뿌리혹 세균에 제공하며, 이 탄수화물은 뿌리혹 세균이 질소 고정에 필요한 에너지를 생산하는 호흡의 기질로 사용된다고 설명한다. 따라서 뿌리혹 세균은 식물로부터 질소 고정에 필요한 에너지를 공급받는다라는 설명은 적절하다.

[오답피하기]

① 2문단에 따르면 콩과 식물은 플라보노이드를 분비하여 뿌리혹 세균을 유인하고, 뿌리혹 세균이 이에 반응하여 결절 형성 인자를 생성한다. 따라서 콩과 식물이 결절 형성 인자를 분비한다는 설명은 적절하지 않다.

③ 3문단에서 레그헤모글로빈은 산소 농도를 낮게 유지하여 질소 고정 효소를 보호하고, 호흡에 필요한 산소를 안정적으로 공급하는 완충 역할을 한다고 설명한다. 질소 고정 효소의 작용을 직접 촉진하는 것은 아니다.

④ 2문단에 따르면 뿌리혹 세균은 감염사를 형성하여 뿌리 내부로 이동한 후, 뿌리혹 내부에서 박테로이드로 분화한다. 따라서 박테로이드로 분화한 후 감염사를 형성한다는 설명은 과정의 순서가 뒤바뀌었으므로 적절하지 않다.

⑤ 3문단에서 질소 고정 효소는 산소에 노출되면 기능을 상실한다고 언급한다. 질소 고정에 필요한 에너지는 산소 호흡을 통해 생성되지만, 질소 고정 효소 자체가 산소를 이용하는 과정에서 작용하는 것은 아니다.

2. ③

[정답해설]

③ 2문단에 따르면 뿌리혹 내부로 들어간 뿌리혹 세균은 ‘증식을 멈추고’ 박테로이드라는 형태로 분화하여 질소 고정을 수행할 준비를 마친다. 따라서 박테로이드가 뿌리혹 내부에서 증식하며 질소 고정을 수행한다는 진술은 글의 내용과 일치하지 않는다.

[오답피하기]

① 1문단에서 대기 중 질소는 매우 안정적인 삼중 결합으로

연결되어 있어 대부분의 생물이 직접 이용하지 못한다고 서술하고 있다.

② 2문단에서 뿌리혹 세균이 뿌리의 피층 세포까지 이동하는 과정에서 피층 세포의 분열이 촉진되어 뿌리혹이라는 새로운 기관이 만들어진다고 설명하고 있다.

④ 4문단에서 콩과 식물은 광합성을 통해 생산한 탄수화물을 박테로이드에 제공하며, 이는 질소 고정에 필요한 에너지를 생산하는 데 사용된다고 기술하고 있다.

⑤ 3문단에서 레그헤모글로빈은 뿌리혹 내부의 자유 산소 농도를 낮게 유지하여 질소 고정 효소를 보호하는 동시에, 박테로이드에 호흡에 필요한 산소를 안정적으로 공급하는 역할을 한다고 서술하고 있다.

3. ⑤

[정답해설]

⑤ 지문에서 질소 고정 효소는 산소에 노출되면 기능을 상실하지만, 질소 고정 과정에 필요한 막대한 에너지는 산소를 이용하는 호흡을 통해 생성된다고 언급한다. 따라서 질소 고정 효소의 활성을 위해서는 산소가 없어야 하지만, 에너지 생성을 위해서는 산소가 필요한 이중적인 요구 조건이 바로 ㉠ ‘이러한 모순적 상황’에 해당한다.”

[오답피하기]

① 지문에서 콩과 식물과 뿌리혹 세균의 상호작용은 상리공생의 대표적인 사례로, 세균의 침입은 식물에 해를 끼치는 것이 아니라 뿌리혹을 형성하는 과정의 일부이다. 따라서 식물이 세균을 유인하면서 동시에 방어해야 한다는 딜레마는 지문의 내용과 다르다.

② 지문에서 레그헤모글로빈은 질소 고정 효소를 산소로부터 보호하는 동시에, 박테로이드에 호흡에 필요한 산소를 안정적으로 공급하는 완충 역할을 한다고 설명한다. 따라서 박테로이드의 호흡을 억제한다는 진술은 사실과 다르다.

③ 지문에서 뿌리혹 세균은 대기 중의 질소를 고정하여 암모니아를 만드는 주체이지, 식물로부터 질소를 공급받는 존재가 아니다. 이들의 관계는 상리공생이며, 모순적인 관계로 볼 수 없다.

④ 지문에서 식물이 세균에게 탄수화물을 제공하고 세균으로부터 암모니아를 공급받는 것은 상리공생의 핵심적인 교환 과정이다. 이를 비효율성으로 해석하는 것은 지문의 논지와 맞지 않는다.

4. ④

[정답해설]

4문단에 따르면, 슈뢰딩거가 정립한 양자 역학적 원자 모형에서는 전자의 상태를 파동 함수로 기술하며, 이 함수의 절댓값 제곱이 특정 공간에서 전자가 발견될 확률 밀도를 나타낸다고 설명하고 있다. 따라서 양자 역학적 원자 모형이 파동 함수의 절댓값 제곱을 통해 전자가 발견될 확률을 나타낸다는 설명은 적절하다.