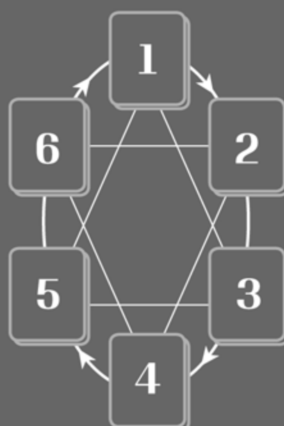
✳ 1강 ✳

고전 물리학의 본성



스타인벡 지역 어딘가에서 지친 두 사내가 길가에 앉았다.

레니는 손가락으로 턱수염을 쓰다듬으며 말했다.

"조지, 물리학의 법칙에 대해서 말해 주게나."

조지는 잠깐 아래를 내려다보더니 안경 위쪽 너머로 레니를 빤히 쳐다보았다.

"좋아, 레니. 하지만 최소한으로만일세."

연습 문제 1: 이 개념은 이론 물리학에서 무척 중요하다. 닫힌계란 무엇인지 생각해 보고 실제로 존재할 수 있는지 추론해 보라. 닫힌계를 설정하는 데 있어서 암묵적인 가정들은 무엇인가? 열린계는 무엇인가?

해답: 닫힌계는 주변의 모든 것으로부터 완전히 고립되어 외부의 영향을 받지 않는 계이다. (엄밀하게는 외부로부터 물질 교환만이 차단된 계를 닫힌계, 물질과 에너지 교환 모두 차단된 계를 고립계라고 구분해서 부른다.) 실제로 존재할 수 없지만, 이론 물리학에서 특정 대상을 탐구하기 위해 주변의 영향을 무시하고 그 대상을 닫힌계로 가정하기도 한다. 열린계는 주변과 연결되어 외부의 영향을 받는 계이다.

닫힌계를 설정하는 데 있어서 필요한 가정은 다음과 같다.

① 전체 우주는 닫힌계이다.
② 닫힌계는 외부의 모든 것으로부터 차단되어 있다. 실제로는 그렇지 않지만 외부의 미미한 영향을 무시할 수 있다.
③ 외부의 영향이 클 경우 (외부의 영향을 포함한) 더 포괄적인 계를 정의함으로써 닫힌계를 새로 설정할 수 있다.

연습 문제 2: 여섯 가지 상태를 가진 계의 가능한 법칙들을 분류하는 일반적인 방법을 생각해 낼 수 있겠는가?

해답:

① 가능한 순환의 개수를 고려한다. 이 계의 경우 순환의 개수는 1개(1 → 2 → 3 → 4 → 5 → 6 → 1)부터 6개(1 → 1, 2 → 2, 3 → 3, 4 → 4, 5 → 5, 6 → 6)까지 가능하다.

② 순환의 개수별로 가능한 조합들을 나열함으로써 동역학 법칙들을 분류할 수 있다.

- 1개의 순환: (1 → 2 → 3 → 4 → 5 → 6 → 1), (5 → 3 → 2 → 4 → 6 → 1 → 5) 등.
- 2개의 순환: (1 → 1, 2 → 3 → 4 → 5 → 6 → 2), (3 → 6 → 3, 2 → 5 → 1 → 4 → 2), (1 → 3 → 2 → 1, 6 → 5 → 4 → 6) 등.

⋮

- 6개의 순환: (1 → 1, 2 → 2, 3 → 3, 4 → 4, 5 → 5, 6 → 6).

연습 문제 3: 식 (2)에서 (5)까지의 동역학 법칙들 중 어떤 것을 허용할 수 있는지 정하라.

해답: 동역학 법칙은 결정론적이고 가역적이어야 한다. 즉 어느 시각 n에서의 위치 $N(n)$이 정해지면 바로 다음 시각 $n+1$에서의 위치 $N(n+1)$이 결정되어야 하고(결정론적 법칙), 직전의 시각 $n-1$에서의 위치 $N(n-1)$ 또한 알 수 있어야 한다(가역적 법칙).

① 식 (2): $N(n+1) = N(n) - 1$

$N(n)$이 정해지면 $N(n+1) = N(n) - 1$이 결정되므로 결정론적이다. 그리고 다음의 과정을 통해 $N(n-1)$ 또한 알 수 있다. 즉 가역적이다.

$$N(n) = N(n-1) - 1$$

$$N(n-1) = N(n) + 1.$$

따라서 식 (2)는 허용된다.

② 식 (3): $N(n+1) = N(n) + 2$

$N(n)$이 정해지면 $N(n+1) = N(n) + 2$이 결정되므로 결정론적이다. 그리고

$$N(n) = N(n-1) + 2$$

$$N(n-1) = N(n) - 2$$

이므로 가역적이다. 따라서 식 (3)은 허용된다.

③ 식 (4): $N(n+1)=N(n)^2$

$N(n)$이 정해지면 $N(n+1)=N(n)^2$도 결정되므로 결정론적이다. 그러나

$$N(n)=N(n-1)^2$$

$$N(n-1)=\pm\sqrt{N(n)}$$

이므로 $N(n-1)$이 $+\sqrt{N(n)}$인지 $-\sqrt{N(n)}$인지 알 수 없다. 따라서 식 (4)는 비가역적이므로 허용될 수 없다.

④ 식 (5): $N(n+1)=(-1)^{N(n)}N(n)$

$N(n)$이 짝수이면 $N(n+1)=N(n)$, 홀수이면 $N(n+1)=-N(n)$이므로 결정론적이다. 마찬가지로 $N(n)$이 짝수인지 홀수인지에 따라 $N(n)=N(n-1)$ 또는 $N(n)=-N(n-1)$의 관계가 정해지므로 $N(n-1)$ 또한 알 수 있다. 따라서 식 (5)는 가역적이므로 허용된다.