

한국과학기술원 면접·구술고사

자연계열 · 물리

문제 · 예시답안

시험 구분
자료 출처
출제 과목
문항 수
핵심 개념

입학전형 구술면접고사 (물리)
2015학년도 KAIST 선행학습 영향평가 결과보고서
물리 I, 물리 II, 고급물리
2문항 (소문항 5개)
원자의 빈 공간과 전자기적 접촉력, 물질의 전기적 중성,
강한 상호작용과 원자핵의 안정성,
질량중심·무게중심과 돌림힘 평형, 지레와 시소의 원리

I. 문제

문제 1 원자의 빈 공간, 전기력, 그리고 원자핵의 안정성

물리 II · 전기와 자기 · 소문항 3개

원자핵의 크기는 원자의 크기에 비해 매우 작다. 예를 들어 탄소 원자의 반지름은 약 70 pm (7×10^{-11} m)인데 비해 탄소 원자핵의 크기는 2.7 fm (2.7×10^{-15} m)에 불과하다.

- (1) 즉 물체는 대부분 텅 빈 공간으로 되어 있는데도 불구하고 물체를 만지거나, 두 사람이 서로 껴안을 수 있는 이유는 무엇인가?
- (2) 이렇게 강력한 원자간 전기력을 평소에 우리 몸으로 느낄 수 없는 이유는 무엇인가?
- (3) 이렇게 강력한 전기력에도 불구하고 양전하를 가진 양성자들이 원자핵을 구성할 수 있는 이유는 무엇인가?

문제 2 빗자루의 평형점과 무게 중심

고급물리 역학 · 물리 I 힘과 에너지 · 소문항 2개

- (1) 긴 빗자루를 손가락에 올려놓고 평형점을 찾은 후에, 그 평형점을 기준으로 빗자루를 2등분하자. 그러면 긴 손잡이 부분과 아주 짧은 빗자루, 이렇게 두 부분으로 나뉠 텐데 그 두 조각 중 어느 쪽이 더 무거울까? 그 이유는?

오답시 추가 질문

- 1) 자, 그러면 ○○○(면접생 이름)가 사촌 동생이랑 시소를 타러 갔어. 사촌 동생 몸무게가 ○○○ 몸무게 절반 밖에 안 돼. 사촌 동생이 시소의 한쪽 끝에 앉았을 때 두 사람이 시소 균형을 맞추려면 ○○○는 어디에 앉아야 할까? 왜 그렇지?
- 2) 그러면 빗자루 문제로 돌아가서, 두 조각 중 어느쪽이 더 무거울까?
- (2) 무게 중심은 반드시 물체의 내부에 있어야 할까?

II. 예시답안

문제 1 원자의 빈 공간, 전기력, 그리고 원자핵의 안정성

전자기적 접촉력 · 전기적 중성 · 강한 상호작용

(1) 접촉은 원자핵끼리 부딪히는 것이 아니라 전자 껍질 사이의 전기적 반발력이다

물체가 “텅 비어 있다”는 것은 **질량**이 부피의 극히 일부(부피비로 약 6×10^{-14})에 몰려 있다는 뜻일 뿐이며, 원자의 부피는 전자의 확률분포(전자 껍질)로 빈틈없이 채워져 있다. 두 물체가 가까워지면

- 서로 마주 보는 표면 원자들의 **전자 구름끼리 전기적으로 반발**하고,
- 전자가 같은 양자 상태에 겹칠 수 없다는 **파울리 배타 원리** 때문에 겹치려 할수록 에너지가 급격히 올라간다.

이 반발력은 거리가 원자 크기 정도로 가까워지면 매우 빠르게 커지므로, 우리는 두 물체가 “닿았다”고 느낀다. 즉 접촉력·마찰력·탄성력처럼 우리가 일상에서 느끼는 모든 접촉력은 본질적으로 **전자기적인 힘**이며, 원자핵이 서로 부딪혀서 생기는 힘이 아니다. (원자핵끼리 닿으려면 원자 반지름의 약 $1/26,000$ (= 원자핵 크기) 까지 접근해야 하는데, 그 전에 전자 구름의 반발력이 이를 완전히 막는다.)

(2) 물질이 전기적으로 중성이어서 원자 밖에서는 전기력이 거의 상쇄되기 때문이다

원자 하나에는 원자핵의 (+)전하와 전자의 (-)전하가 정확히 같은 양만큼 들어 있어 **알짜 전하가 0**이다. 따라서 원자 바깥에서는 (+)전하가 만드는 전기장과 (-)전하가 만드는 전기장이 거의 완전히 상쇄되고, 남는 것은 전하 분포가 약간 치우쳐 생기는 매우 약한 잔류 상호작용(쌍극자·반데르발스 힘)뿐이다. 이 잔류 상호작용의 에너지는 거리에 대해 $1/r^6$ 정도로(따라서 힘은 $1/r^7$ 정도로) $1/r^2$ 보다 훨씬 빠르게 줄어들기 때문에 **원자 지름의 몇 배만 떨어져도 사실상 0**이 된다.

$$F = k \frac{q_1 q_2}{r^2} \quad (\text{알짜 전하 } q \approx 0 \rightarrow \text{먼 거리에서 } F \approx 0)$$

한편 원자 내부에서는 전자와 원자핵 사이에 실제로 매우 강한 전기력이 작용하고 있지만, 그 힘은 원자를 묶어 두는 데 이미 다 쓰이고 있으며 모든 방향으로 균형을 이루고 있어 밖으로 드러나지 않는다. 우리 몸이 이 힘을 “느끼지” 못하는 것이 아니라, 오히려 우리 몸의 단단함·촉감이 전부 그 힘의 결과이다. 우리가 알아차리지 못하는 것은 그 힘이 **알짜힘으로 남지 않기** 때문이다.

(3) 짧은 거리에서 전기력보다 훨씬 센 강한 상호작용(핵력)이 작용하기 때문이다

원자핵 크기($\approx 10^{-15}$ m) 정도의 거리에서 두 양성자 사이의 전기적 반발력은 실제로 엄청나게 크다.

$$F = k \frac{e^2}{r^2} = (8.99 \times 10^9) \frac{(1.6 \times 10^{-19})^2}{(1.0 \times 10^{-15})^2} \approx 2.3 \times 10^2 \text{ N}$$

$$U = k \frac{e^2}{r} \approx 1.4 \text{ MeV}$$

그럼에도 원자핵이 유지되는 이유는, 이 거리에서 양성자·중성자 사이에 **강한 상호작용(핵력)**이 작용하기 때문이다. 강한 상호작용의 특징은

- 같은 거리에서 전기적 반발보다 충분히 강하다 — 핵자 하나당 결합에너지가 약 8 MeV 인 데 비해 양성자 쌍의 전기적 반발 에너지는 약 1.4 MeV 이다. (기본 상호작용의 세기를 결합상수로 비교하면 강한 상호작용은 전자기 상호작용보다 약 100배 세다.)
- 전하의 부호와 무관하게 **모든 핵자 사이에 인력**으로 작용하므로, 전하가 없는 중성자도 반발력을 늘리지 않으면서 결합에만 기여한다.
- 도달 거리가 $1 \sim 2$ fm 로 매우 짧아, 핵의 크기 안에서만 유효하다.

이 마지막 성질 때문에, 핵이 커지면 전기적 반발은 모든 양성자 쌍 사이에 작용하여 대략 Z^2 으로 늘어나는 반면 핵력에 의한 결합은 이웃한 핵자끼리만이라 대략 A 에 비례해 늘어난다. 그래서 무거운 핵일수록 불안정해지고, 결국 알파 붕괴나 핵분열이 일어난다. 또한 같은 이유로 양성자 수가 많아질수록 안정한 핵이 되기 위해 필요한 중성자 수가 더 빠르게 늘어난다.

문제 2 빗자루의 평형점과 무게 중심

돌림힘 평형 · 질량중심의 정의

(1) 짧은 빗자루(술) 쪽이 더 무겁다

손가락에 올려 평형을 이루는 점이 바로 빗자루 전체의 **무게 중심(질량중심)**이다. 이 점을 받침점으로 하면 좌우 돌림힘의 합이 0이므로, 그 점에서 빗자루를 둘로 잘랐을 때 두 조각의 무게 W_1, W_2 와 각 조각의 무게 중심까지의 거리 r_1, r_2 사이에

$$W_1 r_1 = W_2 r_2 \rightarrow \frac{W_1}{W_2} = \frac{r_2}{r_1}$$

이 성립한다. 손잡이 조각은 길기 때문에 그 자신의 무게 중심이 받침점에서 **멀고**(r 이 큼), 술 조각은 짧기 때문에 무게 중심이 받침점에서 **가깝다**(r 이 작음). 무게는 거리에 반비례해야 하므로

거리가 짧은 쪽, 즉 **짧은 빗자루(술) 쪽이 더 무겁다**.

빗자루는 술에 재료가 몰려 있어 질량 분포가 한쪽으로 치우쳐 있고, 그래서 무게 중심이 술 쪽으로 크게 당겨져 있다. 예를 들어 손잡이 조각의 무게 중심이 받침점에서 40 cm, 술 조각의 무게 중심이 10 cm 떨어져 있다면 술 조각이 손잡이 조각보다 4배 무겁다.

추가 질문 1) 시소 — 같은 원리이다. 사촌 동생의 무게를 w , 나의 무게를 $2w$ 라 하고 받침점에서의 거리를 각각 $d_{\text{동생}}, d_{\text{나}}$ 라 하면 균형 조건은

$$w \cdot d_{\text{동생}} = 2w \cdot d_{\text{나}} \rightarrow d_{\text{나}} = \frac{1}{2} d_{\text{동생}}$$

이다. 즉 동생이 시소의 한쪽 끝에 앉았다면, 나는 받침점에서 그 절반 거리 — 받침점과 반대쪽 끝의 **중간**에 있어야 한다. 무거운 쪽이 받침점에 더 가까이 있어야 균형이 맞는다.

추가 질문 2) — 시소에서 무거운 사람이 받침점에 가까이 앉는 것과 똑같이, 빗자루에서도 받침점에 가까운 조각(짧은 술 쪽)이 더 무겁다.

(2) 반드시 물체 내부에 있어야 하는 것은 아니다

무게 중심(질량중심)은 물체를 이루는 각 부분의 위치를 질량으로 가중평균한 **수학적인 점**이며, 그 점에 실제로 물질이 있어야 한다는 요구는 전혀 없다.

$$\vec{r}_{\text{cm}} = \frac{\sum_i m_i \vec{r}_i}{\sum_i m_i}$$

가운데가 비어 있거나 오목한 모양의 물체에서는 이 점이 물체 바깥에 놓인다.

- **도넛·반지·튜브**: 무게 중심은 가운데 구멍의 중심 — 물질이 전혀 없는 곳이다.
- **부메랑·말굽·L자 꺾쇠**: 무게 중심은 두 팔이 감싼 오목한 빈 공간에 있다.
- **속이 빈 공·컵·그릇**: 무게 중심이 빈 내부 공간에 놓인다.
- **두 물체로 이루어진 계**: 지구-달 계, 쌍성계처럼 서로 떨어진 두 물체의 질량중심은 둘 사이의 빈 공간에 있다.

물체 바깥에 있어도 질량중심은 여전히 역학적으로 의미가 있다. 물체에 작용하는 알짜 외력은 전체 질량이 질량중심에 모여 있는 것처럼 그 점을 가속시키므로, 예를 들어 부메랑을 던지면 회전하면서도 그 질량중심은 매끄러운 포물선을 그린다. 높이뛰기 선수가 몸을 뒤로 활처럼 젖혀 바를 넘는 배면뛰기에서는 몸의 각 부분이 차례로 바 위를 넘어가는 동안 **질량중심은 바보다 낮은 곳을 지나갈** 수 있는데, 이는 질량중심이 몸 바깥(등 뒤 빈 공간)에 놓이기 때문에 가능한 일이다.