

서울대학교 면접·구술고사

자연계열 · 물리학

문제 · 예시답안

시험 구분
전형
출제 과목
문항 수
핵심 개념

면접 및 구술고사 (자연계열, 물리학)
수시모집 일반전형
물리 I, 물리 II
1문항 (문제 2, 하위문항 4개)
이중 슬릿 간섭과 근축 근사, 폐관의 기본 진동,
음원의 운동에 의한 도플러 효과,
전자의 드브로이 파장, 결정에 의한 전자 회절(브래그 조건)

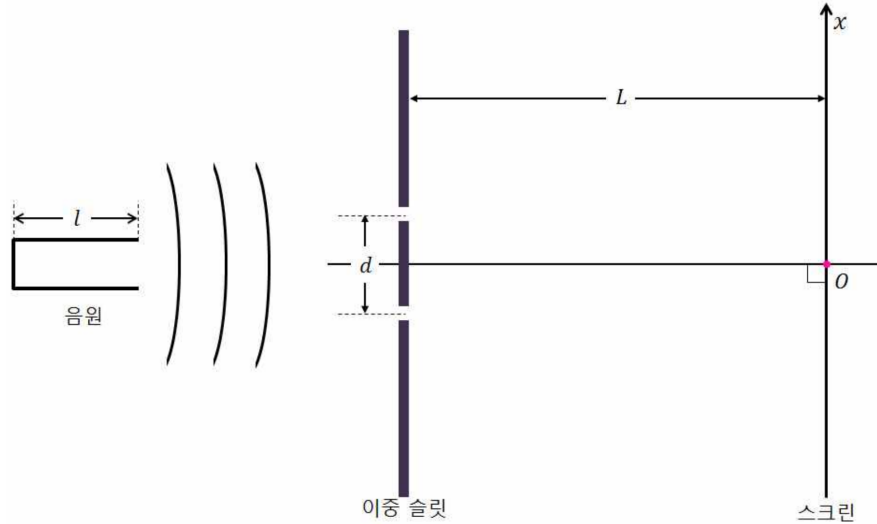
I. 문제

문제 2 이중 슬릿과 파동성

물리 I · II · 하위문항 4개

슬릿 사이의 거리가 d 인 이중 슬릿에서 L 만큼 떨어진 곳에 스크린이 있다. 단, L 이 d 보다 충분히 크다고 가정하고 각 슬릿의 폭은 무시한다.

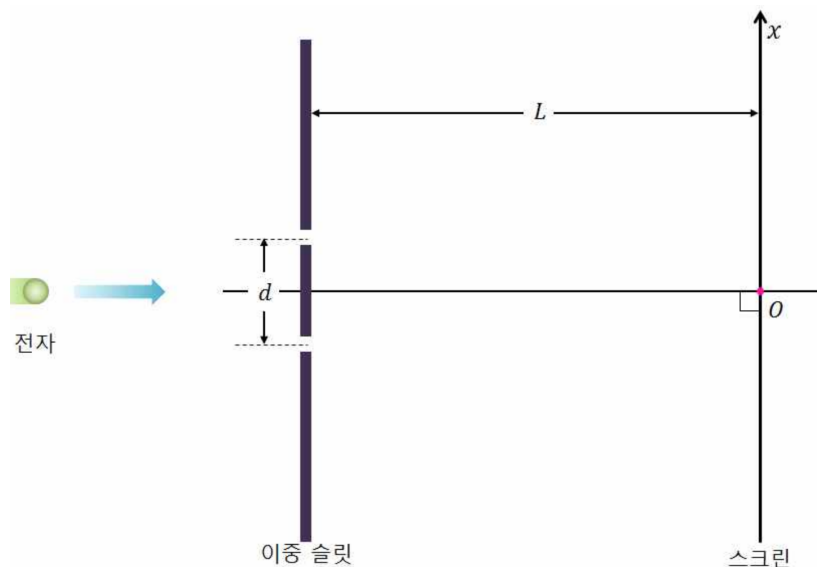
(2-1) 길이가 l 이고 한쪽 끝이 닫힌 관 속에서 공기가 진동하는 음원이 있다. 이 음원이 기본 진동수의 음을 낼 때 그 진동수를 구하고 스크린 위에서 소리가 크게 들리는 극대점 사이의 거리를 구하시오. 단, 음속은 v 로 한다.



한쪽이 닫힌 관 음원 — 이중 슬릿(간격 d) — 스크린(거리 $L, L \gg d$)

(2-2) 문제 2-1에서 음원이 v_s 의 속력으로 스크린을 향해 움직일 때 스크린 위에서 소리가 크게 들리는 극대점 사이의 거리는 어떻게 변하는지 구하시오. (단, $v_s < v$ 이고 음원은 d 에 비해 충분히 먼 곳에서 접근한다고 가정한다.)

(2-3) 정지 상태에서 전압 V 로 가속된 전자를 하나씩 이중 슬릿에 통과시키는 실험을 무수히 반복할 때 스크린 위에서 전자가 많이 분포하는 극대점 사이의 거리를 구하시오. 전자의 질량은 m , 기본 전하량은 e , 플랑크 상수는 h 이다.



전압 V 로 가속된 전자 — 이중 슬릿(간격 d) — 스크린(거리 L)

(2-4) 동일한 에너지를 가지는 전자선을 결정에 쏘는 실험을 생각해 보자. 결정에서 튀어 나온 전자의 각도에 따른 분포를 통해 어떻게 전자의 파동성을 증명할 수 있을지 설명하시오.

II. 예시답안

문제 2 이중 슬릿과 파동성

간섭 · 도플러 효과 · 드브로이 파장 · 브래그 회절

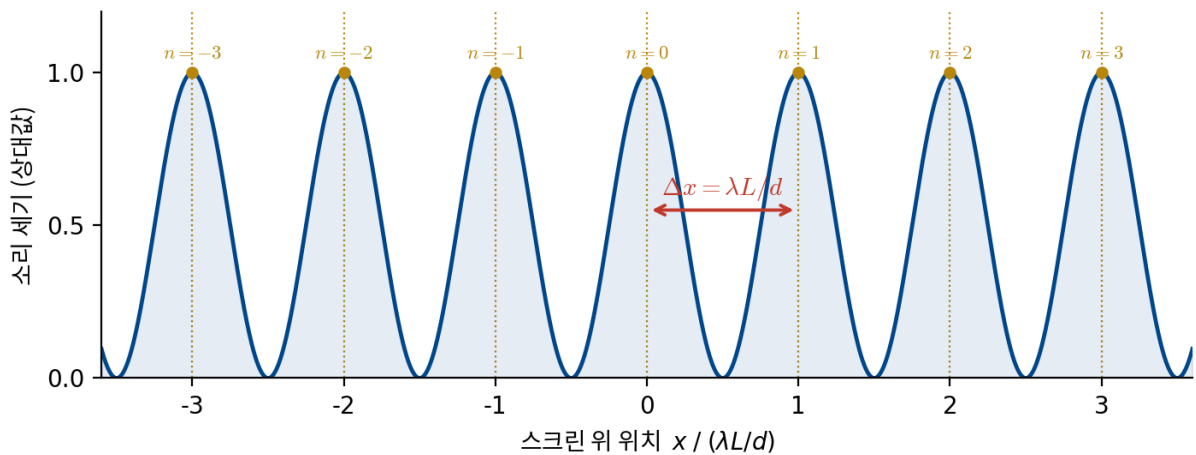
네 문항에 공통으로 쓰이는 극대점 간격 — 폭을 무시할 수 있는 두 슬릿에서 나온 파동이 스크린 위의 한 점에 도달할 때, 두 경로의 차는 슬릿에서 켜 각 θ 에 대해 $d \sin \theta$ 이다. 두 파동이 보강간섭하여 극대가 되는 조건은

$$d \sin \theta = n\lambda \quad (n = 0, \pm 1, \pm 2, \dots)$$

이다. $L \gg d$ 이므로 극대가 나타나는 각은 모두 매우 작고, 근축 근사에서 $\sin \theta \approx \tan \theta = x/L$ 로 쓸 수 있다. 따라서 n 번째 극대점의 위치와 이웃한 극대점 사이의 간격은

$$x_n = n \frac{\lambda L}{d}, \quad \Delta x = x_{n+1} - x_n = \frac{\lambda L}{d}$$

이다. (근사를 쓰지 않고 전개하면 $x_1 = L \tan(\sin^{-1}(\lambda/d)) = \frac{\lambda L}{d} \left[1 + \frac{1}{2} \left(\frac{\lambda}{d} \right)^2 + \dots \right]$ 이므로, 보정항은 $(\lambda/d)^2$ 차수로 작다.) 즉 극대점 간격은 슬릿에 도달하는 파동의 파장 λ 에만 의존하므로, 각 문항은 상황에 맞는 λ 를 구해 위 식에 대입하면 된다.



예시 작도 — 근축 근사에서의 세기 분포 $I(x) \propto \cos^2(\pi dx/(\lambda L))$ 와 극대점 간격 $\Delta x = \lambda L/d$

답 2-1. 한쪽 끝이 닫힌 관(폐관)의 고유 진동은 닫힌 끝이 **마디**, 열린 끝이 **배** 가 되어야 한다. 기본 진동은 관 속에 마디와 배가 하나씩만 놓이는 모드이므로 관의 길이가 파장의 1/4 에 해당한다. 즉

$$l = \frac{\lambda}{4} \rightarrow \lambda = 4l, \quad f = \frac{v}{\lambda} = \frac{v}{4l}$$

이다. 이 소리가 이중 슬릿에 도달하여 간섭하므로, 앞의 공통 결과에 $\lambda = 4l$ 을 대입하면

$$f = \frac{v}{4l}, \quad \Delta x = \frac{\lambda L}{d} = \frac{4lL}{d}$$

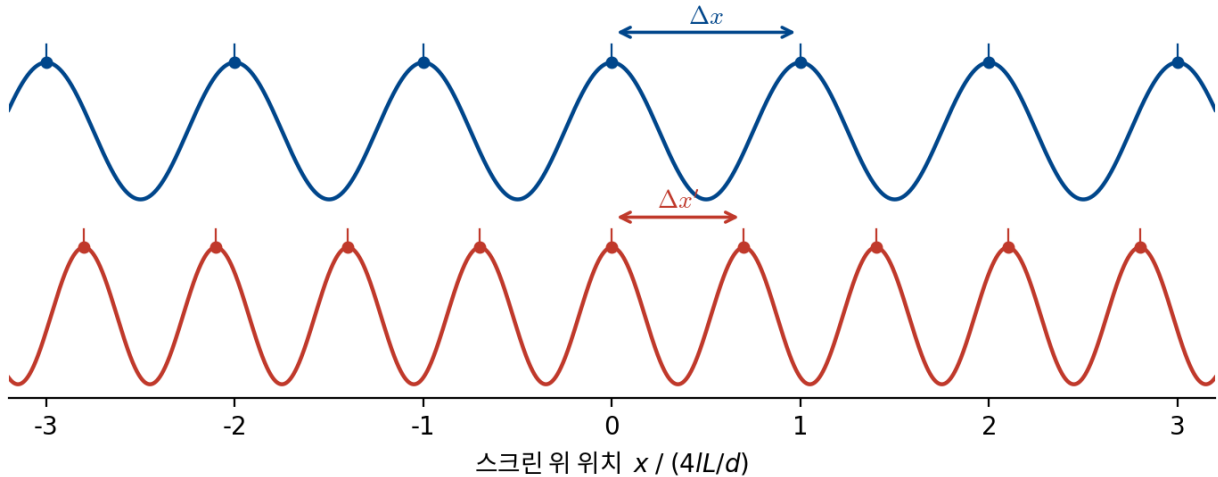
답 2-2. 관의 공명으로 정해지는 음원 자체의 진동수 $f = v/(4l)$ 는 음원이 움직여도 변하지 않는다. 그러나 음원이 스크린(슬릿) 쪽으로 v_s 로 다가오면, 한 주기 $T = 1/f$ 동안 앞서 내보낸 파면이 $vT = \lambda$ 만큼 전진하는 사이에 음원 자신도 $v_s T$ 만큼 따라붙는다. 그러므로 진행 방향 앞쪽에서 이웃한 두 파면 사이의 거리, 즉 슬릿에 도달하는 파장은

$$\lambda' = \lambda - v_s T = \frac{v - v_s}{f} = \frac{4l(v - v_s)}{v} = 4l \left(1 - \frac{v_s}{v} \right)$$

로 짧아진다. (정지한 슬릿·스크린에서 관측되는 진동수는 $f' = v/\lambda' = f \cdot v/(v - v_s)$ 로 높아지지만, 간섭 조건 $d \sin \theta = n\lambda'$ 에 들어가는 것은 매질 속 파장 λ' 이다.) 음원이 d 에 비해 충분히 멀리 있어 두 슬릿에 도달하는 파면을 평면파로 볼 수 있으므로 공통 결과를 그대로 쓸 수 있고,

$$\Delta x' = \frac{\lambda' L}{d} = \frac{4lL}{d} \cdot \frac{v - v_s}{v} = \Delta x \cdot \frac{v - v_s}{v}$$

$v_s < v$ 이므로 $\Delta x' < \Delta x$ 이다. 즉 극대점 사이의 거리는 $(v - v_s)/v$ 배로 **줄어든다**.



— 정지한 음원: $\Delta x = 4L/d$ — 다가오는 음원 ($v_s = 0.3v$): $\Delta x' = 0.7 \Delta x$

예시 작도 — $v_s = 0.3v$ 인 경우. 파장이 0.7λ 로 짧아져 극대점 간격도 $0.7\Delta x$ 로 줄어든다.

답 2-3. 정지해 있던 전자가 전압 V 로 가속되면 일-운동에너지 정리에 의해 eV 만큼의 운동에너지를 얻는다. 전자의 속력이 광속에 비해 작다고 보면($eV \ll mc^2$)

$$eV = \frac{1}{2}mu^2 = \frac{p^2}{2m} \rightarrow p = \sqrt{2meV}$$

이고, 드브로이 관계식 $\lambda = h/p$ 로부터 전자의 물질파 파장은

$$\lambda = \frac{h}{p} = \frac{h}{\sqrt{2meV}}$$

이다. 전자를 하나씩 통과시키면 스크린에는 매번 한 점만 찍히지만, 이를 무수히 반복하면 각 전자가 두 슬릿을 함께 지난 물질파의 확률분포가 쌓여 간섭무늬로 드러난다. 극대점의 위치는 파동일 때와 같은 조건 $d \sin \theta = n\lambda$ 를 만족하므로

$$\Delta x = \frac{\lambda L}{d} = \frac{hL}{d\sqrt{2meV}}$$

가속 전압이 클수록 파장이 짧아져 무늬 간격은 $1/\sqrt{V}$ 로 줄어든다. 예를 들어 $V = 100 \text{ V}$ 이면 $\lambda \approx 1.2 \times 10^{-10} \text{ m}$ 로 X선 정도의 파장이므로, 무늬를 관측하려면 슬릿 간격 d 도 그 정도로 작아야 한다.

답 2-4. 결정은 원자들이 일정한 간격으로 규칙적으로 배열된 구조이므로, 간격 D 로 나란히 놓인 원자면들이 3차원 회절격자 역할을 한다. 에너지가 모두 같은 전자선을 쏘면 전자의 드브로이 파장이 $\lambda = h/\sqrt{2meV}$ 로 단일하게 정해진다. 이웃한 두 원자면에서 산란된 전자파의 경로차는 원자면과 이루는 각 θ 에 대해 $2D \sin \theta$ 이므로, 보강간섭이 일어나는 조건은 브래그 조건

$$2D \sin \theta = n\lambda \quad (n = 1, 2, 3, \dots)$$

이다.

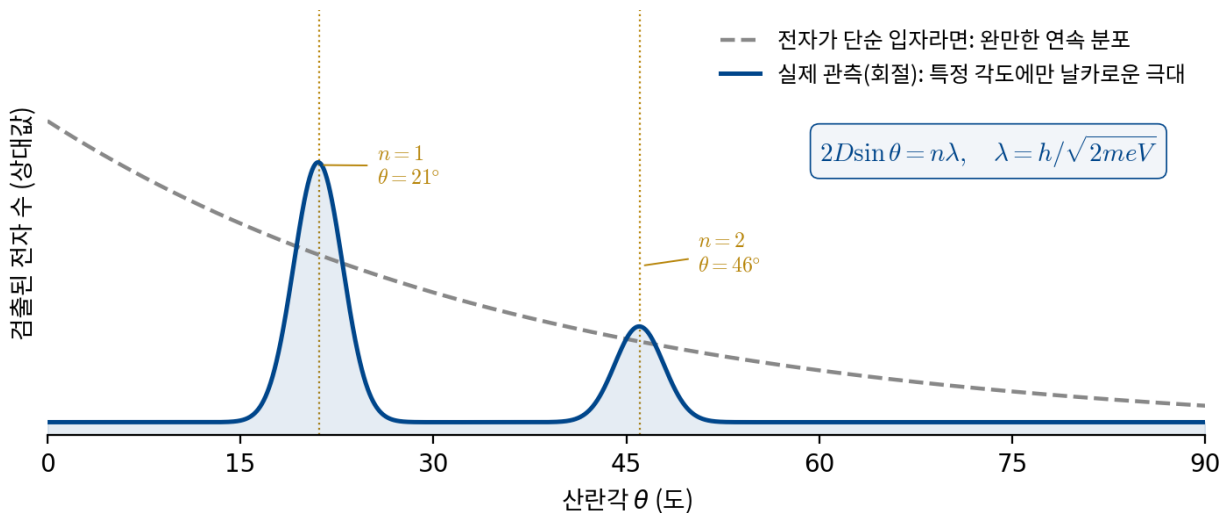
① **정성적 증거** — 전자가 단순한 입자라면 결정 원자와의 충돌로 튀어나오는 방향은 각도에 따라 완만하고 연속적으로 분포해야 한다. 그러나 실제로 각도별 전자 수를 세어 보면, 위 조건을 만족하는 특정 각도에서만 날카로운 극대가 나타나고 그 사이에서는 전자가 거의 검출되지 않는다. 이렇게 **불연속적인 회절 무늬**가 생기는 것은 전자들이 서로 보강·상쇄간섭을 한다는 뜻이며, 곧 전자가 파동성을 가짐을 보여 준다.

② **정량적 증거** — 관측된 극대 각도 θ 와 X선 회절 등으로 이미 알고 있는 격자 간격 D 를 브래그 조건에 넣어 얻은 파장

$$\lambda = \frac{2D \sin \theta}{n}$$

이 드브로이 파장 $h/\sqrt{2meV}$ 와 일치하면, 전자의 파동성이 수치적으로도 확인된다.

③ **추가 검증** — 가속 전압 V 를 바꾸면 $\lambda \propto 1/\sqrt{V}$ 이므로 극대 각도는 $\sin \theta \propto 1/\sqrt{V}$ 를 따라 이동해야 한다. 실제 실험이 이 관계를 만족하는지 확인하면 드브로이 관계식 자체를 검증할 수 있다. (전자선을 결정에 쏘아 회절 무늬를 처음 확인한 데이비슨-거머 실험이 이에 해당한다.)



예시 작도 — $\lambda/2D = 0.36$ 인 경우의 각도별 전자 수 분포. 입자 모형이 예측하는 완만한 연속 분포(회색 점선)와 달리, 브래그 조건을 만족하는 각도에만 날카로운 극대가 나타난다.