종이에서 바로 열기

인쇄한 종이의 이 QR을 **스마트폰 카메라로 비추면** 이 학습지가 그대로 열립니다. 폰에서 해설·정답까지 확인할 수 있어요.

y-life.kr/q/qm

📘 이론 — 8챕터

1장 빛은 알갱이일까, 물결일까? — 이중 슬릿 실험

여러분은 손전등 빛을 벽에 비춰본 적이 있죠. 빛은 그냥 쭉 뻗어나가는 것처럼 보입니다. 그런데 아주 좁은 틈 두 개를 나란히 뚫어놓고 그 틈으로 빛을 통과시키면 이상한 일이 벌어집니다. 스크린에 밝고 어두운 줄무늬가 여러 개 생기는 거예요. 이건 물결(파동)만 보이는 현상입니다. 잔잔한 호수에 돌을 두 개 던지면 물결끼리 부딪혀서 어떤 곳은 더 높아지고 어떤 곳은 잔잔해지는 것과 똑같아요.

그런데 더 신기한 건, 빛을 아주 약하게 해서 "한 알갱이씩" 쏘아도 시간이 지나면 똑같은 줄무늬가 생긴다는 겁니다. 마치 빛 알갱이 하나가 두 틈을 동시에 통과하면서 스스로와 부딪히는 것처럼요. 그래서 과학자들은 결론 내렸습니다 — **빛은 알갱이(입자)이면서 동시에 물결(파동)이다.** 이걸 "빛의 이중성"이라고 부릅니다.

> 한 줄 정리: 빛은 어떻게 관찰하느냐에 따라 입자처럼 보이기도, 파동처럼 보이기도 한다.

📖 이야기로 재미있게 읽기 →

2장 뜨거운 쇠막대는 왜 색이 변할까? — 흑체복사와 플랑크의 양자 가설

대장간에서 쇠막대를 불에 달구면 처음엔 어두운 빨강, 더 뜨거워지면 주황, 더 뜨거워지면 노랑에 가까워지는 걸 본 적 있나요? 이건 물체가 뜨거워지면 빛(전자기파)을 내뿜기 때문인데, 1900년까지 과학자들은 이 색 변화를 수식으로 정확히 설명하지 못해 골머리를 앓았습니다.

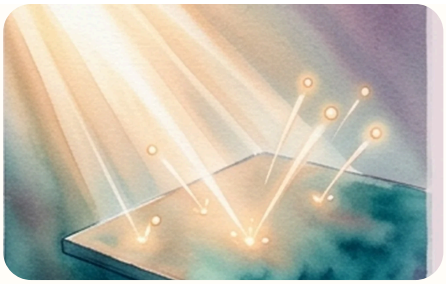
독일의 물리학자 막스 플랑크는 대담한 가정을 했습니다. "에너지는 물이 흐르듯 연속적으로 나오는 게 아니라, 마치 동전처럼 딱딱 끊어진 덩어리(양자, quantum)로만 나온다"고요. 그 에너지 덩어리 하나의 크기는 $E = hf$(h는 플랑크 상수, f는 진동수)로 정해집니다. 이 가정을 넣으니 계산이 실험과 완벽하게 맞아떨어졌습니다. 이것이 양자역학의 첫 문을 연 사건입니다.

> 한 줄 정리: 에너지는 연속적인 것이 아니라, hf 크기의 알갱이(양자) 단위로만 주고받을 수 있다.

📖 이야기로 재미있게 읽기 →

3장 빛을 쬐면 왜 전자가 튀어나올까? — 광전효과

4장 전자는 왜 아무 궤도나 못 돌까? — 보어의 원자모형



금속판에 빛을 비추면 표면에서 전자가 튀어나오는 현상을 "광전효과"라고 합니다. 그런데 이상한 점이 있었어요. 빛을 아무리 세게(밝게) 비춰도 어떤 색(진동수)의 빛에서는 전자가 하나도 안 튀어나오고, 반대로 아주 약한 빛이라도 특정 색 이상이면 전자가 바로 튀어나오는 겁니다.

아인슈타인은 플랑크의 아이디어를 빛 자체에 적용했습니다. 빛은 hf만큼의 에너지를 가진 알갱이(광자)들의 다발이라고요. 전자 하나가 광자 하나와 정면으로 부딪혀 튀어나오는데, 그 광자의 에너지가 금속을 붙잡고 있는 힘(일함수 φ)보다 작으면 아무리 광자가 많아도(빛이 세도) 전자는 못 튀어나옵니다. 식으로 쓰면: $hf = \varphi + KE_{max}$(φ=일함수, KE_max=최대운동에너지)

> 한 줄 정리: 빛은 hf 에너지를 가진 알갱이(광자)이고, 광전효과는 광자 하나와 전자 하나의 1대1 충돌이다.

📖 이야기로 재미있게 읽기 →

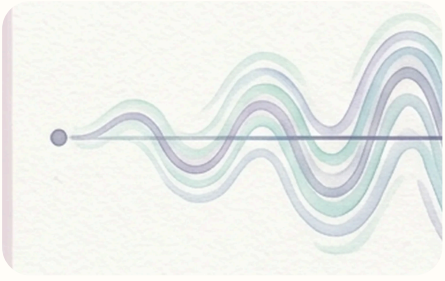
태양 주위를 도는 행성처럼, 원자핵 주위를 전자가 돈다고 생각하면 자연스러워 보입니다. 그런데 물리 법칙대로면 도는 전자는 에너지를 잃으면서 나선을 그리며 핵으로 빨려 들어가야 합니다. 그러면 원자는 순식간에 무너져야 하는데, 실제 원자는 멀쩡합니다.

닐스 보어는 "전자는 아무 궤도나 도는 게 아니라, 특정하게 정해진 궤도(에너지 준위)만 돌 수 있다"고 가정했습니다. 마치 계단처럼요. 수소 원자에서 n번째 궤도의 에너지는 $E_n = -\frac{13.6}{n^2}\ \text{eV}$로 정해집니다(n=1,2,3...). 전자가 높은 궤도에서 낮은 궤도로 "점프"할 때, 그 차이만큼의 에너지를 빛(광자)으로 내보냅니다.

> 한 줄 정리: 원자 속 전자의 에너지는 계단처럼 정해진 값(양자화)만 가질 수 있고, 그 사이를 점프하며 빛을 내거나 흡수한다.

📖 이야기로 재미있게 읽기 →

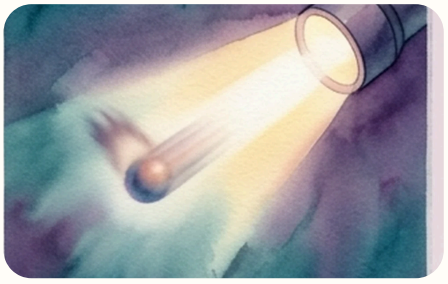
5장 전자도 물결을 그린다? — 드브로이의 물질파



빛이 알갱이이기도 하다면, 반대로 원래 알갱이라고 생각했던 전자도 물결일 수 있지 않을까? 프랑스의 대학원생 루이 드브로이는 이 질문을 던졌습니다. 그리고 모든 물질(알갱이)은 $\lambda = \frac{h}{p}$(λ는 파장, p는 운동량=질량×속도)라는 파동의 성질을 가진다고 제안했습니다.

실제로 전자를 결정(고체) 표면에 쏘면, 빛처럼 회절·간섭 무늬가 생긴다는 사실이 실험으로 확인되었습니다. 왜 우리는 야구공이 물결처럼 보이는 걸 못 볼까요? 계산해보면 야구공의 물질파 파장은 상상할 수 없을 만큼 작아서

6장 위치와 속도를 동시에 정확히 알 수 없다? — 하이젠베르크의 불확정성 원리



깜깜한 방 안의 축구공 위치를 알고 싶다면 손전등을 비춰보면 됩니다. 그런데 전자처럼 아주아주 가벼운 알갱이의 위치를 보려고 빛(광자)을 쏘면, 광자가 전자에 부딪히는 순간 전자는 그 충격으로 튕겨나가 원래 갖고 있던 속도가 바뀌어 버립니다.

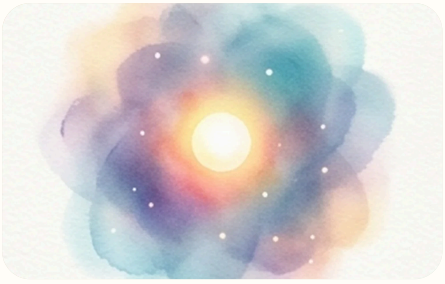
즉, 전자의 위치를 더 정확히 재려고 할수록 전자의 속도(운동량)는 더 심하게 흐트러집니다. 하이젠베르크는 이걸 수식으로 정리했습니다 — 위치의 불확실함(Δx)과 운동량의 불확실함(Δp)을 곱하면 항상 어떤 최솟값보다

(10⁻³⁴ m 수준) 우리 눈으로는 절대 확인할 수 없기 때문입니다.

> 한 줄 정리: 모든 물질은 파동의 성질을 갖고 있지만(물질파), 무거운 물체일수록 그 파장이 너무 작아 눈에 띄지 않을 뿐이다.

📖 이야기로 재미있게 읽기 →

7장 전자는 정확히 어디 있을까? — 슈뢰딩거의 파동함수와 확률 해석



드브로이 덕분에 "전자도 물결"이라는 건 알았는데, 그럼 그 물결의 정체는 뭘까요? 에르빈 슈뢰딩거는 전자의 물결을 수학적으로 기술하는 방정식(슈뢰딩거 방정식)을 만들었습니다. 이 방정식을 풀면 파동함수(ψ, 프사이)라는 것이 나옵니다.

막스 보른은 "ψ의 제곱($|\psi|^2$)이 그 위치에 전자가 존재할 확률을 뜻한다"고 해석했습니다. 즉 원자 속 전자는 특정 궤도를 도는 작은 공이 아니라, 핵 주위에 안개처럼 퍼진 "확률 구름"으로 존재한다고 봐야 합니다. 우리는 전자가 "정확히 어디 있다"고 말할 수 없고, "여기서 발견될 확률이 몇 %다"라고만 말할 수 있습니다.

> 한 줄 정리: 전자의 위치는 정해진 값이 아니라 확률로만 예측할 수 있고, |파동함수|²가 그 확률을 나타낸다.

📖 이야기로 재미있게 읽기 →

크다는 것이죠: $\Delta x \, \Delta p \geq \frac{h}{4\pi}$. 이건 측정 기술이 부족해서가 아니라, **자연 그 자체가 갖고 있는 근본적인 한계**입니다.

> 한 줄 정리: 미시세계에서는 위치와 운동량을 동시에 완벽히 정확하게 알 수 없다 — 측정의 한계가 아니라 자연의 근본 성질이다.

📖 이야기로 재미있게 읽기 →

8장 동시에 여럿일 수 있다? — 양자 중첩·얽힘·터널링

① **양자 중첩**: 관측하기 전까지 입자는 여러 상태를 동시에 갖고 있습니다. 슈뢰딩거는 이 이상함을 보여주려고 사고실험을 하나 만들었습니다 — 상자 속에 고양이와 50% 확률로 작동하는 장치를 넣으면, 상자를 열어보기 전까지 고양이는 "살아있는 상태와 죽은 상태가 겹쳐진" 상태라는 이상한 결론이 나옵니다. 이건 실제로 고양이가 그렇다는 뜻이 아니라, 미시세계의 중첩을 거시세계에 그대로 적용하면 얼마나 이상한 일이 벌어지는지 보여주는 사고실험입니다.

② **양자 얽힘**: 두 입자가 특별한 방식으로 만들어지면, 아무리 멀리 떨어져도 한쪽을 측정하는 순간 다른 쪽의 상태가 즉시 결정되는 신비로운 연결이 생깁니다.

③ **양자 터널링**: 미시세계의 입자는 에너지가 부족해도 확률적으로 "벽을 그냥 통과해버리는" 경우가 있습니다. 이 현상은 실제로 반도체 소자, 별 속에서 핵융합이 일어나는 원리에도 쓰입니다.

> 한 줄 정리: 미시세계에서는 여러 상태가 동시에 존재하고(중첩), 멀리서도 연결되며(얽힘), 불가능해 보이는 장벽도 뚫고 지나간다(터널링) — 이 세 가지가 오늘날 양자컴퓨터 같은 미래 기술의 핵심이다.

📖 이야기로 재미있게 읽기 →

문제 — 기본 40 · 중간 30 · 심화 30

B01 이중슬릿 실험의 결과(간섭무늬)가 빛의 파동성을 증명한다는 것을 아는지 확인

이중슬릿 실험에서 스크린에 나타나는 밝고 어두운 무늬를 ( )무늬라고 하며, 이는 빛이 ( )이라는 성질을 가진다는 증거이다.

B02 광자 하나씩 쏘아도 결국 간섭무늬가 나타난다는 양자역학의 핵심 신비를 이해했는지 확인

"이중슬릿 실험에서 광자를 한 개씩 아주 오랜 시간 간격을 두고 쏘아도, 충분히 많이 쏘면 결국 간섭무늬가 나타난다." (O, X) 이유도 서술하시오.

B03 '측정'이라는 행위가 양자계의 상태를 실제로 바꾼다는 것을 이해했는지 확인

이중슬릿 실험에서 "광자가 어느 슬릿을 통과하는지" 측정 장치로 관찰하면, 스크린의 간섭무늬는 어떻게 변하는가?

B04 에너지가 연속이 아니라 hf 단위로 띄엄띄엄 존재한다는 '양자화' 개념을 이해했는지 확인

플랑크는 흑체복사를 설명하기 위해, 에너지는 연속적인 양이 아니라 hf의 정수배(1배, 2배, 3배...)로만 주고받을 수 있다고 가정했다. 이렇게 에너지가 띄엄띄엄한 값으로만 존재하는 것을 무엇이라 하는가?

B05 E=hf에서 에너지와 진동수가 정비례 관계임을 계산으로 확인

플랑크의 식 E=hf에 따르면, 진동수(f)가 2배로 커지면 광자 하나의 에너지(E)는 몇 배가 되는가?

B06 플랑크와 아인슈타인의 업적을 구분해서 아는지 확인

다음 개념과 그것을 설명한 과학자를 짝지으시오. ① 광전효과를 광양자설로 설명 ② 흑체복사에서 에너지 양자화 가설 제시 (보기: 아인슈타인, 플랑크)

B07 hf = φ + KE_max 식의 구조(에너지 보존)를 이해하고 간단히 계산할 수 있는지 확인

어떤 금속의 일함수(φ)가 2eV이고, 빛을 쬐었을 때 튀어나온 광전자의 최대운동에너지(KE_{max})가 3eV였다면, 이 빛의 광자 에너지(hf)는 몇 eV인가?

B08 빛의 세기(밝기)는 광전자의 개수만 늘릴 뿐, 최대운동에너지와는 무관하다는 것을 이해했는지 확인

"빛을 더 밝게(세게) 비추면, 튀어나오는 광전자 하나하나의 최대운동에너지가 커진다." (O, X) 이유를 서술하시오.

B09 보어 모형에서 전자가 정해진 궤도만 돈다는 핵심 아이디어를 이해했는지 확인

보어의 원자모형에서, 전자는 아무 궤도나 도는 것이 아니라 특정하게 정해진 궤도(에너지 준위)만 돌 수 있다. 이렇게 전자의 에너지 값이 특정한 값들로만 제한되는 것을 무엇이라 하는가?

B10 수소원자 에너지 준위 공식 E_n=-13.6/n²을 정확히 계산할 수 있는지 확인

보어 모형에 따른 수소원자의 에너지 준위는 E_n = -13.6/n^2 (eV)이다. n=2인 궤도의 전자 에너지는 몇 eV인가?

B11 전자가 높은 준위에서 낮은 준위로 이동할 때 빛을 방출한다는 방향성을 정확히 아는지 확인

보어 모형에서 원자가 빛(광자)을 방출하는 경우는 전자가 어떻게 움직일 때인가?

B12 드브로이 물질파 공식 λ=h/p의 형태를 정확히 아는지 확인

드브로이는 빛뿐 아니라 전자와 같은 모든 물질도 파동성을 가진다고 주장했다. 이때 물질의 파장 λ와 운동량 p 사이의 관계식은 λ = ( )이다. (h는 플랑크 상수)

B13 '물질파가 없다'와 '무시할 만큼 작다'를 구분해서 이해하는지 확인

"야구공처럼 무거운 물체는 물질파가 아예 없다." (O, X) 이유를 서술하시오.

B14 불확정성 원리가 측정기술의 한계가 아니라 자연의 근본 성질임을 정확히 아는지 확인

하이젠베르크의 불확정성 원리에 따르면, 입자의 ( )과 ( )을 동시에 정확하게 알 수는 없다. 이는 측정 기술이 부족해서가 아니라 자연의 ( )인 성질이다.

B15 불확정성 원리가 거시세계에서 느껴지지 않는 이유(h가 매우 작다)를 이해했는지 확인

불확정성 원리는 우리 눈에 보이는 큰 물체(예: 달리는 자동차)에서는 왜 전혀 느껴지지 않는가?

B16 $|\psi|^2$이 확률(밀도)을 의미한다는 확률 해석의 핵심을 아는지 확인

슈뢰딩거의 파동함수 ψ에서, $|\psi|^2$(절댓값의 제곱)은 그 위치에서 입자를 발견할 ( )을 의미한다.

B17 전자구름이 실제 물질이 아니라 위치의 확률분포를 시각화한 것임을 이해했는지 확인

원자 속 전자의 위치를 확률적으로 나타낸, '구름처럼 퍼져있는' 형태의 그림을 무엇이라 부르는가?

B18 슈뢰딩거의 고양이가 '양자 중첩'을 거시세계에 적용했을 때의 역설을 보여주는 사고실험임을 아는지 확인

"슈뢰딩거의 고양이" 사고실험은 양자역학의 ( )(측정 전까지 여러 상태가 동시에 겹쳐있는 상태) 개념을 거시세계(고양이)에 적용했을 때 생기는 이상함을 보여주기 위해 고안되었다.

B19 양자터널링이 확률적으로 장벽을 통과하는 현상이지, 물리적으로 벽을 뚫는 것이 아님을 이해했는지 확인

입자가 고전역학적으로는 넘을 수 없는 에너지 장벽을, 마치 벽을 뚫고 지나가듯 통과하는 양자역학적 현상을 무엇이라 하는가?

B20 양자얽힘이 즉각적 상관관계는 만들지만 정보를 빛보다 빠르게 전달할 수는 없다는 것을 이해했는지 확인

"양자얽힘 상태에 있는 두 입자는, 아무리 멀리 떨어져 있어도 한쪽을 측정하면 다른 쪽 상태가 즉시 정해진다. 이 현상을 이용하면 빛보다 빠르게 정보를 전달할 수 있다." (O, X) 이유를 서술하시오.

B21 이중슬릿 실험 결과의 의미(파동성 증거)를 이해했는지 확인

이중슬릿 실험에서 빛을 두 개의 슬릿에 통과시키면 스크린에는 밝고 어두운 줄무늬가 반복되는 무늬가 나타난다. 이 무늬의 이름은 무엇이며, 이 무늬가 나타난다는 것은 빛이 ( )을 가지고 있다는 증거이다.

B22 빛이 파동성과 입자성을 모두 갖는다는 이중성 개념을 정확히 이해했는지 확인

"빛은 이중슬릿 실험에서 파동처럼 행동하는 것이 확인되었으므로, 빛은 파동이지 입자는 아니다." 이 문장은 옳은가? OX로 답하고 이유를 한 문장으로 쓰시오.

B23 관찰(측정) 행위가 이중슬릿 결과에 영향을 준다는 사실을 알고 있는지 확인

이중슬릿 실험에서 '광자가 어느 슬릿을 지나가는지' 관측 장치를 달아 확인하면, 스크린의 간섭무늬는 어떻게 되는가?

B24 E=hf 관계에서 진동수와 에너지가 비례한다는 것을 이해했는지 확인

플랑크의 공식 E = hf 에서 h는 ( )이고, f는 ( )이다. 이 식에 따르면 진동수가 2배가 되면 광자 하나의 에너지는 ( )배가 된다.

B25 에너지가 연속적이지 않고 hf 단위로 띄엄띄엄 주고받아진다는 '양자화' 개념 확인

B26 광전효과 식 hf = φ + KE_max 의 각 항이 뜻하는 바를 이해했는지 확인

플랑크는 흑체복사를 설명하기 위해, 에너지가 물처럼 얼마든지 연속적으로 나올 수 있는 것이 아니라 hf라는 특정 크기의 덩어리로만 주고받아진다고 가정했다. 이렇게 에너지가 특정 단위로만 띄엄띄엄 존재하는 것을 무엇이라고 하는가?

다음 광전효과 관련 용어와 그 의미를 알맞게 짝지으시오. [보기: ① hf, ② φ(일함수), ③ KE_{max}] — [의미: ㄱ. 금속에서 전자 하나를 떼어내는 데 필요한 최소 에너지, ㄴ. 금속에 흡수된 광자 하나의 에너지, ㄷ. 전자가 튀어나올 때 갖는 최대 운동에너지]

B27 빛의 세기를 키워도 문턱진동수 미만이면 광전자가 방출되지 않는다는 아인슈타인 광양자설의 핵심을 확인

어떤 금속에 문턱진동수보다 낮은 진동수의 빛을 아무리 세게(밝게) 비추어도 광전자는 튀어나오지 않는다. 이는 옳은 설명인가? OX로 답하고 이유를 쓰시오.

B28 일함수(φ)가 금속마다 고유한 값이라는 것을 이해했는지 확인

일함수(φ)는 무엇을 뜻하는 값이며, 금속의 종류가 다르면 일함수 값도 달라지는가?

B29 보어 모델의 에너지 준위 공식 E_n=-13.6/n²(eV)을 실제로 계산해 보며 이해하는지 확인

수소 원자에서 전자가 n=2 궤도에 있을 때의 에너지 E_2를 E_n = -13.6/n^2 (eV) 공식을 이용해 구하시오.

B30 전자가 궤도와 궤도 '사이'에는 존재할 수 없다는 양자화된 궤도 개념을 이해했는지 확인

보어의 원자모형에서 수소 원자 속 전자는 n=1 궤도와 n=2 궤도 사이의 임의의 거리에도 자유롭게 위치할 수 있다. 이 설명은 옳은가? OX로 답하고 이유를 쓰시오.

B31 전자의 궤도 전이(전이 시 에너지 차이만큼 빛을 방출/흡수)를 이해했는지 확인

전자가 에너지가 높은 궤도(예: n=3)에서 에너지가 낮은 궤도(예: n=2)로 이동할 때, 두 궤도의 에너지 차이만큼 빛을 (　　)하고, 반대로 낮은 궤도에서 높은 궤도로 이동하려면 그만큼의 에너지를 빛으로 (　　)해야 한다.

B32 λ=h/p 에서 운동량과 물질파 파장이 반비례 관계임을 이해했는지 확인

드브로이의 물질파 공식 λ = h/p 에 따르면, 운동량 p가 커질수록 물질파의 파장 λ는 (커진다 / 작아진다).

B33 일상적인 물체(거시물체)는 물질파 파장이 너무 작아 파동성을 느낄 수 없다는 이유를 이해했는지 확인

드브로이에 따르면 모든 물질은 파동성을 가지는데, 왜 우리는 걸어 다니거나 공을 던질 때 자신이나 공의 '파동성'을 전혀 느끼지 못하는가?

B34 물질파 개념이 실제로 응용되는 예(전자현미경)를 아는지 확인

전자현미경은 가시광선 대신 전자를 이용해 매우 작은 물체를 볼 수 있게 해준다. 전자현미경이 매우 높은 해상도를 가질 수 있는 것은 드브로이의 물질파 이론과 어떤 관계가 있는가?

B35 불확정성 원리가 측정기술의 한계가 아니라 자연의 근본적 성질이라는 핵심을 이해했는지 확인

"하이젠베르크의 불확정성 원리는 아직 측정 장비의 정밀도가 부족해서 생기는 한계일 뿐, 미래에 더 좋은 장비가 개발되면 전자의 위치와 운동량을 동시에 정확히 측정할 수 있게 될 것이다." 이 설명은 옳은가? OX로 답하고 이유를 쓰시오.

B36 위치를 정확히 알수록 운동량은 더 불확실해진다는 반비례적 관계를 이해했는지 확인

하이젠베르크의 불확정성 원리에 따르면, 전자의 위치를 아주 정확하게 측정하려고 할수록 그 전자의 운동량에 대한 불확실성은 (커진다 / 작아진다).

B37 파동함수의 절댓값 제곱($|\psi|^2$)이 '발견 확률'을 의미한다는 것을 이해했는지 확인

슈뢰딩거의 파동함수 ψ에서 $|\psi|^2$ 값이 어떤 위치에서 크다는 것은, 그 위치에서 전자가 발견될 (　　)이 높다는 뜻이다. 그래서 전자는 원자핵 주위에 정해진 궤도를 도는 것이 아니라 (　　) 형태로 존재한다고 표현한다.

B38 파동함수 ψ 자체는 직접 관측할 수 없고 확률만 관측 가능하다는 것을 이해했는지 확인

"파동함수 ψ 값 자체를 실험으로 직접 측정해서, 전자가 특정 위치에 있는지 그 자리에서 바로 확인할 수 있다." 이 설명은 옳은가? OX로 답하고 이유를 쓰시오.

B39 슈뢰딩거의 고양이 사고실험이 보여주려는 '중첩' 개념의 의미를 이해했는지 확인

슈뢰딩거의 고양이 사고실험에서, 상자를 열어 확인하기 전까지 고양이는 '살아있는 상태'와 '죽은 상태'가 동시에 겹쳐 있는 상태로 설명된다. 이 사고실험이 보여주려는 양자역학의 개념은 무엇인가?

B40 양자터널링이 고전물리로는 불가능한 현상임을 이해했는지 확인

고전역학에서는 공이 언덕(에너지 장벽)보다 낮은 에너지로 굴러오면 절대 그 언덕을 넘어갈 수 없다. 그런데 양자역학에서는 입자가 에너지 장벽보다 낮은 에너지를 가지고 있어도 그 장벽을 통과해 반대편에서 발견될 수 있다. 이 설명은 옳은가? OX로 답하고 이 현상의 이름을 쓰시오.

M01 이중슬릿 실험이 빛의 파동성(간섭)을 보여준다는 것을 이해했는지 확인

이중슬릿 실험에서 광자를 하나씩, 아주 오랜 시간 동안 스크린에 쏘았다. 처음에는 점이 무작위로 찍히는 것처럼 보이지만, 점이 충분히 많이 쌓이면 스크린에는 밝고 어두운 줄무늬(간섭무늬)가 나타난다. 이 결과가 빛의 어떤 성질을 보여주는지 한두 문장으로 서술하시오.

M02 관측(측정) 행위가 양자 시스템의 파동성을 무너뜨린다는 것을 이해했는지 확인

이중슬릿 앞에 '광자가 어느 슬릿을 통과했는지' 알아내는 관측 장치를 설치하면, 스크린에는 더 이상 간섭무늬가 나타나지 않고 두 개의 굵은 줄만 남는다. 그 이유를 서술하시오.

M03 E(eV) = 1240/λ(nm) 공식을 직접 대입해 광자 에너지를 계산할 수 있는지 확인

파장이 620nm인 빨간빛 광자 1개의 에너지는 몇 eV인지 구하시오. (단, hc ≈ 1240 eV·nm)

M04 파장이 짧을수록 광자 에너지가 크다는 관계를 계산으로 확인

파장이 310nm인 자외선 광자 1개의 에너지는 몇 eV인지 구하시오.

M05 에너지값이 주어졌을 때 거꾸로 파장을 구할 수 있는지 확인

어떤 광자 1개의 에너지가 5eV일 때, 이 광자의 파장은 몇 nm인지 구하시오.

M06 서로 다른 파장의 광자 에너지를 비교(비율 계산)할 수 있는지 확인

빨간빛(파장 620nm)의 광자 에너지는 2eV이고, 어떤 보랏빛(파장 248nm)의 광자 에너지는 5eV이다. 보랏빛 광자 1개의 에너지는 빨간빛 광자 1개의 에너지의 몇 배인지 구하시오.

M07 빛의 세기(밝기)와 광자 1개의 에너지가 서로 다른 개념이라는 것을 이해했는지 확인

파장이 620nm인 빨간빛의 밝기(세기)를 원래보다 3배 밝게 만들었다. 이때 광자 1개의 에너지는 어떻게 되는

M08 hf = φ + KE_max 공식을 이용해 광전자의 최대 운동에너지를 계산할 수 있는지 확인

일함수가 φ = 2eV인 금속에 파장 310nm(광자 에너지 4eV)인 자외선을 비추었다. 이때 튀어나오는 광전자의

지, 대신 무엇이 3배로 변하는지 서술하시오.

최대 운동에너지(KE_{max})는 몇 eV인지 구하시오.

M09 문턱파장(λ₀) 개념과 계산법을 이해했는지 확인

위 문제(M08)의 금속(일함수 φ = 2eV)에서, 이 금속의 문턱파장 λ_0(이보다 파장이 길면 광전자가 전혀 튀어나오지 않는 경계 파장)는 몇 nm인지 구하시오.

M10 광자 에너지가 일함수보다 작으면 빛의 세기를 아무리 키워도 광전자가 나오지 않는다는 것을 이해했는지 확인

일함수가 φ = 3eV인 금속에 파장 620nm(광자 에너지 2eV)인 빨간빛을 아주 밝게 비추었다. 이 금속에서 광전자가 튀어나오는지, 그 이유와 함께 서술하시오.

M11 다른 숫자 조합으로 hf = φ + KE_max 계산을 한 번 더 연습

일함수가 φ = 1eV인 금속에 파장 248nm(광자 에너지 5eV)인 자외선을 비추었다. 광전자의 최대 운동에너지(KE_{max})는 몇 eV인지 구하시오.

M12 빛의 세기는 광전자의 '개수'를, 진동수는 광전자의 '최대 운동에너지'를 결정한다는 것을 구분할 수 있는지 확인

광전효과가 일어나고 있는 금속에 비추는 빛의 진동수는 그대로 두고 세기(밝기)만 2배로 늘렸다. 이때 (1) 튀어나오는 광전자의 최대 운동에너지와 (2) 1초 동안 튀어나오는 광전자의 개수는 각각 어떻게 변하는지 서술하시오.

M13 광전효과가 빛의 파동설로는 설명되지 않는 이유(양자가설이 필요한 이유)를 스스로 정리할 수 있는지 확인

만약 빛이 순수한 파동이라면, 세기가 센(밝은) 빛일수록 전자에 더 많은 에너지를 계속 쌓아줄 수 있어야 한다. 그런데 실제 광전효과 실험에서는 아무리 세기가 세도 진동수가 문턱진동수보다 낮으면 광전자가 전혀 나오지 않는다. 이 실험 결과가 '빛은 파동이 아니라 hf만큼의 에너지를 가진 알갱이(광자)의 흐름'이라는 생각을 뒷받침하는 이유를 서술하시오.

M14 보어 모형의 에너지 준위 공식 E_n = -13.6/n²(eV)을 직접 계산할 수 있는지 확인

수소 원자에서 전자가 n=2 궤도에 있을 때의 에너지 E_2(eV)를 구하시오. (단, E_n = -13.6/n^2 eV)

M15 n값이 커질수록 에너지 준위가 0에 가까워진다는 것을 계산으로 확인

수소 원자에서 전자가 n=4 궤도에 있을 때의 에너지 E_4(eV)를 구하시오.

M16 바닥상태(n=1)가 가장 낮은(가장 안정된) 에너지 상태라는 개념을 이해했는지 확인

수소 원자에서 n=1일 때의 에너지 E_1은 -13.6eV로, 다른 모든 n값의 에너지보다 값이 더 작다(더 음수다). 이 상태를 무엇이라고 부르며, 왜 전자는 특별한 에너지를 받지 않는 한 이 상태에 머물러 있으려 하는지 서술하시오.

M17 전자가 높은 준위에서 낮은 준위로 전이할 때 방출하는 에너지(ΔE)를 계산할 수 있는지 확인

수소 원자의 전자가 n=2(E_2=-3.4eV)에서 n=1(E_1=-13.6eV)로 전이할 때 방출하는 에너지 ΔE(eV)를 구하시오.

M18 전이 에너지로부터 방출되는 빛의 파장을 계산할 수 있는지 확인

M17에서 구한 전이(n=2→n=1)로 방출되는 광자의 에너지는 10.2eV이다. 이때 방출되는 빛의 파장은 약 몇 nm인지 구하시오. (λ = 1240/ΔE, 소수 첫째 자리에서 반올림)

M19 다른 전이(n=4→n=2)에서도 ΔE와 λ를 스스로 계산할 수 있는지 확인

수소 원자의 전자가 n=4(E_4=-0.85eV)에서 n=2(E_2=-3.4eV)로 전이할 때, (1) 방출하는 에너지 ΔE(eV)와 (2) 방출하는 빛의 파장(nm, 소수 첫째 자리 반올림)을 각각 구하시오.

M20 전자가 낮은 준위에서 높은 준위로 갈 때는 '흡수'가 필요하다는 것과, 흡수 에너지 계산을 함께 확인

수소 원자의 전자를 n=1(E_1=-13.6eV)에서 n=3(E_3≈-1.51eV)으로 이동시키려면, 전자가 에너지를 흡수해야 하는가, 방출해야 하는가? 그리고 필요한 에너지는 약 몇 eV인지 구하시오.

M21 일상적인 물체의 드브로이 파장이 상상할 수 없을 만큼 작다는 것을 계산으로 체감

질량 0.145kg, 속력 40m/s로 날아가는 야구공의 드브로이 파장(m)을 구하시오. (λ = h/mv, h = 6.63×10^{-34} J·s)

M22 전자처럼 작은 입자는 드브로이 파장이 원자 크기와 비슷할 만큼 실제로 의미 있게 커진다는 것을 확인

질량 9.11×10^{-31}kg인 전자가 속력 1×10^{6} m/s로 움직일 때 드브로이 파장(m)을 구하시오.

M23 λ = h/(mv)에서 속력과 파장이 반비례 관계라는 것을 논리로 이해했는지 확인

M22의 전자의 속력이 1×10^{6} m/s에서 2×10^{6} m/s로 2배가 되면, 드브로이 파장은 원래의 몇 배가 되는지 계산 없이 관계식만으로 설명하시오.

M24 운동량이 주어졌을 때 드브로이 파장을 직접 계산할 수 있는지 확인

어떤 입자의 운동량이 p = 6.63×10^{-25} kg·m/s일 때, 이 입자의 드브로이 파장(m)을 구하시오.

M25 드브로이 파장이 실제 기술(전자현미경)에 어떻게 응용되는지 개념적으로 연결할 수 있는지 확인

전자현미경은 가시광선을 쓰는 일반 광학현미경보다 훨씬 작은 물체까지 관찰할 수 있다. 이 이유를 전자의 드브로이 파장과 연관지어 서술하시오.

M26 질량과 속력이 주어졌을 때 운동량→드브로이 파장까지 2단계 계산을 스스로 끝까지 해낼 수 있는지 확인

질량이 2×10^{-30}kg인 어떤 입자가 속력 5×10^{5} m/s로 움직이고 있다. (1) 이 입자의 운동량 p와 (2) 드브로이 파장 λ를 각각 구하시오.

M27 하이젠베르크 불확정성 원리의 핵심 의미를 설명할 수 있는지 확인

하이젠베르크의 불확정성 원리를 한두 문장으로 설명하고, 이것이 '측정 장비의 성능이 나빠서 생기는 문제'가 아니라는 점을 함께 서술하시오.

M28 위치의 불확정성(Δx)이 작아지면 운동량의 불확정성(Δp)이 커진다는 반비례 관계를 실제 상황에 적용할 수 있는지 확인

전자의 위치를 아주 정밀하게 측정하기 위해 파장이 매우 짧은(에너지가 매우 큰) 빛을 전자에 쏘아 관측하였다. 이렇게 위치의 불확정성(Δx)을 아주 작게 만들면, 전자의 운동량의 불확정성(Δp)은 어떻게 되는지 서술하시오.

M29 파동함수 ψ 자체가 아니라 $|\psi|^2$이 확률을 의미한다는 확률 해석의 핵심을 이해했는지 확인

슈뢰딩거 방정식의 해인 파동함수 ψ는 직접 눈으로 관측할 수 있는 물리량이 아니다. 대신 $|\psi|^2$이 어떤 의미

M30 양자 터널링 현상과 그것이 고전역학으로는 설명될 수 없는 이유를 실제 응용 사례와 연결할 수 있는지 확인

양자 터널링이 실제로 응용되는 예를 한 가지 들고, 고전(뉴턴)역학의 관점에서는 왜 이런 현상이 불가능한 일인지 설명하시오.

를 가지는지, '전자가 특정 위치에서 발견될 확률이 크다'는 말이 무엇을 뜻하는지 서술하시오.

S01 단일 입자가 만드는 간섭무늬가 왜 파동성의 증거가 되는지 설명할 수 있는가 ★★☆

이중슬릿 실험에서 전자를 총알처럼 하나씩, 아주 긴 시간 간격을 두고 쏘았다. 스크린에는 전자가 한 개씩 무작위한 위치에 점으로 찍히는 것처럼 보였지만, 수만 개가 쌓이자 밝고 어두운 줄무늬(간섭무늬)가 나타났다. 이 실험 결과가 왜 '전자 하나하나가 파동처럼 행동한다'는 것을 보여주는 증거가 되는지 설명하시오.

S02 관측(측정) 행위가 간섭무늬를 없앤다는 상보성 원리를 이해하는가 ★★★

다음은 한 학생의 설명이다. '전자는 원래 알갱이니까, 어느 슬릿으로 지나갔는지 슬릿 옆에 검출기를 달아 확인해도 스크린에는 여전히 간섭무늬가 그대로 나타날 것이다.' 이 설명에서 틀린 부분을 찾아 고치시오.

S03 고전 물리학의 자외선 파탄 문제와 플랑크 가설이 이를 어떻게 해결했는지 이해하는가 ★★★

19세기 말 고전 물리학으로 흑체복사 스펙트럼을 계산하면, 짧은 파장(자외선)으로 갈수록 방출되는 에너지가 무한대로 발산한다고 예측되었다(자외선 파탄). 그러나 실제 흑체는 특정 파장에서 최댓값을 갖는다. 플랑크는 어떤 가정을 도입하여 이 모순을 해결했는지 설명하시오.

S04 광전효과 실험 데이터로부터 플랑크 상수와 일함수를 구할 수 있는가 ★★★

어떤 금속판에 여러 진동수의 빛을 비추며 방출되는 광전자의 최대운동에너지 KE_{max}를 측정했더니 다음과 같았다.

진동수 f(×10^{14} Hz): 5.0 / 6.0 / 7.0 / 8.0
KE_{max}(eV): 0.07 / 0.48 / 0.90 / 1.31

(1) 그래프(가로축 f, 세로축 KE_{max})는 어떤 모양이며 기울기·y절편이 각각 무엇을 의미하는지 쓰시오. (2) 데이터로부터 플랑크 상수 h와 이 금속의 일함수 φ를 구하시오.

S05 아인슈타인의 광양자설이 파동설로 설명 못한 광전효과의 세 가지 실험 사실을 어떻게 해결했는지 설명할 수 있는가 ★★★

광전효과에는 고전 파동설로 설명할 수 없는 세 사실이 있다. ① 즉시 방출 ② 문턱진동수 존재 ③ KE_{max}는 세기와 무관, 진동수에만 비례. 아인슈타인의 광양자설이 이를 각각 어떻게 설명하는지 서술하시오.

S06 빛의 세기와 진동수가 광전효과에서 각각 무엇을 결정하는지 정확히 구분하는가 ★★☆

다음은 한 학생의 설명이다. '빛의 세기를 세게 비추면 광자 하나가 더 큰 에너지를 갖게 되니까, 방출되는 광전자의 최대운동에너지도 그만큼 커진다.' 틀린 부분을 찾아 고치시오.

S07 러더퍼드 원자모형의 고전역학적 모순과 보어가 이를 극복한 방식을 이해하는가 ★★★

러더퍼드의 원자모형(전자가 핵 주위를 원운동)은 고전전자기학의 관점에서 두 가지 심각한 문제를 가지고 있었다. 이 문제가 무엇이었는지 설명하고, 보어가 어떤 가정을 추가해 이를 해결했는지 서술하시오.

S08 수소 원자의 방출 스펙트럼 파장 데이터로부터 전자의 전이를 역산할 수 있는가 ★★★

수소 방전관 스펙트럼에서 656nm, 486nm, 434nm(가시광선, 발머 계열) 세 선이 관측되었다. 보어 모형의 E_n=-13.6/n^2(eV) 식을 이용하여 이 세 선이 각각 어떤 전이(n_high→n_low)로부터 나온 것인지 구하고,

왜 연속이 아니라 몇 개의 뚜렷한 선으로만 나타나는지 설명하시오.

S09 이중슬릿 실험과 광전효과가 각각 파동성·입자성 중 어느 쪽을 드러내며, 종합하면 어떤 결론에 이르는지 설명할 수 있는가 ★★★

이중슬릿 실험은 빛의 파동성을, 광전효과는 빛의 입자성을 대표적으로 보여주는 실험이다. 두 실험이 각각 무엇을 근거로 파동성/입자성을 뒷받침하는지 설명하고, 둘을 함께 놓고 보면 빛의 본질에 대해 어떤 결론을 내릴 수 있는지 서술하시오.

S10 플랑크의 에너지 양자화 가설과 아인슈타인의 광자 개념이 서로 다른 주장이라는 것을 구분하는가 ★★☆

다음은 한 학생의 설명이다. '플랑크는 흑체복사 문제를 풀면서 빛이 광자라는 입자로 이루어져 있다는 것을 처음 주장한 과학자다.' 틀린 부분을 찾아 고치시오.

S11 전자를 하나씩 쏘는 이중슬릿 실험에서 시간에 따라 무늬가 누적되는 과정을 데이터로 해석할 수 있는가 ★★☆

전자를 이중슬릿에 한 개씩 발사하며 스크린 도달 위치를 기록했다. 10개일 때는 무작위, 1,000개일 때는 특정 구역에 몰리기 시작, 100,000개일 때는 뚜렷한 간섭무늬가 형성됐다. 전자 하나하나의 도착 위치는 예측 불가능한데도 왜 많이 쌓이면 항상 같은 간섭무늬로 수렴하는지 설명하시오.

S12 문턱진동수 이하에서 빛의 세기를 아무리 높여도 전자가 방출되지 않는 이유를 광자 개념으로 설명할 수 있는가 ★★☆

어떤 금속의 일함수가 φ일 때, 진동수가 문턱진동수 $f_0(=\varphi/h)$보다 작은 빛을 아무리 밝게 비추어도 광전자는 전혀 방출되지 않는다. 왜 그런지 광자 개념을 이용해 설명하시오. (순수 파동설이라면 어떤 예측이 나오는지도 비교)

S13 보어 모형이 설명하지 못한 한계와 그것이 이후 어떤 이론으로 발전했는지 과학사적 맥락을 이해하는가 ★★★

보어의 원자모형은 수소 원자의 선 스펙트럼을 정확히 설명했지만 몇 가지 한계도 있었다. 대표적 한계 두 가지를 쓰고, 이후 원자모형이 어떤 방향으로 발전했는지 서술하시오.

S14 플랑크의 가설과 아인슈타인의 광양자설이 어떻게 다르며, 왜 아인슈타인의 주장이 더 급진적인지 비교할 수 있는가 ★★★

플랑크(1900)와 아인슈타인(1905)은 모두 '양자화'를 사용했지만 중요한 차이가 있다. 두 가설을 비교하여 왜 아인슈타인의 주장이 더 급진적인 도약이었다고 평가받는지 설명하시오.

S15 보어 모형이 '완전히 틀린 이론'이 아니라 '제한적으로 유효한 근사 모형'이라는 점을 정확히 구분하는가 ★★★

다음은 한 학생의 설명이다. '전자가 파동처럼 행동한다는 것이 밝혀졌으니까, 보어의 원자모형은 완전히 틀린 이론이고 지금은 아무런 쓸모가 없다.' 틀린 부분을 찾아 고치시오.

S16 드브로이 물질파가 '모든 물체'에 적용되는데 왜 일상에서는 파동성을 못 느끼는지 설명할 수 있는가 ★★☆

드브로이의 물질파 이론에 따르면 야구공도, 사람도, 자동차도 모두 파동의 성질을 가진다. 그런데 우리는 일상에서 이런 물체의 회절·간섭을 본 적이 없다. 왜 그런지 $\lambda=h/(mv)$ 식을 근거로 설명하시오.

S17 불확정성 원리가 '측정기술의 한계'가 아니라 '자연의 근본 성질'임을 정확히 이해했는가 ★★★

S18 보어의 원자모형과 슈뢰딩거의 확률구름 모형의 근본적 차이를 설명할 수 있는가 ★★★

다음은 한 학생의 설명이다. '불확정성 원리는 측정 기술이 부족해서 생기는 것이며, 미래에 더 정밀한 장비가 개발되면 위치와 운동량을 동시에 알아낼 수 있을 것이다.' 틀린 부분을 찾아 고치시오.

보어 모형은 전자가 정해진 궤도를 돈다고 설명했고, 슈뢰딩거의 파동함수는 위치를 확률로만 설명한다. 두 모형의 차이와, 왜 슈뢰딩거의 방식이 불확정성 원리와 모순되지 않는지 설명하시오.

S19 슈뢰딩거의 고양이 사고실험이 무엇을 지적하기 위한 것인지 이해했는가 ★★★

'슈뢰딩거의 고양이'는 상자를 열기 전까지 고양이가 중첩 상태라고 말한다. 슈뢰딩거는 이 실험을 양자역학이 옳다는 것을 보여주려던 것이 아니라 오히려 문제점을 지적하려 만들었다. 정말로 지적하고 싶었던 것이 무엇인지 설명하시오.

S20 양자얽힘에서 '초광속 정보전달'과 '상관관계'를 구분할 수 있는가 ★★★

다음은 한 학생의 설명이다. '얽힌 두 입자는 한쪽을 측정하면 다른 쪽 상태가 즉시 결정되므로, 이를 이용해 빛보다 빠르게 정보를 보낼 수 있다.' 틀린 부분을 찾아 고치시오.

S21 양자터널링이 확률적 현상임을 파동함수 관점에서 이해했는가 ★★☆

양자터널링은 '입자가 넘을 수 없는 에너지 장벽을 뚫고 지나간다'고 설명된다. 이것이 고전역학에서 왜 불가능해 보이는지, 양자역학에서는 왜 가능한지 파동함수의 관점에서 설명하시오.

S22 양자터널링의 실생활·자연 응용 사례를 원리와 연결해 설명할 수 있는가 ★★☆

태양의 핵융합은 양자터널링이 없다면 현재 온도로 일어나기 매우 어렵다고 알려져 있다. 왜 그런지, 반도체 소자에서 터널링이 어떻게 이용되는지 설명하시오.

S23 불확정성 원리를 파동의 성질과 연결해 논리적으로 설명할 수 있는가 ★★★

"파동은 원래 한 곳에 딱 정해진 위치를 가질 수 없다"는 문장이 불확정성 원리와 어떤 관계가 있는지, 물질파 개념과 연결지어 설명하시오.

S24 $|\psi|^2$이 '확률밀도'라는 의미를 정확히 이해했는가 ★★☆

다음은 한 학생의 설명이다. '$|\psi|^2$이 큰 곳에는 전자가 절반쯤 걸쳐서 존재하고, 작은 곳에는 아주 조금만 존재한다.' 틀린 부분을 찾아 고치시오.

S25 양자중첩과 양자얽힘의 차이를 구분해 설명할 수 있는가 ★★☆

'양자중첩'과 '양자얽힘'은 자주 함께 언급되지만 다른 개념이다. 두 개념의 차이를 예를 들어 설명하시오.

S26 물질파 개념이 전자현미경 같은 실제 기술로 어떻게 응용되는지 설명할 수 있는가 ★★☆

전자현미경이 광학현미경보다 훨씬 작은 구조를 관찰할 수 있는 이유를 드브로이 물질파 개념을 이용해 설명하시오.

S27 EPR 논문의 원래 주장이 이후 실험으로 어떻게 재평가되었는지 과학사적 흐름을 이해했는가 ★★★

1935년 EPR은 양자얽힘을 근거로 '양자역학은 불완전하며 숨은 변수가 결과를 미리 결정한다'고 주장했다. 이 주장이 어떻게 다루어졌는지, 오늘날 물리학자들의 입장을 설명하시오.

S28 불확정성 원리가 원자의 안정성과 어떻게 연결되는지 논리적으로 추론할 수 있는가 ★★★

고전역학의 관점에서 전자는 핵으로 붕괴해야 할 것 같은데 원자는 안정적이다. 불확정성 원리가 이 안정성을 설명하는 데 어떻게 도움이 되는지 논하시오.

S29 양자중첩이 관측 전까지만 유지된다는 점과 '관측'이 갖는 의미를 정확히 짚을 수 있는가 ★★☆

슈뢰딩거의 고양이에서 상자를 여는 '관측' 순간 중첩은 하나로 확정된다. 이 사고실험이 던지는, 아직 명확히 답이 정해지지 않은 질문은 무엇인지 서술하시오.

S30 8개 장 전체를 관통하는 핵심 흐름을 하나의 이야기로 정리해 서술할 수 있는가(면접 종합형) ★★★

과학고 면접에서 "양자역학을 공부하면서 가장 인상 깊었던 개념"을 묻는다고 하자. 드브로이의 물질파, 불확정성 원리, 파동함수, 중첩·얽힘·터널링 중 최소 2개 이상을 연결지어, 고전역학이 왜 미시세계에서 통하지 않는지 하나의 이야기로 정리하시오.

🙋 해설이 어렵거나 더 자세히 알고 싶으면 선생님께 말씀해주세요 — 상세 해설지를 새로 만들어 드립니다.