

실험 제목	실험교사 서명
흑체 복사 곡선과 광전 효과 그리고 LED를 이용한 플랑크 상수 측정	

기수	반	번호	고등학교	이름

1. 실험목표 플랑크의 혁명적 개념인 에너지 불연속성은 흑체에서 나오는 복사 에너지의 특성을 이론적으로 잘 설명했고 기존의 고전 물리학의 개념을 완전히 뒤엎는 것이었다. 후에 광전 효과를 아인슈타인이 플랑크의 에너지 불연속성으로 설명함으로써 빛의 입자성 및 물질의 이중성을 밝히는데 초석이 되었다. 학생들이 실험을 통해 현대물리학의 태동을 이해하고 양자 물리학의 특징과 매력에 빠질 수 있게 한다.

2. 배경이론 1) 고전 물리학과 양자 물리학(현대 물리학)의 특징과 차이점
고전 물리학(역학, 열역학, 전자기학)

결정론적 사고.

시공간의 절대화.

우주의 모든 실체는 입자이거나 아니면 파동이다.

양자 물리학

불확정성의 원리.

상태함수와 확률.

중첩상태의 존재와 측정의 의미.

우주의 모든 실체는 입자의 성질과 파동의 성질이 상호 보완적이다.
(보어의 상보성의 원리)

2) 양자 물리학의 등장 배경

가) 흑체복사(Blackbody radiation) 문제

실험을 통해서 흑체에서 방출된 복사의 전체 일률은 온도의 4제곱에 비례해서 증가함을 알았다. 이를 슈테판의 법칙(Stefan's law)이라고 한다. 또한 빈의 변위 법칙(Wien's displacement law)에서 흑체복사의 파장 분포의 최고점은 온도 증가에 따라 짧은 파장 쪽으로 이동한다는 것이 알려져 있었다. 이를 고전 역학과 전자기학 그리고 열역학을 이용하여 설명하기 위한 것이 레일리-진스의 법칙(Rayleigh-Jeans law)이었으나 이 법칙은 파장이 긴 영역에서는 잘 맞지만 파장이 짧은 영역에서는 무한대가 나온다. 이 문제를 자외선 파탄(Ultraviolet catastrophe)이라고 한다. 플랑크의 에너지 양자화로 해결됐다.

나) 광전효과(Photoelectric effect) 문제

1. 고전적 예측으로 빛의 세기는 전기장의 제곱에 비례하므로 빛의 세기가 더 크면 광전자의 운동에너지도 증가해야 하지만 무관하다.
2. 고전적 예측으로 전자에 충분한 에너지가 축적되어 광전자가 방출되려면 시간이 걸리지만 실험 결과, 즉시 방출된다.
3. 고전적 예측으로 빛의 세기가 충분하면 어떠한 진동수의 빛에서도 광전자가 방출되어야 하지만 특정 진동수 이상에서만 방출된다.
4. 고전적 예측으로 빛의 진동수와 전자의 운동에너지는 무관해야 하지만 전자 최대 운동에너지는 빛의 진동수에 비례한다.

다) 원자의 크기와 안정성(stability) 그리고 스펙트럼 문제

러더퍼드의 원자 모형에서 전자가 특정 반경만 가지고 회전할 이유가 없으며 또한 전자의 속력에 따라 다양한 크기의 원자가 존재할 것이다. 한편 전자가 원운동하면 즉, 가속 운동하면 전자기파를 방출할 것이고 차츰 에너지를 잃어서 원자핵으로 끌려들어갈 것이다. 따라서 원자는 긴 시간동안 안정되지 않을 것이다. 뿐만 아니라 원자에서 나오는 다양한 선 스펙트럼을 고전 물리학으로는 설명할 수 없었다.

보어는 보어의 원자 모형을 통해 원자 핵 주위의 전자 궤도는 양자화되어있으며 각 궤도의 각운동량은 플랑크 상수의 정수배이고 전자가 높은 에너지 준위에서 낮은 에너지 준위로 떨어질 때 진동수에 비례하는 양자화된 에너지를 방출 혹은 흡수한다고 제안했다. 이로부터 원자의 선스펙트럼의 기원을 밝혔다.

3) 플랑크의 흑체 복사 이론

플랑크(Max Planck)는 흑체복사 이론(1900년 12월)을 통해서 에너지가 불연속적인 값을 갖는다는 혁명적 개념을 최초로 도입하였다. 에너지 양자화를 통해 레일리-진스의 결과 식에서 나온 자외선 파탄 문제를 해결하였다.

플랑크는 흑체복사의 에너지가 양자화 되어있으며 그 크기는 복사의 진동수의 크기에 비례한다고 가정했다. 이때 비례 상수를 플랑크 상수라고 한다.

$$E_n = nh\nu$$

4) 광전 효과와 광전 효과에서 보여주는 양자 물리학적 특성

광전효과는 1884년 독일의 헤르츠에 의해 알려졌으며 금속판에 빛을 쬐이면 전자가 튀어나오는 현상이다.

플랑크의 흑체복사 법칙으로부터 힌트를 얻은 아인슈타인은 빛은 광자라고 불리는 작은 양자 상태의 입자로 구성되어 있고 입자 하나의 에너지는 $E = h\nu$ 로 주어진다고 주장하였다.

Einstein의 광자 해설

- Planck의 양자개념을 이용하여 빛의 다발이 양자화된 에너지 hf 를 가진 광자(Photon)로 구성되어 있다고 설명. 여기에서 $h = 6.626 \times 10^{-34}\text{Js}$ 는 Planck 상수이다.

$$E = hf = \frac{hc}{\lambda}$$

광자의 에너지

일함수 ϕ = 전자의 표면 탈출위한 최소에너지

$$eV_0 = hf - \phi$$

광전효과

$$p = \frac{E}{c} = \frac{hf}{c} = \frac{h}{\lambda}$$

광자의 운동량

여러 가지 원소들의 일함수

원소	일함수(eV)
알루미늄	4.3
니켈	5.0
탄소	4.7
실리콘	5.1
구리	5.1
은	4.8
금	4.3
나트륨	2.7

3. 실험재료

전원공급장치, 전선, 발광 다이오드 (빨강, 노랑, 초록)

실험 기구 (4인 1조 기준)	재료명 (필요시 영문표기)	필요량	비고
	전원공급장치	1대	
	악어클립 전원 케이블	4개	
	발광 다이오드 (빨강)	5개	
	발광 다이오드 (노랑)	5개	
	발광 다이오드 (초록)	5개	
	절연 장갑	4쌍	
	멀티미터	1대	

4. 시간구성

단계	실습 내용	시간
1	인사 및 출석체크와 조편성	5분
2	실험실습 제목 및 목표 소개	5분
3	배경 이론 및 실험 방법 설명	70분
4	실험 실습	50분
5	결과 정리 및 고찰	10분
6	토론 및 보고서 작성	30분
7	총평 및 정리	10분

5. 실험 방법 여러 가지 색의 발광 다이오드를 이용해서 플랑크 상수를 측정하는 실험방법을 생각해 본다.

1. 빨간색 LED를 악어 클립을 이용해서 직류 전원장치에 연결한다.
2. 전원 장치의 전압을 0으로 한 후 스위치를 켜고 전압을 조금씩 올리면서 LED가 빛을 내기 시작하는 전압을 측정한다. 검은 색 빨대를 이용해서 외부 빛을 차단하고 실험을 하거나 또는 실험실 전체 조명을 끄고 어두운 상태에서 실험을 한다.
3. 다른 색깔의 LED를 차례로 연결하여 작동전압을 측정한다.
4. 전원 공급 장치의 전압 측정이 어려운 경우 멀티미터를 LED 양단에 병렬 연결하여 전압을 측정한다.

*주의 사항

1. 전원 공급 장치의 (+)극과 (-)극을 직접 연결하지 않는다.
 2. 발광 다이오드에 과전류가 흐르면 기능을 상실하므로 주의해야 한다.
 3. 밝게 빛나는 발광 다이오드를 가까이에서 보지 않도록 한다.
-

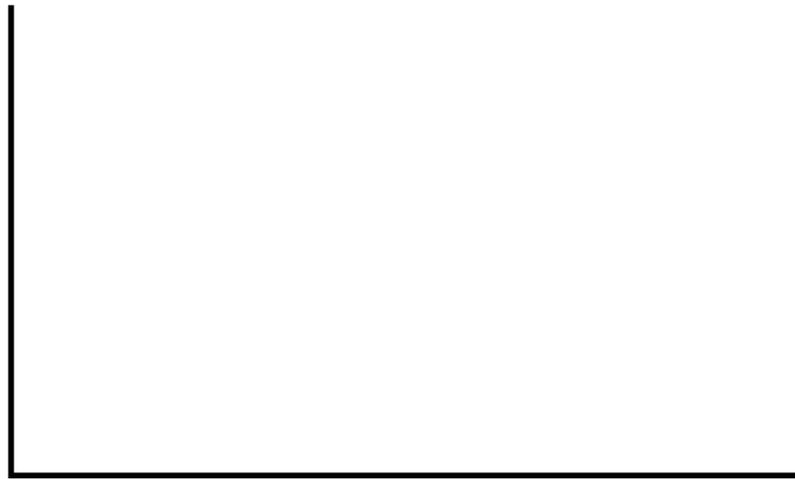
6. 실험결과

1. 플랑크 상수 측정

발광 다이오드 색	빨강	노랑	초록
파장 (nm)			
파장의 역수 값			
작동 전압 (V)			

* 그래프 그리기

V



$1/\lambda$

2. 위 그래프의 기울기를 계산하고 이를 이용해서 플랑크 상수를 구해보자.

3. LED를 이용한 광전 효과 실험에서 얻은 플랑크 상수를 이론값과 비교하여 오차를 계산하고 오차의 원인을 찾아본다.

4. 이 실험을 통해 얻은 결론이 무엇인지 요약해서 적어 본다.

7. 고찰

고찰이란?

실험을 통하여 결과를 얻었을 때, 실험 과정과 결과에 대해 생각하고 연구하는 것을 의미한다. 실험 결과가 좋던 나쁘던 관계없이 실험 과정에서 발생할 수 있는 오류에 대해 생각하여 기재하고, 실험 결과에 대해 전체적인 정리를 하고, 더 나아가 실험과정과 결과를 이용하여 더 깊이 연구할 수 있는 실험에 대해 생각하고, 어떤 분야에 응용할 수 있는지에 대해 생각해보도록 하자.

8. 토론

1. 흑체 복사와 발광 다이오드의 빛 방출은 어떠한 차이점이 있을까?

2. 발광 다이오드에 전압을 역방향으로 가하면 전류가 흐르지 않는다,
그 원인은 무엇일까?

3. 우주의 온도를 측정할 수 있는 방법을 생각해보자.

4. 입자의 파동성에 대해 알고 있는 부분을 친구들과 공유해보자.
