

7.CM실패:광전효과

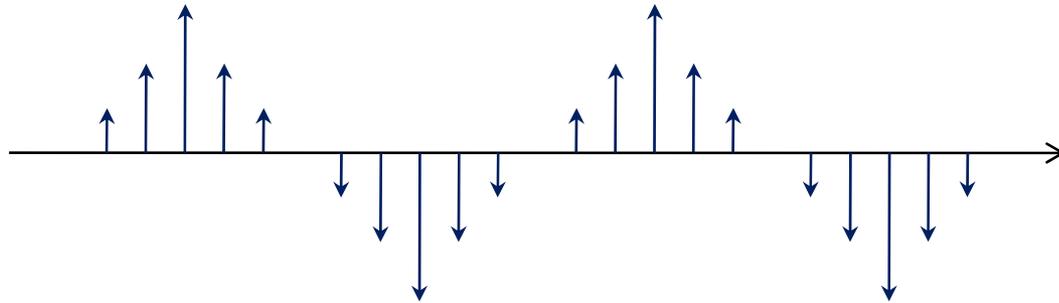
화공과 김영훈 교수

korea1@kw.ac.kr

빛 에너지는 불연속이다

2

- Planck에 의해 " $E=nh\nu$ "라는 사실 발견
 - 파동에너지는 (진폭)²에 비례
 - 즉, 파동에너지 불연속이면 진폭도 불연속이어야 함
 - $E=nh\nu$ 에 의하면 파동인 빛은 불연속적인 진폭을 지녀야 함

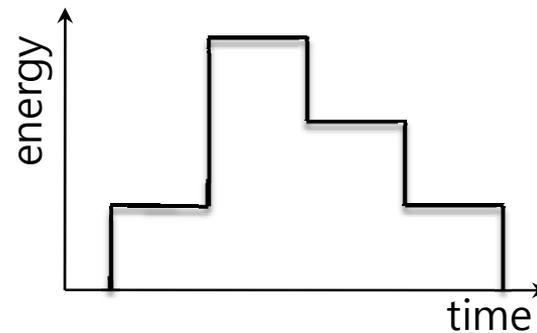
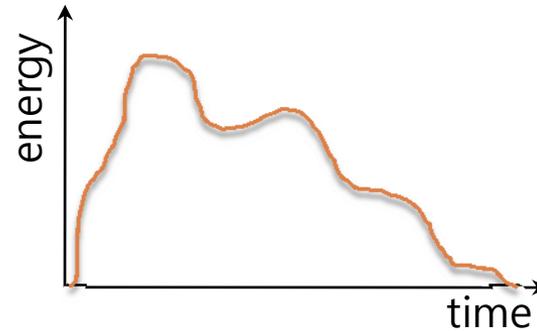
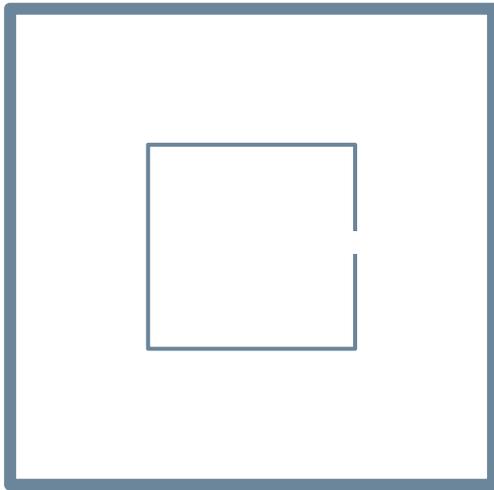


- 이해하기 어려운 현상 → Einstein이 해결

아인슈타인의 사고실험

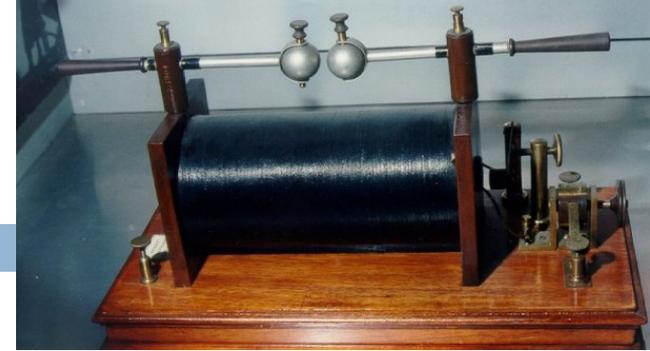
3

- Gedanken experiment
 - ▣ 순식간에 에너지 전달할 수 있는 방식 필요

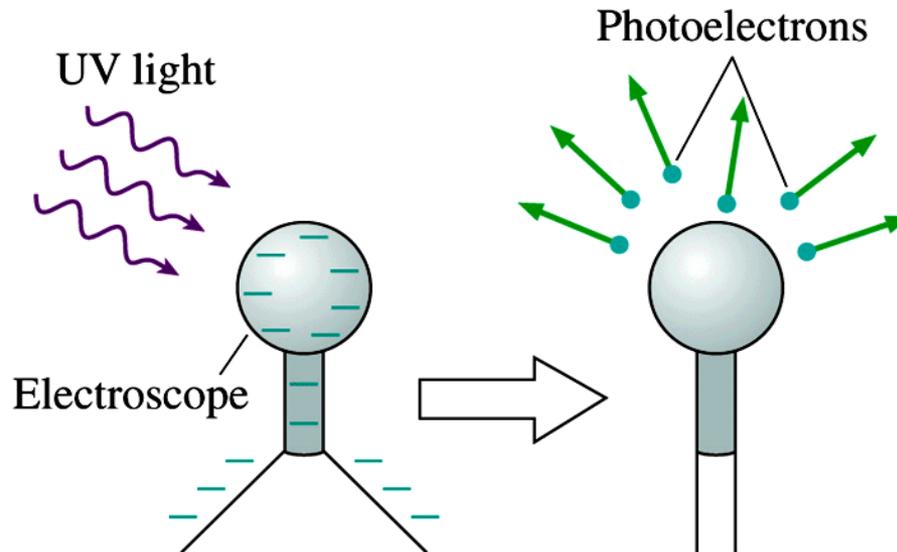


광전자효과의 발견

4



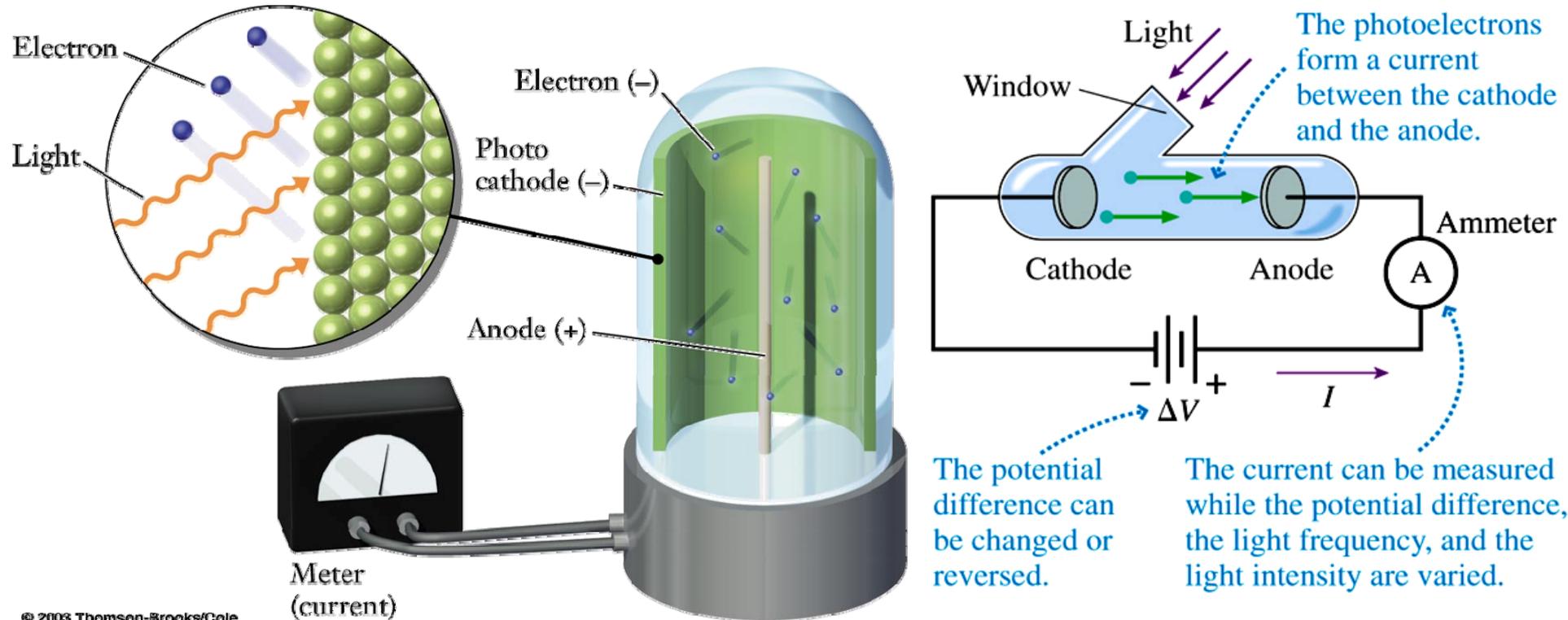
- 헤르츠 (Heinrich Rudolf Hertz)
 - ▣ 두 금속판 사이에 UV를 쬐이면 스파크 발생하는 최소 전압값이 줄어든다 → 전자발생
 - ▣ 그의 제자 Lenard가 본격적인 연구 수행
- 톰슨 (J. J. Thomson)
 - ▣ 금속 표면에 UV를 쬐이면 전자가 발생한다



Lenard의 본격적인 광전효과 실험

5

- 떨어져 있는 두개의 금속판 구조
 - ▣ 외부에서 빛을 가할 때만 전류 흐름

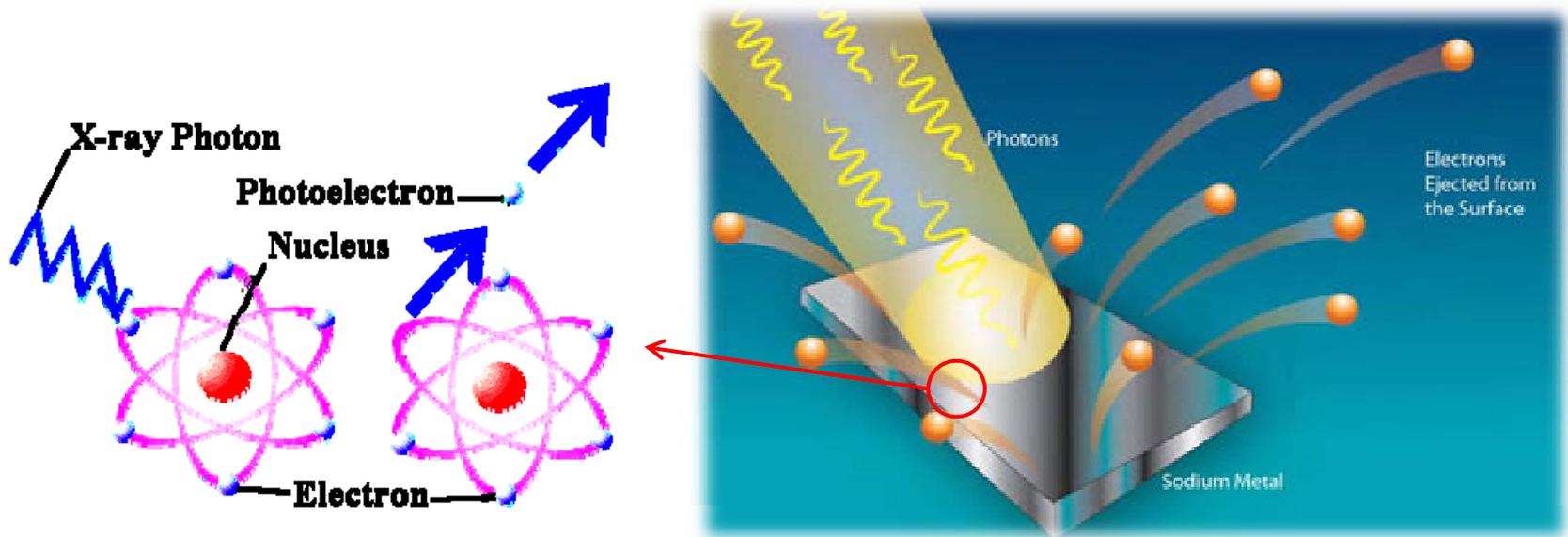


광전효과란

6

□ Photoelectric effect

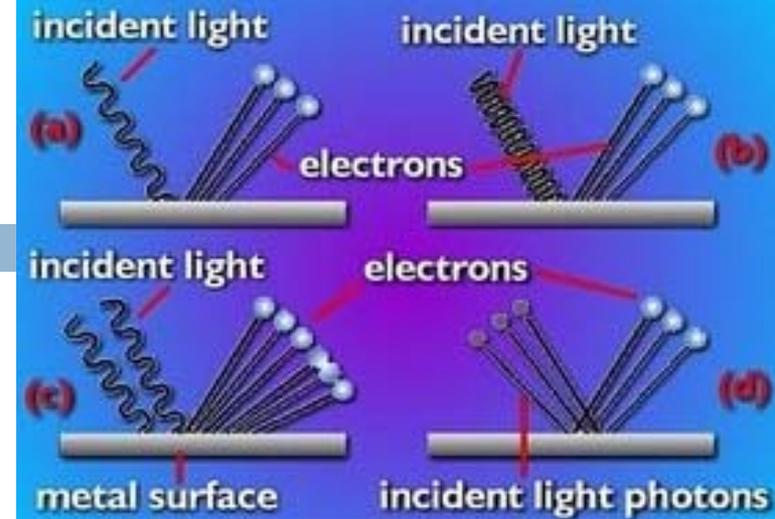
- 금속판에 빛을 쬐이면 금속판에서 이온이 튀어나오는 현상
- 전자의 방출은 특정 파장이하에서만 가능하다
- → CM의 "빛=파동"에 위배되는 현상



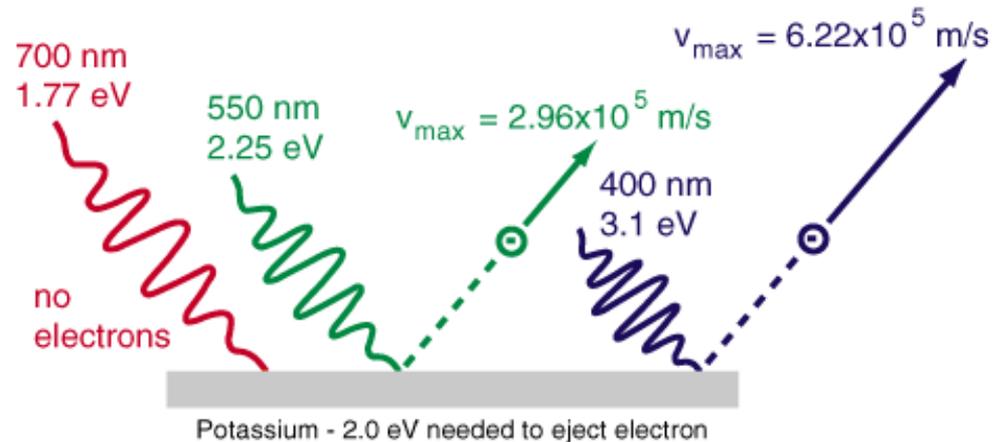
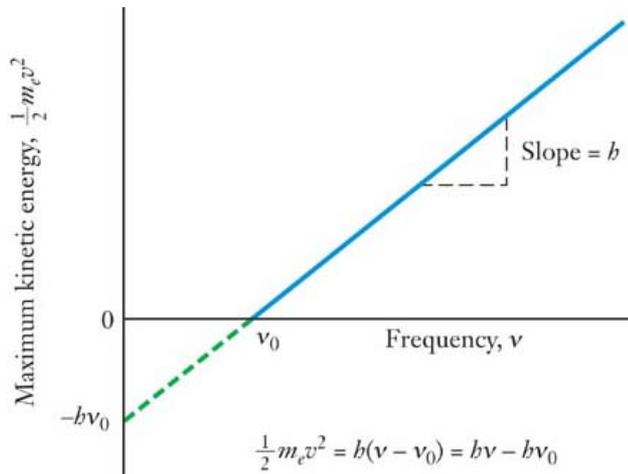
광전효과 실험 요약

7

□ 실험의 결과



	튀어나오는 전자수	튀어나오는 단일 전자 에너지
세기(진폭) 증가	증가	변화 없음
진동수 증가	변화 없음	증가

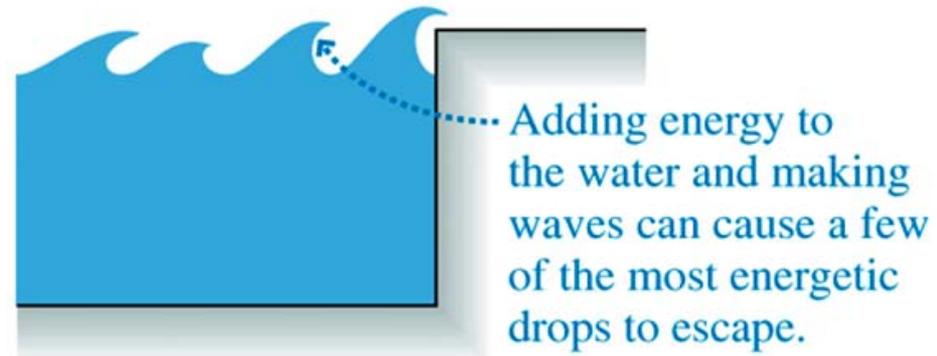
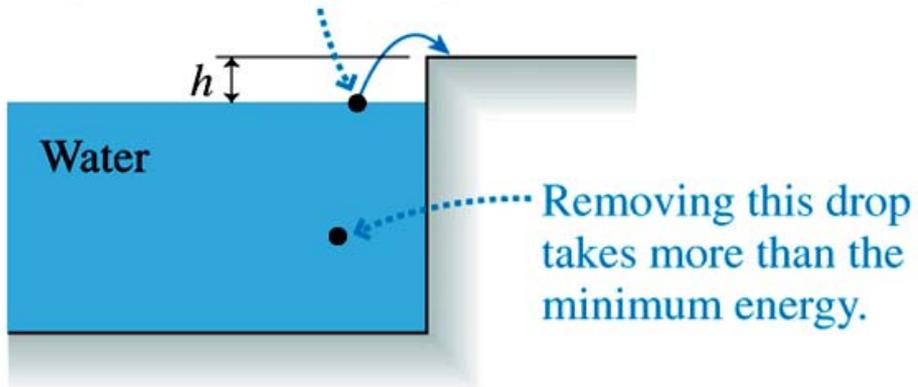


Threshold frequency에 관한 CM 설명

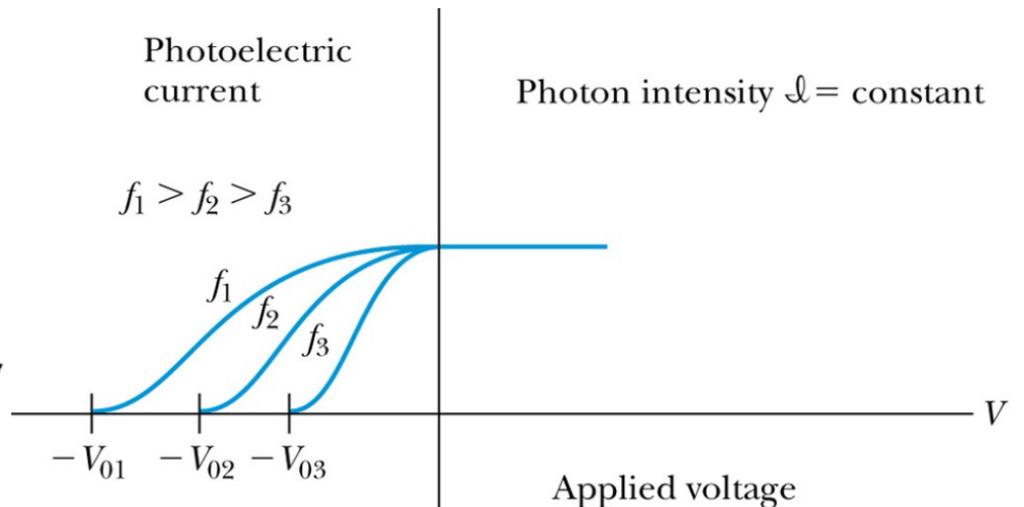
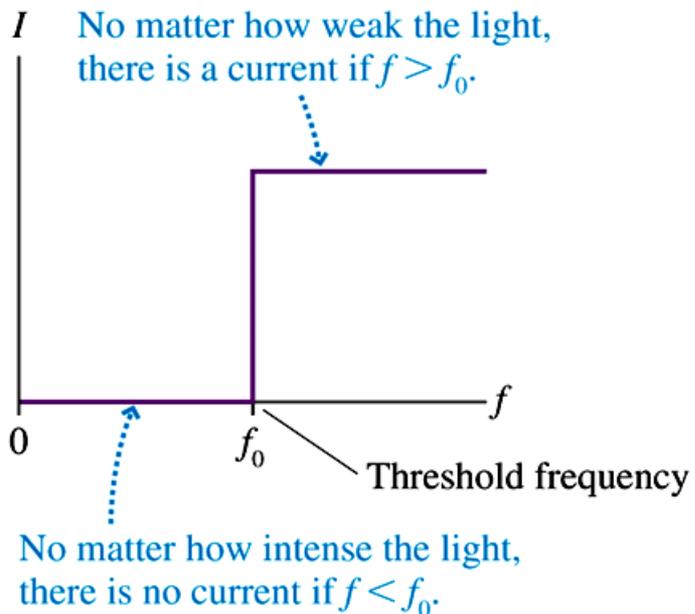
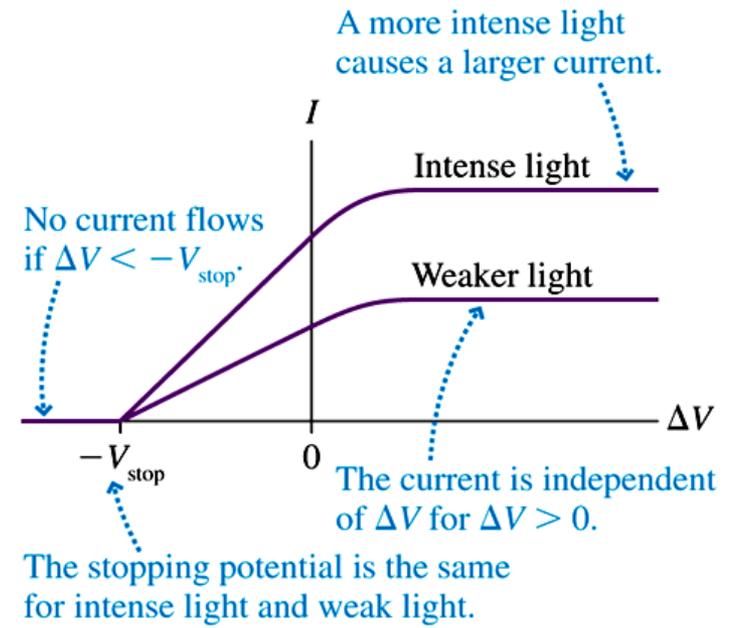
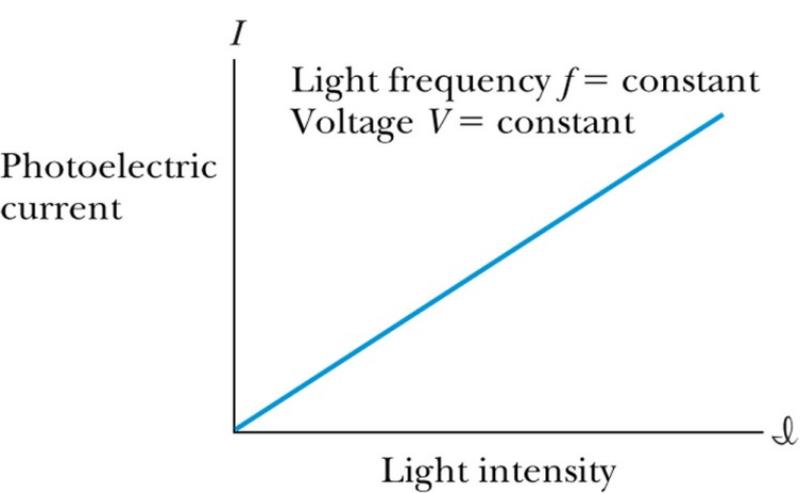
8

- UV나 고온처리시 금속 표면에서 전자방출
 - ▣ 수영장 물과 같이 해석
 - ▣ 넘치기 위해서는 최소한의 에너지(work function) 필요

The *minimum* energy to remove a drop of water from the pool is mgh .



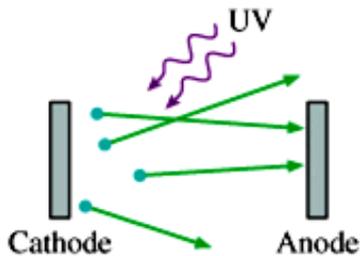
광전자 효과 실험 추가



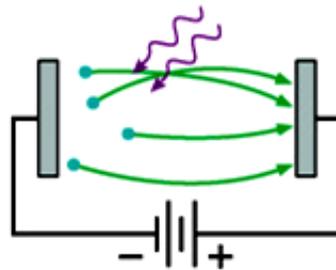
모든 전자가 이동 가능한가

10

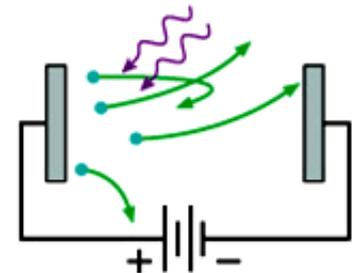
- Cathode에서 발생한 모든 전자가 anode로 이동하지는 않는다
 - ▣ 즉, 외부 전압의 방향에 따른 효과 존재



$\Delta V = 0$: The photoelectrons leave the cathode in all directions. Only a few reach the anode.



$\Delta V > 0$: Biasing the anode positive creates an electric field that pushes all the photoelectrons to the anode.



$\Delta V < 0$: Biasing the anode negative repels the electrons. Only the very fastest make it to the anode.

Stopping potential

11

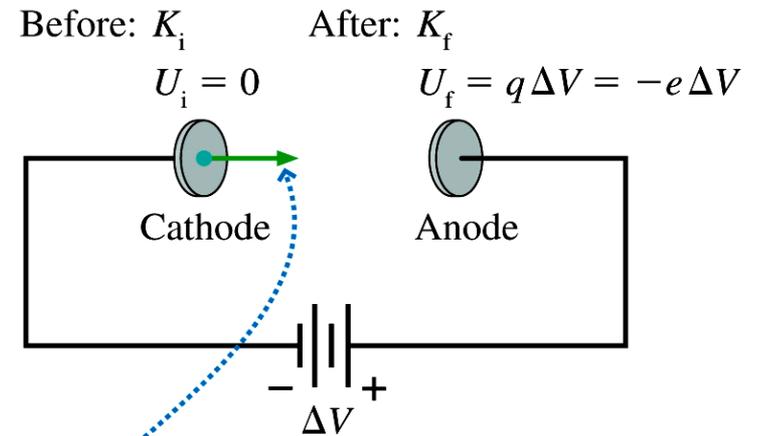
- V_s (stopping potential)
 - ▣ 모든 전류의 흐름 정지시
 - ▣ K (kinetic), U (internal)

$$E_i = K_i + U_i = K_i + 0 = K_i$$

$$E_f = K_f + U_f = K_f - e\Delta V$$

$$K_f = K_i + e\Delta V$$

$$\Delta V_{stop} = -\frac{K_{max}}{e} \quad V_s = \frac{K_{max}}{e}$$



Energy is transformed from kinetic to potential as an electron moves from cathode to anode.

Photoelectron speed $v_f = \sqrt{\frac{2K_f}{m}}$

파동이라고 했을 때의 의문점

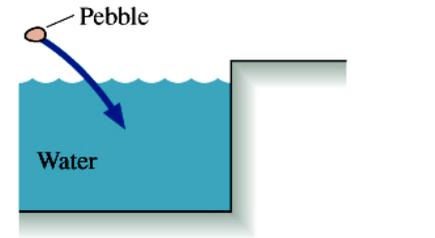
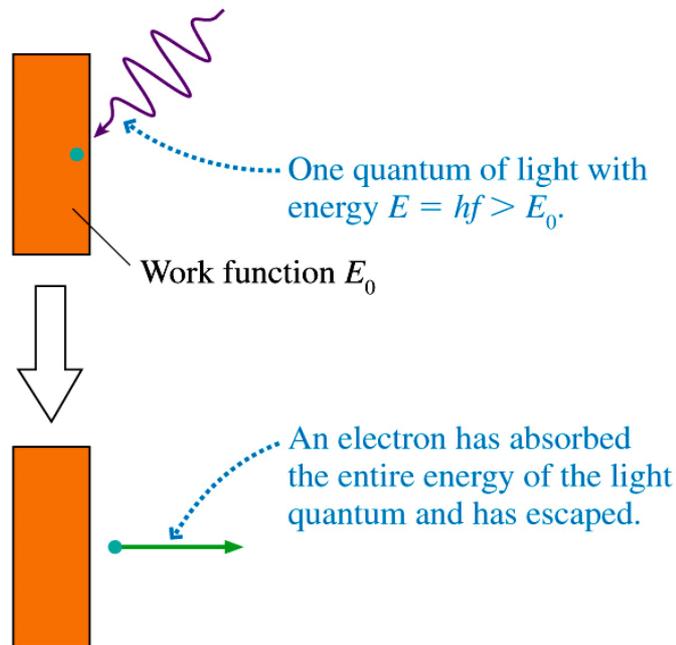
12

- 파장 문제
 - ▣ 어떤 파장이라도 장시간 비추거나 밝게 비추면, 충분한 에너지 축적후 전자 방출 해야 함
 - ▣ 그러나,
- 조도 문제
 - ▣ 빛의 세기 강할 수록 튀어나오는 전자의 에너지 커야 함
 - ▣ 그러나,
- 방출시간 문제
 - ▣ 약한 세기의 빛은 전자 튀어나오는 시간이 느려야 함
 - ▣ 그러나,

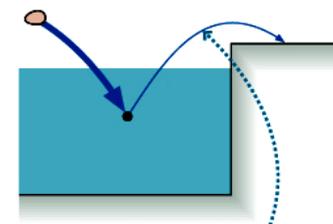
아인슈타인의 가설(postulate)

13

- 3가지 가정
 - 1. 빛의 진동수는 $E=hf$ 라는 불연속적인 양(quantum)으로 구성
 - 2. 빛의 흡수/방출시에는 완전한 양을 흡수/방출
 - 3. 금속에 흡수된 광자는 단일전자에 모든 에너지를 담아 보낸다



Classically, the energy of the pebble is shared by all the water molecules. One pebble causes only very small waves.



If the pebble could give *all* its energy to one drop, that drop could easily splash out of the pool.

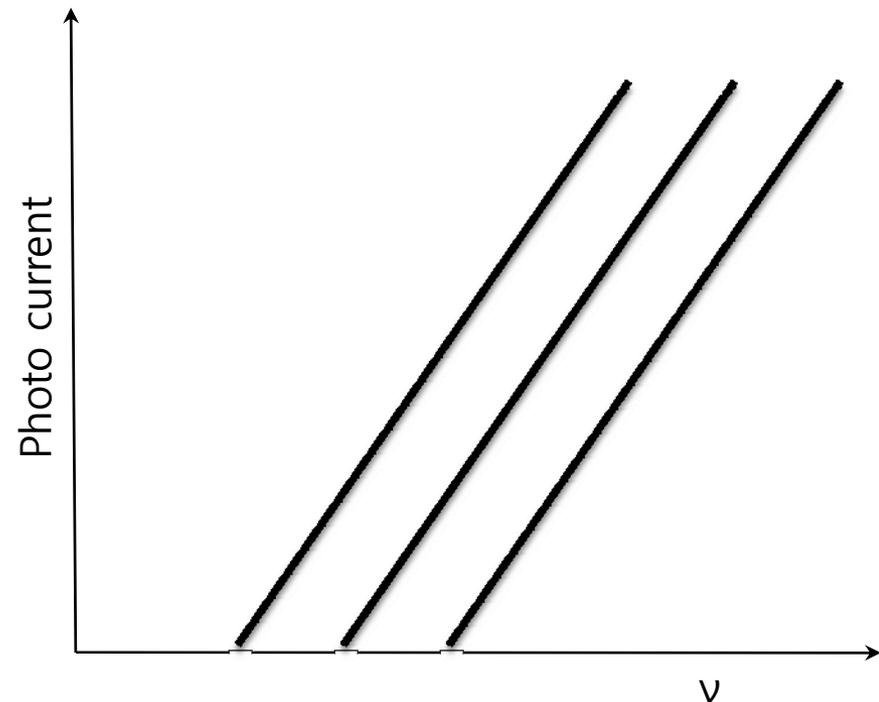
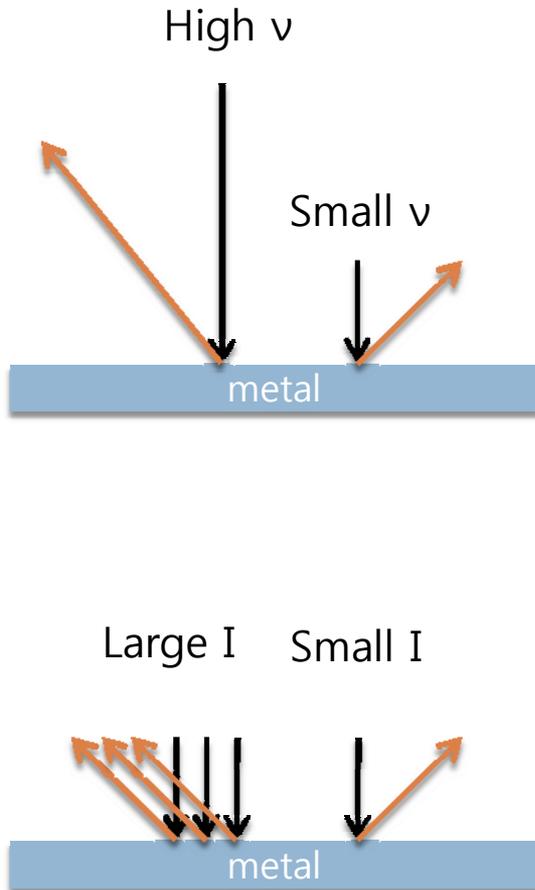
아인슈타인의 해석

14

- “빛=입자”라고 하면 광전효과 설명 가능
 - A 증가, ν 일정 \rightarrow 광입자수 증가 \rightarrow 튀어나오는 전자 증가, 단일전자 에너지($h\nu$) 일정
 - A 일정, ν 증가 \rightarrow 광입자수 일정 \rightarrow 튀어나오는 전자 일정, 단일전자 에너지($h\nu$) 증가
 - A는 발생 전자수만 변화시킨다
 - ν 는 단일전자의 에너지만 변화시킨다
- Photon: particle-like energy packet

빛=입자로 해석한 광전효과 정리

15



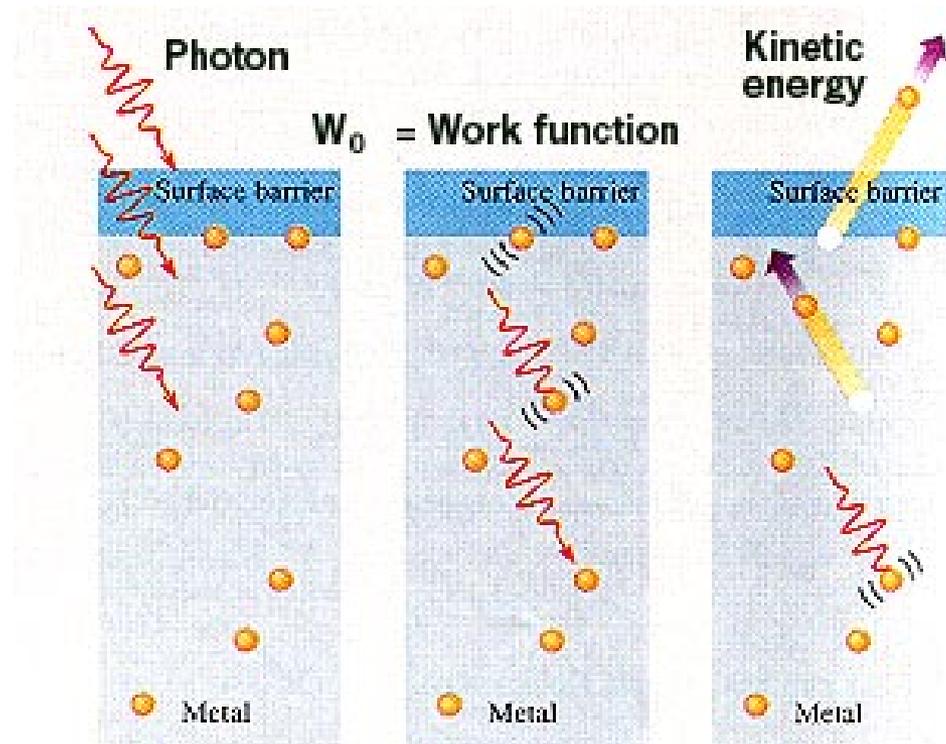
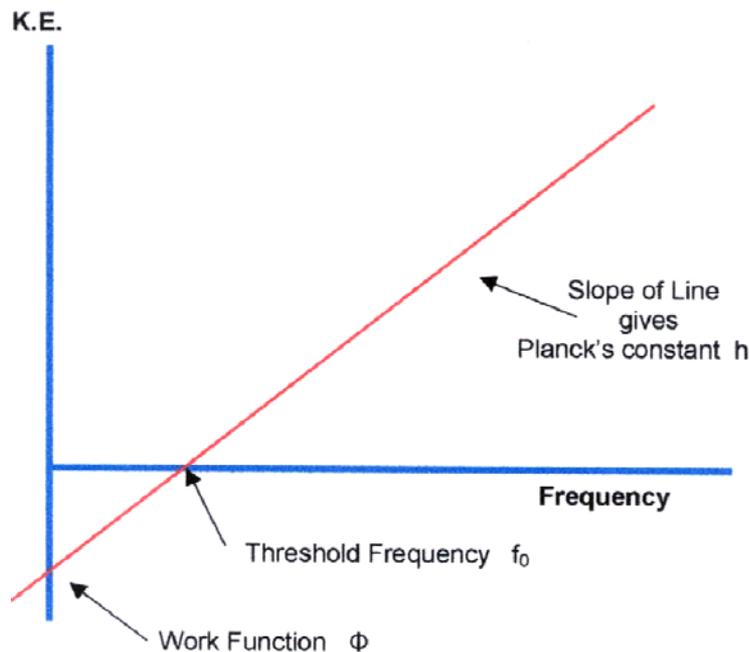
전자 방출 일함수

16

□ Einstein relation

- 전자가 튀어 나오는데 사용한 에너지 고려
- $KE = h\nu - W \rightarrow \frac{1}{2}mv^2 = h(\nu - \nu_0) = hc(1/\lambda - 1/\lambda_0)$
- Work function (W)

$$V_{stop} = \frac{K_{max}}{e} = \frac{h(\nu - \nu_0)}{e}$$



금속별 광전효과 일함수

17

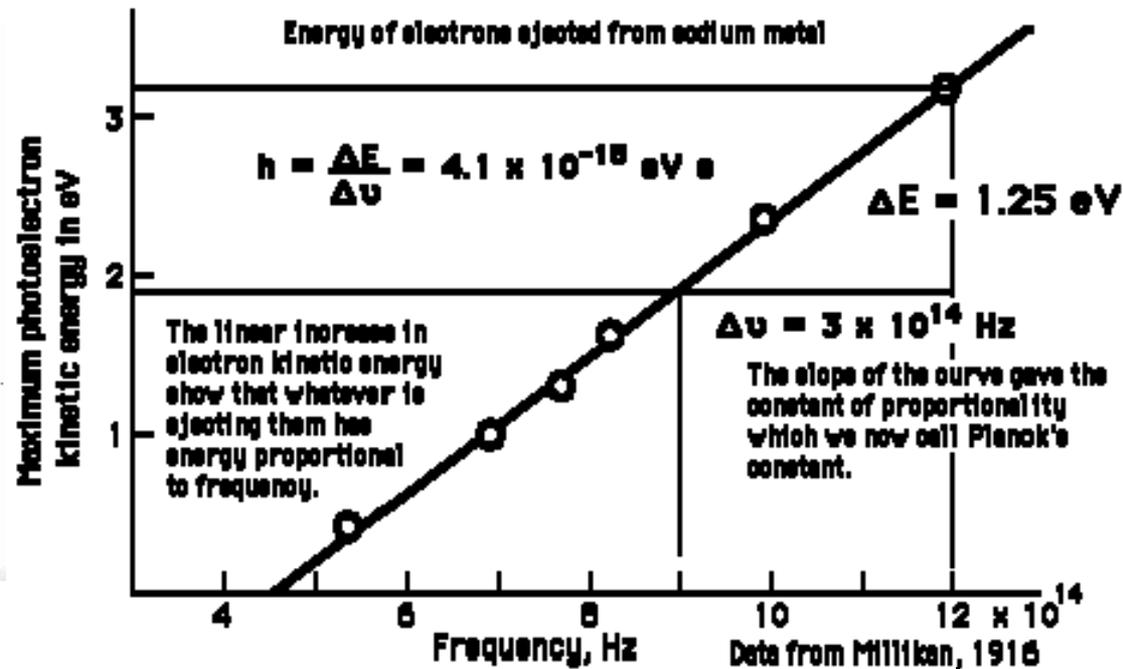
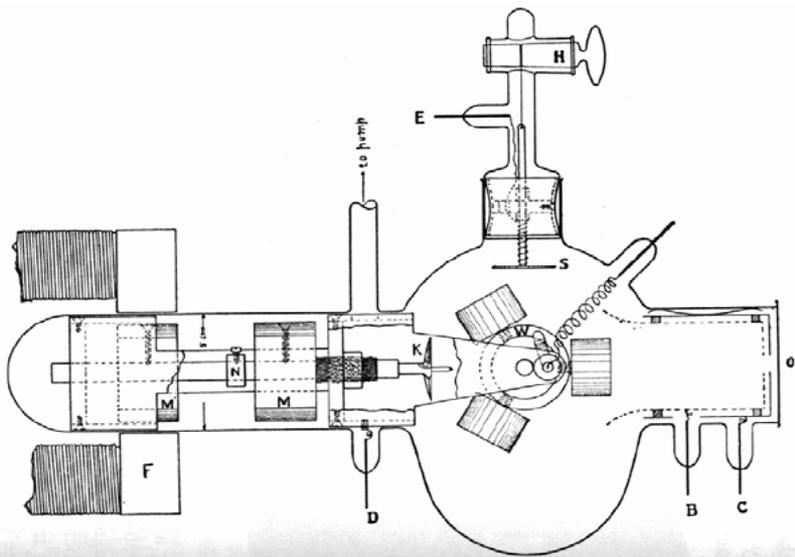
Element	Work Function(eV)	Element	Work Function(eV)
Aluminum	4.08	Magnesium	3.68
Beryllium	5	Mercury	4.5
Cadmium	4.07	Nickel	5.01
Calcium	2.9	Niobium	4.3
Carbon	4.81	Potassium	2.3
Cesium	2.1	Platinum	6.35
Cobalt	5	Selenium	5.11
Copper	4.7	Silver	4.73
Gold	5.1	Sodium	2.28
Iron	4.5	Uranium	3.6
Lead	4.14	Zinc	4.3

Millikan의 실험

18

□ Robert A. Millikan

- 아인슈타인의 이론이 틀림을 증명하기 위해 시작
- 10년간 반복실험 → 늘 같은 직선 결과
- 아인슈타인 이론 맞음을 증명한 계기



Homework #3

19

- 1. “자동문 원리와 디카 촬영 원리”를 양자역학에서 배운 지식으로 설명하시오
- 2. 아인슈타인이 1905년에 발표한 5가지 논문
에 관한 정리
 - A4 3매 이내로 작성하여 게시판에 제출
 - 사진 자료는 인터넷에서 카피 가능하지만, 글은 직접 작성하시기 바랍니다