

1. 태양광과 태양 에너지

한국기술교육대학교

에너지신소재화학공학부

나 윤 채

태양전지 개요

- 태양광 발전

: 태양광의 에너지를 전기에너지로 바꾸는 발전 방식

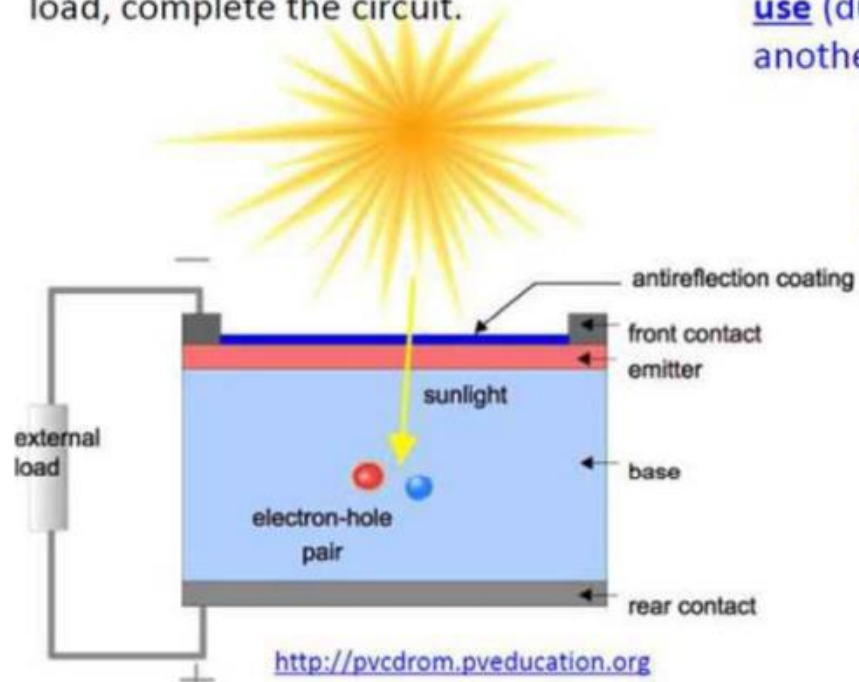
(1) Charge Generation: Light excites electrons, freeing them to move around the crystal.

(3) Charge Collection: Electrons deposit their energy in an external load, complete the circuit.

(2) Charge Separation: An electric field engineered into the material (pn junction) sweeps out electrons.

Advantages: There are no moving parts and no pollution created at the site of use (during solar cell production, that's another story).

Disadvantages: No output at night; lower output when weather unfavorable.

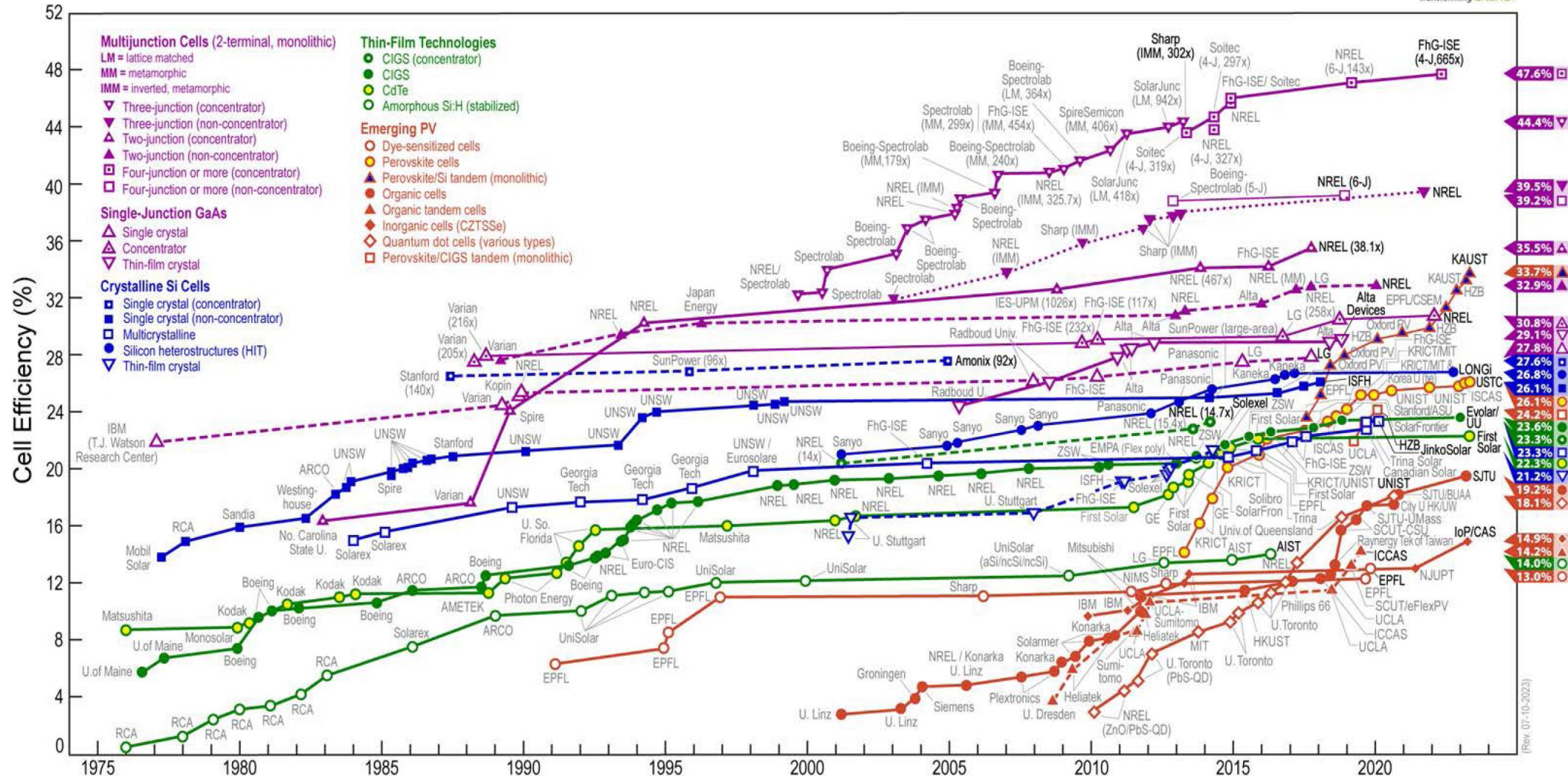


- 비교) 태양열 발전
- 왜 반도체가 필요한가?

태양전지 개요

● 태양전지의 종류 및 최대 효율 (Solar Cell Efficiency Chart, NREL)

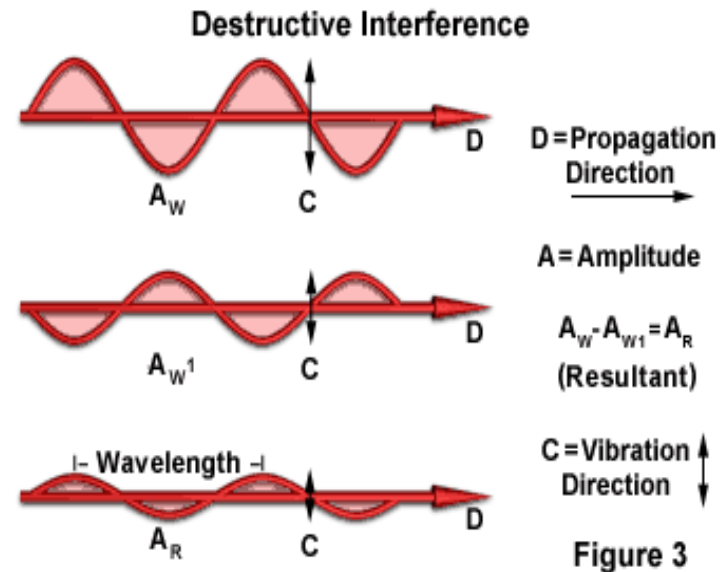
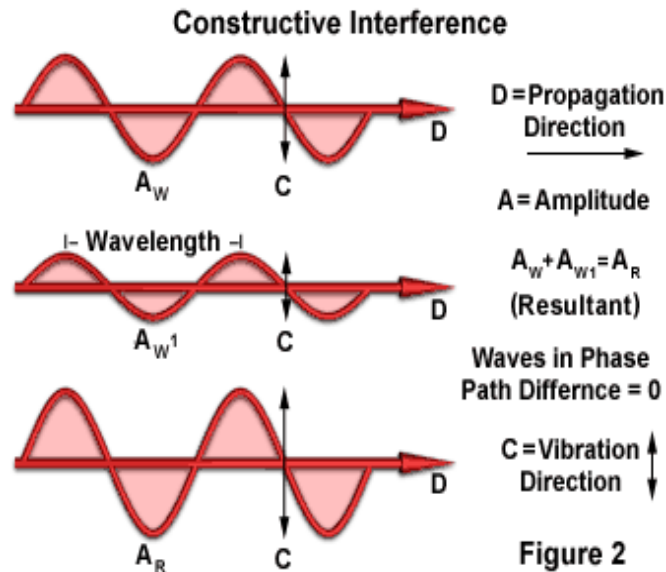
Best Research-Cell Efficiencies



빛의 성질

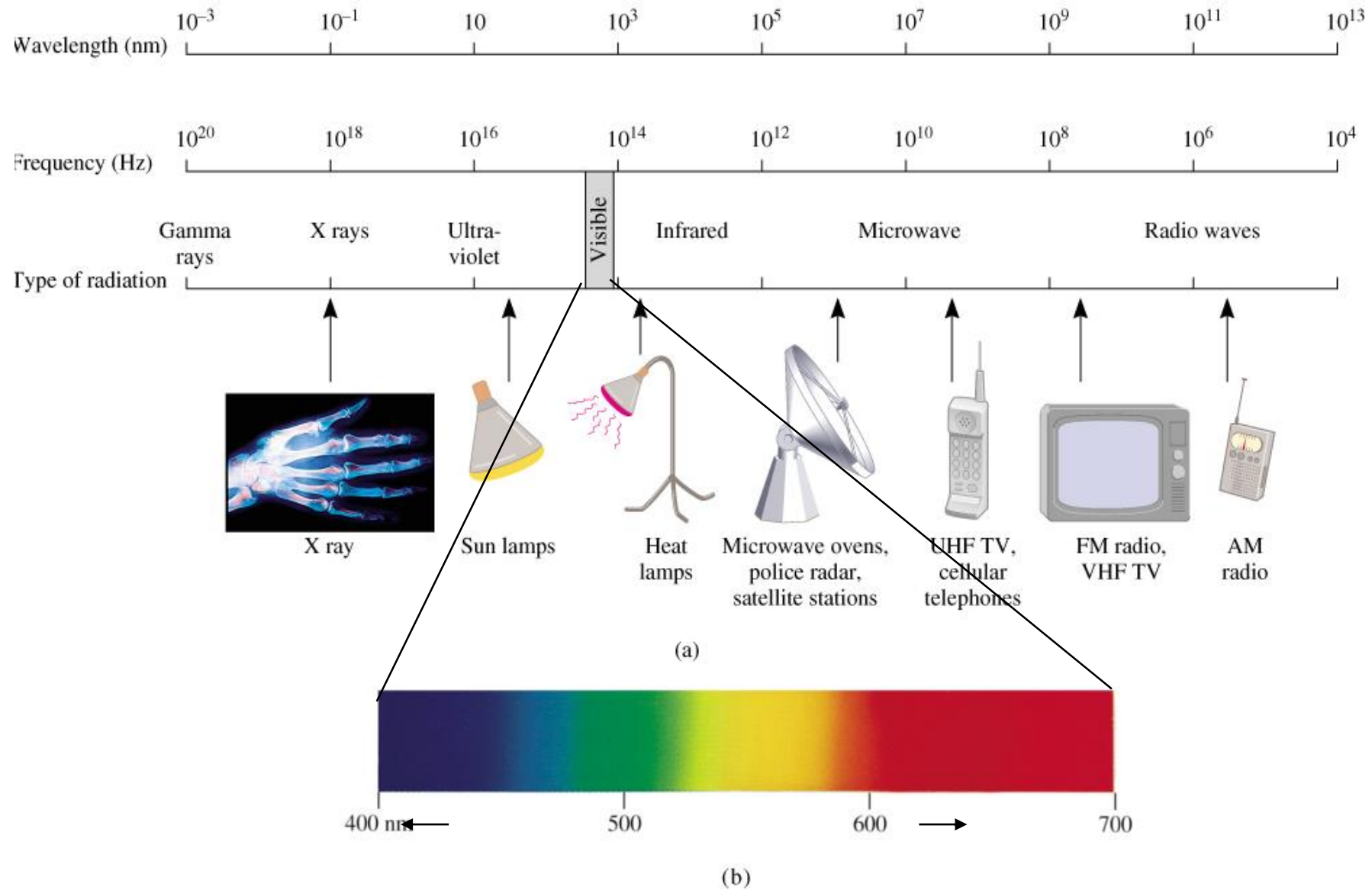
- 빛의 여러가지 성질

- 반사 (reflection): 부분 반사, 전반사
- 굴절 (refraction): 매질 (굴절률)에 따른 빛의 진행 속도 차이
- 간섭 (interference): 보강 간섭, 상쇄 간섭



- 산란 (scattering): 기체 분자들에 의한 가시광 산란

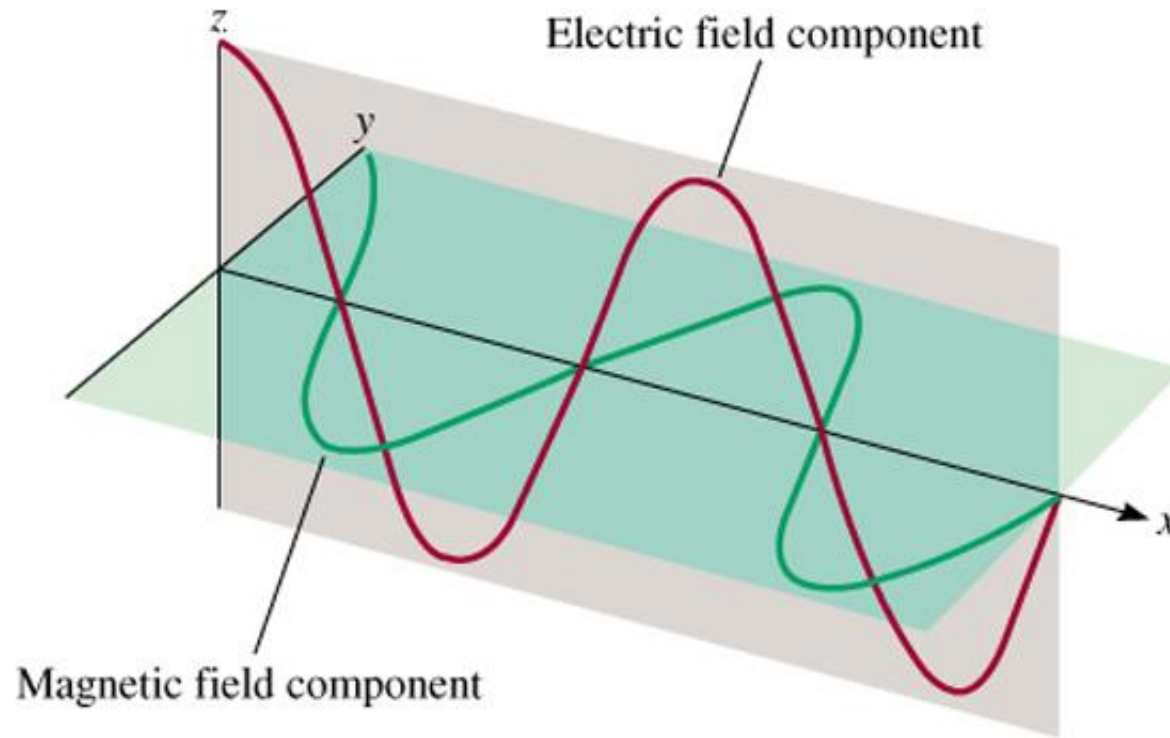
빛의 분류



전자기파

- 전자기파 (electromagnetic wave)

: 주기적으로 세기가 변하는 전자기장이 공간 속으로 진행하는 파동



빛의 에너지

- 빛의 에너지: $E = h\nu = hc/\lambda$ (h : 플랑크 상수, ν : 빛의 진동수, c : 빛의 속도, λ : 빛의 파장)

$$\therefore E(eV) = \frac{1240}{\lambda \text{ (nm)}}$$



400 nm 파장의 빛이 갖는 에너지는?

(참고) 에너지의 단위

- 에너지의 단위

- $1 \text{ J} = 1 \text{ N} \cdot \text{m} = 1 (\text{kg} \cdot \text{m}/\text{s}^2) \cdot \text{m} = 1 \text{ kg}(\text{m}^2/\text{s}^2)$
- 1 cal: the amount of energy necessary to raise the temperature of 1 g of water by 1 °C

(at 1 atm)

$$1 \text{ cal} = 4.196 \text{ J}$$

- 1 eV: kinetic energy gained by an electron when it accelerates through an electric potential difference of 1 V

$$1 \text{ eV} = \quad \text{J}$$

- 1 Wh: power expended for one hour (1 h) of time.

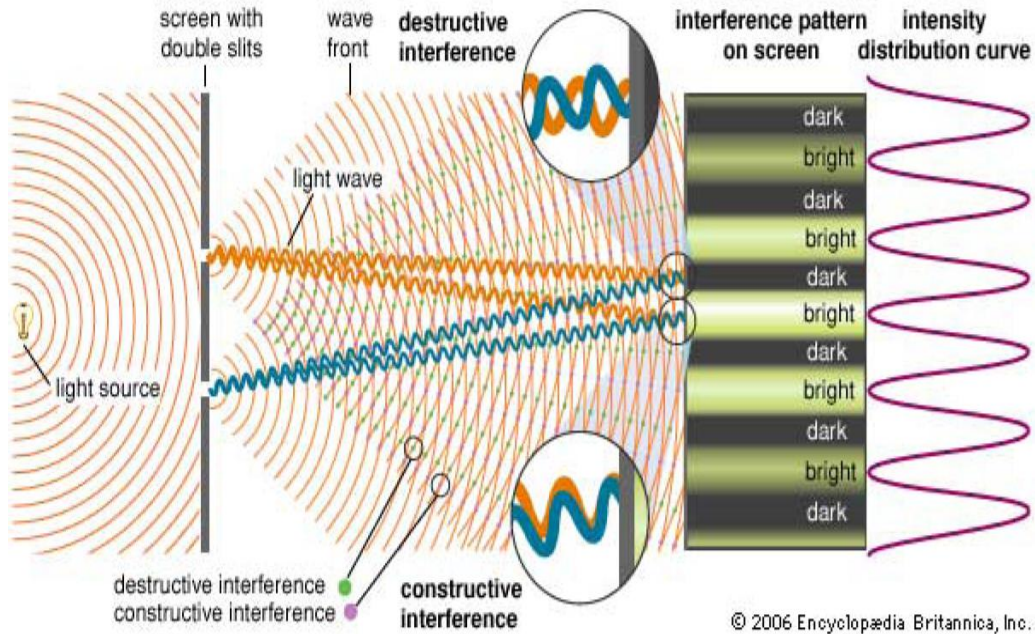
$$1 \text{ Wh} = \quad \text{J}$$

- TOE (Tones of Oil Equivalent, 석유환산톤): 원유 1톤의 열량

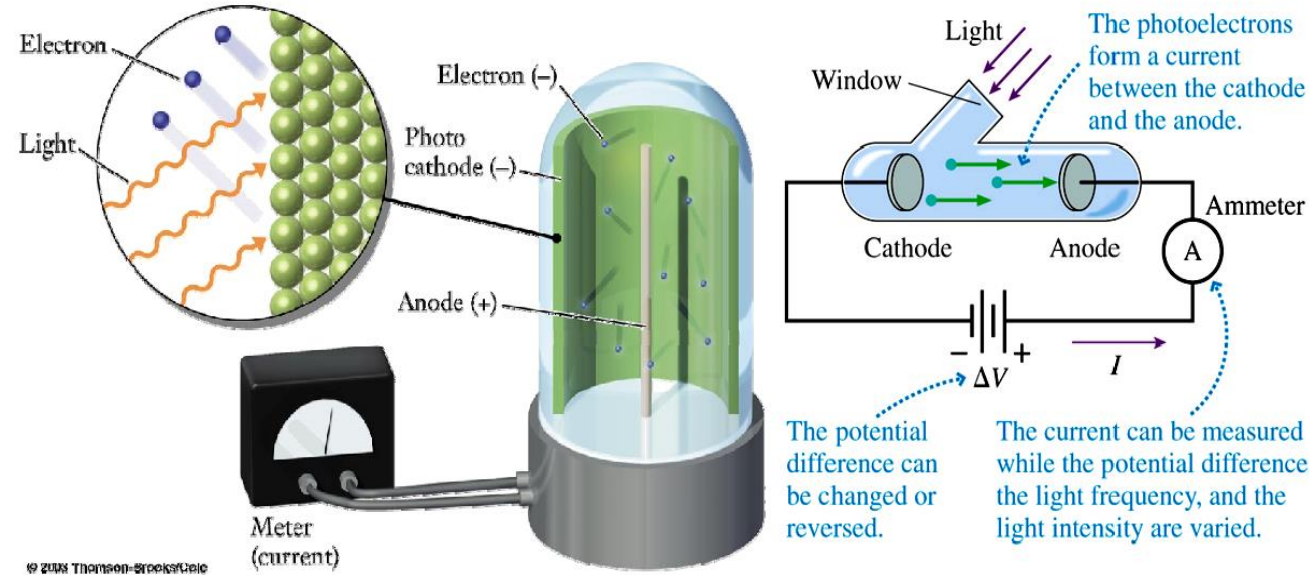
$$1 \text{ TOE} = 10^7 \text{ Kcal}$$

빛의 이중성

- 빛의 이중성: 파동의 특성 & 입자의 특성



영 (Young)의 이중 슬릿 실험 (1801)



광전 효과 (아인슈타인, 1905)

Wave-Particle Duality (파동-입자 이중성)

태양에너지의 크기

- 태양에너지

- 태양의 중심 (핵)에서 수소 원자의 핵융합 반응에 의해 생성
(태양 중심의 온도: 1500만 K, 압력: 100억 기압)

- 수소 4개 → 헬륨 1개 (질량 감소에 의한 에너지 발생)
(매초 600 MTon의 수소가 헬륨으로 바뀌면서 4.3 MTon의 질량 손실)

<https://www.youtube.com/watch?v=Z3NZKiQ4FRk>

- 앞으로 50억년 동안 사용 가능한 수소 존재

- 태양의 방출 에너지는? (3.87×10^{26} W)

태양에너지의 크기

- 지구에 도달하는 태양에너지: 우주로 방출되는 태양광의 일부가 지구에 도달함.

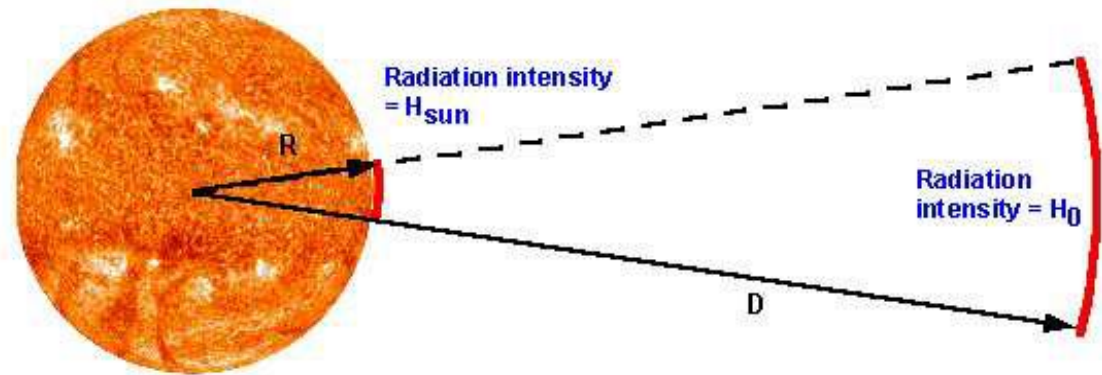
$$H_0 = \frac{R_{sun}^2}{D^2} H_{sun}$$

H_0 : 복사 강도 (W/m^2)

R_{sun} : 태양의 반지름 (6.95×10^5 km)

D : 태양으로부터의 거리

H_{sun} : 태양 표면의 전력 밀도 (6.4×10^7 W/m^2)



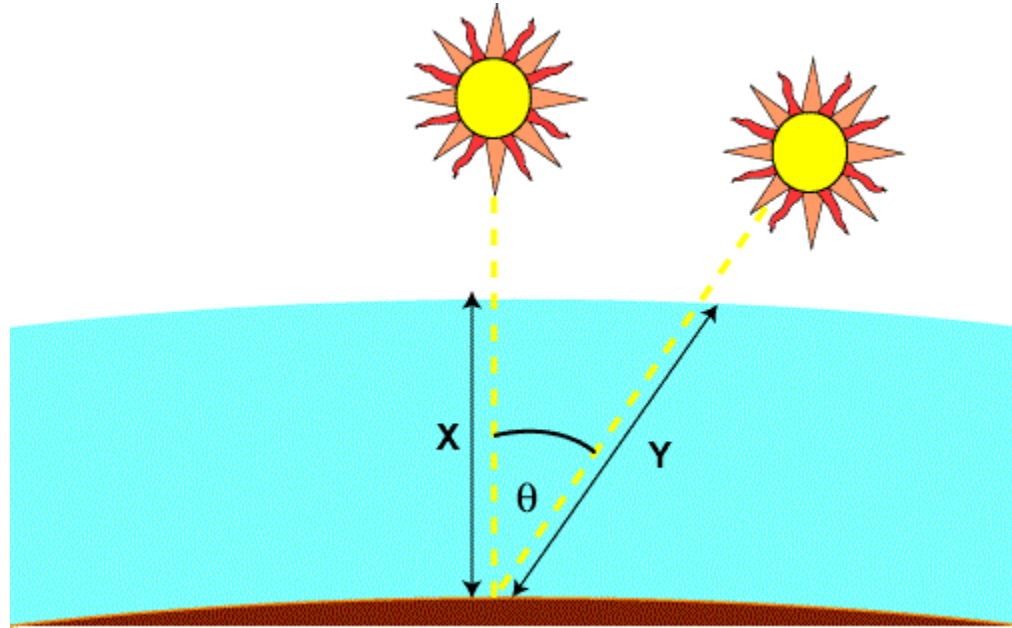
| Planet | Distance ($\times 10^9$ m) | Mean Solar Irradiance (W/m^2) |
|---------|-----------------------------|-----------------------------------|
| Mercury | 57 | 9116.4 |
| Venus | 108 | 2611.0 |
| Earth | 150 | 1366.1 |
| Mars | 227 | 588.6 |
| Jupiter | 778 | 50.5 |
| Saturn | 1426 | 15.04 |
| Uranus | 2868 | 3.72 |
| Neptune | 4497 | 1.51 |
| Pluto | 5806 | 0.878 |

- 대기를 통과하기 전의 태양복사강도: 1366.1 W/m^2

태양에너지의 크기

- 에어 메스 (Air Mass, AM)

: 태양빛이 지표면에 도달하기까지 통과하여야 하는 대기층의 일부분



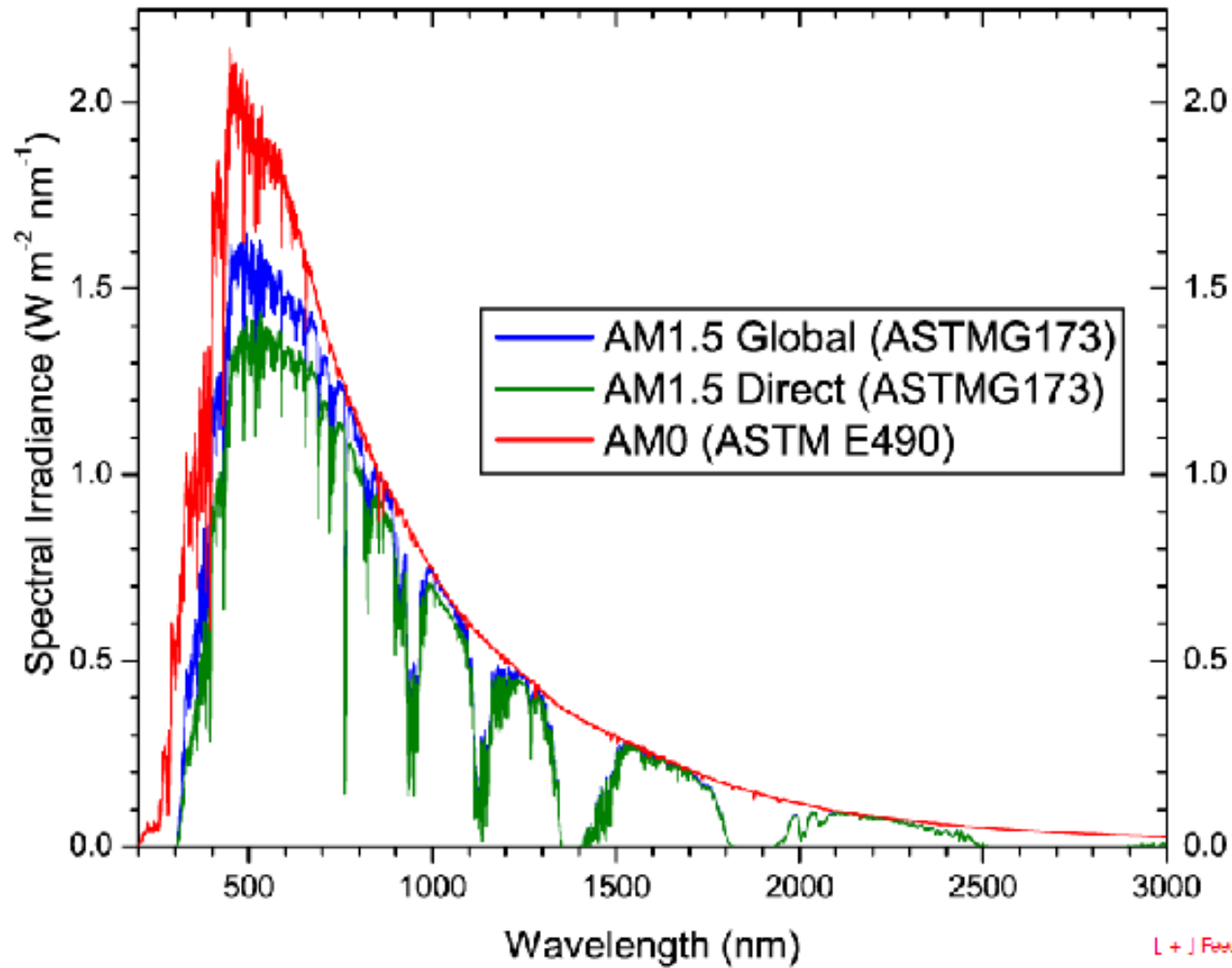
$$\cos \theta = \frac{X}{Y} = \frac{1}{Y}$$
$$Y = AM = \frac{1}{\cos \theta}$$

- AM0: 대기권 밖에서의 태양광 스펙트럼, 복사전력밀도 1366 W/m^2
- AM1: 태양광이 대기층을 수직으로 지나는 상태
- AM1.5: 태양광이 대기층을 1.5배 두께로 지나는 상태, 1000 W/m^2 , 태양전지 측정의 표준 스펙트럼

태양에너지의 크기

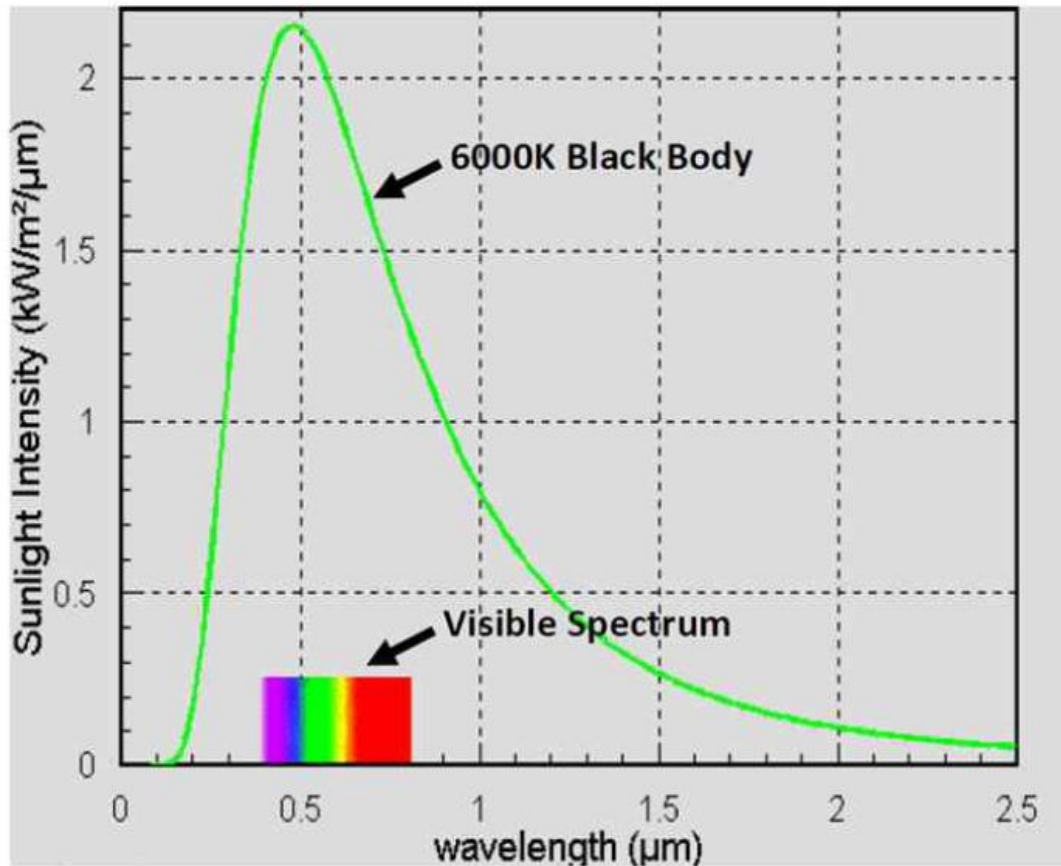
- 에어 메스 (Air Mass, AM)

AM에 따른 태양광 스펙트럼의 변화



태양에너지의 물리량

- 태양광 스펙트럼 (흑체 복사)



$$F(\lambda) = \frac{2hc^2}{\lambda^5} \frac{1}{e^{\frac{hc}{k\lambda T}} - 1}$$

- Stefan-Boltzmann law

$$H = \sigma T^4$$

σ : Stefan-Boltzmann constant

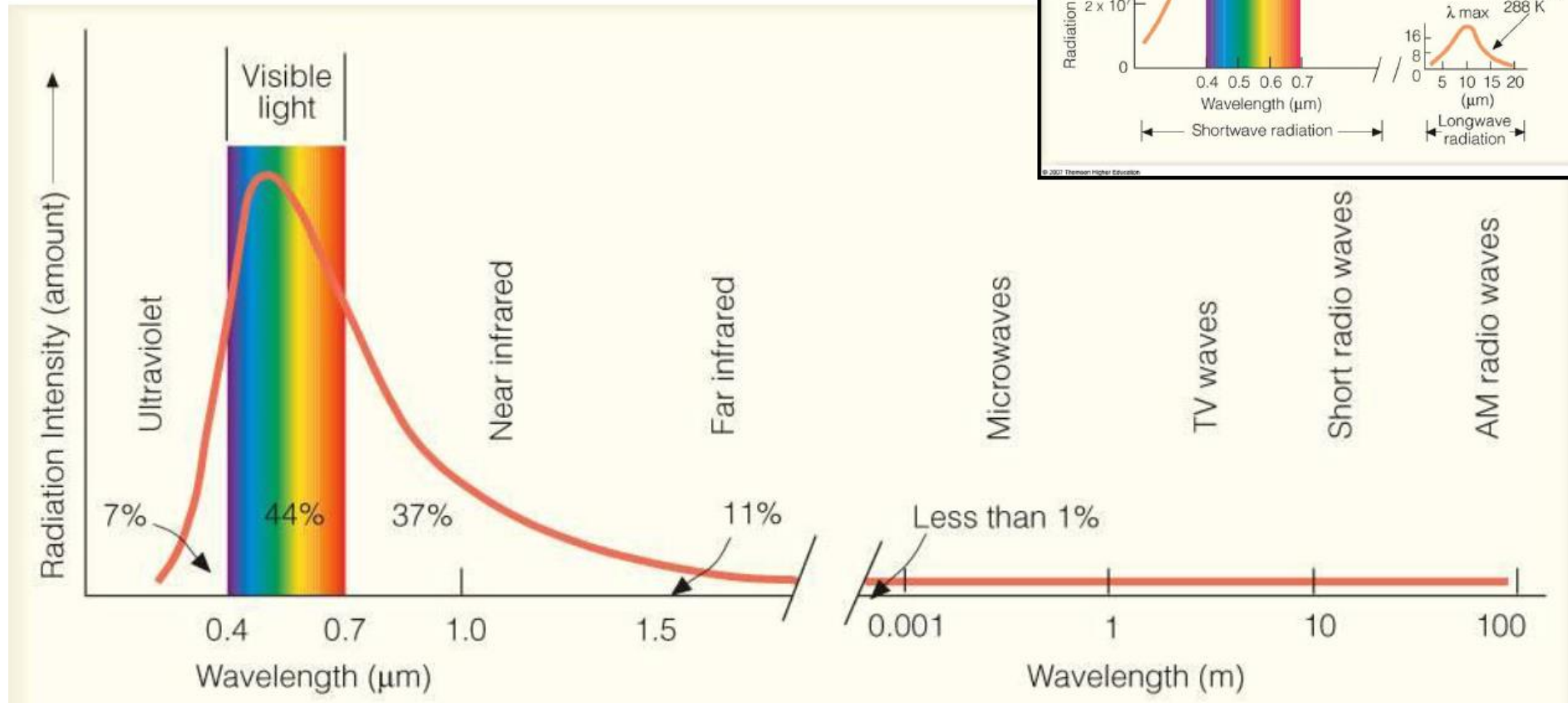
- Wien's displacement law (변위 법칙)

: 최대 복사 조도를 갖는 파장은 온도가 올라갈수록 짧아진다.

$$\lambda_{peak}(\mu) = \frac{2900}{T(K)}$$

태양에너지의 물리량

- 태양광 스펙트럼 (흑체 복사)

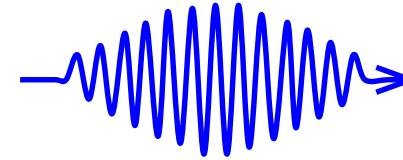


태양에너지의 물리량

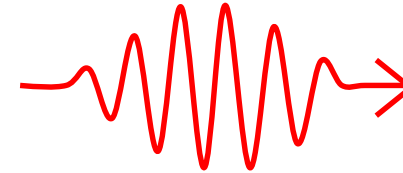
- 광자 에너지 (photon energy)

$$E = h\nu = \frac{hc}{\lambda} \quad \begin{array}{l} h = 6.626 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s} \\ c = 3 \times 10^8 \text{ m/s} \end{array}$$

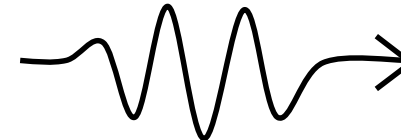
$$\rightarrow E [\text{eV}] = \frac{1240}{\lambda [\text{nm}]} = \frac{1.24}{\lambda [\mu\text{m}]}$$



High energy photon for blue light



Low energy photon for red light

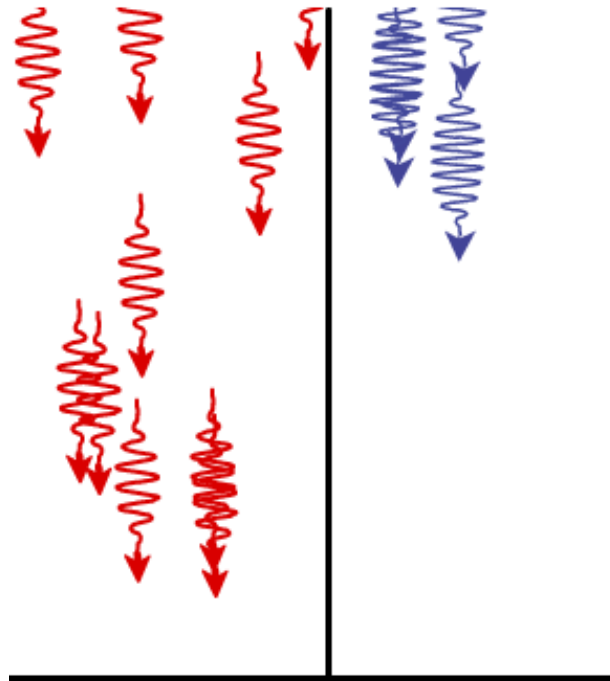


Very low energy photon for infrared

태양에너지의 물리량

- 광자 유량 (photon flux, Φ): 단위 시간, 단위 면적당 입사되는 광자의 개수

$$\Phi = \frac{\text{광자 수}}{\text{단위시간} \cdot \text{단위면적}}, \left[\frac{\#}{\text{sec } m^2} \right]$$



태양에너지의 물리량

- 출력 밀도 (power density, H): 단위 시간, 단위 면적당 (광자들에 의한) 입사 에너지

$$H = E \times \Phi [W / m^2] = qE \times \Phi \quad \text{for energy in eV}$$

$$= q\Phi \frac{1.24}{\lambda[\mu m]} \quad \text{for wave length in } \mu m$$

$$1.6 \times 10^{-19} \times \frac{1240}{500} \times 10^{20} = 39.68 \text{ W/m}^2$$

문) 파장이 500 nm인 광자의 광자 유량이 $1 \times 10^{20} \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 일 때, 출력 밀도는 얼마인가?

태양에너지의 물리량

- 복사 조도 (spectral irradiance, F): 특정 파장에서의 출력 밀도
광원을 특성을 표현하는 일반적인 용어

$$F \left[\frac{W}{m^2 \mu m} \right] = q\Phi \times \frac{1.24}{\lambda^2 [\mu m]} = q\Phi \frac{E^2 [eV]}{1.24}$$

