

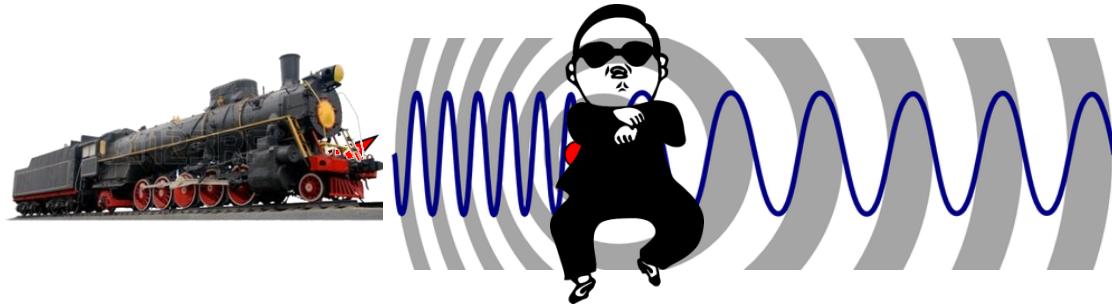


현대천문학개론

별과우주의 과학 기초

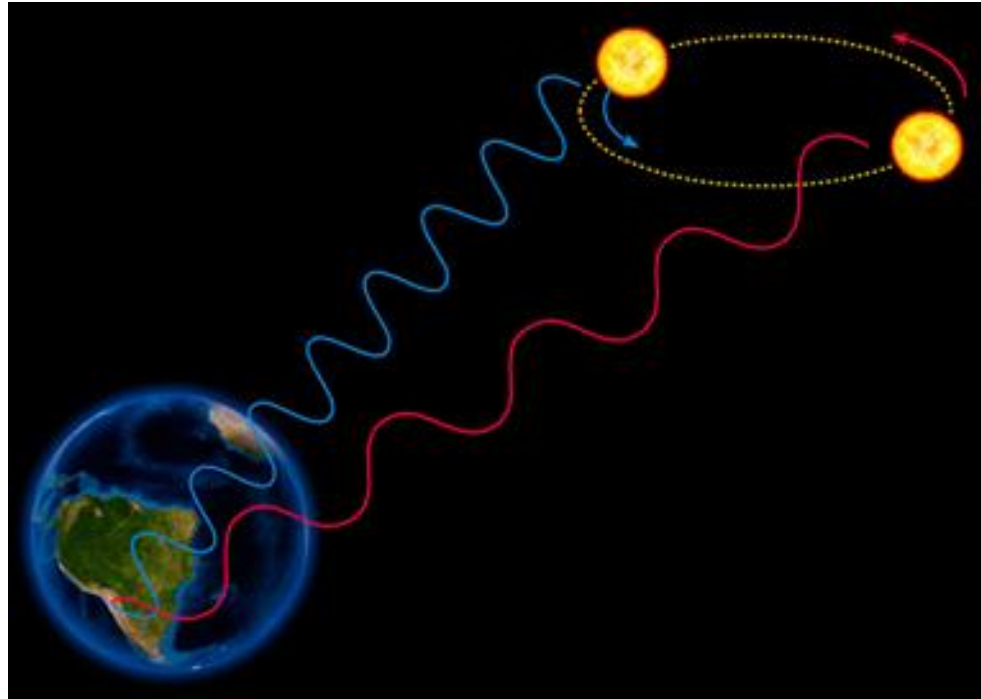
▷ 관측

도플러 효과

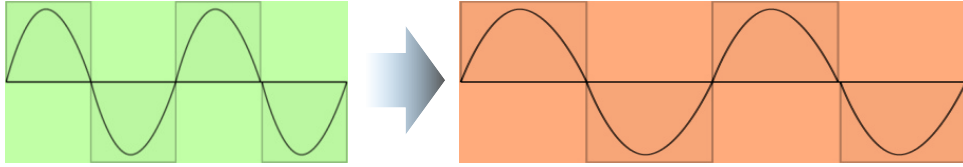


$$f_d = f_s \left(\frac{v \pm v_d}{v \mp v_s} \right)$$

f: 주파수
s: 파원
d: 관측자
v: 원래 파 속도



적색이동 (Redshift)



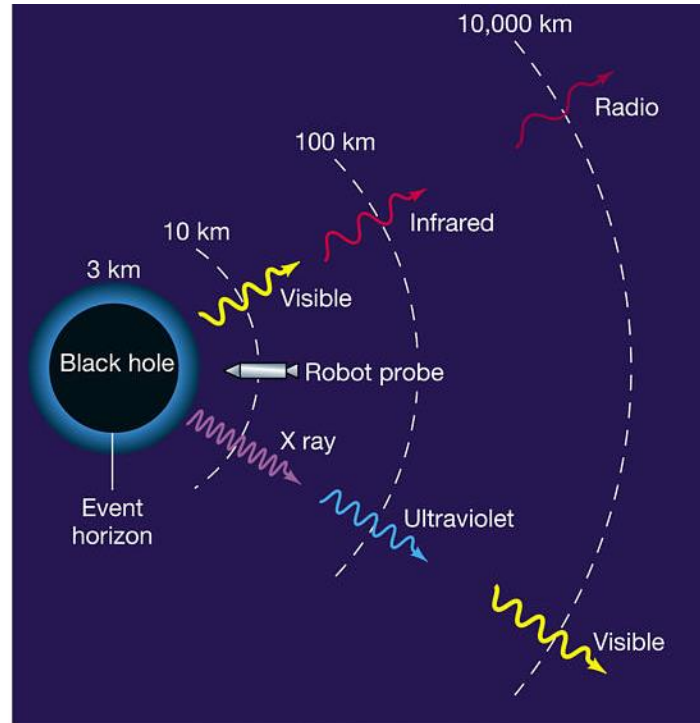
1 도플러 이동

파장의 변화량 →

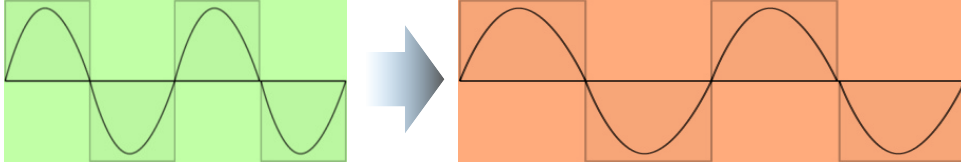
$$z = \frac{\lambda_{\text{observed}} - \lambda_{\text{emitted}}}{\lambda_{\text{emitted}}} \quad z = \frac{\Delta\lambda}{\lambda} = \sqrt{\frac{1 + v/c}{1 - v/c}} - 1 \rightarrow z = v/c \quad (v \ll c \text{ 이면})$$

2 중력 이동

$$\lambda_{\text{지금관측자}} / \lambda_{\text{블랙홀}} = 1 / (1 + z)$$



적색이동 (Redshift)

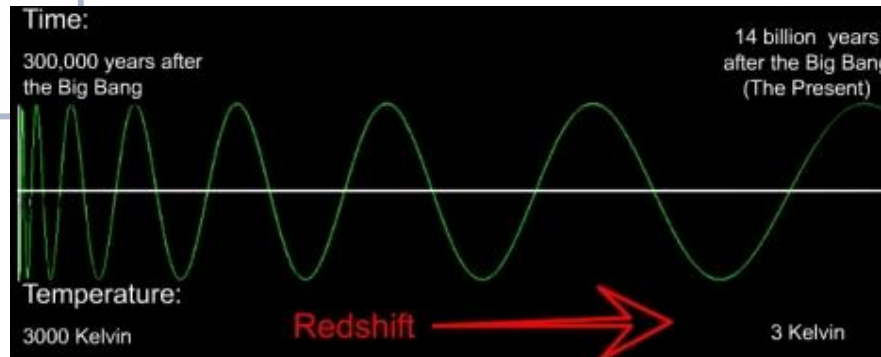
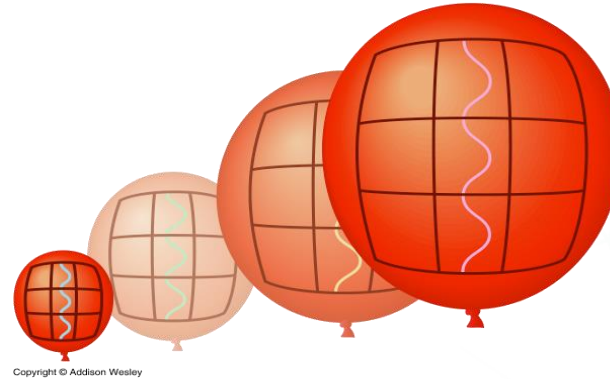
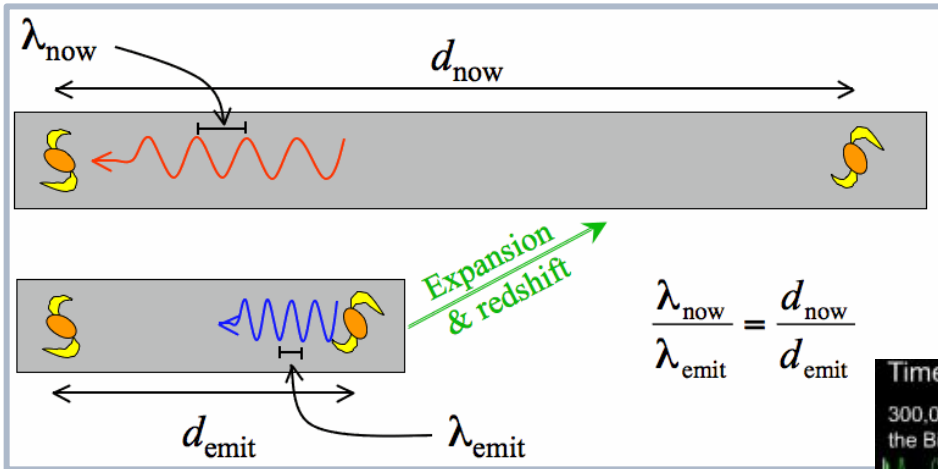


$$z = \frac{\lambda_{\text{observed}} - \lambda_{\text{emitted}}}{\lambda_{\text{emitted}}}$$

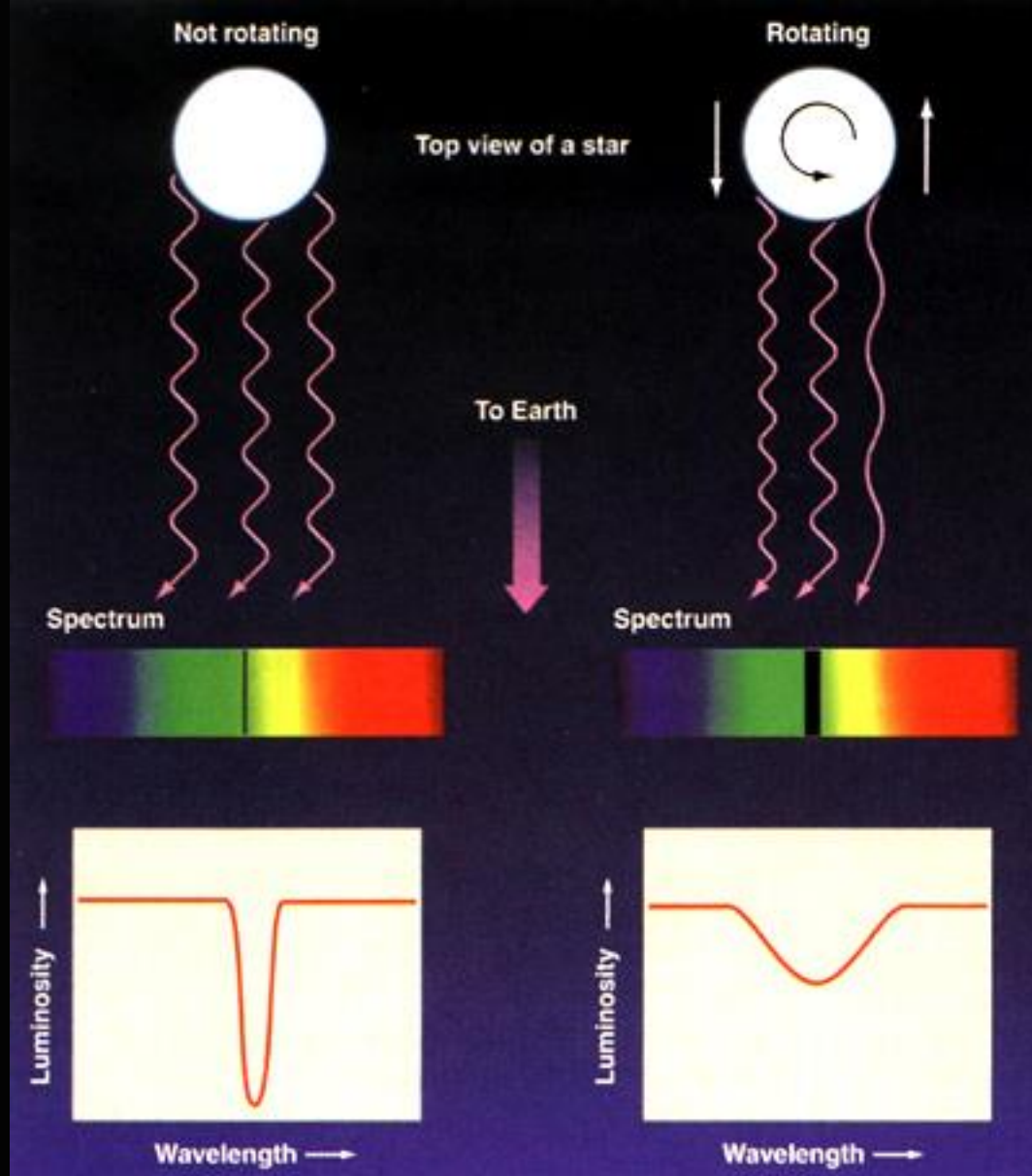
3 우주론적 이동

우주 스케일의 변화 $\rightarrow a_{\text{과거}} / a_{\text{과거}} = \lambda_{\text{과거그때}} / \lambda_{\text{지금}} = 1 / (1 + z)$

Scale factor: $a = 1 / (1 + z)$



도플러 넓어짐(Doppler Broadening)과 별의자전



태양주변에서의 별의 밀도

» 16 광년내의 별의 수: 태양을 합하여 59개

- 17,000 광년³의 체적에 59개 → 300 광년³의 체적에 별 하나 →
별들사이의 평균거리는 7광년 (태양과 Alpha Centauri의 거리는 4.4광년)
- 별의 평균질량을 $0.4 M_{\odot}$ 라고 하면
태양주변에서의 평균물질밀도는 $10^{-24} \text{ g/cm}^3 \rightarrow 1 \text{ cm}^3$ 당 수소원자 1개 !

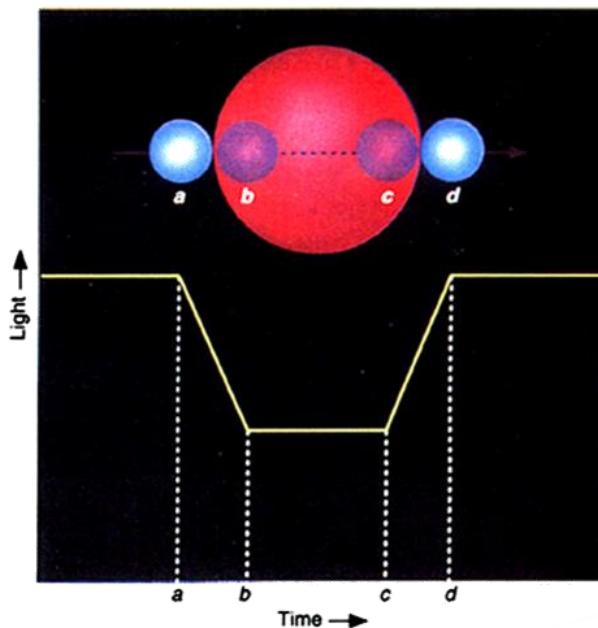


별 크기의 계산

» 가까이 있는 대부분의 별은 태양정도의 크기: 백만 km

» 예외: 적색거성 (낮은 온도, 높은 광도), 초거성

- 오리온자리에서 2nd 밝고, 하늘에서 가장 밝은 별 중의 하나인 베텔게우스 직경이 10AU 이상이며 태양에서 목성까지 채울 수 있는 크기

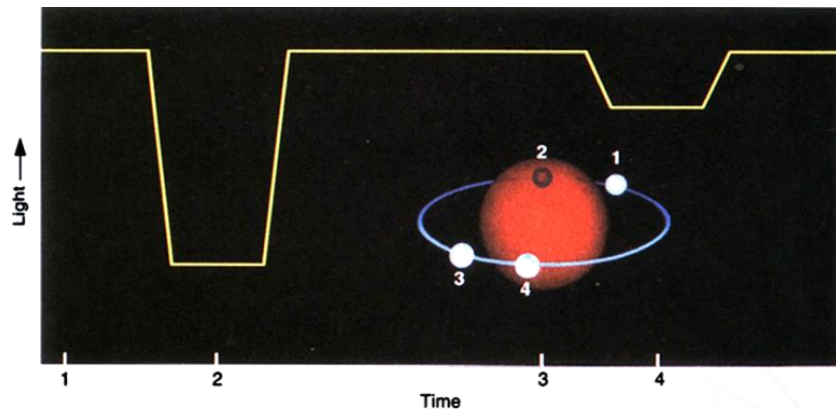


1 달이 별을 가리는 것으로 별의 크기 직경

- 우리가 달의 속도를 알고 있는 사실을 이용
- 황도대에 있는 밝은 별에 적용가능

2 식 쌍성

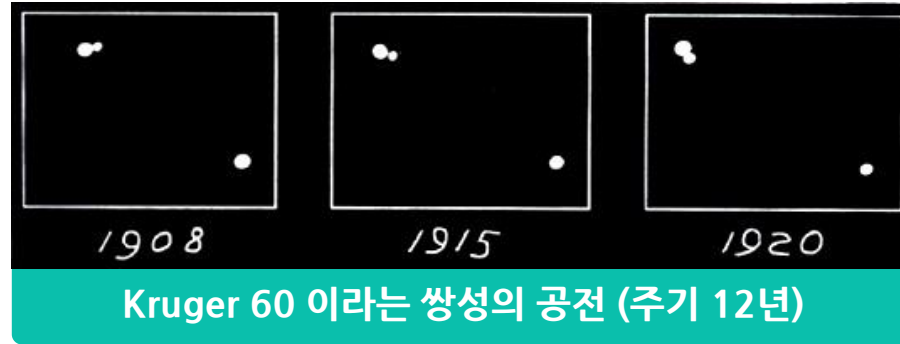
- Goodricke의 쌍성의 밝기 변화가 동반자별이 가리기 때문이라고 주장
- 두 별의 상대속도 <- 도플러이동으로 계산
- 1차-2차 접촉시간 x 상대속도 = 작은별의 직경
- 1차-3차 접촉시간 x 상대속도 = 큰별의 직경



쌍성과 별의 질량

» 16광년(즉 태양주변)내의 별 59개의 절반이 쌍성 등의 다성 → 질량계산

- 1650년 Riccioli가
큰곰자리의 미자르라는 별이 쌍성이라고 발견



» 별들의 질량범위

- 태양주위 30광년 내에 태양의 4배 이상 되는 별은 없다.
먼 곳에 100배 이상 되는 것도 드물다.
- 별의 최소 질량은 $1/12 M_{\odot}$.
- $1/12 M_{\odot}$ 에서 $1/100 M_{\odot}$ 의 질량을 가진 별은 잠깐 핵반응을 하나 양성자를 헬륨에 묶어둘 정도로 뜨겁지 못하다 → 갈색왜성
- $1/100 M_{\odot}$ 이하의 작은 질량을 가진 천체 → 행성
 - 방사능 반응에 의한 에너지 방출한 후, 느리게 진행되는 중력수축에서 생성되는 열에너지를 방출.
내부온도는 핵반응이 일어날 정도로 충분치 못하다.
 - 목성: $1/1000 M_{\odot}$

별의 질량 계산

» 쌍성구조의 운동 (2 body system)

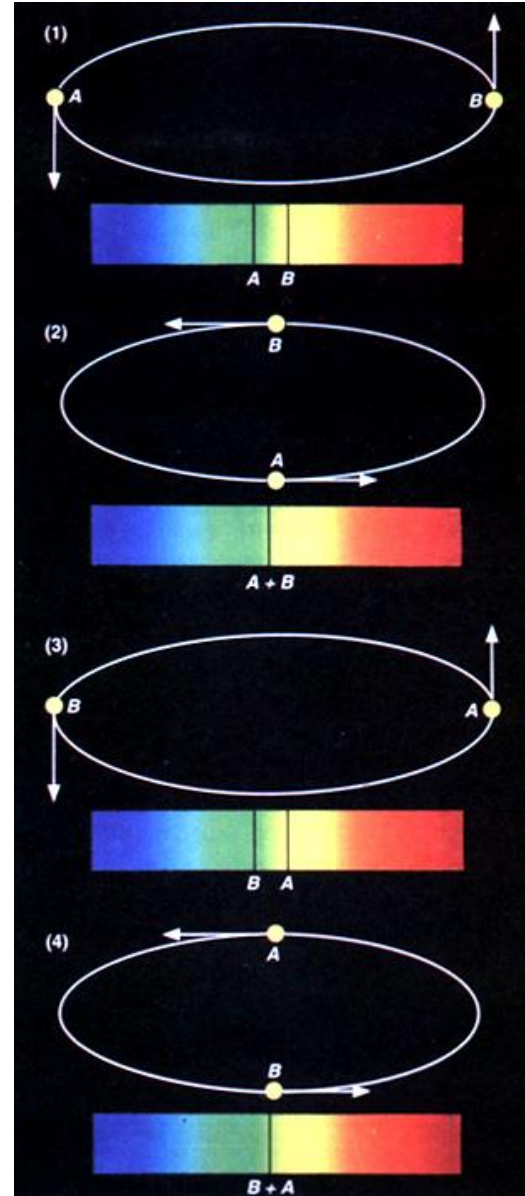
- 질량중심 $(MR + mr)/(M+m)$

» 주기의 계산

- 상호 회전 주기

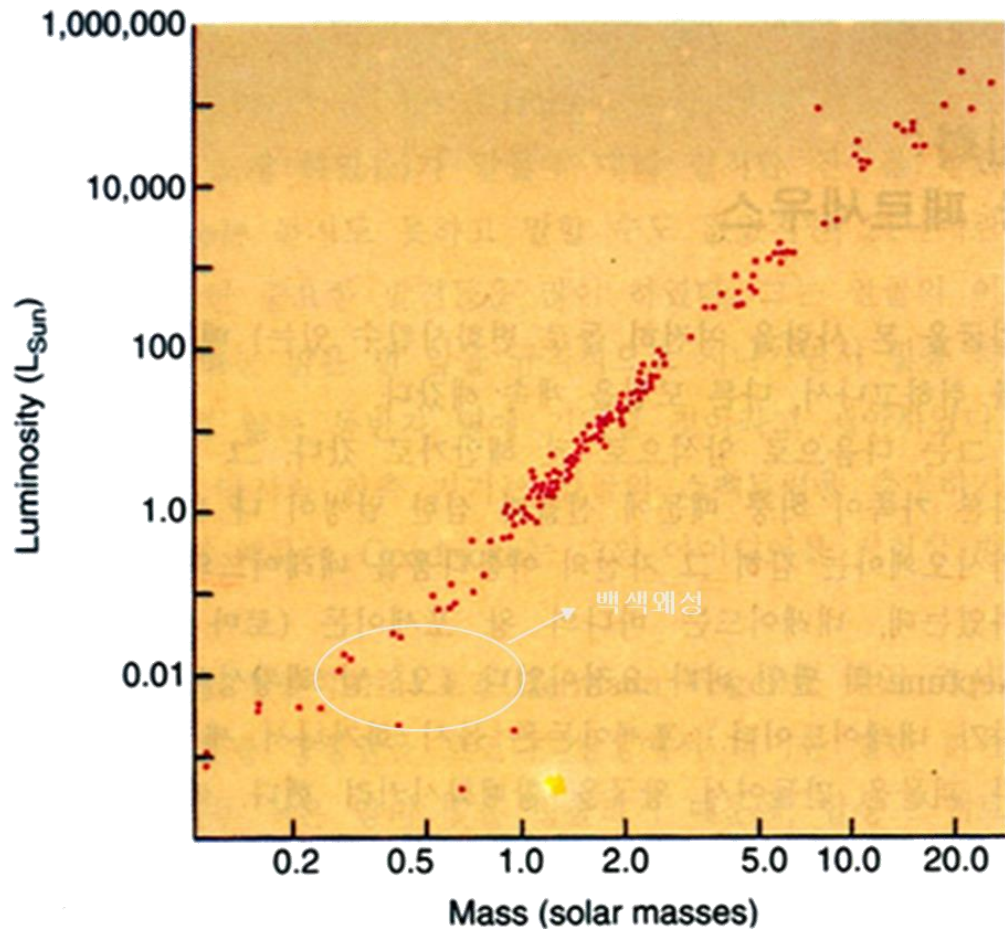
» 질량을 궤도와 주기로부터 유도

- $R^3 = (M_1+M_2) P^2 \leftarrow mv^2/r = GMm/r^2$
(여기서 R은 AU, P는 년, M은 태양질량의 단위)



질량과 광도의 관계 (M-L relationship)

» 모든 별의 90%가 아래의 **질량-광도** 관계를 가지고 있다.



$$\frac{L}{L_{\odot}} = \left(\frac{M}{M_{\odot}} \right)^{\alpha}$$

$\alpha = 3$
 $\alpha_{\text{E} \eta \text{ obs}} = 4$
 $\alpha_{\text{main seq}} = 2$

검출매체와 측정방법

» 본다?

- 형상(imaging), 밝기(세기, intensity), 색깔/분광(spectrum/spectrography)

» 무엇으로 볼것인가? 검출매체

- 가시광, 적외선, 전파, 자외선, X-선, 감마선, 우주선, 뉴트리노

1 빛

- 빛의 모음이 가능(망원경), 분광 가능
- 망원경: 무게(거울폭이 5m일때 15톤)때문에 렌즈보다는 거울 선호.
정교한 제작기술 요구. 지상망원경은 지구자전때문에 자체구동 필요.
돔안에 보관.

2 고에너지 빛

- 빛의 모음(어려움) 또는 직접 검출, 방향 및 에너지 측정, 간접 imaging
- Aperture 또는 망원경, 검출기

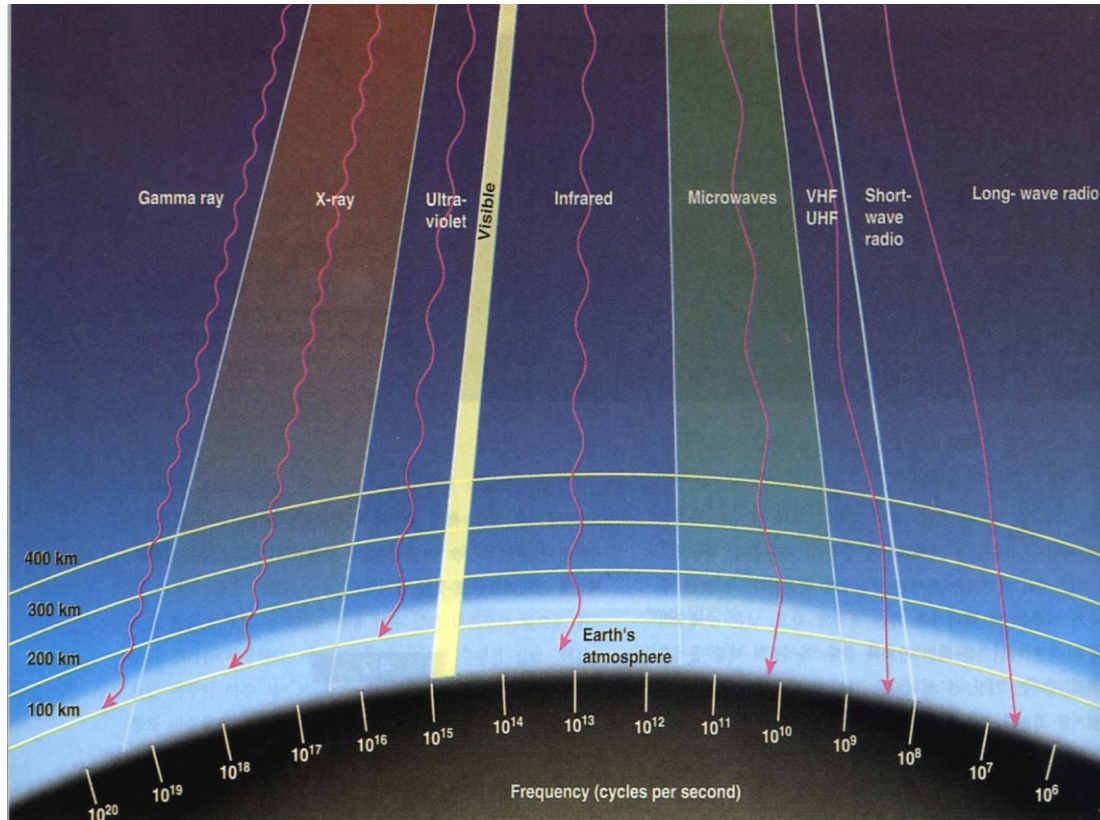
3 입자

- 입자의 직접 검출(모음은 불가능), 방향 및 에너지와 종류의 측정
- Aperture 또는 망원경, 검출기

전자기 스펙트럼

» 우주의 천체들은 우리에게 광범위한 전자기파를 보내고 있다.

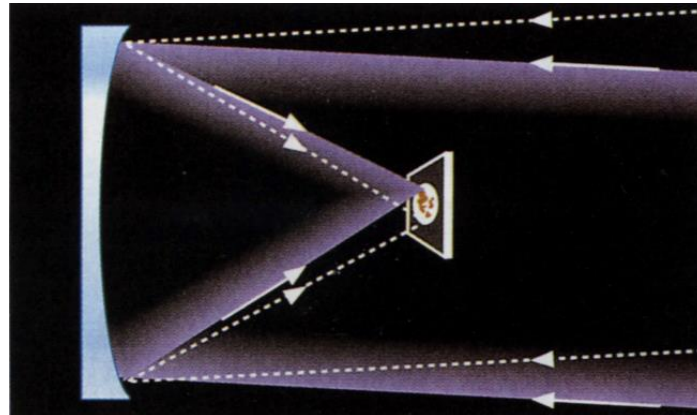
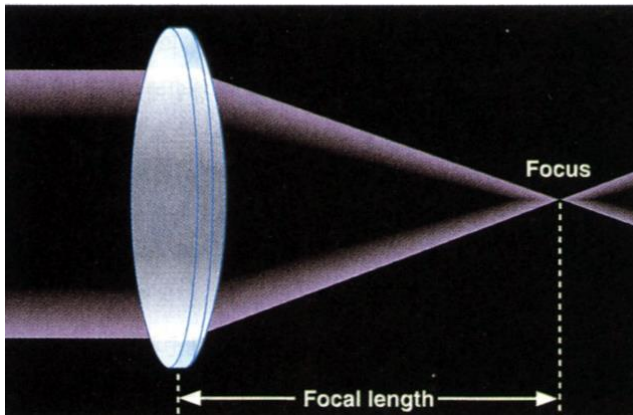
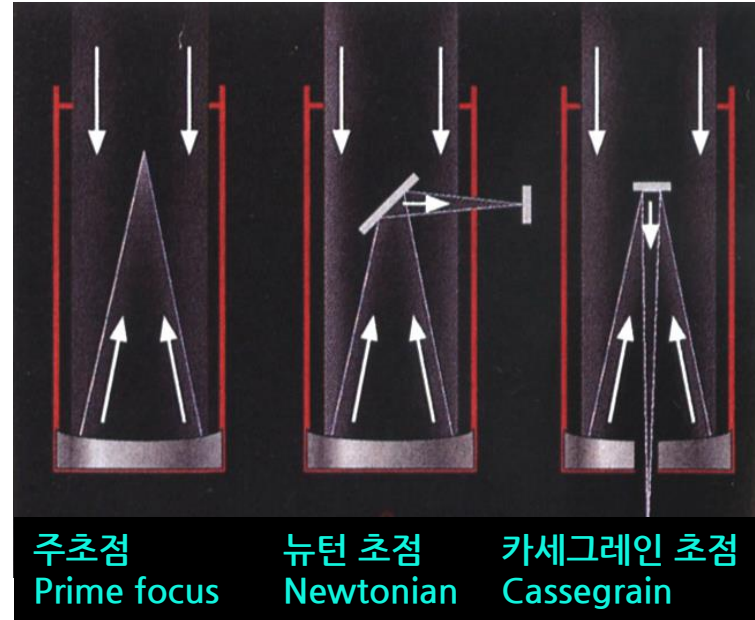
- 감마선: 0.01 nm 이하, 10^8 K 이상
- X-선: 0.01-20 nm, 10^6 - 10^8 K
- 자외선: 20-400 nm, 10^4 - 10^6 K
 - 오존층에 의해 대부분 차단
- 가시광선: 400-700 nm, 10^3 - 10^4 K
 - 1672년 뉴턴, 프리즘으로 무지개색의 혼합임을 발견
- 적외선: 1 μ m - 1 mm, 10 - 10^3 K
 - 1880년 허셜(William Herschel), 햇빛의 여러 색의 온도를 측정하다가 적외선 발견
 - 열램프는 대부분 적외선 방출. 우리 피부는 적외선에 민감.
 - 지구 대기에서 물과 이산화탄소 분자에 흡수. 적외선 천문학은 산, 비행기, 우주로
- 전파: 1 mm 이상, 10 K 이하
- 단파통신, 오븐, 레이더, FM, AM 등





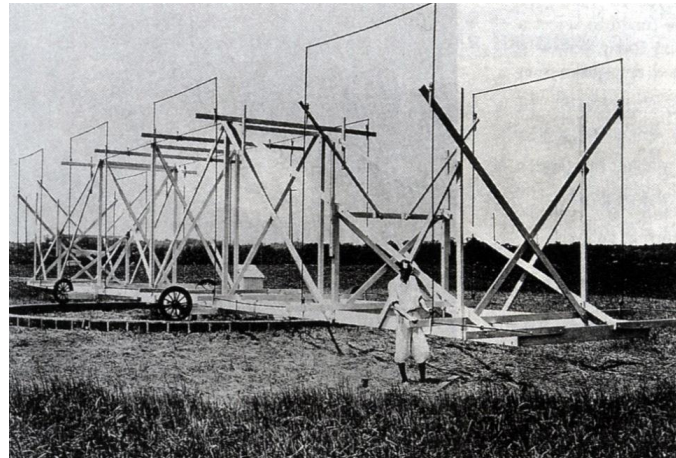
망원경

- » 갈릴레이: 1610년에 망원경 제작, 최초 우주관측
- » 눈과 망원경
 - 많은 빛의 양, 집광능력->직경 또는 구경
 - 상 또는 이미지의 형성
- » 렌즈/거울에 의한 상의 형성
 - 초점(focus), 초점길이(focal length)
- » 굴절망원경
 - 갈릴레이망원경, 쌍안경, 오페라망원경
- » 반사망원경
 - 1663년 그레고리(James Gregory) 창안
 - 1668년 뉴턴이 제작

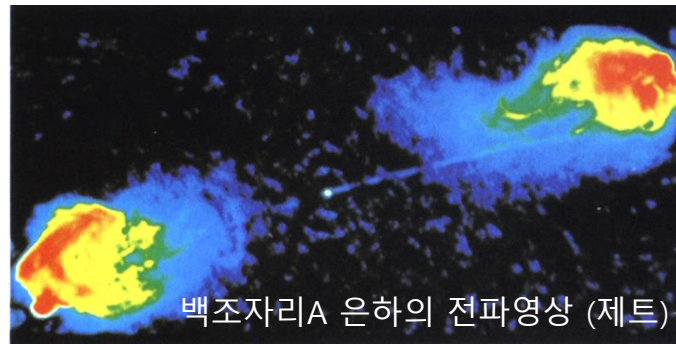


전파망원경

- » 1931년 벨연구소의 칼 잔스키는 전파망원경으로, 은하수로부터 오는 전파복사 발견
- » 전파의 변조(정보를 전파로 변환)
 - 진폭을 변조: AM
 - 주파수를 변조: FM
 - 송수신기
 - 안테나
- » 반사망원경과 같이 접시모양의 반사기



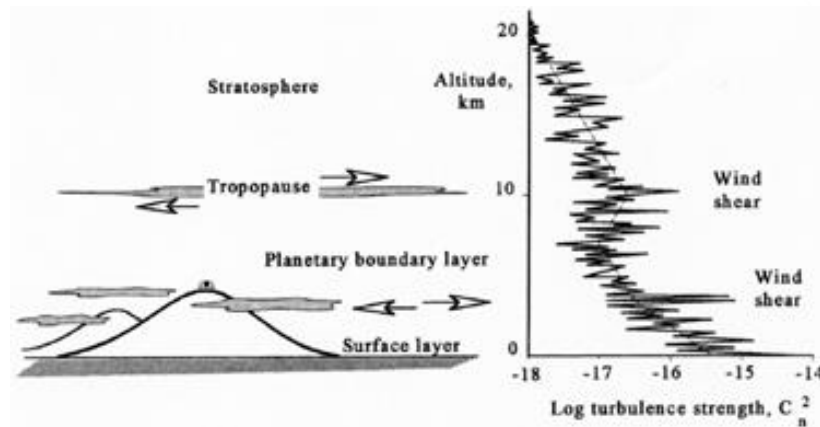
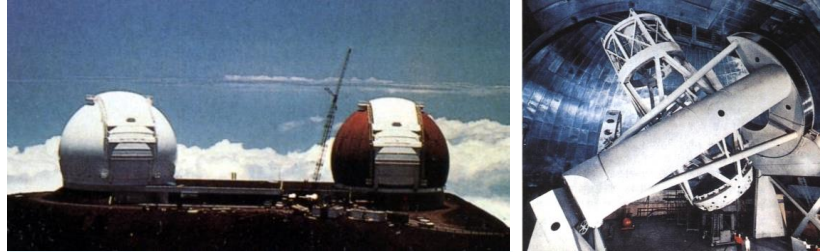
독일 본의 100m 전파망원경



백조자리A 은하의 전파영상 (제트)

상의 밝기와 분해능

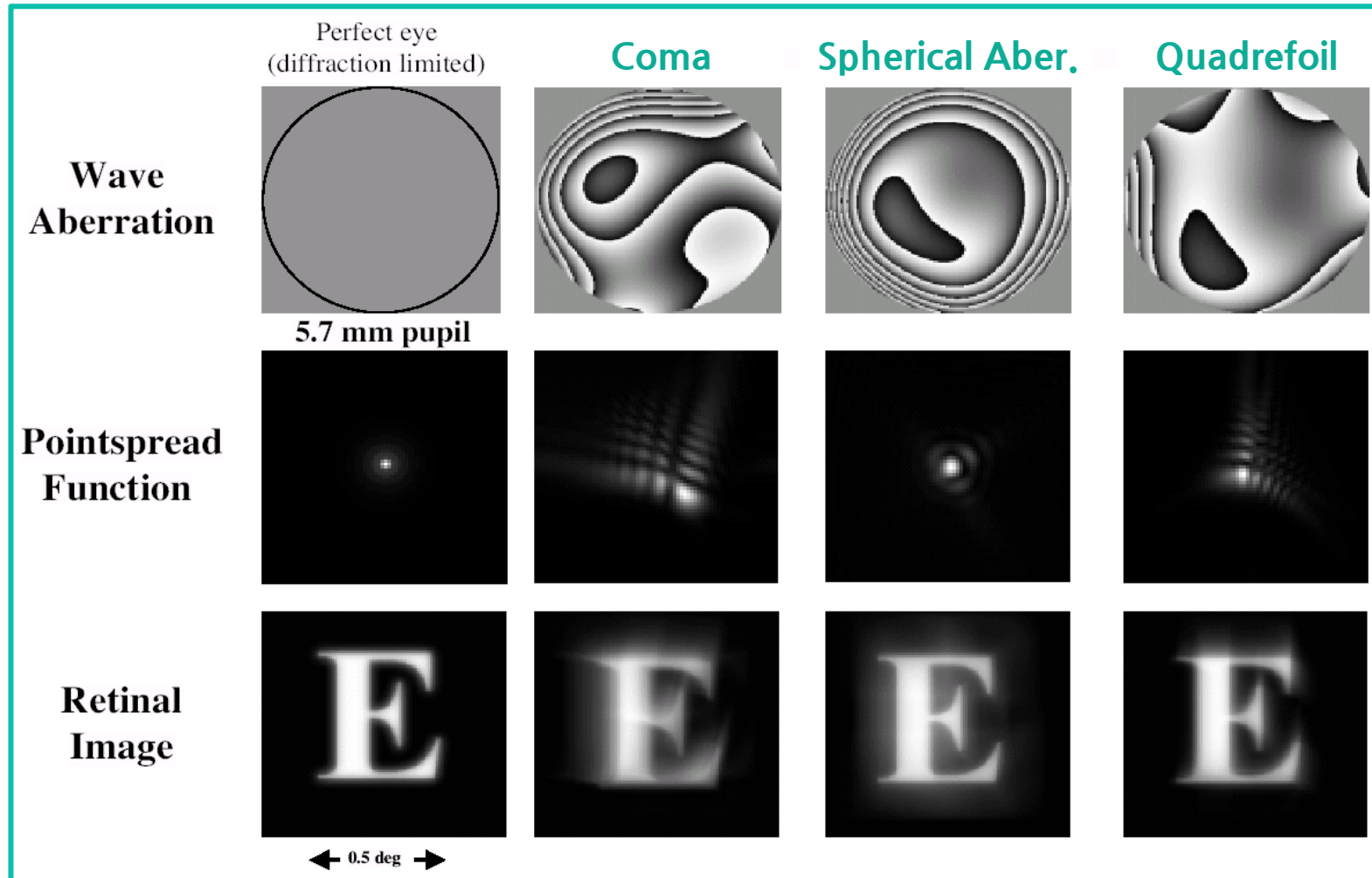
- » **상의 밝기 \propto 빛의 양: $E = \sum n_i h\nu_i$**
 - 흡수선, 방출선 스펙트럼의 분산을 위해 많은 광 필요
 - 구경에제곱 비례
- » **분해능: 상의 세밀한 정도, arcsec로 표시**
 - **$1 \text{ arcsec} = 1/3600$ 도, 25cm를 50km에서 보는 각**
 - 하와이의 마우나케아산 (10m): 0.3 arcsec 분해능
 - 팔로마산의 헤일 망원경 (5m): 1 arcsec
- » **Atmospheric seeing \rightarrow twinkling of stars**
 - **즉 대기의 요동/교란 \rightarrow 상 퍼짐, 별의 반짝거림**
- » **Adaptive optics: 대기의 변화 상쇄 기술**
- » 허블 우주망원경: 0.1 arcsec
- » 전파천문학: 0.001 arcsec



Vertical Profile of Air Turbulence (Measured from a balloon rising through various atmospheric layers)

Perfect Eye & Aberrated Eye

- » Every eye has a different pattern of higher order aberrations (수차)

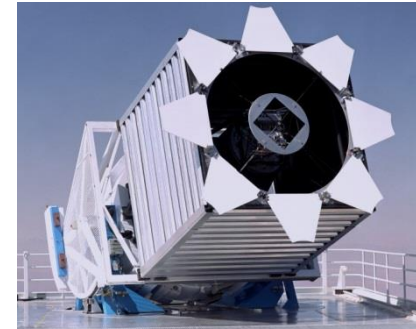
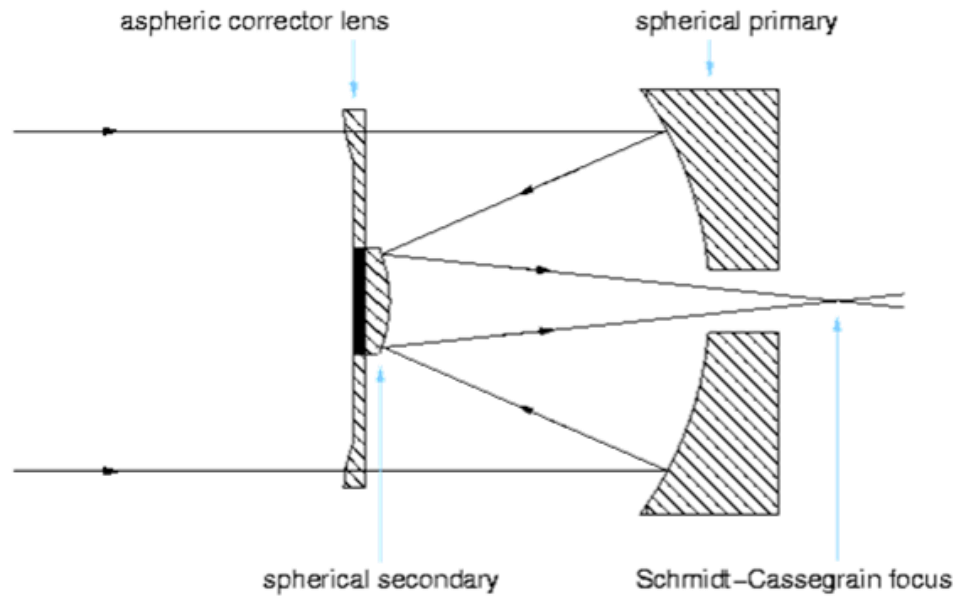


현대의 정밀 우주망원경



» Schmidt telescope

- Spherical primary mirror → large Field of View (FOV)
- Corrector lens placed in front of primary mirror

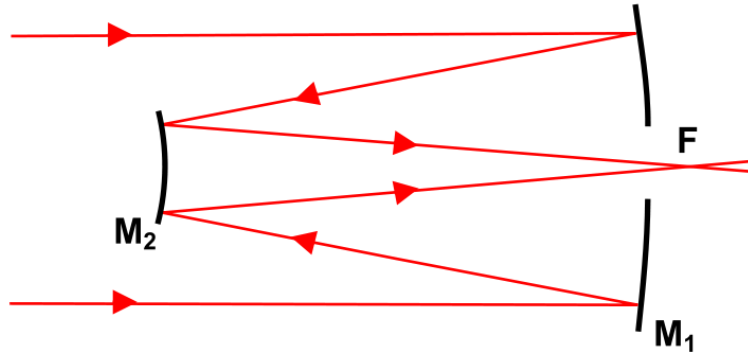


2.5m Sloan Digital Sky Survey telescope in New Mexico

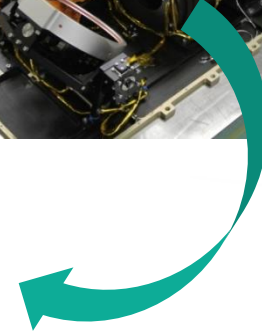
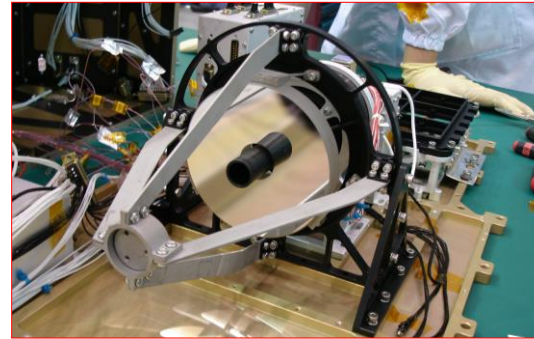


» Ritchey-Chrétien (RC) telescope

- Primary & secondary mirrors both hyperboloids
- Free of coma & spherical aberrations
- Hubble Space Telescope, Swift UVOT, our UFFO SMT



Ritchey-Chrétien



검출 기기



눈

- » 가시광선 검출기
- » 인간 기억의 한계와 변덕. 매우 짧은 적분시간 (몇분의 일초)



검출기

- » 무엇을: 가시광, 적외선, 전파, 자외선, X-선, 감마선, 우주선, 뉴트리노
- » **사진 건판**
 - 19세기 중반에 소개, 지난 100년 동안 하늘의 모습을 보존
 - 객관성, 오랜시간 수집(장시간 노출)으로 미광 천체의 관측
 - 저감도(천개의 광자 중 한 개만이 은입자를 형성) 즉 저효율, 일회성(노출된 브롬화은은 재기록 불가), 비선형성(건판의 감도와 입사광량이 비선형적으로 비례)
 - 부피, 보관 등의 문제
- » 20세기 중반의 관측혁명: **광전음극(photocathodes)**
 - 10-20배의 양자효율
 - 양자효율(%): 광자 100개가 입사하여 측정 가능한 전자로 바뀌는 확률
 - **광전증배관(photomultiplier tube: PMT)** →



검출 기기



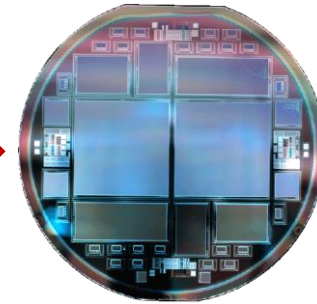
눈

- » 가시광선 검출기
- » 인간 기억의 한계와 번덕. 매우 짧은 적분시간 (몇분의 일초)



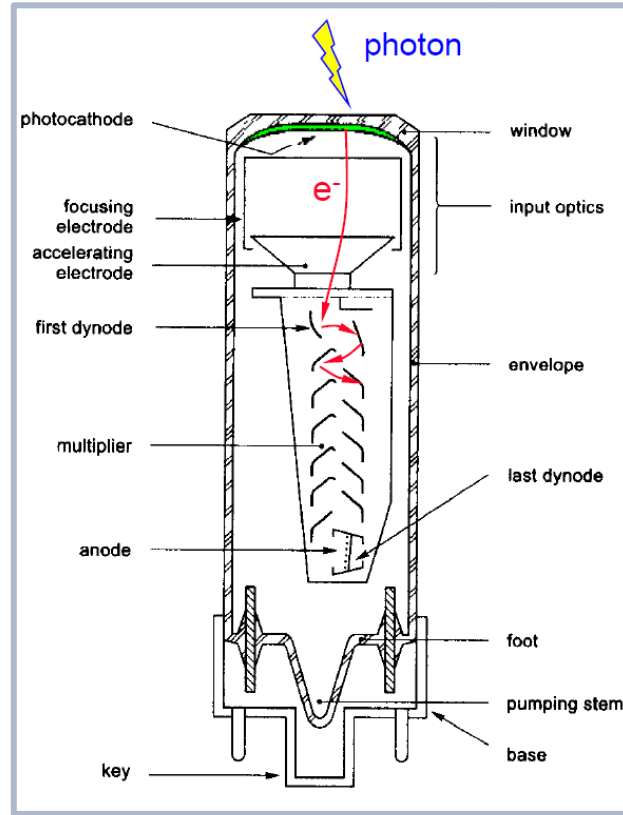
검출기

- » 반도체 센서: 실리콘, CdTe, GaAs, Ge ...
 - 실리콘: PIN Diode, CMOS, CCD (Charged Coupled Device) ...
 - 고효율(70%), 고분해능, 기록의 디지털화
- » 크리스탈 센서(유기, 무기): BGO, CsI, LSO, 플라스틱 ...
- » 그 외 센서 물질: Gas, 나노튜브, ...



광증폭기 (Image Intensifier & Photomultiplier)

- » 이유: < picoA 신호
→ 측정이 어렵고 또한 극저잡음 신호처리 필요
- » 진공관식: Photomultiplier Tube (PMT)
- » 반도체식: EMCCD, SiPM, ...



CCD 카메라
1초 100장 → 1ms

$$I = \frac{10^{-19} \text{ C}}{1 \text{ ms}} = 10^{-16} \text{ A} \quad \times$$

1mA 미터 겨우 감지된다면
10⁷ 광증폭 필요

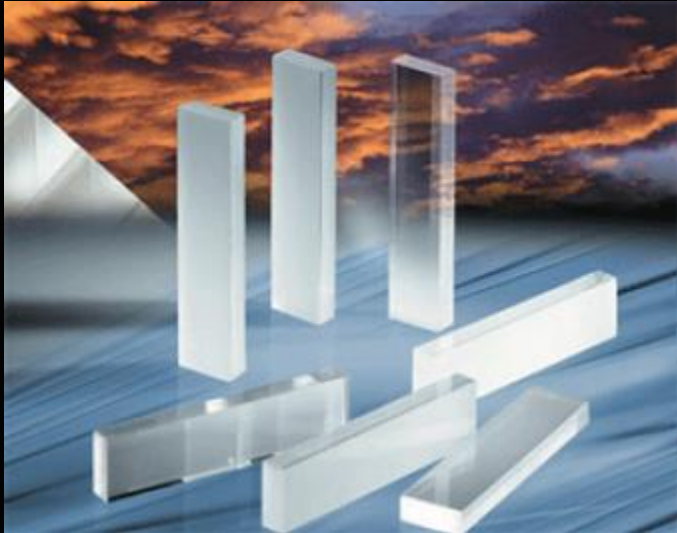
$$I = \frac{10^{-19} \text{ C}}{1 \text{ nsec}} = 10^{-10} \text{ A}$$

(pico Amp)

CCD
CMOS
↑
10⁷ ~ 10⁸ 배



Detectors based on registration of excited Atoms → Scintillators



광 및 입자 검출에 사용되는
여러 종류의 섬광검출기
(각종 크리스탈, 플라스틱,
광파이버 등)



우주망원경의 예 (감마선 및 입자 검출)

» GLAST/FERMI, SNAP/JDEM



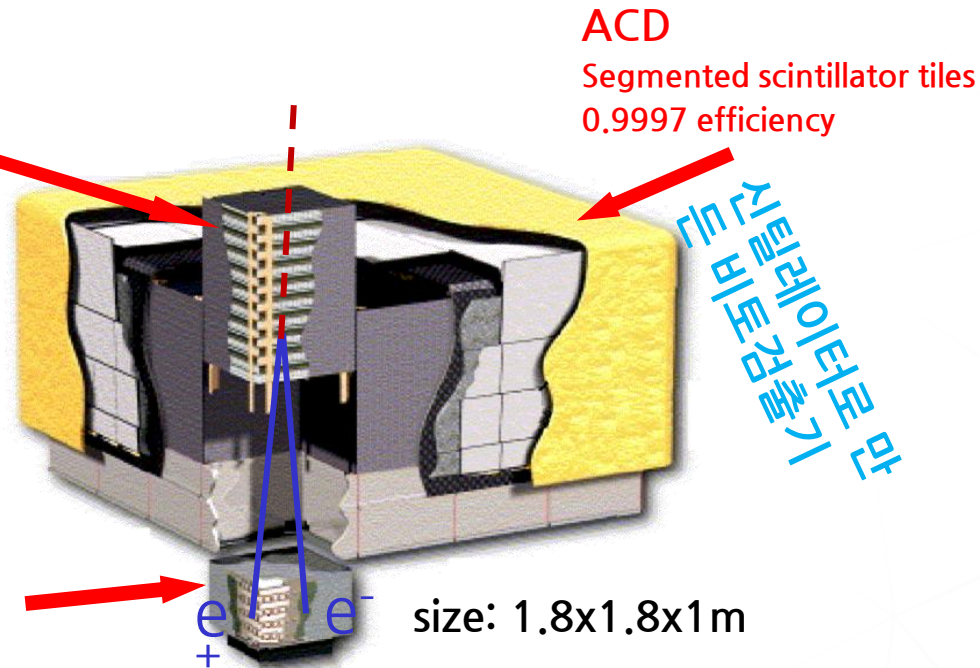
- A high energy astrophysics experiment in space to study gamma-rays from 20 MeV-300 GeV
- Measure energy and direction
- Dark matter annihilation, Gamma ray bursters, Active Galactic Nuclei

반도체로 만든
렉추검출기

크리스탈로 만든
에너지검출기

Si Tracker
pitch = 228 μm
8.8 10^5 channels
12 layers \times 3% X_0
+ 4 layers \times 18% X_0
+ 2 layers

CsI Calorimeter
Hodoscopic array
8.4 X_0 8 \times 12 bars
2.0 \times 2.7 \times 33.6 cm
 \Rightarrow cosmic-ray rejection
 \Rightarrow shower leakage correction



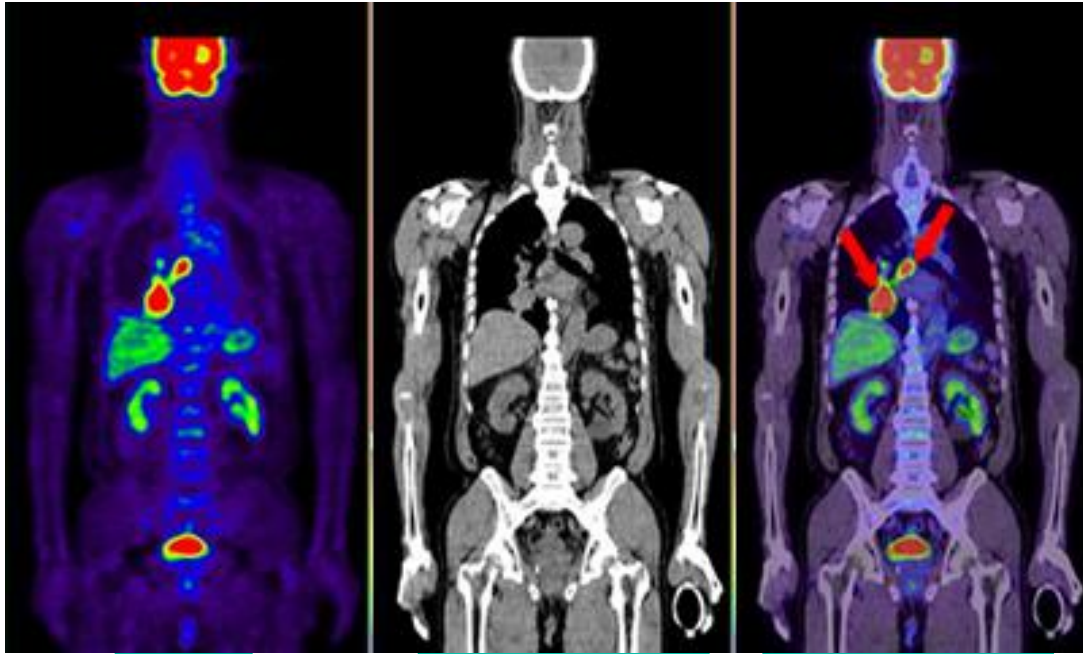
시틸레이터로 만든
렉추검출기

메디칼 이미징의 예

- » SPECT Camera
- » Compton Camera
- » PET
- » Combined PET/MRI Scanner



반도체, 크리스탈 등
여러 최첨단 재료 및 소자로 만든
궤적 및 에너지 검출기



PET

CT (X-Rays)

Co-Registered

