

일식과 월식

Rosa M. Ros

*International Astronomical Union
Technical University of Catalonia, Spain*



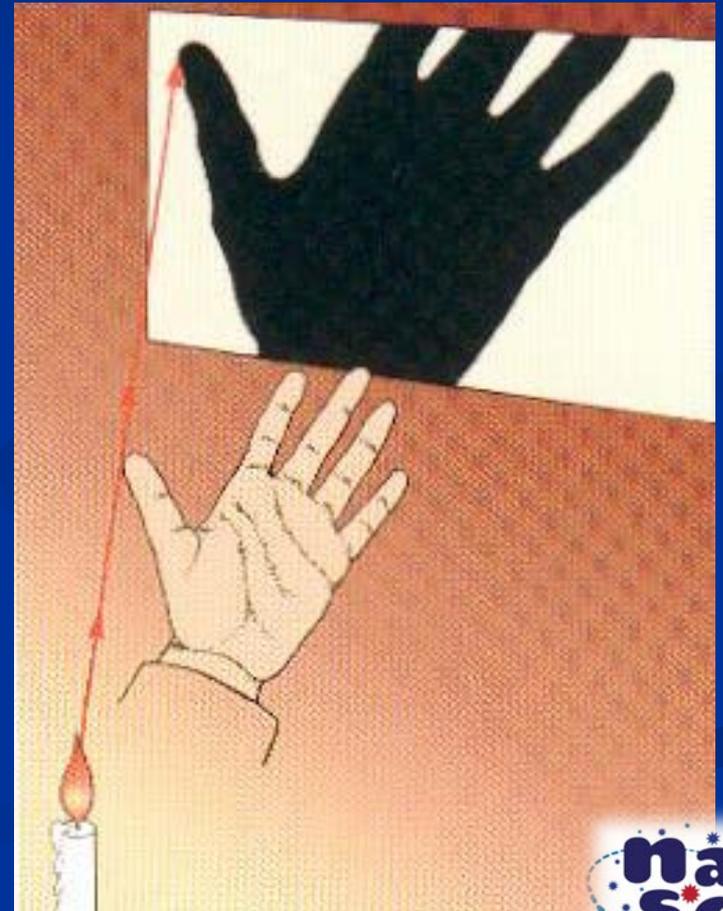
목표

- 달이 위상을 갖는 이유를 이해한다
- 일식이 일어나는 원인을 이해한다
- 월식이 일어나는 원인을 이해한다
- 지구-태양-달의 크기와 거리를 결정한다



빛과 그림자의 모습

- 지구-달-태양 시스템:
위상과 식현상
- 상대적 위치와 그림자



활동 1: 달의 반대편 모형

- 2 명의 지원자: 중심에 한 사람 (지구) 과 다른 사람은 지구 주위를 공전 (달)
- 달이 지구를 향하도록 하고, 90도 공전할 동안 90도 자전한다. 시작 지점으로 올 때까지 이 과정을 반복한다.



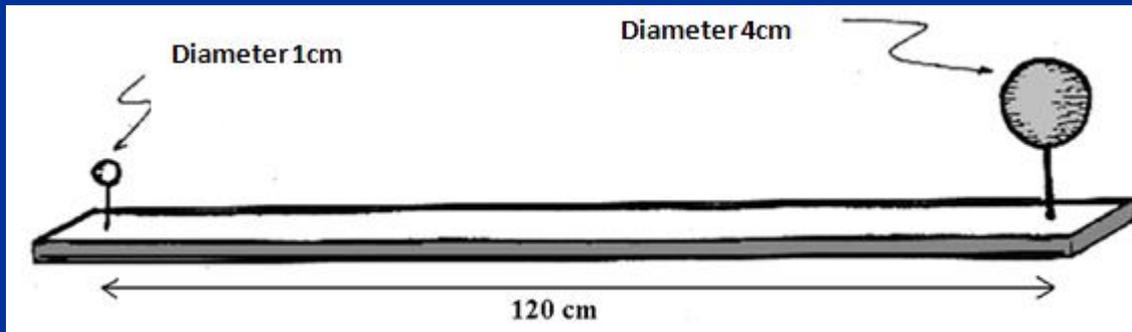
활동 2: 손전등 (태양) 을 가지고 달의 위상을 설명하는 모형

- 5 명의 지원자: 중심에 한 사람 (지구) 과 나머지 4명이 마스크를 쓰고 각기 달의 위상 4개를 보여준다. (1명은 전체 반사, 2명은 부분 반사, 나머지 1명은 완전 어두움)



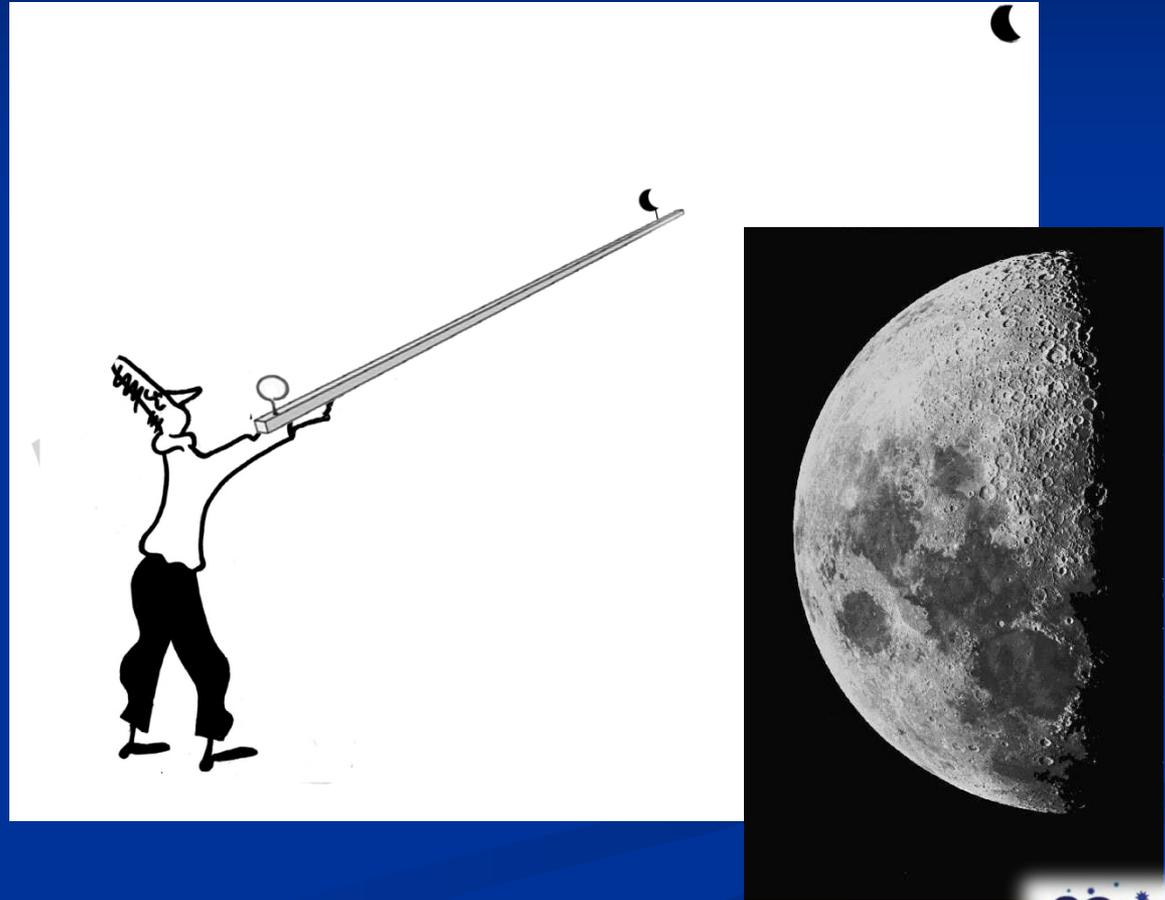
지구-달-태양의 크기와 거리

Earth Diameter	12 800 km		4 cm
Moon Diameter	3 500 km		1 cm
EM Distance	384 000 km		120 cm
Sun Diameter	1 400 000 km		440 cm = 4.4 m
ES Distance	150 000 000 km		47 000 cm = 0.47 km



활동 3: 달의 위상 시뮬레이션

- 작은 모형의 달을 달에게 향하게 하면 두개의 크기 (Phase) 가 같아지는 것을 볼 수 있다

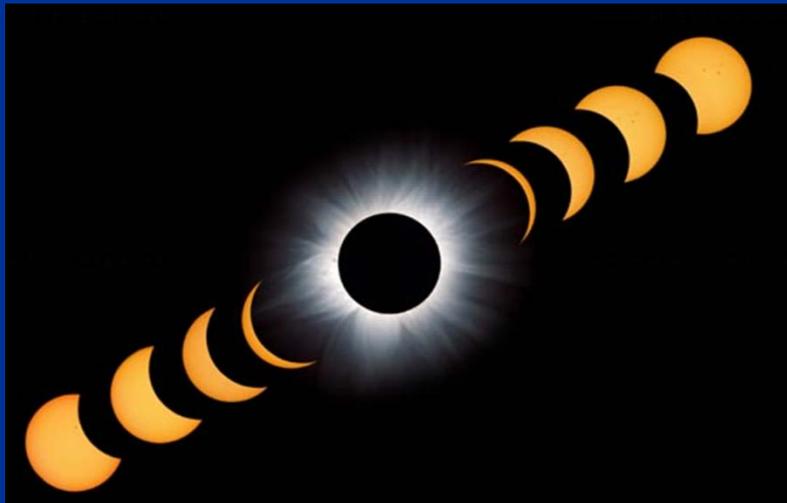
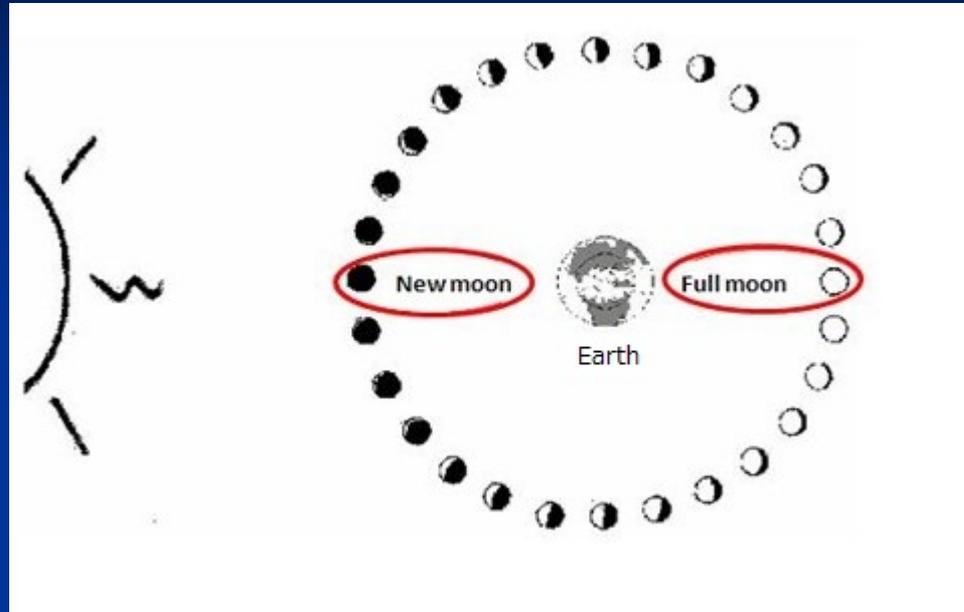


활동 4: 틀린 그림 찾기



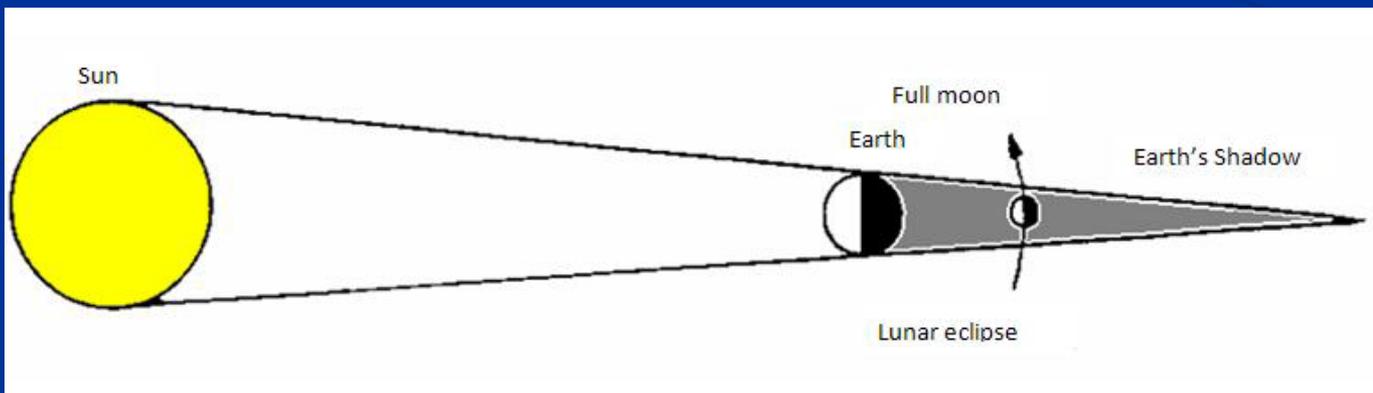
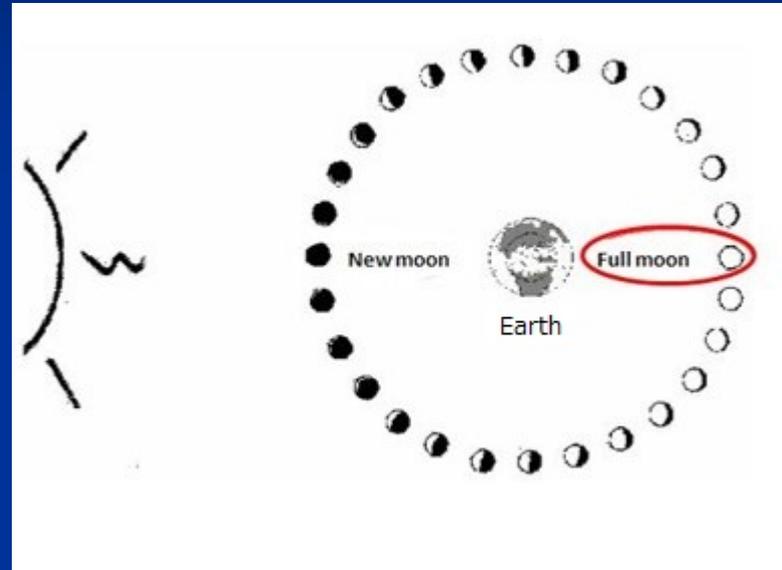
- 달의 위상은 태양의 위치와 관련 있다.

달의 위상과 식현상

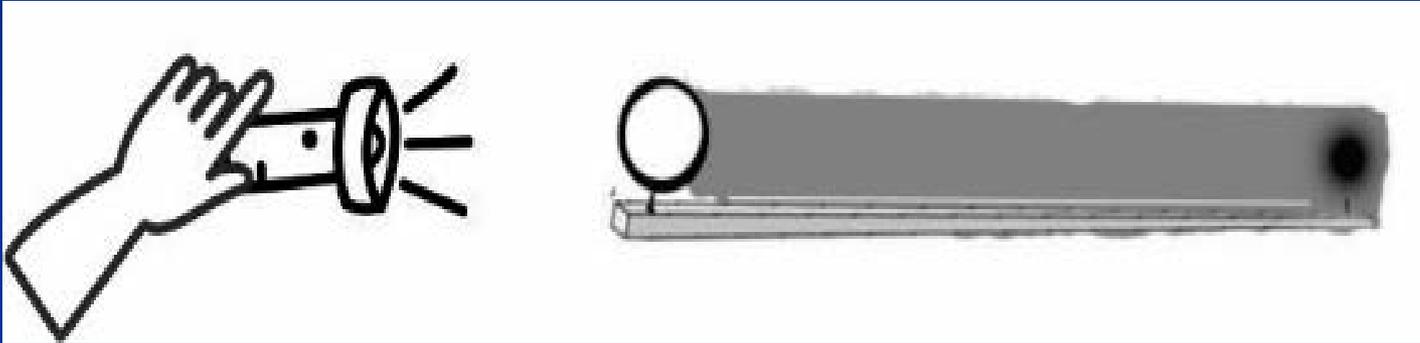


활동 5: 월식

- 월식은 보름달일때만 일어난다



활동 5: 월식 시뮬레이션



활동 5: 월식



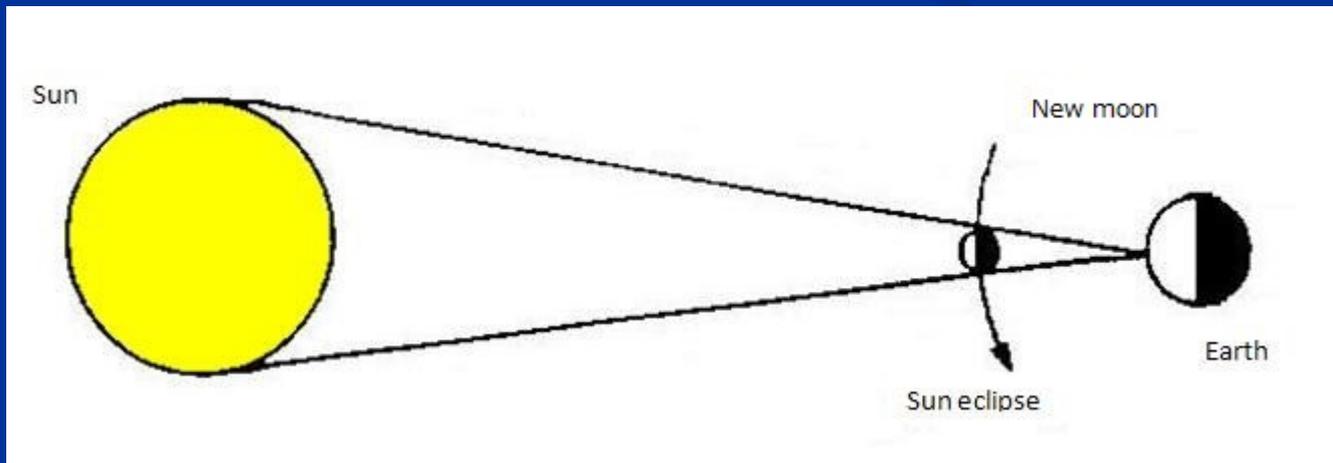
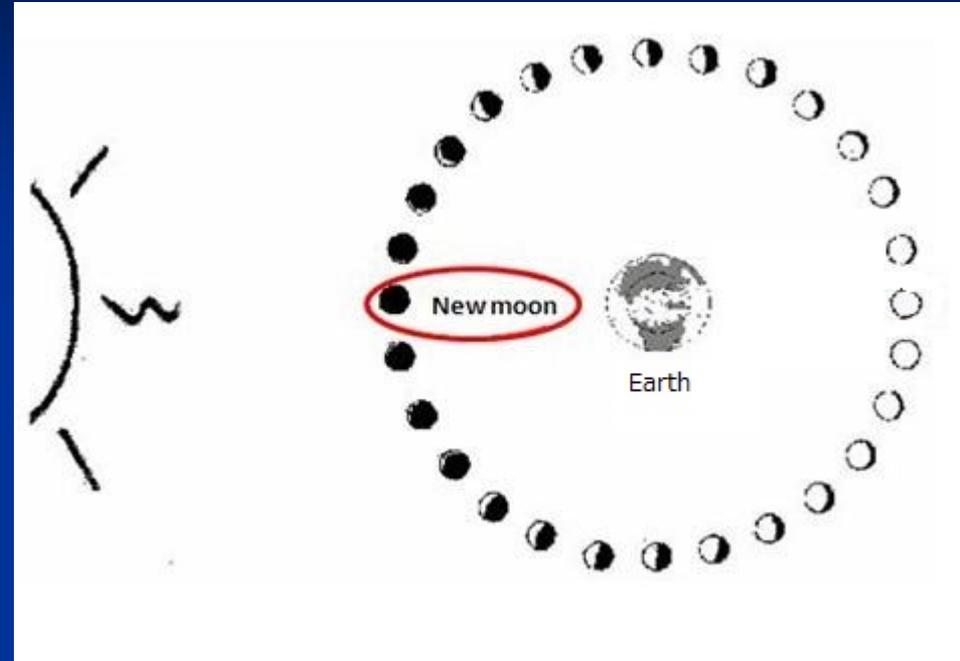
활동 5: 월식

- 월식은 지구상의 반만 관찰할 수 있음 (밤에)

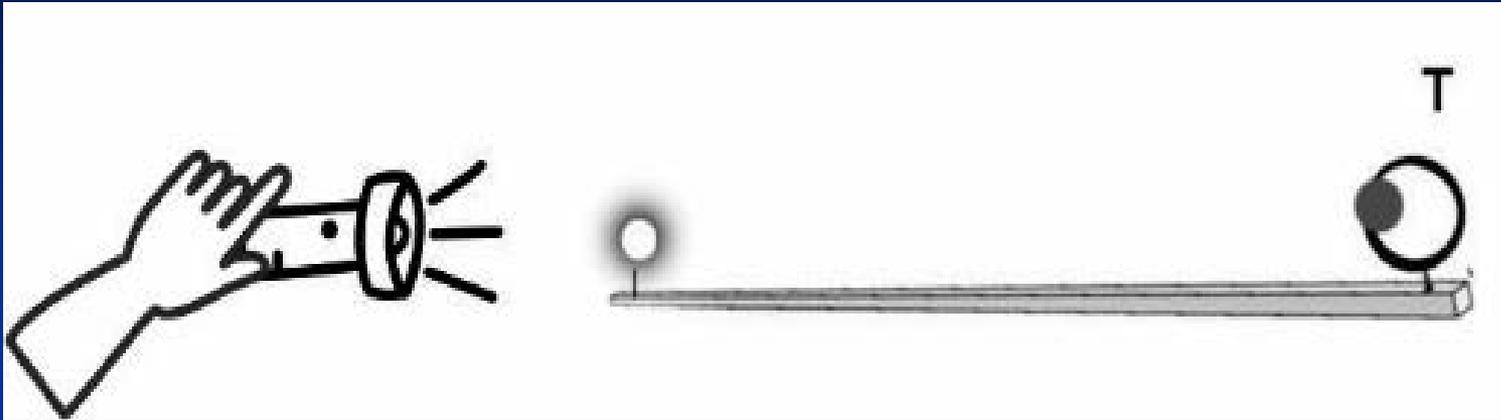


활동 6: 일식

- 일식은 삭일 때만 일어난다.



활동 6: 일식 시뮬레이션



일식 디테일

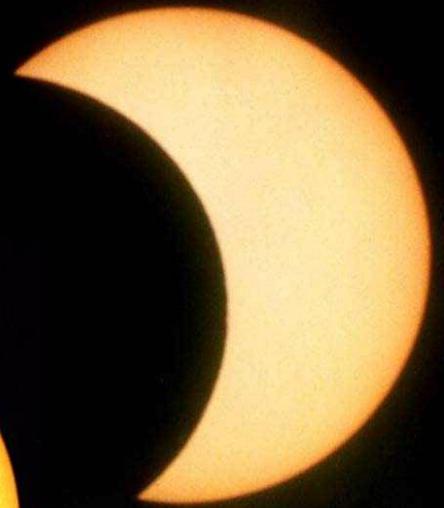
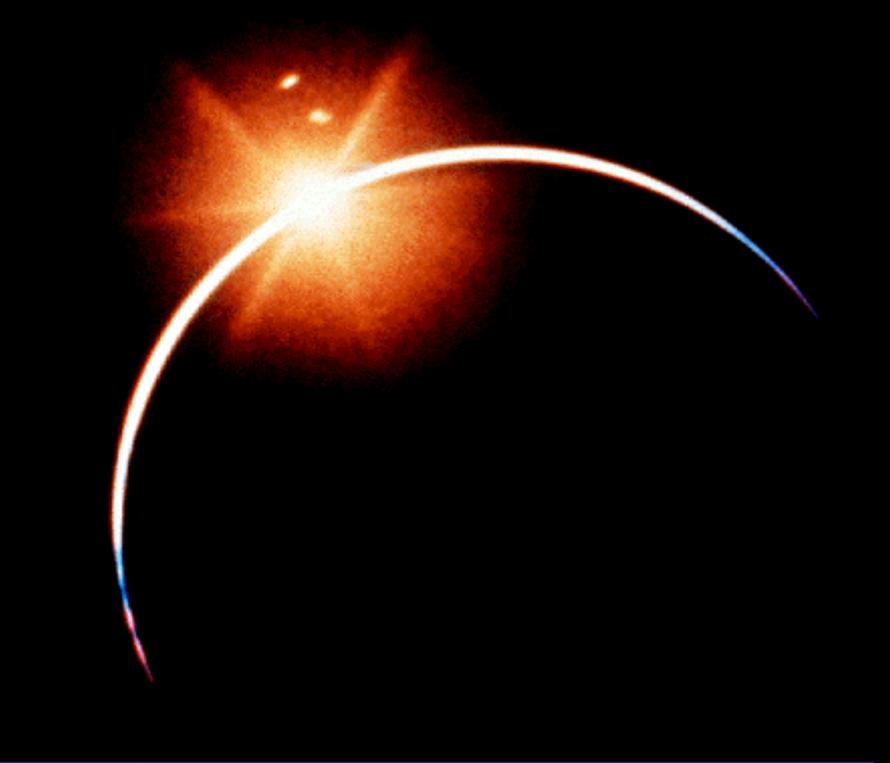
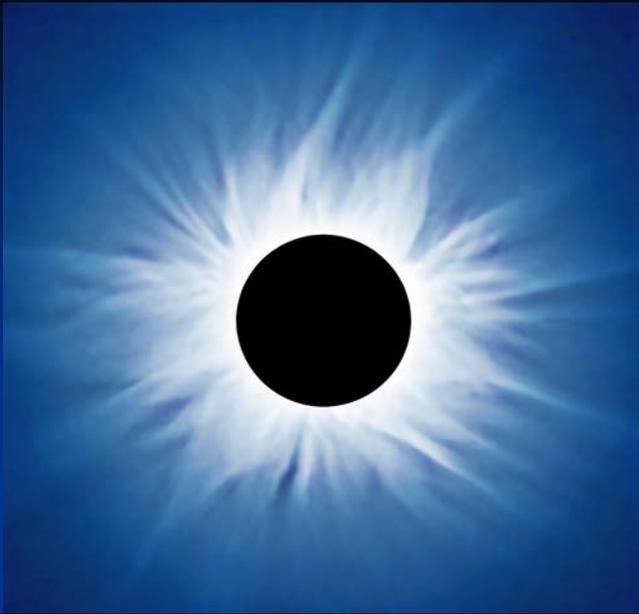




활동 6: 일식

- 일식은 지표면의 좁은 영역에서만 보인다.





... 감동적이다!

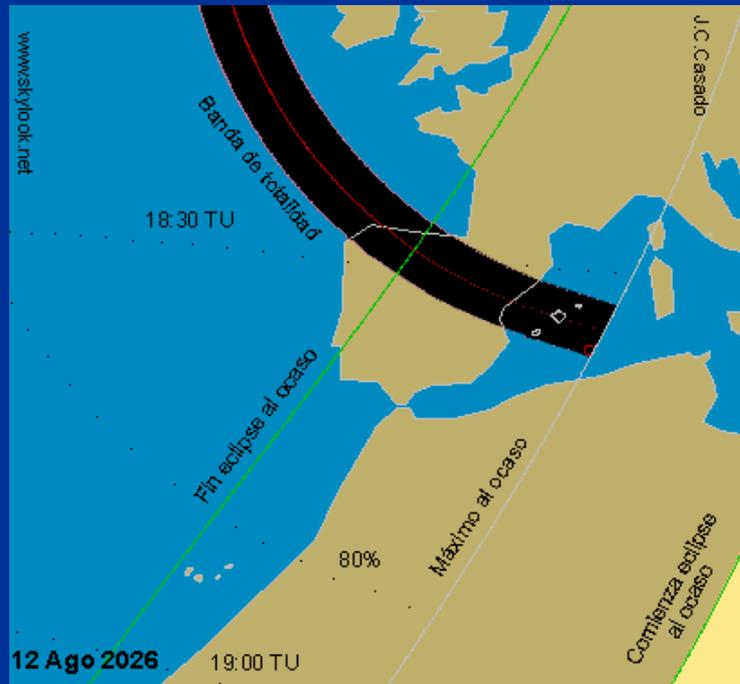


관측

- 월식은 보름달일때, 일식은 달이 삭일때
- 일식은 지표면의 좁은 영역에서만 보인다
- 지구와 달이 “잘 정렬“ 되기가 쉽지 않아서, 보름달이거나 삭일때마다 일식이 일어나지는 않는다.

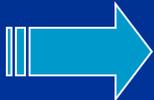
드디어 ... 예를 들면 ...

- 스페인에서 다음 개기일식은: August 12, 2026 (2004년에 다른지역에서 한 번 있었음)



- 일식은 매해 0 ~ 3번 일어난다.

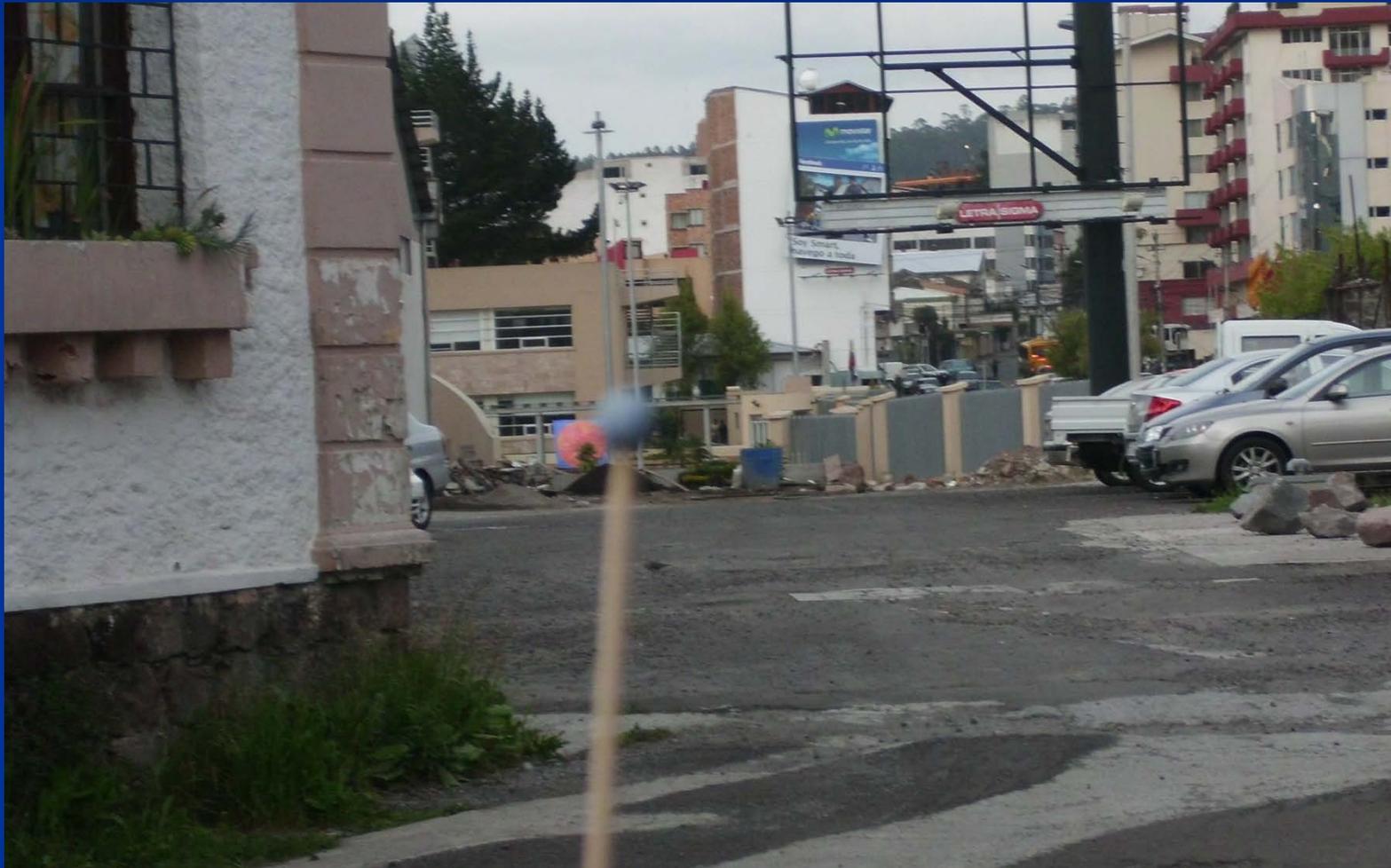
태양까지의 거리를 잘 이해하고 보고 위한 거리와 크기

Earth Diameter	12 800 km		2.1 cm
Moon Diameter	3 500 km		0.6 cm
E-M Distance	384 000 km		60 cm
Sun Diameter	1 400 000 km		220 cm
E-S Distance	150 000 000 km		235 m

태양 그리기



활동 7: 큰 “태양“ 이 작은 “달”처럼 보이게 만듦



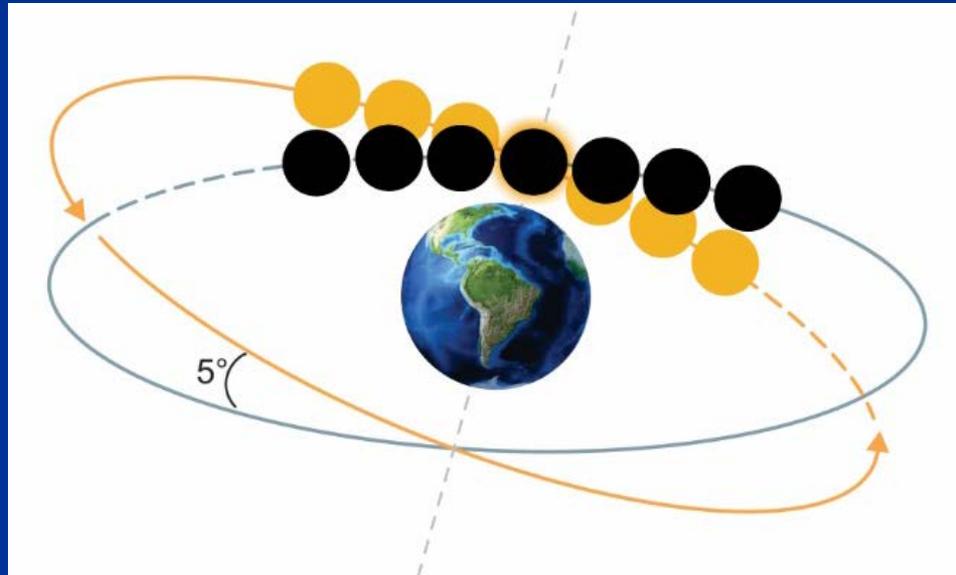
매 달 삭과 보름달이면 ...

왜 매 달 일식과 월식이 일어나는게 아니지?



왜냐하면 ...

태양 주위를 도는 지구의 궤도면과 지구 주위를
공전하는 달의 궤도면이 같은 면에 있지 않다



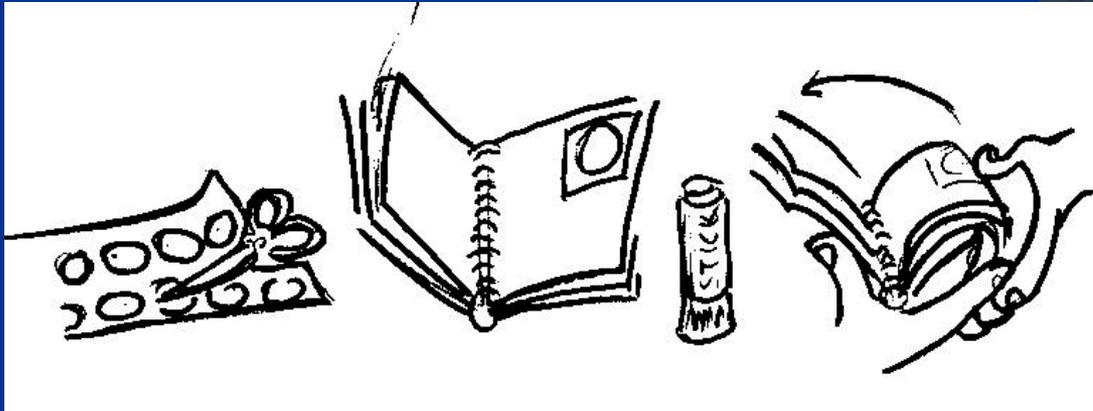
두 면은 약 5° 기울어져 있고, 태양과 달의
각크기는 0.5° 밖에 안된다

식현상은 태양과 달이 두 궤도면의 교점에 가까이 있을 때만 일어난다.



활동 8: “책장 넘기기” 식현상 시뮬레이터

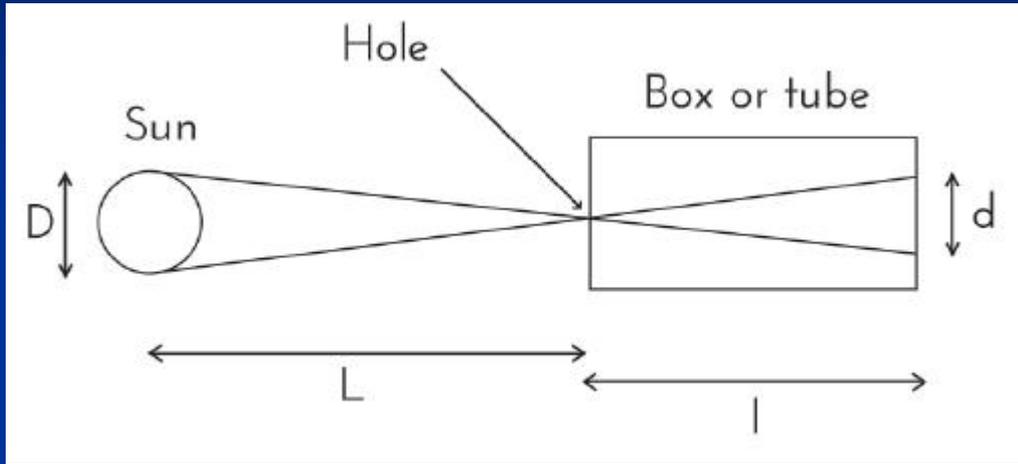
1. 그림을 자르고 순서대로 놓는다
2. 공책에 각 그림을 붙인다
3. 식현상과 비슷하게 보기 위해 페이지를 빨리 넘긴다.



활동 9: 태양 크기 결정 - 관측과 측정



활동 9: 태양 크기 결정



$$\frac{D}{L} = \frac{d}{l}$$

$$D = \frac{dL}{l}$$

비례를 세워 태양크기를
계산할 수 있다

$L = 150\,000\,000\text{ km}$ 지구-태양 거리; $l =$ 통의 길이;
 $d =$ 반투명 종이위의 태양의 크기

활동 10: 아리스타쿠스의 실험

310 - 230 BC

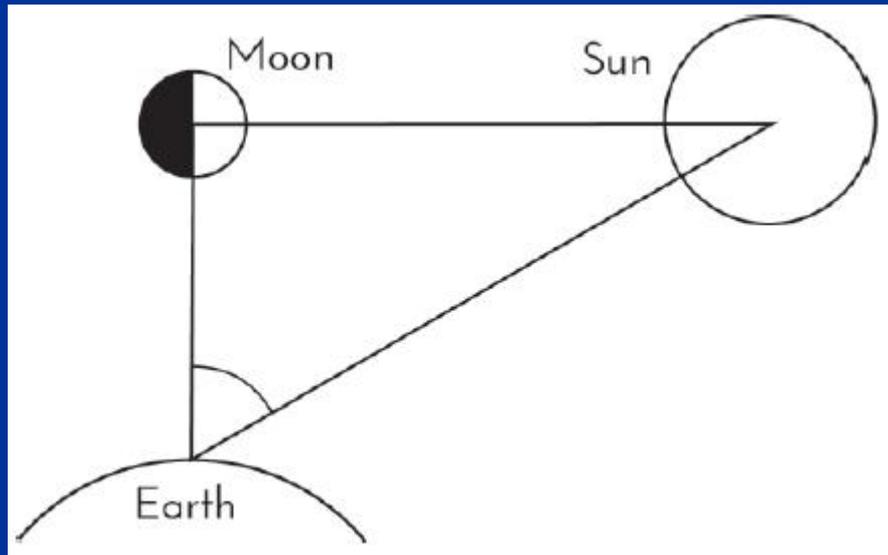
- 지구-달-태양의 크기와 거리와의 관계를 파악 (하지만, 절대값을 얻지는 못함). 에라토스테네스가 얻어냄.
 - 1) 지구에서 달까지 거리와 지구에서 태양까지의 거리
 - 2) 달과 태양의 반지름
 - 3) 지구에서 달까지의 거리와 달의 반지름
 - 4) 지구위에 맺힌 그림자의 원뿔
 - 5) 이들 모두의 관계



1) 지구-달과 지구-태양 거리

■ $\cos \alpha = EM / ES$ therefore

$$ES = EM / \cos \alpha$$



1) 지구-달과 지구-태양 거리

- 아리스타쿠스 $\alpha = 87^\circ$
then $ES = 19 EM$
- 현재 $\alpha = 89^\circ 51'$
therefore $ES = 400 EM$



2) 달과 태양의 반지름

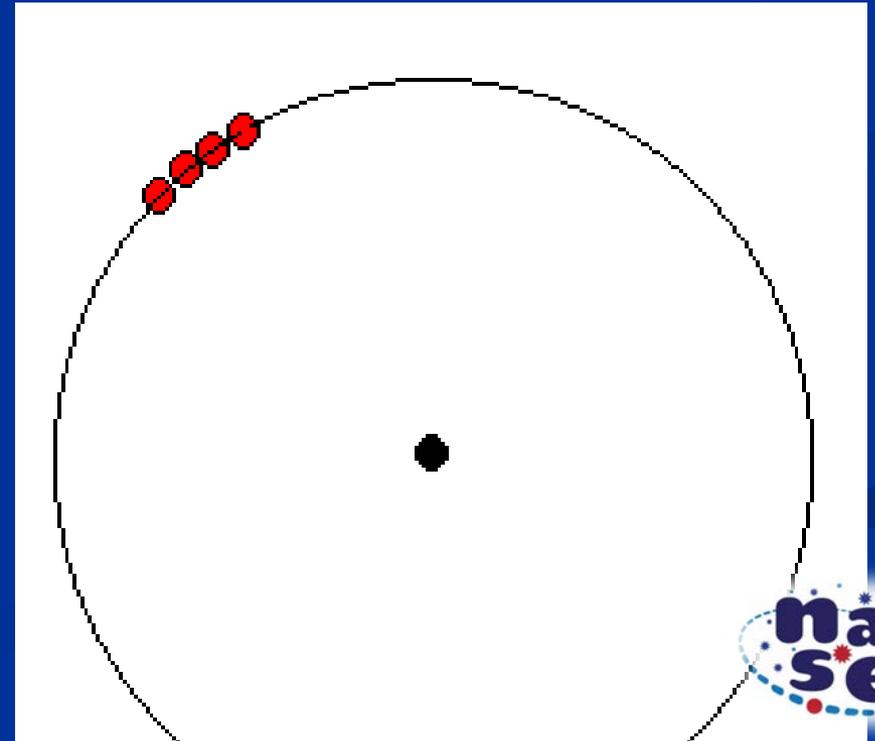
- 지구에서 보면 달과 태양의 각반지름은 0.5° 로 관측됨
- 그러므로, 반지름은

- $R_S = 400 R_M$



3) 지구-달 거리와 달의 크기

- 지구에서 바라본 달의 각지름은 0.5°
- 이 지름의 720배를 하면, 달의 **원** 궤적을 계산할 수 있다
- $2 R_M 720 = 2 \pi EM$
- $EM = 720 R_M / \pi$

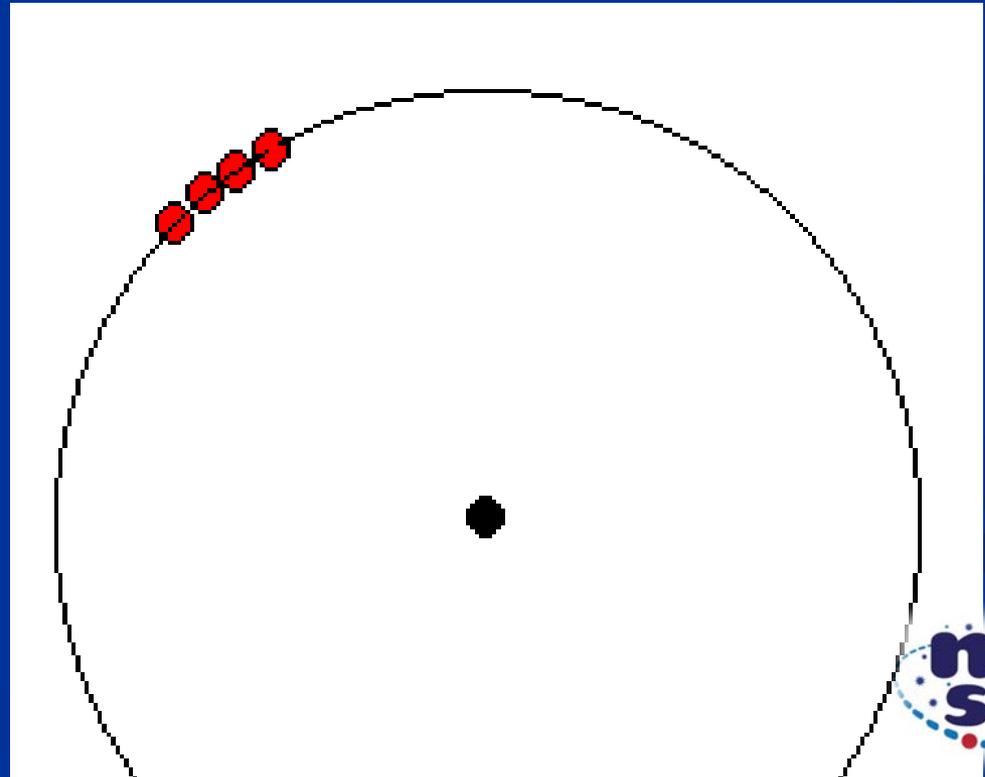


3) 지구-달 거리와 태양의 반지름

- 비슷하게

- $ES = 720 R_s / \pi$

아리스타쿠스의
1st 태양중심 모형

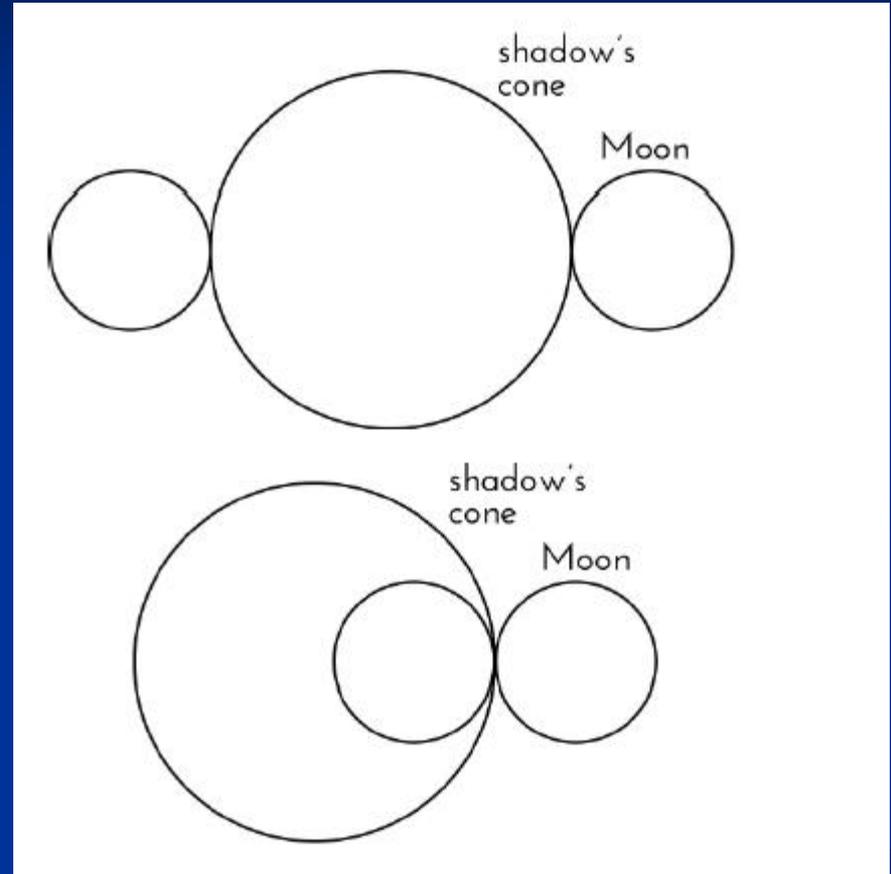


4) 지구상 그림자 원뿔

- 월식때, 아리스타쿠스는 달이 지구의 그림자 영역 (원뿔)을 지나가는 시간을 측정했고, 달의 크기의 두배 정도의 크기임을 알았다. (i.e. 2:1)

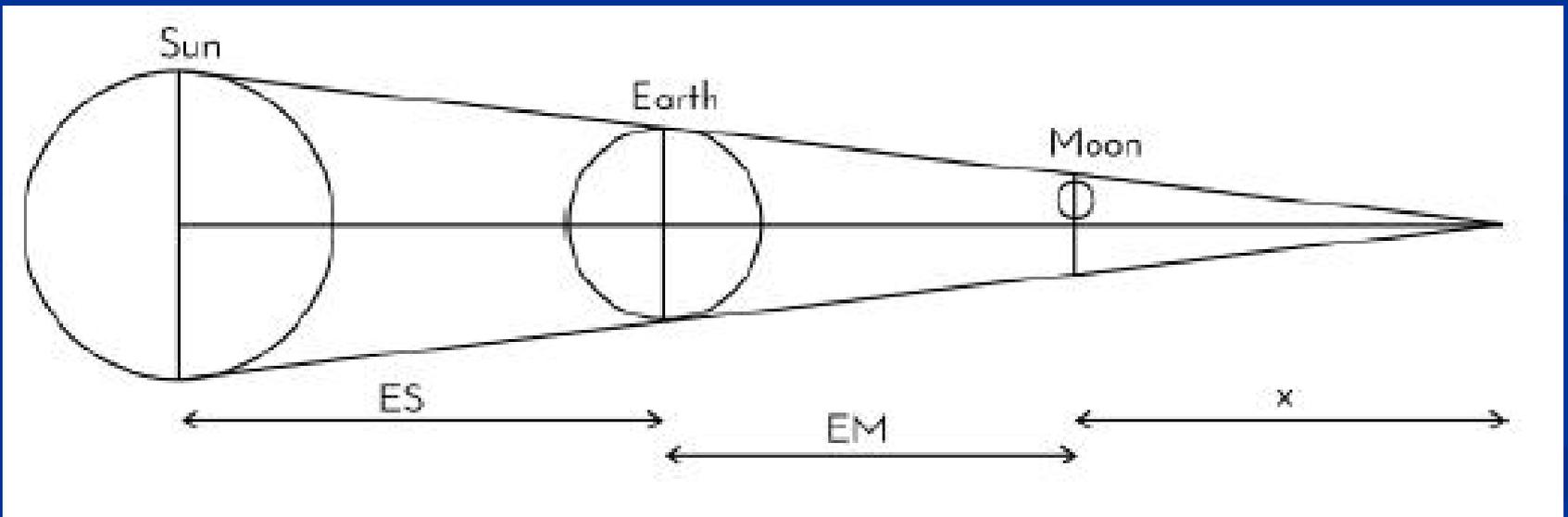
- 실제값,

2.6:1



5) 이들 모두의 관계

- $(x+EM+ES)/R_s = (x+EM) / R_E = x/(2.6 R_M)$



이 계가 보여주는 것을 풀어보자 (모든것은 지구의 크기와 비례하여 표현):

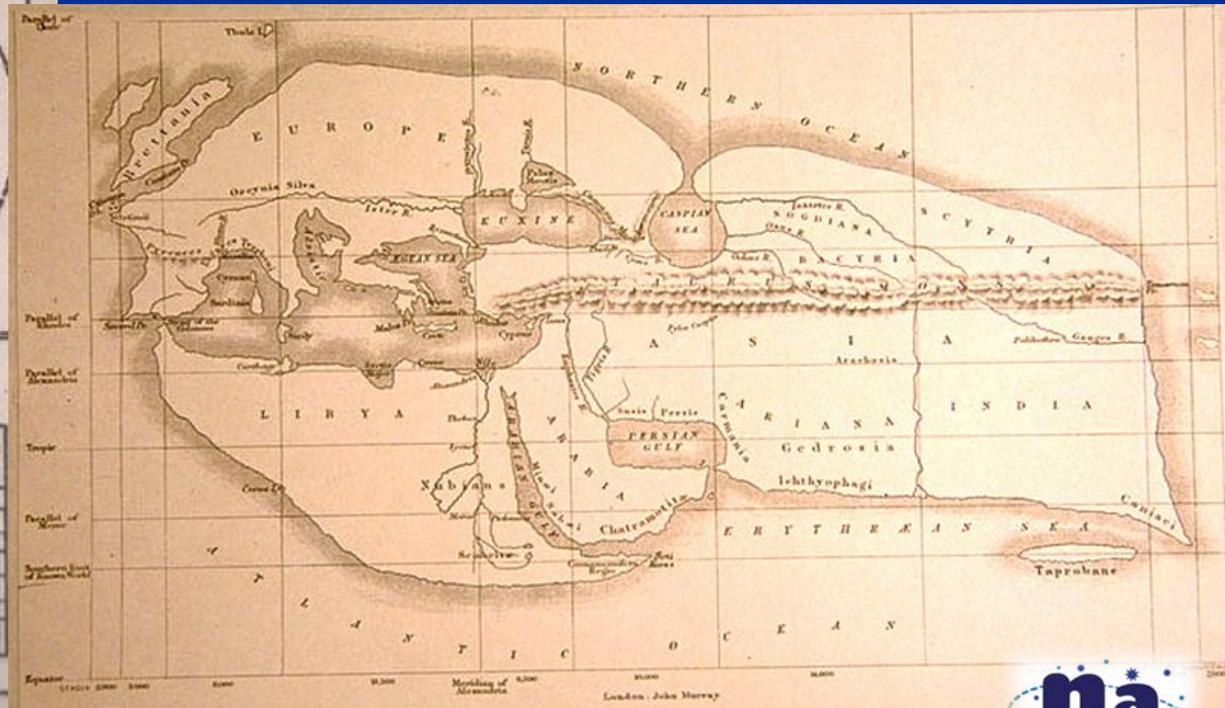
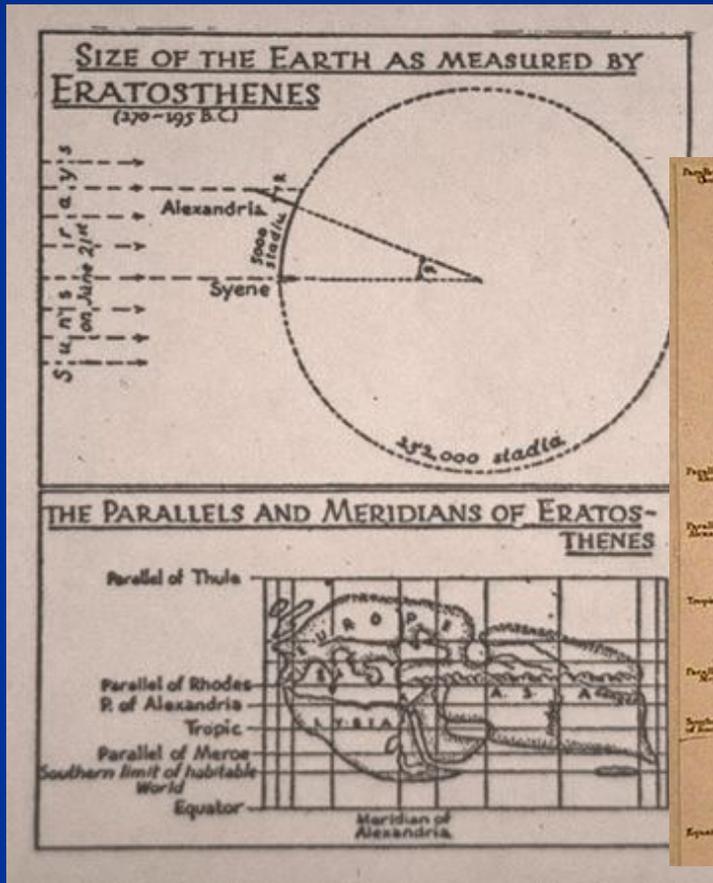
- $R_M = (401 / 1440) R_E$
- $EM = (401 / (2 \pi)) R_E$
- $R_S = (2005 / 18) R_E$
- $ES = (80200 / \pi) R_E$

- 지구 크기를 $R_E = 6\,378\text{ km}$ 라고 할 때,
- $R_M = 1\,776\text{ km}$ (실제값 $1\,738\text{ km}$)
- $EM = 408\,000\text{ km}$ (실제값 $384\,000\text{ km}$)
- $R_S = 740\,000\text{ km}$ (실제값 $696\,000\text{ km}$)
- $ES = 162\,800\,000\text{ km}$ (실제값 $149\,680\,000\text{ km}$)



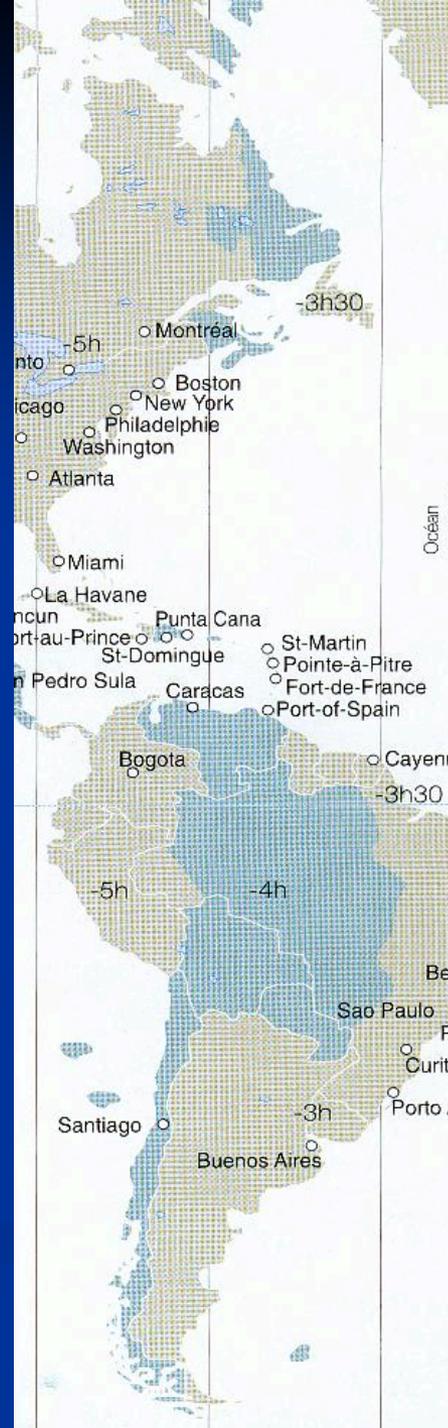
활동 11: 에라토스테네스의 실험

280 - 192 BC



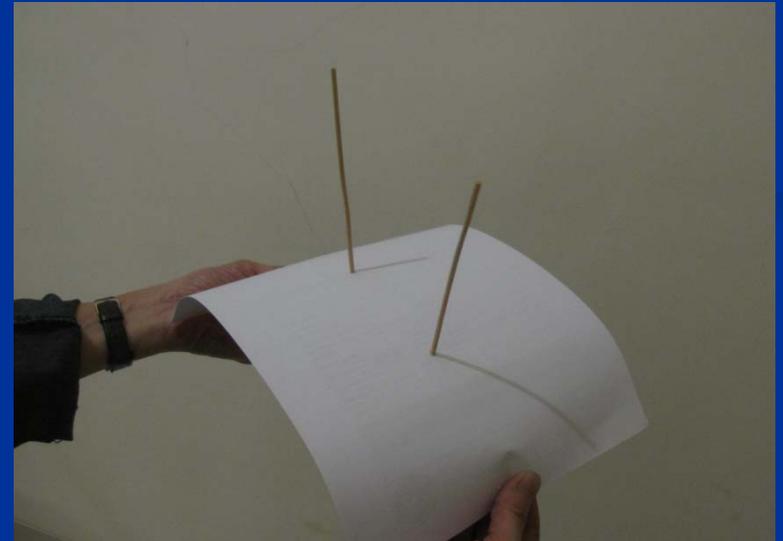
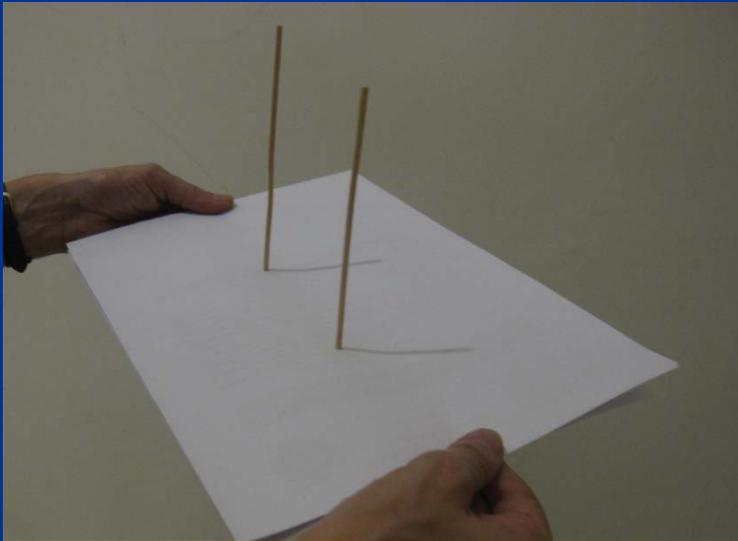
활동 11: 다시 에라토스테네스

- 같은 자오선의 두 도시
- 동시 관측



그림자 다름 ...

- 오! 지구는 둥글다!

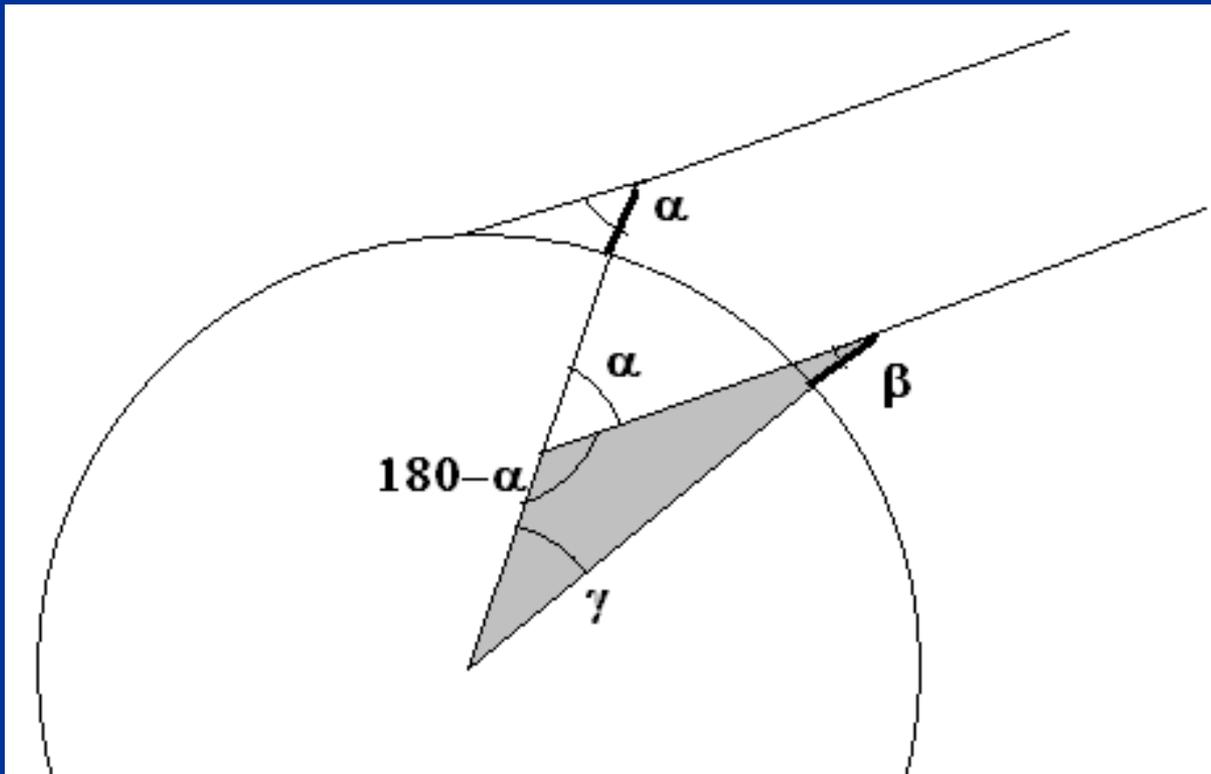


활동 11: 다시 에라토스테네스

- $\pi = \pi - \alpha + \beta + \gamma$

- 그래서 $\gamma = \alpha - \beta$

여기서 α 와 β 는 라디안으로 측정
(180 degrees = π radians)



활동 11: 다시 에라토스테네스

- 수직선 (혹은 막대)와 그 그림자의 길이를 측정



$$\alpha = \arctan (\text{그림자}) / (\text{막대})$$

활동 11: 다시 에라토스테네스

- 비례에 따라

$$2\pi R_E / 2\pi = d / \gamma$$

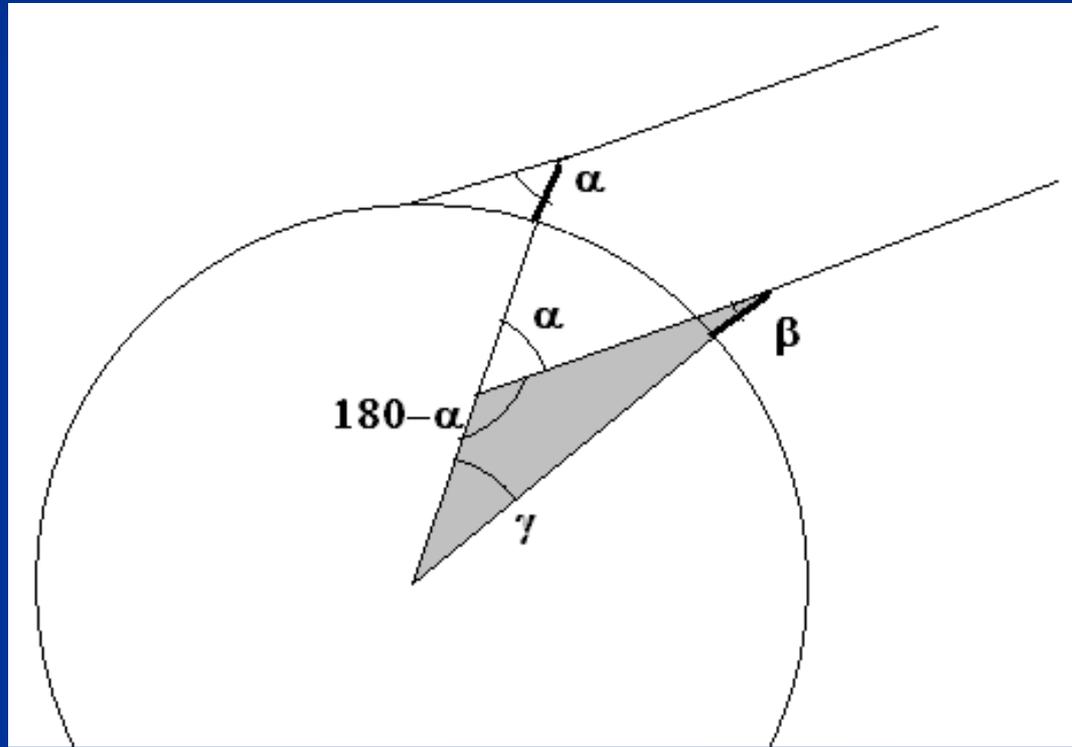
- 정리하면

$$R_E = d / \gamma$$

- γ 는 (라디안으로)

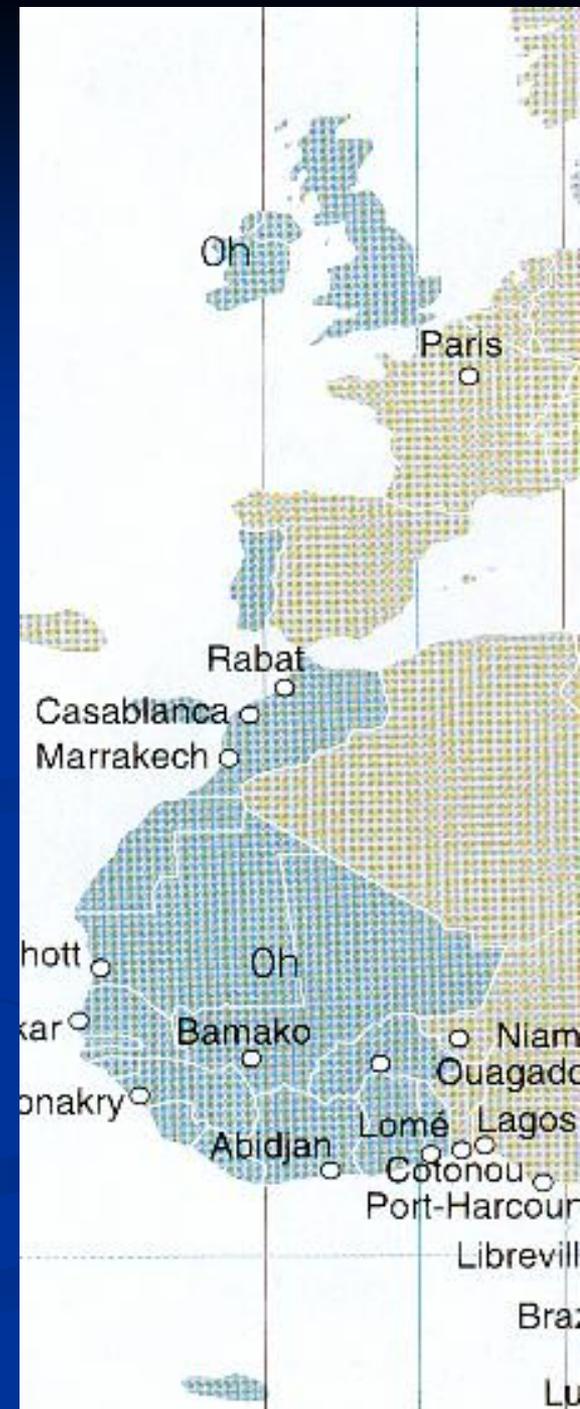
$$\gamma = \alpha - \beta$$

- d 는 지도상 두
도시간 거리



에라토스테네스 방법으로 한 우리 결과

- Ripoll- Barcelona
- $\alpha = 0.5194$ radians
- $\beta = 0.5059$ radians
- $\gamma = 0.0135$ radians
- $d = 89.4$ km
- $R_E = 6\,600$ km (actual 6 378 km)



결론

- 식현상을 이해할 수 있다.
- 지구-달-태양 시스템의 크기 관계를 만들었다.
- 관찰하고 자료를 얻어 분석하여 우주에 대해 더 많이 알아갈 수 있다.



감사합니다!

