

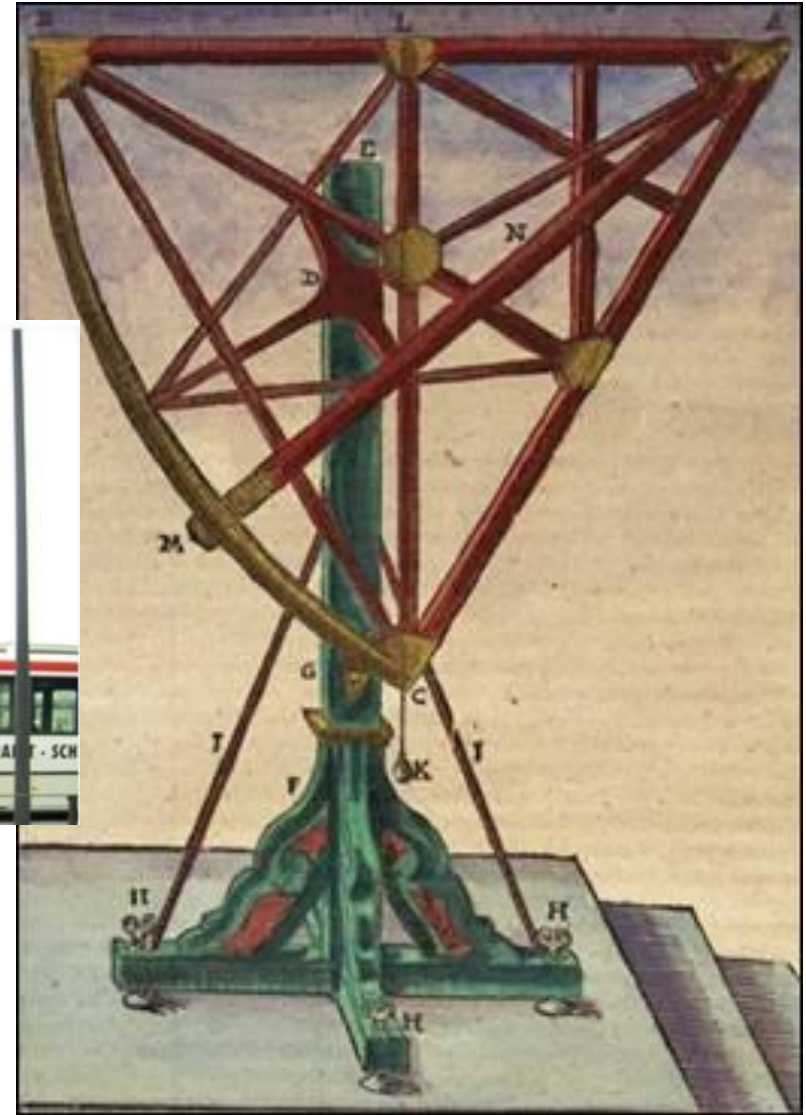
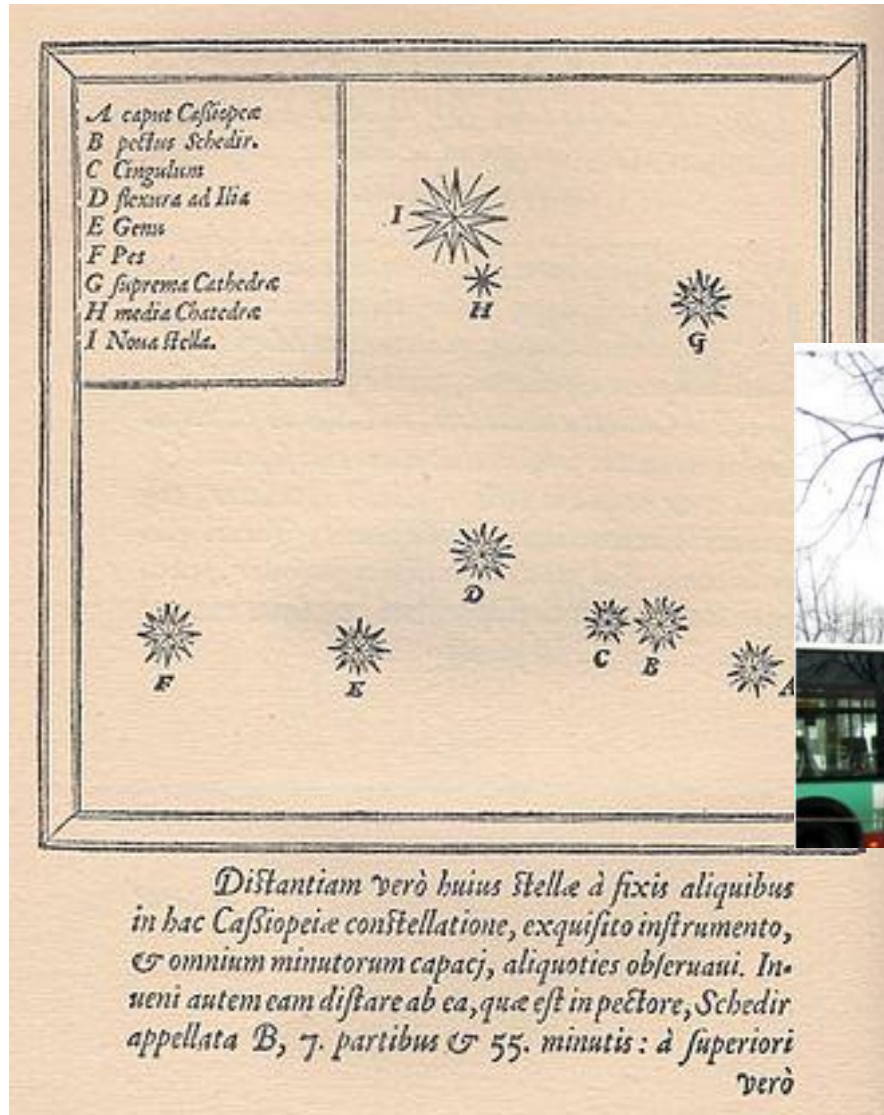
티코 체계와 케플러 체계

# 티코 브라헤

- Tycho Brahe(1546-1601): 덴마크의 천문학자.
- 광학기기의 도움 없이 맨눈으로 밤하늘을 관측한 최후 세대의 과학자.
- 덴마크의 왕이었던 프레데릭 2세의 후원으로 벤 섬에 천문대 우라니보르크("하늘의 성")를 세우고 당대 최고 수준의 천문관측 데이터를 확보.
- 1600년 독일의 수학자이자 천문학자인 요하네스 케플러를 채용, 그때까지 자신이 모은 데이터를 수학적으로 정리하는 일을 맡김.

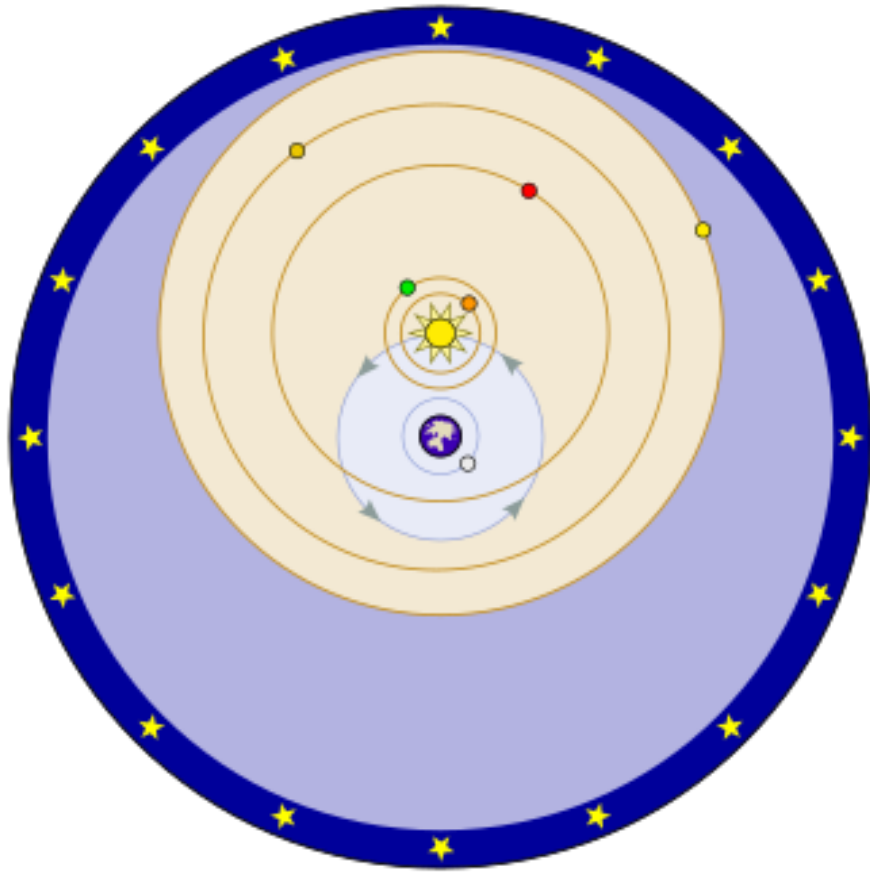


*Tycho Brahe*



브라헤가 발견한 SN1572 초신성 자료와 별을 관측할 때 사용한 육분의

# 티코 체계



- 프톨레마이오스 체계와 코페르니쿠스 체계를 조금씩 섞은 것.
- 코페르니쿠스 체계의 장점을 대부분 수용하는 동시에 지구를 우주의 중심으로 삼은 체계를 개발.
- 달과 태양은 지구 주위를 돌지만 행성 운동의 중심은 태양.
- 경험적 데이터의 예측과 설명에서 코페르니쿠스 체계와 동등.





리치올리의 『새로운 알마게스트』의 권두화. 오른쪽 정의의 여신이 두 우주 구조를 들고 저울질하고 있다. 왼쪽(코페르니쿠스의 구조)보다 오른쪽(티코의 구조를 닮은 리치올리의 구조)의 무게가 더 나가면서 우수함을 강조하고 있다.

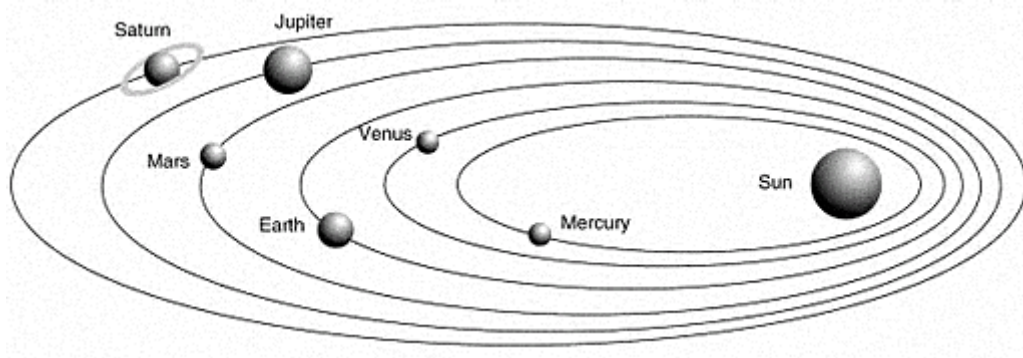
- 티코 사후 적어도 일부 행성이 태양 주위를 돈다는 증거 발견.
- 새롭게 발견된 증거에 부합하면서도 지구가 정지해 있다는 논증에도 부합하는 절충안.
- <https://www.geocentricity.com/>

# 요하네스 케플러



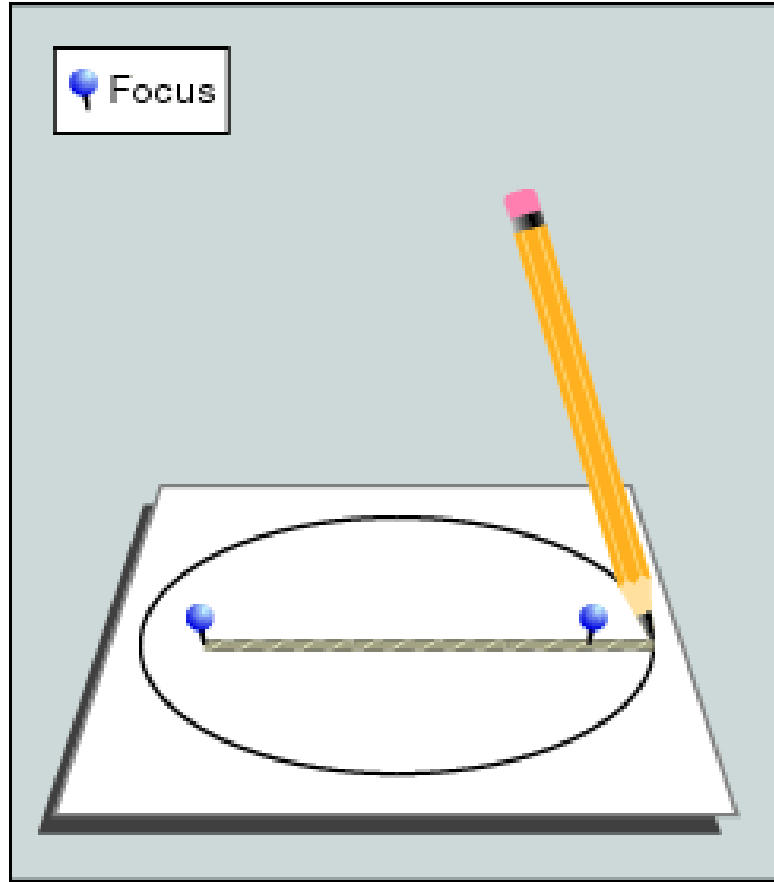
- Johannes Kepler(1571-1630): 독일의 수학자, 천문학자, 점성술사.
- 티코가 20여년에 걸쳐 태양과 달, 행성의 운동에 관해 남긴 방대한 데이터를 토대로 케플러 체계 개발.
- 『Astronomia nova(새로운 천문학 )』(1609).

# 케플러 체계



- 처음에는 완벽한 원운동 사실과 등속운동 사실을 믿었으나 그에 기초한 체계는 화성이 관찰된 위치를 설명하지 못한다고 결론 내리고(8분-60분의 8도의 오차) 이를 포기.
- "화성의 전투": 수년 동안 최소 2절지 수백 장(천 장이 넘는다는 설도 있음)에 걸쳐 70여 차례 반복해서 계산. 1605년 화성 궤도가 타원임을 알아냄.

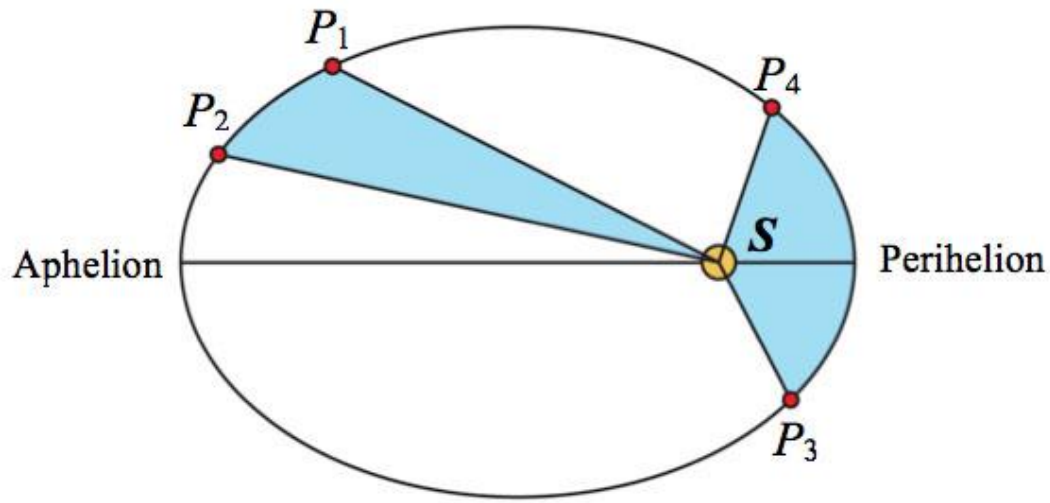
# 타원형 궤도



- 케플러의 행성 운동 제1법칙:  
행성은 태양 주위를 타원형으  
로 돌고 태양이 타원의 초점  
하나가 된다.

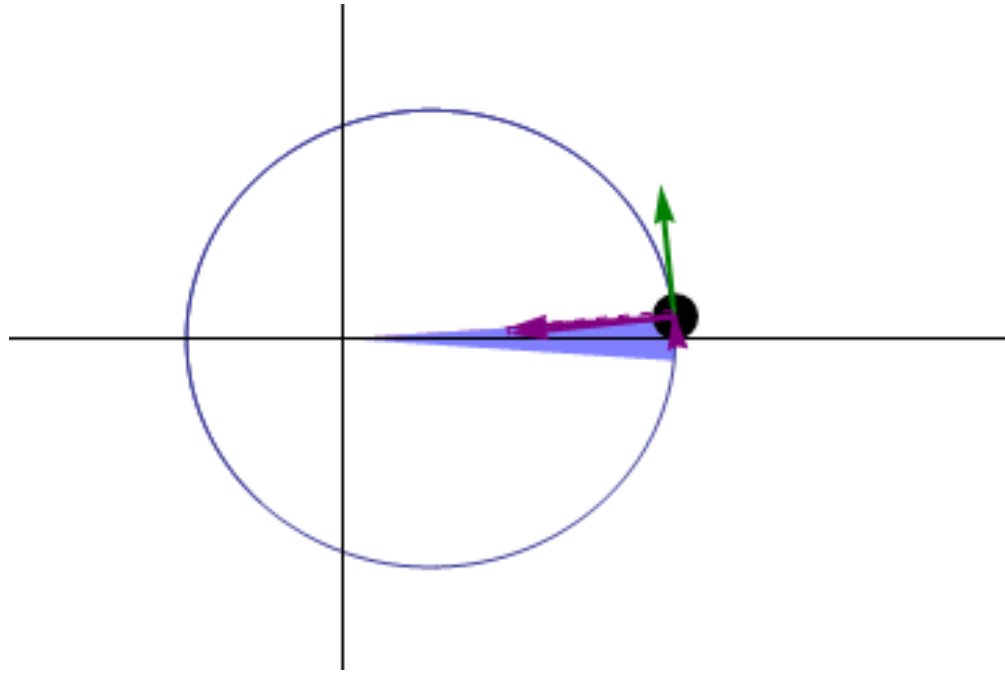


# 다양한 속도

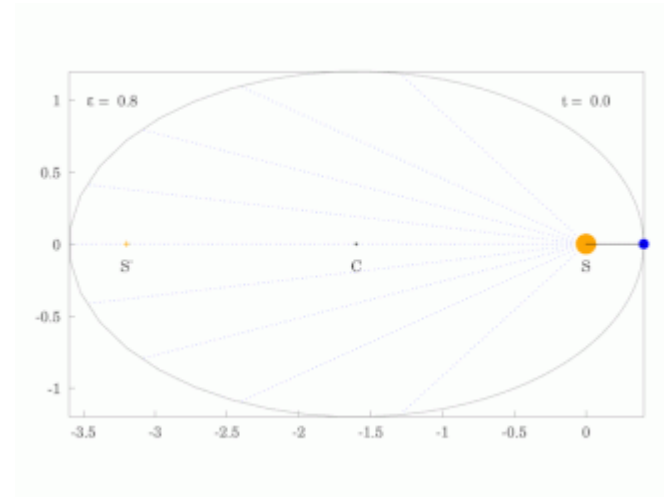
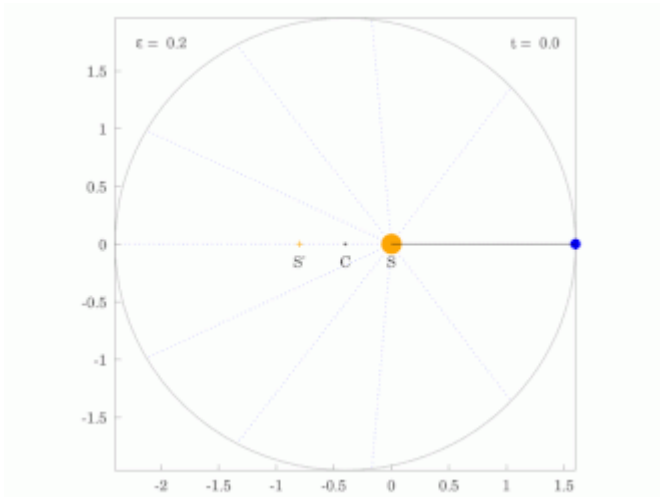
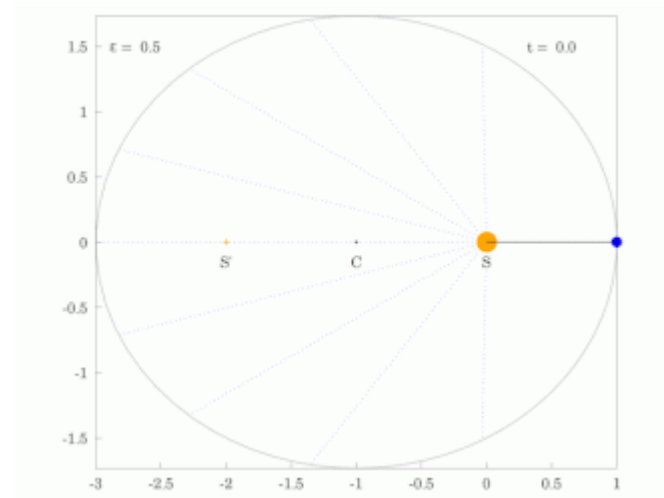
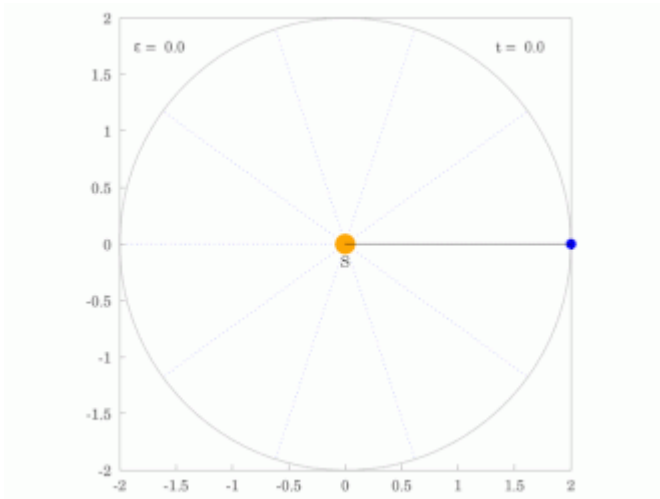


- 케플러의 제2법칙: 행성과 태양을 연결한 선은 같은 시간 동안 같은 면적을 쓸고 지나간다. (행성이 태양 주위 궤도를 구간마다 다른 속도로 움직임)

# 케플러의 제2법칙



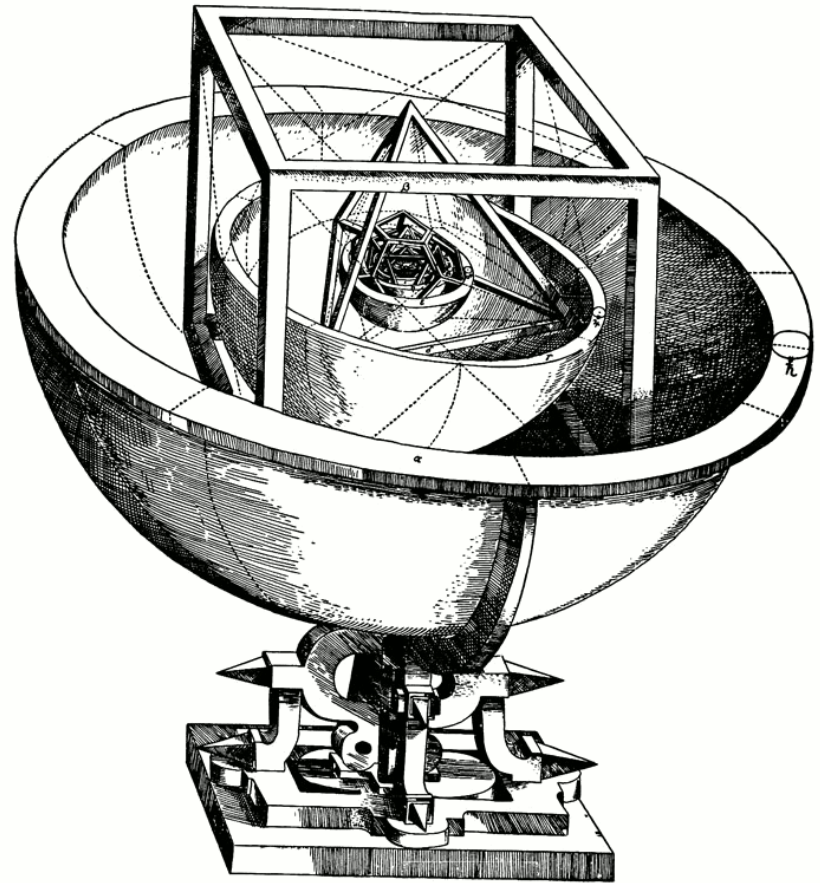
- 행성이 궤도의 특정 지점에서 태양에 가깝게 접근하므로, 행성이 그 궤도 구간은 더 빠르게 이동하고, 태양에서 가장 먼 궤도 구간은 더 느리게 이동.(완벽한 원운동 사실/ 등속운동 사실을 포기)
- 경험적 사실을 완벽하게 예측하고 설명하면서도 프톨레마이오스 체계나 코페르니쿠스 체계보다 훨씬 더 간단함.(주전원, 가상의 원, 이심원, 동시심 등 제거)



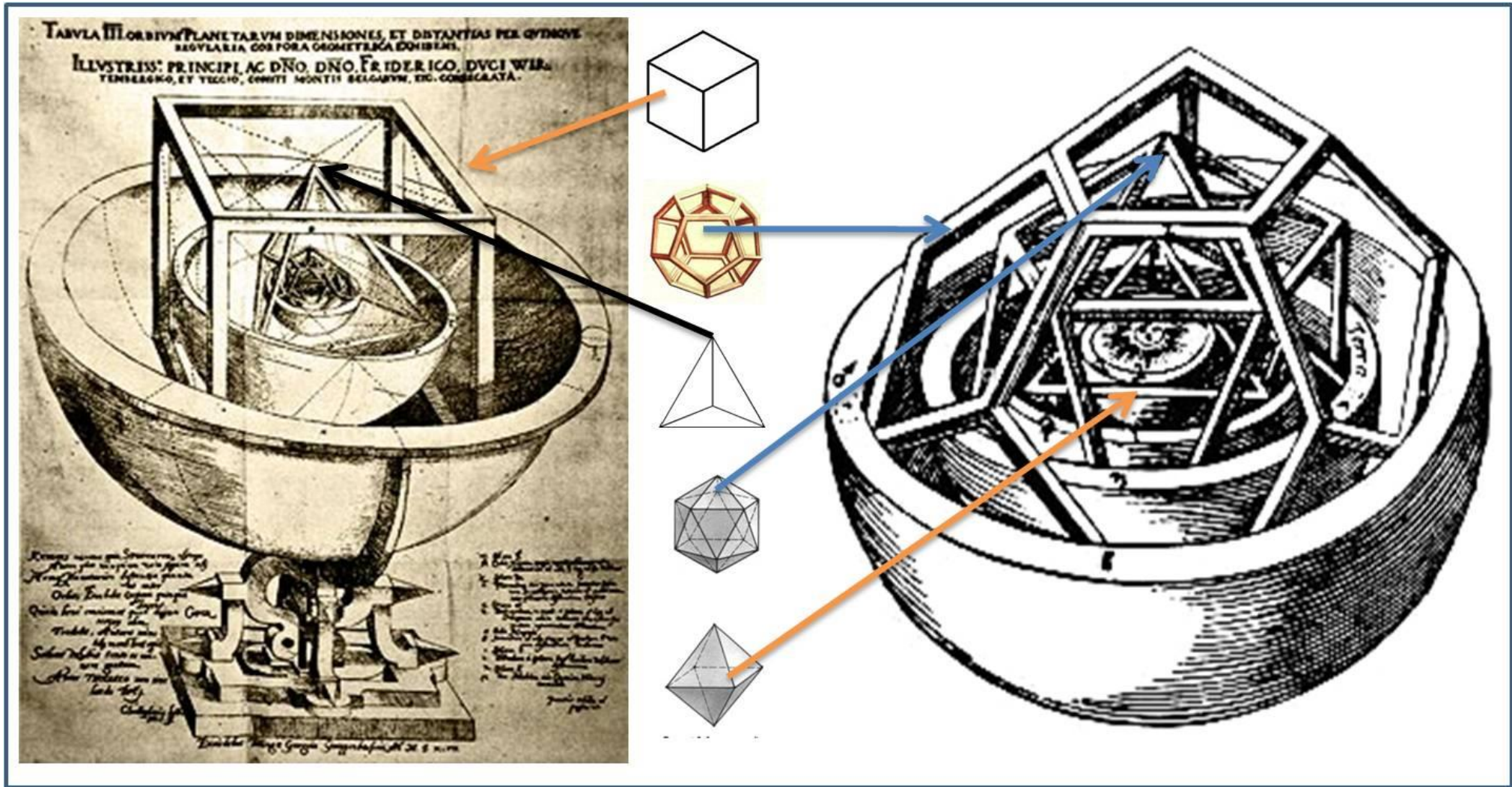
다양한 이심률을 가진 행성의 궤도. 적색 선은 일정한 각속도로 회전하며 행성과 동일한 공전 주기로 회전하며, 각각의 경우에 묘사된 모든 섹터의 면적은 동일하다.  
(지구의 경우 장반경에 대한 단반경의 비율이 99.986%이고 화성의 경우 99.566%)

# 케플러의 동기

- 신의 뜻을 읽어내려는 케플러의 욕구: 신은 왜 여섯 개의 행성(수성, 금성, 지구, 화성, 목성, 토성)을 가진 우주를 창조했을까?/ 신이 행성들 사이의 간격을 굳이 이렇게 띄운 이유는 무엇일까?
- 완벽한 입체(플라톤 다면체): 정6면체/정4면체/정8면체/정12면체/정20면체



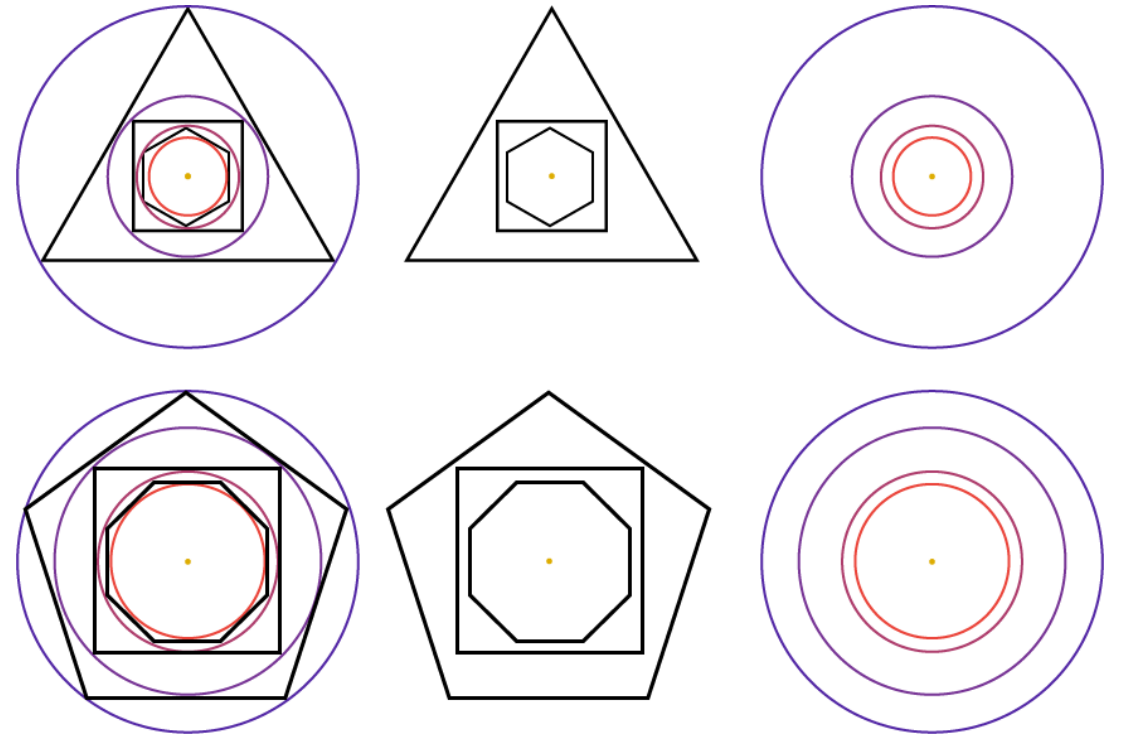




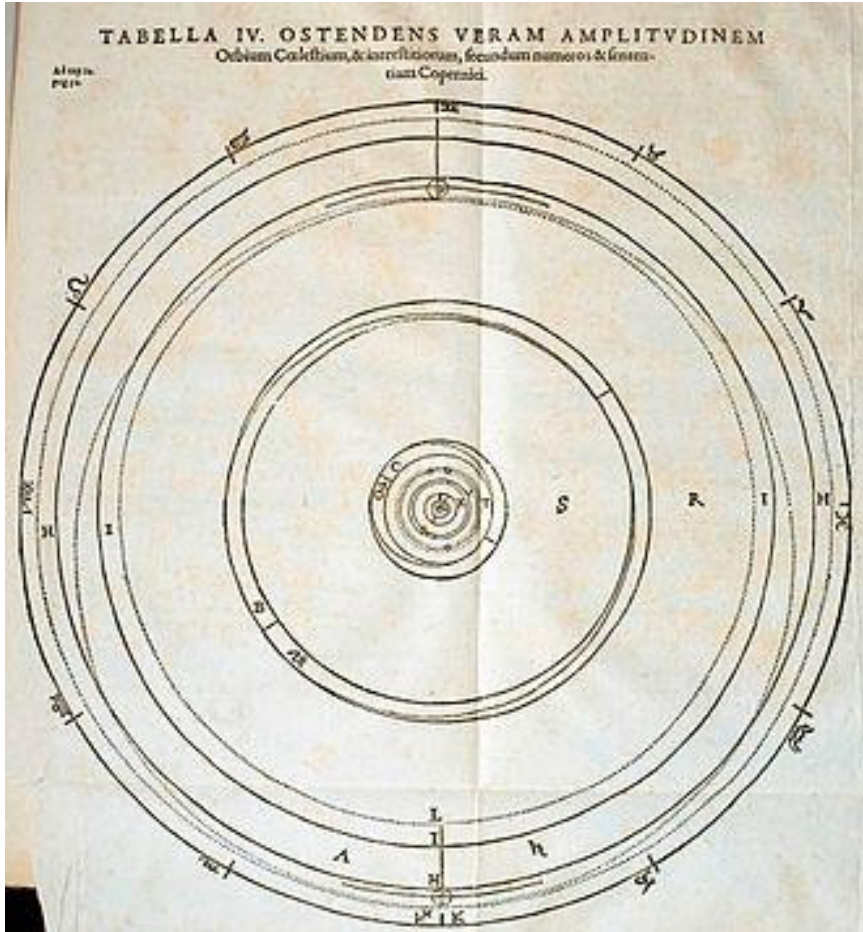
구-정6면체-구-정4면체-구-정12면체-구-정20면체-구-정8면체-구

# 구체와 완벽한 기하학적 입체의 관계

- 최초의 구체가 그 안에 들어갈 정육면체의 크기를 결정하고, 그 정육면체가 다시 그 안에 들어갈 구체의 크기를 결정하는 식으로 각 구체 사이의 실제 간격이 결정됨.
- 구체들 사이의 상대적인 간격은 맨 처음 구체의 크기와 상관없이 일정하다.
- 행성들 사이의 상대적인 간격이 케플러 구조 속 구체들 사이의 상대적 간격을 반영한다고 생각함.(오늘날 실제 관측치와 10% 미만 차이.)



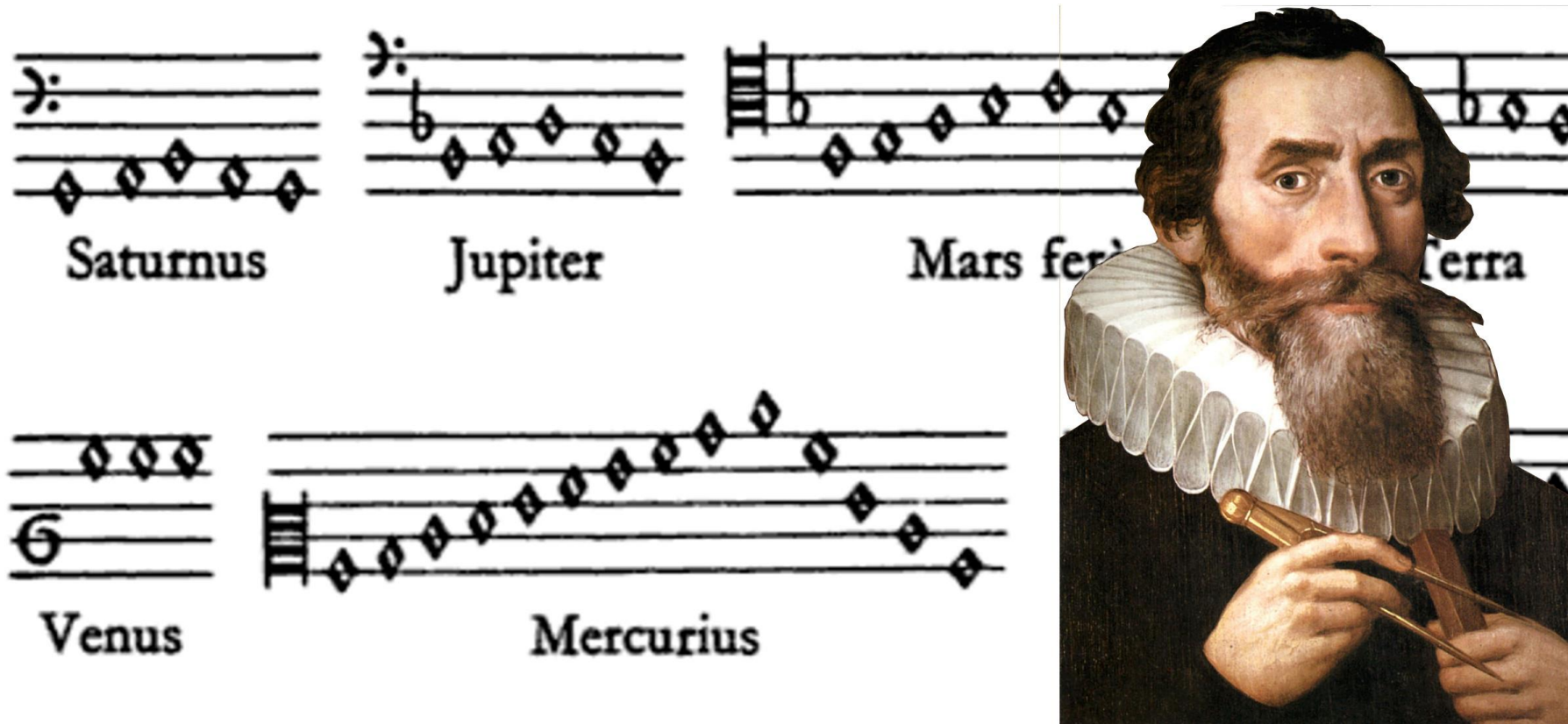
# 신의 기하학적 계획



- 우주는 신의 이미지이며, 태양이 성부, 항성 천구가 성자, 그리고 그 사이의 우주 공간이 성령이라는 믿음.
- 이러한 믿음과 이를 확인하고자 하는 욕구는 케플러가 티코의 조수로 들어간 동기가 됨.
- “케플러의 완벽한 입체 구조는 그저 젊은 시절의 엉뚱한 생각이 아니다. 만일 그랬다면 케플러는 절대 성장하지 못했 다.”(토머스 쿤, 『코페르니쿠스 혁명』 중)



# Kepler's music of the spheres

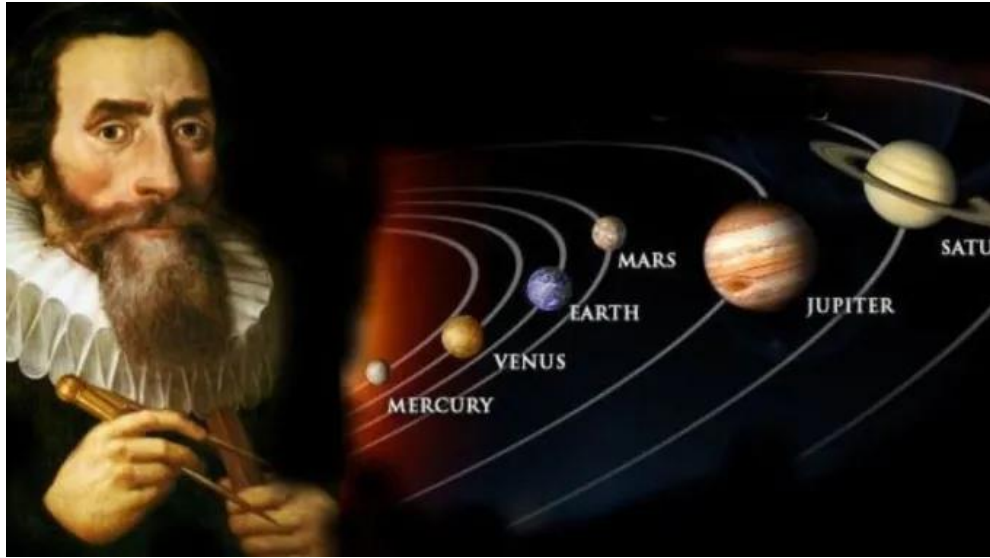


\* 케플러의 제3  
법칙: 행성의 공  
전주기의 제곱  
은 궤도의 긴 반  
지름의 세제곱  
에 비례한다.

- [https://youtu.be/7l\\_o-i5GnRo](https://youtu.be/7l_o-i5GnRo) (3:15 이후)



# 케플러 체계의 수용



- 많은 천문학자들은 경험적 데이터 설명에 대한 케플러의 성취를 인정하면서도 완벽한 원형 등속운동을 고수하여 그의 체계를 수정하고자 함.
- 케플러 체계가 발표된 1609년은 천문학이 일반인들의 관심을 끌지 못하였고, 이듬해 갈릴레이가 망원경으로 발표한 내용을 발표하면서 갈릴레이의 발견에 대한 관심에 케플러의 책이 묻힘.
- 갈릴레이의 발표 직후 카톨릭 교회가 공식적으로 태양중심설을 반대하고 태양중심설과 연관된 모든 모든 논의와 책을 금지.
- 케플러가 1620년대 말 자신의 천문 체계를 토대로 뛰어난 정확성을 가진 천체력 제작. 케플러 체계는 1600년대 중반 완전히 받아들여지게 됨.