

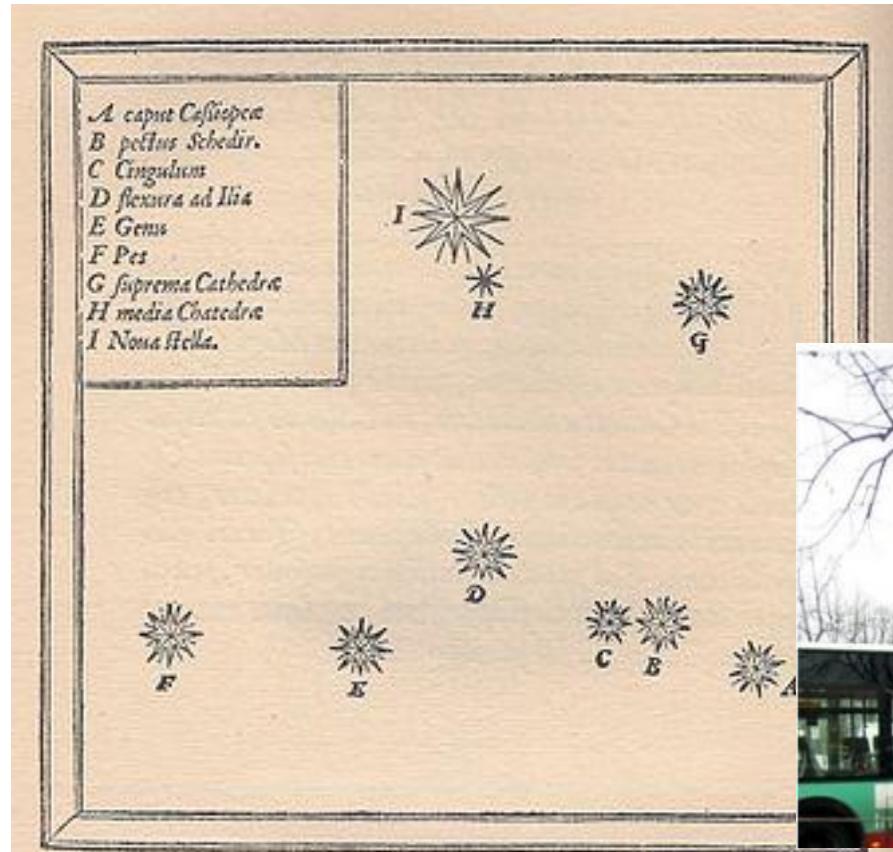
티코 체계와 케플러 체계

티코 브라헤

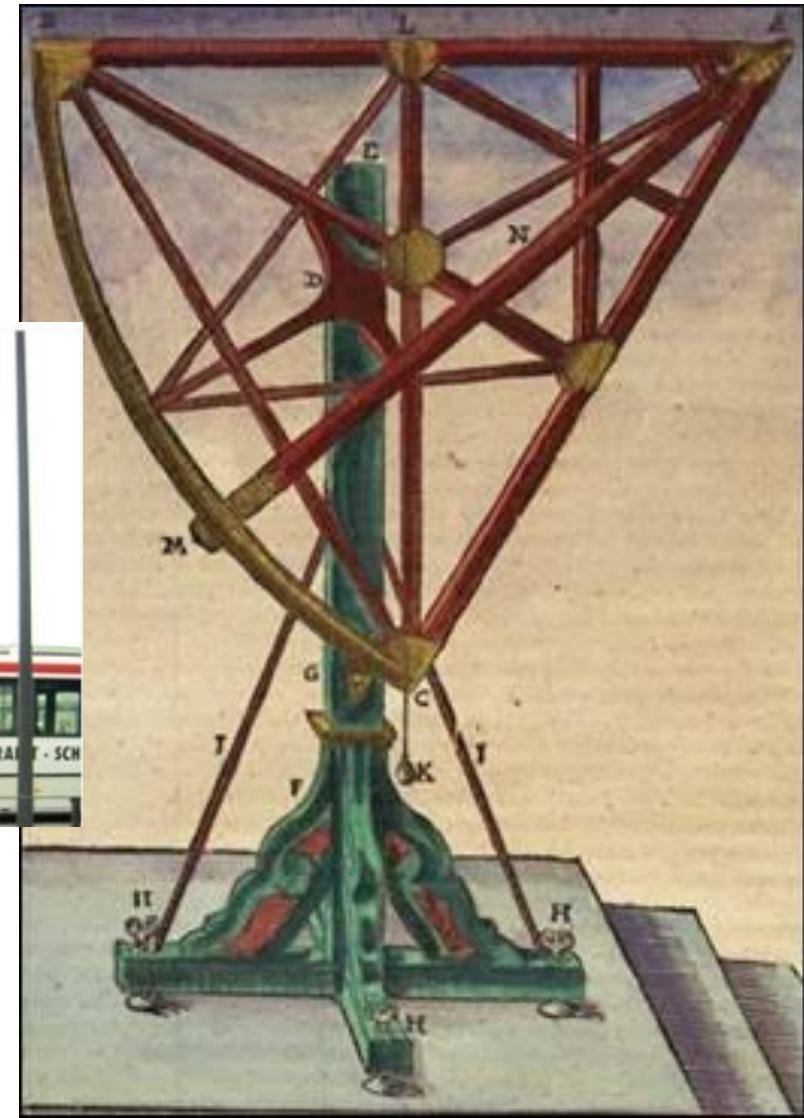
- Tycho Brahe(1546-1601): 덴마크의 천문학자.
- 광학기기의 도움 없이 맨눈으로 밤 하늘을 관측한 최후 세대의 과학자.
- 덴마크의 왕이었던 프레데릭 2세의 후원으로 벤 섬에 천문대 우라니보르크("하늘의 성")를 세우고 당대 최고 수준의 천문관측 데이터를 확보.
- 1600년 독일의 수학자이자 천문학자인 요하네스 케플러를 채용, 그때까지 자신이 모은 데이터를 수학적으로 정리하는 일을 맡김.



Tycho Brahe

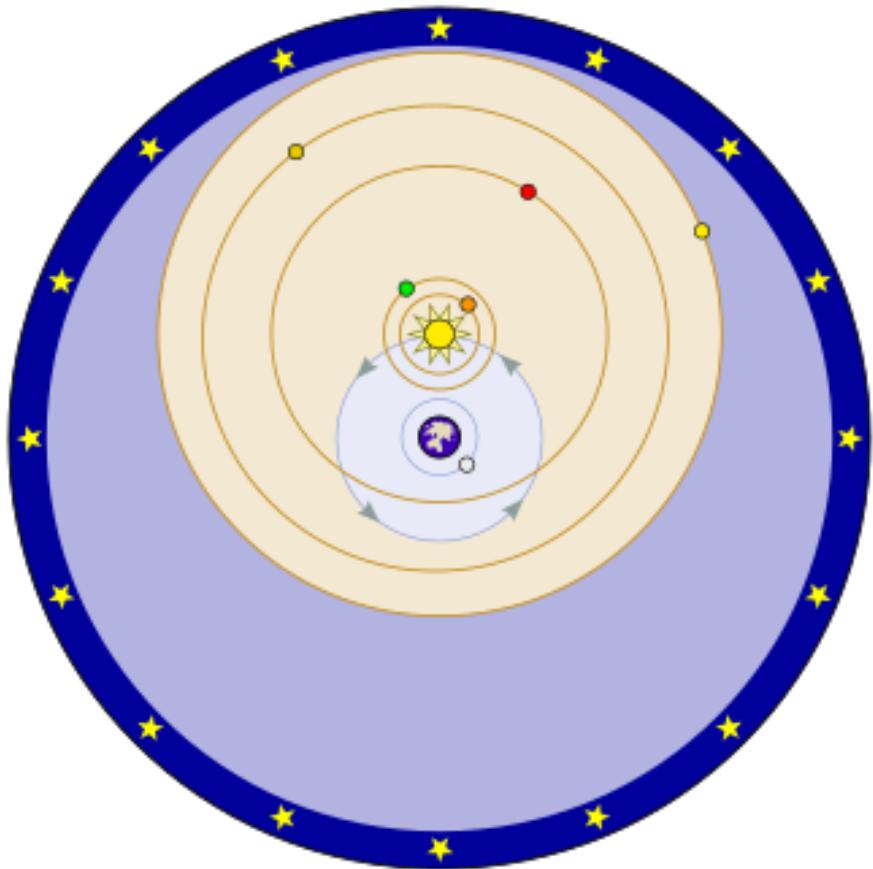


*Distantiam verò huius stellae à fixis aliquibus
 in hac Cassiopeiae constellatione, exquisito instrumento,
 & omnium minutorum capaci, aliquoties obseruani. In-
 ueni autem eam distare ab ea, quæ est in pectore, Schedir
 appellata B, 7. partibus 55. minutis: à superiori
 verò*



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.

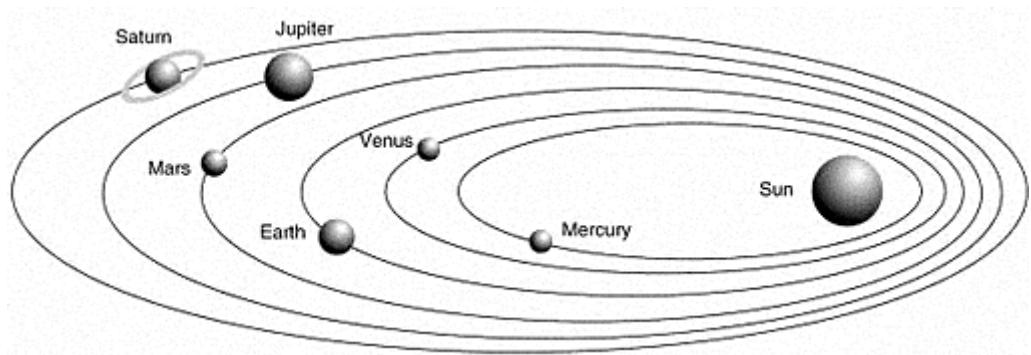
- 티코 사후 적어도 일부 행성이 태양 주위를 돈다는 증거 발견.
- 새롭게 발견된 증거에 부합하면서도 지구가 정지해 있다는 논증에도 부합하는 절충안.
- <https://www.geocentricity.com/>

요하네스 케플러



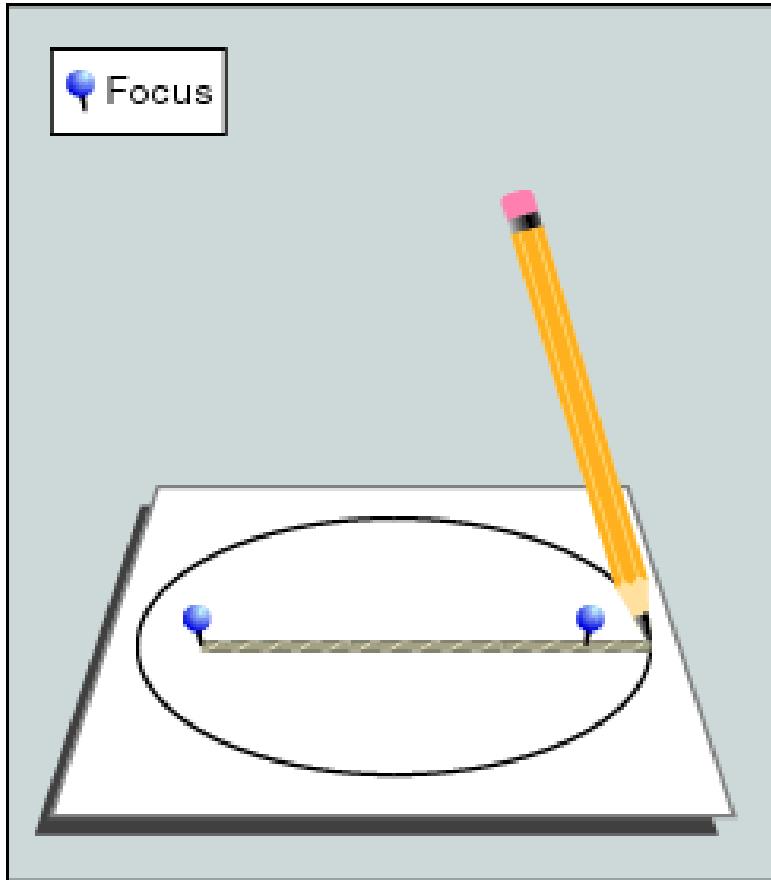
- Johannes Kepler(1571-1630): 독일의 수학자, 천문학자, 점성술사.
- 티코가 20여년에 걸쳐 태양과 달, 행성의 운동에 관해 남긴 방대한 데이터를 토대로 케플러 체계 개발.
- 『Astronomia nova(새로운 천문학)』(1609).

케플러 체계



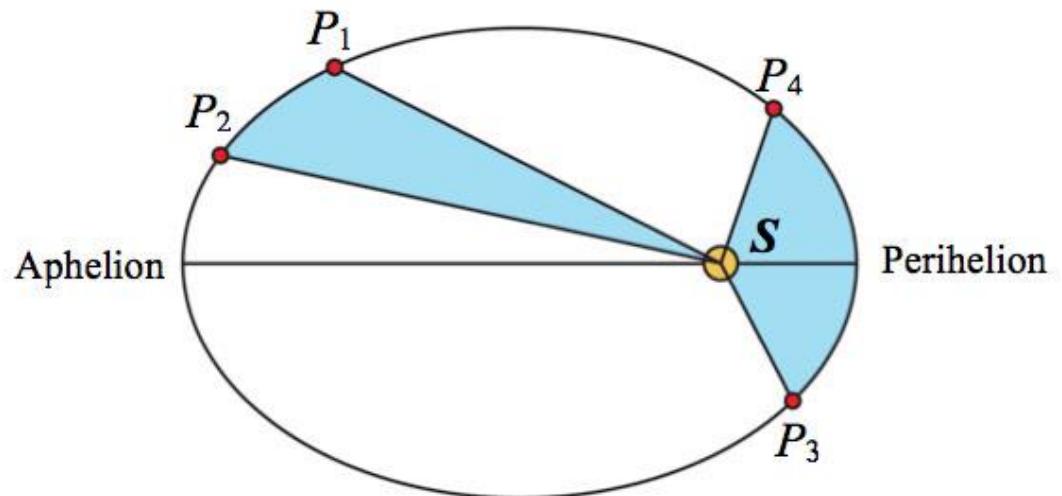
- 처음에는 완벽한 원운동 사실과 등속운동 사실을 믿었으나 그에 기초한 체계는 화성이 관찰된 위치를 설명하지 못한다고 결론 내리고(8분-60분의 8도의 오차) 이를 포기.
- “화성의 전투”: 수년 동안 최소 2 절지 수백 장(천 장이 넘는다는 설도 있음)에 걸쳐 70여 차례 반복해서 계산. 1605년 화성 궤도가 타원임을 알아냄.

타원형 궤도



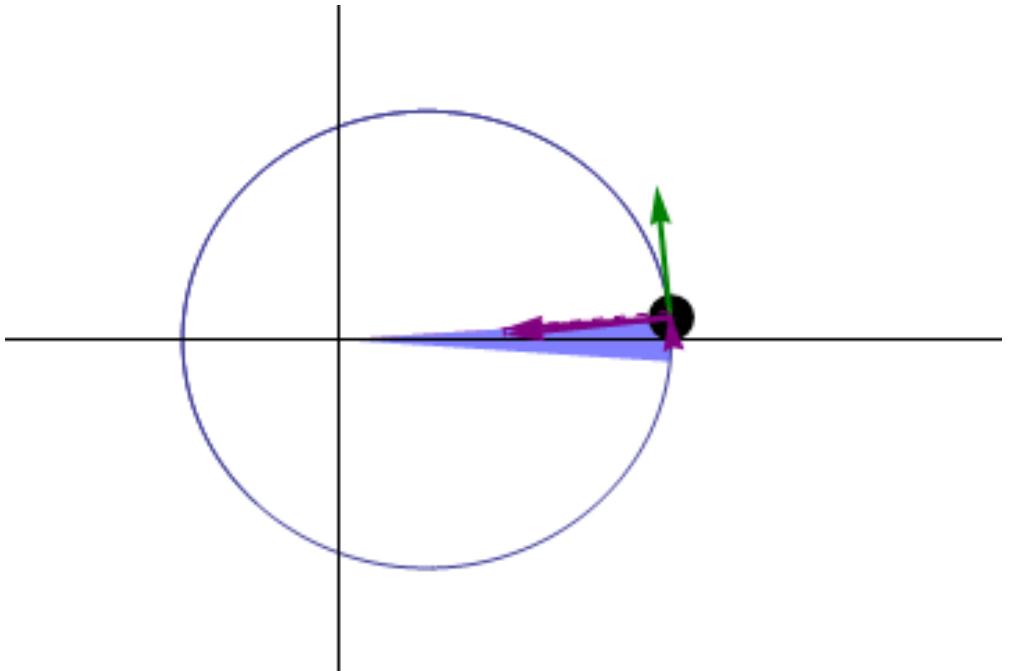
- 케플러의 행성 운동 제1법칙:
행성은 태양 주위를 타원형으
로 돌고 태양이 타원의 초점
하나가 된다.

다양한 속도

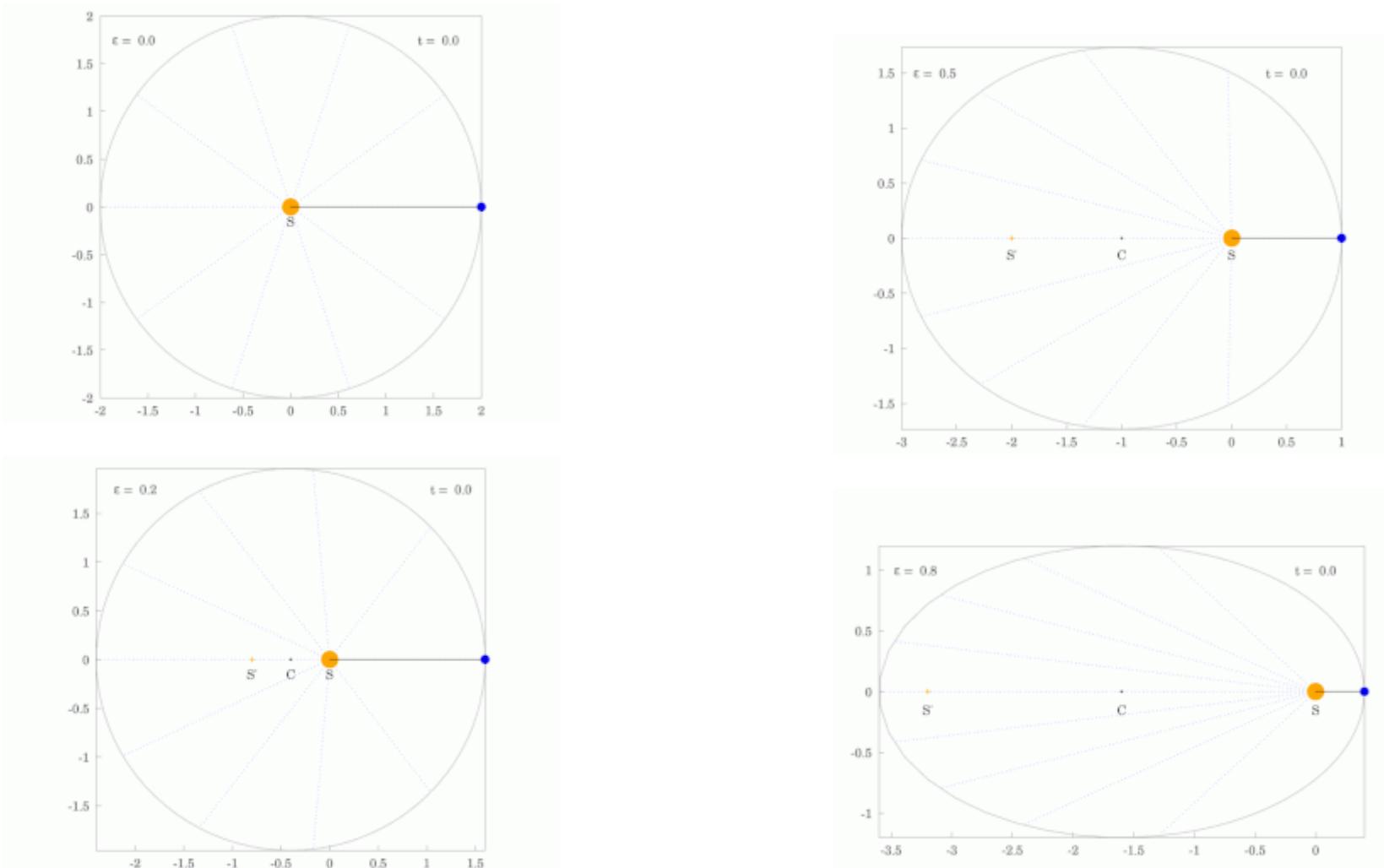


- 케플러의 제2법칙: 행성과 태양을 연결한 선은 같은 시간 동안 같은 면적을 쓸고 지나간다. (행성이 태양 주위 궤도를 구간마다 다른 속도로 움직임)

케플러의 제2법칙



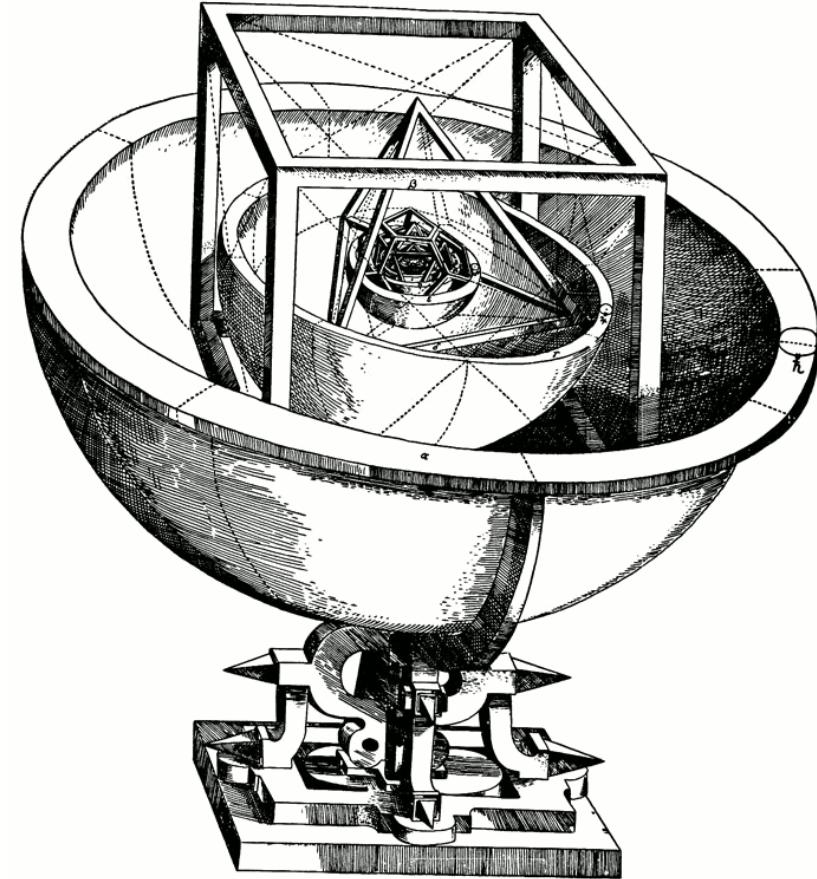
- 행성이 궤도의 특정 지점에서 태양에 가깝게 접근하므로, 행성이 그 궤도 구간은 더 빠르게 이동하고, 태양에서 가장 먼 궤도 구간은 더 느리게 이동.(완벽한 원운동 사실/ 등속운동 사실을 포기)
- 경험적 사실을 완벽하게 예측하고 설명하면서도 프톨레마이오스 체계나 코페르니쿠스 체계보다 훨씬 더 간단함.(주전원, 가상의 원, 이심원, 동시심 등 제거)

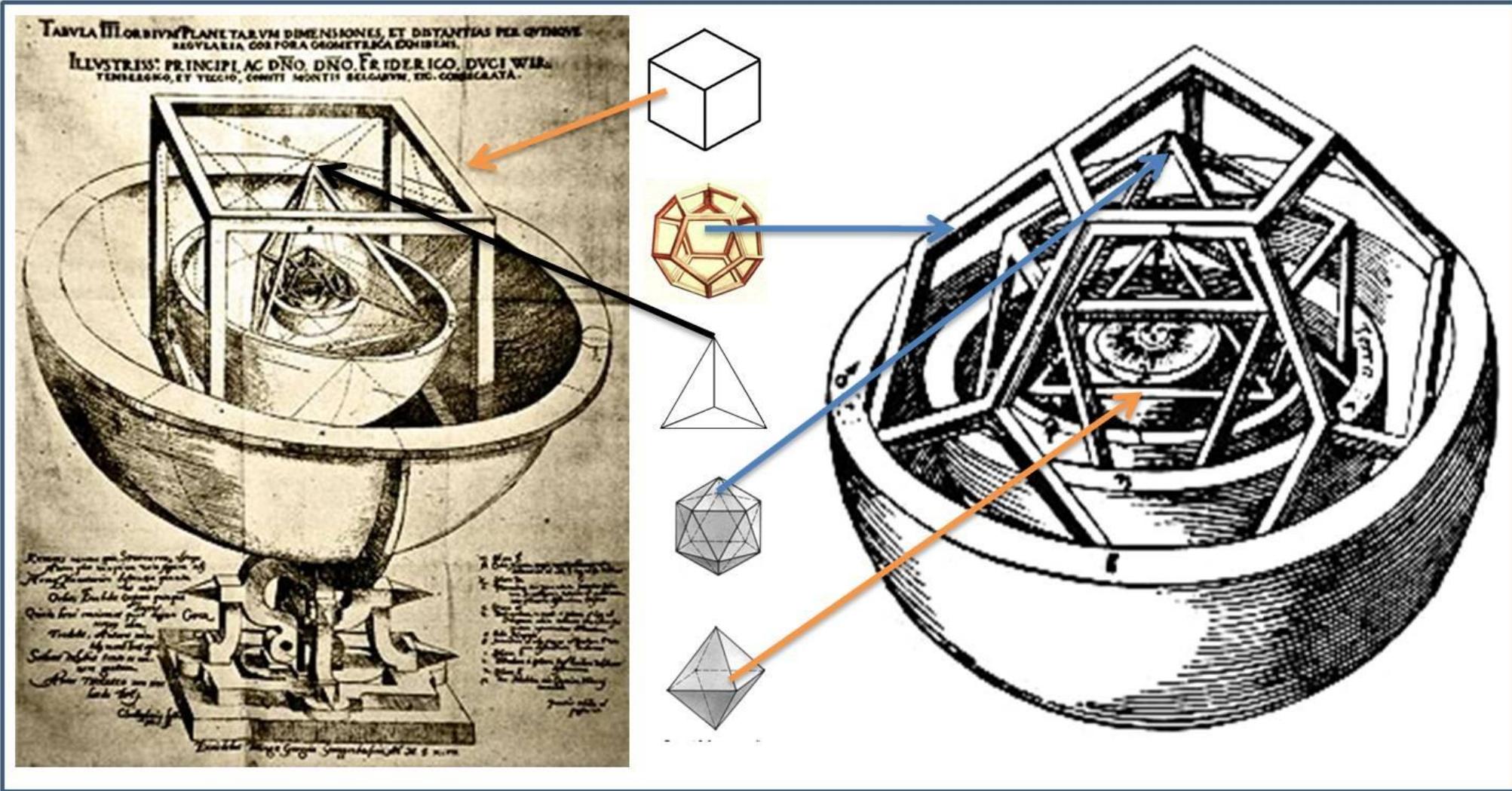


다양한 이심률을 가진 행성의 궤도. 적색 선은 일정한 각속도로 회전하며 행성과 동일한 공전 주기로 회전하며, 각각의 경우에 묘사된 모든 섹터의 면적은 동일하다.
 (지구의 경우 장반경에 대한 단반경의 비율이 99.986%이고 화성의 경우 99.566%)

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

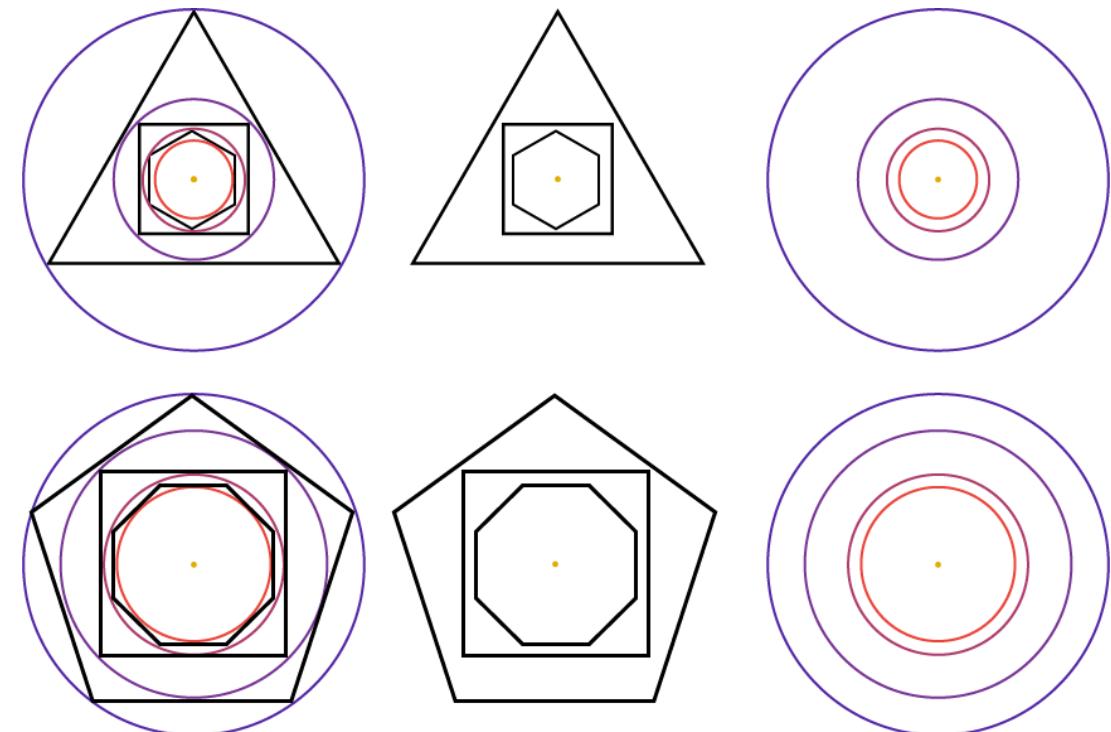




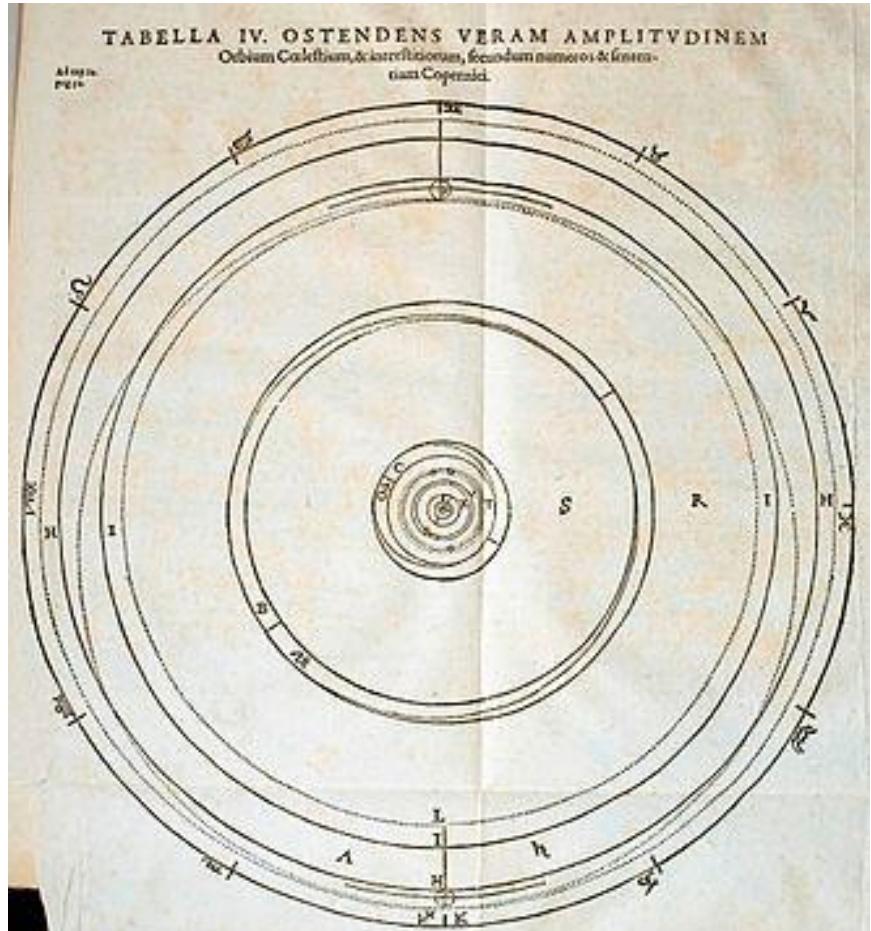
구-정6면체-구-정4면체-구-정12면체-구-정20면체-구-정8면체-구

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.(오늘 날 실제 관측치와 10% 미만 차이.)

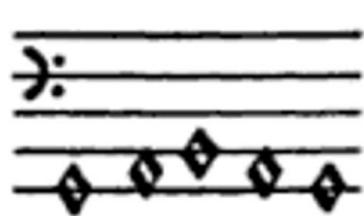


신의 기하학적 계획

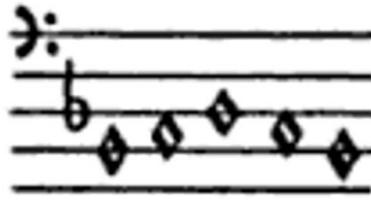


- 우주는 신의 이미지이며, 태양이 성부, 항성 천구가 성자, 그리고 그 사이의 우주 공간이 성령이라는 믿음.
- 이러한 믿음과 이를 확인하고자 하는 욕구는 케플러가 티코의 조수로 들어간 동기가 됨.
- “케플러의 완벽한 입체 구조는 그저 짚은 시절의 엉뚱한 생각이 아니다. 만일 그랬다면 케플러는 절대 성장하지 못했다.”(토머스 쿤, 『코페르니쿠스 혁명』 중)

Kepler's music of the spheres



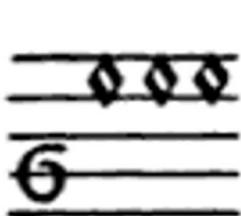
Saturnus



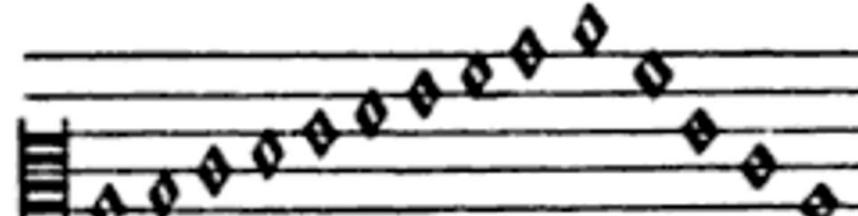
Jupiter



Mars feni Terra



Venus



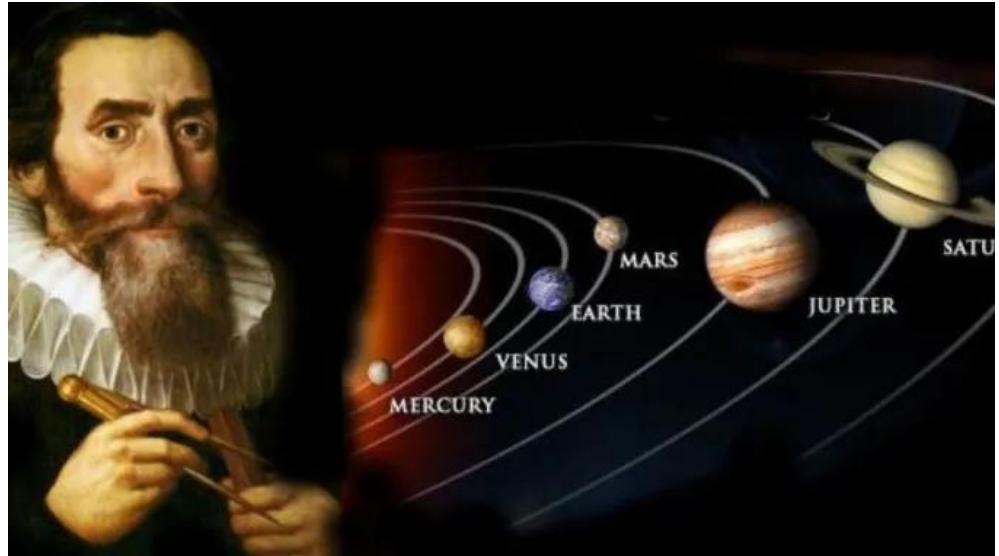
Mercurius



- https://youtu.be/7I_o-i5GnRo (3:15 이후)

* 케플러의 제3 법칙: 행성의 공전주기의 제곱은 궤도의 긴 반지름의 세제곱에 비례한다.

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.