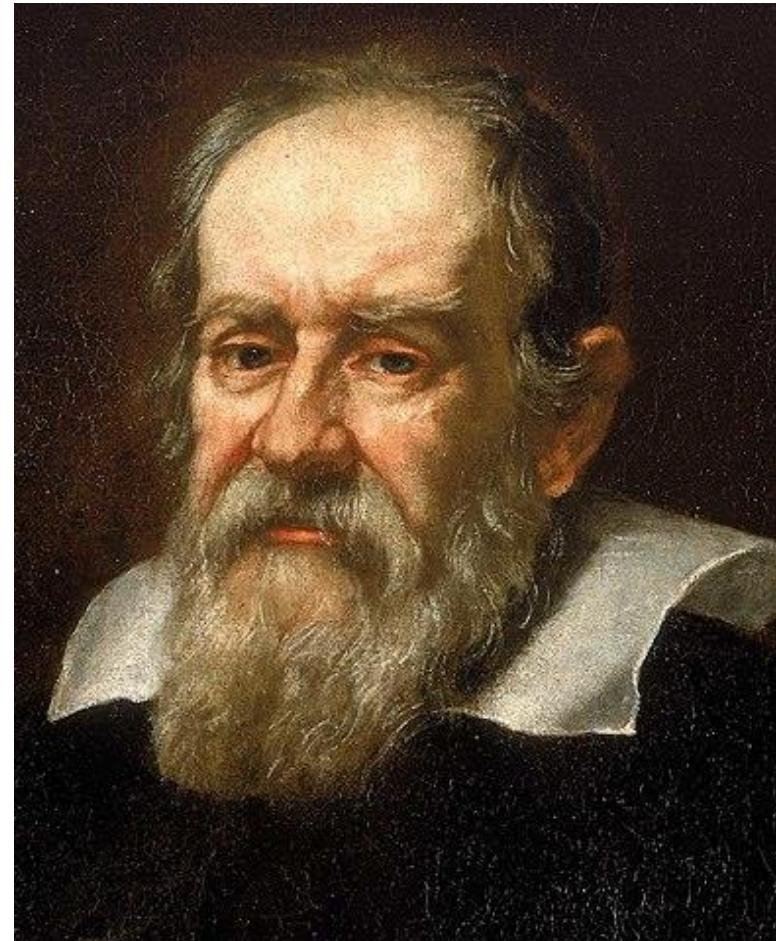


갈릴레이와 망원경의 증거

갈릴레오 갈릴레이

- Galileo Galilei(1564-1642): 이탈리아의 수학자, 물리학자, 천문학자.
- 『시데레우스 눈치우스(Sidereus Nuncius, 항성의 메시지)』(1610)
- 『두 우주 체계에 대한 대화(Dialogo dei due massimi sistemi del mondo)』(1632)

Galileo Galilei



갈릴레이의 망원경

- 네덜란드의 안경제작 기술자인 한스 리퍼세이(Hans Lippershey)가 1608년 망원경 발명. 1609년에는 유럽 전역에 망원경이 널리 보급.
- 1609년 갈릴레이는 망원경을 스스로 제작, 개량하여 밤하늘을 관찰하기 시작함.
- 갈릴레이가 만든 가장 큰 망원경은 지름이 1.75인치(약 4.5센티미터)에 불과했으며, 33배 정도로 물체를 확대할 수 있을 뿐이었다.



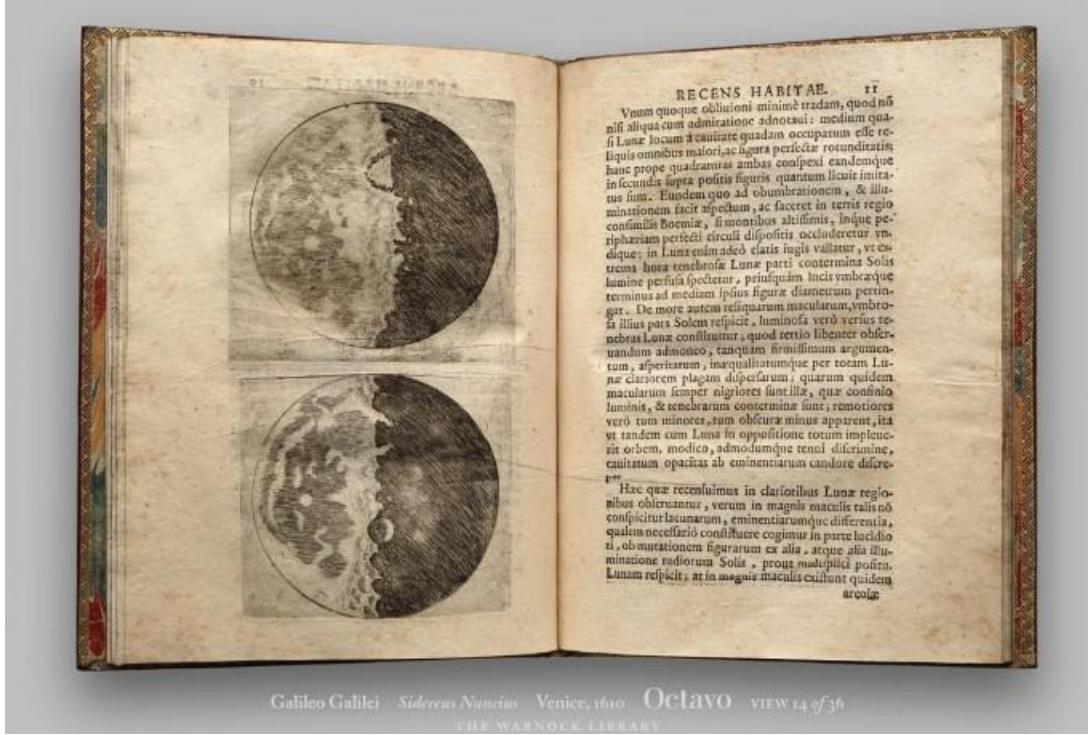


"Galileo Galilei showing the Doge of Venice how to use the telescope," by Giuseppe Bertini, 1858.

갈릴레이의 발견

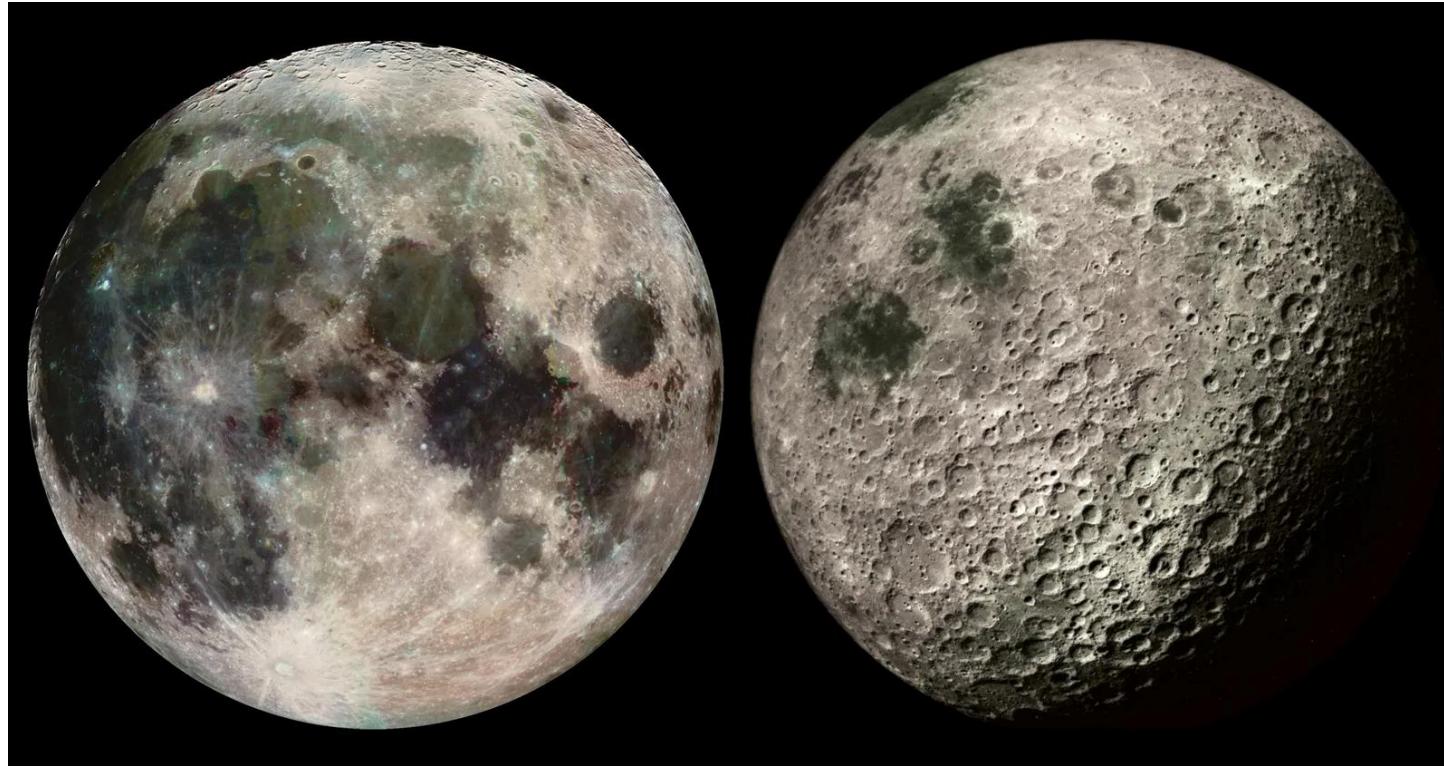
- 1) 달의 산맥
- 2) 태양흑점
- 3) 토성의 고리
- 4) 목성의 위성
- 5) 금성의 위상
- 6) 수많은 별

달의 산맥

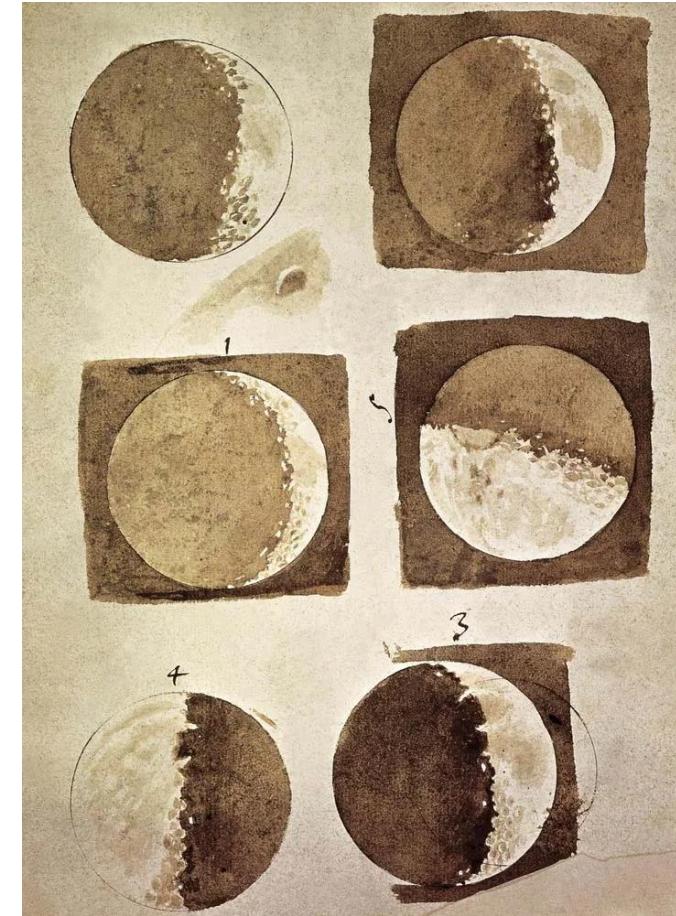


1610년 베니스에서 출판된 Sidereus Nuncius 의 달 삽화

- 달의 크레이터(crater), 산맥, 평원 등 발견.
- 달이 지구와 비슷한 암석질 물체로 보인다는 사실은 아리스토텔레스의 우주관(에테르설)에 수정 요구.
- 암석으로 이루어진 달이 계속 움직인다는 사실은 지구 역시 움직일 수 있는 가능성 제기.



(왼쪽) 목성을 향해 가는 갈릴레오 우주선이 촬영한 지구의 달 근처.
(오른쪽) 달의 뒷면과 가까운 쪽의 일부가 보이는(오른쪽 위), 아폴로 16호
우주선이 촬영한 사진.

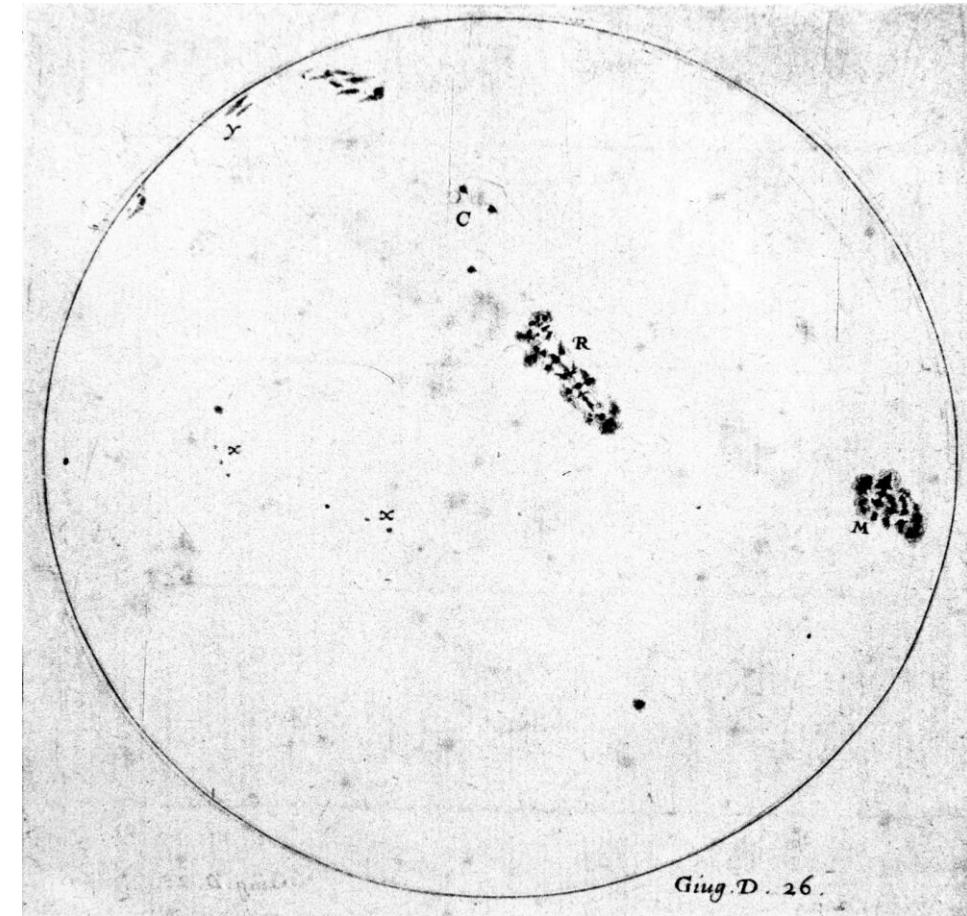


갈릴레오의 달 스케치

태양흑점

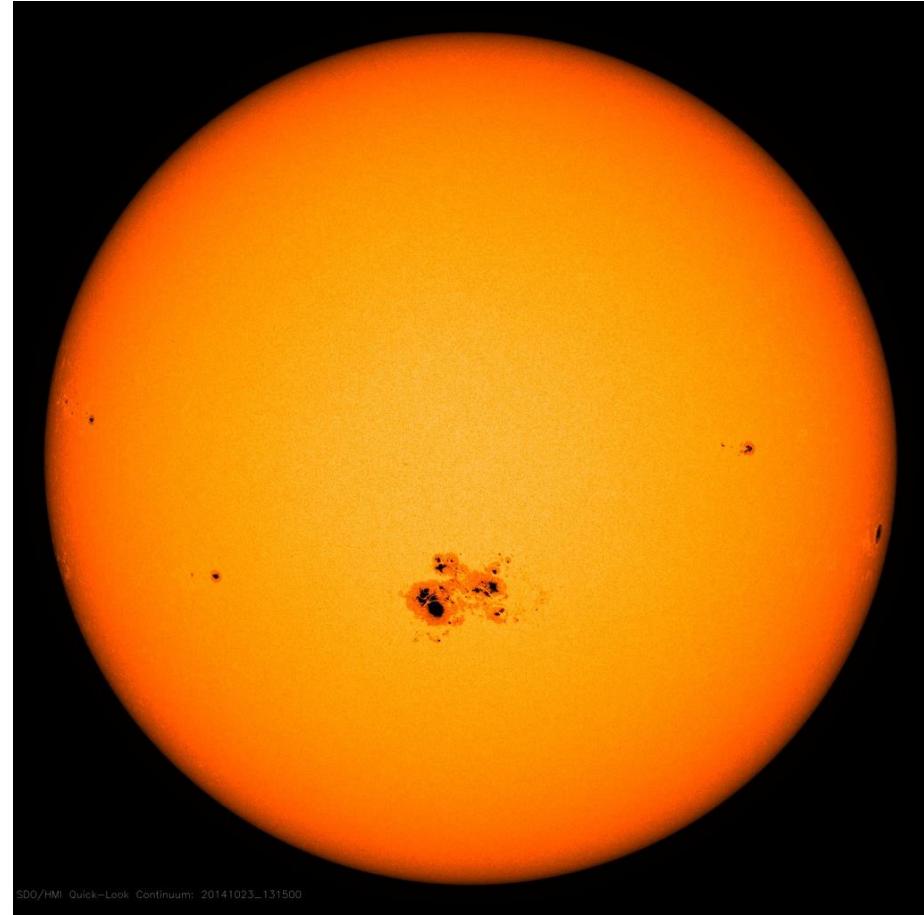


1613년 6월 2일-7월 8일까지 갈릴레오가 기록한 태양 흑점 스케치

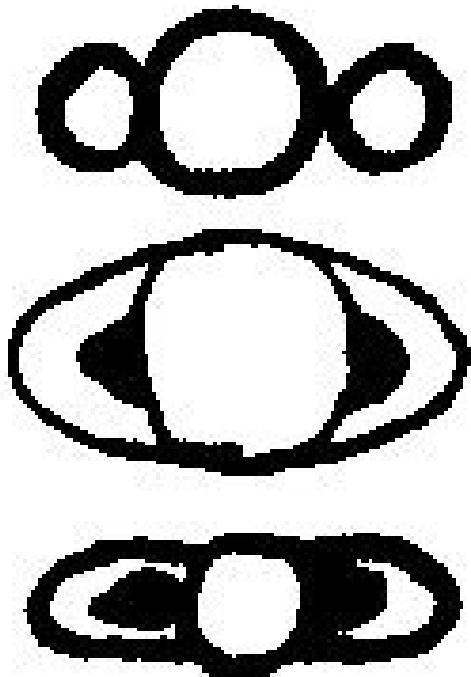


『Istoria e dimostrazioni intorno alle macchie solari e loro casuali』
("흑점과 그 속성에 관한 역사와 시연" 또는 "흑점에 관한 편지") (1613)

- 망원경을 통해 본 태양의 이미지를 흰색 종이에 투사하여 관찰.
- 달 위 영역에 있는 태양에 흑점이 있다는 사실은 달 위 영역이 아리스토텔레스 세계관의 믿음과는 달리 변함 없이 완벽한 영역이 아닐지도 모른다는 가능성 제기.

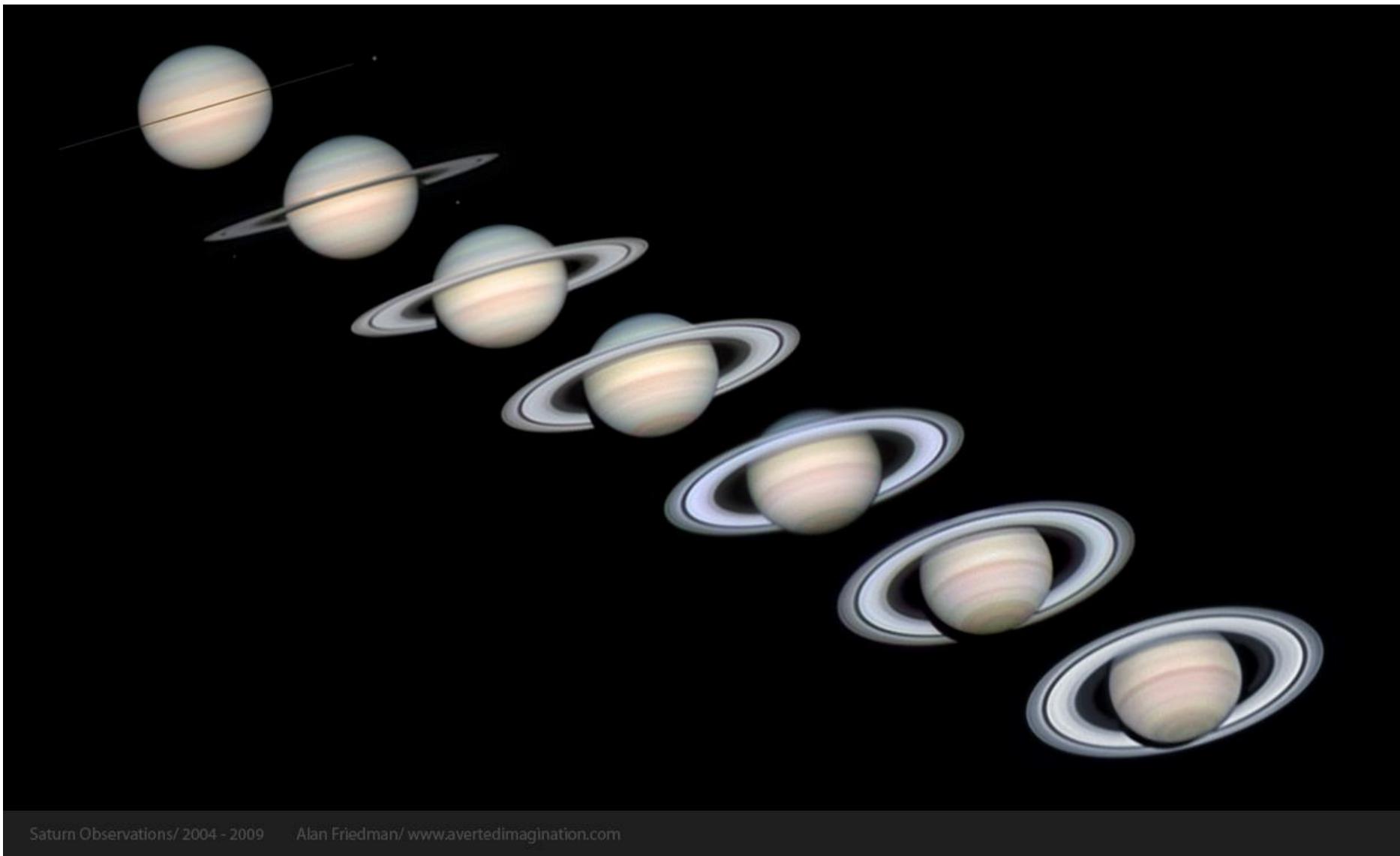


토성의 고리



These are sketches of three drawings Galileo made of Saturn through his primitive telescope. ("New Worlds," Couper & Henbest, p.86.)

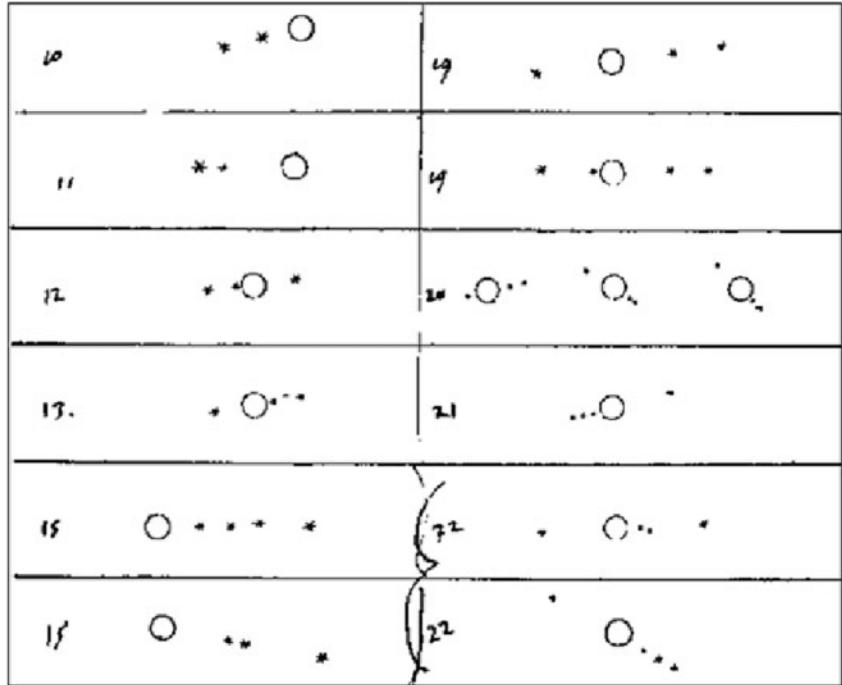
- 토성의 옆구리가 손잡이나 귀가 달린 듯 튀어나온 것을 발견.
- 천체는 에테르로 구성되고 에테르는 완벽한 구 모양이라는 아리스토텔레스의 세계관에 변화 요구.



Saturn Observations/ 2004 - 2009

Alan Friedman/ www.avertedimagination.com

목성의 위성



13 Sketches that Galileo made of Jupiter and the changing positions of its four (Galilean) moons from night to night



- 목성 주위의 시간에 따라 위치가 변하는 4개의 점광원을 목성의 위성이라고 추론.
- “메디치가의 별들”이라고 이름 붙임 (지금은 갈릴레오 위성으로 불림).



갈릴레이 위성 4개를 합성하여 크기를 비교한 사진. 위에서부터 이오, 유로파, 가니메데, 칼리스토.

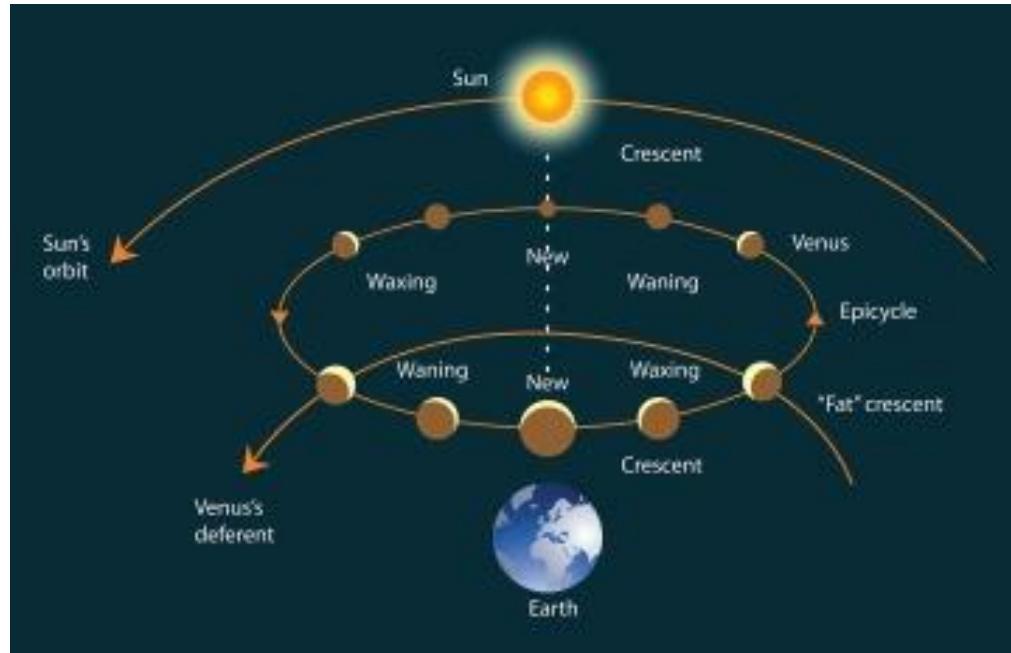
- 목성의 위성은 우주의 회전운동의 중심이 오직 하나가 아님을 증명하는 증거.
- 우주의 중심 주위를 완벽한 원형으로 움직이는 에테르의 본질적 성질에 의문 제기.
- 달이 지구 주위를 움직이고 지구가 태양 주위를 움직인다는 태양중심설을 지지.

금성의 위상 변화

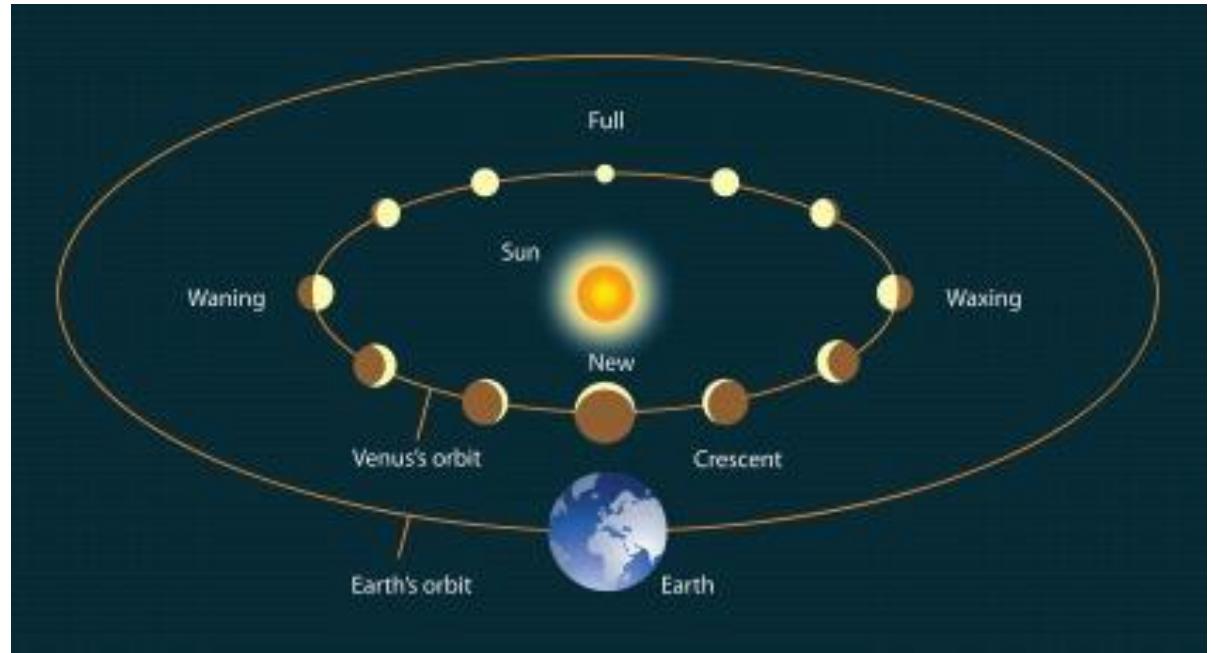


- 금성의 모양과 크기 변화를 최초로 관찰.
- 프톨레마이오스 체계가 옳다면 금성은 기껏해야 초승달 모양으로 보일 뿐 반달이나 $\frac{3}{4}$ 달, 보름달 모양으로는 변할 수 없다.
- 태양중심설을 가장 극적으로 지지하는 증거.

프톨레마이오스/코페르니쿠스 체계의 금성



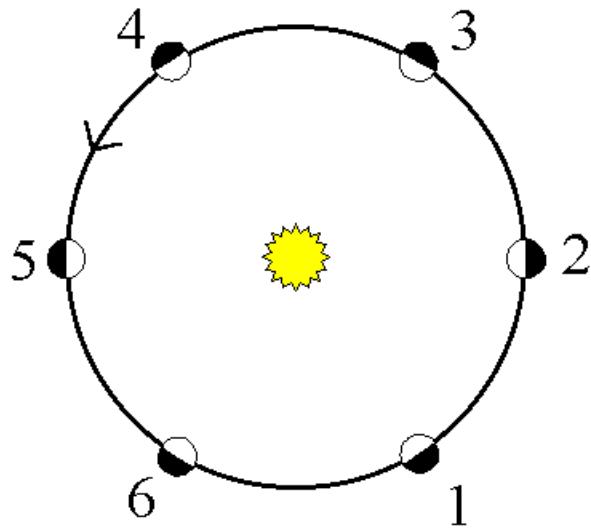
프톨레마이오스 체계에서는 태양, 금성이 지구를 공전하는 데 걸리는 시간을 똑같이 맞춤. 금성 주전원의 중심과 지구, 태양이 항상 일직선으로 정렬. 그렇게 되면 금성의 밝은 부분이 언제나 지구를 등지게 된다.



코페르니쿠스 체계에서는 금성이 내행성이며 금성의 공전 주기(225일)가 지구의 공전 주기보다 짧다는 점 때문에 금성의 다양한 위상 변화가 설명 가능하다.

) ♦ • • ♦ (

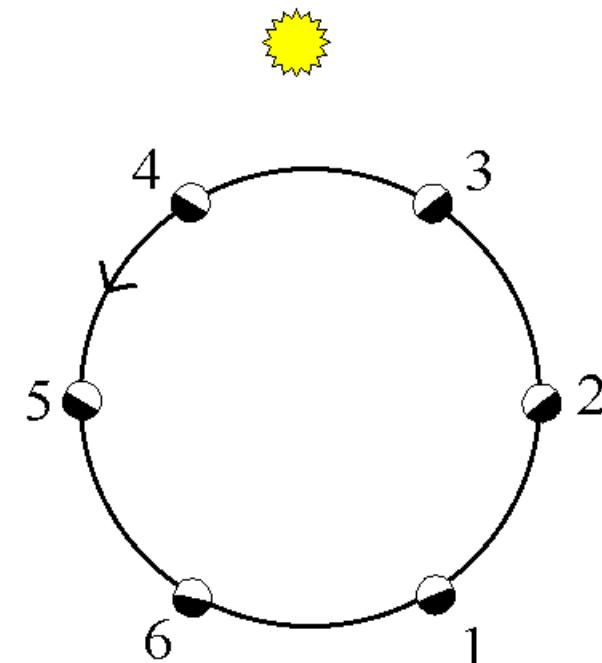
6 5 4 3 2 1



Copernican System

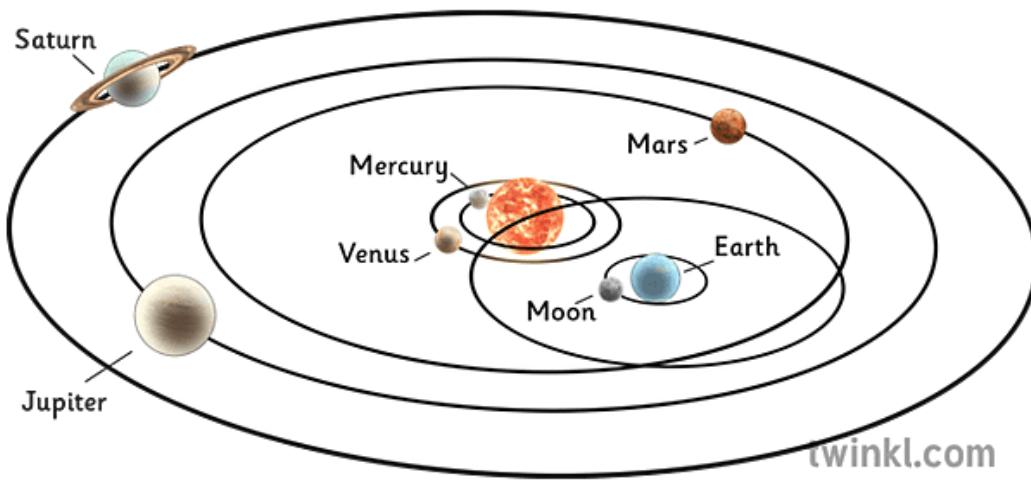
) ♦ • • ♦ (

6 5 4 3 2 1



Ptolemaic System

이론의 미결정성



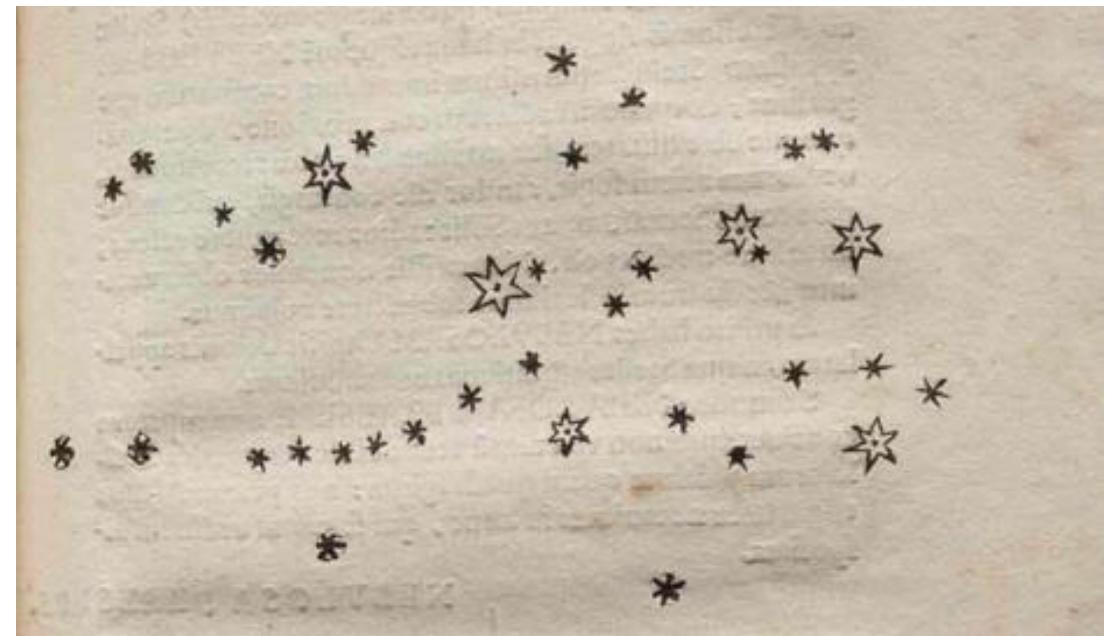
티코 체계

- 금성의 위상 변화는 코페르니쿠스 체계뿐 아니라 티코 체계나 금성만 태양 주위를 도는 수정된 프톨레마이오스 체계를 확증하는 증거가 될 수도 있다.
- 이용 가능한 증거가 어떤 한 이론이 옳다고 특정하지 못함.
- 그러나 프톨레마이오스 체계에 중대한 변화를 요구.

수많은 별



수없이 많은 별은 우주가 추측
하던 것보다 훨씬 더 크고 어쩌
면 무한함을 암시.



갈릴레이 발견의 수용

- 갈릴레이는 망원경으로 발견한 내용 대부분을 1610년에서 1613년 사이에 발표. 국제적으로 유명해짐.
- 코페르니쿠스 체계에 대한 (도구주의적 태도가 아닌) 실재론적 태도를 암시한 것이 문제가 됨.
- 1615년 조수(밀물과 썰물)에 기초해 지구의 운동을 설명하는 또 다른 논증 발표. (실제로는 틀림)
- 1616년 교회가 (실재론적) 태양중심설을 공식적으로 금지. “철학적으로 터무니없으며, 공식적인 이단”
- 벨라르미노 추기경이 개인적으로 갈릴레오를 면담, 경고함.

『두 우주 체계에 대한 대화』(1632)



- 사그레도: 교양 있는 중립적인 시민
- 살비아티: 코페르니쿠스의 지동설 지지자, 갈릴레오의 분신
- 심플리치오: 아리스토텔레스의 이론 및 프톨레마이오스의 천동설 지지자

『두 우주 체계에 대한 대화』(1632)의 앞부분. 왼쪽부터 아리스토텔레스, 프톨레마이오스, 코페르니쿠스.

- 심플리치오: 그러나 그들이 태양 주위를 도는 징후는 무엇입니까?
- 살비아티: 이것은 화성, 목성, 토성의 3개의 외부 행성이 태양과 반대 일 때는 항상 지구에 아주 가깝고 태양과 결합할 때는 매우 멀리 있다는 것을 발견한 것으로 추론됩니다. 이러한 접근과 후퇴는 화성이 가까이 있을 때 가장 멀리 있을 때보다 60배나 크게 보이는 순간에서 알 수 있습니다. 다음으로, 금성과 수성은 태양 주위를 공전해야 하는 것이 확실합니다. 왜냐하면 그것들은 결코 태양으로부터 멀리 떨어지지 않기 때문이며, 금성의 모양 변화가 결정적으로 증명하듯 이 태양 너머에서 그리고 지금은 이쪽에서 볼 수 있기 때문입니다...
- 사그레도: 나는 지구의 일주 운동에 의존하는 것보다 지구의 이 연간 운동으로 인해 발생하는 훨씬 더 놀라운 일을 들을 수 있기를 희망합니다.
- 살비아티: 당신은 실망하지 않을 것입니다...

갈릴레이와 카톨릭 교회의 갈등



로베르토 벨라르미노 추기경

“존엄하신 추기경(벨라르미노)은 위의 갈릴레이에게, 전술된 견해는 오류이며 그와 같은 견해를 포기하는 것이 좋다고 경고했다. 그 직후 위원회는 다음과 같이 지시하고 명령했다. 그(갈릴레이)는 전술한 바와 같이, 태양이 세계의 중심이고 돌지 않으며 지구는 돌고 있다는 견해를 완전히 포기해야 한다. 그는 지금부터 말과 글을 포함하여 어떤 방식으로든 그 견해를 지속적으로 주장하거나 가르치거나 옹호하지 말아야 한다. 그렇지 않을 경우 추기경위원회의 제재가 가해질 것이다. ...갈릴레이는 이러한 지시에 따르고 순종할 것을 약속했다.”

-1616년 2월 26일 로마 교황청 추기경위원회 의사록 중.



- 1616년 종교 재판소에서 코페르니쿠스의 견해를 이단으로 판정하고 그의 『천구의 회전에 관하여』를 금서 목록에 올림.
- 1632년 출간된 『두 개의 주요 세계 체계에 관한 대화』로 갈릴레이가 종교 재판소 회부.
- 1633년 갈릴레오가 공개 석상에서 참회를 강요 받음. 이후 사망할 때까지 연금 상태 유지.
- 사후 장례식을 하거나 묘비를 세우는 것을 금지한다는 명령을 받음.

"... 태양이 세계의 중심이고 움직이지 않으며 지구는 세계의 중심이 아니고 움직인다는 거짓 의견을 완전히 버릴 것이며, 전술한 이론을 말이나 글 등 어떤 방식으로든 옹호하거나 가르치려 해서는 안 된다는 요지의 명령을 이 성청(聖聽)이 저에게 사려 있게 암시한 뒤에도, 그리고 전술한 교리가 성서에 배치된다고 저에게 통보한 뒤에도, 저는 이미 단죄된 이 교리를 논의하고 이들에 관한 어떠한 해답도 제시하지 않은 채 그 교리를 지지하는 매우 강력한 주장을 도출하는 한 권의 책을 써서 출판했습니다. 그리고 그 사실이 원인이 되어 저는 이단, 즉 태양이 세계의 중심이고 움직이지 않으며 지구는 중심이 아니고 움직인다는 것을 주장하고 믿었다는 강력한 의심을 성청으로부터 받았습니다. 따라서 저에 대해 정당하게 제기된 이 강력한 의심을 초기경 예하와 믿음 있는 모든 기독교도들의 마음에서 제거하고자, 성실한 마음과 거짓 없는 믿음으로 저는 앞서 말한 과오와 이단, 교회에 배치되는 다른 모든 과오와 교파 전반을 포기하고 저주합니다. 앞으로도 이단의 의혹을 받을 수 있는 그 어떤 것도 절대로 말이나 글로 주장하지 않을 것을 맹세합니다."



Cristiano Banti's 1857 painting Galileo facing the Roman Inquisition

케플러는 행성들의 문제를 해결했다. 결국 그의 버전에 따른 코페르니쿠스의 제안은 특히 1626년 케플러가 『루돌프 표(Rudolphine Tables)』를 발표한 후 모든 천문학자를 코페르니쿠스주의자로 전향시켰을 것이 거의 확실하다. 『루돌프 표』는 그의 새 이론으로부터 도출된 천문표로, 그 전까지 사용된 그 어떤 천문표와 비교해도 확실히 우월했다. 따라서 코페르니쿠스 혁명의 천문학적 요소에 관한 이야기는 케플러의 연구가 점차 수용됨에 따라 끝이 났을지도 모른다. 그 연구는 천문학 내에서 혁명을 지속시키는 데 필요한 모든 요소를 가지고 있었기 때문이다. 그러나 사실 이야기의 천문학적 요소는 거기서 끝이 나지 않는다. 1609년 이탈리아의 과학자 갈릴레오 갈릴레이(Galileo Galilei, 1564~1642)는 처음으로 망원경을 통해 하늘을 보았으며, 그 결과 천문학은 고대 이래 접한 적이 없었던 질적으로 새로운 종류의 자료를 얻게 되었다. 갈릴레오의 망원경은 하늘이 천문학자에게 제시했던 수수께끼의 조건을 변화시켰으며, 그 덕분에 수수께끼는 훨씬 풀기 쉬워졌다. 왜냐하면 갈릴레오의 손에서 망원경은 코페르니쿠스주의에 대한 셀 수 없이 많은 증거를 밝혀 주었기 때문이다. 그러나 수수께끼에 대한 갈릴레오의 새로운 접근은 그 수수께끼가 다른 방식으로 해결된 뒤에야 나타났다. 만약 그것이 더 일찍 알려졌다면, 코페르니쿠스 혁명의 이야기는 상당히 달라졌을 것이다. 실제로는 갈릴레오의 천문학 연구는 승리가 확실히 눈앞에 다가온 이후에 수행되면서 주로 마무리 작업에 기여했다....1609년에 망원경은, 정확히 얼마나 새로웠는지는 분명하지 않지만, 새로운 기구였다. 갈릴레오는 어떤 네덜란드 렌즈공이 렌즈 두 개를 결합해 멀리 있는 물체를 확대했다는 소식을 들었다. 그는 스스로 다양한 조합을 시도하다가 저배율 망원경을 재빨리 만들어 냈다. 그리고 이전에는 아무도 시도한 적이 없어 보이는 행동을 했다. 그는 망원경을 하늘로 돌렸고, 그 결과는 정말 놀라웠다. 모든 관찰은 하늘에서 새롭고 예상치 못했던 것들을 밝혀냈다. 익숙한 천체들인 태양, 달, 행성들을 향해 망원경을 돌렸을 때에도, 이 오래된 친구들에 관한 놀랄 만한 새로운 측면들이 발견되었다. 망원경을 알기 몇 년 전부터 코페르니쿠스주의자였던 갈릴레오는 어떻게 해서든 각각의 새로운 발견을 코페르니쿠스주의에 대한 옹호 논변으로 둔갑시켰다.

다른 많은 논변들도 망원경 관찰로부터 도출되었으나, 여기서 우리의 관심을 끌 만큼 코페르니쿠스의 제안에 대해 충분히 직접적인 증거를 제공하는 것은 금성에 대한 관찰뿐이다. 코페르니쿠스는 『회전에 관하여』 제1권 10장에 금성의 모양을 자세히 관찰할 수 있다면 금성의 궤도 형태에 대한 직접적인 정보를 제공할 수 있다고 적었다. 만약 금성이 지구 중심의 주원 위에서 도는 주전원에 박혀 있고, 만약 그 주전원의 중심이 항상 태양과 나란히 있다면, 지구상의 관찰자는 그 행성의 초승달 모양 가장자리 외에는 절대로 볼 수 없을 것이다. 그러나 만약 금성의 궤도가 태양을 둘러싸고 있다면, 지구에 있는 관찰자는 달처럼 거의 완전한 위상 변화를 볼 수 있을 것이다. 오직 '삭(new)'과 '만(full)'에 가까운 위상들만이 보이지 않을 텐데, 이는 그 시점의 금성이 태양에 너무 가까이 있을 것이기 때문이다. 금성의 위상은 맨눈으로는 구별할 수 없으며, 맨눈으로는 행성이 무형의 점으로만 보일 뿐이다. 그러나 망원경은 그 형태를 충분히 볼 수 있을 정도로 행성을 확대해 주며, 그 형태는 금성이 태양 중심의 궤도를 따라 돈다는 강한 증거를 제공한다.

갈릴레오의 망원경이 제공한 코페르니쿠스주의에 대한 증거는 강력하지만, 이상한 점도 있다. 아마도 마지막 증거를 제외하면 위에서 살펴본 관찰 중 어떤 것도 코페르니쿠스 이론의 핵심 주장들, 즉 태양의 중심적 위치 또는 그 주위를 도는 행성들의 운동에 대한 직접적인 증거를 제공하지 않는다. 프톨레마이오스나 티코의 우주도 새로 발견된 별들을 위한 충분한 공간을 가지고 있으며, 둘 다 하늘의 불완전성이나 천체에 들러붙은 위성을 허용하도록 수 정할 수 있다. 또한 적어도 티코 체계는 금성의 관찰된 위상과 거리에 대해 코페르니쿠스 체계만큼 좋은 설명을 제공한다. 따라서 망원경은 코페르니쿠스의 개념 체계의 타당성을 증명하지 못한다. 그러나 망원경은 전투를 위한 정말 엄청나게 효과적인 무기를 제공했다. 그것은 증명이 아니라 선전이었다.

반대는 여러 형태로 나타났다. 갈릴레오의 더 광적인 일부 반대자들은 아예 새로운 기구를 통해 보는 것도 거부했는데, 그들은 만약 인간이 지식을 얻는데 그러한 기구를 사용하는 것을 신이 의도했다면, 신은 [애초에] 인간에게 망원경 같은 눈을 주었을 것이라고 주장했다. 다른 사람들은 기꺼이 혹은 심지어 열광적으로 [망원경을] 보았고, 새로운 현상도 인정했지만, 새로운 물체는 하늘에 있는 것이 아니라 망원경 자체에 의해 야기된 환영이라고 주장했다. [그러나] 갈릴레오의 반대편 대부분은 더 합리적으로 행동했다. 벨라르미노처럼, 그들은 그 현상이 하늘에서 나타난 것임을 인정했지만, 그것이 갈릴레오의 주장을 증명한다는 점은 부정했다. 물론 이 점에서 그들은 정말로 옳았다. 망원경은 많은 주장을 했지만, 증명한 것은 아무것도 없었다. -토머스 쿠 <코페르니쿠스 혁명>

망원경이 제공한 증거의 본질

- 육안 관측은 지구중심설을 강력하게 지지.
- 망원경으로 얻은 증거(혹은 우주에서 촬영한 사진)가 태양중심 설이 옳다는 것을 확증하지는 못함. 태양과 행성들의 상대적인 운동을 보여줄 뿐. (1800년대에 최초로 기록된 연주시차가 가장 직접적인 증거가 될 수 있으나 이 역시 직접적인 경험적 증거는 아니다.)
- 갈릴레이가 망원경으로 얻은 증거는 태양중심설과 지구중심설 간의 논쟁을 직접 해결하지는 못함. 간접증거를 제공할 뿐.

반증 가능성 쟁점

- 벨라르미노(교회)는 지구중심설을 반증 불가능하다고 생각했는가?
- 공통점: 양측 모두 갈릴레이가 망원경으로 발견한 증거 수용. 또한 망원경으로 얻은 증거가 프톨레마이오스 체계에 문제를 제기한다는 것도 인정. 성서의 권위 인정.
- 차이점: 갈릴레이와 벨라르미노 사이의 주요 쟁점은 증거의 비중을 따지는 방식/ 성서의 증거가 암시하는 내용과 망원경의 증거가 암시하는 내용을 이해하는 방식의 차이.

갈릴레이, 『크리스티나 공작 부인에게 보낸 서신』(1615)



Portrait of Christine of
Lorraine Medici, 1600

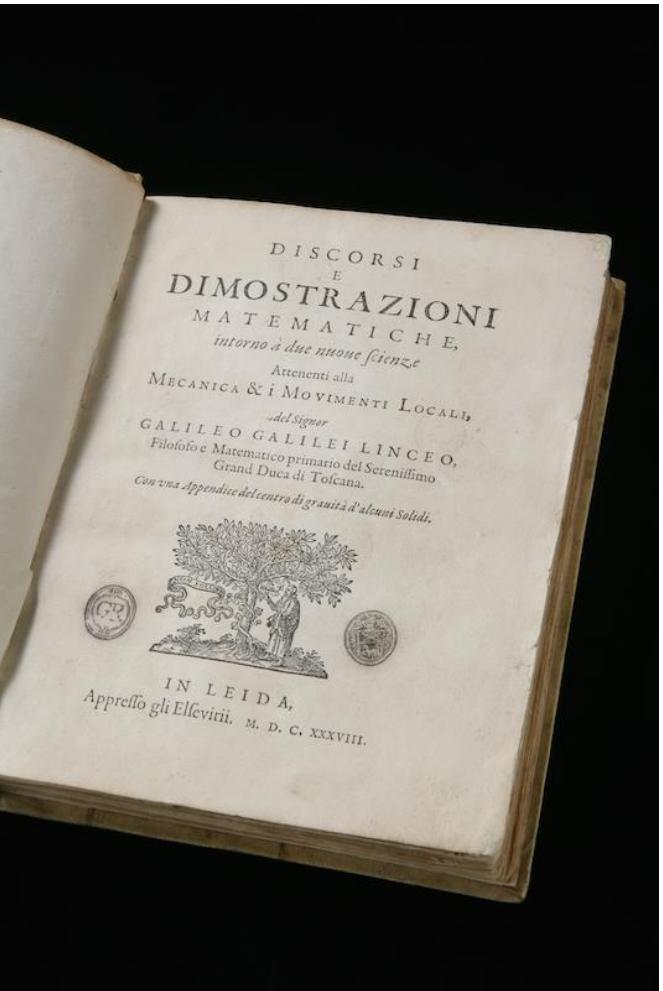
“나는 우선 성경의 진정한 의미가 이해될 때마다 성경은 결코 거짓을 말할 수 없다고 단언하는 것이 매우 경건하고 신중하다고 생각합니다. 그러나 나는 그것이 종종 매우 난해하고 그것의 말 그대로의 단어가 의미하는 것과는 상당히 다른 것을 말할 수 있다는 것을 누구도 부인하지 않을 것이라고 믿습니다. 그러므로 성경을 설명할 때 항상 꾸미지 않은 문법적 의미에 국한한다면 오류에 빠질 수 있습니다. 나는 물리적 문제들을 논하는 데 있어서 우리가 성경 구절의 권위에서 시작하는 것이 아니라 감각 경험과 필요한 실증에서 시작해야 한다고 생각합니다. 성경은 모든 사람이 이해할 수 있도록 말의 순수한 의미에 관한 한 절대적인 진리와 다른 것처럼 보이는 많은 것들을 말할 필요가 있습니다. ...자연은 냉혹하고 불변합니다. 자연은 자신에게 부과된 법을 결코 위반하지 않으며, 자연의 난해한 이유와 작동 방식을 사람이 이해할 수 있는지 여부에는 조금도 신경 쓰지 않습니다. 그런 이유로 감각 경험이 우리 눈앞에 제시하는 물리적인 것, 또는 우리에게 증명하는 것을 그 밑에 어떤 다른 의미를 가질 수 있는 성경 구절의 증언에 근거해서 의문을 제기해서는 안 되는 것 같습니다.”

벨라르미노, 『포스카리니에게 보낸 서신』(1615)

“나아가서 나는 만약 태양이 우주의 중심에 있으며, 따라서 태양이 지구의 주위를 도는 것이 아니라 지구가 태양의 주위를 돌고 있다는 참된 증거가 있다면, 그러한 과학적 증명에 모순되는 것처럼 보이는 성경을 설명할 때 조심스러울 필요가 있을 것이라고 말하겠다. 우리는 어느 것이 거짓이라고 말하는 것보다는 차라리 그것을 모른다고 말해야 할 것이다. 그러나 나는 그런 증명이 있다고 생각지 않는데, 이는 아무도 나에게 그런 증명을 제시하지 않았기 때문이다. 태양이 중심에 있고 지구가 천체들 중에 있다고 가정함으로써 눈에 보이는 현상을 구제할 수 있음을 논증하는 것과, 실제로 태양이 중심에 있으며 지구가 천체들 가운데 있다는 사실을 논증하는 것은 서로 다른 일이다.”

- 갈릴레오가 망원경으로 발견한 것들은 프톨레마이오스 체계에 대한 반증임은 확실했으나, 지구의 자전과 공전을 직접 증명하지는 못함.
- 코페르니쿠스 체계를 가정하면 현상이 더 잘 설명된다고 해서 코페르니쿠스 체계가 실재론적으로 올바르다는 결론을 내리기는 어렵다.
- 관건이 되는 것은 코페르니쿠스 체계의 증명 여부. 벨라르미노가 요구한 것은 코페르니쿠스 체계가 단지 관측 가능한 자료들을 짜 맞추기 위한 수학적 고안이 아니라 우주에 대한 참된 물리적 설명이라는 사실을 입증하는 것.
- 그러나 갈릴레오의 방식은 본질적으로 귀납적이며, 오류의 가능성 내포. 성경에 대한 재해석을 강요할 만큼의 힘이 없었다.
- 따라서 당시의 상황을 고려해볼 때 벨라르미노가 단순히 지구중심설을 반증 불가능하다고 생각했다고 보기는 어렵다.

『두 개의 새로운 과학에 관한 논의』(1638)

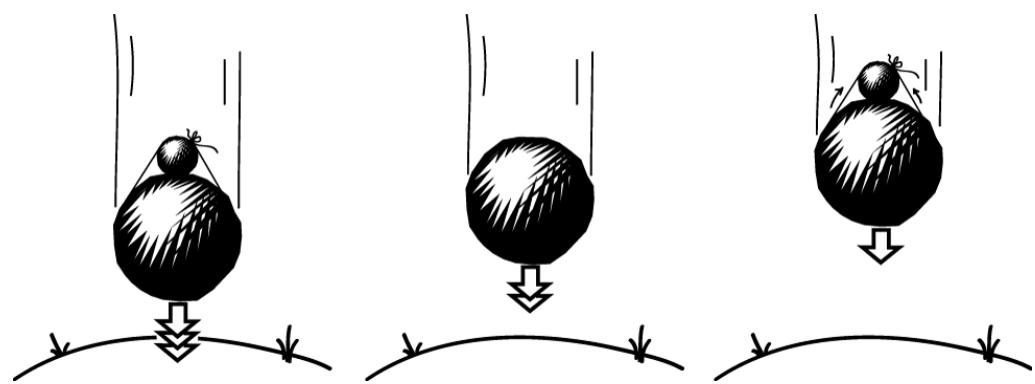


- 심플리치오: 초기의 갈릴레오
- 사그레도: 중기의 갈릴레오
- 살비아티: 말년의 갈릴레오를 대변
- 이탈리아, 프랑스, 독일, 폴란드에서의 출판 금지 때문에 네덜란드에서 출판.

“..슬프다. 앞선 모든 시대의 학자들이 보편적으로 받아들였던 한계를 내가 탁월한 관찰과 명석한 논증으로 백배, 아니 천 배나 넘게 확장시켜 놓은 이 하늘, 이 지구, 이 우주가 이제는 나의 육체적 감각으로 채워지는 좁은 영역 안에 움츠러들고 말았구나...”

갈릴레이의 사고 실험 1

- 살비아티: 나는 아리스토텔레스가 무게가 10배 차이나는 돌 2개를 100엘레(길이의 단위)의 높이에서 동시에 떨어트렸을 때 커다란 돌이 작은 돌보다 10엘레 먼저 떨어진다는 걸 실험으로 직접 확인해 보았는지 의심스러워. 여기 속도가 다른 두 개의 물체가 있다고 하세. 느리게 달리는 것을 빨리 달리는 것과 결합시키면 빨리 달리는 것은 느리게 달리는 것 때문에 속도가 느려지고 원래 느렸던 것은 빠른 것으로 인해 속도가 빨라지겠지?
- 심플리치오: 그래, 틀림없는 사실인 것 같네.
- 살비아티: 그렇다면 커다란 돌이 10이라는 속도로 움직이고 작은 돌이 5라는 속도로 움직인다고 할 때 돌을 붙여서 낙하시키면 둘을 합쳐 낙하시킨 속도는 10보다 줄어들 것이네. 그러나 두 돌을 합친 무게는 원래 10의 속도를 가졌던 돌의 무게를 훨씬 능가하지. 다시 말해서 두 개가 합쳐져서 더 크고 무거운 돌이 원래 10이라는 속도를 가졌던 돌보다 더 느리게 낙하한다는 말일세. 이 결과는 무거운 것이 가벼운 것보다 낙하속도가 빠르다는 것과는 모순되는 내용일세...



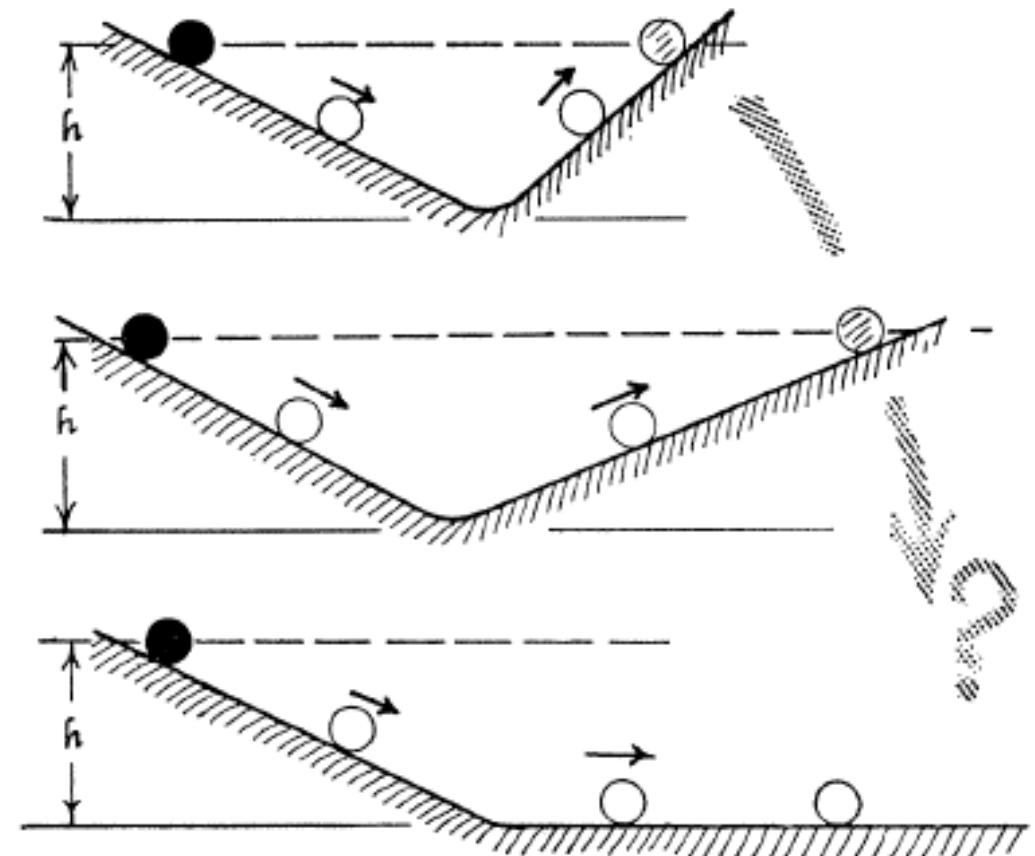
- 1) 무거운 물체가 가벼운 것보다 더 빨리 떨어진다면 결합된 덩어리는 큰 덩어리가 단독으로 떨어지는 것보다 더 빨리 떨어질 것이다.
- 2) 작은 덩어리는 큰 덩어리보다 천천히 떨어지기 때문에 항력을 일으켜 결합체를 느리게 떨어지게 해야 한다.

☞ ??

갈릴레이의 사고 실험 2



Galileo dimostra la legge di caduta dei gravi,
by Giuseppe Bezzuoli (1841)



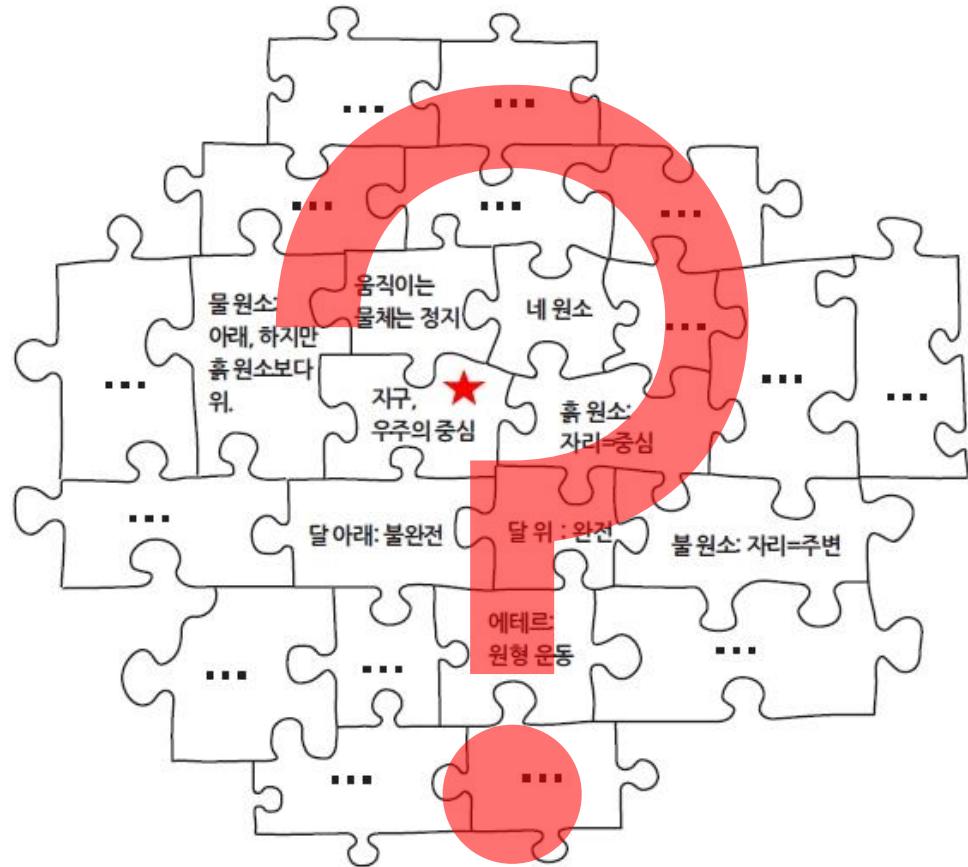
- 경사면 실험을 통해 떨어지는 물체가 등가속도 운동을 한다는 것을 발견. (물체는 방해를 받지 않는 한 속도가 지속되고, 여기에 중력에 의한 속도가 덧붙는다는 것)
- 마찰이 없을 경우, 경사면을 내려온 구슬은 경사면 각도에 관계 없이 같은 높이만큼 올라간다. 만약 경사각이 0도(수평면)일 경우 일정 높이에서 내려온 구슬은 영원히 등속운동을 할 것이라고 추론.
- 물체의 자연 상태는 정지 상태이며 운동에는 힘이 필요하다는 아리스토텔레스의 견해를 반박.
- 힘이 작용하지 않는 한 물체는 정지 또는 등속운동 상태를 지속한다고 결론 내림: 관성의 법칙(등속원운동으로서의 관성 개념)

아리스토텔레스 세계관(기원전 300년~1600년 경)

- 지구는 우주의 중심에 있다.
- 지구는 정지해 있다.
- 달 아래 영역, 즉 (지구를 포함한) 지구와 달 사이 영역에 네 가지 원소가 있으며, 그것은 흙과 물, 공기, 불이다.
- 달과 태양, 행성, 별을 포함해 달 위 영역, 즉 달 너머 영역에 있는 물체들은 제5원소인 에테르로 구성된다.
- 원소마다 본질적 성질이 있고, 그것은 흔히 원소가 움직이는 방식으로 나타난다.
- 흙 원소는 자연적으로 우주의 중심을 향하는 성향이 있다.
- 물 원소도 자연적으로 우주의 중심을 향하는 성향이 있지만, 그 성향이 흙 원소만큼 강하지는 않다.
- 공기 원소는 자연적으로 흙과 물 위, 불 아래 영역을 향해 움직인다.
- 불 원소는 자연적으로 우주의 중심에서 멀어지는 성향이 있다.
- 행성과 별 같은 물체를 구성하는 에테르 원소는 자연적으로 완벽한 원형으로 움직이는 성향이 있다.
- 달 아래 영역에서는 움직이는 물체가 자연적으로 멈추려는 성향을 보인다.
- 정지한 물체는 운동 원인이 발생하지 않는 한 계속 정지 상태를 유지한다.
- :

아리스토텔레스 세계관이 직면한 문제

- 지구가 자전과 공전을 한다면 우리는 어떻게 지구 위에 서 있고, 무거운 물체는 왜 아래로 떨어지는가?
- 지구는 왜 정지하지 않고 계속 움직이는가?
- 어떤 물체를 위로 똑바로 던질 때 그 물체가 다시 우리 손안에 떨어지는 이유는 무엇인가?
- 우리는 왜 움직이고 있다는 것을 느끼지 못하는가?
- 연주시차는 왜 관찰되지 않는가?
- 우주에는 중심이 있는가?
- 하늘은 완벽한 영역인가?
- 우주의 작동에 신이 개입되는가?
- 우주는 과연 목적론적이고 본질론적인가?
- :



[도표 1-2] 아리스토텔레스 믿음의 '그림 퍼즐'

☞ 지구가 우주의 중심이라는 아리스토텔레스 세계관의 핵심 믿음이 흔들림. 새로운 과학, 새로운 세계관의 필요성.