



세상 만물의 법칙을 제안하다

르네 데카르트와 아이작 뉴턴

케플러와 갈릴레오 이후의 코페르니쿠스주의

➤ 해결된 과제

- 케플러 : 체계의 정확성과 단순성 향상(케플러의 제1,2,3법칙).
- 갈릴레오 : 확연해 보이는 증거 제공(망원경) & 지구의 운동에 따른 파적인 귀결 제거(관성 개념)

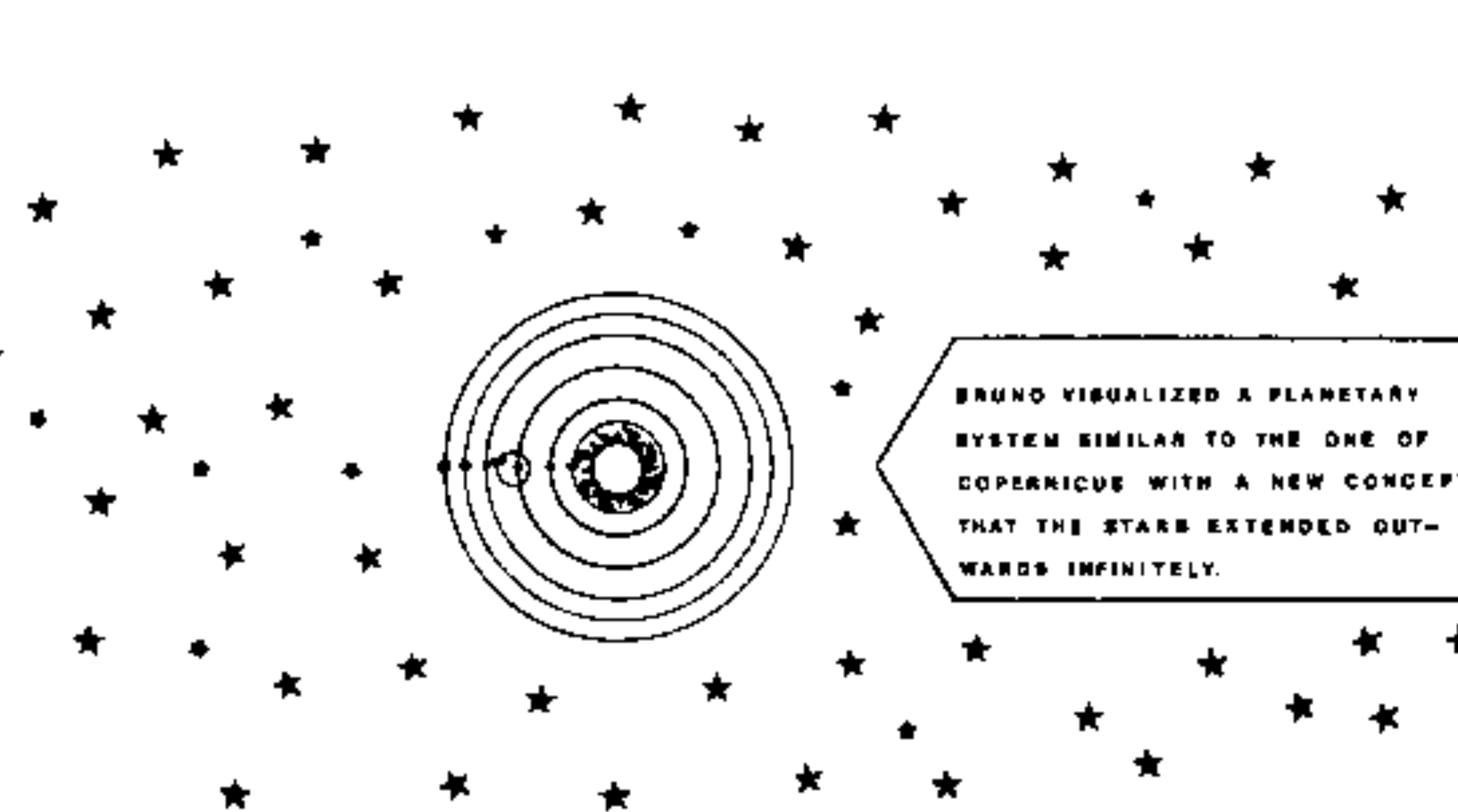
➤ 미해결 과제

- 왜 지상의 물체는 우주의 중심이 아닌 지구를 향해 떨어지는가?
- 왜 지구를 비롯한 행성들은 태양을, 왜 달은 지구를 (부등속 타원 궤도로) 도는가?
- 문제의 본질 : 지구는 이미 천상계의 일원이 되었음에도, 여전히 지상계와 천상계의 작동방식이 달라 보인다는 문제!
- 해결 방향 : 지상계와 천상계의 작동 원리 통합!

태양 중심의 유한한 우주 코페르니쿠스(1543)

태양 중심의 무한한 우주

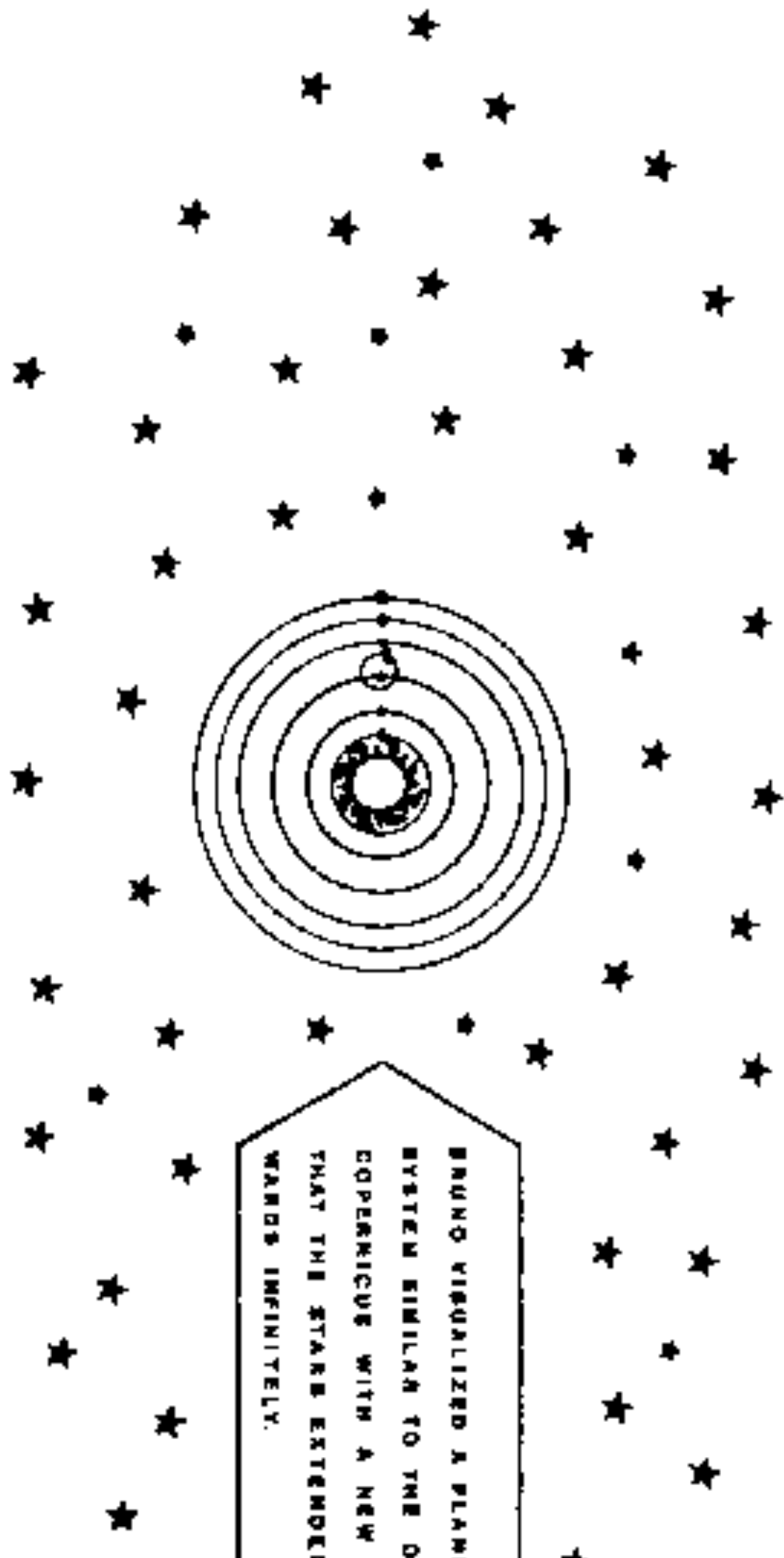
토머스 디크스(1576)



BRUNO VISUALIZED A PLANETARY
SYSTEM SIMILAR TO THE ONE OF
COPERNICUS WITH A NEW CONCEPT
THAT THE STARS EXTENDED OUT-
WARDS INFINITELY.

중심이 없는 무한 우주
태양은 수많은 별들 중 하나

지오다노 브루노 (1584)

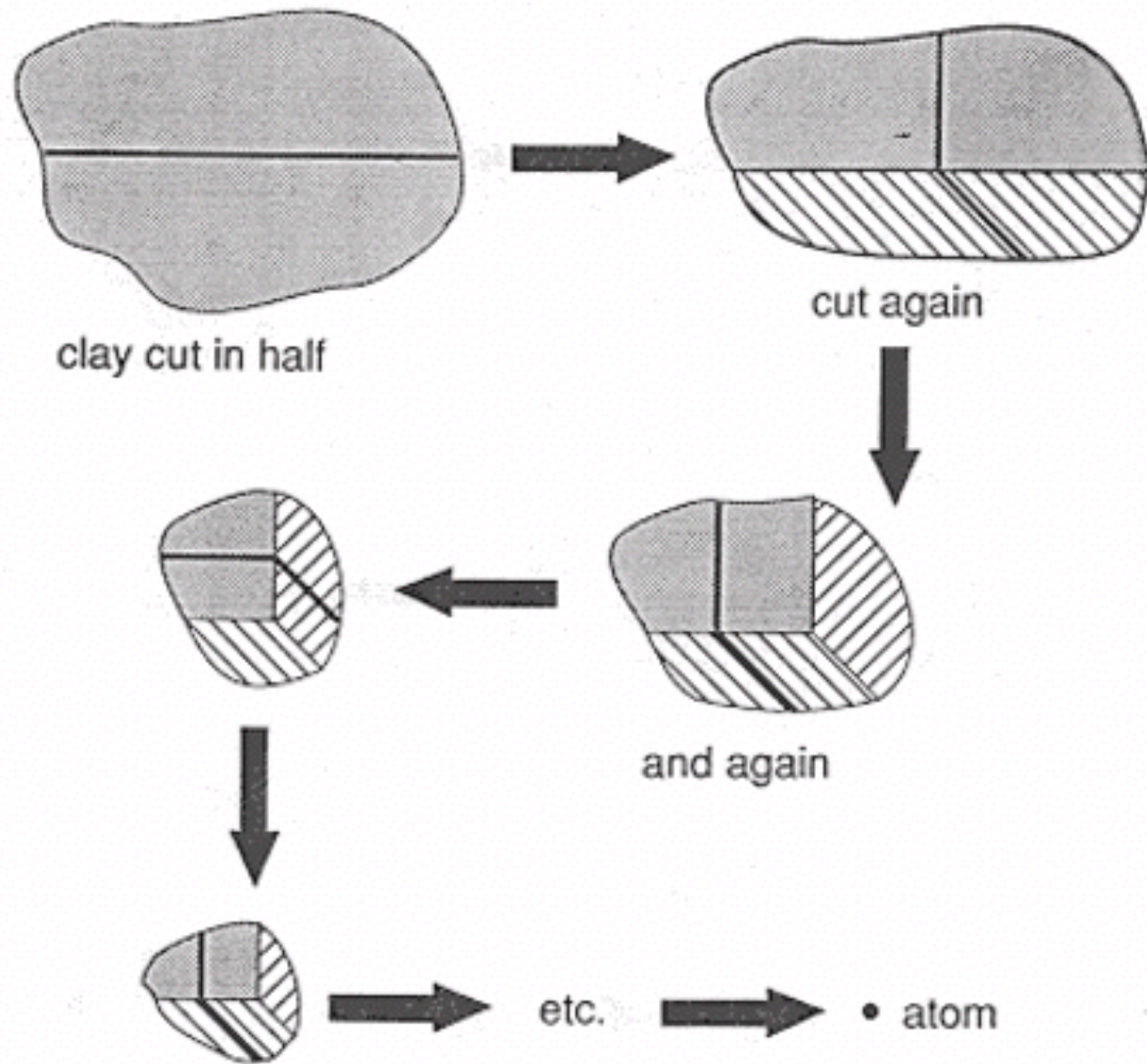


코페르니쿠스주의와의 친밀성

.....

- ▶ 코페르니쿠스에 의한 항성 천구의 기능 상실
 - ▶ 중심을 정의해 주는 기능
 - ▶ 별들의 일주 운동을 만들어주는 기능
- ▶ 연주 시차 관측 실패를 설명하기 위한 키운 우주의 크기
- ▶ 무한 우주에서는 중심을 정의할 수 없다는 논리적 제약

고대 원자론의 부활



Democritus' concept of the atom

- 원래는 논리적 역설을 해결하기 위한 방법이었으나, 코페르니쿠스주의와의 친밀성에 의해 부활하여 새로운 과학적 상상을 인도
- 세계 = 무한한 중립적 진공 + 분할 불가능한 원자들의 우연한 운동과 충돌
 - 지구/땅의 유일성 부정
 - 우주의 특별한 위치 부정
 - 천상계/지상계의 이분법 부정
 - 천상계와 지성계의 물질에 대한 동일한 법칙 요구

세계의 해부 / 존 던 (1611)

새로운 철학은 모든 것을 의심 속으로 불렀네.

불의 원소는 완전히 방출되고,

태양은 잃어버리고, 지구도. 그것을 어디서 찾아야 할지

안내해줄 수 있는 인간의 지혜는 어디에도 없네.

그리고 행성들과 하늘에서

너무나 많은 새로운 것을 찾을 때,

자유로이 사람들은 이 세계가 소진되었다고 하네. 그리고는 이 세계가

다시 원자들로 산산조각날 것이라 보고 있네.

모든 것이 산산조각나고, 모든 정합성이 사라지고,

모든 본성과 모든 관계도 사라질 것이니,

군왕, 신하, 아버지, 아들은 잊혀질 것들이리라. ...



르네 데카르트(1596-1650)

.....

- ▶ 프랑스의 철학자/수학자/과학자
- ▶ 법관 귀족 가문에서 태어나 예수회 학교에서 공부.
- ▶ 유럽의 지적, 정치적, 종교적 혼란기(30년 전쟁)에 활동.
- ▶ 자유로운 학문 분위기가 지배적인 네덜란드에서 주로 활동
- ▶ 수학처럼 부정할 수 없는 명징한 제1원리로부터 출발하여 연역적인 과학 체계를 구축하고자 함
- ▶ 《방법서설》(1637), 《성찰》(1641), 《철학의 원리》(1644), 《세계》(1664)



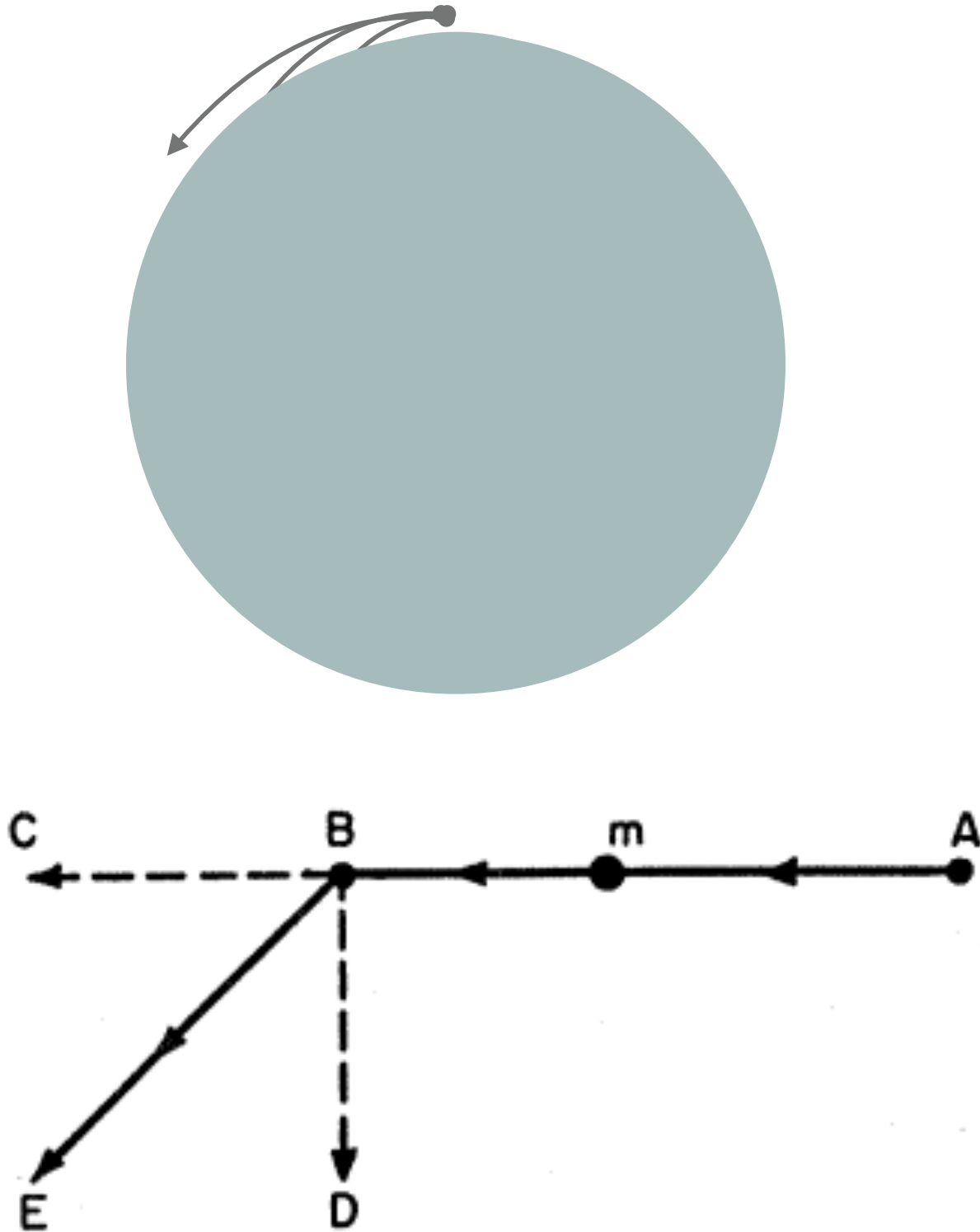
데카르트의 새로운 자연법칙

.....

- ▶ 방법적 회의를 통해 “나는 생각한다. 고로 나는 존재한다”는 제1원리를 끌어냄
- ▶ 제1원리로부터 신의 존재를 증명한 후 세 가지 자연법칙 도출
 - ▶ 제1법칙 : 물체는 현재의 운동 상태를 계속 유지하고자 한다 (from 신의 불변성)
 - ▶ 제2법칙 : 운동은 본질적으로 직진이다 (from 신의 불변성과 단순성)
 - ▶ 제3법칙 : 충돌시 운동량은 보존된다 (from 신의 작업의 불변성)

무한 우주와 직선 관성

- ▶ 갈릴레오가 처음에 제안했던 개념은 원형 관성
- ▶ 그러나 중심이 없는 무한한 공간에서 스스로 유지되는 원운동은 불가능
- ▶ 중심이 없는 무한한 공간에서 외부의 영향이 없는 물체는 오직 멈춰 있거나 똑바로 직선으로만 움직일 수 있다!
- ▶ 이러한 관성 운동은 충돌에 의해서만 변화한다!



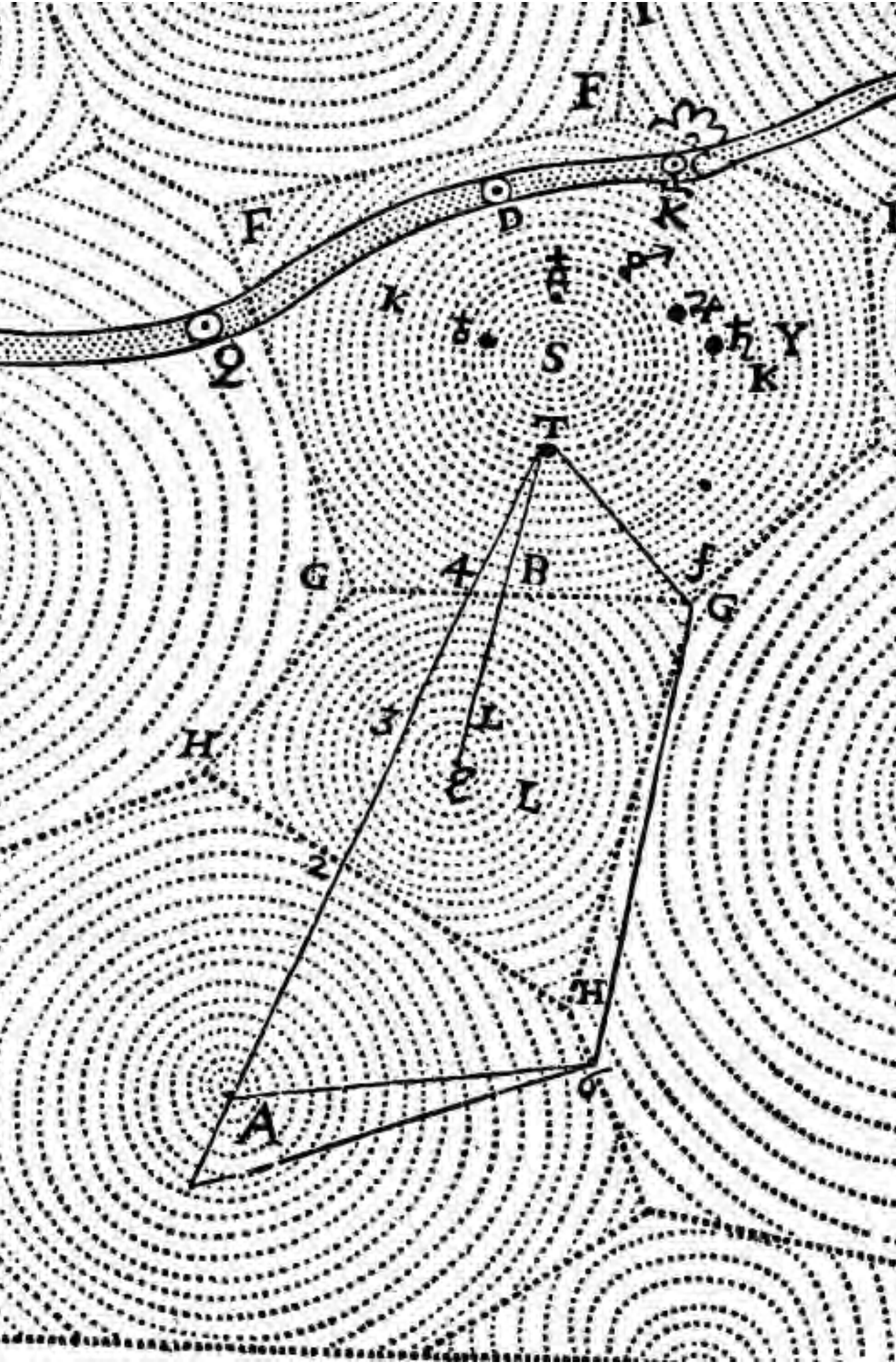
소용돌이 우주

➤ 코페르니쿠스적 우주에 대한 기계적 설명 시도

➤ 제1원소 : 불의 원소

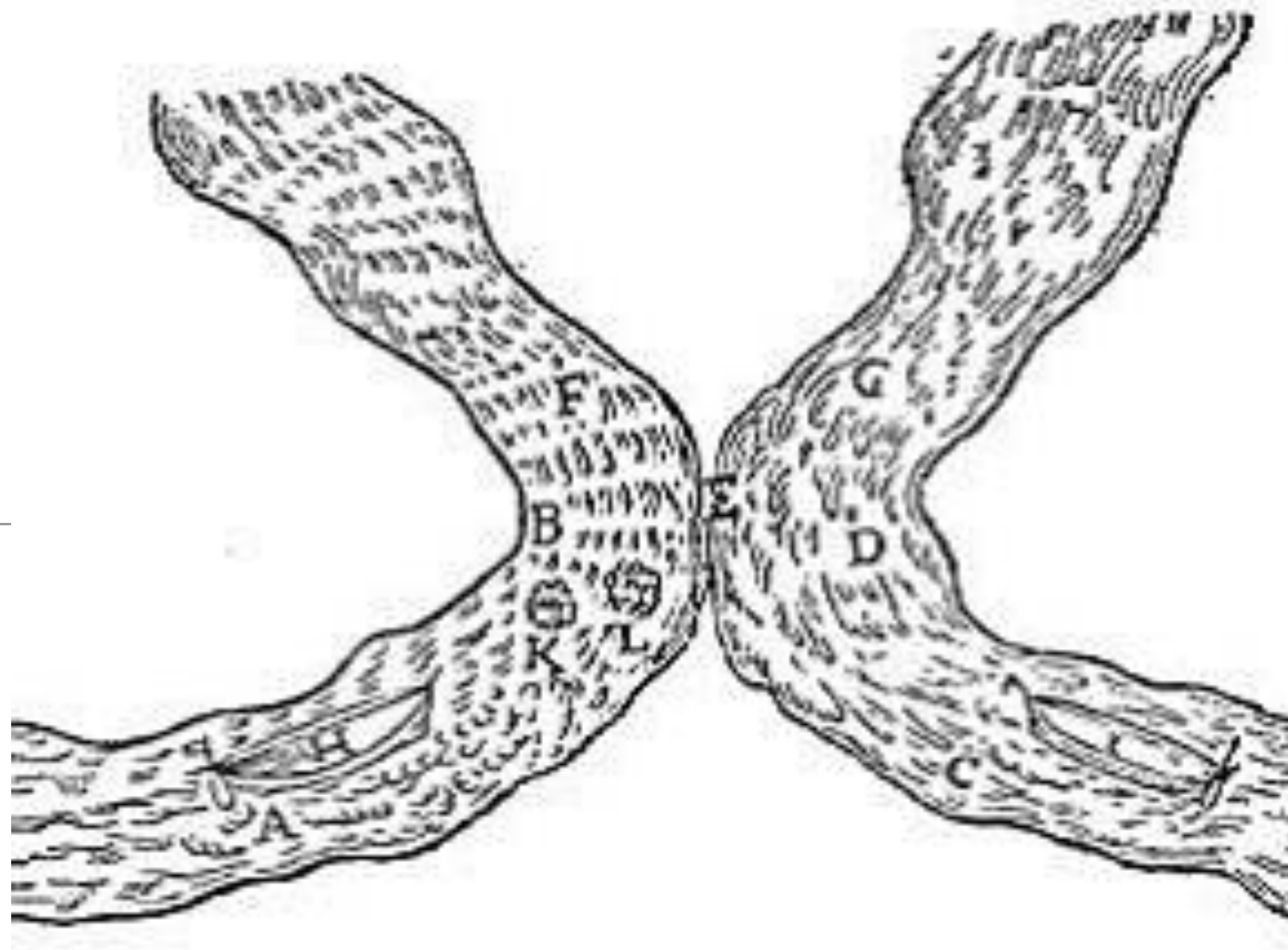
➤ 제2원소 : 공기의 원소

➤ 제3원소 : 흙의 원소

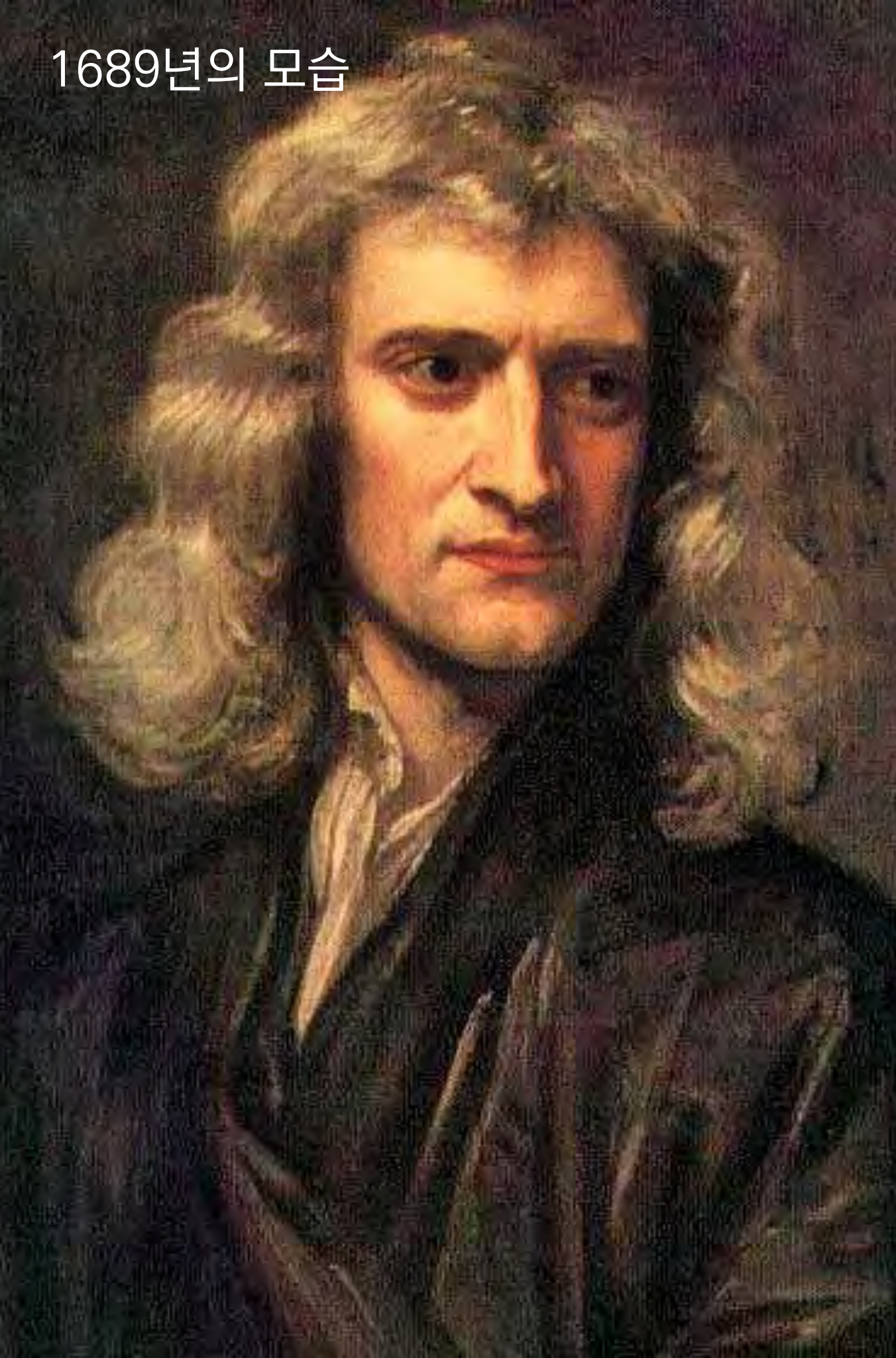


혜성

무겁고 빠른 물체로서
태양계를 넘나드는 행성



핵심 퍼즐 : 행성의 궤도 운동과 무게(gravity)



아이작 뉴턴(1642/3-1727)

.....

- ▶ 영국의 수학자/과학자
- ▶ 아버지는 출생 전 사망하고, 어머니는 재혼하면서 외가에서 자람.
- ▶ 1661년 케임브리지 대학에 입학했지만 아리스토텔레스보다는 데카르트의 철학에 심취
- ▶ 기적의 해 : 1665~1666년 흑사병의 유행으로 2년 동안 고향에서 연구하며, 미적분, 만유인력의 법칙(뉴턴의 사과), 빛의 분해 등 발견
- ▶ 1668년 반사 망원경을 발명한 공로로 1672년 왕립학회 회원으로 선출
- ▶ 1669년 케임브리지 수학 교수 임용

뉴턴의 사과

떨어지는 사과를 보고서
만유인력의 법칙을 발견했다?



만유인력의 역할

사과가 떨어지는 것과
대포알의 포물선 궤적과
달이 지구 주위를 도는 것은
모두 지구가 잡아당기는 중력의 결과!

지상계와 천상계는 같은 원리로 작동!



ROBERT HOOKE
1635 ~ 1703



로버트 훅의 유사 제안(1674)

나는 ... 모든 것을 기계적 운동의 공통된 규칙을 통해 답할 것이다. 이는 세 가지 가정에 의존한다. 첫째, 모든 천체는 어떤 것이든 중심을 향한 인력 또는 중력을 가지며, 이를 통해 그 천체들은 .. 자기 자신의 부분들을 끌어당겨 날아가 버리지 않게 할 뿐 아니라, 그들의 영향력의 범위 내에 있는 다른 모든 천체를 끌어당긴다. ... 둘째, ... 단순한 직선운동 중인 모든 물체는 어떤 것이든 어떤 다른 유효한 힘이 물체의 운동을 변형시키기 전까지 계속 직선으로 나아갈 것이다. 셋째, ... 이 인력은 그 힘을 받는 물체가 그들의 중심에 얼마나 가까운지에 따라 더욱더 강하게 작용한다. 현재 그 정도가 얼마나 되는지는 아직 실험적으로 확인하지 못했다.

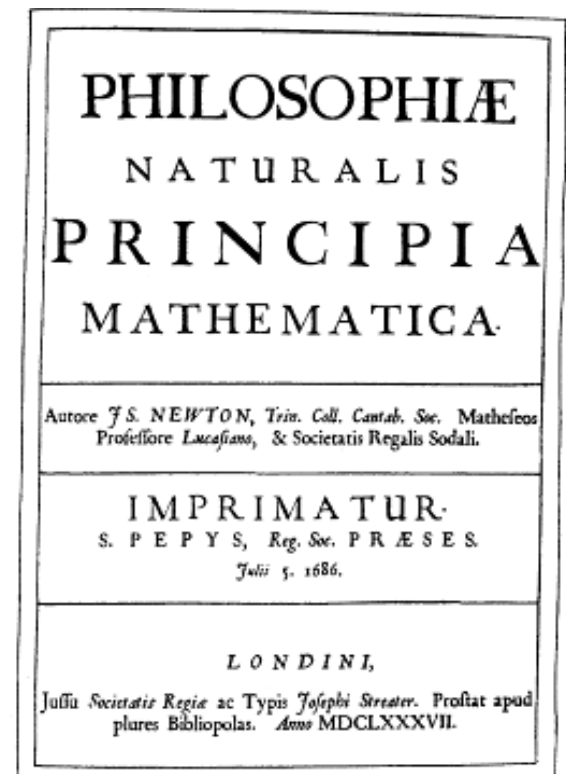
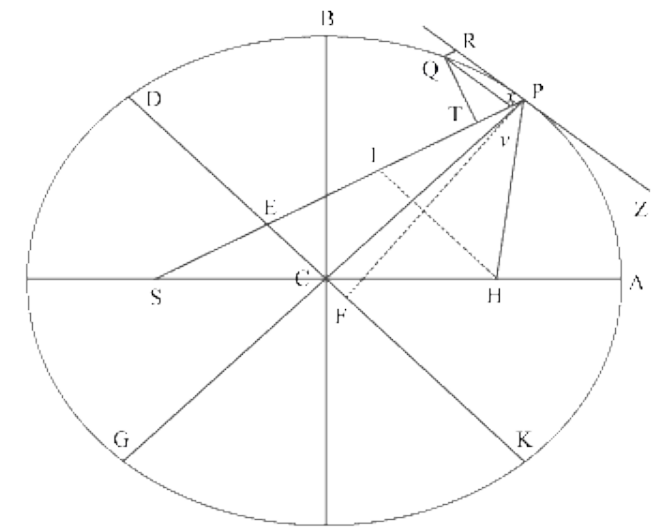
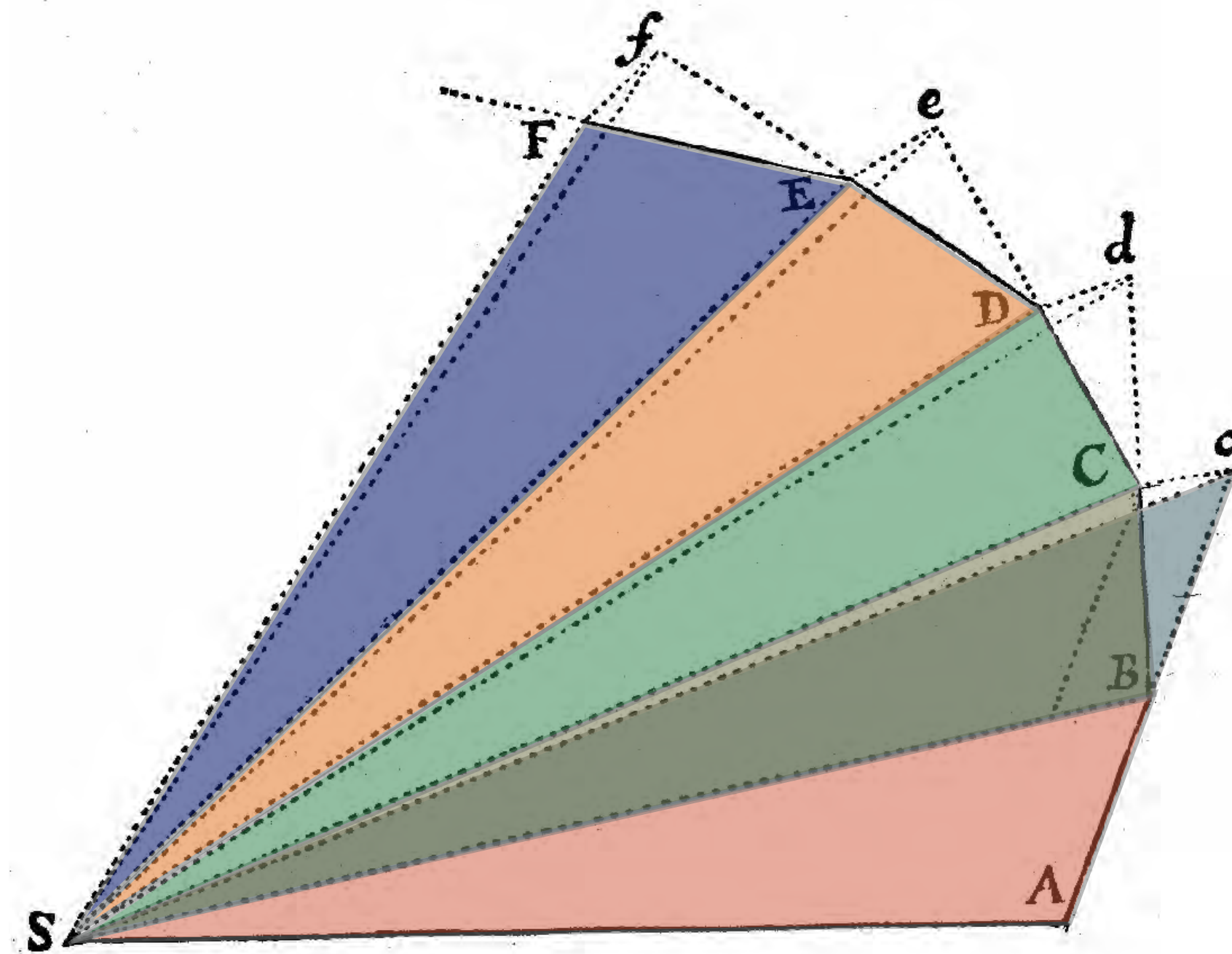
1702년의 모습



프린키피아의 탄생

.....

- ▶ 1684년 방문한 할리의 질문 : 중심으로부터 거리의 제곱에 반비례하는 힘에 의해 만들어지는 궤도의 모양은?
- ▶ 뉴턴의 답변 : 타원! 예전에 계산을 했는데, 계산된 종이를 못 찾겠다.
- ▶ 몇 달 뒤 만유인력의 법칙을 가정하여 케플러의 세 가지 법칙을 유도하는 《물체의 궤도 운동에 관하여》(1684) 출판.
- ▶ 《프린키피아》(1687) 출판
- ▶ 이후 국회의원(1689)과 왕립조폐국장(약 20년 동안), 왕립학회 회장 역임



뉴턴에 의한 케플러의 세 가지 법칙 유도 | 프린키피아(1687)



웨스트민스트 사원에 안장된 뉴턴

과학적 업적과 저서

.....

- ▶ ‘운동의 3가지 법칙’과 ‘만유인력의 법칙’을 통해 코페르니쿠스에 의해 촉발된 퍼즐들 해결
- ▶ 반사 망원경 발명
- ▶ 미적분학 발명(라이프니츠와 우선권 다툼)
- ▶ 프리즘을 통해 백색광이 여러 단색광들로 이루어졌다는 점 발견(로버트 훅과의 다툼)
- ▶ 《물체의 궤도 운동에 관하여》(1684), 《프린키피아》(1687), 《광학》(1704), 《고대 왕국의 연대기》(1728)

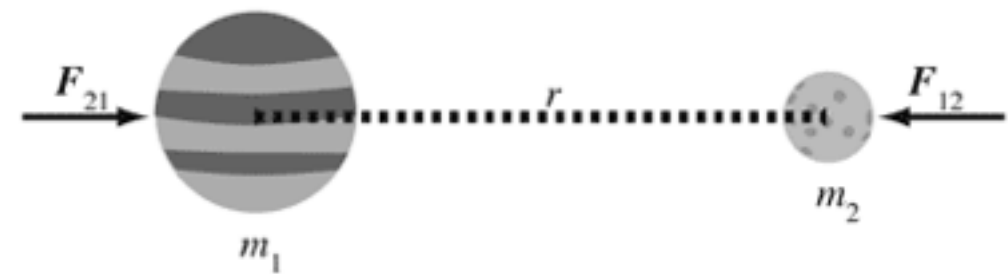
“나는 가설을 세우지 않는다”

만유인력의 원인은?

지금까지 나는 현상으로부터 중력의 원인을 발견하지 못했고, 이에 대해 어떠한 가설도 설정하지 않는다. 왜냐하면 현상으로부터 이끌어내지 못한 어떤 것도 가설로 볼 수 있기 때문이다. 가설은 형이상학적이건, 물리적이건, 신비적이건, 기계적이건 간에 실험 철학에서 차지할 자리가 없다.

$$F = G \frac{m_1 m_2}{r^2}$$

F = gravitational force
 m_1 = mass 1
 m_2 = mass 2
 r = distance between centers of mass
 G = $6.7 \times 10^{-11} \text{ N} \cdot \text{m}^2/\text{kg}^2$



뉴턴의 신 개념 : 신의 지혜보다 신의 의지에 대한 강조

- ▶ 어느 곳에서나 편재하며, 물체들 사이의 중력을 이어주는 신으로서, 지속적으로 세계에 개입하는 신(계속 태엽을 감아준다)
- ▶ 영원히 작동하는 시계를 처음 만들어놓고서 가만히 있는 신은 오히려 없는 것과 다름없다.
- ▶ 100년 후 뉴턴주의자들의 신 개념
 - ▶ 인력의 문제 : 신의 작용이 아닌 자연의 작용으로 변모함. 인력의 원인은 단지 이해할 수 없는 것이 됨.
 - ▶ 공간의 문제 : 뉴턴이 말했던 속성은 그대로 남았지만, 거기서 신의 존재는 사라짐.
 - ▶ 감소의 문제 : 뉴턴 과학의 발전에 따라, 세계는 태엽을 감아줄 필요도 수리해줄 필요도 없어짐.
 - ▶ 라플라스 : “저의 세계에는 신이라는 가정이 필요치 않습니다”

결론

- ▶ 코페르니쿠스에 의해 제기된 문제는 고대 원자론의 부활을 통해 새로운 문제 풀이의 자원을 얻게 됨,
- ▶ 특히 두 가지 문제(무계의 문제와 행성 궤도의 문제)가 중요했음.
- ▶ 데카르트는 입자론적 원리를 이용해 코페르니쿠스적 무한 우주를 재설계하는 거대한 계획을 세웠으나 경험과 일치하는 체계를 만들어내지는 못함.
- ▶ 뉴턴은 만유인력의 법칙과 미적분을 이용하여 코페르니쿠스에 의해 제기된 문제를 수학적으로 해결함으로써, 드디어 천상계와 지상계의 물리학을 통합하는 데 성공하며 혁명을 종식시킴.
- ▶ 그러나 뉴턴의 원거리 작용은 오히려 입자론적/기계적 세계관 충돌.
- ▶ 뉴턴의 이론은 원래 공간에 편재하며 물질들 사이의 힘을 매개해주는 신을 필요로 했으나, 뉴턴 사후 점차 ‘이신론’ 또는 ‘유물론’의 입장에 동화됨.