

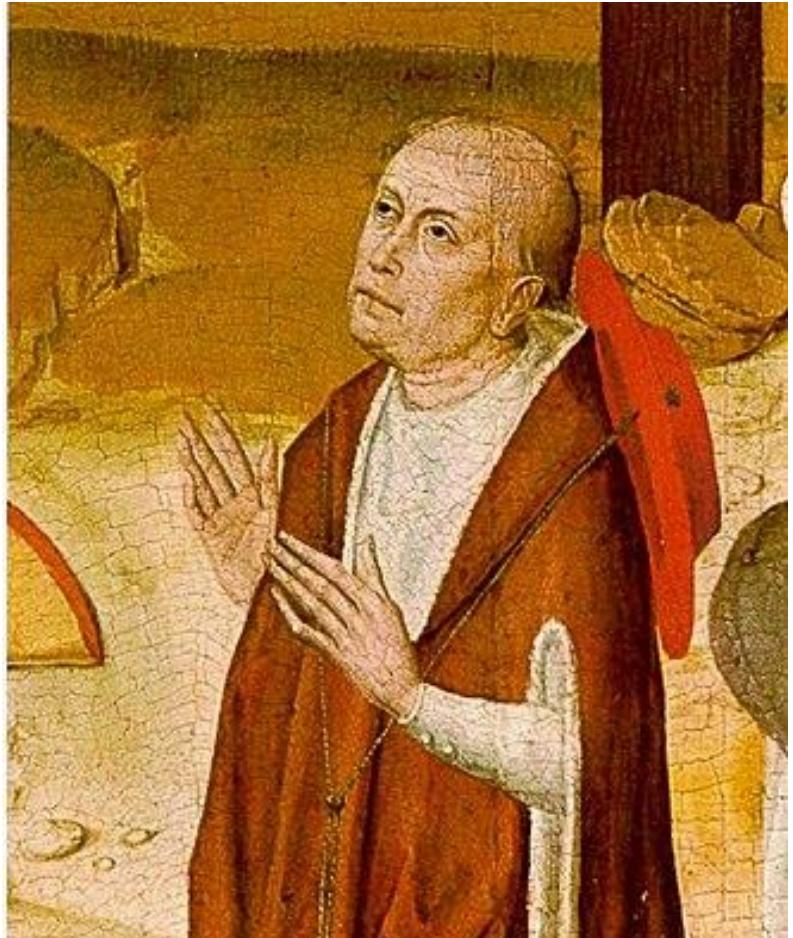
새로운 과학과 뉴턴 세계관

우주의 크기



<https://youtu.be/i93Z7zljQ7I>

쿠사의 니콜라우스/ 조르다노 브루노



Nicholas of Cusa (1401-1464)

“무한한 우주
는 한없이 큰
하느님을 반영
한다.”



Giordano Bruno (1548-1600)



- Giordano Bruno (1548-1600): 이탈리아의 도미니코회 수도자, 철학자, 신비주의자.
- 무한하고 중심이 없는 우주. 태양은 무한히 광활한 공간에 걸쳐 흩어져 있는 무수히 많은 별들 중 하나에 불과하며 무한한 하늘의 다른 별들 중 일부에는 지구와 같은 행성들이 있을 것이라고 주장.
- 고대 원자론에서 영감을 받음. 우주에는 특별한 위치나 특별한 물체가 존재하지 않는다. 지상계와 천상계의 이분법 불가능. 똑같은 종류의 물질은 무한한 중립적 진공 속 어디에서나 똑같은 법칙을 따른다고 주장.
- 종교재판에서 유죄로 판결 받고 이단죄로 1600년에 화형을 당함.

르네 데카르트



René Descartes (1596-1650)

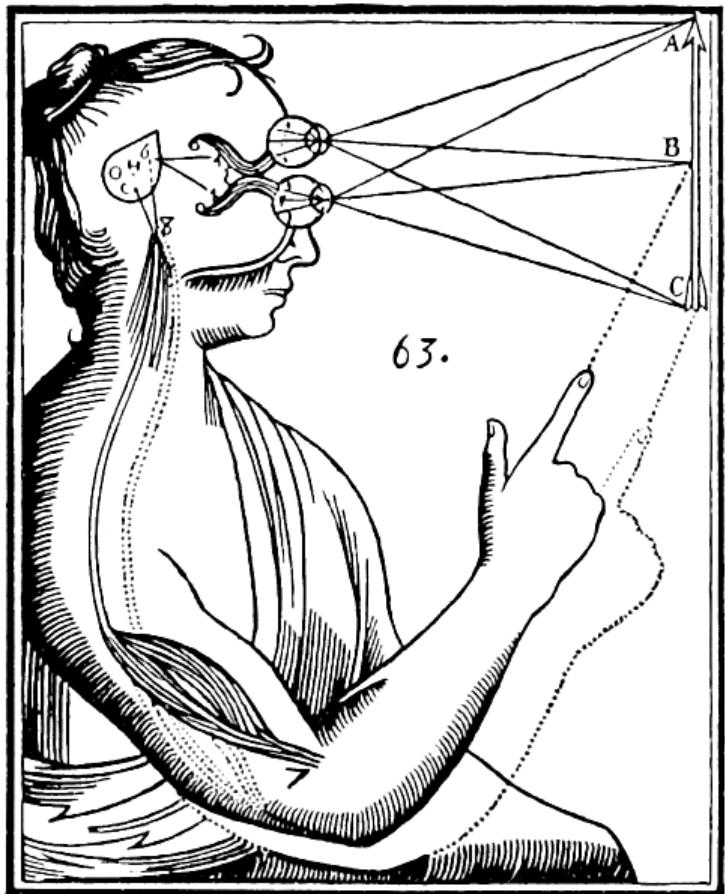
- 프랑스의 철학자, 수학자, 과학자.
- 『철학의 원리(Principia philosophiae)』(1644)
- “나는 물질적 사물에 관한 명석판명한 개념을 일반적으로 고찰할 것이다. 이 같은 개념은 형태, 크기, 운동이다. 이들 세 가지가 서로 변화할 때 따르는 규칙을 발견하고, 이 규칙이 기하학 내지 기계적 원리라는 것을 규명함으로써 인간이 자연에 대해 가질 수 있는 모든 인식은 필연적으로 이들로부터 얻어야만 한다고 판단했다. 왜냐하면 감각적 사물에 대한 다른 모든 개념은 혼란스럽고 애매할 뿐 아니라 외부의 사물을 인식하는 데 도움이 되지 않고 오히려 인식을 방해하기 때문이다.”

데카르트의 기계론



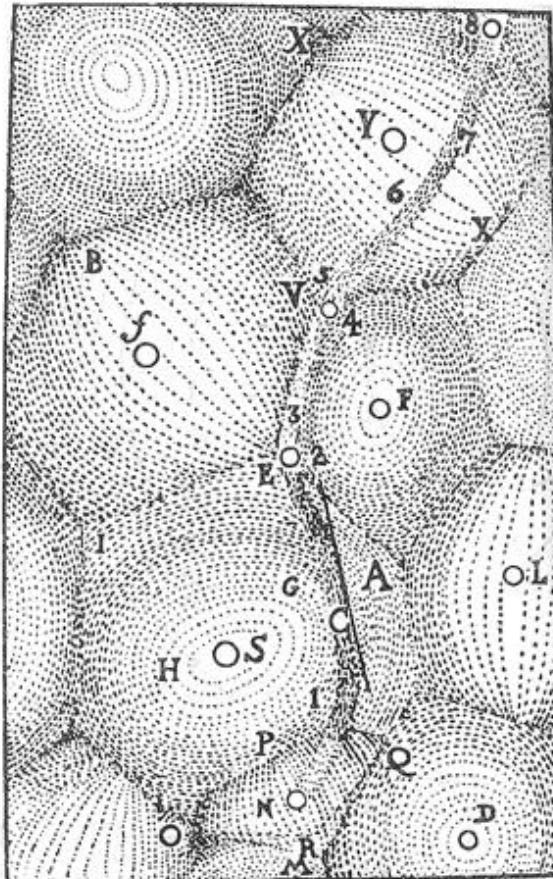
- 관성의 원리("모든 물질은 가능한 한 항상 같은 상태를 유지하려고 한다. 따라서 한 번 움직여지면 언제까지나 계속 움직인다."): 사물 혹은 자연을 철저히 수동적으로 봄. 기계론적 우주관의 기초.
- 세상의 모든 것은 물리적 사물 간의 예측 가능한 상호 작용이며 인간이 발견할 수 있는 보편적이고 수학적인 자연 법칙으로 설명 가능하다고 생각.
- "자동기계에 숙달된 사람이 어떤 기계의 사용 방법을 알고 있을 때 그 기계의 일부만 봐도 보이지 않는 다른 부분이 어떻게 만들어졌는지를 쉽게 추측할 수 있듯이, 나는 물질의 감각 가능한 작용이나 부분을 통해서 그 물질의 원인이나 감각할 수 없는 부분이 어떻게 되어 있는지를 탐색하려고 했다."

심신 이원론



- **심신 이원론:** 세계는 서로 대립되는 두 가지 즉, 정신과 물질로 구성됨. 자연은 연장의 속성을 가진 물질/정신은 사유의 속성을 가진, 물질로부터 자유로운 순수한 것.
- 역학적 세계 외에 정신적 세계가 따로 있으며, 만물 가운데 인간만이 이성과 정신을 가진 덕분에 이 두 세계를 향유할 수 있다고 주장.

데카르트의 기계론적 우주



- 플레니즘(plenism): plenum(라틴어로 “가득 찬”을 의미)에서 유래. 물질을 공간과 동일시. 진공 부정. 원자론 부정.
- 물체들 사이의 상호작용은 직접적인 접촉에 의한 운동의 전파, 즉 충격이나 압력에 의해서만 이루어진다고 생각.
- 우주는 에테르로 차 있고, 에테르가 흐르며 행성과 기타 천체들을 소용돌이(vortex) 속으로 휩쓸어 들인다고 주장. 그림은 혜성이 우리 태양계의 소용돌이를 통과하는 모습.
- 중력과 같은 원격 작용을 인정하지 않음.

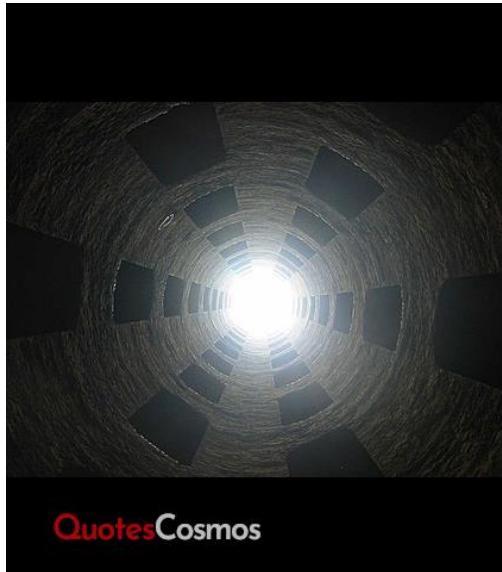
아이작 뉴턴



- Isaac Newton(1642-1726): 영국의 수학자, 물리학자, 천문학자, (연금술사, 조폐국장).
- 『자연철학의 수학적 원리(프린키피아, Philosophiæ Naturalis Principia Mathematica)』(1687: 고전역학과 만유인력의 기본 바탕 제시).
- <https://youtu.be/n6lRdH1Ezlo>
- <https://youtu.be/iP97eioZWIE>

뉴턴이 남긴 명언들

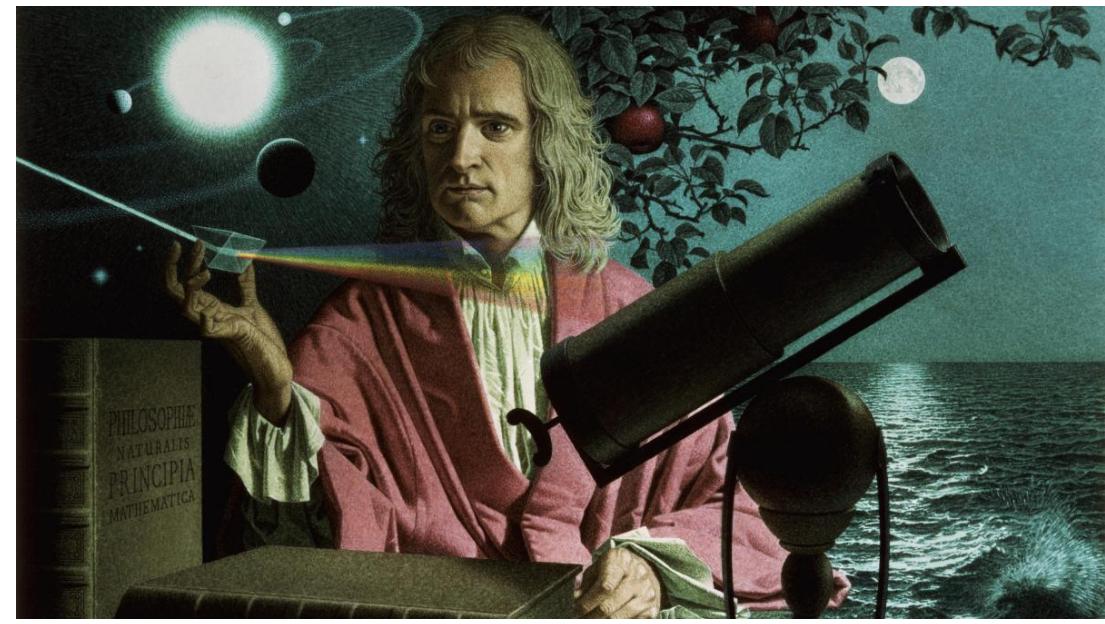
- “나는 내가 세상에 어떻게 비춰질지 모른다. 하지만 나 자신에게 나는 아무것도 발견되지 않은 채 내 앞에 놓여 있는 진리의 바닷가에서 놀며, 때때로 보통보다 매끈한 조약돌이나 더 예쁜 조개를 찾고 있는 어린애에 지나지 않는 것 같다.”
- “내가 다른 사람보다 더 멀리 앞을 내다볼 수 있다면, 그것은 거인의 어깨를 딛고 서있기 때문입니다.”(로버트 흑에게 보낸 편지 중에서)
- “나는 천체의 움직임을 계산할 수 있지만, 사람들의 광기는 계산할 수 없다.”



“ Nature and Nature's laws lay hid in night: God said, Let Newton be! — and all was light. ”

~ Alexander Pope

“기적의 해”(1666)



뉴턴과 주변 인물들



Robert Hooke(추정)(1635-1703)



Edmond Halley(1656-1742)

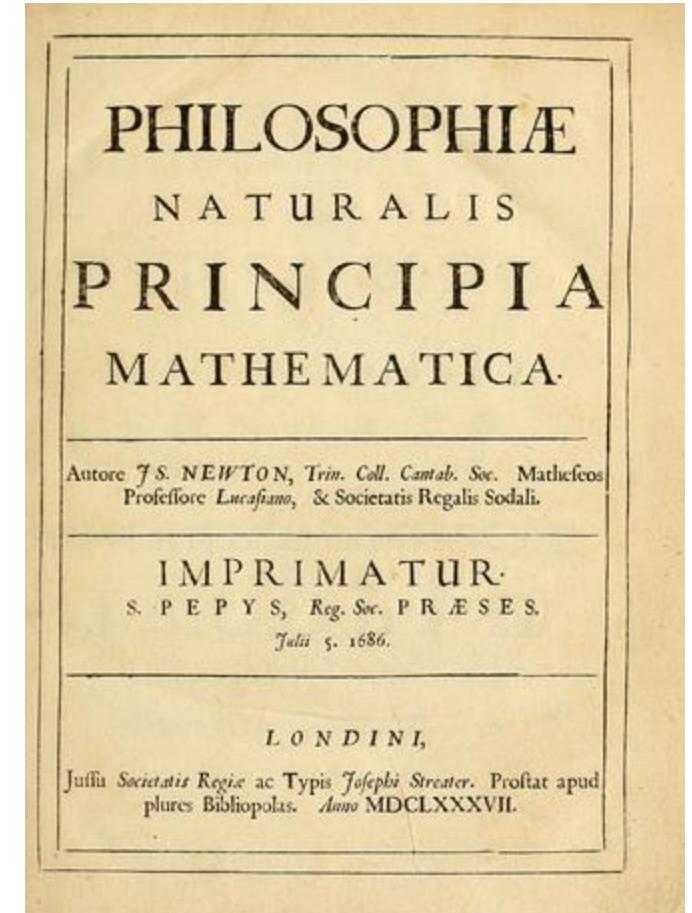


Gottfried Wilhelm Leibniz(1646-1716)

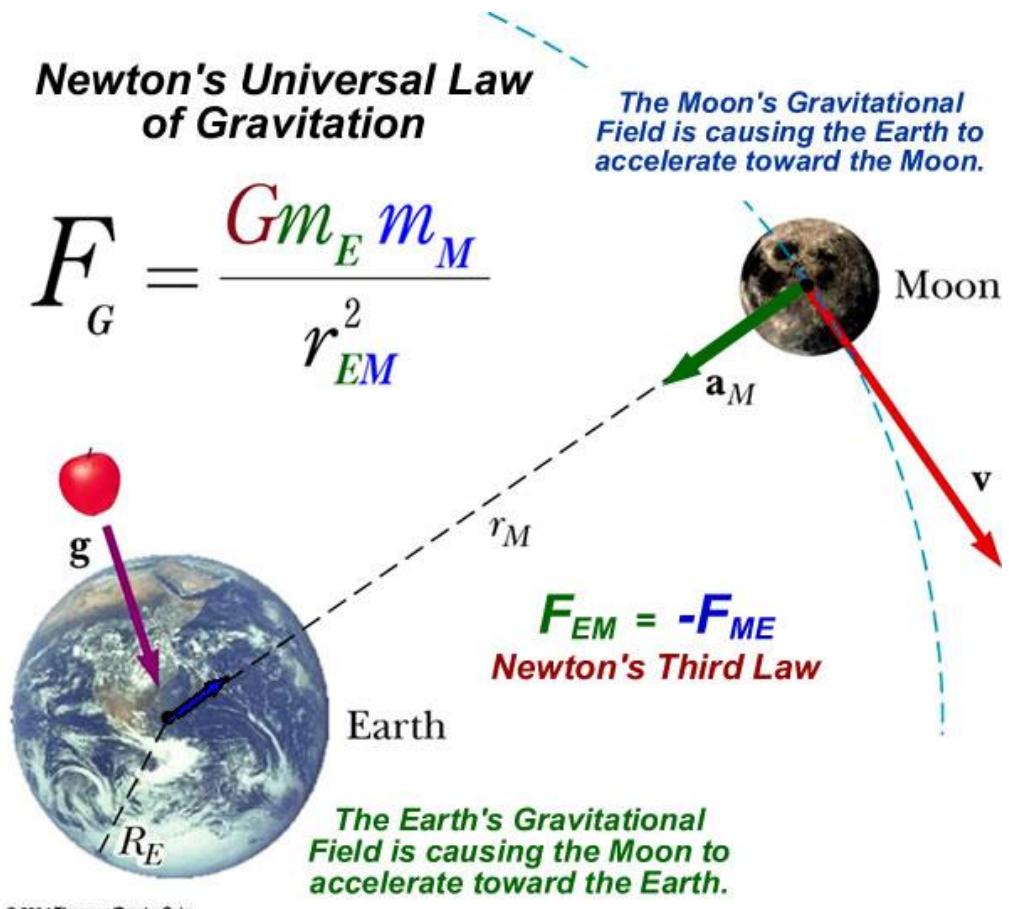
뉴턴의 업적

- 뉴턴의 운동법칙

- 1) 어떤 물체(질량)에 외부로부터 힘이 작용되지 않으면 그 물체는 원래의 운동상태를 지속한다.(관성의 법칙)
 - 2) 물체에 힘을 작용하면 그 물체에 가속도가 붙게 되는데, 그 가속도의 크기는 가속도의 작용하는 힘의 크기에 비례하고, 그 물체의 질량에 반비례한다.(가속도의 법칙)
 - 3) 어떤 물체에 작용하는 힘에는 그와 크기가 같고, 방향이 반대인 힘인 반작용이 작용한다.(작용 반작용의 법칙)
- 중력(만유인력)의 발견
 - 이 외에도 수학(미적분법 발명)/광학 등에 수많은 기여.



만유인력(universal gravitation)의 법칙



- 만유인력: 지구의 중력에서 달, 다른 행성의 위성, 태양 주위를 도는 행성으로 확대. “인력은 모든 물체에 보편적으로 존재한다.”
- 두 물체 사이에 작용하는 인력은 두 물체의 질량의 곱에 비례한다.
- 두 물체 사이의 인력은 두 물체 사이 거리의 제곱에 반비례한다.(역제곱의 법칙)
- 두 힘 $|F_1|$ 과 $|F_2|$ 의 크기는 질량과 거리에 관계없이 항상 같다. (G 는 중력상수)

1. 만유인력과 구심력

① 만유인력 법칙

- 원운동을 하는 물체에서 원의 (중심) 방향으로 작용하는 힘을 구심력(F)이라고 한다.

$$\bullet F = \frac{mv^2}{r}$$

(F :구심력, m :물체의 질량, v :회전 속도, r :회전 반경)

- 구심력은 물체의 (운동) 방향에 수직으로 작용한다.

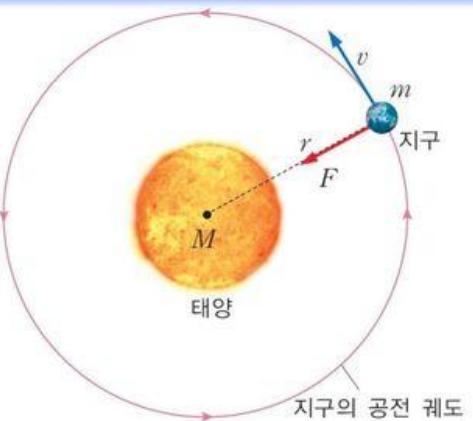
1. 만유인력과 구심력

① 만유인력 법칙

- 태양과 행성 사이에 작용하는 만유인력은 궤도 운동하는 행성의 (구심력)과 같다.

$$G \frac{Mm}{r^2} = \frac{mv^2}{r}$$

(G: 만유인력 상수, M: 태양의 질량, m: 행성의 질량, r: 태양과 행성 사이의 거리, v: 행성의 공전 속도)



2. 만유인력과 케플러 제3법칙

- 만유인력으로 나타낸 구심력을 v에 대해 풀면 다음과 같다.

$$v = \sqrt{\frac{GM}{r}}$$

2. 만유인력과 케플러 제3법칙

- 행성이 한 번 회전하는 동안 이동한 거리는 ($2\pi r$)이다.
- 속력은 거리 $2\pi r$ 을 주기인 T 로 나눈 것이므로, 이를 정리하면 다음과 얻을 수 있다.

$$v = \sqrt{\frac{GM}{r}} = \frac{2\pi r}{T}$$

- 이 식을 주기에 대해 정리하면 다음과 같다.

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{r^3}{GM}}$$

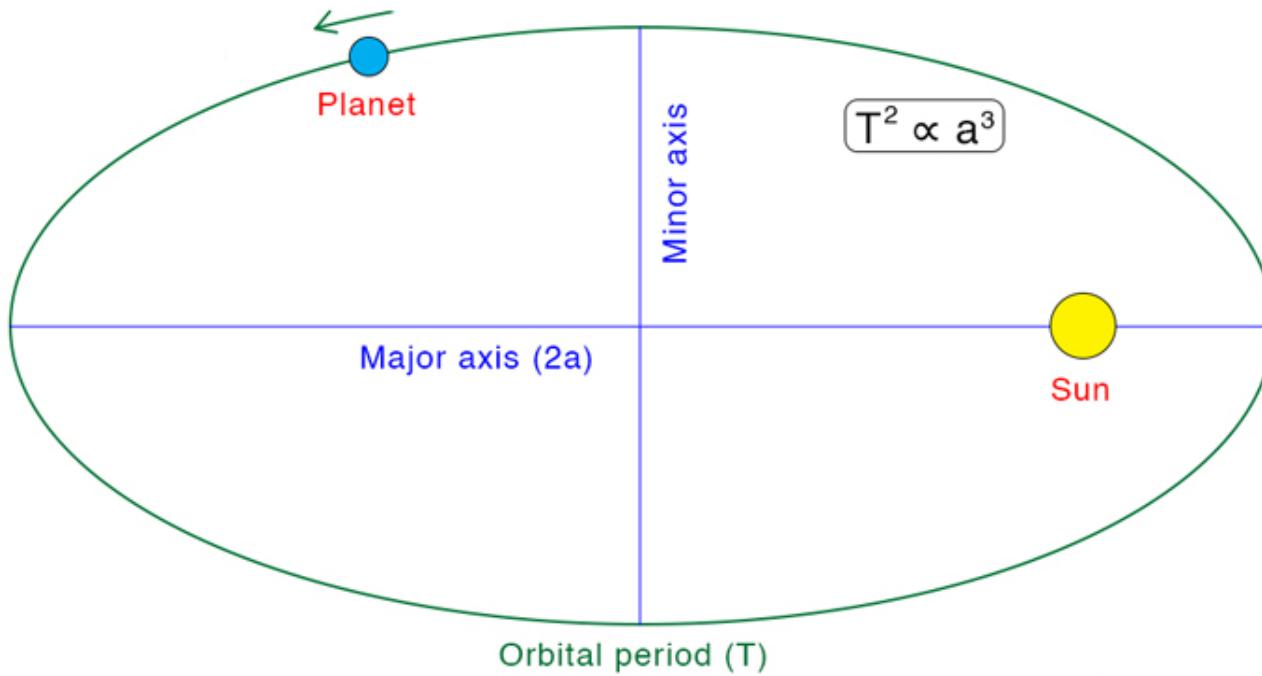
- 양변을 제곱하면 주기와 거리와의 관계를 알 수 있다.

$$T^2 = \frac{4\pi r^2 r^3}{GM} \quad \therefore T^2 \propto r^3$$

* 케플러의 제3법칙: 행성의 공전주기의 제곱은 궤도의 긴 반지름의 세제곱에 비례한다.

Kepler's Third Law

The square of the orbital period of a planet is proportional to the cube of the orbit's semi-major axis

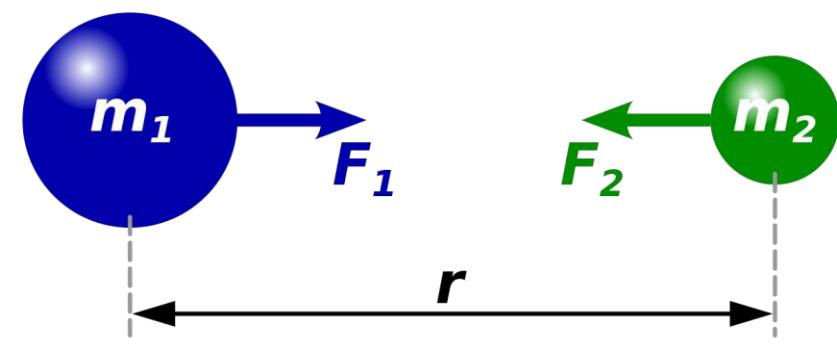


- 행성과 위성을 궤도에 묶어 두는 힘은 지구 중심에서의 거리의 제곱에 반비례하는 인력이며 특히 “달은 지구의 중력에 끌린다”고 주장.
- 달과 지구 사이의 대략적인 거리(지구 반지름의 60배)와 달의 공전주기(1개월)를 토대로 달을 궤도에 묶어 두는 힘을 계산.
- 1680년 나타난 혜성에 대한 관찰 자료와 계산을 통하여 그것이 태양의 중력을 받으며 케플러의 행성 운동 법칙에 따라 태양 주위를 돈다는 것을 증명.
- 중력 법칙이 천체들에도 적용됨을 증명.

☞ 천상과 지상을 통일.

뉴턴의 업적의 의의

- 뉴턴의 『프린키피아』는 아리스토텔레스에서 코페르니쿠스, 케플러, 갈릴레오, 데카르트에 이르는 우주론과 세계의 기반에 놓인 물리학에 관한 이론적 탐구의 전통을 사실상 완성함. 아리스토텔레스 아래로 분리되었던 천상과 지상을 통일. (케플러의 1,2,3 법칙이 모두 만유인력 법칙으로부터 유도됨)
- 이후의 과학적 전통의 형성에 결정적인 역할. 과학혁명을 완성하고 천문학, 역학, 광학, 기타 다양한 과학의 미래 연구 과제를 제시.



$$F_1 = F_2 = G \frac{m_1 \times m_2}{r^2}$$

중력 개념에 대한 도구주의적 태도와 실재론적 태도

- “중력은 실재한다.” vs. “원격작용은 있을 수 없다.”
- 중력에 대한 도구주의적 태도: 중력 방정식이 물체가 운동하는 방식을 탁월하게 설명하는 데 도움이 된다고 보지만, 그 물체가 그런 방식으로 운동하는 이유에 관해서는 불가지론을 고수하는 것. 중력 방정식을 사용해 뛰어난 예측을 제시할 수 있지만, 중력이 실재하는 힘인가 아닌가의 문제에 대해서는 입을 다무는 것.

“우리는 지금까지, 우주에서 나타나는 현상과 바다에서 생기는 현상을 중력의 힘으로 설명하였다. 그렇지만 중력의 힘이 생기는 원인은 다루지 않았다. 중력 작용은 그게 가해지는 표면의 물체의 양에 따른 게 아니라, 그 속에 포함되어 있는 물질의 양에 비례하며, 모든 방향으로 엄청나게 먼 거리까지 힘이 미치며, 항상 거리의 제곱에 역으로 비례해서 감소한다.

태양을 향해 생기는 중력은, 태양의 몸뚱아리를 구성하고 있는 모든 알갱이들을 향해 생기는 중력들을 더한 것이다. 태양으로부터 멀어지면, 저 멀리 토성의 궤도까지도, 거리의 제곱에 역으로 정확하게 비례해서 줄어든다. 행성들의 원일점이 가만히 있는 것을 보면 알 수 있다.

그러나 현상을 바탕으로 중력의 성질이 이렇게 되는 원인을 발견할 수는 없으며, 나는 아무런 가설도 세우지 않겠다(I frame no hypotheses. 라틴어 Hypotheses non fingo). 왜냐하면 현상을 바탕으로 이끌어내지 않는 것은 가설에 불과하기 때문이다. 그리고 가설은, 그게 초물리학적이든 또는 물리학적이든, 그게 신비적인 성질이든 또는 역학적이든, 실험과학에서 아무런 자리도 차지하지 못한다.

자연철학에서는 특수한 명제(propositions)가 현상으로부터 추론되고 이것은 귀납(induction)을 통해 일반화된다. 나는 이런 방법으로 물체의 불투과성과 움직임, 물체들의 충격력, 운동 법칙과 중력 법칙을 발견하였다. 그러니 우리 입장에서 보면, 중력이 실제로 존재하고, 그 중력이 우리가 설명한 법칙들에 따라서 작용하며, 또 그 중력이 천체들과 바다의 모든 움직임을 잘 설명하고 있으니 그것으로 충분하다.”

-아이작 뉴턴, 『프린키피아』 끝 부분의 “일반 주제” 중

뉴턴 세계관

- 우주는 광대하고 무한하며 태양은 단지 우리 태양계의 행성들이 회전하는 중심일 뿐이다.
- 물체는 외부 힘의 영향 때문에 움직인다.
- 우주는 기계에 가까운 것으로, 우주 속 물체들은 다른 물체를 밀고 당겨 서로에게 가하는 힘 때문에 움직인다.
- 신은 우주를 작동하는 존재가 아니라 우주를 설계한 일종의 기술자, 시계공이다.
- 개인은 사회를 구성하는 원자로 간주될 수 있다.

17세기 과학혁명의 특징(리처드 웨스트풀)

- ① 감각경험에 의한 상식보다 추상적인 이성을 선택. 갈릴레오가 운동에서 마찰을 없애고 사고실험을 한 것은 운동을 추상화한 대표적인 사례.
- ② 질적인 논의가 양적인 논의로 바뀜. 케플러, 갈릴레오, 뉴턴은 수학의 언어로 자연을 이해하고자 함. 갈릴레오가 등가속하는 물체의 이동거리는 시간의 제곱에 비례한다고 분석한 결과는 정량분석의 대표적인 사례.
- ③ 목적론적이고 유기적인 사고방식이 기계적이고 인과적인 사고방식으로 바뀜. 아리스토텔레스의 운동관에서 무거운 사과는 자신의 본성을 찾아 지구 중심을 향해 떨어진다는 설명은 사과가 뭔가 목적을 가지고 운동하는 것처럼 해석된다. 반면 지구와 사과 사이에 보편적으로 작용하는 중력이라는 힘 때문에 사과가 떨어진다는 설명은 훨씬 기계론적이다.
- ④ 새로운 과학 방법론 등장. 귀납주의의 베이컨, 수학적 연역주의의 데카르트, 그리고 실험과 수학을 결합시킨 갈릴레오 등이 대표적인 사례.
- ⑤ 궁극적인 설명보다 즉각적인 기술 방식을 채택. 아리스토텔레스의 본성적 운동은 물체의 본성, 즉 궁극적인 근원을 추구한 결과였다면 갈릴레오나 뉴턴은 물체의 본성에 대한 가설을 배격하고 현상의 본질이나 원인보다는 현상의 기술에 만족했다.

뉴턴 세계관의 발전

- 화학: 라부아지에(Antoine-Laurent de Lavoisier, 1743-1794)와 돌턴(John Dalton, 1766-1844)의 정량적 접근법. 화학과 물리학의 연결. 물체는 힘의 영향을 받고 그 힘을 수학적 법칙으로 설명할 수 있음.
- 생물학: 갈바니(Luigi Galvani, 1737-1798)와 볼타(Alessandro Volta, 1745-1827)가 생물학적 현상을 물리적, 화학적 과정에서 비롯한 전기현상으로 이해/ 별러(Friedrich Wöhler, 1800-1882)가 무기화합물에서 유기화합물 생성/ 다윈(Charles Darwin, 1809-1882)의 진화론. 생물학 현상과 비생물학 현상이 기본적으로 다르지 않다고 생각하게 됨.
- 전자기이론: 쿠롱(Charles Augustin de Coulomb, 1736-1806)이 두 물체 사이에서 작용하는 전자기력의 역제곱 법칙 발견/ 패러데이(Michael Faraday, 1791-1867)와 맥스웰(James Clerk Maxwell, 1831-1879)의 전자기 이론으로 발전. 빛과 전기, 자기와 연관된 현상들을 통일하고 그 바탕을 이루는 기본적인 수학 방정식들을 찾아냄.

"...그러나 코페르니쿠스와 뉴턴의 성취가 영구적이라 하더라도, 그러한 성취를 가능하게 해 준 개념들은 그렇지 않다. 해명 가능한 현상들은 많아지지만, 설명 자체에는 비슷한 축적 과정이 없다. 과학이 진보함에 따라 과학의 개념들은 연거푸 파괴되고 대체되며, 오늘날에는 뉴턴주의 개념들도 예외가 아닌 것으로 보인다. 이전의 아리스토텔레스주의처럼, 뉴턴주의가 (이번엔 물리학 내부에서) 발전시킨 문제들과 연구 기법들은 결국 그것들을 만들어 낸 세계관과 화해할 수 없게 되었다. 지난 반세기 동안 우리는 그에 따른 개념적 혁명을 겪고 있는 중이며, 그 혁명은 공간, 물질, 힘, 우주의 구조에 관한 (일반인은 아닐지라도) 과학자의 관념을 다시 한 번 변화시키고 있다. 뉴턴주의 개념들은 방대한 양의 정보에 대한 경제적인 요약을 제공하기 때문에 여전히 사용되고 있다. 그러나 그것들은 점점 오직 경제성 때문에 사용되고 있으며, 이는 고대의 2구체 우주가 현대의 항해사와 측량가들에 의해 사용되는 것과 같은 이치다. 그들은 여전히 기억에 유용한 도움이 되고 있지만, 미지의 대상에 대한 신뢰할 만한 길잡이가 되진 못하고 있다. 따라서 앞선 관념들에 비해서는 더 강력하긴 하지만 뉴턴주의 우주는 더 최종적이라는 것을 증명하지 못하고 있다. 그것의 역사는 인간 사상의 발전을 망라한 많은 장들 중 하나로, 코페르니쿠스와 뉴턴이 파괴한 지구 중심적 우주의 역사와 별반 다르지 않은 구조를 가진다."

-쿤, 코페르니쿠스 혁명