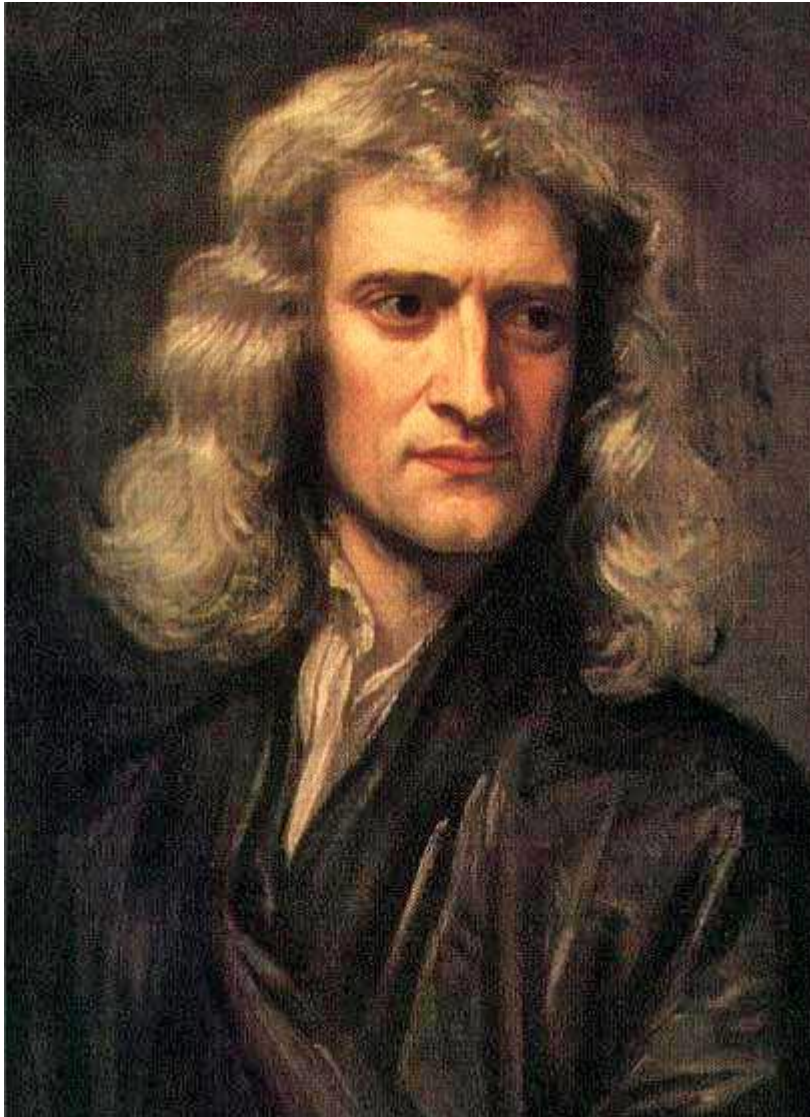


## 과학사 09주차(09강). 근대과학과 계몽주의

**학습목표:** 뉴턴의 삶과 주요업적을 살펴 봄으로서 근대과학의 확립이 유럽에 어떠한 사회문화적 영향을 가지기 시작했는지를 알아본다.

●**뉴턴** Isaac Newton(1642-1726); “세계사의 3대 수학자이며 동시에 3대 물리학자”



[1689년 제작된 뉴턴의 초상화] [http://en.wikipedia.org/wiki/Isaac\\_Newton](http://en.wikipedia.org/wiki/Isaac_Newton)

-뉴턴은 과학단체를 동원하여 본격적으로 자신의 업적을 홍보하며 자신의 견해를 우주의 법칙으로 과감히 공언하고 경쟁자를 사회적으로 제압할 수 있는 과학권력의 시기를 연다.

### [뉴턴의 법칙]

-제 1법칙: 관성의 법칙(움직이는 물체는 계속 움직이려 하고 서있는 물체는 계속 서있으

려 한다.)

-제 2법칙:  $F=ma$  (힘은 질량 곱하기 가속도이다)

-제 3법칙: 모든 작용에 대해 반대의 힘인 반작용이 존재하며, 작용과 반작용은 크기는 서로 같고 방향은 반대이다.

-만유인력의 법칙: 중력은 두 물체 질량의 곱에 비례하고 두 물체 사이 거리의 제곱에 반비례하는 인력이다. 즉,  $G\frac{Mm}{r^2}$ 이다. 이때  $M$ 과  $m$ 은 두 물체의 질량이며  $r$ 은 두 물체 사이의 거리,  $G$ 는 비례상수로서 만유인력의 상수라고 불린다.

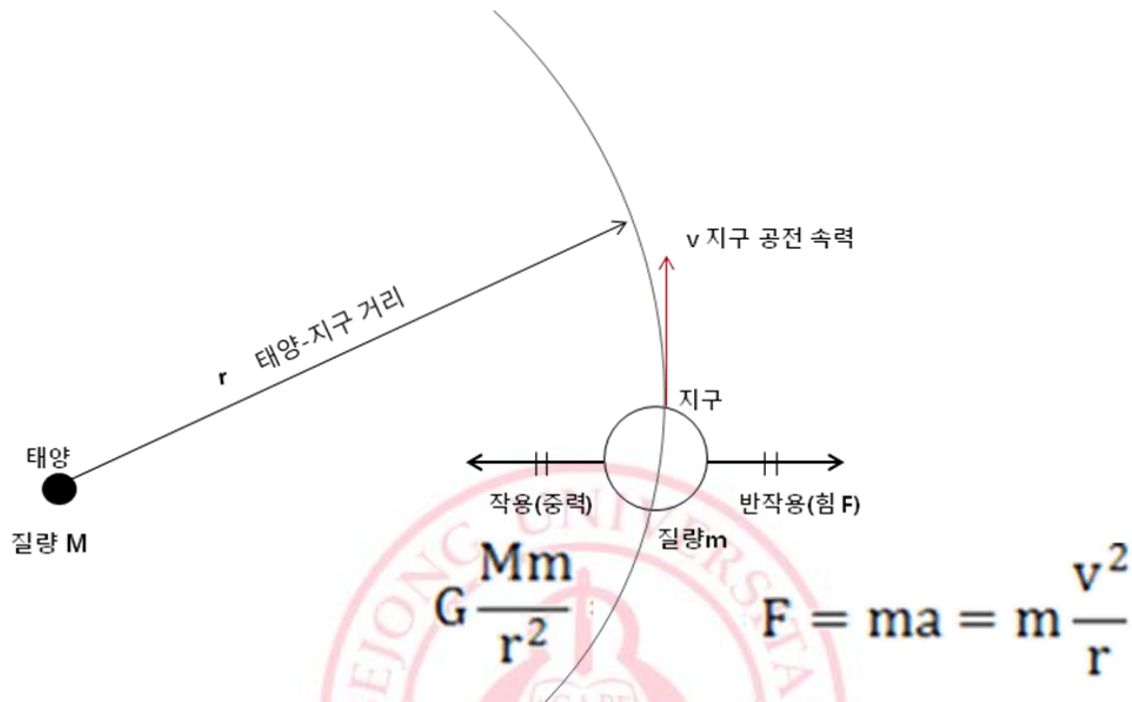
뉴턴은 이때 중력이 아무것도 없는 빈공간 속을 무한히 빨리 순식간에 전달된다는 원격 작용 혹은 직달작용(action at a distance)임을 주장하였다. 그는 직달작용에 대한 기계적 설명을 거부하면서 “나는 가설을 상정하지 않는다”라고도 선언하였다. 이 선언은 실험이나 관측으로 경험할 수 있는 설명만을 추구하며 경험적으로 검증할 수 없는 가설을 배격하겠다는 선언이다. 즉, 중력을 현상적으로 기술(거리의 제곱에 반비례하고 두 질량의 곱에 비례하는 인력)하는 것으로 만족하고 중력에 대한 가설적인 본질이나 원인에 대해서는 고심하지 않겠다는 선언이기도 하다. 이때부터 중력에 대한 데카르트적인 기계적 설명은 물리학에서 설 자리를 잃게 된다.

-뉴턴은 위 법칙과는 별도로 기하학을 써서 원운동가속도는  $\frac{v^2}{r}$ 임을 알아낸다. 이때,  $v$ 는 원운동 속력,  $r$ 은 원의 반지름이다.

[사례]자동차가 회전할 때는 회전의 (운운동)가속도를 줄여야 전복사고를 피할 수 있다. 그러기 위해서는 속력  $v$ 를 아주 많이 줄이거나 회전반경  $r$ 을 크게 하여 회전하여야 가속도가 작아진다.

[질문: 이런 법칙들은 왜 필요한가?]

뉴턴의 1,2,3법칙과 중력의 법칙 및 원운동 가속도 등은 케플러의 제 3법칙을 유도해내기 위한 그림 맞추기 퍼즐의 조각들이었다. 그러나 그는 사과나무에서 떨어진 사과로부터 그런 법칙들을 깨닫게 되었다는 유명한 일화를 통해 그 과정을 신비적으로 포장하여 자신을 스스로 천재화시킬 만큼의 권력을 충분히 소유할 수 있게 된다. 뉴턴의 사과나무는 전세계에 보내져서 뉴턴을 영웅화하고 대영제국의 영광을 직접적으로 나타내는 힘의 상징물처럼 쓰인다.

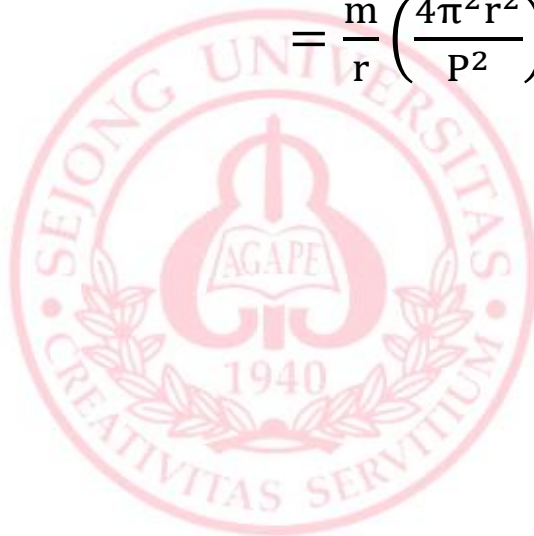


지구는 위의 그림에서처럼 붉은색 화살표방향으로 계속 운동하려 한다. 이렇게 지구가 **계속해서 일정한 속력으로 운동하려는 성질**을 뉴턴은 관성(제 1법칙) 때문이라고 말한다. 이때 태양의 중력(만유인력)은 지구를 왼쪽방향으로 끌어당긴다. 그러나 이런 왼쪽 방향의 힘에도 불구하고 지구가 태양으로 떨어지지 않는 것은, 중력의 작용에 대하여 **반대쪽으로 반작용의 힘이 같은 크기로 생겨**나 지구에 대해 균형을 맞춘다(제 3법칙)고 말한다. 이 반작용도 **힘이므로 질량곱하기 가속도로** 표현되어야 한다(제2 법칙;  $F=ma$ ). 특히, 원운동의 경우에 이 가속도는 **원운동 가속도( $a = \frac{v^2}{r}$ )**이다.

이리하여

$$\begin{aligned}
 G \frac{Mm}{r^2} (\text{작용}) &= F (\text{반작용}) \\
 &= ma \\
 &= m \frac{v^2}{r} \\
 &= \frac{m}{r} (\text{속력})^2 \\
 &= \frac{m}{r} \left( \frac{\text{거리}}{\text{시간}} \right)^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{m}{r} \left( \frac{\text{1회공전거리}}{\text{1회공전시간}} \right)^2 \\
 &= \frac{m}{r} \left( \frac{\text{원둘레}}{\text{공전주기}} \right)^2 \\
 &= \frac{m}{r} \left( \frac{2\pi r}{P} \right)^2 \\
 &= \frac{m}{r} \left( \frac{4\pi^2 r^2}{P^2} \right)
 \end{aligned}$$



이리하여, 맨 처음의 왼쪽과 맨 마지막의 오른쪽 항을 다음과 같이 같다고 둘 수 있다.

$$G \frac{Mm}{r^2} = \frac{m4\pi^2 r}{P^2}$$

이제  $m$ 을 양변에서 약분하면,

$$G \frac{M}{r^2} = \frac{4\pi^2 r}{P^2}$$

가 되고 주기  $P$ 와 거리  $r$ 을 한쪽에 모우고 나면,

$$\frac{P^2}{r^3} = \frac{4\pi^2 M}{G} = \text{일정}$$

오른쪽이 일정한 이유는  $G$ 는 만유인력 상수이며,  $M$ 은 태양의 질량으로서 역시 상수이기 때문이다. 이리하여 결국 우리는 케플러의 제 3법칙을 얻게된다.

즉, 뉴턴의 제1,2,3법칙과 만유인력의 법칙은 케플러의 제 3법칙을 끌어내기 위한 필수적

인 도구였다. 거꾸로, 케플러의 제 3법칙을 끌어내려면 뉴턴의 제1,2,3법칙과 만유인력의 법칙은 꼭 필요한 퍼즐의 조각들이다. 이 과정에서 뉴턴은 원운동 가속도 정도만을 추가로 계산해 내어야 했을 뿐, 다른 모든 것들을 그냥 법칙이라고 선언하고 있다. 뉴턴의 사과나무는 이런 자명한 과정을 덮기 위한 일종의 언플은 아니었을까?

## [뉴턴의 일생]

-1642년 갈릴레오가 사망한 해의 크리스마스날 태어남, 아버지가 그가 태어나기 3개월전 이미 사망한 유복자로서 아버지는 소지주 집안이였으며 어머니는 지방농촌의 상류층 가문.

-어머니는 그가 3살 때 재혼하여 뉴턴은 외할머니에 의해 양육되었는데 어머니(나아가 여자 전체)와 학교친구들에 대한 적개심으로 가득차 “소외와 고통으로 인한 신경장애를 가지고 있었고 이른 나이에 정서적으로 비뚤어졌다”(p.381, 『과학과 기술로 본 세계사 강의』 이하 책제목 생략).

-재혼한 어머니는 세명의 자녀를 낳고 다시 미망인이 된 후 그를 농부로 만들려 했으나 외가의 인맥(특히 성직자인 삼촌)을 동원하여 1661년 케임브리지 대학의 “트리니티 칼리지에 장학생으로 등록했고, 처음 몇 해 동안 상급생들의 시중을 드는 수모를 겪었다(뉴턴은 자신이 시골 출신이라는 점을 항상 의식하며 자책했다.)”(p.382)

-1665년 흑사병으로 학교가 2년간 휴교하면서 귀향하여 미적분, 빛과 색에 관한 광학이론(렌즈나 프리즘은 빛을 굴절 시키며 백색광은 모든 광선이 합쳐진 것) 및 중력의 법칙을 구상했다고 알려진다. 그러나 아직 “전설이 얘기하는 것처럼 완벽하게 정립되거나 완성된 업적이 아니었다.”(p.383)

-1667년 학교로 돌아와 강의를 시작하고 69년 아이작 배로우Isaac Barrow교수가 스스로 퇴임하면서 뉴턴을 추천하여 26세의 나이로 케임브리지 대학의 제2대 루카스 수학 석좌교수가 됨

-1672년 광학이론에 근거하여 반사망원경을 고안하고 왕립협회에 기증한 후 왕립협회 회원으로 선출됨. 그러나 실험결과의 해석을 놓고 수 십년간 Hooke(1635-1703) 등과 논쟁에 휘말림. 이때부터 공적인 삶을 기피하고 종교적 은둔의 삶을 추구. 그러는 동안 기독교의 정통 교리인 삼위일체를 거부하는 **이단적 종교관**을 가지면서 성경 속에는 비밀스럽게 전해진 숨겨진 암호가 있다고 생각한다. 이렇게 “신비로운 지식을 추구한 뉴턴은 1670년대 중반부터 1680년대 중반까지 가장 많은 관심과 시간을 **연금술**에 투자했다”(p.385). “뉴턴은 진지하게 실천하는 연금술사였다. [...] 그는 연금술사의 지하조직과 교류했으며 [...] 뉴턴이 남긴 원고의 가장 많은 부분은 연금술에 관한 것”(p.385)이 었다.

-1684년 거리의 제공에 반비례하는 인력(중력, 만유인력)하에서의 행성궤도운동에 관한 서신을 헬리에게 보내면서 그의 최대 업적인 『프린키피아』 저술을 시작함.

-1687년 헬리에게 보낸 서신을 확장하여 『프린키피아』를 왕립학회(왕립협회)의 승인 하



에 출판한 후 중력의 역제곱법칙에 대해 Hooke와 2차 논쟁을 시작함.

-1688년 명예혁명Glorious Revolution으로 카톨릭 왕 제임스 2세가 퇴위하고 네덜란드의 개신교도인 윌리엄(1702년 사망)과 메리(1694년 사망)가 왕과 여왕으로 옹립되자 평소부터 카톨릭에 대한 적대감이 강했던 뉴턴은 윌리엄과 메리를 의회에서 공개적으로 지지하며 정치적 입지를 크게 강화함.

-1693년 은둔생활 중 심각한 신경쇠약을 겪음. 이 신경쇠약은 아마도 연금술 실험 중 중금속에 중독되었거나 미적분학 발견 우선권을 라이프니츠와 논쟁한 것이 영향을 주었을 수도 있으나 (비육체적) 동성애 연인인 “25세의 스위스 수학자 니콜라스 파치오 드 드월리어Nicolas Fatio de Duillier와의 관계가 깨져버린 것”(p.398)이 “뉴턴의 심리적 몰락을 가져온 가장 직접적인 원인이었다”(p.398).

-1696년 윌리엄 왕에 의해 정치적 보상을 받아 정부관료로 변신하며 조폐국장이 되어 런던에 정착한 후 위폐단속과 주화제작업무를 담당하면서 최악의 신경쇠약으로부터 벗어남.

-1703년 오랜 경쟁자인 Hooke이 죽은 후 왕립협회 회장이 되고 사망시까지 조폐국장직과 왕립협회장직을 동시에 역임하였다.

당시의 뉴턴은 “영국 과학계에서 독재적인 권력을 휘둘렀다. 왕립 학회에서 그는 마음대로 회원을 뽑고 위원회를 구성했다. 그는 그리니치 천문대도 통제했고, 그의 목소리는 대영제국 전체의 과학자 관료임명에 결정적인 영향을 미쳤다. 그가 1705년 앤 여왕에게 작위를 받아 아이작 뉴턴 경이 된 것은 결코 우연이 아니다. 부끄럽게도 뉴턴은 왕립 학회에서 자신이 지닌 권위와 지위를 미적분학 발명의 순서를 놓고 벌어진 라이프니츠와의 논쟁에 악용했다. 뉴턴은 1665-66년에, 라이프니츠는 1676년경에 각자 독립적으로 미적분학의 근본 정리를 발명한 것으로 보인다”(p.399). 그러나 “뉴턴 진영은 라이프니츠가 뉴턴의 업적을 도둑질하고 표절하고 거짓말했다는 혐의를 제기했다. 그리하여 1711년 라이프니츠는 왕립 학회에 진실을 밝혀줄 것을 호소하는 어처구니없는 실수를 범했다. 이로써 그는 제 발로 뉴턴의 손아귀 속으로 들어간 것이었다. 뉴턴은 왕립 학회 내에 조작한 법정을 급조하고, 스스로 나서서 ‘뉴턴씨가 최초의 발명자임을 인정하는’ 『서신 교환 보고서』를 작성했다. 뉴턴은 더 나아가 1714년에 ‘서신 교환 보고서에 대한 해설’이라는 장문의 글을 써서 왕립학술 기관지 『철학적 교류』에 익명으로 발표하여 라이프니츠의 숨통을 조였다. 심지어 1716년 라이프니츠가 사망한 후에도 뉴턴은 라이프니츠의 주장을 철저히 탄압했다.”(p.399)

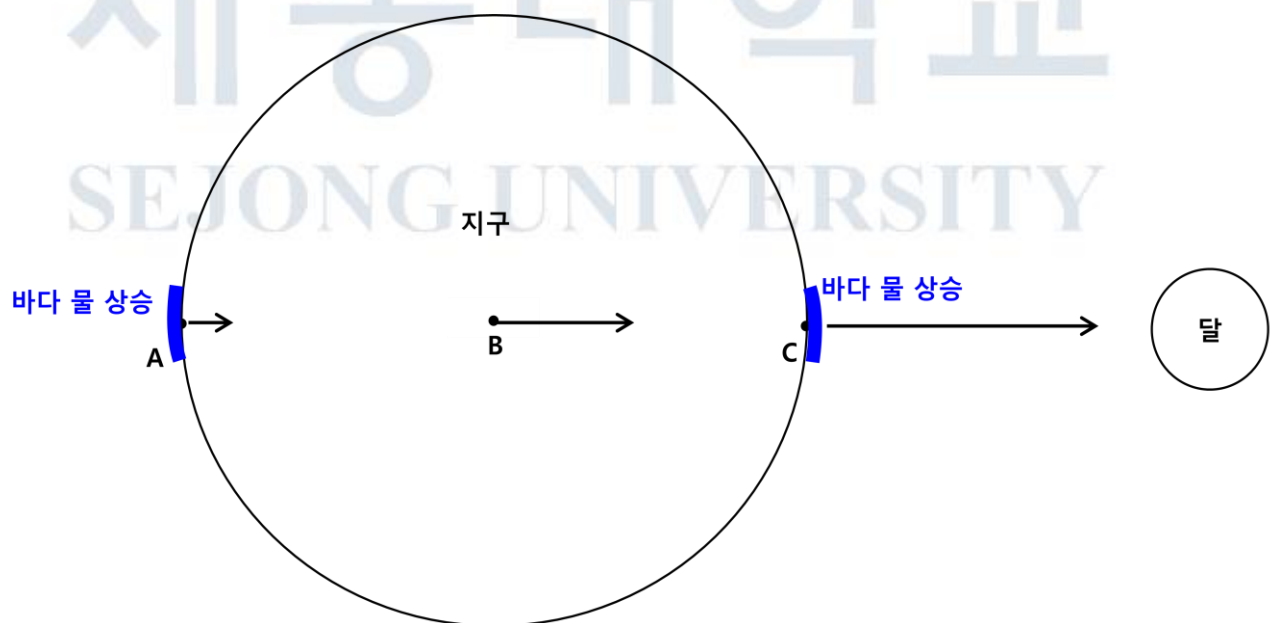
●**라이프니츠** Leibniz (1646-1716); 독일의 수학자, 철학자로서 생존시에는 뉴턴과의 경쟁에서 패배한 듯 보였으나 라이프니츠의 미적분기호는 뉴턴의 것보다 현대에 훨씬 더 자주 사용된다.



#### [뉴턴의 일생- 계속]

-이후 늙고 비만해진 말년의 뉴턴은 이단적 성경해석에 근거한 신학에 다시 깊게 몰두했으며 “생애의 마지막 몇 년 동안 뉴턴은 자제심을 잃었고 점점 더 자기 방 안에 틀어박혔다”(p.405). 그럼에도 불구하고, “최후의 마술사였으며 정서적으로 뒤틀리고 상처가 많았던 뉴턴은 일종의 국민적 영웅이자 이성적인 과학자의 모범으로 부활했다”(p.405). 역설적이게도 뉴턴은 18세기 프랑스에서 시작된 이성과 합리성의 상징인 계몽주의의 아버지라고 현재 평가되고 있다.

#### [뉴턴 과학의 사례1]밀물과 썰물



지구에서 달에 제일 가까운 C지점을 달이 끌어당기는 중력은 지구중심B(지구는 매우 딱딱하므로 지구 중심부를 끌어당기는 것은 지구전체를 끌어 당기는 것과 같다)를 끌어 당기는 힘보다 더 강하다. B보다 C가 달에 더 가깝기 때문이다. 이 때문에 지구중심(혹은 지구전체)B보다 C가 달 쪽으로 더 강하게 당겨지며 이에 따라 C지역의 바다 물이 달 쪽으로 상승한다. 이것을 밀물이라고 한다. 그런데 밀물은 12시간 후에 다시 발생한다. 그러나, 12시간후면 지구가 반바퀴를 자전한다. 이때, C지역에 있던 관측자는 A지역에 위치하게 되고, 이때 달은 하늘 위가 아니라 지구 속 저 아래 깊숙히에 위치하게 된다. 그렇다면 땅 속 아래에 있는 달이 어떻게 A지점의 바다 물을 다시 상승시키는 걸까?

뉴턴은 이를 이렇게 간단히 설명한다. 지구중심(혹은 지구전체)B가 끌어당겨지는 힘이 A가 끌어당겨지는 힘보다 더 크다. (여기서 설명이 끝났다!) 즉, A지점에서는 물이 상승한 것이 아니라 땅속 B가 더 달 쪽으로 내려 앉은 것 이라능^^ .... ! ( $\pi\tau$ ?) 이렇게 뉴턴은 중력의 차이(이를 차별 중력이라고도 부른다)로 밀물과 썰물의 발생을 설명하였다. 일부 과학교과서는 아직도 A지점에서의 바다 물 상승이 지구의 자전에 의한 원심력 때문이라고 설명하려고 하고 있다. 이 설명은 갈릴레오가 제시한 오류라고 과학사에서는 알려져 있다.

#### ●볼테르 (볼테어)Voltaire(1694-1778);

-뉴턴의 장례식에서 큰 감명을 받아 근대과학적 진보를 사회과학과 인문학으로 확장하려는 계몽주의Enlightenment 운동을 프랑스에서 시작하였다. “계몽운동에 합세한 세력들은 자유주의적이고 진보적이고 개혁적이었으며 심지어 혁명적이었다. 그들은 1776년 미국혁명과 1789년의 프랑스 대혁명의 역사에서 중요한 역할을 했다”(p.406).

-볼테르의 표현의 자유에 관한 명언

”나는 당신의 생각에 반대한다. 그러나 당신이 그런 생각을 표현할 권리를 위해 목숨을 바쳐서라도 싸울 것이다. I disapprove of what you say, but I will defend to the death your right to say it.”

-**계몽주의**는 중세를 미신, 무지, 독단, 편견의 시대로 규정하고 뉴턴의 시대 이후는 근대과학의 시대로서 수학적, 합리적, 경험적, 실험적 시대로 발전했다고 본다. 특히 볼테르는 뉴턴 과학에 입각하여 사회내의 제도적 모순을 해결하자는 사회문화정치운동을 주장하며 이성을 강조하고 정치적 사회적 권위를 부정하였다. 볼테르의 영향으로 인하여 사회적 정의와 윤리를 실현하고자 하는 자유주의적 입헌정치의 구현운동이 동시에 일어난다. 이런 계몽주의 운동 속에서 과학의 진흥과 대중화를 위한 협회(과학진흥협회)와 상시 전시관(자연사박물관)들이 만들어지고 드디어 과학자Scientists라는 단어도 태어난다. 그러나 이런 계몽주의에 대한 사회문화적 반감도 동시에 일어나 수학적 기계론적 과학에 대한



반발이 발생하였다. 이런 **낭만주의**는 과학의 지나친 전문화와 권력화를 우려하며 인간의 감성적 측면에 대한 강조를 통해 현대의 탈근대주의로 이어진다.



[볼테르] <http://ko.wikipedia.org/wiki/%EB%B3%BC%ED%85%8C%EB%A5%B4>

●**샤틀레**Châtelet 부인(1706-1749); 뉴턴의 저작 『프린키피아』를 프랑스어로 번역하고 해설해낸 프랑스의 후작 부인으로서 개방적인 남편의 이해(?)속에서 연인 볼테르와 함께 기거하며 뉴턴의 과학과 수학을 같이 탐구했으며 동시에 두 명의 철학자 애인들이 더 있었다. 1748년 5월에는 시인이었던 새로운 애인을 만나 임신했으며 1749년 9월 3일 딸을 낳은 후 일주일 후에 42살의 나이로 사망하였고 이 딸도 18개월 후 사망하였다. 샤틀레는 사망하기 직전 『프린키피아』의 프랑스어 번역을 마쳤으며 사망한지 10년 후에 이 번역은 책으로 출판되었다. 이 책은 여전히 가장 표준적인 불어판 『프린키피아』로서 현재까지 남아있다. 그녀의 장례식에서 아마도 그녀의 남편과 그녀의 모든 연인들은 모두 만났을 것이며, 틀림없이 그들은 밤이 새도록 뉴턴과학의 위대한 승리를 서로 열렬히 토론했으리라 .... ^^. 과거의 사람들이 더 보수적일 것이라는 주장은 최소한 프랑스에서는 통하지 않았다. 그들은 역사의 진보와 과학의 발전에 대한 확신 속에서 살기 시작했다.



[볼테어의 연인 샤틀레Chatelet 부인(1706-1749)]

[http://en.wikipedia.org/wiki/%C3%89milie\\_du\\_Ch%C3%A2telet](http://en.wikipedia.org/wiki/%C3%89milie_du_Ch%C3%A2telet)

## [뉴턴 과학의 사례2]토성의 테와 소행성의 기원

질문;만약 지구에 미치는 달의 중력의 차이(차별중력)가 너무나 커서 지구 자체의 중력보다도 더 커지면 지구는 어떻게 될까?

뉴턴;지구는 파괴될 것이다.

질문;토성 테의 기원을 차별중력으로 설명할 수 있나요?

뉴턴;물론이다. 토성의 테는 토성의 엄청난 차별중력으로 파괴된 토성의 위성일 것이다. 따라서 토성의 테는 무수한 작은 조각으로 이루어져 있을 것이며 테 안쪽에는 위성이 존재할 수 없다. 안쪽에 있다 하더라도 곧 파괴될 것이기 때문이다.

질문;화성과 목성 사이에 무수히 존재하는 소행성의 기원을 설명할 수 있나요?

뉴턴;물론이다. 소행성들은 태양의 엄청난 차별중력으로 파괴된 태양의 행성일 것이다. 따라서 소행성들은 무수한 작은 조각으로 이루어져 있는 태양의 테이다.

질문;그럼 태양의 테 안쪽에 왜 행성이 존재하고 있나요? 안쪽에 있는 행성들은 더 쉽게 파괴되지 않나요?

뉴턴;난 가설을 상정하지 않는다. 현상적으로 기술하는 것으로 만족하고 가설적인 본질이나 원인에 대해서는 고심하지 않겠다. 난 지금 바쁘다. 연금술사 마술경진대회가 있어서 그럼 이만 .... 그런데 혹시 자네는 남자에 관심 있는가?

## 참고문헌

『과학과 기술로 본 세계사 강의』 전대호 옮김 2006 모티브

『과학사 신론』 제2판 김영식 임경순 저 2011 다산출판사