

뉴턴의 혜성연구와 만유인력

성 영 곤
서울대 서양사학과

Newton's Research on Comets and His Theory of Universal Gravitation

SUNG Young-Gon
Department of Western History
Seoul National University

ABSTRACT

In the *Principia* bk. III Newton develops a theory of cometary motions in which he approximates a parabolic path to the observed part of the comets' orbital motion. This method was successfully applied to both periodic comets with elliptical orbits, and nonperiodic ones with parabolic orbits, neglecting the planetary perturbations that cause a departure from orbits that would be pure conic section. This final theory was long in maturing, and Newton continued to try to use the rectilinear path as an adjunct to computing until almost the completion of the *Principia*.

This paper aims at analyzing the steps toward Newton's cometary theory and his theory of universal gravitation. First, I'll discuss on *Principia* bk. III, lemma IV and "example", and especially I'm interested in why *Principia* concludes with a lengthy presentation of Newton's method of using observed places of the comet of 1680 to determine the elements of its orbit, using the parabolic approximation.

The analysis of the progress of the theory shows the importance of Newton's alchemical studies. By the combined influence of alchemy and the cosmic problem of orbital mechanics, Newton's philosophy of nature underwent a profound conversion from Mechanical Philosophy. Henceforth, the ultimate agent of nature would be for him a force acting between particles rather than a moving particle itself.

Sometime after 1679, Newton had become converted to nonlinear orbits of comets that curve around the sun. In *De Motu*, Newton uses the problem on finding the elliptical trajectory by means of the orbital mechanics. Newton's recognition that comets are 'a kind of planet' introduced an additional transformation of the gravitational force by making it even more general than a mutual interaction between the earth and terrestrial objects, between sun and planets. Including a sun-comet force among gravitational effects enlarged the scopes of action of gravity, to establish the theory of universal gravity.

I

뉴턴(Isaac Newton, 1642-1727)의 「프린키피아」Ⅲ권의 ‘보조정리(Lemma)Ⅳ’는 혜성의 위치와 운동에 대하여 주로 다루고 있다. 우선 그 제목부터 “혜성은 달보다 멀고, 행성계의 영역에 위치한다”고 시작하는데 뉴턴에 따르면 혜성은 일주시차(diurnal parallax)가 관측되지 않으므로 달보다는 멀리 떨어져 있고, 연주시차(annual parallax)는 관측되므로 행성계 내에 위치한다는 것이다.¹⁾

게다가 혜성의 운동궤도가 행성들의 궤도와 비슷한 영역에 위치함으로써 지구에서 관측되는 혜성의 운동속도는 그 운동방향에 따라 영향을 받게 된다는 것이다. 지구에서 볼 때 12궁(sign)의 순서를 따라 움직이는 혜성들은 지구의 공전방향과 모두 같은 방향으로 움직이는 것들이고, 12궁의 순서와 역으로 움직이는 혜성들은 지구의 공전방향과 반대방향이거나 경우에 따라서는 같은 방향일 수도 있게 된다. 왜냐하면 후자의 경우는 지구 및 혜성의 운동속도의 차이나 상호간의 거리, 궤도 내에서의 방향전환 등에 의해서 12궁의 순서를 거꾸로 따라 움직이는 것처럼 보이기도 하기 때문이다. 순행, 역행 혹은 운동의 속도변화 같은 지구에서 관측되는 행성들의 겉보기 운동의 변화들이 일어나는 것과 마찬가지로 혜성들의 운동속도가 다르게 관측된다는 것인데, 뉴턴은 이 경우들을 다음과 같이 분류하여 지적하고 있다.

즉, 12궁의 순서를 따라 움직이는 혜성들의 경우 그것들의 운동속도는 지구가 태양과 그 혜성들 사이에 있다면——즉 지구 안쪽 태양 가까이 있다면——사라질 무렵에는 평소보다도 더 천천히 움직이거나 역행하는 것처럼 보이고, 태양을 중심으로 지구가 그 혜성들과 반대쪽에 있다면——즉 지구 바깥쪽에 있다면——사라질 무렵에는 서로 접근하게 되므로 평소보다 더 빨리 움직이는 것처럼 관측된다. 또 12궁의 순서를 거꾸로 움직이는 혜성들의 경우에는 지구가 혜성들과 태양 사이에 있을 때는 사라질 무렵에 더 빨리 움직이는 것처럼 관측되고, 지구가 혜성의 반대쪽에 있을 경우에는 천천히 움직이거나 혹은 역행하는 것처럼 관측된다는 것이다.

그러나 혜성의 역행현상은 거의 원에 가까운 타원궤도를 그리는 행성의 경우보다 훨씬 복잡하다. 같은 방향으로 거의 일정한 속도로 움직이는 지구와 외행성의 경우에 역행현상이 어떻게 일어나는가 하는 것은 쉽게 설명되지만, 거의 포물선에 가까운 타원궤도를 따라 움직이고 행성들에 의해 끊임없이 섭동을 받으면서 공전속도가 심하게 바뀌고 있는 혜성의 경우에는 간단한 도식으로 이 역행현상이 어떻게 일어나는지 설명하기가 곤란하다. 그럼에도 불구하고 뉴턴은 역행을 포함한 혜성의 겉보기 운동에 대해서 다음과 같이 설명하고 있다.²⁾

1) 일주시차와 연주시차는 각각 지구의 자전 및 공전에 의한 현상으로, 천체가 지구에 가까울수록 크다. 당시 항성에 대한 연주시차는 아직 관측되지 못했다(가장 가까운 별의 연주시차도 0".764에 불과하다). 따라서 연주시차가 관측되었다는 것은 혜성이 태양계 내에 위치한다는 증거가 된다. 한편 달의 일주시차는 대략 28'정도인데, 혜성의 경우에는 그보다 작아서 당시에는 관측되지 않았고, 따라서 혜성은 달보다는 먼 곳에 위치한다고 결론내릴 수 있었다.

참고로 당시의 관측 수준이 어떠한지 하는 것은, 「프린키피아」에 실린 혜성궤도에 대한 뉴턴과 핼리의 계산치로부터도 짐작되는데, 코언은 뉴턴의 경우 그 오차가 10' 이내였고, 핼리의 경우는 3' 이내였다고 밝히고 있다: B. Cohen, *Introduction to Newton's Principia* (Harvard, 1978), p.196.

2) *Principia* (Univ. of California Press, 1934), p.491. 원래 라틴어로 쓰인 「프린키피아」는 1729년에 Andrew Motte에 의해 영역되었는데, 이것을 Florin Cajori가 개역 보정한 1934년 판이 오늘날 가장 표준적인 것으로 인정받고 있다. 이 논문에서의 인용페이지도 1934년 판을 따른다.

만약 지구가 혜성과 같이, 그러나 지구로부터 혜성까지 그은 직선들이 혜성을 지나서는 수렴하도록 훨씬 빨리 태양주변을 움직인다면, 이 혜성은 지구에서 볼 때 그 상대적으로 느린 속도 때문에 역행하는 것처럼 보일 것이다. 그리고 지구가 혜성보다 더 느릴 경우에도 지구의 운동이 빠지기 때문에, 혜성의 운동은 적어도 속력을 늦춘 것처럼 보일 것이다. 그러나 지구가 혜성과 반대로 움직인다면 혜성의 운동은 그때부터 가속된 것처럼 보일 것이다.

이 설명의 앞 부분에서 뉴턴은 혜성의 역행현상을 행성의 경우와 다를 바 없이 보고 있음을 알 수 있다. 전체의 맥락에서 파악할 때 뉴턴이 「프린키피아」Ⅲ권에서 혜성을 행성과 같은 것으로 파악하고 있음은 명백하다. 또 ‘보조정리Ⅳ’의 ‘推論(corollary)Ⅲ’에서 그는 혜성들이 행성궤도와는 비스듬하게, 때로는 반대로 움직이기도 하는 등 아주 자유롭게 움직이기는 하지만, 행성처럼 일정한 궤도를 이루면서 계속 돌고 있음을 밝히고 그런 일은 천체공간이 저항이 없는 — 즉 진공인 — 곳이기 때문에 가능하다고 주장하고 있다. 결국 혜성의 운동도 궤도역학³⁾의 일부라는 주장인데, ‘추론Ⅲ’의 뒷부분에서 뉴턴은 그 머리부분(head)이 자주 변화하는 사실에 바탕해서 혜성이 유성에 불과하다고 하는 주장들은 근거없는 것이라고 반박하고 있다.⁴⁾ 또 그는 혜성이 행성처럼 단단하고, 치밀하고, 고정되었고, 항구적인 물체로 되어 있다고 주장한다. 만일 그것이 수증기나 다른 천체로부터의 증발기체로 되어있다면, 태양 근처를 움직일 때 태양열에 의해 즉시 사라질 것이기 때문이다.⁵⁾ 이것은 1680년의 혜성을 ‘예’(example)로 들어 25페이지에 걸친 긴 논의⁶⁾를 하는 도중에 나온 주장이다. 이 논의에서 결국 혜성은 대단히 편심이 큰 궤도를 움직이는 일종의 행성이며, 혜성과 달리 꼬리(tail)가 없는 행성의 경우에 태양에 보다 가까운 작은 궤도를 도는 것이 대개 크기가 작은 행성이듯이, 혜성의 경우에도 근일점이 태양에 가까이 있는 것이 더 등급이 낮은 — 즉, 더 어두운 — 혜성이라고 뉴턴은 주장하고 있다.⁷⁾

‘보조정리Ⅳ’에서부터 Ⅲ권의 끝까지 이어지는 혜성에 대한 논의에서 뉴턴은 혜성과 행성이 같은 것임을 왜 계속 주장하고 있을까? 「프린키피아」의 발간 이전까지 혜성이 행성계의 일부라는 사실은 받아들여지지 않고 있었고, 따라서 혜성운동을 궤도역학 내에서 해결하려면 먼저 혜성 역시 행성의 일종임이 증명되어야만 했다. 뉴턴의 되풀이되는 주장은 그런 시도의 하나로 볼 수 있다. 이런 평가의 판단 근거는 우선 혜성의 구성성분이 당시에는 믿을 만한 근거를 가지고 분석되지는 못하고 있었다는 사실이다. 그러므로 태양열에 견디기 위해서는 행성 같은 고체로 이루어져야 한다는 뉴턴의 주장은 물론 틀린 것은 아닐지라도, 행성과 혜성을 같은 것이라고 파악하려는 일관된 의도에서 비롯된 것 — 결국은 ‘추론’ 중의 하나로 처리해야만 했던 — 이라고 볼 수 있다. 가령 혜성에 앞서 달의 구성성분을 설명하면서는 달 및 태양의 起潮力⁸⁾로부터 서로의 밀도비를 구해 달이 지구보다 좀 더 무거운 물질로 되어 있음을 계산으로 밝힌 내용⁸⁾과 비교해 보면, 이 주장은 혜성이 행성의 일종이라는 사실의 증거로는 미흡한 것이다. 구성성분에 대한 관측적 증거의 미흡에도 불구하고 그는 혜성을 행성과

3) ‘orbital mechanics’의 역어인데, 「프린키피아」의 원래 저술 동기가 케플러의 타원궤도를 증명하는 것이었음을 감안하여, 초기의 천체역학을 지칭하는 말로 이해할 수 있다.

4) *Principia*, p.497.

5) 같은책, p.521.

6) 같은책, pp.507-32.

7) 같은책, p.532.

8) 같은책, p.482(bk. III, proposition XXXVII. problem XVIII, cor. III).

같은 것으로 간주함으로써 태양과 행성, 행성과 위성, 그리고 때로는 3체문제(three-body problem)로 태양계의 역학적 관계를 설명하려 했다고 볼 수 있는 것이다.

‘보조정리Ⅳ’로 넘어 오기 직전에, 뉴턴은 지금까지 태양, 지구, 달, 그리고 행성들의 체계에 대해 설명해 왔고 이제는 혜성에 대해 다룰 것임을 밝히고 있다. ‘보조정리Ⅳ’는 “달의 교점의 운동”이란 항목에 추가된 것인데, 이 章에서 지구와 달의 관계를 만유인력법칙으로 설명했던 그가 혜성을 다루면서 동일한 법칙을 최대한 적용해 보려 하였다고 생각되는데 이 점을 뉴턴은 다음과 같이 밝히고 있다.⁹⁾

이러한 예들로부터 행성들의 운동이 그것들의 이론들에 의해 일반적으로 설명되어진 것에 못지 않게 우리들의 이론에 의해 정확하게 설명되어졌다는 것은 충분히 명백하다. 또 그렇기 때문에 이 이론에 의해서 우리들은 혜성들의 궤도들을 계산할 수 있고 나아가 어떤 궤도에서든지 한 혜성의 주기를 발견할 수도 있다. 더 나아가, 우리들은 그것들의 타원궤도들의 횡단 지름과 근일점 거리들도 구할 수 있을 것이다.

이러한 뉴턴의 주장은 혜성운동이 궤도역학으로 풀릴 수 있다는 사실의 주장을 넘어서서 오히려 혜성이 행성보다 만유인력법칙에 더 잘 들어 맞다는 주장을 함축하고 있다. 관점에 따라서는 만유인력의 법칙을 완성한 뉴턴이 그 법칙의 가장 적합한 ‘현상’으로서——혹은 ‘예’로서——혜성을 다루었다고 볼 수 있을 것이다. 그러나 또 다른 관점으로는 혜성의 운동에 대한 궤도역학이 만유인력법칙의 완성을 도왔던 것일 수도 있다. 후자의 관점에 따르면 만유인력법칙과 혜성의 운동궤도가 타원이라는 개념은 비슷한 시기에 확립된 것으로 보인다.¹⁰⁾ 물론 만유인력법칙은 오랫동안 지속적으로, 그리고 보다 큰 문제로 발전해 온 것이지만 이것이 완성되고 난 뒤 후자의 생각이 유추된 것——이 경우라면 ‘추론Ⅲ’의 내용은 ‘定理’(proposition)로 다루어졌을 것이다——이 아니라, 혜성의 타원궤도 문제가 완결됨으로써 만유인력법칙이 보다 확고히 성립되었다고 보는 것이 타당할 것 같다. 따라서 혜성에 대한 뉴턴의 관심이 만유인력법칙으로 우주체계를 정량적, 수학적으로 다루려는 한 예에 불과하다고 할 수는 없을 것 같다.¹¹⁾ 혜성에 대한 관심은 「프린키피아」 저술시기에 국한된 것이 아니라 오랜 시기에 걸쳐 뉴턴에게 있었고, 뿐만 아니라 혜성이 행성의 일종이며 그것이 태양을 한 초점으로 하여 타원궤도를 그린다는 사실도 만유인력에 대한 그의 개념과 병행하면서 별도로 발전해 왔다고 볼 수 있기 때문이다. 혜성 관측과 만유인력이라는 ‘현상’과 ‘법칙’의 선후관계에 대한 논의는 1680년의 시점에서 다시 살필 수 있을 것이다. 아울러 이 논의는 ‘보조정리Ⅳ’에 있는 하나의 모순을 이해할 실마리를 제공해 줄 수 있을 것이다. 앞에서 이미 살펴본 혜성의 위치와 운동에 대한 일반적 논의에 이어 뉴턴은 기하학적으로 실제 혜성까지의 거리를 구하는 일반식을 설명하는데 거기서 뉴턴은 혜성이 등속직선운동을 하는 것으로 설정하고 있다.¹²⁾ 이것이 혜성의 운동궤도에 대한 뉴턴의 처음 생각이 어떠하였는가 하는 것을 살펴보게 만든다. 즉 그것은 概算을 위한 단순한 가정인가, 아니면 혜성궤도를 직선이라고 본 초기 생각의 연장인가 하는 의문이 생긴다. 이 점을 1680년의 혜성출현에 대해 살펴보면 다음 절에서 다루려고 한다.

9) 같은 책, p.539.

10) 흔히 1666년에 뉴턴이 보편중력의 법칙을 완성한 것으로 이야기하지만 이 때는 달궤도와 중력에 국한되어 있었고, 이것이 혜성까지 포함한 것으로 확립된 것은 「프린키피아」 저술 무렵으로 보아야 한다. 한편 뉴턴이 최초로 혜성을 관측한 것은 1664년 12월 9일로 밝혀져 있다.

11) 1680년의 행성을 다룬 ‘예’는 「프린키피아」 Ⅲ권의 유일한 ‘예’이다.

12) *Principia*, p.492.

II

1680년 말의 혜성의 출현은 당시 전 유럽의 천문학자들과 일반인들의 관심거리였다. 최초의 그것은 11월 초에 관측되었는데, 해뜨기 전 새벽 일찌기 보이다가 점차 늦게 나타나 11월 말에는 일출 때문에 보이지 않게 되었다. 그러나 2주일 후인 12월 중순쯤 또 혜성이 나타나서는 초저녁에 보이기 시작하면서 점차 밤 늦게 나타났다. 12월 말이 되자 이 혜성은 온 하늘을 지배하였다. 달 크기의 4배, 즉 시직경으로 2도에 이르는 넓이에 70도 이상의 길이를 지닌 꼬리가 보였다. 영국의 왕실천문학자인 플램스테드(John Flamsteed, 1646-1719)는 “지금까지 이보다 더 큰 것이 관측되었다고는 생각되지 않는다”고 친구인 크롬프톤(James Crompton)에게 써 보냈다.¹³⁾ 한편 대부분의 유럽 천문학자들은 이 둘을 별도의 혜성으로 간주했던 반면, 플램스테드만은 이들이 동일한 혜성으로, 태양주변에서 방향을 바꾼 것이라고 주장하였다. 당시까지 천문학자들은 혜성을 행성의 운동법칙을 따르지 않는 외계의 방문자로 간주했고, 따라서 그 운동궤도는 불규칙적이고 한번 지나가고 마는 것으로 생각했다. 또 대부분의 천문학자들은 거의 원에 가까운 일정궤도를 유지하는 행성들과는 달리 혜성은 직선운동을 하고 있다고 생각하였다. 따라서 1680년의 혜성이 태양주변을 돌아 방향을 전환했다는 플램스테드의 주장은 일반적으로 받아들여지던 의견에 근본적인 도전을 한 것이었다.

이미 살펴보았듯이 「프린키피아」에서 뉴턴은 혜성을 행성계의 일원으로 간주하고 동일한 궤도역학으로 다루고 있다. 또 이미 말했듯이 그는 1680년의 혜성을 ‘예’(example)로 다루고 있는데, 이것은 그 자신 및 플램스테드의 관측과 의견교환에 크게 힘입은 결과라고 볼 수 있다. 이 혜성의 두번째 출현 후 4일째인 12월 12일부터 뉴턴은 직접 관측을 시작했고, 열흘쯤 후에는 혜성꼬리에 대한 스케치를 직접하기까지 했다. 이 관측은 3월에 들어 혜성이 완전히 사라질 때까지 거의 매일 계속되었다. 처음에는 맨눈으로 관측했으나 1월 말부터는 길이 3피트인 망원경을 사용했고 곧 이어 삼각대와 測微計(micrometer)를 갖춘 7피트짜리 망원경을 사용했다.¹⁴⁾ 동시에 「프린키피아」의 저술기 동안에 그는 다른 사람의 관측자료들을 상당히 수집했다.¹⁵⁾ 1684년에 헬리(Edmund Halley, 1656-1742)에게 보낸 「궤도상의 물체의 운동에 관하여」(*De motu corporum in gyru*)는 거리제곱에 반비례하는 구심력이 자연세계 전체에 적용될 수 있다는 암시가 있지만, 주로 그것은 행성운동을 다룬 논문이다. 그러나 그 논문에서 뉴턴은 목성 및 토성의 위성들 역시 케플러(Johannes Kepler, 1571-1630)의 제3법칙을 따르며 혜성의 궤도에도 행성궤도와 동일한 법칙이 적용된다고 주장하고 있다. 따라서 1684년에는

13) 크롬프톤에게 보낸 플램스테드의 1680년 12월 15일자 편지. R.S. Westfall, *Never at Rest: A Biography of Isaac Newton* (Cambridge Univ. Press, 1980), p.391에서 재인용.

14) 플램스테드에게 보낸 편지에는 이 두가지 망원경에 대한 언급이 있고, 「프린키피아」 p.508에는 7피트 망원경을 사용한 뉴턴의 관측기록이 실려 있다.

15) 1682년에 헬리를 만났을 때 주로 혜성에 관한 의견교환을 했으며 1686년 6월 20일에 헬리에게 보낸 편지에는 이 때 이미 뉴턴이 플램스테드의 관측에 바탕한 후크의 연구를 검토했음이 밝혀져 있다. Westfall, 앞의 책, p.383의 주)135 참조.

한편 1684년에 헬리가 태양과 행성 사이에 거리제곱에 반비례하는 힘이 있을 때 행성의 궤도가 어떻게 되는가를 물었을 때 ‘타원’이라는 뉴턴의 대답이 있었고 이것을 나중에 수학적으로 정리한 것이 9페이지로 된 *De motu*이며, 이것을 읽은 헬리의 권고가 계기가 되어 뉴턴은 「프린키피아」의 저술에 착수하였다.

뉴턴이 만유인력의 개념을 확신하고 있었다고 생각된다. 문제는 관측사실 즉 ‘현상’을 통한 증명이었다. 바로 이 시점에서 뉴턴은 1680년의 혜성궤도를 다시 검토하기 시작했다. 그는 플램스테드에게 목성의 위성들의 공전주기와 궤도부위에 대한 최근의 관측자료를 부탁했다. 동시에 그는 페르세우스座의 두개의 별들의 정확한 천체좌표를 요청했다.¹⁶⁾ 1680년부터 81년까지 그 혜성은 바로 페르세우스座를 통과하고 있었던 것이다. 자료를 요청받은 플램스테드는 즉시 뉴턴이 1680년의 혜성을 검토하고 있다고 생각했고 이 짐작은 뉴턴이 쓴 편지의 다음 귀절로 확인되고 있다. “나는 행성들을 통해 관측된 운동법칙에 따라 [최초로 내가 관측했던]¹⁷⁾ 1644년의 혜성과 1680년의 혜성의 궤적선을 결정하려고 한다.”¹⁸⁾ 이 때 제공된 1680년 12월 12일부터의 플램스테드의 관측과 위치계산은 헬리의 수정을 거쳐 ‘프린키피아’에 수록되어 있는데, 1681년 2월 5일에 끝난 플램스테드의 관측 결과에 이어 2월 25일부터 3월 9일까지는 뉴턴 자신의 관측 결과를 싣고 있다.¹⁹⁾ 이것들은 두번째 나타났을 때의 관측결과인데, 이것들을 항성좌표에 견주어 각 시점에서 혜성의 경도와 위도를 계산하고 자와 콤파스를 이용하여 혜성궤도를 결정하고 있다. 덧붙여 뉴턴은 기하학 작도에 의한 자신의 방법 대신 헬리는 수학적 계산으로 훨씬 정확한 값을 얻어내었음을 인정하고 있다.²⁰⁾

혜성의 궤도를 결정한 뒤, 뉴턴은 11월에 처음 나타났을 때 키르히(Gottfried Kirch)가 관측한 기록을 살펴보았다. 그는 삭소니(Saxony)지방의 코부르크(Coburg)에서 관측한 이 기록을 런던과의 경도차를 감안하여 수정한 뒤 이 혜성의 운동궤도들이 일치한다고 말하고 있다. 아울러 뉴턴은 케사르(Gaius Julius Caesar, 100-44 B.C.)가 죽던 해부터 575년 간격으로 이 혜성이 나타났음을 헬리가 확인했다고 말한다. 그외에도 뉴턴은 로마 등 유럽 각 지역에서와 심지어 당시 영국 식민지였던 자마이카에서의 관측기록들을 입수하여 비교하고 있다. 이 자료들을 모두 검토한 뒤 뉴턴은 “이 모두로부터 이 관측들이 서로 일치하는 한, 그 이론(the theory)과 일치한다는 것은 명백하다. 그리고 이 일치에 의해 11월 4일부터 3월 9일까지 계속 나타난 것은 하나이고 동일한 혜성이라는 것이 분명해졌다”고 말하고 있다.²¹⁾ ‘그 이론’이란 만유인력법칙을 말하는 것임은 자명하다. 따라서 뉴턴이 만유인력법칙을 이미 확립해 있었고, 그것에 의해 처음과 두번째 나타났을 때의 그 혜성의 운동궤도를 계산하여 그것이 동일한 것임을 증명한 것처럼 생각하기 쉽다. 그러나 실제로 뉴턴이 만유인력에 대한 이론과 혜성이론을 완성하는 과정은 그렇지 않았다.

뉴턴이 처음부터 플램스테드의 주장을 지지한 것은 아니었다. 그는 1681년 2월 28일자로 된 크롬프톤에게 보낸 편지에서 플램스테드의 새로운 이론의 잘못을 지적하고 있는데²²⁾, 플램스테드에게도 직접 두번의 편지를 썼다. 날짜 미상의 첫번째 편지——아마도 크롬프톤에게 보낸 편지와 비슷한 시기에 씌어진——은 플램스테드의 이론에 대해 논리적으로 가능한 반박을 제시할 뿐으로 검토해 주기 바란다는 신중한 것이었다.²³⁾ 뉴턴의 지적은 우선 새로운 달력

16) 「뉴턴서한집2」, 413. 아마도 1685년 1월 12일경의 것으로 추정된다. Westfall, 앞의 책, p.408의 주)18참조.

17) 주)10참조.

18) 「뉴턴서한집2」, 413. Westfall, 앞의 책, p.408에서 재인용.

19) *Principia*, p.508.

20) 주)1의 코언의 지적을 참고할 것.

21) *Principia*, p.518.

22) Westfall, 앞의 책 p.394의 주)163.

23) 「뉴턴서한집2」, 341-7. 같은책, p.394 참조.

과 이전 달력의 날짜의 혼동²⁴⁾ 때문에 해성행로 결정에 착오가 있었고 따라서 두 해성이 같은 것이며 그것은 3번 가속되고 감속되었음에 틀림없다고 한 주장을 다시 검토해 보라는 것이었다.

이외에도 플램스테드는 그 해성이 방향을 바꾼 것은 태양과 해성 사이에 자기력이 작용하였기 때문이라는 묘한 설명을 하고 있는데, 뉴턴의 지적은 만일 태양이 해성의 한 끝을 끌어당겼다가 근처에 왔을 때 다른 쪽을 되튕긴 것이라면, 이 해성은 태양주변을 돌면서 방향을 바꾸지 않고, 태양에 미쳐 다가가기 전에 방향을 바꾸어야 하지 않았겠느냐는 것이었다. 그밖에도 몇몇 비판이 길게 기록되어 있지만, 우리에게 보다 흥미있는 것은 왜 이 편지에서 뉴턴은 궤도역학에 대한 언급을 전혀 하고 있지 않은가 하는 것이다. 이로부터 우리는 이 무렵까지 뉴턴은 해성을 행성계의 일원으로 생각하지 않았다고 볼 수 있는 것이다.

해성이 행성과 마찬가지로 타원궤도를 따라 움직인다는 확신이 생기기 전 뉴턴은 해성이 직선을 따라 운동한다고 생각하였다. 또 이것은 1680년 무렵까지 일반적으로 받아들여지던 이론이기도 했다. 해성의 궤도는 타원이라고 하더라도 실체는 포물선에 가까운 것이다.²⁵⁾ 또, 타원궤도라 하더라도 그 주기가 길고 궤도반경이 크므로 근일점에서의 경우를 제외하고는 거의 등속직선운동이라고 볼 수 있다.

따라서 '보조정리Ⅳ'에서 해성까지의 거리를 구하기 위해 해성이 등속직선운동을 한다고 가정한 것은 이런 사실들에 바탕하였다. 그러나 해성이 등속직선운동을 한다고 보고, 그것이 관측되는 위치각을 구하여 거기서 지구의 운동에 의한 경도변화를 빼거나 더해 줌으로써 해성의 시차를 구하여 그것으로부터 해성까지의 거리를 구한다는 이 설명은 타원궤도일 때와 등속직선운동일 때의 오차를 비교하여 계산해 보기에는 너무나 원리적이고 거칠은 것이다. 따라서 이 귀절은 실제 해성의 거리를 구하기 위한 것보다는 구하는 '원리'를 제시한 것일 뿐이다. 해성의 정확한 위치와 행로의 결정보다는 그 행로가 타원이며 따라서 궤도역학으로 다룰 수 있다는 점이 뉴턴에게는 더 중요했던 것이다. 해성의 궤도결정의 중요성은 그것이 타원임을 밝힌 데 있기보다는 해성에도 만유인력이 작용됨을 밝힌 데 있다. 뉴턴은 해성이 행성의 일종이라고 밝힘으로써 해성연구를 통해 만유인력법칙을 보다 보편적인 이론으로 확립할 수 있었던 것이다.

1685년 9월에 플램스테드에게 1680-81년의 해성에 대한 정확한 정보를 다시 요청했는데, 이 무렵에는 뉴턴은 분명하게 해성궤도가 타원궤도라고 생각하고 있었다.²⁶⁾ 그렇다면 만유인력의 개념을 확립하고 해성의 행로에 궤도역학을 적용시킨 것은 1681년 2월부터 85년 9월 사이의 일이라고 말할 수 있다.

1681년 4월 18일에 플램스테드에게 보낸 두번째의 편지에는 그 귀절이 빠져있지만, 그 편지의 초안에서 뉴턴은 해성에 대해 행성궤도의 운동식을 적용해 보려 시도했다. 이런 시도와 망설임은 이 때까지 뉴턴이 아직 만유인력에 대한 개념을 확립하지 못하고 있었음을 말해준

24) 당시까지 영국은 교황청의 영향력을 배제하기 위해 그레고리우스曆을 채택치 않은 채 줄리우스曆을 계속 사용했고, 따라서 유럽대륙보다 열흘정도 날짜가 뒤져 있었다. 새로운 달력(New Style)이란 그레고리우스曆을, 이전 달력(Old Style)이란 줄리우스曆을 말한다.

25) 뉴턴은 「프린키피아」의 bk. III, proposition XL, theorem XX의 cor. II에서 이것을 명시하고 있다: *Principia*, p.498.

26) 이 편지를 받은 플램스테드는 그 여백에 "그는 전에는 그 사실을 시인하지 않았다. 1681년의 그의 편지를 보라"고 기록해 두었다. 「뉴턴서한집2」, 421. Westfall, 앞의 책, p.434에서 재인용.

다. 즉 행성의 타원궤도는 거리제곱에 반비례하는 힘을 수반하고 있지만, 이 힘이란 태양계에 만 독특한 것이라고 생각하고 있었던 것이다. 아울러 뉴턴은 당시 후크(Robert Hooke, 1635—1703), 헬리 등과 마찬가지로 혜성을 태양계와 무관한 외부 물체로 생각하고 있었음을 알 수 있다.²⁷⁾ 바로 일년 전 태양주위를 도는 행성의 운동에 대한 궤도역학을 풀어낸 뉴턴이 혜성의 경우에는 동일한 법칙의 적용을 앓고 있는 것이다. 따라서 이 편지는 만유인력 개념의 발전 과정을 추적하는 중요한 단서가 될 수 있다. 다시 말해서 첫번째 편지를 쓴 1681년 2월까지 뉴턴은 자신의 만유인력 개념을 태양과 행성계 사이에만 적용하고 있었는데 4월부터는 달라지고 있었던 것이다. 그러나 그 변화를 일으킨 사상적 근원은 1679년 이전으로 거슬러간다.

III

웨스트폴은 뉴턴의 자연철학이 1679년부터 80년 사이에 연금술과 궤도역학이라는 우주론적 문제의 복합적 영향하에서 근본적인 변환을 겪게 된 것으로 보고 있다.²⁸⁾ 1976년의 논문에서 그 자신은 뉴턴 말년의 성숙한 자연철학에서는 신플라톤주의적 요소를 찾을 수 없으며 뉴턴의 신플라톤주의적 관심은 모어(Henry More, 1641—87)의 영향하에 있었던 젊은 시절에 국한된 것이고, 말년에는 신과 사물을 엄격히 구별했다고 주장한 웨스트폴이 80년의 저술에서는 다소 다른 입장을 보이고 있는 것이다.²⁹⁾

웨스트폴의 수정된 입장은 만유인력이란 힘의 존재론적 성격에 비추어 타당한 것으로 생각된다. 17세기의 역학자들이 직접 물체에 접촉해야만 힘을 전달할 수 있다는 ‘기계적 철학’의 주장에서 벗어나 거리를 두고 작용하는 —‘원거리 작용력’(action at a distance)이라 일컬어지는 —만유인력 같은 힘의 존재를 인정하게 만드는 데 헤르메스주의(Hermeticism)의 기여가 있었다는 설명이 뉴턴의 경우에도 적용될 수 있을 것 같다. 물론 ‘운동상태의 물질’(matter in motion)에 대해 계속 언급하는 한 뉴턴은 ‘기계적 철학자’로 남게 되지만 1680년 이후 운동물체에 관한 그의 주된 관심은 운동하는 물체에서부터 그 물체들 사이에 작용하는 힘으로 옮겨갔다. 1680년 이후 뉴턴 역학의 관심은 웨스트폴의 표현에 의하면 ‘운동학’과는 구분되는 ‘동역학적 기계적 철학’이었다는 것이다.

27) 후크도 천체 사이의 상호인력 작용에서 혜성을 제외하고 있었고, 헬리 역시 같은 입장이었다. 플랩스테드는 크롭프론에게 보낸 1681년 3월 7일자 편지에서 이런 반대에 대해 언급하고 있다. Westfall, 앞의 책, p. 394의 주)165참조.

28) Westfall, 앞의 책, p.390.

29) 뉴턴의 연금술에 대한 연구는 새로운 뉴턴 모습을 살펴보려는 노력의 일부분인데 웨스트폴의 입장을 이해하기 위해서는 이 분야의 연구사를 개관해 볼 필요가 있다. 뉴턴의 연금술에 대한 연구자 중에서 맥과이어와 라탄시를 빼놓을 수 없다. 이들은 연금술을 주로 한 1690년대의 뉴턴 저작들에 대한 공동연구에서 그것들이 르네상스 신플라톤주의와 헤르메스주의에 관련된 것이라고 주장하였다. 이 공동연구 이후 그들은 뉴턴에 대해 조금씩 다른 견해를 주장하고 있다.

우선 맥과이어는 모어의 영향을 강조하면서 뉴턴에 있어서의 신플라톤주의적 요소를 강조한다. 그리고 그는 「프린키피아」에 있어서조차 뉴턴이 단순한 수리물리학자 이상의 요소를 견지했음을 주장하고 있다. 이러한 연구들을 통해 맥과이어는 자연의 위계질서를 탐구하는 신플라톤주의자로서의 뉴턴 모습을 드러냈다. 즉, 17세기 기계적 철학의 메마른 존재론에다 뉴턴은 ‘forces’와 ‘active principle’ 같은 새로운 존재의 차원을 덧붙였다는 점이 명확해진 것이다. 이러한 맥과이어의 견해에 대해 웨스트폴은 1976년의 논문에서 대체로 동의하면서도 다소 다른 견해를 주장하고 있다. 즉, 그는 뉴턴이 기계적 철학에 신플라톤

그것은 바로 동역학과 중력의 문제였다. “지구가 투과 가능하며 일주회전만 한다고 생각했을 때 높은 탑에서 자유낙하하는 물체의 운동은 어떠한가” 하고 후크가 제시한 문제를 풀면서 뉴턴은 보편중력의 문제로 돌아왔다. 1666년에 그가 해결한 것은 달의 궤도까지 미치는 중력의 문제였지 당시에는 만유인력이라는 보편적 법칙의 정식화를 추진하지 않았으며 또 뉴턴은 그 사이의 인력을 계산하면서 달과 지구를 질점으로 취급했다. 그러나 이제 동역학의 문제를 살피면서 그는 행성의 운동법칙을 해결했던 것이다. 뉴턴은 행성은 거리의 제곱에 반 비례하는 원심력에 의하여 타원——하나의 초점에 힘의 중심이 위치한——위를 회전하며 그 중심에서 그은 반경은 시간에 비례하여 일정 면적을 이룬다는 명제를 발견했으며 이 질점의 원리를 1685년 이후에야 겨우 증명했다. 그러나 그는 이미 1680년 무렵부터 중력의 법칙을 전체 우주에 적용시키려 하였던 것이다.

주의의 종교적이며 철학적인 관심을 덧붙였다는 점에서는 맥과이어에 동의한다. 그러나 그는 신플라톤주의적 관심이 뉴턴의 지속된 관심이었다는 맥과이어의 주장이 보다 더 일반적으로 받아들여진다는 사실을 인정하면서도, 뉴턴의 신플라톤주의적 경향을 케임브리지의 학생시절에 국한시켰던 것이다.

그러나 뉴턴이 자신의 자연철학을 완성해감에 따라 신과 사물, 그리고 자연 사이에 대한 엄격한 구분을 하게 되었다고 말할 수는 없을 것이다. 뉴턴이 채택한 자연과 물질에 대한 견해에는 근본적인 철학적 문제들이 계속 깔려 있었고, 이 문제를 해결하려는 노력은 연금술에 대한 뉴턴의 태도에서 두드러졌던 것이다. 사실 1696년에 조폐국장(Warden of the Mint)으로 임명되기 며칠 전까지도 뉴턴은 연금술에 대한 흥미를 지니고 그것에 대한 기록을 남기고 있음을 볼 때 그의 연금술에 대한 관심이 말년까지 지속되었다고 할 수 있다.

한편 1966년의 공동연구 이후 라탄시는 헤르메스주의 전통에 대한 연구에 몰두하여 왔다. 그는 1972년의 논문에서 연금술에 대한 많은 저술(manuscript)은 단순한 reading notes에 불과한 것이 아니라고 밝히고 있다. 나아가 라탄시는 연금술이 다른 연구와 동떨어진 것이 아니라 자연을 이해하려는 그의 일관된 노력의 중요한 부분이었고 그것이 뉴턴 자신의 자연철학을 형성하는 데 기여하였다고 주장한다. 이것은 맥과이어가 신플라톤주의에 관련된 철학적 문제들을 뉴턴의 과학연구와 별개로 구분하여 다룬 것과 대조된다.

뉴턴의 연금술에 대한 보다 흥미있고 본격적인 연구는 돕스에 의해 이루어지고 있다. 그녀는 뉴턴의 초기 화학실험에 대한 notes와 그의 연금술에 대한 기록들을 결부시키고 있다. 이에 따라 돕스는 뉴턴을 실제로 실험을 하는 연금술사로 드러낸 것이다. 돕스의 견해가 얼마나 받아들여지는지, 그리고 그에 따라 뉴턴에 대한 평가가 어떻게 달라질지는 아직 미지수이다. 실제로 지금까지의 돕스의 연구는 1670년대 초까지로 국한되어 있는 것이다. 한편 이러한 돕스의 견해에 반해 웨스터폴은 연금술에 대한 기록들인 *Index Chemicus*를 단순한 notes 이상이라고 해서, 뉴턴을 한 사람의 연금술사로 보는 지나친 주장을 경계하고 있다. 또한 그는 뉴턴을 실제 연금술사라 본다고 해서 「프린키피아」의 저자로서의 뉴턴 모습을 무시할 수는 없음을 지적한다. 이러한 지적을 하면서 웨스터폴은 뉴턴에게 연금술이 무엇을 의미하며 그의 과학연구에서 어떤 역할을 했나 하는 것은 결국은 해석상의 문제라고 말하고 있는 것이다: J.E. McGuire & P.M. Rattansi, “Newton and the ‘Pipes of Pan,’” *Notes and Records of the Royal Society* 21(1966), 108–43; McGuire, “Neoplatonism and Active Principles: Newton and the Corpus Hermeticum,” *Hermeticism and the Scientific Revolution* (California, 1977), pp.95–142; Westfall, “The Changing World of the Newtonian Industry,” *Journal of the History of Ideas* 37(1976), 175–84; “Isaac Newton’s *Index Chemicus*,” *Ambix* 22(1975), 174–85; Rattansi, “Newton’s Alchemical Studies,” in *Science, medicine and Society in the Renaissance* vol. II, ed. by Allen Debus(New York, 1972), 167–82; B.J.T. Dobbs, *The Foundation of Newton’s Alchemy: The Hunting of the Green Lyon* (Cambridge, 1975); “Newton’s Copy of ‘secrets revealed’ and the Regimens of the Work,” *Ambix* 26(1979), 145–69; “Newton’s ‘clavis’: New Evidence on Its Dating and Significance,” *Ambix* 29(1982), 198–202; “Newton’s Alchemy and His Theory of Matter,” *Isis* 73(1982), 511–28.

정확한 시기에 대해서는 논란의 여지가 있지만 1679년의 복귀³⁰⁾ 이후의 뉴턴의 중력에 대한 사색에 미친 연금술의 영향을 부인할 수 없다. 적어도 일면에서는 연금술은 그의 우주론에 적합한 것이었다. 그는 만유인력이나 빛, 전기, 자기력, 그리고 동물의 움직임을 설명할 수 있는 보편적 매질이 꼭 있어야 한다고 확신하였다. 이러한 모든 운동들을 에테르(aether)란 용어를 사용하여 설명하려는 것은 당시 사람들에게는 자연스러운 것이었고, 따라서 당시의 연금술 중 많은 부분이 보편적 매질——즉 philosopher's mercury——과 관련되어 있었다. 그러나 후대의 추종자들의 해석과는 달리 뉴턴 자신은 에테르를 물리적 실체로서 보다는 물리학을 이해하기 쉽게 하는 조건으로 도입했다고 볼 수 있다.³¹⁾ 그럼에도 불구하고 「프린키피아」 제2판에 추가한 ‘일반주’(General Scholium)의 마지막 귀절에서 뉴턴은 연금술사의 언어로 에테르를 설명하고 있는 것이다.³²⁾

이제 모든 물체에 널리 퍼져 숨어 있는 어떤 미묘한 氣(spirit)에 관하여 무엇인가 덧붙일 수 있겠다. 이 기의 힘과 작용에 의하여 물체의 입자는 가까운 거리에서 서로 잡아당기고 또 접근하면 서로 밀착한다. 또 전기를 띤 물체가 더 먼 거리에서 작용하여 인접한 입자를 잡아당기고 밀어내는 것도 이것에 의한 것이다. 빛이 방사되고, 반사되고, 굴절되고, 회고 또 물체를 뜨겁게 하는 것 모두 이것에 의한 것이다. 모든 감각이 자극되는 것이나 동물체의 사지가 마음먹은 대로 움직이는 것도 이 기의 진동——신경 섬유를 통하여 외측 감각기관에서 두뇌로 또 두뇌에서 근육으로 상호 전달되는——에 의한 것이다.

어떤 점에서는 뉴턴이 연금술을 중요한 화학실험으로 생각했다고 볼 수 있을 것이다. 그는 화학을 분류하여 보통의 화학반응을 일으키고 입자들의 기계적인 상호작용에 의한 ‘vulgar chemistry’와 생기론적인 영혼의 작용에 의한 ‘vegetable chemistry’로 분류하였다.³³⁾ 우주창조를 연금술적인 화학반응으로 보았던 뉴턴³⁴⁾이 이런 후자의 화학을 연금술과 결부시켰음은 당연하다고 할 수 있겠다. 그러나 전자의 연구 역시 뉴턴의 물질관, 특히 미시적 메카니즘——특히 에테르에 관한——에 대한 설명과 관련되어 있다.

1690년대 초에도 뉴턴은 운동법칙에 관한 연구를 계속했다. 이 때 무엇보다 관심있었던 것은 두가지 대조되는 ‘힘’ 개념에 대한 것이다. 즉 그것은 데카르트 역학의 ‘일련의 충격들’(succession of impulses)과 그 자신이 「프린키피아」에서 채택한 ‘연속적인 힘’(continuous force) 사이의 불일치를 해결해 보려는 노력이었다.³⁵⁾ 그 결과 중 하나로 그는 「프린키피아」 I 권의 ‘추론 I’로부터 등속도를 유지하기 위해서는 균일한 힘이 주어져야 한다는 주장을 제거하였다.³⁶⁾ 데카르트의 ‘충격’도 자신의 ‘힘’에 포함시켰던 것이다.

30) 1672년과 75년에 발표한 두 편의 광학논문이 심각한 논쟁을 불러 일으킨 데 낙심한 뉴턴은 1676년 이후 사실상 은둔상태에 들어갔다. 그러나 가장 큰 논쟁상대였던 후크가 왕립학회의 서기가 된 이후 뉴턴과의 화해를 꾀해 동역학적인 문제를 편지로 문의함으로써 1679년부터 뉴턴의 학회활동이 재개되었다.

31) C.C. Gillispie, *The Edge of Objectivity* (Princeton Univ. Press, 1960), p.129 참조.

32) *Principia*, p.547.

33) Dobbs(1979), p.155.

34) 이에 대해서는 McGuire, “Transmutation and Immutability: Newton’s Doctrine of Physical Qualities,” *Ambix* 14 (1967), 61—95. 특히 4절: Newton’s Alchemical Cosmogony를 참조할 것.

35) 이에 대한 본격적 논의는 Westfall, *Forces in Newton’s Physics* (London, 1971), pp.479—81 참조.

36) ‘추론 I’은 힘의 합성법칙에 관련된 것인데, 1713년의 제2판에서 수정된 형태는 다음과 같다(*Principia*, p. 14).

“두 힘을 한꺼번에 받는 한 물체는 동시에 각각의 힘들[의 크기들]을 각변으로 하는 평행사변형의 대각선에 해당되는 힘을 받는 것과 같은 결과이다.”

동시에 뉴턴은 「프린키피아」에 함축된 자신의 철학적 입장을 검토한 후 다시 확인하였다. 1693년 초 라이프니츠는 인력의 원인으로서는 에테르가 반드시 필요하다는 입장을 다시 밝혔지만,³⁷⁾ 이 편지를 받아 본 뉴턴은 여전히 ‘에테르 역학’——이 경우 그것은 데카르트의 ‘vortex 역학’과 같은 것인데——에 반대하여 입자와 진공으로 인력을 기계적 철학의 입장에서 설명하려 했다. 물체의 입자들이 동일한 것으로 유지되려면, 그것들은 에테르 같은 더 작은 것으로 나뉘어져서는 안된다는 것이며, 물질의 균일성이야말로 기계적 철학자의 근본적 입장이라는 것이다. 라이프니츠에게 보낸 답장에서 행성이 궤도를 따라 움직이기 위해서는 에테르가 필수적이라는 그의 주장에 대해 뉴턴은 다음과 같이 반대하고 있다.³⁸⁾

……내가 아는 한 하늘 및 바다의 현상은 내가 밝힌 것과 같은 법칙을 따라 정확히 중력에 의해서만 일어나며, 또 자연은 매우 단순하기 때문에 다른 어떤 원인도 거부되어야 하며 행성들 및 혜성들의 운동이 방해받거나 불규칙하게 되지 않기 위해서 하늘에는 가능한 한 어떤 물질도 없다고 나 자신 결론지었던 것이다.……

연금술 연구에 나타난 뉴턴의 물질이론과 그의 출간된 저서들에 나타난 물질이론 사이에는 혼란이 있어 연구자들을 당혹하게 한다.³⁹⁾ 「광학」(*Opticks*)과 「질문들」(*Queries*)에서 그러한 경향이 두드러지지만, 「프린키피아」에서도 뉴턴은 입자론자들의 무신론적이고 기계론적인 물질관에 대해 반감을 지녔고 동시에 그 스스로 그같은 반감을 불러 일으켰다. 데카르트(Rene Descartes, 1596–1650)의 vortex 이론에 대한 뉴턴의 논박이나, 라이프니츠(Gottfried Wilhelm Leibnitz, 1646–1716)가 영혼이 없고 결정론적인 기계적 우주관을 수립한 책임을 뉴턴에게 돌린 사실은 이같은 혼란을 염두에 두어야 이해 가능한 것이었다. 또한 ‘원거리 작용력’(action at a distance)의 성격을 지닌 만유인력 개념의 도입이 그의 「프린키피아」가 대륙에서 그토록 심한 반발을 받게 했다는 사실은 뉴턴과학이 데카르트의 과학에 비해 상대적으로 얼마나 ‘신비적’인 요소를 지녔는가 하는 것을 보여준다.⁴⁰⁾

37) 1693년 3월 7일 뉴턴에게 보낸 라이프니츠의 편지. Westfall(1980), p.508의 주)129 참조.

38) 1693년 10월 16일 라이프니츠에게 보낸 뉴턴의 편지. 「뉴턴서한집3」, 287. Westfall(1980), p.509에서 재인용.

39) 이런 점에서 섹크리는 「광학」에 나타난 물질이론과 당시 화학 사이의 관계를 살피고 있다: A. Thackray, “Matter in a Nut Shell: Newton’s *Opticks* and Eighteenth-Century Chemistry,” *Ambix* 15(1968), 29–53.

40) 만유인력에 대해 데카르트주의자나 라이프니츠가 그것이 신플라톤주의와 관련된 영국의 occult science의 하나라고 반발한 사실을 염두에 둔다면 뉴턴의 프랑스에서의 수용은 먼저 그의 「광학」의 수용부터 시작되었음을 잘 이해할 수 있을 것이다. 1672년에 뉴턴은 빛과 색에 대한 편지형식의 논문을 발표하였고, 굴절 망원경을 발명하였다. 이런 뉴턴의 업적은 올덴버그(Henry Oldenburg, 1620–77)의 노력에 의해 대륙으로 알려지기 시작하였다. 처음 올덴버그의 편지를 통해 뉴턴의 광학에 대해 전해들은 호이겐스(Christiaan Huygens, 1629–95)는 그것을 무시하였다. 프랑스에서의 뉴턴광학에 대한 수용은 제루이트신 부였던 파르디스(Ignace Gaston Pardies)에 의해 처음 주목받았다. 그는 뉴턴의 2개의 프리즘에 의한 실험을 되풀이하는 데는 실패하였지만, 그를 통해 뉴턴의 광학은 점차 프랑스에 알려져서 1680년 무렵에는 프랑스에서도 프리즘실험 등 뉴턴의 과학실험을 검증할 수 있었다. 그러나 그는 빛이 프리즘에 의해 분산되면서 여러 색으로 나타난다는 뉴턴의 색에 대한 이론은 거부하였다. 이 사실을 통해서도 데카르트의 과학이 얼마나 뿌리 깊게 프랑스 과학자들을 지배하였는가 짐작이 되는 것이다. 한편 1672년경 영국을 방문했던 라이프니츠는 이 때 이미 뉴턴에 대해 들었는데, 1676년의 두번째 영국방문 중 뉴턴과 만나 그의 ‘이항식’(binomial theorem)에 대한 설명을 듣고 그를 높이 평가하였다. 따라서 「프린키피아」의 출간을 통해서도 그러했지만 그전까지 대륙에서 뉴턴이 알려진 것은 주로 그의 수학적 재능을 통한 것이었다.

그러나 영국에서는 만유인력 개념이 별다른 저항없이 수용되었다. 후크는 이미 뉴턴과는 별도로 만유인력이 천체의 운동에 포함되며, 거리의 제곱에 반비례할 것이라고 추정하고 있었다. 그밖에도 렌(Christopher Wren, 1632-1723)과 헬리도 그같은 생각을 하고 있었다.⁴¹⁾ 따라서 뉴턴의 독창성은 만유인력을 생각한 데 있다기보다는 그것을 수학적으로 증명한 사실에 있다. 그러나 '현상'을 '증명'한다는 것은 중요한 일이었고, 뉴턴도 그 점을 분명히 인식하고 있었다. 「프린키피아」의 원고를 보고 후크가 역제곱법칙은 뉴턴이 자신에게서 얻은 것이므로 서문에 사의를 표해 주었으면 좋겠다는 제안을 했고 이것을 헬리가 대신 전했을 때 뉴턴은 격분했던 것이다.⁴²⁾

천체역학을 다룬 「프린키피아」 Ⅲ권은 이 책의 앞부분의 서술형식과 구별된다. I, II권이 몇가지 기본 정의와 세계의 공리로부터 일련의 수학적 연역을 유도하는 것——마치 에우클레이데스(Euclides, fl. 259 B. C.)의 기하학처럼——이라면, Ⅲ권의 내용은 오히려 아르키메데스(Archimedes, 287-212 B. C.)적이며 천문관측을 통한 물리적 지식으로 구성되어 있다. 뉴턴은 형이상학적인——때로는 연금술사의 그것과 같은——자신의 우주관을 기하학적으로 설명하려 했다. 그는 운동의 법칙을 해성을 포함하는 태양계 전체에 적용시켜 케플러의 법칙이 천체운동의 필연적 결과임을 증명했다. 달과 행성과 해성은 질량에 비례하고 거리의 제곱에 반비례하는 만유인력에 의해 궤도를 결정한다. 그리고 지상에서의 중력작용에 대한 설명으로 달의 운동과 바다의 조석운동에 관한 방대한 계산을 한다. 그러나 아르키메데스적이고 때로는 갈릴레오(Galileo Galilei, 1564-1642)적인 이 다양한 관심을 연결하는 근본적인 원리가 뉴턴에게는 있었다. 그것은 바로 만유인력의 법칙이었다.⁴³⁾

뉴턴의 만유인력은 연금술 연구를 통해 진공의 우주공간 전체로 확대되어 나갔다. 그것이 1666년의 중력법칙과 1679년 이후의 만유인력과의 차이이며, '운동학'과 '동역학적 기계적 철학'의 차이인 것이다. 「프린키피아」에 나타난 후자의 입장은 대륙의 '기계론자'들과 라이프니츠에게는 건드릴 수 없는 것이었다. 첫째로 그는 'vortex 역학' 대신 진공을 인정함으로써 無의 존재를 도입했다는 것이며 둘째는 중력이 매질을 이루는 미세한 에테르의 메카니즘에 의존하지 않고 마술적인 원격작용을 상정했다는 것이다. 그러나 길리스피의 견해처럼 첫번째 반대는 오해에 불과했다고 볼 수 있다.⁴⁴⁾ 뉴턴의 진공은 형이상학적인 '無'가 아니라 에테르를 보완하는 것이었으며, 그 속에서 운동이 일어나는 '매질'이었다. 뉴턴은 장소의 이동은 진공에서, 진동운동은 에테르에서 일어난다고 생각했다. 결국 뉴턴의 진공은 물리학의 '가설'이 아닌 '조건'으로 도입되었던 것이다. 두번째의 반대, 즉 만유인력이란 '거리를 두고 작용하는 힘'이란 사실에 대한 거부는 복합적인 것이었다. 그것은 기계적 철학과 함께 전통적 신학의 반대도 유발하였다. 그러나 그것은 자연의 법칙이었다. 그리고 뉴턴은 그의 우주론을 통해, 연금술

41) Gilliespie, 앞의 책, p.136.

42) 같은 책, pp.138-9.

43) 같은 책, p.143.

44) 같은 책, p.145.

실험을 통해, 그리고 혜성관측을 통해 자연이 그러하다는 것을 알게 되었고 수학적 증명으로 그 법칙을 확립해 갔고 결국은 대륙에서도 인정을 받게 되었던 것이다.⁴⁵⁾

45) 1687년에 「프린키피아」가 출간되면서 호이겐스는 뉴턴에 대해 새삼 주목하였다. 1690년의 “중력의 원인에 대하여”(Discours de la cause de la pesanteur)의 부록(Addition)에서 그는 케플러법칙에 대한 뉴턴의 수학적인 증명을 무시할 수 없음을 인정하였다. 그러나 그는 여전히 만유인력의 개념은 받아들일 수 없으며 중력은 운동의 방법으로 설명되어야 한다고 주장하였다. 또 1688년에 「프린키피아」에 대한 요약을 읽은 라이프니츠도, 호이겐스처럼 만유인력의 개념에 반대하였다. 그러나 그러한 반대에도 불구하고 뉴턴 과학이 수용된 데에는 말브랑쉬(Nicolas de Malebranche)의 역할을 주목해야 할 것이다. 신부였던 그는 데카르트에 의해 커다란 영향을 받았으면서도 말년에 신앙생활에 주력하면서 점차 데카르트주의로부터 멀어져 갔었다. 그러한 원인으로는 아우구스티누스의 영향과 신플라톤주의의 생기론적 요소의 영향을 생각할 수 있을 것이다. 라이프니츠의 미적분법을 프랑스에 도입하기도 했던 그와 그 주변 사람들이 어떻게 설명되든 간에——그 중 일부는 뉴턴이 물리적 자연에 대해 수학적으로 접근했다는 사실 때문이기도 하였다——뉴턴의 천체역학을 받아들인 것은 사실이다. 따라서 젤락은 데카르트의 vortex 이론에 대한 명백한 도전임에도 불구하고 뉴턴의 천체역학을 받아들인 것은 그들의 중도적 입장 때문에 가능했으며 그에 따라 이들이 18세기 후반의 뉴턴주의의 확산과 터전을 닦았다고 주장하였다. 그리고 이러한 바탕 위에 볼테르(Voltaire, 1694–1778) 등이 1730년대 후반에 뉴턴주의를 공개적으로 제창할 수 있었다는 것이다: H. Guerlac, “Some Areas for Further Newtonian Studies,” *History of Science* 17(1979), 75–101.