

제 7 장

17세기 수학과 역학

오늘날의 기술자가 수학과 역학의 기초 지식을 아무리 적게 이용한다고 해도 이들 과목에 대한 그들의 지식은 17세기 초반의 최고 과학자가 가지고 있던 것 보다 비교할 수 없을 정도로 훨씬 우위에 놓여 있다. 오늘날의 기술자가 이들 지식을 능숙하게 다루는 솜씨는 서투를지 모르나 그 잠재적인 위력은 알고 있다. 그는 아마도 관련 공식을 편람(handbook)에 의존할지 모르나, 그 공식의 기초를 이루는 기본적인 물리학적 관계에 대해 거의 잠재 의식적으로 파악하고 있다. 17세기 전에는 인간의 이 부분에 대한 지식의 부족은 오늘날 상상할 수도 없을 정도로 많은 것이었다. 수리학의 고차적인 발전은 필수적으로 수학적 도구와 올바른 역학적 개념의 발전 여부에 달려 있기 때문에 이번 장에서는 수학과 역학 일반 그리고 유체의 흐름에 관한 과학에 중요한 기여를 한 과학자들을 다루기로 한다.

17세기 훨씬 이전에 고대 그리스인은 기하학의 기초를 세상에 내놓았고 힌두인은 실제적인 정수 체계의 기초를 제공하였다. 이것을 아랍인들은 초보적인 형태의 삼각법과 대수학을 포함하는 데까지 확장하였다. 기초적인 산수, 대수학, 기하학 그리고 삼각법은 중세 유럽 학자들이 동양에서 획득한 수학적 토대였으나, 그 후 수 세기 동안 이러한 유산의 발전은 일어나지 않았다. 산수는 분수의 소수점 표시법(decimal system)이 없었기 때문에 다루기 힘든 분야로 남아 있었다. 현재의 기호 체계와는 거의 닮지 않은 형태의 대수학은 주로 흥미 있는 퍼즐을 푸는 데 사용되었다. 기하학은 네 분야 중 가장 진보된 것으로서 수학자들은 그 후 수세기 동안 기하학자로 불리게 되었다. 삼각법은 주로 천문학에 관계되어 사용되었으나 이것마저도 점성학적 예측에 동원되었다.

동양 문명 또한 서양의 지렛대나 도르래로 대표되는 정역학 분야(static force systems)의 기초와 연역적 추론 방법을 출발시키는데 도움을 주었다. 스킨라 철학자들은 가장 기본적인 운동학적 원리들을 추론해 낼 수 있었으며 이것은 Galileo에 의해 자유낙하의 법칙에서 정리되어졌다. 문헌들은 속도, 힘, 추진력(impetus), 운동(즉, 운동량)등의 언급이 많았으나 이러한 것들은 주로 설명적인 용어로 남아 있었고, 이들 사이의 관계는 완전히 명확하지 못했다. Copernicus, Galileo 와 Kepler는 모두 지구 표면에서의 운동을 일으키는데 중력의 역할을 감지했으나 그들의 위성 운동에 관한 개념은 근본적으로 운동학적이었다. 이해하기 힘들겠지만, 현대 동력학의 세 가지 기본 원리—힘과 질량의 가속, 일과 에너지, 그리고 역적(impulse)과 운동량—은 이 시기에는 전적으로 부재했다. 그리고 수학적 기술(記述)은 등식보다는 비례의 형태를 띠고 있었기 때문에, 대수적 공식과 이것이 기술할 수도 있는 물리

적 현상과의 기하학적 관계에 대한 해석은 거의 없었다.

이러한 상황을 변화시키는데 근본적 역할을 한 일련의 과학자들 중 한 사람(Marin



Marin Mersenne

Mersenne(1588-1648))이 Oizé 근처의 농부의 집안에서 태어났다. 그는 La Flèche 예수회 대학에서 수학했고 Minim 수사가 되어 파리 수도원에 들어갔으며 결국 수학, 물리학과 천문학 연구에 헌신하였다. Mersenne는 정수론에 기여했을 뿐만 아니라 다양한 수리학 문제에 관심이 있었으며 정수역학, 유체의 유출(efflux)과 저항에 관한 많은 실험을 수행하였다. 대기의 단위 중량을 결정하려고 노력하는 이들과의 국제적 서신 왕래로 적어도 두 명의 동시대인에 의해 발전을 위한 길을 닦아 놓았다. 사실 그 시대 그의 최대의 공헌은 과학적인 전달자와 조정자로서의 활동에 있었다.

Mersenne의 동료 중 가장 유명한 이는 René Descartes(1596-1650)였다. 그는 Tour 근처에서 태어났으며, La Flèche에서 Mersenne와 함께 공부했으며, 그후—법학과 군복무의 짧은 기간 후—그의 관심을 수학과 철학에 돌렸다. Descartes는 건강하지 못했으며 많은 시간을 공부와 명상을 하며 침대에 누어 보냈으며, 프랑스 사회의 혼잡과 주위의 산만함에서 피하려고 화란으로 이주하기까지 하였다. 결국 Christina 여왕을 가르치기 위해 일주일에 세 번씩 아침 5시에 일어나는 혹독함을 견디지 못하고 스웨덴에서 죽고 말았다.

Descartes의 공헌은 범위와 가치에 있어서 크게 변한다. 그의 생전 가장 찬사를 받은 것은 우주의 Vortex 이론이며, 이것은 모든 우주 공간이 엄청나게 소용돌이치며 움직이는 어떤 물질로 채워졌다는 믿음에 기초를 둔, Copernicus 가설의 거창한 확장이었다. 그의 다른 공헌에 대한 진정한 가치가 인정된 것은 그가 죽은 후였다. 이 가운데 가장 중요한 것은 현대 대수학적 기호 체계의 도입과 분석기하학의 기초 확립이었다. 그는 모든 것이 차원적이라고 주장하였으며—길이, 넓이와 높이 뿐만 아니라 운동과 시간까지도—이러한 차원들의 함수적 관계를 기하학적으로 밝히기 위해, 우리가 지금 직각 좌표계라고 부르는 것을 창안하였다. 그는 궁극적으로 모든 단계의 지식을 응용수학의 방법으로 관계지으려 추구하였다. Mersenne에게 “한 현상만을 설명하는 대신에 나는 모든 자연현상을 설명하기로 작정하였다.”라고 써 보낸 적이 있다.

Descartes에게 관성과 운동량 보존을 처음으로 이해한 명예가 자주 주어진다. 그가 1629년 Mersenne에게 다음과 같이 써 보낸 것은 사실이다 [1] :

나는 어떤 물체에 한번 주어진 운동량은 다른 원인에 의해 제거되지 않는 한 영원히 지속된다고 가정한다; 즉, 진공에서 무엇이든지 움직이기 시작하였다면 같은 속도로 무한정 계속 움직일 것이다.

그렇지만 운동의 개념은 결국 그의 소용돌이 이론과, 우주의 운동량은 창조 시부터 고정되어 왔다는 신념에 뿌리내려져 있다. 예를 들어, 그의 1644년 “Principes de Philosophie”에서의 다음 구절을 보라 [2] :

최초 원인에 관해서는 이것이 바로 하느님이 시라는 것이 나에게서 명백해 보인다. 하느님께서 그의 진능하신 능력으로 부분적으로 운동과 휴지를 갖는 물질을 창조하셨고, 그 이후에는 그의 일상적인 운동에 의해 최초에 그가 창조하실 때 정하신 만큼의 운동량과 휴지를 보존하신다. 운동(량)이란 움직여지는 물질의 반응일 뿐이고, 비록 때에 따라 부분적으로 많고 적음이 있지만, 그럼에도 불구하고 결코 늘어나거나 줄어들지 않는 어떠한 양이 있기 때문이다; 물질의 한 부분이 다른 부분보다 두배의 속도로 움직이고 있고 그 다른 부분이 두배로 크다면 작은 물체가 큰 물체만큼의 운동량을 가지고 있고 언제나 한 부분의 운동량이 줄어드는 만큼 어떤 부분은 비례하여 늘어난다고 생각할 권리가 우리에게 있다는 것도 앞서의 이유 때문이다.



René Descartes

Descartes는 하느님, 우주, 그리고 과학을 포함하는 거창한 가설을 제안함에 있어 성직자의 비판을 야기하지 않을 수 없었다. Galileo의 학설 취소를 강요당한 소식을 듣고 그 자신의 주요한 논문, “Traité du Monde”의 출판을 보류한 사실은 Descartes의 교회의 의견에 대한 민감한 반응을 엿볼 수 있다. Descartes를 격려하고 그의 비판자들로부터 가장 효과적으로 방어해 준 사람은 Mersenne였다. Mersenne는 Torricelli가 1644년에 Ricci에게 보낸 편지를 볼 기회가 있었고 그 해에 Florence로 그를 방문했기 때문에 기압계를 이용한 이탈리아의 실험들을 프랑스에 전파한 것은 Mersenne였다. 그는 Torricelli의 발견과 수은주의 상승은 모든 물체의 상호 인력에 의한 것이라는 Roberval의 반론을 조화시키려 노력했을 뿐만 아니라 성공적이지는 못했으나 기압계를 이용하여 공기의 밀도를 측정하려는 시도를 하기도 하였다 [3]. Mersenne에게 공기의 밀도를 측정하기 위해 여러 고도에서 기압 측정을 제안한 이는 이번에는 Descartes였다. 그러나 이러한 측정은 Mersenne도 Descartes도 아닌 그들과 동시대인인 Pascal에 의해 수행되었다.

Blaise Pascal(1623-1662)은 Clermont-Ferrand에서 출생하였다. 조숙한 아이로서 그는 그의 아버지로부터 조기교육을 받았으며, 그의 어머니가 별세한 후에는 그의 두 자매에 의해 길러졌다. 그녀들은 안센파의 강력한 종교적 영향하에 있었다. Pascal 자신도 마침내 전향자가 되었고 극단적 금욕주의로 특징 지워지는 그의 짧은 인생의 후반기는 그의 초기 시절에 과학에 헌신했던 만큼 격렬하게 종교에 헌신하였다.



Blaise Pascal

그의 수학적 공헌 중 뛰어난 것은 무한소에 의한 계산법에 관한 이전의 연구를 확장한 것이었는데 이는 미적분학의 후속적인 발전을 유도했다. Mersenne와 마찬가지로, Pascal은 정수론을 발전시키는데 일조를 한 발견들을 하였다. 그는 “Pascaline”이라는 숫자를 계산하는 컴퓨터를 50여 종이나 발명하고 다른 어떤 계산기도 만들지 못하게 하는 특허권을 확보했다. 그의 수리학에 대한 가장 직접적인 공헌은 정수역학의 완성이었는데 이것은 기압계로 수행한 이탈리아의 실험에 관한 것을 Mersenne가 프랑스에 전파한 소식에 자극 받은 때문이었다.

Pascal이 1647년 유럽 전역에 보낸 “Nouvelles expériences touchant le vide fait dans les tuyaux avec diverses liqueurs” 라는 팜플렛에서 그는 “사이펀, 물총, 풀무, 그리고 서로 다른 길이, 크기와 모양을 가지는 여러 가지 관으로 수은, 물, 포도주, 기름, 공기 등과 같은 다양한 액체를 채워서” 그 자신이 수행한 광범위한 실험에 대해 기술하고 있다. 이것들은 주로 Torricelli에 의해 기술된 원래의 실험의 변형이었으며, Pascal은 이것들이 제한된 진공의 공포(limited horror of a vacuum)나 또는 기압을 이용하여 똑같이 잘 설명할 수 있음을 깨달았다. 더욱 결정적인 증거를 위해서 그는 진공 안에서 진공에 관한 실험을 수행하였다. Torricelli 자신이 Ricci에게 보낸 편지에서 외부 압력이 줄어들면 기압계의 수은주의 높이는 줄어들므로 주위의 공간이 진공이라면 수은주의 높이는 영이 될 것이라고 기술한 바 있다. 하나의 기압계 기둥(barometric column)안에 다른 것을 감쌌으므로 Pascal은 이것이 진실임을 입증하였다.

그러나 아직도 그는 만족하지 못했다. 위에서 누르는 공기의 무게가 정말로 관에서의 수은의 상승의 원인이라면, 수은주의 높이는 위에 있는 공기의 양에 따라 변할 것이라고 추론하였다. 그러므로 그는 1647년의 편지에서 처남(또는 매부) Périer에게 Descartes가 Mersenne에게 제안하고 역시 Pascal에게도 제안한—Descartes가 나중에 주장한 바에 따르면—것과 비슷한 실험을 해주도록 간청했다 [4] :

이것은 하루에 몇 차례 같은 관과 수은을 가지고 어떤 때는 산 아래에서 어떤 때는 최소 500 또는 600 fathom 높이의 정상에서 진공에 관한 통상적인 실험을 하는 것이며, 이는 관에 상승해 있는 수은의 높이가 같을 지 다를 지를 확인하기 위한 것이다. 당신도 단번에 이러한 실험이 결정적이라는 것을 의심할 바 없이 알 것이다. 산 아래에서 보다 산 위에서 수은주의 높이가 낮다면(이 문제를 연구하는 이들 모두가 반대 의견이지만, 이것이 사실이라고 믿을 만한 많은 이유를 내가 가지고 있으며), 필연적으로 진공의 혐오(the abhorrence of a vacuum)가 아니라 공기의 무게와 압력이 수은주의 상승의 유일한 원인이라는 결론에 이르게 된다: 산 정상 보다 산 아래에 누르는 공기가 훨씬 많다는 게 확실하고, 누구도 자연은 정상에서 보다 산 아래에서 진공을 더 혐오한다고 말할 수 없기 때문이다...

나는 모든 이런 효과들을 공기의 무게와 압력에 둘러러는 쪽으로 기울어져 있다. 왜냐하면 나는 이런 것들이 유체의 평형에 관한 일반적인 원리의 특별한 경우로 생각하기 때문이다. 이 유체의 평형이 내가 약속했던 논문의 큰 부분을 차지할 것이다.

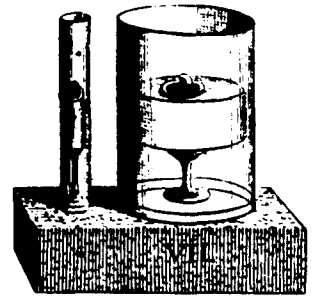
이러한 실험들은 Périer에 의해 Clermont 근처에 있는 높이 4000 피트의 산인 Puy de Dôme에서 신중하게 수행되었으며 Pascal의 예상을 완전히 확인해 주었다.

Pascal의 정수역학의 완성을 담고 있는 논문은 그가 죽은 다음 해인 1663년이 되어서야 “Traité de l'équilibre des liqueurs” 라는 제목으로 출판되었다. 여기에서 그는 Stevin의 정수역학적 파라독스에 관한 분석을 시행했는데 그는 이 파라독스가 사실이라는 것을 실험적으로 증명하였다고 주장하고 다음과 같이 결론지었다: “이러한 모든 예들이 아주 가는 물기둥이 무거운 물체와 균형을 이룰 수 있다는 것을 보여준다. 이러한 힘의 배가의 원인을 증명하는 것이 남았다.” 그는 수압기의 원리를 올바르게 유도함으로써 이 증명을 해 내었으며, 수압기를 힘을 배가시키는 기계라고 불렀다 :

이 새로운 기계가 지렛대, 바퀴와 축, 무한 나사 등의 기존의 기계들과 같은 특성을 보인다는 것은 주목할 만하다. 즉, 이 특성이란 움직인 거리는 힘과 같은 비례로 증가한다는 것이다. 왜냐하면 한쪽 관의 면적이 다른 것 보다 100배 크다면, 작은 피스톤을 1인치 밑으로 누르는 사람은 다른 피스톤을 그 거리의 100 분의 1 만큼 밀어 올릴 것이 명백하기 때문이다. 한 피스톤이 움직이면 다른 하나도 따라 움직이지 않을 수 없도록 하는 것은 피스톤 사이에 있는 물의 연속성이다. 작은 피스톤이 1인치 아래로 움직인다면 움직인 물은 다른 피스톤에 압력을 주고 이것은 면적이 100배 크기때문에 단지 100분의 1인치만큼 올라간다는 것은 명백하다. 그러므로 움직인 거리는 힘과 같은 비율이다...

보다 명확히 하기 위해 물은 두 피스톤 아래에서 똑 같이 눌리고 있다는 것을 말해준다. 둘 중의 하나는 다른 것보다 100배 무거운데 이것은 100배 넓은 면적과 접촉하고 있기 때문이다. 결과적으로 양쪽에서의 압력은 같으며 그것들은 정지한 채 버티고 있어야만 한다; 왜냐하면 하나가 다른 하나를 압박해야 할 이유가 없기 때문이다. 물로 채워진 용기가 오직 하나의 개구부(예를 들어 면적으로 1 평방 인치)를 가지고 여기에 1파운드의 무게를 지탱하는 피스톤이 놓여지면 이 무게가 물의 연속성과 유동성으로 인하여 용기의 모든 부분에 가해진다.

여기에서 Pascal은 “기하 학자에게만 관심을 끌고 아마도 다른 사람들은 거들떠보지도 않을” 다른 증명을 더했다. 이것은 물체는 무게중심이 내려가지 않는 이상 자중에 의해 절대 움직이지 않는다는 Torricelli의 원리도 포함하고 있다. 파스칼은 두 피스톤의 상호 이동에 상관없이 두 피스톤 공통의 무게중심은 일정한 높이에 있고 따라서 그것들은 평형 상태에 있다는 것을 보였다. 그의 접근 방식은 같은 원리를 증명하기 위한 Leonardo와 Benedetti—그리고 역시 Mersenne—의 시도를 연상시킨다.



Pascal이 고안한 새로운 수압기

그러나 마침내 성공한 사람은 Pascal이었고, 그럼으로써 그는 정수역학의 마지막 정리를 확립하였다. 즉, 정지하고 있는 유체에서 압력은 모든 방향으로 같은 크기로 전달된다. 파스칼의 원리로 알려진 이것은 아마도 그의 가장 위대한 공적일 것이다(그의 동시대에 의해 단번에 받아들여지지 않는 것은 아니었다). 그리하여 그는 액체와 기체의 정역학을 결합함으로써 Archimedes, Stevin, 그리고 Torricelli의 업적을 보충했을 뿐만 아니라 고체의 동역학과 유체의 동역학의 필수적 연결 고리를 제공하였다.

Mersenne의 연구에 영향을 받은 17세기 인물들 중 세 번째는 화란인 과학자 Christian Huygens(1629-1695)였다. 명석한 부친을 둔 Huygens는 헤이그에서 태어났으며, Descartes의 제자로부터 Leyden에서 최상급의 수학과 물리학 교육을 받았다. 이 스승을 통해 그는 어린 나이에 Descartes의 저술에 접했으며 결국 Descartes와도 친분을 갖게 되었다. Huygens 자신의 업적은 이런 접촉에 의해 크게 자극 받았지만 Descartes의 반은 형이상학적인 소용돌이 이론의 영향으로부터 완전히 벗어나지는 못했다. 역설적이지만 프랑스 과학자(Descartes)는 화란에 정착하였지만, Huygens는 프랑스에서 생애의 대부분을 보냈다. 거기에서 그는 새로 설립된 Académie Royale des Sciences에서 주도적인 역할을 하였으며 그보다 약간 오래된 런던 왕립 학회의 회원 자격은 서로에게 큰 이익이 되었다.

Huygens는 Mersenne로부터 진공에 관계되는 실험에 상당한 관심을 갖게 되었고, 순수한 유체가 인장력을 견딜 수 있다는 것을 최초로 보인 것이 그였다. 더욱이 낙하 물체에 관한 연구에서 그는 마침내—그의 친구 Mariotte가 거의 같은 시기에 그랬듯이—공기의 저항은 여태까지 가정되어 왔던 속도에 비례하기보다는 속도의 제곱에 따라 변한다고 결론 내렸다. 그는 광학 이론에 괄목할 만한 공헌을 했다; 그의 개선된 렌즈 연마 기술은 천문 관측에 크나 큰 진전을 가져왔으며, 그 자신 토성의 띠와 오리온 성좌의 성운의 발견을 가져오게 했다.



Christian Huygens

그의 수학적 개발은, 중요하지는 않지만, 여러 가지로 다양했다. 역학 분야에서는 그의 공헌 중의 두 가지는 발군이였다. 그 가운데 하나는 원심력의 원리였다. 다른 하나는 진자(pendulum)의 법칙이었는데, 그는 이것을 천문학적 시계를 조정하는 정확한 수단으로서 뿐만 아니라, 지구상의 여러 지점의 중력을 결정하는 데도 사용하였다. 그의 1673년 판 “Horologium Oscillatorium”에 실려 있는 원심력에 관한 열세개의 정리중 둘은 그의 공식화의 전형적인 것이다 [2] :

움직이는 물체가 원의 둘레를, 이 원의 지름의 4분의 1 되는 높이에서 떨어질 때 얻는 것과 같은 속도로 돈다면, 이 물체는 이것의 무게와 같은 원심력을 가질 것이다; 즉, 이것은 물체가 매달려 있을 때와 같은 힘으로 실을 잡아당길 것이다.

만약 원추형으로 도는 진자가 매우 작은 원을 그린다면, 이 원을 도는 시간은 진자의 길이의 두 배의 거리를 자유 낙하하는 데 걸리는 시간에 대하여 원주가 그 지름에 대해 갖는 것과 같은 비를 갖는다; 또한, 진폭이 작다면 같은 진자의 수평 진동 시간의 두 배와 같다.

Huygens는 에너지 보존 법칙에도 공헌을 했다. 그러나 이것은 어떤 높이에서 중력 하에 하강한 물체는 그 높이 이상으로 솟아 오를 수 없다는 가설 (Torricelli의 것과 크게 다르지 않은)이다. 그의 꽤 까다로운 분석의 어디에서도 명시된 공식화를 찾아 볼 수는 없지만 Huygens의 계산은 무게와 질량의(지금은 계수 g 로 표시됨) 상호관계를 감지했다는 것을 보여준다. 그러나 Descartes의 초기의 영향 때문에 그가 생애를 마치기 훨씬 전에 Hooke에 의해 제안되고 Newton에 의해 적용되었음에도 불구하고 만유인력의 개념을 완전히 받아들일 수 없었다.

Wight 섬에서 나고 Oxford 대학에서 교육받은 Robert Hooke(1635-1703)는 Robert Boyle의 공기 펌프의 개발에 공헌한 역학을 염두에 둔 몇몇 과학자 중의 하나였다. 1662년에 Boyle의 추천으로 Hooke는 새로 세워진 왕립학회의 첫 실험 감독관이 되었으며 2년 뒤에는 Gresham 대학의 교수직을 얻었다. 그는 오늘날 스프링의 탄성적 거동 분석으로 가장 잘 알려져 있지만 여기에서는 Hooke의 중요성은 이것과 전혀 관계가 없는 두 가지 공헌 때문이다. 1666년에 그는 왕립학회 회원에게 “여태껏 착상된 것과는 매우 다른 세계 체제”를 만들어 냈다고 발표하였다. 이것은 참으로 특이한 것이었다. 왜냐하면 그는 최초로 모든 천체는 서로 끌어 잡아 다닌다는 제안을 하였기 때문이다. 그 당시 Hooke는 그가 예측한 만유인력의 원리로부터 정성적인 것 이상을 이끌어 낼 수 없었다고 고백했다. 그렇지만 나

중에, 아마도 빛의 강도로부터의 추론으로, 그와 천문학자 Edmund Halley(1656-1742)와 함께 물체의 인력은 이것으로부터의 거리의 제곱에 반비례해서 변한다고 결론지었다. 그와 동시에 유체의 상대적인 운동에 반응하는 여러 가지 기구들을 가지고 실험하게 되었으며, 1681년에 풍차의 날개의 feathering에 관한 논문을 왕립학회에서 발표하고 같은 종류의 기계가 물에서도 사용될 수 있다고 제안하였다. 더욱이 1683년에 왕립학회 회원에게 조정할 수 있는 네 날개가 달린 풍차로 바람의 속도를 재는 것과 배의 속도계로서 물에서 사용하는 스크류를 시범 보였다는 것이 왕립 학회기록에 나와 있다.



Isaac Newton

유럽에서 모든 동시대인으로 빛을 잃게 한 최초의 영국 과학자인 Isaac Newton(1642-1727)은 Woolsthorpe에서 태어나고 케임브리지 Trinity 대학에서 교육받았다. 그의 교육에 일익을 담당한 논문 중에는 John Wallis의 “Arithmetica Infinitorum” 과 다양한 Descartes의 저술들이 있다. Huygens와 친한 친구인 Wallis(1616-1703)는 당시 많은 문제들(무한소, 비례상수, 운동량 과 충격 등)을 단지 Newton의 최종적 일반화의 손질만이 남겨진 데까지 이끌어왔다. 반면에 Descartes는 Newton의 수학적 감수성에는 전혀 낯설은 형이상학적 우주 이론을 발표했었다. 따라서 Wallis 와 Descartes는 서로 다른 방법으로 Newton의 과학적 방향에 영향을 끼쳤다.

어린 나이에 그는 2항 정리를 발표하였으며, “fluxions” 방법의 개발을 시작하고, 지구와 달이 서로 인력을 작용하고 있다는 생각을 갖었다. 그는 1668년에 첫 반사 망원경을 만들었고, 1669년에는 케임브리지의 수학 교수가 되었으며, 1672년에 왕립학회의 평의원으로 선출되었으며 1675년에는 빛의 입자설(corpuscular theory)을 발표하였다. 왕립 학회의 그의 가까운 동료들 중에는 Halley, Hooke, 그리고 Sir Christopher Wren(1632-1723)등이 있었고 그들은 행성의 운동에 관한 앞서의 결론들을 출판하도록 재촉받았다. 그 결과—“Principia Mathematica Philosophiae Naturalis”의 초판—은 1687년에 출판되었다. 역학에 관한 그의 모든 핵심적인 공헌을 담고 있는 이 저작은 그 시대 과학자의 선두 주자로서 그의 명성을 확립하였다. 뒤따르는 수정을 제외하면, 이것이 그의 과학적 탐구의 마지막을 장식하기도 하였다. 그는 1695년에 조폐국의 관리자, 1699에 국장—그는 이들 직책을 매우 잘 수행하였다—이 되었으며, 새 세기의 시작에는 Académie des Sciences의 몇 안되는 외국인

회원이 되었다. 왕립학회는 1703년 그를 회장으로 선출하였으며 그는 생을 마칠 때까지 그 자리에 있었다. Anne 여왕은 1705년 그에게 기사 작위를 수여하였다. 그의 만년은 연대기와 신학에 주로 바쳐졌다.

과학자로서 Newton은 논란을 싫어했지만 비판 앞에서 거짓 양보를 하지는 않았다. 그리고 그는 그자신의 우월성을 자랑하는 사람이 아니었다: “만약 내가 더 멀리 내다 봤다면, 그것은 내가 거인들의 어깨에 서 있었기 때문이다.” Descartes—정도는 덜하지만 Huygens도—는 철학적인 관점에서 과학을 생각하였지만, Newton의 접근 방식은 원래 수학자의 관점이었다. 그에게는 뒤에 숨어 있는 궁극적인 원인을 추구함 없이 자연법칙을 올바르게 표현하는 것으로 충분하였다 [2] :

지금까지 우리는 하늘과 바다의 현상을 중력의 힘으로 설명해 왔다... 그러나 지금까지 이러한 현상들로부터 중력의 특성의 원인을 발견하지 못했다. 그리고 나는 가설을 세우지 않는다; 현상에서 추론되지 않은 것은 어떤 것이나 가설이라고 불려야 하기 때문이다; 그리고 가설은 형이상학적이거나 물리학적이거나, 불가사의한 것이든 기계적이든, 실험적인 철학(학문)에서는 설 자리가 없다. 이 철학(물리학)에서는 특정한 명제는 현상으로부터 추론되고 그후에 연역법에 의해 일반화된다...

역학에서 Newton의 주된 공헌은 운동의 세 법칙의 발견이다. 그러나 제 1 법칙은 Descartes에 의해 명확하게 표현되었으며, 세 법칙 모두가 충격의 법칙을 공식화하는데 Wallis, Huygens 그리고 Wren에 의해 사용되었다는 것을 Newton 자신도 알았다. 그의 공헌은 오히려 질량, 운동량, 관성 그리고 힘의 간명한 정의; 세 법칙의 간명한 표현; 그리고 무엇보다도, 이들 법칙과 Huygens의 원심력에 관한 정리, Hooke와 Halley의 인력의 제곱의 반비례 법칙을 통합하여 태양계의 모든 운동의 일반적 분석을 제공한 데 있다. 이 분석의 과정에서 그는 질량의 인력을 직접적으로 잴 수 있는 방법을 고안하였으나, 그는 이것을 수행하는 데 필요한 정확한 실험 장비를 갖추지 못했다. 그렇지만 그는 지구, 달, 그리고 태양의 평균 비중을 어렵잡아 산정 하였다 —그의 달에 대한 추정치, 5에서 6사이는 현재 통용되는 5.527과 상당히 근사하다.

유체의 저항에 관해 Newton이 수행한 집중적인 연구는, 행성의 움직임에 대한 어떠한 저항도 그의 우주 체계와 양립할 수 없기 때문에, 모든 공간은 물질로 채워졌다는 소요 학파와 Descartes의 가설을 부정하기 위한 목적이 있었음을 밝히는 것이 적절할 것이다. 이 연구의 실험적 부분은 여러 재질로 된 진자의 공기, 물, 그리고 수온에서의 감쇠(damping); 공기와 물에서 광범위한 밀도인 구체의 낙하; 용기로부터의 물의 유출을 포함한다. 많은 그의 결과는 대체적으로 당시로서는 훌륭했으나, 그는 이것들을 이론적 방법에 의해 일반화하는 것이 필수적이라고 생각했다. 그렇게 하기 위해 유체와 고체 사이의 저항은 다음 네 가지의 서로 다른 원인 중 하나 또는 그 이상에 의해 생긴다고 가정하였다: 즉, 물의 불변성,

탄성, 윤희성의 부족, 그리고 관성이다.

처음부터 Newton은 처음 두 원인은 무시할 수 있을 정도라고 가정했다. 세 번째 원인에 관해서 그는 다음과 같이 가설을 세웠다 [5] :

유체의 일부분에서의 윤희성의 부족에 의해 발생하는 저항은, 다른 것이 같다면 한 부분의 유체가 다른 부분으로부터 분리되는 속도에 비례한다.

이것이 점성 흐름에서 전단력은 인접한 층의 상대속도에 비례한다는 사실을 문헌에서 발견할 수 있는 첫 암시이다. 그 다음 Newton은 축을 중심으로 일정한 각속도로 회전하는 무한히 긴 원통내의 유체는 결국 축으로부터의 거리에 반비례해서 변하는 속도를 일으킨다는 것을 알 수 있게 되었다. 이것은 수학적으로 옳다. 비록 회전하는 구체에 의해 유발되는 상응하는 흐름 상태에 대한 그의 분석은 세밀하지 않지만, Descartes의 소용돌이 이론은 이러한 이론을 전혀 언급할 수 없다는 것은 명백히 하였다.

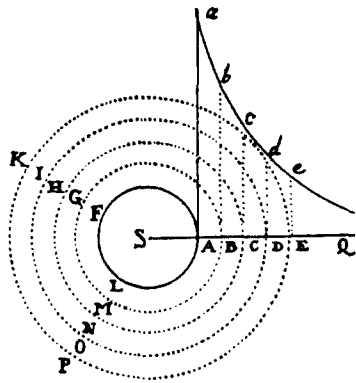
유체의 관성에 의해 유발되는 잠긴 물체의 운동에 대한 저항에 대하여 Newton은 다음과 같이 올바르게 추론하였다 :

조건이 같을 때, 시스템의 대부분은 속도의 제곱의 비, 직경의 제곱의 비, 시스템의 그 부분의 밀도의 비의 복합적인 비율로 저항을 받는다.

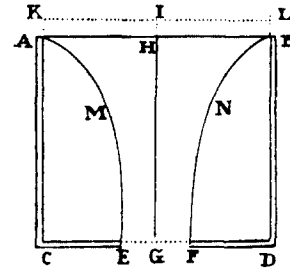
더욱 그는 현대 풍동과 수로(water-tunnel) 연구의 기초를 이루는 상호정리(reciprocity principle)를 올바르게 주장하였다 :

물체가 정지한 유체에서 움직이든, 유체의 입자가 정지 상태에서 물체가 같은 속도로 부딪히든, 물체에 대한 유체의 작용은 같기 때문이다... ; 물체가 정지해 있다고 생각하고 움직이는 유체에 의해 얼마만한 힘이 가해지나 보자.

그는 이 힘이 유체가 물체의 전면에 의해서 비껴 나갈 때 일어나는 운동량의 변화율과 같다고 가정하였다. 그의 분석의 개략성 때문에 (그리고 그의 실험이 구체에 제한되어 있었기 때문에) 그는 압축된 비탄성의 유체에서 이 힘은 오직 장애물의 최대 단면적에만 달려 있다고 결론지었다 :



회전하는 실린더에서의 속도분포



오리피스 분출에대한 Newton의 개념도

만약 같은 폭을 갖는 원통, 구, 타원체가 이것들의 축이 원통형 수로의 축과 일치하게 일렬로 놓였다면, 이들 물체는 수로를 통한 물의 흐름을 똑 같이 방해할 것이다.

이상한 일이지만, Newton은 이 잘 못된 결론을 정당화하기 위하여 용기의 밑에 뚫린 구멍으로부터의 유출 문제로 관심을 돌렸다. 용기 안의 유체는 두 구역으로 나뉠 수 있다고 생각했다: 중앙의 “큰 방류구”, 이것의 직경은, 자유낙하의 법칙과 연속의 법칙에 일치하는, 어떤 위 기준선부터 밑으로의 거리의 네 제곱에 반비례하여 변한다; 외곽 구역, 이것은 흐름에 아무런 역할을 하지 않기 때문에, 유동적이거나 얼어 붙은 것이거나 상관없다고 그는 주장하였다. 1687년에 발간한 “Principia” 에서 큰 낙하 수맥의 측면도는 오리피스의 끝 모서리를 통과하고 그 이후에는 분류(jet)와 일치한다고 생각하였다. 그러나 계산된 유출량은 실제 측정된 것 보다 약 $\sqrt{2}$ 배 컸고, 1713년의 재판에서야 Newton은 이 오차를 분류의 단면수축에 돌렸다 —그러므로 단면수축의 발견은 그의 것으로 보인다. 측정으로부터 분류와 오리피스의 면적의 비는 약 $1/\sqrt{2}$ 로 밝혀졌고, 그는 그 뒤로 큰 폭포 측면도의 컨트롤로서 수축된 부분을 오리피스 아래의 직경으로 사용하였다.

Newton의 수축계수의 도입은 분명히 일보 전진이었으나, 그의 자유 낙하 이론은 그렇지 못했다. 그렇지만 그는 이론과 실험의 겉보기에 명백한 일치가 방류구 주위의 구역이 정말로 동결된 것으로 취급될 수 있는 것을 나타낸다고 가정하였고, 따라서 유체에 잠긴 물체의 전면에도 비슷한 정체 구간의 존재가 가정될 수 있다고 생각하였다. 그러므로 Newton은 실제 흐름의 패턴은 물체의 모양에 상관없이 본질적으로 같아야 하고, 저항은 오로지 최대 단면적에 의해서만 결정된다고 추론하였다. 그렇지만 Newton이, 물체가 비탄성의 유체에 완전히 잠겨 있을 때에만, 형상에 따른 영향이 무시될 수 있다고 생각했다는 것은 주목할 만하다. 왜냐하면, 그는 자유표면과 탄성효과를 분명히 감지하고 있었기 때문이다.

수명하듯이 앞으로 곧장 움직이는 물체는, 특별히 이것이 둔한 모양이라면, 물체의 전면에서 유체가

솟아 오르게 되고 하류에서 저하하게 된다; 그러므로 이 물체들은 앞과 뒤가 뾰족했을 때 보다 저항을 더 받게 된다. 탄성적인 유체내를 움직이는 물체는 이것이 앞 뒤가 둔한 모양이라면, 전면에서는 유체를 조금 더 압축하고, 하류에서는 조금 이완된다; 그러므로 이 물체는 앞뒤가 뾰족한 것 보다 조금 더 저항을 받는다. 그러나 이들 보조정리와 제안(명제)에서 유체는 탄성이 아니고 비탄성 유체이고, 물체는 표면에 떠 있는 것이 아니고 깊이 잠긴 물체를 다루고 있다.

행성의 운동과는 전혀 관계없는 저항 문제에서 벗어났음에도 불구하고, 일반적인 결론은 그의 원래의 목적이었던 다음을 증명하는 데 충분했다.

... 우주 공간은—이것을 통하여 행성과 혜성이 최대한으로 자유롭게 그리고 어떠한 감지할 수 있는 운동의 감소도 없이, 계속적으로 여러 방향으로 움직이는—아마도 극도로 희박한 증기와 빛을 제외하고는 어떠한 유체물질도 없이 절대적으로 비어 있음에 틀림없다.

그의 우주 체계보다는 이 수학의 역사에 한층 밀접하게 관계 있는 Newton의 유체에 대한 세가지 연구 결과도 역시 언급할 가치가 있다. 그중 하나는 다음과 같다 :

만약 물이 수로 또는 세워 놓은 관이 상하운동을 한다면, 매달림(suspension)과 진동의 중심 사이의 길이가, 수로에 있는 물의 길이의 반이 되도록 진자가 만들어진다: 내가 말하려는 것은 물이 이 진자가 진동하는 것과 같은 시간에 상승과 하강을 한다는 것이다.

다른 하나는 표면과의 속도변화는 파장의 제곱근에 비례한다는 사실이다. 여기에 그는 다음과 같은 두드러진 관찰을 더하고 있다.

이러한 것들은 물의 일부가 직선으로 상승과 하강을 한다는 가정 하에서는 맞는 말이다; 그러나 사실은 상승과 하강은 원운동을 한다; 그러므로 나는 이 명제에 의해 정의된 시간은 단지 근사치라고 하고 싶다.

세 번째는 공기 중에서의 음속의 공식화(비록 불완전하지만)였다.

운동의 분석과는 전혀 별도로, Newton의 “fluxions”의 도입은 그 자체가 과학 발전에 위대한 공헌이었다. Newton에 의해 사용된 “fluxions”이란 용어는 무한소의 시간이 증가하는 동안 연속 함수에서 일어나는 변화량을 일컬었고 “fluents”라는 말은 일정한 시간 동안의 그 변화의 합을 의미했다. 이 방법의 요소는 1666년에 처음으로 고안되었고, 1669년 이후로는 동시대인과의 편지에서 다양한 측면이 논의되었으며, 그의 “Principia”에 보다 일반적으로 표현된 결과들을 유도하는 데 사용되었다; 그러나 전체로서의 이 방법은 1693년이 되어서야 출판되었다.



Gottfried Wilhelm von Leibniz

그 사이에 독일 철학자 Baron Gottfried Wilhelm von Leibniz (1646-1716)는, Newton의 시간의 관련을 언급 없이 무한소의 증가와 합 자체를 포함하는, 현대 미적분학에 조금 더 근접한 절차를 개발하였다. Leibniz 방법의 언급은 1675년까지는 그의 노트에 나타나지 않았지만, 그는 이것에 관한 논문을 1684년에 출판하였다. Leibniz는 1676년에 이 주제에 관한 Newton의 편지들을 보았고, 그 자신이 1677년 Newton과 서신 왕래를 했었음에도 불구하고, Newton의 책이 출판된 후에 Newton이 그의 방법을 훔쳤다고 비난했다.

지금에 와서 보면, 두 사람 모두가 의식적으로 서로를 표절하지 않았다는 것이 명백해 보인다. 그러나 대부분의 유럽 수학자들이 참가한 공격에 맞선 그의 동료들의 Newton 옹호는 영국과 대륙 사이에 여러 해 동안 결정적인 과학적 긴장을 야기시켰다.

자신의 것이라고 생각한 모든 명예를 얻으려고 노력한 탐욕에도 불구하고, Leibniz는 당시의 철학, 정치학, 심리학, 신학 그리고 물리학에 광범위한 공헌을 하였다. 그를 French Académie와 Newton (왕립 학회의 회원 자격을 확보해 준)에게 소개해 준 것은 Huygens였다. Pascal의 “Pascaline”을 알고 있었던 Leibniz는 더욱 복잡한 계산 기계를 고안하였다. 현재 우리가 쓰고 있는 미분과 적분의 기호들은 근본적으로 Leibniz가 고안한 것이다. 그리고 그의 역사적 연구의 정당성이 바로 이 책의 기초를 이루고 있다 [6] :

기념할 만한 발견, 특히 우연이 아닌 사색에 의한 것의 진정한 근원을 밝힌 지식은 극히 유용한 것이다. 이것은 역사가 발견을 발견자에게 공을 돌리고 다른 사람이 그와 같은 명예를 얻도록 장려하는 것보다는 주목할 만한 것을 고찰하여 발견하는 기법이 보다 보편화되어야 한다고 생각한다.

불행히도, 그의 가장 직접적인 역학에 대한 공헌—에너지 원리—은 또 다른 논란을 불러 일으켰다.

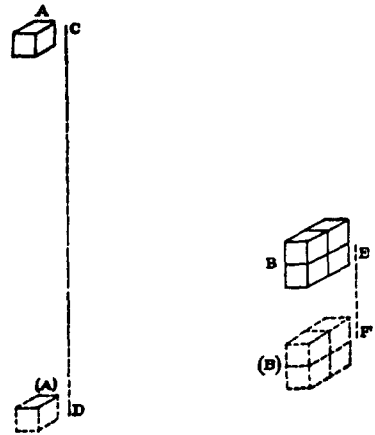
1686년의 “Acta Eruditorum”에서 Leibniz는 운동량의 원리(Newton이 그렇게도 성공적으로 사용하였던)의 결합을 “언제나 같은 운동의 양(quantity of motion)이 신에 의해 보존된다는 것이 자연의 법칙이라는 것을 확인하는 곳에서 Descartes등이 범한 중대한 오류; 그들은 역학적으로 이 법칙을 부적절하게 적용하고 사용하였다.”는 다음의 논증을 통하여 발견할 수 있다 [2] :

대부분의 수학자들은 다섯 개의 역학적 힘(powers)의 경우에 있어서, 속도와 질량이 상호 보상하므로 일반적으로 움직이는 힘(motive force)은 운동량(quantity of motion) 또는 물체의 질량과 속도의 곱으로 추정한다...

그러나 이 두 생각 사이에 얼마나 큰 차이가 있는 것을 알아보기 위해 첫째, 어떤 높이에서 떨어지는 물체는 적당한 방향이 주어지고 다른 외력의 방해가 없으면, 이것을 같은 높이로 올릴 수 있는 충분한 힘을 얻는다고 가정한다... 둘째, 1 파운드의 물체 A를 4 ell의 높이 CD만큼 올리는 것과 4 파운드의 물체 B를 1 ell의 높이 EF만큼 올리는 것에 같은 힘이 필요하다고 가정한다.... 그러므로 당연히 높이 CD에서 떨어진 물체 A는 높이 EF에 떨어진 물체 B가 얻는 힘과 정확하게 같은 힘(force)을 얻게 될 것이다. 이제 운동량(quantity of motion)도 두 경우가 같은 지 살펴보자.

높이 CD의 낙하에 의한 속도는 EF에 의한 속도의 두 배라는 것은 Galileo가 제창한 바 있다... 그러므로 D에서 물체 A의 운동의 양은 F에 있을 때 B의 운동의 양의 반이 되지만, 이 두 물체의 힘은 바로 전에 같다는 것이 밝혀졌다... 이것으로부터 어느 방법으로 힘이 추정되어야 하는지,

즉 이것이 발생시킬 수 있는 효과의 양으로부터 여야 할 것 같다; 예를 들어, 물체에 줄 수 있는 속도로부터가 아닌, 알려진 크기와 특성의 물체를 들어 올릴 수 있는 높이로부터... 그러므로 우리는 힘들은 물체들(같은 비중 또는 밀도를 갖는)의 그리고 속도를 일으키는 높이들, 즉, 물체가 떨어질 때 그 같은 속도를 얻는 높이들의 복합적인 비에 있다고 말할 수 있다...



그리하여 Leibniz는 그가 운동량(quantity of motion)이라 부르는, 그러나 오늘날 운동 에너지라고 알려진 것을 나타내기 위하여, *vis viva* 또는 “살아 있는” 힘(압력이나 무게와 같은 “죽은” 힘과 반대되는)이라는 개념을 도입했다. Descartes와 Newton의 운동량과 같이, 이것은 물체의 질량에 정비례하여 변한다; 그러나, 이것은 속도에 비례하기 보다는 속도의 제곱에 비례한다는 점에 있어서 다르다. 에너지 보존의 개념은 살아있는 힘은 수직 하강 거리에만 오로지 의존하고, 언제나 물체를 원래의 높이로 복원하는데 꼭 충분한 만큼이다 — Huygens가 전에 말하였듯이—라는 개념이 함축되어 있다. 일견 상충되는 듯한 운동량과 에너지 개념은 반세기 동안이나 조화되지 않은 채 있었다.

여기서 프랑스의 역학 교수이며 저술가이고 Académie des Sciences의 회원인 Pierre Varignon(1654-1722)에 대해 언급해야겠다. 그의 많은 동시대인이 보다 중요한 발견을 하

였지만, 강의와 저술에서 그것들을 명확히 하고, 단순화하고, 종합한 것은 그였다. 이러한 관점에서 그는 특히 힘의 합성과 가상일의 원리에 공헌하였다. 그러나 1725년이 되어서야 출판된 유체의 운동에 관한 그의 책, “*Traité du mouvement et de la mesure des eaux coulantes et jaillissantes*” 은 실제적 가치가 거의 없을 정도로 유체의 운동에 관해서 보다는 역학을 강조하고 있다. 사실 오로지 한 가지 세목이 운동량-에너지 논란의 관계에서 흥미를 끈다. Varignon은 오리피스의 바로 위에 있는 유체 기둥의 중량이 용기에서 유출되는 순간 갑자기 그 유체에 운동량을 전해 준다고 가정하여, 운동량 원리를 사용하여 Torricelli의 유출 문제를 분석하려고 하였다. 그렇게 하여 그는 $\sqrt{2}$ 배 큰 유출 속도를 계산해 내었다—초판 “*Principia*” 에서 Newton이 범했던 오차와 비교될 수 있으나, 전적으로 다른 원인에 의해 발생한 것이다. Varignon이 분류의 수축을 무시했던 것과는 전혀 별도로, 오리피스 앞에서 유체 운동의 역학을 그가 불완전하게 해석한 결과가 올바른 원리가 틀린 결과를 주도록 허용하였다는 결과가 된 것이 명백하다.

이 장이 끝나기 전에 스위스 Basel에 있었던 두 수학자에 대해 역시 언급하여야 한다. Basel은 1460년에 대학 도시가 되었으며, Erasmus와 Paracelsus같은 르네상스 저술가들을 끌어들이는 초기 인쇄의 중심이었고, 1530년의 종교개혁 중에는 위그노 교도들의 피난지였으며, 마침내 17세기에는 강한 가족 유대를 가진 매우 교양 있는 도시가 되어 있었다. Bernoulli라는 이름을 가진 위그노 교도가 1622년에 Antwerp로부터 이 도시로 이주하였다. 그는 상인으로서 성공하였고 역시 상인이 된 아들들을 두었다. 이 아들 중 하나가 열두 명의 자녀를 두었으며 그 중 네 명이 살아남았다: 수학자, 예술가, 또 다른 수학자, 마지막으로 상인. 장남이 대학의 물리학 교수, 결국은 총장이 된 Jakob Bernoulli(1654-1705)였다. 두 번째 수학자가 Johann Bernoulli(1667-1748)인데, 그는 형으로부터 교육받고, 프랑스 수학자 l'Hôpital과 파리에서 함께 연구했고, 화란에서 10년간 수학을 가르쳤으며, 그 후 Basel에서 그의 형을 이어 교수가 되었다. 앞으로 얘기하게 될 Nikolaus와 Daniel을 아들로 둔 이가 바로 Johann Bernoulli였다.

Spiess[7]에 의하면, 수학적 물리학의 진보에 필수적 네가지 단계가 17세기에 나타났다: 현상을 기술하기 위하여 도면화한 곡선의 사용; 이 곡선의 수식 형태로의 표현; 이것의 경사와 면적의 결정; 이러한 절차의 실제 문제에 적용이다. 최초의 물리학적 제도사는 알려져 있지 않으나, 확실한 것은 Descartes가 두 번째 단계, Leibniz가 세 번째, Bernoulli 가족이 네 번째 단계를 이룩하였다는 것이다. Jakob은 그 자신의 업적으로 보아서도 유능한 수학자였지만 지금 수리학사에의 가장 큰 공헌은 그의 동생을 가르쳤고, 이 동생이 다음에 그 자신의 두 아들을 가르쳤다는 데 있다. 불행히도, 형제 사이에 마찰이 생겨서 점차 심해졌고, 그들의 초기 협력은 결국 공개적인 경쟁 관계로 바뀌었다. Johann의 회한은 그의 많은 편지에서 l'Hôpital에게 전한 여러 발견을 l'Hôpital이 출판함으로써 가중되었지만, Newton이 죽

음에 따라 세계에서 가장 빼어난 수학자가 되었다. 그의 아들이 1738년에 출판함에 맞서기 위하여, 그도 역시 수리학에 관한 논문을 썼다—1743년에 출판되었으나 그의 연구가 앞서 이루어졌다고 만들기 위한 쓸데없는 노력으로 십일 년이나 앞선 날짜를 붙였다. 이것의 주된 공헌은 내부 유체압력 개념의 도입에 있다[8]; 이런 관점에서 이 논문은, Newton의 자유 낙하이론의 가설은 방류구와 주위의 정체된 구간의 접촉면에서 영의 압력—물리적으로 불가능하다—을 가져야 한다는 것을 지적함으로써 자유 낙하이론의 오류에 주위를 환기시켰다. Leibniz와의 친밀한 협력 관계 (새로운 미적분학을 처음 적용한 사람이 Johann이었고—그리고, 사실 “적분”이라는 단어를 도입한 사람도 그였다) 때문에 그는 fluxion—calculus 논란에서 왕립 학회에는 유감스럽게도 Newton에 대항하여 Leibniz의 편을 들었다.

Galileo 시대부터 Bernoulli 형제의 시기까지 대략 백년간의 기간은 그 전 수천 년 동안에 이룩한 모든 것을 훨씬 뛰어넘는 물리학에서의 진전을 가져왔다. 이 수천 년은 그 뒤에 온 것들에 필수적이기는 했지만 이런 진보 속도의 재빠른 증가는 주목할 만하다. 17세기 말까지 수학은 조작적 수법과 물리 현상과의 도형적 관계에 있어서 폭 넓은 적용성의 상태에 도달했고, 역학에는 기본적인 (비록 겉보기에 상치하는 것 같은) 운동량과 에너지 법칙이 주어져 있었다. 반면에 수리학은 아직 경험적인 기술이었지만 유체 운동의 기초적 원리를 공식화할 수 있는 수단이 드디어 다가오고 있었다.

참 고 문 헌

- [1] DUGAS, R., *Histoire de la Mécanique*, Paris, 1950.
- [2] MAGIE, W. F., *A Source Book in Physics*, New York, 1935.
- [3] DUHEM, P., “Le Père Mersenne et la pesanteur de l’air,” *Revue générale des Sciences*, Vol. 17, 1906.
- [4] SPIERS, I. H. B. and A. G. H., *The Physical Treatises of Pascal*, New York, 1937.
- [5] CAJORI, F., *Sir Isaac Newton’s Mathematical Principles*, Berkeley, 1946.
- [6] GREENSTREET, W. J., *Isaac Newton 1642–1727*, London, 1927.
- [7] SPIESS, O., “Die Basler Mathematiker Bernoulli,” *Bulletin de l’Association Suisse des Electriciens*, Vol. 43, No. 8, 1952.
- [8] TRUESDELL, C., Editor’s Introduction to Vol. II 12 (1954) of Euler’s *Opera Omnia*, Zurich.