Vern S. Poythress, *Redeeming Science: A God-centered approach* (Illinois: Crossway, 2001), 293-316

물리학과 화학에 대한 기독교적 접근

베른 S. 포이트레스

현대 물리학에서 탐구된 법칙들과 이론들은 어떻습니까? 현대 물리학을 속속들이 탐구할 때, 우리는 이전에 논의했던 것보다 더 추상적 사고와 더 복잡한 수학에 직면합니다. 그러므로 더러 도전을 북돋우는 그 자세한 내용을 찾는 사람들도 있습니다. 그러나 하나님께서 하나님의 지혜와 속성의 표를 바로 그 물리학의 법칙들에 새겨 두신 그 방법들은 모두가 어느 정도 인정할 수 있습니다. 그래서 과학적 배경이 없는 독자라 할지라도 물리학을 바라보는 새로운 길을 얻기 위해 이 문제들을 주의 깊게 살피고 생각해 보았으면 합니다.

먼저 아이작 뉴턴 경에 의해 주장된 통합된 원리들을 고찰해 봅시다.

뉴턴의 운동의 세 법칙들

뉴턴은 운동의 세 법칙을 만들었습니다.

1. 모든 물체는 가해진 힘에 의해 그 상태가 변하지 않는 한, 정지 상태로 있거나 직선 방향으로 등속 운동을 계속합니다.
2. 운동의 변화는 가해진 힘(원동력)에 비례하며, 그 힘이 가해진 직선 방향으로 일어난다.
3. 모든 작용에는 항상 크기가 같고 방향이 반대인 반작용이 있습니다. 혹은 두 물체의 상호 작용은 항상 크기는 같고 방향은 반대입니다.(주1)

(뉴턴의 '똑바른 선(right line)'은 지금 우리가 사용하는 직선을 말합니다.)

제1법칙은 "몸(body)"에 관해 말합니다. "몸"이라는 용어는 일반적으로 인간의 몸이나 동물들의 몸을 가리킵니다. 그에 비해서 뉴턴의 법칙에서는 특수하고 좀 더 기술적 용어를 사용하는데, 곧 인간의 몸뿐 아니라 특별히 무생물 덩어리(lumps)까지 포함하여 확장 사용합니다. 그러나 이런 특수한 용법의 배경에는 인간의 몸과 무생물 물체(body)가 움직일 때 둘 사이에 유사성(analogy)이 있다는 것을 암시합니다. 이 유사성은 앞에서 탐구한 형상화(imaging)를 떠올리게 합니다. 이것은 무생물 "물체"가 인간의 몸과 유사하고 어떤 형태의 형상화를 보여 줄지 모른다는 것을 시사합니다. 그렇다면 자기만의 방식으로 이 물체가 하나님의 속성에 관한 어떤 것을 반영

할지도 모릅니다. 그럴까요?

뉴턴의 법칙들은 그의 일생에 걸친 역작 『자연철학의 수학적 원리들』에서 발전시킨, 힘과 운동의 논의의 일부를 규정한 것입니다. 이 작업이 결국 인상적인 기술적 정교함의 발전의 기초가 되었습니다. 이런 과정의 결과, 뉴턴의 법칙들의 의미와 응용을 해석하기 위해 필수적인 "질량", "속도", "가속도"의 관련 개념들과 마찬가지로 "물체", "힘", "운동"의 개념들은 모두 이제 기술적 혹은 반(半)기술적 의미를 가지고 있습니다.(주2)

인간의 경험과의 유사성

그러나 뉴턴이나 후대 과학자들이 초보자들에게 과학의 기초를 가르칠 때, 그들은 어딘가에서 그들의 설명을 시작해야 합니다. 그들은 일반적인 데서 시작하여 기술적 개념으로 들어가는 언어를 사용합니다. 초보자들은 자신들의 몸과 움직임을 포함한 몸과 움직임의 일반적인 경험과 함께 시작함으로써 이해하기 시작합니다.

그러므로 우리는 뉴턴이 사용한 "물체"를 먼저 일반적 의미에서 우리의 "몸"을 경험하고, 그리고 다른 "몸들"을 경험함으로써 이해합니다. 우리는 우리의 몸과 무생물의 공이나 돌멩이의 움직임의 유사성을 끌어냅니다. 그 목적을 위해 가까이에서, 우리가 공이나 돌멩이의 움직임을 볼 때 공이나 돌멩이가 통일체(a unity)로 취급될 수 있습니다. 이 통일체는 인간이 한 장소에서 다른 곳으로 움직일 때 인간의 그 통일체와 유사합니다. 그 공의 운동은 우리가 몸을 움직일 때 경험하는 운동과 같습니다.

더 놀라운 것은 (뉴턴의 제2법칙에서 언급한) "원동력(motive force)"의 개념입니다. "힘"이 무엇입니까? "힘"은 우리가 공이나 인간의 몸처럼 우리가 볼 수 있는 것이 아니기에 상당히 추상적이고 어려운 개념입니다. 손으로 돌멩이를 들 때 우리의 근육이 긴장하고 손에 압력이 생기는 것을 감각적으로 느낍니다. 직관적으로 "힘"에 대한 직접적인 개인 경험을 통하여 초보 과학자는 추상적으로 "힘"을 상상하게 됩니다. 즉, 물리학자들이 의미하는 "힘"을 상상하게 됩니다.

우리가 손으로 스프링을 늘일 때 근육이 긴장하는 것을 느끼고, 스프링이 더 늘어날수록 스프링의 저항과 근육의 긴장이 더 커지는 것을 느낍니다. 그러나 이제 스프링이 우리의 손이 아닌 스프링에 매달린 공에 의해 늘어난다고 가정해 봅시다. 비록 우리가 스프링과 공 사이에서 직접 일어나고 있는 것을 볼 수 없지만 스프링이 공에 "힘"이 가하고 있다는 것을 가정합니다. 우리가 감각적으로 우리 근육에서 어떤 긴장을 느낄 수도 없고, 스프링은 그것을 느낄 수 있는 근육이 없습니다. 우리는 우리의 근육이 느끼는 감각적 힘과 피부가 느끼는 압력에서 유추하여 스프링의 긴장(장력, 영어로는 동일한 tension임) 혹은 스프링이 가하는 힘을 말합니다. 스프링의 "힘"은 우리가 우리의 근육에서 느끼는 힘과 유사합니다.

이제 운동의 제3법칙을 생각해 봅시다. “모든 작용에는 항상 크기가 같고 방향이 반대인 반작용이 있다” 고 합니다. 초보 물리학자가 이 법칙을 이해하기 위해서는 연속하여 두 가지 관점을 가져야 합니다. 그는 먼저 몸 A와 동일시하고, 그리고 자신이 몸 B에 힘을 가하고 있다고 상상합니다. 이어 자신을 몸 B와 동일시하고 자신이 몸 A에 힘을 가하고 있다고 상상합니다. 제3법칙은 두 힘이 동일하지만 방향은 반대라고 합니다. 제3법칙의 공식은, 다른 두 법칙들처럼, 사람이 힘에 대해 몸으로 느끼는 경험(좀 더 일반적이고 직관적인 “힘”)과 무생물 물체의 힘(기술적 의미의 “힘”) 사이의 유사성에 의존합니다. 그것은 일종의 형상화 관계인 인간의 몸들과 무생물 “물체” 사이의 유사성에 의존합니다.

그것은 또한 인간이 둘 혹은 그 이상의 다른 관점들을 채용하고, 두 인간 사이의 상호 작용을 이해하는 능력에 의존합니다. 다른 인간들과 그들의 관점과 관련된 이 능력은 삼위일체 하나님의 삼위의 관계를 반영합니다.(주3) 성부, 성자, 성신은 각각 서로에 대해, 그리고 세상에 대해 충분히 알고 계십니다. 그러나 또한 그분들의 지식은 삼위 각 위(the person)의 개인적인 관점(perspective)과 관계되어 있습니다. 성자는 성부를 아는 데서 만물을 아십니다. 성부는 성자를 아는 데서 만물을 아십니다. 조화로운 지식이 삼위일체 안에서 세 “관점들”로 존재합니다. 다양성 속의 이 통일성은 그 자체로 인간의 경험에 반영되는데, 우리가 관점들의 다양성을 가질 수 있고 상대방의 관점에서 어떻게 보일까를 상상할 수 있다는 점에서 그렇습니다. 관점들에 관한 이 능력이 뉴턴의 제3법칙을 이해하는 데 사용됩니다.

하나님의 형상으로 창조된 인간은 물론 단연코 창조계 내에서 그를 만드신 하나님을 보여 주는 가장 주목할 만한 증거의 예입니다. 그러나 이 증거를 왜 파생되고 더 약한 수준의 다른 피조물들로 확대하지 말아야 합됩니까? 식물과 동물들도 그들의 형상(image)을 가진 후손을 생산함으로 하나님의 생명을 “형상화(image)” 합니다 (18장). 심지어 왜 우리가 무생물도 인간의 간단한 능력의 일부를 형상화한다고 기대하지 말아야 합니까? 그것들은 그렇게 합니다. 즉 무생물들도 움직이고, 멈추고, 그리고 다른 물체에 힘을 가합니다. 그러므로 무생물도 그 나름의 방식으로 하나님의 영광을 나타냅니다.

지식의 성장

천문학과 물리학의 역사를 조금 생각해 봅시다. 그 발전은 수세기에 걸쳐 후대의 과학자들이 이전 결과들 위에 더 쌓아 올리고 개선하면서 이어왔습니다. 인간은 보통 복잡하고 풍부한 진리를 한 번에 다 알게 되지는 못합니다. 우리는 제한적이어서 간단한 단계들을 거치면서 배울 필요가 있습니다.

하나님께서는 그의 선하심으로 우리에게 상대적으로 간단한 단계들에 의해 진행할 수 있는 물리 법칙들을 계속 주셨습니다. 역사적으로 인간은 극도로 복잡한 20세기 양자장 이론이나 상대성 이론의 결과들로 시작할 필요가 없었습니다. 물리학은 행성의 운동의 관측을 통해, 아르키메데스

의 실험과 설명을 통해, 갈릴레오의 경사면 실험을 통해, 뉴턴을 통해, 아인슈타인의 특수 상대성 이론과 일반 상대성 이론을 통해, 그리고 다양한 발전 과정을 겪은 양자 역학을 통해 단계별로 발전되었습니다.

우리는 지금 뉴턴의 법칙들이 근사치일 뿐이라는 것을 압니다. 빛의 속도에 근접한 속도에서, 혹은 강한 중력장에서, 혹은 양자 효과가 나타나는 아주 작은 물체에서는 편차가 생깁니다. 그러나 뉴턴의 법칙들은 이런 극단의 상황을 제외하고는 여전히 유용합니다. 하나님의 법칙들은 이론의 “수준들”이 있도록 정해져 있습니다. 더 깊은 이론들은 더 정확하지만 더 복잡합니다. 그리고 우리는 더 얕고 간단한 이론들을 징검다리 돌들로 사용하여 이것들을 이해하게 됩니다. 그러므로 모든 의미에서 더 간단한 이론들은 대체되지 않고 있습니다. 우리는 후대의 더 진보된 지식에 비추어 그것들에 대해 다른 관점을 가지지만, 그것들은 하나님께서 세상에 주신 지적 “가구”의 일부로 남아 있습니다. 앞에서 언급한 우리의 반환원주의자 시각에 맞추어 보더라도 뉴턴의 법칙과 같이 이전의 더 간단한 이론들은 여전히 하나님의 법칙의 일부로 남아 있습니다. 그것들이 근사치라 할지라도 하나님의 선하심과 지혜를 분명히 보여 줍니다. 그리고 그것들은 더 복잡하고 풍부한 이론들로 건너가는 “징검다리 돌들”이 된다는 것에서 하나님의 자비를 보여 줍니다.(주4)

우리는 이미 천문학에 관한 초보 수준의 이론들을 생각해 보았습니다. 첫째 단계에서 관측자는 태양의 운동과 날수 사이에 분명한 상관성 혹은 비례를 살펴봅니다. 둘째 단계에서 그는 달과 행성들의 운동을 설명하기 위해 이 관측들을 확대합니다. 셋째 단계에서 우리는 행성들의 위치를 설명하는 모델인 프톨레미의 복잡한 이론에 이릅니다. 행성들은 원 궤도들과 같은 어떤 것을 따라 움직입니다. 그러나 각 원들은 그것들에 붙어 있으면서 그 자체만의 회전 속도를 가지는 더 작은 원인 “주전원(epicycle)”들을 가집니다. 이것이 고대 세계가 도달한 천문학입니다.

인간이 사고할 수 있는 범위 내에서 운동을 더 깊이 이해하는 몇 차례의 발전이 있었습니다. 먼저, 수세기에 걸친 천체의 계속적인 관측은 더 복잡한 주전원들의 형태를 요구하는 자료들을 쌓아 갔습니다. 둘째, 코페르니쿠스는 지구가 회전하고 행성들이 지구 주위가 아닌 태양 주위를 돈다고 가정하면 많고 복잡한 주전원들을 상당히 줄일 수 있습니다는 것을 발견했습니다. 셋째, 태양 중심의 체계로 바뀜으로 말미암아 케플러는 더 주의 깊게 규칙성을 연구할 수 있게 되었고, 각 행성의 많은 원들을 하나의 타원으로 바꾸어 주전원들을 버릴 수 있게 되었습니다. 넷째, 갈릴레오의 물체의 낙하운동과 경사면 실험으로 지상에 있는 물체의 운동에서 규칙성이 밝혀졌습니다. 그래서 아이작 뉴턴은 천상과 지상의 물체들의 운동을 하나의 논리적인 이론으로 설명할 수 있게 되었습니다. 이 뉴턴의 이론을 우리는 넷째 이론 단계로 부를 수 있을 것입니다. 만일 코페르니쿠스나 케플러나 갈릴레오를 중간 이론들을 만든 사람들로 생각합니다면 다섯째 혹은 여섯째 혹은 일곱째 이론으로 부를 수 있을 것입니다.

이 모든 사상가들은 수학적 계산, 간단한 기하학적 모양, 그리고 물리적 위치와 운동 사이의

상관성과 유사성을 찾았습니다.(주5) 그렇게 하면서 그들은 성막의 모형에서 암시하는 것(suggestion), 즉 간결함, 아름다움, 비례에 동감했습니다. 그러나 하나님께서 대우주 속에서 사용하시고 보여 주시는 바로 그 간결함과 비례를 찾는 일은 여전히 남아 있었습니다.

코페르니쿠스는 부분적으로는 자신의 철학적 이유들 때문이지만, 또 부분적으로는 주전원들의 체계를 간단히 했기에 태양 중심 체계를 더 선호했습니다. 그는 간결함을 추구했습니다. 그리고 그는 관점을 바꾸는 인간의 능력을 사용했습니다. 그는 프톨레미 천문학의 지구 중심 관점에서 태양 중심 관점으로 이동했습니다. 뉴턴의 제3법칙이 몸 A와 동일시하는 관점에서 몸 B와 동일시하는 관점으로 이동했다는 점을 기억하십시오. 기독교인의 세계관은 이 능력의 근원을 궁극적으로 삼위일체의 삼위의 "관점들"의 다양성에서 찾습니다. 삼위일체 안의 통일성 속의 다양성으로 말미암아 우리는 창조 세계 안의 형상화로서 통일성 속의 다양성의 예들을 기대하게 됩니다. 우리는 하나의 일관성 있는 세상 곧 우주의 통일성을 즐깁니다. 그와 동시에 그 세계를 많은 관점으로부터 바라보는 능력을 즐깁니다. 그리고 그 관점들 중 *하나 이상*은 참고가 될지도 모릅니다.

많은 지성들은 현상 유지를 위해 코페르니쿠스를 반대했습니다. 다른 관점들을 생각하는 기독교 원리를 더 잘 이해하지 못한 것은 유감스럽습니다. 그랬더라면 개방이 더 확대되었을 것입니다. 그리고 단지 아리스토텔레스와 같은 과거 권위자들에 만족하기보다는 인간이 이 세상을 이해함에 장성이 있어야 합니다는 성경의 원리를 지적했어야 했습니다.

케플러도 간결함을 찾으려고 고군분투했습니다. 코페르니쿠스의 태양 중심 체계는 여전히 일부 주전원들이 남아 있었습니다. 이 복잡함은 보기 싫고 직관에 반하는 것이었습니다. 케플러는 기쁘게도 각 행성을 하나의 타원으로 대체할 수 있다는 것을 발견했습니다. 타원은 간단하고 아름다운 기하학적 도형이었기에 성막의 주제가 제안하는 아름다움과 간결함을 다시 가르칩니다.

갈릴레오는 지상의 움직이는 물체에 대한 간단한 수학적 기술을 찾았습니다. 그는 마찰을 완전히 제거하지는 못했으나, 마찰이 최소화되었을 때 수평 운동은 일정하고 수직 운동은 일정 가속도를 가진다는 것을 발견했습니다. 이 둘은 한 시점에서의 운동과 다른 시점에서 운동 사이에 간단한 관계가 있음을 나타냅니다. 천상의 물체처럼 지상의 운동에서도 비례 관계들이 있습니다.

뉴턴의 법칙들에서 아름다움과 비례 관계

뉴턴은 자기 이전의 발전들을 하나의 일관성 있는 그림으로 합칠 수 있었는데, 그것 자체가 비례 관계를 포함한 정밀함, 아름다움, 간결함을 가집니다. 운동의 제2법칙은 운동의 변화(우리는 가속도라 부른다)는 힘에 비례한다고 합니다. 비례 상수가 그 대상물의 "질량"입니다. 현대 개념으로 뉴턴의 제2법칙은 다음과 같이 표현됩니다.

$F = ma$

여기서 F는 힘, m은 질량, a는 가속도를 말합니다. 초보 물리학자는 무게라는 일반적인 경험으로 질량을 이해합니다. 손에 든 물체들에 대해 상대적으로 무거움과 가벼움을 느낍니다. 뉴턴은 어려운 일반화에 대한 시작점을 암묵적으로 인간 경험에 의존합니다. 그리고 그는 힘(F)과 가속도(a) 사이의 간단한 비례 관계를 가정하여 $F = ma$라고 말합니다.

운동의 변화와 힘 사이의 비례 관계는 사람들이 추측할 수 있는 관계 중 확실히 가장 단순한 것입니다. 하나님은 자비로우셔서 간단히 이해할 수 있고, 그 간결함에서 아름다운 법칙을 세우셨습니다. 더욱이 비례 관계는 유사성의 간단한 형태이며, 그리고 결국 유사성은 형상화의 형태와 밀접하게 관련됩니다. 우리가 말하는 가속도 a는 힘 F의 일종의 "형상"입니다.

사실, 비례 관계의 다른 형태는 뉴턴의 법칙 안에서 가속도를 나타내는 "a"라는 용어에 숨어 있습니다. 제2법칙에서 뉴턴은 "운동의 변화"에 관해 말합니다. 후대의 단어로 우리는 "속도의 변경" 혹은 "속도에서 변화" 혹은 "가속도"로 말합니다. 속도는 단위 시간당 위치의 변화입니다. 그것은 우리가 앞장에서 보았듯이 위치와 시간 사이의 비례 관계를 표현합니다. 단위 시간당 속도의 변화를 의미하는 가속도는 속도와 시간 사이의 비례 관계와 관련되어 있습니다. 그러므로 두 개의 현저한 비례 관계들이 뉴턴의 제2법칙에 "a"로 표시되는 가속도의 개념 안에 들어 있습니다.

사실, 우리가 가속도를 더 자세히 살펴보면 문제들은 더 복잡해집니다. 이륙하기 위해 활주로를 달려 가속하는 비행기를 생각해 봅시다. 비행기는 일정한 속도로 달리지 않습니다. 그래서 우리는 간단히 거리와 시간을 직접 비교함으로 속도를 측정할 수 없습니다. 1초 후의 거리 측정을 가정해 봅시다. 우리는 비행기가 1피트 이동했다는 것을 발견합니다. 2초 후에 4 피트를 움직였습니다. 3초 후에는 9피트 이동했습니다. 이를 표로 만들었습니다.

시간	1초.	2초.	3초.	4초.	5초.
거리	1피트.	4피트.	9피트.	16피트.	25피트.

우리는 여전히 시간과 거리의 관계를 볼 수 있습니다. 이동 거리(피트 단위)는 시간(초 단위)의 제곱입니다. 4초 후 거리는 $4 \times 4 = 16$피트입니다. 이 관계는 우리가 앞에서 보았던 간단한 비례보다 더 복잡합니다. 3초 후 비행기가 얼마나 빨리 가는지 바로 정확하게 말할 수 있는 방법은 없습니다. 2초와 3초 사이 이동한 거리를 보면 $9 - 4 = 5$피트입니다. 이로부터 속력이 약 5피트/초 정도라는 것을 짐작합니다. 그리고 3초와 4초 사이의 이동 거리를 보면 $16 - 9 = 7$피트인데, 이로부터 7피트/초라는 속력을 추정할 수 있습니다. 그러나 이 둘은 다 어림잡아 짐작한 값

입니다. 비행기의 가속 때문에 사실 속력은 일정하게 변하고 있습니다. 5피트/초의 추정치는 정확하게 맞지 않는데, 그 이유는 2초와 3초의 시간 간격의 초기에는 5피트/초보다 느리게 움직이고 간격의 끝에는 5피트/초보다 어느 정도 더 빠르게 이동합니다. 5피트/초의 추정치는 단지 2초와 3초 사이 시간 간격의 평균값입니다.

이 문제를 해결하기 위해 뉴턴은 평균 속도 대신 "순간" 속도를 계산하기 위한 수학적 기법인 미적분학을 고안했습니다.(주6) 미적분학은 평균 속도의 직관적 생각과 함께 시작합니다. 우리가 추청치를 만든 그 시간 간격을 더 좁힙니다. 그리고 그다음 시간이 무한으로("무한소(無限小)로") 짧아질 때 추정치가 어떻게 변하는지 대수학적 처리를 사용하여 계산합니다. 뉴턴은 코페르니쿠스, 케플러, 갈릴레오의 업적뿐 아니라, 기하학(공간의 분석)과 대수학(수의 분석) 사이의 강력한 연관성 혹은 유사성을 수립한 데카르트와 페르마의 해석 기하학에 기반을 두었습니다. 뉴턴은 공간의 물리적 현상을 수로 묘사하는 과정에서 해석 기하학을 사용했습니다.

하나님이 준비하신 징검다리 돌들

코페르니쿠스, 케플러, 갈릴레오, 그리고 데카르트는 뉴턴의 결과들을 위한 징검다리 돌들을 제공했습니다. 그러나 어떤 의미에서는 물리적 현상 그 자체가 이 징검다리 돌들을 제공했습니다. 짧은 시간 동안 하나의 천체는 대략 일정한 속력으로 직선으로 움직였습니다. 이 일정 속력이 사람으로 하여금 거리와 시간 사이의 비례 관계를 알게끔 합니다. 그러나 더 정밀한 연구는 그 비례 관계가 항상 정확하지 않다는 것을 보여 주었습니다,

편평한 땅 위를 달리는 운동선수나 구르는 공의 속력처럼 지상에서 어떤 운동들 역시 대략 일정한 속력을 보였습니다. 그러나 다른 상황에서는 그 속력이 시간에 따라 변했습니다. 그래서 그때 속도의 변화(가속도)를 연구하는 것은 자연스러웠습니다. 갈릴레오는 낙하하는 물체의 가속도는 대략 일정하다는 것을 발견했습니다. 그러나 이 결과는 정확하지 않았는데, 그 이유는 공기의 저항과 중력이 고도에 따라 약간 다르기 때문입니다. 일정한 비례 관계에 대한 근사치는 규칙성의 가망을 지속시켰습니다. 동시에 불변성의 편차는 더 많은 연구를 불러 일으켰습니다.

더욱이 시간에 대한 속도의 변화는 평균 속도가 단지 근사치임을 암시했습니다. 이 정확성의 부족으로 인하여 뉴턴은 순간 속도를 계산하는 어떤 방법을 찾게 되었고 그 결과 미적분학이 발명되었습니다.

아름다움과 간결함

뉴턴은 두 가지 더 중요한 것들로 물리 이론에 기여했습니다. 첫째로, 그는 중력의 특별한 역할을 가정했습니다(뉴턴의 만유인력의 법칙). 중력은 천체들의 실제적인 운동을 상세히 설명하기 위해서 알아야만 합니다. 지구의 질량이 M, 달의 질량이 m, 그리고 둘 사이 거리를 r이라고 가정

합시다. 뉴턴은 중력 F가 다음의 방정식으로 제시된다고 가정했습니다.

$$F = GMm/r^2$$

힘 F는 M에 비례하고, 또 m에도 비례하고, 그리고 거리 r의 제곱에 반비례합니다. 비례 상수 G를 "중력 상수(만유인력 상수)"라 부르는데, 처음에는 미지수로 실험적으로 측정되어야 합니다. 중요한 것은 그것이 모든 중력을 가지는 물체에서 동일하다는 것입니다(미터 단위로 G = 6.673 x 10-11 m3/kg-sec2). 뉴턴은 또 두 천체를 연결하는 선상(지구의 중심과 달의 중심을 연결하는 경우처럼)으로 작용하는 힘을 규명했습니다.

다시 우리는 공식에서 간단한 비례 관계를 살펴봅니다. 힘 F는 지구 질량 M과 비례하고, 달의 잘량 m과 비례하며, r x r, 즉 지구와 달의 거리의 제곱에 반비례합니다. 특히 힘 F가 m에 비례한다는 것이 중요한데, 중력 때문에 질량 m의 가속도는 질량에 무관하기 때문입니다. 그러므로 자갈과 볼링공을 높은 건물에서 떨어뜨리면 거의 동시에 땅에 떨어집니다. 이것이 일찍이 갈릴레오가 물체의 낙하 실험에서 발견한 것입니다.

중력의 어떤 특징들은 실험적 증거와 분리하여 추측할 수 없습니다. 왜 r이 분자가 아닌 분모에 들어 있는가? 왜 간단히 r이 아니고 r^2인가? 천문학자들은 이미 태양으로부터 먼 행성이 가까운 행성보다 태양 주위를 공전하는 데 더 긴 시간이 걸린다는 것을 알았습니다. 뉴턴에게는 이것이 힘이 거리에 무관하거나 증가하는 것이 아니라 거리에 따라 줄어든다는 것을 의미했습니다. 뉴턴은 또 케플러의 법칙들, 즉 행성들이 태양 주위를 타원궤도로 돈다는 것, 태양이 타원의 한 초점에 있다는 것, 행성이 태양 주위를 공전할 때 동일한 시간에 동일한 면적을 쓸고 지나간다는 것을 알았습니다. 이 법칙들이 다른 어떤 것도 아닌 이 r^2을 가진 힘의 법칙으로부터 유도될 수 있었습니다.

뉴턴은 케플러의 법칙들의 간결함과 아름다움에 기초하여 하나의 간결하고 아름다운 법칙을 밝혀냈습니다. 동시에 그는 케플러의 법칙들이 근사치일 뿐이라는 것을 알아냈습니다. 단 하나의 행성이라면 태양 주위를 타원 궤도로 돌 것입니다.(주7) 그러나 다른 행성들이 존재할 때는 그들이 중력을 그 행성에 미칩니다. 그러면 그 행성의 궤도는 타원이 아니고 어떤 간단한 기하학에 해당하지 않는 복잡한 형태가 됩니다. 다행히 태양의 질량이 태양계의 다른 모든 질량들보다 워낙 커서 다른 행성들의 영향을 무시해도 합리적인 근사치를 주어서 케플러는 간단한 타원의 형태를 인식할 수 있었습니다.

두 번째 통찰력은 뉴턴의 공식들에 더 함축적으로 들어 있습니다. 뉴턴은 서로 다른 힘들은 합해질 수 있다고 가정했습니다.(주8) 예를 들어 달의 전체 힘은 지구의 인력과 태양의 인력과 작지만 다른 행성들의 인력의 힘들을 더한 것입니다. 그것은 힘들이 서로 독립적이라고 말하는 것

과 비슷합니다. 달에 미치는 지구의 힘은 어떤 값의 가속도를 일으키고, 태양의 힘이 이 가속도와 무관한 추가적인 가속도를 일으킵니다. 갈릴레오는 일찍이 수평 방향으로 움직이는 물체의 운동은 수직 방향으로 움직이는 물체의 운동과 상대적으로 무관한 것 같다는 것을 관찰했습니다. 뉴턴은 이 원리를 일반화했고, 그래서 그것을 지상과 천체의 모든 물체에, 3차원 모든 방향으로 적용했습니다.

초보 과학자들은 바위들, 공들, 인간들은 완전하면서 서로 "상대적으로" 독립성을 가지고 창조되었다는, 소박하고 직관적인 이해에서 시작합니다. 독립성에 관한 이런 느낌은 유사성에 의해 물리적 힘들에 관한 추론으로 확장됩니다. 그래서 독립된 힘들은 서로 합해진다고 가정하는 것이 자연스러워 보입니다. 더욱이 이런 (힘의) 덧셈의 과정은 두 사람이 함께 한 사람을 같은 방향으로 밀 때 더 강한 힘을 경험하는 것과, 서로 반대 방향으로 밀 때는 한 힘에서 다른 힘을 뺀 만큼 경험하는 것에 해당합니다.

사실 뉴턴은 더 간단한 중력의 결과들을 이해하기 위해 힘들의 덧셈 원리가 필요했습니다. 원리적으로 지구상의 모든 물체는 달 위의 모든 물체를 당깁니다. 지구와 달은 단순한 수학적 점들이 아니고, 거대한 물체들의 집합입니다. 중력 공식에서 거리 r은 지구와 달 위의 물체마다 다 다릅니다. 다행히도 일정한 밀도를 가진 구형의 질량체는 마치 모든 질량이 중심 한 점에 위치한 것과 같은 중력을 작용합니다. 그래서 우리는 대체로 행성들을 점으로 취급할 수 있습니다.(주9) 여기서 우리는 세상에 대한 하나님의 통치가 우리에게 제공하는 또 다른 간결함을 봅니다.

따라서 뉴턴의 체계는 몇 가지 요소들을 포함했습니다. (1) 뉴턴의 세 법칙들은 힘, 질량, 가속도 사이의 일반적 관계들을 기술했습니다. (2) 뉴턴의 중력의 법칙(만유인력의 법칙)은 두 물체 사이의 중력을 구체화했습니다. (3) 뉴턴은 서로 다른 힘들은 합해질 수 있고, 대각선 방향의 힘은 두 수직 성분으로 분리될 수 있다고 가정했습니다. 이런 기초들을 가지고 뉴턴은 다른 종류의 힘들에까지 적용할 수 있는 하나의 체계를 제공했습니다. 다른 종류의 힘들의 예로는 기체의 압력의 힘, 액체의 점도의 힘, 고체의 인장의 힘, 그리고 전기와 자기의 힘들이 있습니다.

뉴턴의 체계에는 또한 물리적 상황과 수학적 표현 사이를 어떻게 이해할 것인가에 대한 생각들이 포함되어 있었습니다. 그는 물리적 상황에서 힘과 운동들을 나타내는 수학적 모델들을 사용했습니다. 수학적 표현을 위한 세 가지 원리들이 선정될 수 있을 것입니다.

첫째, 미적분학 발명을 통해 뉴턴은 위치와 시간, 운동과 시간, 혹은 다른 다양한 물리량들 사이의 비례 관계를 나타내는 일반적 방법을 제공했습니다. 미적분학은 시간에 따라 변하는 상황에서조차 순간적인 비례 관계를 계산할 수 있도록 했습니다. 현대 미적분학에서는 시간 t에 따른 거리 s의 순간적 변화율을 ds/dt로 표시합니다(혹은 시간 외 다른 물리량에 의존할 때는 ∂s/∂t로 표현 〈"라운드 디"〉). 비례 관계를 전면에 드러내기 위해 나는 임시로 일반적이지 않는 표기인 s:t(s colon t)를 사용하겠습니다. "s:t"는 미적분에서 일반적으로 사용하는 *ds/dt*나 *∂s/∂t*를 줄인 표기입니다. s:t는 거리 s는 시간 t에 비례한다는 의미입니다. 그러나 이 문맥에서 이 표기는 순

간적 비례 관계를 나타냅니다. 이것이 속도를 정의하는 현대 물리학적 방법인데, 속도 v는 거리 s와 시간 t 사이의 순간적인 비례 관계인 v = s:t로 나타내게 됩니다. 거리 s가 복잡하게 변한다면, 속도 v 자체도 점차적으로 변할 것이고, 그러면 v의 변화율을 생각할 수 있게 되어 우리는 둘째 비례 관계인 v:t, 즉 시간에 따른 순간적 속도 변화를 생각하게 됩니다. 그것이 가속도를 의미합니다. 가속도는 간단히 s:t:t로 표시될 수 있습니다. 이 표기는 각 비례 관계에 주의를 돌리게 합니다. 각 콜론 기호(:)는 별개의 비례를 나타냅니다. 이 표시로 인하여 우리는 비례 관계의 아이디어에 대한 미적분학의 관계를 생각하게 됩니다. 그리고 우리가 본 대로 비례 관계의 아이디어는 성막의 비례들을 반영하고, 이것들은 하나님 자신에 근원을 가지는 형상화(imaging) 과정을 반영합니다. 하나님께서는 뉴턴이 힘과 운동을 기술하는 데 사용한 수학 안에 자신에 대한 한 증인을 남겼습니다!

둘째, 힘의 덧셈 원리는 다양한 원천들로부터 기여하는 것들을 합하는 상대적으로 간단한 수학식들로 이어집니다. 이 덧셈의 원리는 다양한 창조물들이 서로 상대적으로 독립적이라는 직감으로 돌아갑니다. 그리고 이 피조물들의 다양성의 원리 이면에는 하나님 안의 전형(the archetype)이 있습니다. 즉 하나님 자신 안에는 통일성(unity)과 다양성이 있습니다. 그는 통일성으로는 한 분 하나님이시고, 다양성으로는 삼위이십니다.

셋째, 중력처럼 대부분 다른 일반적 힘들도 간단한 비례 관계들에 관련되어 있다는 것을 발견하는데, 수학적으로 곱셈을 가지고 표현합니다. 이 간단한 비례 관계들은 궁극적으로 삼위일체 내의 형상화 관계로 돌아갑니다. 형상화는 비례 관계들이 복사본인 바 그 원본입니다.

다양한 물리 체계를 위한 수학적 모델들

동시에 그 세 원리들은 많은 일반적 물리 체계들을 분석하는 수학적 방법 혹은 모델들을 만드는 뼈대를 제공합니다.

예를 들어, 현(줄)의 진동을 생각해 봅시다. 현이 수평으로 뻗어 있고 현을 따라 있는 위치들을 숫자 x로 측정한다고 가정해 봅시다. x는 현의 한쪽 끝으로부터 우리가 공부하고 있는 현의 위치까지 거리입니다. 그 끝에서부터 x 거리의 한 지점에 현의 수직 위치를 h라고 합시다. 시간에 따른 현의 진동은 다음과 같은 식이 됩니다.

k h:x:x = m h:t:t(주10)

여기서 k는 현에서 장력을 나타내는 상수이고, h:x:x는 x 점에서 현의 곡률입니다.(주11) m은 현의 단위 길이당 질량 밀도이고, h:t:t는 가속도입니다. 이 식은 곡률 h:x:x와 가속도 h:t:t 사이의 간단한 비례 관계를 보여줍니다. 이는 뉴턴의 제2법칙인 F = ma의 응용입니다. 왼쪽의

k h:x:x는 (현의 단위 길이당) 힘을, 오른쪽은 질량 x 가속도를 나타냅니다.(주12) 여기에 더해서 각 콜론(:) 역시 비례 관계를 보여 줍니다.

현 대신 2차원으로 전달되는 물결파를 생각할 수 있습니다. 수영장에서 물을 관찰한다고 가정해 봅시다. 물의 표면에 따라 수직인 두 방향에 있는 거리들을 x 와 y로 측정해 봅시다. 어떤 한 점에서 물의 높이를 h라 합시다. 물의 파동의 움직임은 다음과 같은 식이 됩니다.

h:x:x + h:y:y = k h:t:t

k는 비례 상수인데 $1/v^2$으로 표시되고 v는 파동의 속도입니다. 여기서 다시 우리는 비례 관계를 사용한 간단하고 명료한 식이 물의 움직임을 기술하는 것을 발견합니다.

3차원의 공기를 통해 전달되는 소리의 파동에 대해 3차원 공간에서 유사한 식을 있습니다. 이 3차원은 세 개로 측정된 거리인 x, y, z로 표시됩니다. x는 똑바로 나아가는 것을 측정하고, y는 옆으로 나아가는 것을, z는 위로 향하는 것을 측정한다고 합시다. 그 결과 소리 파동의 식은 다음과 같습니다.

h:x:x + h:y:y + h:z:z = k h:t:t

여기서 h는 어떤 한 점에서 공기의 압력을 나타냅니다.

혹은 우리는 점도가 관계한 움직임(당밀시럽 속에서의 운동과 같은)을 고려할 수 있습니다. 뉴턴의 법칙은 여전히 유체 내에 적용할 수 있고 그 식은 다음과 같습니다.

−p:x + k (u:x:x + u:y:y + u:z:z) = m (u:t + u u:x + v u:y + w u:z)(주13)

이 식의 왼쪽은 힘을 계산하고 오른쪽은 질량 x 가속도를 계산합니다. 복잡해 보임에도 불구하고 이 공식은 정말로 F = ma의 일례입니다. −p:x는 압력 p의 변화에 따른 힘입니다. k가 포함된 표현, “k (u:x:x + u:y:y + u:z:z)” 는 점성 때문에 생기는 힘입니다. k는 점도를 나타내는 비례 상수입니다. 이 두 힘이 유체에 부과되는 전체 힘을 나타냅니다. 이식의 오른쪽 m은 단위 부피당 질량을 나타내고 u:t는 고정된 한 점에서 속도의 변화 때문에 생기는 가속도입니다. 나머지 항목들은 유체속의 부피 요소가 새로운 위치로 움직이면서 속도의 변화 때문에 생기는 가속도입니다.

우리는 이 식에서 힘들을 계산하는데, 힘의 덧셈과 간단한 비례 관계를 반복적으로 사용하는 것을 볼 수 있습니다. 실제로 위의 식은 힘과 가속도를 x 방향으로만 계산합니다. y방향과 z방향

을 계산하는 다른 두 식이 있습니다. 그러나 다른 두 식들은 어떻게 축들을 선택하는가 하는 문제이기에 본질적으로 동일합니다.

물리학자들이 뉴턴의 법칙들을 많은 상황에 적용함에 따라 기본 물리 법칙들은 어느 방향에서든 "동일해 보여야" 한다는 것이 좀 더 분명해졌습니다. 어떤 방향도 특별히 취급하기 위하여 선정된 것이 전혀 없었습니다. 이 원리는 다중 관점들의 사고를 이용합니다. 한 관점은 앞 정면(x 축)을 보고, 다른 관점은 옆쪽(y 축)을 봅니다. 세 번째 관점은 위쪽(z 축)을 봅니다. 기본 법칙들은 어느 방향에서든 동일하게 보여야 합니다. 우리는 세 좌표축에 대해 어떤 방향이든 말할 수 있도록 이 관점들로부터 일반화할 수 있습니다. 법칙들은 공간에서 임의로 회전해도 동일하게 보여야 합니다. 물리학자들은 그 법칙들이 회전하에서 불변이라고 말할 것입니다.

우리는 진리, 즉 하나님의 말씀은 우리의 개인적 관점을 바꾸어도 여전히 진리이라고 말함으로써 위의 원리를 성경의 카테고리와 연결할 수 있습니다. 물리 법칙들은 다양한 측면에서 하나님의 속성을 반영하고 있습니다. 먼저 하나님의 무소부재와 영원하심이 하나님의 법칙에 나타나 있는데, 그 법칙이 위치와 시간의 변화 속에서도 불변이라는 사실에서 그렇습니다. 그러나 게다가 삼위일체의 삼위의 차이는 개인의 관점의 차이의 가능성을 성립시킵니다. 이는 결국 지상에 반영되어 특정한 방향들을 가진 형태로 나타납니다. 그리고 그 법칙은 개인의 관점의 이런 변화들하에서 불변입니다.

고대 세계의 관점에서 보면 이 결과는 놀랍습니다. 고대 그리스의 물리적 세계에 대한 생각은 땅을 특별한 장소로 여겨 지상으로 떨어지는 방향을 특별한 방향으로 간주했습니다. 성경 자체도 이 직관을 승인하는 것처럼 보이는데, 그 이유는 성경의 사건들이 지상의 보통 사람들의 관점에서 기록되었기 때문입니다. 뉴턴 과학으로, 혹은 코페르니쿠스 과학으로 이동하기 위해서는 다양한 관점의 가능성을 붙잡아야 하고, 그리고 측정 시작점의 다른 선택들 사이를 구별해야 합니다. 또한 보통 사람들의 전반적인 태도와 과학적 탐구의 태도를 구분해야 합니다.

회전 변이하에서 물리 법칙들의 불변성을 강조하기 위해 물리학은 "벡터 표기"로 부르는 수학적 장치를 사용합니다. 벡터 표기는 어느 한 특별한 좌표 체계를 언급함이 없이도 공간에서 물리적 혹은 수학적 관계들을 기술할 방법을 제시합니다. 공간에서 x 방향, y 방향, z 방향으로의 운동을 위한 세 개의 독립적인 식 대신, 세 방향 모두를 나타내면서 세 축의 방향의 선택과는 무관한 하나의 식을 씁니다. 3차원 파동 방정식은 다음과 같습니다.

$$\nabla \bullet \nabla h = h{:}t{:}t$$

"기울기(gradiant, 그래디안트)" 연산자 ∇(델)이 h에 작용할 때 h가 최고의 속도(rate)에서 증가하는 방향을 찾고 그 크기는 그 증가의 크기입니다. (이 과정은 간단한 비례 관계, 즉 h에서의 변화와 공간

위치에서 변화의 비례 관계를 봅니다.)(주14) 그러므로 위의 공식은 우리의 관측의 참조 축으로서 x, y, z축의 특별한 선택과 무관합니다.

유체의 운동 방정식은 다음과 같이 고쳐 쓸 수 있습니다.

− ∇p + k [∇•∇u] = m [u:t + (u•∇) u](주15)

고등 수학의 배경이 없는 사람에게는 이 식은 아주 어렵게 보일 수 있는데, 그 이유는 "▽" 기호 때문입니다. 그러나 실제로 그것은 다음 각각과 관련된 식들의 체계가 됩니다. (1) 간단한 덧셈들(힘의 덧셈의 생각으로 돌아감), (2) 간단한 곱셈들(힘과 다른 수량들 사이의 비례 관계의 생각으로 돌아감), (3) 순간적인 비례 관계를 계산함(어떻게 시간에 따라 변화하는 비례 관계를 붙잡을까 하는 뉴턴의 생각으로 돌아감). 위의 식의 각각의 비례 관계는 모세의 성막 안의 비례 관계와 유사성이 있습니다. 그리고 이것들은 결국 성부의 형상(image)이신 성자와 유사성이 있습니다. 물리학의 법칙들은 하나님 안의 아름다움과 조화가 드러납니다.

벡터 개념의 사용은 물리 법칙들의 불변성을 강조하는 오직 하나의 방법입니다. 뉴턴 이후 한 세기는 또한 "일반 좌표계"가 도입된 것을 보았습니다. 한 예로 회전하는 천장 선풍기를 생각해 봅시다. 선풍기 날개 중 하나에 표시한 분필 자국의 위치를 어떻게 나타낼 것인가? 모든 것이 회전하는 축인 선풍기 중심점에 달려 있습니다. 이 같은 경우 그 위치를 3차원의 x, y, z 체계로 표시하는 대신, 중심축을 기준으로 위치를 정할 수 있습니다. 이런 위치 설정이 간단하면서 회전하는 물체를 나타내는 새로는 물리적 시각을 제공할 것입니다. 이런 목적으로 세 좌표를 사용하는데, "반지름"에 대한 r, 즉 축으로부터 거리를 나타내고, 축으로부터 회전한 각도 q(그리스어 θ), 축으로부터 평행한 거리 z (천장 선풍기로부터 위아래 거리)입니다. 이를 "원통 좌표계"라 부른다. x, y, z 좌표계 대신 r, q, z 좌표계로 뉴턴의 법칙을 다시 쓸 수 있습니다. 혹은 이와 다른 또 다른 좌표계를 사용할 수 있습니다.

조세프-루이 라그랑주는 그런 많은 체계 중에서 뉴턴의 법칙들을 간단히 기술할 한 방법을 찾았습니다. x, y, z 대신 q, r, s 좌표계를 가정해 봅시다. (이것들이 원래의 x, y, z 체계에 비해 간단할 수도 있고 복잡할 수도 있음) 또한 한 개 이상의 물체를 가정하여 두 번째 물체에 대해서는 추가적인 t, u, v 좌표계를 생각합니다. 총 10개의 물체에 대해서는 30개의 좌표를 가질 것입니다. 라그랑주는 임의의 다수의 좌표계를 가지는 아주 일반적인 체계를 생각했습니다. 많은 체계에 대하여 L("라그랑지안")이 운동 에너지와 포텐셜 에너지(위치 에너지)의 차이라면 뉴턴의 F = ma 식은 일반 좌표계 q에 대해 다음과 같다.

L:q = (L:(q:t)):t (주16. 실제 수학적 표현 ∂L/∂q = (d/dt)[∂L/∂(dq/dt)])

이 공식은 명료하게 간결함을 보이고, 게다가 많은 물리적 문제들에 대해 훨씬 더 쉬운 해답을 주는 수학적 변환을 제공합니다. 마찬가지로 콜론 부호(:)는 분명한 비례 관계를 나타냅니다.

관점의 변화하에서 불변이라는 아이디어는 수학적인 "관점"이 변할 때, 즉 물리적 실제를 설명하고 분석하는 데 사용하는 기본 물리량들을 변화시킬 때, 수학적으로 불변의 식들로 변환합니다. 우리의 관점과 무관하게 물리 법칙은 존재합니다. 우리는 또한 물리 법칙들이 "대칭성(symmetry)"을 보인다고 말할 수 있습니다. 마치 빌딩을 회전시켜도 그 대칭 기둥이 동일한 것처럼, 물리 법칙들은 수학적 변환을 하여도 동일한 형태를 가집니다. 대칭성은 아름다움과 밀접한 관련이 있습니다. 예를 들어, 성막의 지성소가 세 방향으로 모두 10규빗이라는 사실에서 우리는 성막의 아름다움을 볼 수 있습니다. 10규빗의 길이, 10규빗의 너비, 10규빗의 높이는 어느 방향으로 바꾸어도 동일한 모양을 가집니다.

대칭성과 불변성은 20세기 물리학의 중심 역할을 해 왔습니다. 물리학자들은 그들이 더 깊고 더 완전한 법칙들을 찾을 때 대칭성의 가정을 다시금 다시금 사용했습니다. 좌표계의 변화하에서 변하지 않는 불변성 때문에 라그랑주 공식과 그와 관련된 윌리암 해밀톤의 공식은 고전 물리학에서 양자 역학으로 전환하는 단서들로 쓰였습니다. 우리는 20세기 놀라운 발전들의 기술적 깊이 속으로 들어가지 않고는 대칭성과 불변성의 역할을 충분히 알 수 없습니다. 우리는 아인슈타인의 상대성 이론의 발전을 살펴봄으로써 처음으로 경험해 보는 것으로 만족합시다.

대칭성과 불변성 연구로서 아인슈타인 이론

개념적으로 상대성 이론은 대칭성과 불변성의 설명에서 출발했습니다. 물리학이 처음 발전하는 단계에서 이미 기본 물리 법칙들은 회전하에서 그리고 시작 위치의 어떤 선택하에서도 불변이라는 것을 알아냈습니다(수학자들은 이동을 해도 불변이라고 말할 것입니다). 그들은 일정한 속도로 움직여도 불변으로 보였습니다. 여러분이 기차나 비행기 안에서 자다가 일어났다고 가정해 봅시다. 창문 밖을 내다보지 않는 한, 그리고 운전 중 턱이 없고 갑자기 움직이는 것이 없으면 자신이 움직이는지, 지상에 대해 얼마나 빨리 움직이는지 말할 수 없습니다. 얼마나 빨리 움직이느냐 하는 것과 상관없이 비행기 안에서는 물리학의 법칙들이 동일합니다.

뉴턴의 법칙들은 이미 이런 점에서 불변의 형태를 가지고 있습니다. 그들은 속도가 아닌 가속도에 의존하고 있습니다. 다른 한편으로 파동 운동이나 유체 운동의 법칙들은 속도에 의존하는데, 그것은 단지 모든 것이 파동이 진행하는 현이나 유체에 관련하여 일어나기 때문에 그렇습니다. 현이나 유체가 그 자체로 움직인다면 그것은 고려되어야만 합니다.

아인슈타인에게는 이런 앞선 발전의 혜택이 있었습니다. 특히 전기와 자기의 확장된 연구는 맥스웰의 방정식들로 귀결되었습니다. 이 식들은 회전에 대해 불변함을 보이는 벡터 형태로 쓰였습니다. 그러나 그것들은 속력의 변화에 대해 불변은 아니었습니다. 측정계의 속도에 의존하여

빛의 속력이 변해야만 했습니다. 그러나 실험적 측정 결과 진공에서 빛의 속력은 항상 동일한 것처럼 보였습니다.

아인슈타인은 빛의 속력은 항상 동일하다는 급진적인 가정을 하였으나 기차 위의 측정과 땅 위의 측정의 관련성에 대한 기본적인 가정들은 재조사할 필요가 있었습니다. 아인슈타인은 기본적인 물리 법칙들은 불변이라는 것을 확신했지만 길이와 시간의 측정값들이 사람의 관점(그 사람의 "관성계")에 따라 약간 다르다는 것을 보여 주었습니다.

기차 위의 관찰자가 손에 미터자를 가지고 있고, 기차역 플랫폼에 있는 다른 관찰자도 다른 미터자를 가지고 있다고 가정해 봅시다. 기차역의 관찰자는 1m 길이보다 더 짧은 기차 위의 미터자를 측정할 것입니다. 움직이는 물체는 수축하는 것으로 보입니다.

이 결과는 처음 보면 대단히 역설적으로 보입니다. 그러나 이는 다른 위치에 있는 다른 두 사건이 동시에 일어난다는 것을 설정할 어떤 동일한 방법도 없다는 사실과 밀접한 관계가 있습니다. 그리고 다른 두 시스템에서 시간의 측정도 다릅니다. 기차역의 관찰자는 기차 위의 시계가 느리게 가는 것으로 봅니다. 그럼에도 불구하고 단일 관찰자의 관점으로 완전히 기술한다면 그것들은 완전히 일관성이 있고 일반 물리 법칙과도 조화를 이룹니다.

두 관찰자 사이의 차이는 결코 알기 어려운데 그 이유는 일상 속력에서 그 차이는 너무 미미하기 때문입니다. 비행기가 600마일/h 혹은 1000km/h로 날아간다면 길이의 차이는 약 2조(2×10^{12})분의 1에 해당합니다. 그것은 측정 불가능한 수치입니다. 속력이 빛의 속력(3×10^{8} m/s, 3억 m/s!)에 접근할 때에야 그 차이는 중요해집니다. (이 속력으로 우리는 1초에 지구를 7번 돌 수 있습니다!)

여태까지 우리는 1905년 아인슈타인이 발표한 그의 특수 상대성 이론을 살펴보았습니다. 1916년 아인슈타인은 일반 상대성 이론을 발표하는데, 이를 통해 그는 한 걸음 더 나아갈 수 있었습니다. 그는 라그랑주와 비슷하게 일반 좌표계의 수학적 기법을 사용했습니다. 그리고 그는 기본 중력의 법칙은 낙하하는 엘리베이터와 같은 가속 시스템에서조차 불변이어야 한다는 요구를 따랐습니다. 그는 기차 바깥을 내다보기 전에는 기차가 움직이는지 말할 수 없는 것처럼, 바깥을 내다보기 전에는 가속되고 있는지 혹은 중력장의 영향을 받는지 말할 수 없다는 관찰에 동기를 부여받았다. 요약하면 그는 중력과 가속도 둘 다 포용하는 일반식들에 도달하기 위해 둘 사이의 불변성을 가정하였습니다. 일반 상대성 이론의 식들을 자세히 알려면 상당한 수학적 훈련이 필요합니다. 그러나 그것들은 단순한 덧셈들, 곱의 상수들, 뉴턴이 미적분학의 개발에서 사용한 비례 관계들로 이루어져 있습니다.

20세기 양자 역학의 개발은 대칭성의 원리들과 기본 법칙들을 표현하고자 하는 간결하고 아름다운 수학 탐색에 비슷하게 의존하는 것을 보여 줍니다. 우리는 지금 풍부한 예들을 가지고 있으나 그건 나중에 다루어도 될 것입니다.

상대성 이론과 양자 이론의 놀라운 과학적 승리를 조사한 물리학자 유진 위그너는 아름다운

수학과 실제 물리학적 과정들 사이의 조화에 놀라움을 표현합니다.

> 우선 자연 과학들에서 수학의 엄청난 유용성은 신비에 가깝고 어떤 합리적 설명도 없다는 것입니다……
> "자연의 법칙들"이 존재한다는 것은 결코 자연스럽지 않고, 인간이 그것들을 발견할 수 있다는 것은 더욱 아닙니다.

우리 역시 놀라움을 표현해야 하지만, 그와 함께 하나님께 감사해야 합니다. 기독교인들은 누가 우리에게 자연의 법칙들을 주셨는지 압니다. 삼위일체의 제2위이신 말씀(The Word)이 자연에 관한 말씀들과 법칙들에서 자신을 나타내십니다. 그것들은 그분의 위격의 흔적을 지니고 있어서 놀라운 지혜, 능력, 아름다움을 계시합니다. 물리 법칙들에서 간결한 비례 관계들은 모세의 성막의 비례 관계들처럼 "형상화(imaging)"의 한 형태입니다. 하나님은 자신과 자신의 아름다움과 조화의 반영으로서 세상에 이런 대칭성들과 비례 관계들을 새기셨습니다.

화학

이제 잠시 화학으로 돌아가 봅시다. 화학에서 패턴들과 법칙들은 어떻습니까? 그것들은 대칭성들과 비례 관계들을 보입니까? 원소들의 주기율표는 인상적인 패턴들 중 하나를 보여 줍니다. 긴 시간 동안 서서히 화학자들은 물질이 더 이상 분해되지 않는 수소나 산소같이 뚜렷이 구별되는 "원소들"로 이루어져 있다는 것을 발견했습니다. 약간의 원소들은 화학적 성질에서 서로 뚜렷한 유사성을 보였고 그것이 점차적으로 현재의 주기율표의 배열로 만들어졌습니다(주기율표를 보라). 원소들이 수평 열에서 원자번호 순서로 나타납니다. (원자 번호는 각 원자의 양성 자수이고 또한 그 원자가 이온화되었을 때, 즉 전자가 떨어져 나왔을 때 가질 수 있는 최대 전자 전하 값입니다.) 주기율표의 행으로 배열된 원소들은 비슷한 성질을 가집니다. 가장 오른쪽 행의 원소들은 불활성 기체(헬륨, 네온, 아르곤 등)라고 불리는데, 대체로 결합하여 복잡한 분자를 형성하지 않습니다. 가장 왼쪽 행(1 A 행)의 원소들은 알칼리 금속(리튬, 소디움(나트륨), 포타시움(칼륨) 등)이라고 불리는데, 쉽게 전자 1개를 잃고(주18), 할로겐(불소, 염소, 브롬 등)이라고 불리는 "VII A행"의 원소들은 쉽게 전자 한 개를 더 받아들입니다. 이 두 행들(I A와 VII A)의 원소들은 서로 결합하여 염(salt)을 형성합니다. 식탁의 소금인 염화나트륨(NaCl)은 I A 행의 동일한 수의 소디움 원자(Na)들과 VII A 행의 동일한 수의 염소 원자들로부터 만들어집니다.

주기율표의 어느 행의 비슷한 성질은 우리가 행의 한 원소는 같은 행의 서로 다른 원소들의 형상화(imaging)라고 대략 말할 수 있다는 것을 의미합니다. 한 원소의 성질은 놀랍게도 같은 행의 어떤 다른 원소의 성질과 유사합니다. 형상화나 유사성의 등장은 생물학이나 물리학의 많은

분야에서 우리가 보아 왔던 것을 반복합니다.(주19)

화학에서 우리는 또 많은 비례 관계들이 나타나는 것을 봅니다. 주기율표는 비례 관계의 가장 중요하고 광범위한 시스템의 하나와 밀접히 관련되어 있는데, 즉 분자에서의 원소 비례 관계입니다. 19세기 화학 실험들은 점차 많은 원소들이 일정하게 고정된 비율로 결합하는 것을 보여 주었습니다. 예를 들어, 물은 H2O인데 산소 원자(O) 한 개당 수소 원자(H) 2개를 포함한다는 의미입니다. 메탄은 CH4인데 탄소 원자(C) 한 개당 수소 원자 네 개로 이루어진다는 의미입니다. 이산화탄소는 CO2인데 각 한 개의 탄소에 두 개의 산소를 포함합니다.

놀랍게도 화학자들은 각 원자들을 보지 않고도 모든 관계들을 산출하였습니다. 그들은 많은 양의 서로 다른 원소들을 조합할 때 일정한 비율이라는 기준으로 판단합니다. 오늘날 원자들에 대한 우리의 익숙함으로 인해 경이로움을 보지 못해서는 안 됩니다. 화학 반응의 현상에서 하나님은 놀라운 아름다운 관계들을 우리 앞에 펼치십니다. 또 하나님은 그것을 충분히 간결하게 만드셔서, 인내를 가지고 연구하면 화학자들은 원자 구조의 개념을 가지기 전이라도 아름다운 비례 관계를 발견할 수 있습니다.

수의 비례 관계는 또한 많은 물질들의 성질에 나타납니다. 예를 들어 이상 기체에서 압력과 부피의 공식을 봅시다.

$$PV = nkT$$

여기서 P는 압력, V는 부피, T는 절대온도 0도로부터 측정한 온도, n은 분자 수, k는 볼츠만 상수로 실험적으로 측정되어야 하지만 모든 기체에 대해 동일합니다. 이 식은 간단한 비례 관계들이 포함된 놀라운 공식입니다. 우리가 무슨 권리로 하나님의 세계가 그런 일관성과 비례 관계들의 많은 사례들을 보일 것이라고 기대하겠습니까?

이 공식에 대해 추가의 설명이 있습니다. 1738년 베르누이는 기체의 압력은 많은 개개의 분자들의 움직임 때문이라고 가정했습니다. 이 통찰력은 후대의 과학자들에 의해, 첫 원리들로부터 이상 기체 방정식을 유도하는 데 성공한 “기체의 운동 이론”으로 개발되었습니다. 이 이론은 기체들을 빠른 속도로 움직이고 종종 서로 충돌하기도 하는 무수히 많은 개개의 분자들로 이루어진 것으로 묘사했습니다. 이 분자들은 또한 때로는 기체를 담고 있는 통의 표면에 충돌하고 튕겨 나올 것입니다. 많은 수의 그런 충돌 효과는 표면에 일정한 압력이 될 것입니다. 압력 P는 명백히 분자의 수 (n)에 비례할 것이고, 부피(V)에 반비례할 것인데, 더 큰 부피에 퍼져 있는 분자들은 더 적게 충돌할 것이기 때문입니다.

분자 운동에 기초한 기체들에 대한 이런 설명은 이 공식에서 매력과 아름다움을 가지게 합니다. 공식과 그 비례 관계들은 각 분자들이 운동한다는 기본적인 실제의 “단지” 부수적인 효과

일 뿐입니다. 그렇지만 다면적인 실체를 단언하는 기독교 세계관에 대한 헌신으로 우리는 매력과 아름다움에 대한 감각을 보유해야 합니다. 하나님은 우리가 공식을 더 잘 설명하기 위한 기본적인 단계의 탐구뿐 아니라, 압력과 부피에 대한 관찰로부터 큰 규모의 만질 수 있는 효과까지 즐기기를 원하십니다. 하나님은 단지 분자 단계가 아닌 모든 단계들의 저자요 예술가이십니다.

이 이야기와 관련된 더 많은 것이 있습니다. 실제 기체는 "완전한" 기체가 전혀 아닙니다. 그러나 실제 관찰 결과는 압력이 너무 높지 않고 온도는 너무 낮지 않을 때 이 공식에 근사하게 맞았습니다. 또 우리는 우리에게 먼저 간결함, 곧 찾기 쉬운 간결함을 제시하시고, 그런 다음에 그 간결함이 사실들을 완전히 망라하지 않는다는 것을 깨닫게 해 주시는 하나님의 자비를 볼 수 있습니다. 발견되어야 할 것이 더 있습니다. 개개의 분자들의 한정된 크기와 그 분자들 사이의 사소한 인력까지 고려한 좀 더 정확한 공식은 반 데르 발스 방정식입니다.

$$(P + an^2/V^2)(V - nb) = nkT$$

여기서 a와 b는 상수들입니다. a는 분자들 사이의 작은 인력에 해당하고 b는 각 분자의 작은 크기에 해당합니다. a와 b는 둘 다 0이면 반 데르 발스 방정식은 간단하게 $PV = nkT$라는 이상기체 공식이 됩니다. 반 데르 발스 식은 초기 식보다 좀 복잡해도 여전히 덧셈, 뺄셈, 곱셈, 나눗셈의 간단한 수학적 과정들이 들어 있습니다.

역사적으로 많은 기본적인 정량적 화학 법칙들이 19세기에 발견되었는데, 이는 원자 내의 구조가 밝혀지기 전이고, 그 구조를 설명하는 양자 역학이 발견되기 전입니다. 현재의 양자 역학은 물리학의 하나의 기본적인 식인 슈뢰딩거 식에 기초하여, 우리에게 주기율표, 원자가의 성질들, 다양한 범위의 화학 현상들을 극도로 포괄적이면서 만족스러운 설명을 제공합니다.(주20) 이러한 좀 더 깊은 설명으로 인하여 우리가 환원주의로 다시 돌아가고 싶을지 모릅니다. 우리는 화학은 "단지" 양자 역학의 "우연한" 결과라고 말함으로써 화학을 물리학으로 "환원"합니다. 또다시 우리는 잘못하여 하나님께서 우리로 하여금 음미하고 즐기도록 하시기 위해 화학에 심어 주신 그 신비와 아름다움을 화학에서 날려 버리게 되고 말 것입니다. 웨스트민스터 소요리문답이 우리에게 상기시켜 주는 바, "사람의 제일 되는 목적은 하나님을 영화롭게 하고, 하나님을 영원토록 즐거워하는 것입니다."(제1문)

우리는 물리학과 화학의 깊은 신비들에 대해 그리고 우리의 일상사에서 하나님의 통치의 일관성에 대해 모두 하나님을 찬양할 수 있습니다. 우리가 당연한 것으로 생각하는 다음과 같은 규칙성들이 없는 세상을 상상해 보십시오. 일출, 공기 중의 산소의 공급, 일정하게 얼고 끓는 물의 성질들, 근육 움직임의 일관성, 신경 자극 전달의 일관성, 근육과 신경의 기저에 있는 화학적 힘의 일관성, 우리의 심장 박동의 일관성. 우리의 몸의 존재는 무수히 많은 방법으로 물리와 화학의 영역들에서 하나님의 통치의 일관성에 의존합니다.