

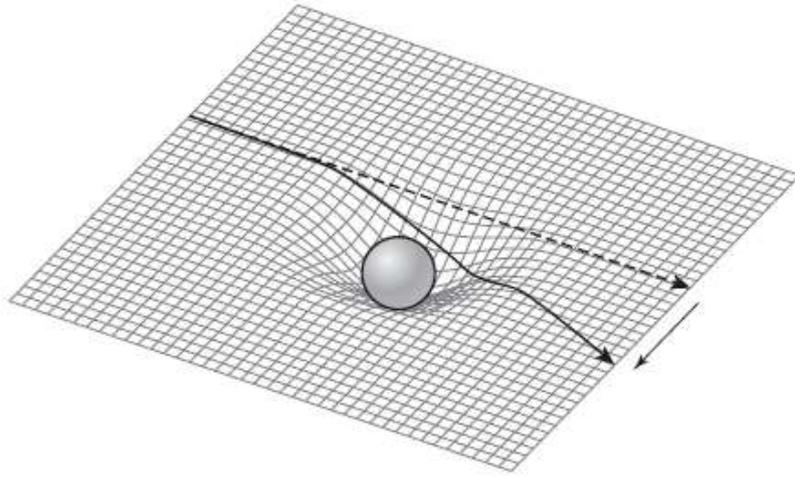
## 1번 지문

17세기 초, 독일의 천문학자 케플러는 행성의 운동 중에 코페르니쿠스의 지동설로 설명할 수 없는 부분이 있음을 알았다. 그래서 케플러는 각종 천문 자료들을 검토하여 행성의 운동에 관한 세 가지 법칙을 발견해 냈다. 제1법칙은 행성이 태양을 하나의 초점으로 하는 타원형을 그리면서 공전한다는 것이다. 제2법칙은 태양과 행성을 잇는 직선은 일정한 시간에 일정한 면적을 이루면서 움직인다는 것으로 모든 경우 시간당 움직인 면적이 같다는 것이다. 제3법칙은 태양과 어떤 행성 사이의 평균 거리 세제곱과 그 행성의 공전 주기 제곱의 비는 일정하다는 것이다. 케플러가 행성의 운동에 대한 법칙을 발견하기는 했지만, 그는 행성들이 왜 그와 같은 운동을 하는가에 대해서는 밝혀내지 못했다. 이 문제를 해결한 사람은 뉴턴이었다. 뉴턴은 운동의 법칙과 만유인력의 법칙을 이용하여 케플러의 법칙을 설명하는 데 성공했다.

뉴턴의 만유인력의 법칙은 중력에 대한 법칙이다. 뉴턴에 의하면 중력은 질량이 있는 두 물체가 서로 끌어당기는 힘으로 질량이 있는 물체들 사이에 작용하는 힘을 뜻한다. 그리고 질량이 있는 두 물체 사이의 중력은 각 물체의 질량의 곱에 비례하고, 두 물체의 떨어진 거리의 제곱에 반비례한다. 그래서 이를 '역제곱 법칙'이라고 부른다. 예컨대 질량이 있는 물체의 힘이 미세한 입자처럼 태양에서 사방으로 튀어 나간다고 가정하면, 그것은 일정 시간이 지나면 태양을 중심으로 하는 구면 위로 골고루 퍼져 나갈 것이다. 그러나 구면의 겹넓이는 구면의 반지름의 제곱에 비례하기 때문에, 힘의 작은 입자는 구면이 넓어질수록 그만큼 드문드문 퍼져 있게 된다. 즉 구면의 반지름을  $R$ 이라 할 때, 구면의 겹넓이는  $R^2$ 의 제곱에 비례하고 단위 면적당 힘의 입자 수는  $R^2$ 의 제곱에 반비례하는 것이다. 이처럼 역제곱 법칙은 3차원 공간에서의 힘이나 빛 등의 물리량\*의 퍼짐을 설명하는 법칙이다. 뉴턴은 역제곱 법칙을 바탕으로 행성의 운동 원리를 설명할 수 있었다. 즉 행성 간의 거리가 멀어지면 인력이 약해지고, 행성 간의 거리가 가까워지면 인력이 강해진다는 것이다.

그런데 다른 행성들과 달리 수성의 근일점 이동은 뉴턴의 역제곱 법칙으로 정확하게 설명할 수 없었다. 태양의 주위를 도는 행성이 태양을 중심으로 한 바퀴를 도는 동안 행성과 태양의 거리가 가장 가까운 지점을 근일점이라고 한다. 그리고 근일점은 다른 행성 간의 중력 때문에 위치가 조금씩 이동한다. 이에 대해 뉴턴은 행성이 태양뿐만 아니라 주변의 다른 행성으로부터도 아주 작은 중력을 받으며 이러한 영향으로 공전 궤도가 조금씩 틀어지기 때문이라고 생각하였다. 그런데 수성의 궤도는 100년에 5600초\*만큼 타원의 축이 회전하는데 금성 등 다른 행성들의 중력을 고려하여도 뉴턴의 역제곱 법칙으로는 실제 관측한 값보다 43초만 큼 작게 계산되었다.

수성의 근일점 이동을 정확히 계산해 낸 사람은 아인슈타인이었다. 뉴턴이 시간과 공간을 분리해 각각을 변하지 않는 절대적인 실체로 취급하였다면 아인슈타인은 3차원 공간에 시간의 개념이 결합된, 시공간이라는 4차원 공간을 도입했다. 이러한 생각을 바탕으로 아인슈타인은, 서로 멀리 떨어져 있는 물체들 사이에 순간적으로 중력이 작용한다는 뉴턴의 중력 이론 대신, 질량이 시공간을 휘게 만들고 중력은 이 휘어진 시공간 때문에 나타난다는 일반 상대성 이론을 발표하였다.



〈그림〉

〈그림〉에서처럼 고무판에 무거운 공을 놓으면 공 주변의 공간이 휘게 된다. 이 공간에 작은 구슬을 굴리면 그 구슬은 휘어진 면을 따라 굴러가게 된다. 공간의 휘어짐이 클수록 구슬의 속도 변화는 커진다. 질량이 클수록 시공간의 곡률\*은 커지며 그에 따라 공간을 지나는 물체의 속도가 빨라지는 것이다. 무거운 공을 태양, 작은 구슬을 수성과 같은 행성이라고 생각하면 천체의 운동은 휘어진 시공간에 영향을 받는 것이 아인슈타인의 생각이다. 즉 아인슈타인은 질량으로 인해 주변의 시공간이 휘어지고 그 효과가 휘어진 시공간을 지나는 물체의 운동에 영향을 미친다고 생각한 것이다. 또한 아인슈타인은 시공간이 휘어진 정도를 나타내는 시공간의 곡률이 중력의 크기를 결정한다고 보았다. 아인슈타인은 이러한 자신의 이론을 적용하여 수성의 근일점 이동을 계산하였으며 그 결과는 100년에 5600초로 관측된 값과 정확히 일치하였다.

- \* 물리량: 물질계의 성질이나 상태를 나타내는 양.
- \* 초: 각도를 나타내는 단위. 1초는 3600분의 1도를 의미한다.
- \* 곡률: 굽은 정도를 표현하는 수치.

## 2번 지문

케플러는 태양계 행성에 대한 관측 결과를 토대로 행성 운행의 규칙성을 발견했다. 행성은 태양을 하나의 초점으로 하는 타원 궤도를 따라 운행하며, 태양과 가까울 때는 빠르게 움직이고 태양과 멀어질 때는 느리게 움직인다. 또한 공전 궤도가 큰 행성일수록 공전 주기 역시 길다. 하지만 이러한 행성의 운동에 대한 발견은 경험적 관찰에 대한 분석이었기 때문에 행성이 왜 이렇게 운행하는지에 대해서는 설명하지 못하는 문제가 있었다.

당대의 학자들은 아리스토텔레스적 운동관에 따라 행성을 타원 궤도 방향으로 미는 힘이 계속해서 가해지고 있다고 생각했다. 아리스토텔레스에 따르면, 물체의 자연스러운 상태는 정지 상태이므로 행성이 움직이기 위해서는 움직이는 내내 행성을 밀어 줄 무언가가 존재해야 했기 때문이다. 하지만 이후 갈릴레이에 의해 관성의 법칙이 발견됨으로써 어떤 물체가 외부로부터 아무런 힘을 받지 않는다면, 그 물체는 지금의 빠르기와 진행 방향을 유지하면서 영원히 직선 운동을 하게 된다는 것이 알려지게 되었다. 이는 이후 뉴턴에 의해 물체의 속도가 변화하면, 즉 운동 방향이나 빠르기에 변화가 생겼다면 물체에 새로운 힘이 가해졌다는 것을 의미하며, 이때 물체에 힘을 가해 발생한 가속도의 크기는 그 물체의 질량에 반비례한다는 역학 법칙으로 발전했다.

뉴턴은 그의 역학 법칙에 따라 행성이 태양 주변을 공전하기 위해서는 궤도 방향으로 작용하는 힘이 아니라 태양 쪽을 향해 작용하는 힘이 필요하다는 생각을 하게 되었다. 뉴턴의 역학 법칙에 따르면, 행성에 아무런 힘이 가해지지 않는다면 행성은 관성에 의해 궤도의 접선 방향으로 등속 운동을 하게 될 것이다. 따라서 행성이 태양을 하나의 초점으로 하는 타원 궤도를 따라 운행하며, 태양과의 거리에 따라 운행 속도가 달라지기 위해서는 행성을 태양 쪽으로 끌어당기는 힘이 존재해야 한다고 뉴턴은 생각했다. 그는 이로부터 임의의 두 물체 사이에는 서로 잡아당기는 힘, 즉 ‘만유인력’이 존재하며, 만유인력의 크기는 두 물체의 질량의 곱에 비례하고 둘 사이의 거리의 제곱에 반비례한다는 만유인력의 법칙을 발표했다.

하지만 만유인력의 법칙이 발표되던 당시, 학계를 지배하고 있던 데카르트주의는 행성 사이의 원거리 인력 작용을 받아들일 수 없었다. 아리스토텔레스에 따르면 물체의 운동을 변화시킬 수 있는 것은 외부의 작용뿐이며, 그러한 외부의 작용은 물체 간의 접촉에 의해서만 일어날 수 있다. 데카르트 역시 아무것도 존재하지 않는 진공 상태란 불가능하며, 우주는 ‘에테르’라는 물질 입자로 가득 찬 공간이라고 보았다. 그는 행성이 타원 궤도를 따라 운행하는 것은 에테르의 소용돌이 때문이라는 ‘소용돌이 이론’을 주장했다. 즉 행성들이 마치 흐르는 강에 떠 있는 배처럼 거대한 에테르의 소용돌이에 휩쓸려 태양 주위로 운반된다는 것이다. 이러한 데카르트의 우주관을 따르던 당시 학계는 두 물체가 진공 상태에서 아무런 물질의 매개 없이 상호 작용할 수 있다는 뉴턴의 주장에 대해 자연 과학을 신비주의로 전락시키는 것이라고 비판했다.

그러나 관측 기술이 발전함에 따라 뉴턴의 만유인력이 데카르트의 소용돌이 이론에 대해 우위를 차지하게 되었다. 특히 혜성의 운동에 대한 관측은 데카르트의 소용돌이 이론이 부정되는 결정적인 계기가 되었다. 어느 날 갑자기 밤하늘에 긴 꼬리를 드리우고 나타나는 혜성은 오랫동안 사람들에게 경이의 대상이었다. 데카르트는 태양계 내에서 바깥쪽으로 갈수록 소용돌이의 회전 속도가 느려지지만, 태양계의 외곽을 넘어가면 소용돌이의 속도가 다시 빨라진다고 생각했다. 그리고 이 흐름을 타고 매우 빨리 운동하는 천체

가 있는데, 이것이 혜성이라고 보았다. 그는 태양계와 같은 우주들이 수없이 많이 존재하며, 혜성은 이런 우주들을 가로질러서 운동하는 물체라고 주장했다.

이에 대해 뉴턴은 행성들의 공전 방향과 반대 방향으로 태양계를 가로질러 가는 혜성의 존재가 에테르의 소용돌이가 없다는 것을 보여 주는 증거라고 보았다. 그는 소용돌이 속에서 혜성만 다른 행성들의 공전 방향과 반대 방향으로 움직이는 것이 가능하다는 것은 배를 타고 강의 흐름을 거슬러 올라가는 것과 같다고 비판하며, 혜성 역시 타원 궤도를 따라 운동하는 태양계의 천체라고 주장했다. 뉴턴의 주장대로 혜성 역시 행성과 마찬가지로 태양을 공전하는 천체라면, 만유인력의 법칙을 통해 혜성의 궤도를 예측할 수 있으며, 동일한 혜성이 일정한 시간이 흐른 후 같은 위치에서 다시 관측될 수 있을 것이다. 이후 할리는 이러한 뉴턴의 생각에 따라 혜성의 궤도를 계산하여, 1531년, 1607년, 1682년에 나타난 혜성이 모두 같은 혜성이며 1758년에 다시 나타날 것이라고 주장했다. 실제로 1758년 12월 25일에 혜성이 관측됨으로써 만유인력은 의심할 수 없는 자연의 법칙으로 굳어지게 되었다.

### 3번 지문

16세기 전반에 서양에서 태양 중심설을 지구 중심설의 대안으로 제시하며 시작된 천문학 분야의 개혁은 경험주의의 확산과 수리 과학의 발전을 통해 형이상학을 뒤바꾸는 변혁으로 이어졌다. 서양의 우주론이 전파되자 중국에서는 중국과 서양의 우주론을 회통하려는 시도가 전개되었고, 이 과정에서 자신의 지적 유산에 대한 관심이 제고되었다.

복잡한 문제를 단순화하여 푸는 수학적 전통을 이어받은 코페르니쿠스는 천체의 운동을 단순하게 기술할 방법을 찾고자 하였고, 그것이 일으킬 형이상학적 문제에는 별 관심이 없었다. 고대의 아리스토텔레스와 프톨레마이오스는 우주의 중심에 고정되어 움직이지 않는 지구의 주위를 달, 태양, 다른 행성들의 천구들과, 항성들이 붙어 있는 항성 천구가 회전한다는 지구 중심설을 내세웠다. 그와 달리 코페르니쿠스는 태양을 우주의 중심에 고정하고 그 주위를 지구를 비롯한 행성들이 공전하며 지구가 자전하는 우주 모형을 만들었다. 그러자 프톨레마이오스보다 훨씬 적은 수의 원으로 행성들의 가시적인 운동을 설명할 수 있었고 행성이 태양에서 멀수록 공전 주기가 길어진다는 점에서 단순성이 충족되었다. 그러나 아리스토텔레스의 형이상학을 고수하는 다수 지식인과 종교 지도자들은 그의 이론을 받아들여려 하지 않았다. 왜냐하면 그것은 지상계와 천상계를 대립시키는 아리스토텔레스의 이분법적 구도를 무너뜨리고, 신의 형상을 지닌 인간을 한갓 행성의 거주자로 전락시키는 것으로 여겨졌기 때문이다.

16세기 후반에 브라헤는 코페르니쿠스 천문학의 장점은 인정하면서도 아리스토텔레스 형이상학과의 상충을 피하고자 우주의 중심에 지구가 고정되어 있고, 달과 태양과 항성들은 지구 주위를 공전하며, 지구 외의 행성들은 태양 주위를 공전하는 모형을 제안하였다. 그러나 케플러는 우주의 수적 질서를 신봉하는 형이상학인 신플라톤주의에 매료되었기 때문에, 태양을 우주 중심에 배치하여 단순성을 추구한 코페르니쿠스의 천문학을 받아들였다. 하지만 그는 경험주의자였기에 브라헤의 천체 관측치를 활용하여 태양 주위를 공전하는 행성의 운동 법칙들을 수립할 수 있었다. 우주의 단순성을 새롭게 보여 주는 이 법칙들은 아리스토텔레스 형이상학을 더 이상 온존할 수 없게 만들었다.

17세기 후반에 뉴턴은 태양 중심설을 역학적으로 정당화하였다. 그는 만유인력 가설로부터 케플러의 행성 운동 법칙들을 성공적으로 연역했다. 이때 가정된 만유인력은 두 질점\*이 서로 당기는 힘으로, 그 크기는 두 질점의 질량의 곱에 비례하고 거리의 제곱에 반비례한다. 지구를 포함하는 천체들이 밀도가 균질하거나 구 대칭\*을 이루는 구라면 천체가 그 천체 밖 어떤 질점을 당기는 만유인력은, 그 천체를 잘게 나눈 부피 요소들 각각이 그 천체 밖 어떤 질점을 당기는 만유인력을 모두 더하여 구할 수 있다. 또한 여기에서 지구보다 질량이 큰 태양과 지구가 서로 당기는 만유인력이 서로 같음을 증명할 수 있다. 뉴턴은 이 원리를 적용하여 달의 공전 궤도와 사과 낙하 운동 등에 관한 실측값을 연역함으로써 만유인력의 실재를 입증하였다.

16세기 말부터 중국에 본격 유입된 서양 과학은, 청 왕조가 1644년 중국의 역법(曆法)을 기반으로 서양 천문학 모델과 계산법을 수용한 시헌력을 공식 채택함에 따라 그 위상이 구체화되었다. 브라헤와 케플러의 천문 이론을 차례대로 수용하여 정확도를 높인 시헌력이 생활 리듬으로 자리 잡았지만, 중국 지식인들은 서양 과학이 중국의 지적 유산에 적절히 연결되지 않으면 아무리 효율적이더라도 불온한 요소로 여겼다. 이에 따라 서양 과학에 매료된 학자들도 어떤 방식으로든 서양 과학과 중국 전통 사이의 적절한 관계를