

1

우리는 무엇으로
만들어졌는가?

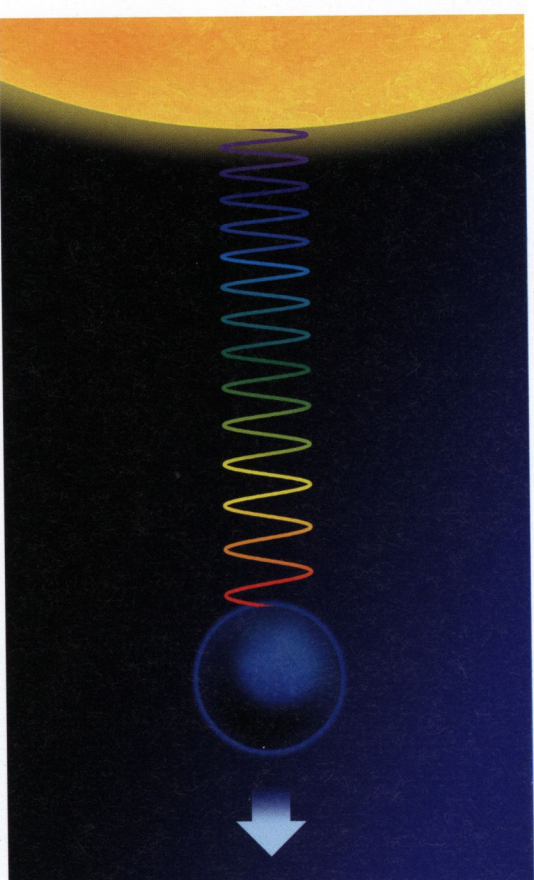
우

리 주변을 둘러보자. 이 책, 우리가 앉아 있는 의자, 신고 있는 양말처럼 우리가 보고 만질 수 있는 것들은 모두 원자로 이루어졌다. 그리고 지구를 둘러싸고 있는 대기도 원자로 이루어졌다. 대기를 이루는 원자들이 태양 빛 중에서 주로 푸른빛만을 산란하여 하늘이 푸른색으로 보인다. 태양과 태양계를 이루는 행성과 위성들 그리고 혜성과 소행성들도 모두 물질을 이루는 기본 재료인 작은 원자들로 이루어져 있다. 광대한 공간에 분포해 있는 수많은 별들과 은하 역시 원자로 이루어졌다. 따라서 우리는 우주가 무엇으로 이루어졌느냐 하는 질문의 답을 이미 알고 있다고 생각할 수도 있다. 그러나 최근에 천문학자들은 놀라운 사실을 발견했다. 우리와 행성 그리고 별들을 이루고 있는 원자는 우주를 구성하는 물질의 4%밖에 안 된다는 것을 알게 된 것이다. 그렇다면 나머지 96%는 무엇일까? 이 ‘**사라진 물질**’을 찾는 것이 **현대 물리학의 가장 중요한 과제 중 하나**다.

17세기 이래 우주의 크기와 모습을 알아내려고 애쓰던 과학자들은 어려운 문제에 봉착했다. 아이작 뉴턴^{Isaac Newton}은 질량을 가지고 있는 물질은 다른 모든 물질을 끌어당긴다는 중력 법칙을 알아냈다. 우리가 지표면에서 떨어지지 않고 살아갈 수 있는 것은 지구와 우리 사이에 서로를 잡아당기는 중력이 작용하기 때문이다. 그러나 우주의 모든 물체가 다른 물체를 잡아당긴다면 물체 사이의 거리는 점점 줄어들어 결국은 모든 물질이 한 점으로 모여야 한다. 하지만 그런 일은 일어나지 않고 있다.

알베르트 아인슈타인^{Albert Einstein}이 일반상대성이론을 발표한 1915년까지도 이 문제는 해결되지 않고 있었다. 이 문제를 해결하기 위해 아인슈타인은 1917년, 그의 방정식에 중력에 대항하는 힘을 나타내는 항을 추가했다. 우주의 모든 물체가 항상 같은 자리에 머물러 있다고 생각한 그는 우주를 정상상태로 유지하기 위해서는 **중력에 대항하는 반중력이 필요하다고** 생각한 것이다. 아인슈타인이 중력에 대항하는 힘을 나타내기 위해 도입한 항을 **우주상수**라고 부른다. 그러나 이후에 행한 관측을 통해 **우주가 정상상태에 있지 않다는 것이 밝혀졌다**.

1929년에 미국 천문학자 에드윈 허블^{Edwin Hubble}은 천문학 역사상 가장 위대한 발견 중 하나인 **우주가 팽창한다는 사실을 발견했다**. 허블은 많은 별들 그리고 먼지와 기체로 이루어진 은하의 속도와 거리를 조사하고 있었다. 그는 은하에서 오는 빛을 분석하여 은하까지의 거리와 은하가 다가오거나 멀어지는 속도를 측정할 수 있었다. 은하가 우리로부터 멀어지면 은하에서 오는 스펙트럼의 파장이 긴 붉은색 쪽으로 이동하는 **적색편이**가 나타난다. 은하에서 오는 스펙트럼



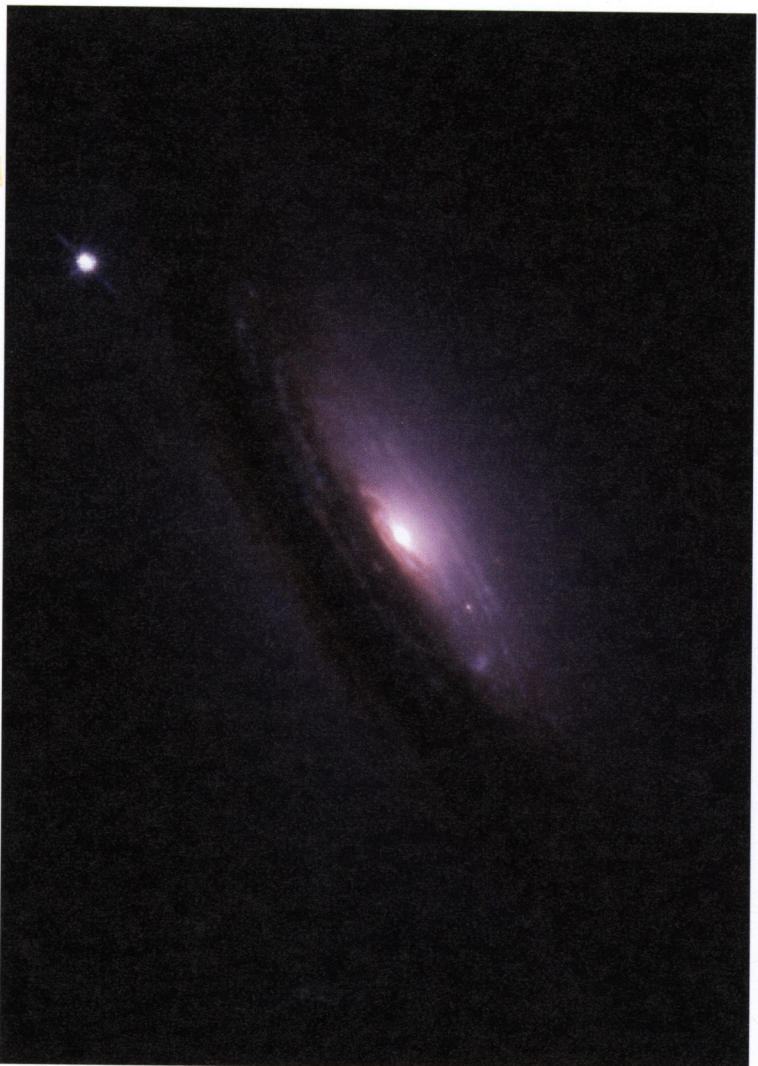
두 물체가 서로 멀어지는 방향으로 운동하고 있으면 두 물체 사이의 공간을 이동하는 빛은 파장이 늘어나 스펙트럼이 붉은색 쪽으로 이동한다. 천문학자들은 이 ‘적색편이’의 정도를 측정하여 은하가 우리로부터 얼마나 빠르게 멀어지고 있는지를 알아낸다.

*** 관측값으로써 138.96 ± 0.37 억년 (2013)**

에 더 큰 적색편이가 나타난다는 것은 이 은하가 더 빠른 속도로 멀어지고 있음을 뜻한다. 은하까지의 거리와 은하가 멀어지는 속도에 대한 허블의 발견은 물리학계에 큰 충격을 주었다. 은하까지의 거리가 멀면 멀수록 은하가 우리로부터 멀어지는 속도가 더 빠르다는 것은 우주가 팽창하고 있음을 보여주는 것이었다. 허블의 발견으로 우주가 정상상태가 아니라 팽창하고 있다는 것을 알게 된 아인슈타인은 **우주상수를 도입한 것이 자신의 가장 ‘큰 실수’였다고 말했다**.

팽창하는 우주는 곧 새로운 문제를 제기했다. 시간이 지나면서 우주가 점점 더 커지고 있다면 과거에는 오늘날보다 더 작았어야 하고, 모든 은하와 은하에 포함된 물질이 아주 가까이 있어야 한다. 따라서 아주 먼 옛날 특정 시점에는 우주를 구성하는 모든 물질이 한 점에 모여 있어야 한다. 다시 말해 우주도 시작이 있어야 한다는 것이다. 천문학자들은 우주의 시작을 빅뱅이라 부르고 물리법칙을 이용한 수학적 계산과 관측 결과를 이용해 **137억 년 전에 빅뱅이 있었다는 것**을 알아냈다. 오랫동안 천문학자들은 우주를 이루는 물체들 사이에 작용하는 중력이 브레이크 역할을 해 우주의 팽창 속도가 점차 줄어들고 있을 것이라고 생각했다. 그런데 우주에 대한 이런 기본적인 상식은 1998년에 다시 한 번 뒤집어졌다.

1980년대 후반에 두 팀의 천문학자들이 우주의 역사를 통해 우주 팽창 속도가 어떻게 변해왔



Ia형 초신성인 1994D이백 좌측)가 잠시 동안 NGC 4526 은하에 있는 다른 모든 별들보다 밝게 빛난다. 이런 현상을 측정하여 우주가 가속 팽창하고 있다는 것을 밝혀냈고, 우주를 밀어내고 있는 암흑에너지의 존재를 알게 되었다.

는지를 연구했다. 그들은 우주에서 가장 밝은 현상 중 하나인 Ia형 초신성을 조사했다. 이런 형태의 초신성 폭발은 두 별이 연성을 이루어 같은 질량 중심을 돌고 있고 그중 한 별이 이미 죽은 별일 때 발생한다. 백색왜성이라고 부르는, 밀도가 높은 죽은 별의 핵이 동반성에서 물질을 끌어들이면 점점 질량이 증가한다. 그러다가 태양 질량의 1.4배 정도인 특정한 크기에 도달하게 되면 자체 중력을 견디지 못하고 폭발한다. 이런 초신성들은 항상 태양 질량의 1.4배인 같은 연료를 이용하여 폭발하기 때문에 밝기가 같다. 그러나 초신성의 걸보기 밝기는 지구에서의 거리에 따라 달라지므로 그 밝기를 측정하면 초신성까지의 거리를 알 수 있다. Ia형 초신성은 매우 밝기 때문에 우주에서 관측 가능한 가장 먼 거리의 75%까지 관측하는 데 이용할 수 있다. 빛이 우주를 가로질러 달리는 데는 시간이 걸리기 때문에 더 먼 곳에 있는 초신성은 더 먼 과거에 대한 정보를 전달해준다. 따라서 천문학자들은 이런 초신성을 포함한 은하에서 오는 스펙트럼의 적색편이를 측정하여 우주의 과거를 들여다볼 수 있고, 초신성이 폭발한 시점의 팽창 속도를 알

수 있다.

Ia형 초신성을 연구한 두 팀은 1998년에 우주의 팽창이 느려지는 것이 아니라 빨라지고 있다는 같은 결론에 도달했다. 그들의 측정 결과에 의하면, 우주는 50억 년 전에서 70억 년 전 사이에 팽창 속도가 느려지는 감속 단계가 끝나고 그 후에는 빨라지기 시작했다. 이 발견으로 미국의 천문학자 솔 펄머터(Saul Perlmutter), 브라이언 슈미트(Brian Schmidt) 그리고 애덤 라이스(Adam Riess)는 2011년 노벨 물리학상을 공동 수상했다.

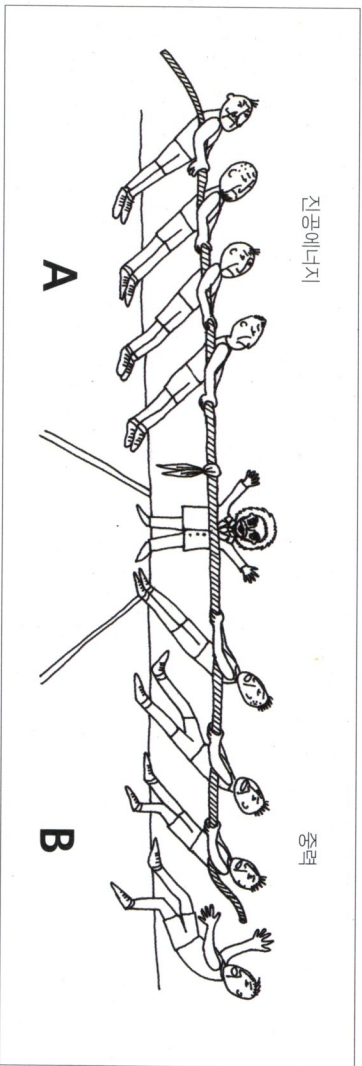
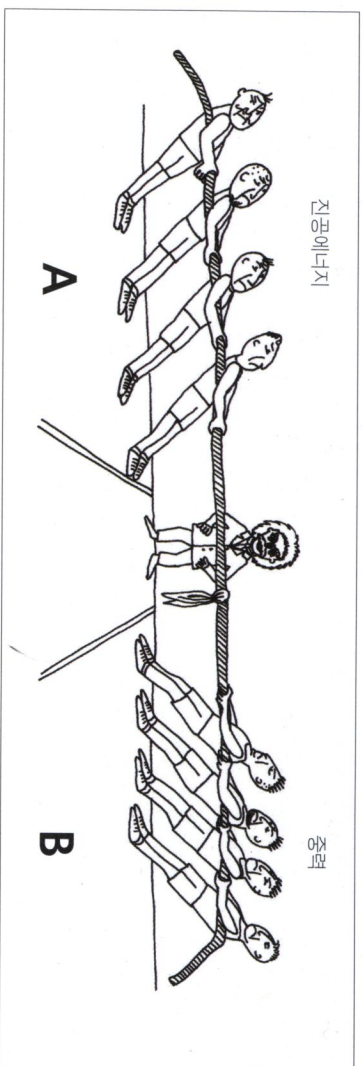
암흑에너지

우주의 팽창이 빨라지고 있다는 것은 무엇인가가 '반중력'으로 작용하여 우주를 더 멀리 밀어내고 있음을 뜻한다. 이 신비스러운 힘의 정체에 대해서는 아직 정확히 알려지지 않아 암흑에너지라 부르고 있다. 암흑에너지의 정체에 대해서는 거의 알아낸 것이 없지만 천문학자들은 은하들이 멀어지고 있는 속도를 측정해 현재 우주에 존재하는 암흑에너지의 양을 추정해냈다. 이러한 추정에 의하면 우주에 존재하는 암흑에너지의 총량은 우주 전체 질량의 75%나 된다.

그렇다면 암흑에너지는 무엇일까? 무엇이 이런 방법으로 중력에 대항하고 있을까? 놀라운 가능성 중 하나는 공간 자체가 그런 에너지를 제공하고 있다는 것이다.

물리학자들은 아무것도 없는 빈 공간은 존재하지 않는다는 것을 이미 알고 있다. 진공 안에도 에너지 요동이 존재한다. 그리고 공간은 우주 전체에 퍼져 있고 따라서 '진공에너지'도 우주 전체에 퍼져 있다. 그러나 진공에너지는 우리에게 익숙하지 않은 이상한 성질을 가지고 있다. 물리법칙에 의하면 진공은 항상 일정한 양의 에너지를 가지고 있어야 반중력 효과에 의해 균형을 유지할 수 있다. 따라서 우주가 얼마나 많이 팽창했느냐에 관계없이 일정한 부피의 진공은 항상 같은 양의 에너지를 가지고 있어야 한다. 아마도 우주를 가속시키고 있는 암흑에너지는 이런 방법으로 일정하게 유지되는 진공에너지의 반발 효과에 의한 것일 가능성이 있다.

모든 은하들이 함께 움직 있던 초기 우주에서는 물질 사이에 작용하는 중력이 진공에너지의 반발력보다 우주 팽창에 더 큰 영향을 주었을 것이다. 그러나 팽창이 계속되어 은하들 사이의 거리가 멀어지자 중력의 효과가 약해져 일정하게 유지되는 진공에너지보다 작아지자 우주가 가



값이고 그 값이 -1보다 작다는 증거를 발견한다면 암흑에너지는 상수가 아니고 따라서 아인슈타인의 '실수(우주상수)'로 암흑에너지를 설명할 수 없을 것이다.

현재까지의 관측 결과는 상태방정식의 값이 -1이라는 것을 나타내고 있기 때문에 아인슈타인이 일반상대성 방정식에 우주상수를 도입한 것은 옳았던 것으로 보인다.

그러나 여기에는 문제가 있다. 연구자들이 존재할 것이라고 예상하는 진공에너지의 총량은 현재 우주를 가속 팽창시키는 데 필요한 에너지보다 훨씬 크다.

실제로 그 값은 10^{120} 배(1 다음에 0을 120

개 더한 값)나 된다! 그럼에도 불구하고 암흑에너지가 진공에너지일 것이라는 것이 우리가 현재 가지고 있는 최선의 해답이다. 따라서 우리 우주의 사라진 75%의 에너지 성격을 규명하는 일은 앞으로도 계속되어야 할 것이다. 암흑에너지의 정체를 규명하여 우주의 신비를 풀어내기 위해서는 아직 찬 우주 탐험 프로그램과 놀라운 성능을 가진 새로운 망원경의 개발이 필요할 것이다.

암흑물질

4% radiation + 7.3% dark energy + 23% dark matter

현재의 우주는 4%의 원자와 73%의 암흑에너지로 이루어져 있다. 그러나 아직 계산에 넣지 않은 약 23%가 남아 있다. 연구자들은 이 남아 있는 23%는 스위스 물리학자 프리츠 츠비키Fritz Zwicky가 1933년에 처음 발견한 또 다른 신비스러운 존재일 것이라고 믿고 있다.

과학계에서 가장 피짜로 알려진 츠비키는 미국 캘리포니아 공과대학(칼텍)의 망원경을 이용하여



빅뱅 기산 그림. 암흑에너지가 발견되기 전까지는 중력이 빅뱅으로 인한 우주의 팽창 속도를 감속시키고 있을 것이라고 생각했다. 현재 천문학자들은 우주의 팽창 속도가 점점 빨라지고 있다는 것을 알고 있다.

3.6% ionized gas + 0.4% stars etc.



아인슈타인은 1917년에 그의 방정식에 우주상수를 도입하는 '실수'를 저질렀다고 말했다. 그러나 오늘날에는 많은 사람들이 가속 팽창하고 있는 우주에 에너지를 공급하는 것은 아인슈타인의 우주상수라고 믿고 있다.

았다. 따라서 이 은하단에는 관측할 수는 없지만 은하의 속도를 감당하는 데 필요한 중력을 제공하는 다른 물질이 있어야 한다고 제안했다. 그는 이 물질을 '암흑물질'이라는 뜻의 독일어 둔 켈마테리라고 불렀다.

그리고 1937년에 미국 천문학자 싱클레어 스미스^{Sinclair Smith}도 처녀자리 은하단에서 비슷한 현상을 발견했다. 하지만 다음 해에 39세를 일기로 암으로 사망하면서 그의 연구는 묻히게 되었다. 비슷한 시기에 네덜란드의 천문학자 얀 오르트^{Jan Oort}는 은하수 은하 안에 있는 별들의 운동을 조사하고 있었다. 그는 일부 별들이 은하수 은하를 탈출하기에 충분한 속도로 빠르게 운동하고 있는 것을 발견했다. 그러나 이 별들은 은하수 은하를 떠나지 않았다. 그것은 무엇인가가 이 별들을 강하게 붙들고 있다는 것을 뜻했다.

즈비키, 스미스 그리고 오르트의 발견에도 불구하고 1970년대까지 '사라진 질량'의 문제는 천문학계의 주요 관심사가 되지 못했다. 그런데 미국의 천문학자 베라 루빈^{Vera Rubin}이 은하수 은하에서 가장 가까운 거리에 있는 안드로메다은하에서 문제를 발견하면서 사람들은 이 사라진

지구로부터 3억 광년(약 2850조km) 정도 떨어진, 1000개 정도의 은하로 이루어진 머리털자리 은하단을 조사했다. 적색편이를 측정하여 머리털자리 은하단에 속한 은하들의 속도를 측정한 즈비키는 은하들의 속도가 예상했던 것보다 훨씬 빠르다는 것을 알아냈다. 은하단 안에서 측정할 수 있는 모든

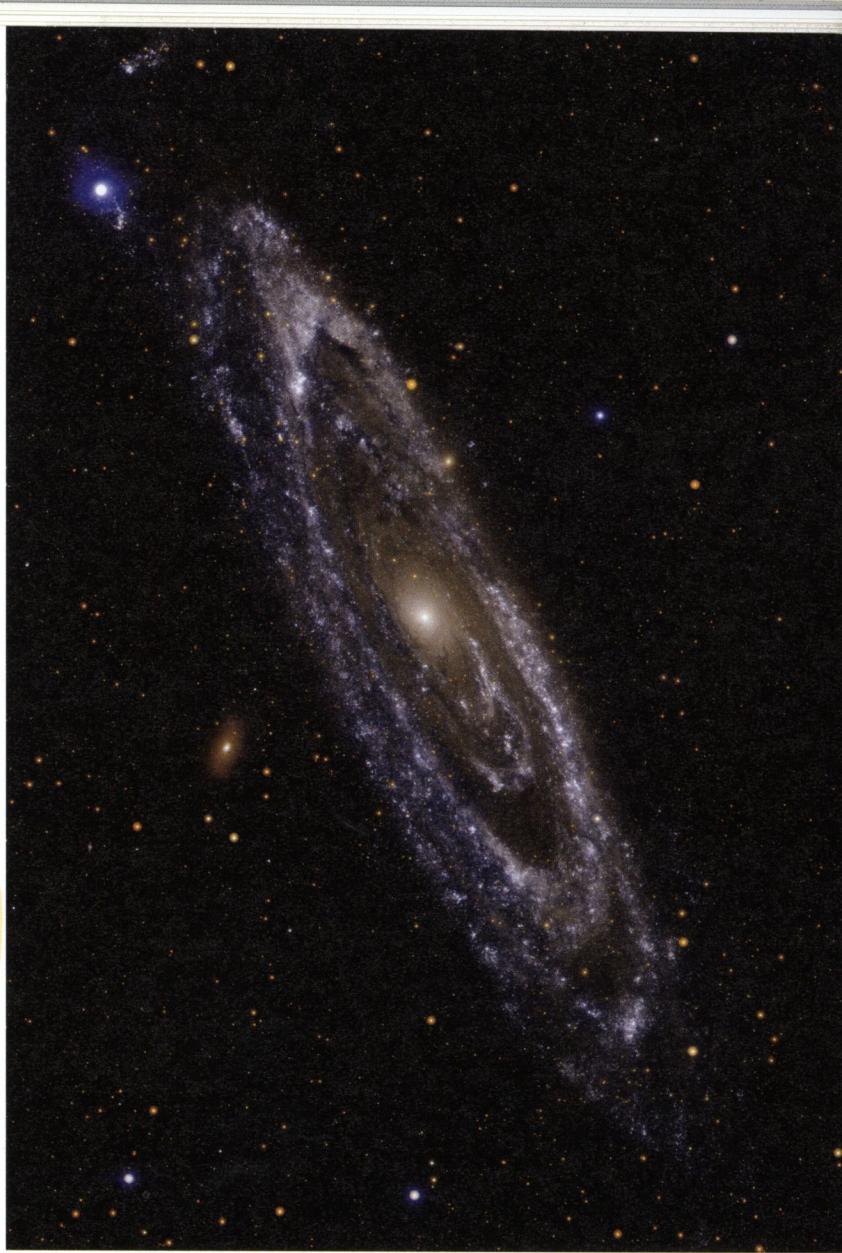
물질 사이에 작용하는 중력은 은하의 속도를 감당할 수 있을 만큼 크지 않



슬론 디지털 스카이 서베이 우주 망원경과 스피처 우주 망원경이 가시광선과 적외선을 이용하여 찍은 머리털자리 은하단의 사진을 합성하여 만든 사진. 포티츠 초비키가 1933년에 이 은하단이 너무 빠르게 운동하고 있다는 사실을 알아낸 것이 암흑물질에 대한 최초의 증거였다.

질량에 관심을 가지기 시작했다.

루빈은 안드로메다은하 가장자리에 있는 별들이 너무 빠른 속도로 이 은하를 돌고 있는 것을 발견했다. 안드로메다은하나 은하수 은하와 같은 나선은하는 대부분의 관측 가능한 물질이 부풀어난 중심 부분에 밀집해 있고, 나머지 별들은 이 중심 부분을 돌고 있어 전체적으로는 중심 부분이 부풀어난 납작한 원반 모양을 하고 있다. 루빈이 예상한 것은 은하의 중심에서 멀리 떨어질수록 은하 중심을 도는 별의 속도가 느려지는 것이었다. 이는 우리 태양계 행성들의 운동에서도 관측할 수 있다. 수성, 금성, 지구, 화성과 같이 태양에서 가까운 행성들은 목성, 토성, 천왕성, 해왕성과 같이 태양에서 멀리 떨어져 있는 외행성들보다 훨씬 빠른 속도로 태양을 돌고 있다. 하지만 그녀가 실제로 발견한 것은 은하의 모든 별들의 속도가 거의 같다는 것이었다. 우리 태양계와 마찬가지로 안드로메다은하의 경우에도 대부분의 물질이 중심에 모여 있는 것처럼 관측되는데도 불구하고 안드로메다은하의 별들은 태양계의 행성들처럼 행동하지 않고 있었다. 1980년까지 루빈은 100개가 넘는 은하에서 같은 현상을 확인하여 발표했다.



GALEX 우주 망원경이 자외선을 이용하여 찍은 안드로메다은하의 모습. 1970년대에 미국 천문학자 베라 루빈(Vera Rubin)은 안드로메다은하 가장자리의 별들이 예상보다 빠른 속도로 돌고 있다는 것을 알아냈다. 이것은 이 은하가 눈에 보이지 않는 암흑물질을 포함하고 있다고 가정하면 설명할 수 있다.

네 명의 천문학자가 발견한 이상한 현상은 빛과는 상호작용하지 않기 때문에 우리가 관측할 수는 없지만 중력에 의한 상호작용을 하는 새로운 물질을 가정하면 설명할 수 있다. 루빈의 회전하는 은하의 경우, 관측 불가능한 이 물질이 은하 전체에 골고루 분포해 있어 전체적인 질량이 중심 부분에 집중되어 있지 않다면 별들이 태양계의 행성들과 다르게 행동하는 것을 설명할 수 있다. 이는 또한 이 보이지 않는 물질의 중력이 오르트가 발견한 별들이 은하 밖으로 달아나지 못하도록 붙잡고 있다고 설명할 수 있다. 뿐만 아니라 츠비키와 스미스가 발견한 은하단 은하들의 빠른 속도도 이 보이지 않는 물질을 이용하여 설명할 수 있다.

이 보이지 않는 물질은 빛을 방출하거나 흡수하지 않고 반사도 하지 않는다는 것을 제외하면 보통의 물질과 똑같이 행동하기 때문에 암흑물질이라는 이름으로 부르게 되었다.

과학자들은 중력렌즈 효과 현상을 이용하여 우주 전체에서 암흑물질의 증거를 찾고 있다. 중력렌즈 현상은 커다란 은하단이 뒤에서 오는 은하의 빛을 막고 있을 때 나타난다. 은하단의 큰

질량에 의한 중력이 렌즈처럼 작용하여 뒤에 있는 은하에서 오는 빛을 은하단 주변에서 휘어지게 한다. 그렇게 되면 뒤에 있는 은하의 빛이 은하단 주변을 둘러싼 고리처럼 보인다. 이를 아인슈타인 고리라고도 부른다.

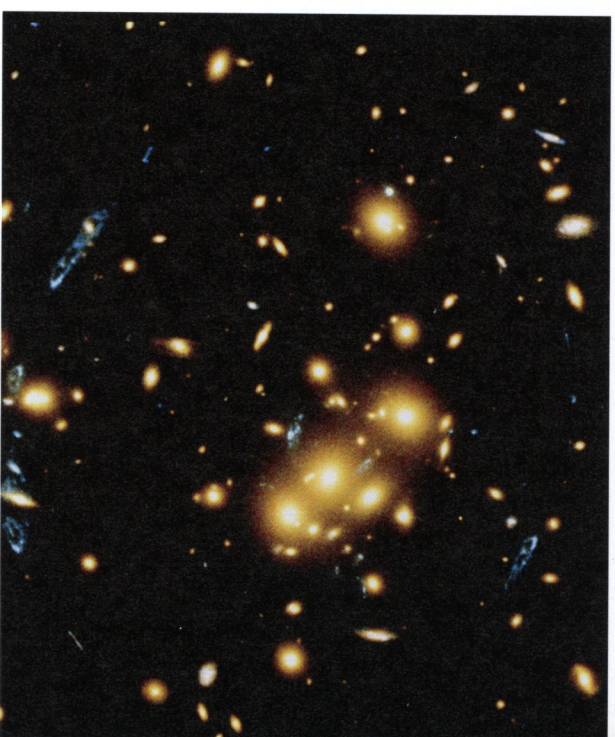
은하단에 포함된 별, 먼지, 기체와 같은 관측 가능한 모든 물질을 더해도 빛을 휘게 하기에는 많이 부족하다. 따라서 과학자들은 은하단 내의 별들을 묶어두는 역할뿐만 아니라 빛을 휘게 하여 중력렌즈 효과를 발생시키는 많은 양의 암흑물질이 은하에 포함되어 있다고 믿고 있다.

그러나 우주 전체에 암흑물질이 존재

한다는 술한 증거에도 불구하고 아직 암흑물질을 직접 확인하지는 못했다. 암흑물질의 존재는 관측 가능한 물질에 주는 효과를 통해 간접적으로 추정할 수 있을 뿐이다.

세계의 많은 과학자들이 암흑물질의 확실한 증거를 찾아내기 위해 다양한 실험을 하고 있다. 과학자들 중 일부는 암흑물질이 약하게 상호작용하는 무거운 입자(WIMPs)일 것이라고 생각한다(‘전문가 노트: WIMPs란 무엇인가?’ 참조). 지하에 설치된 많은 탐지 장치들이 지구를 통과해 지나가는 WIMPs의 증거를 찾고 있고, 지구 궤도를 돌고 있는 인공위성에서는 우주 공간에서 WIMPs 사이의 상호작용 효과를 찾아내기 위해 노력하고 있다.

암흑물질과 암흑물질의 사촌이라고 할 수 있는 암흑에너지의 정체가 무엇이라고 밝혀지든 이들은 우주의 많은 부분을 차지하고 있다. 때문에 이제 더 이상 우리가 우리를 만들고 있는 물질과 같은 물질로 이루어진 우주에 살고 있다고 말할 수 없게 되었다. 그럼에도 불구하고 우리가 우주를 바라보면서 우주에 대해 의문을 품고, 우주의 비밀을 밝혀내려 하고 있는 곳은 4%밖에 안 되는 귀한 원자들로 이루어진 우리의 작은 푸른 행성이다.



허블 우주 망원경으로 찍은 사진이 중력렌즈로 작용하는 0024+1654(노란색) 은하단을 보여주고 있다. 더 멀리 있는 은하에서 오는 빛이 은하단 질량의 중력에 의해 휘어져 길게 늘어진 호처럼(푸른색) 보인다. 관측이 가능한 물질로는 이러한 중력렌즈 효과를 설명할 수 없기 때문에 중력렌즈 현상을 설명하기 위해서는 암흑물질이 필요하다.