우주의 가속팽창을 최초로 밝힌 것은 제a형 초신성 연구가 아니다?

DOI: 10.3938/PhiT.20.056

임 명 신

Did the Type-Ia Supernova Research Discover the Acceleration of the Universe for the First Time?

Myungshin IM

Well before the works of the supernovae research teams including Perlmutter, Schmidt, and Riess established the acceleration of the universe, much observational evidence existed pointing toward the existence of dark energy or a non-zero cosmological constant, some of which were published by Korean astronomers/astrophysicists. Such evidence includes works on faint galaxy number counts, the large-scale structure of the universe, the ages of stars in globular clusters and elliptical galaxies, and gravitational lensing. Especially, gravitational lensing studies provided observational measurements of a non-zero cosmological constant one year ahead of the Type-Ia supernovae results. However, the acceptance of a concept of an accelerating universe within the astronomy and physics community had to wait for the supernovae results, which were statistically more robust results on the existence of a non-zero cosmological constant based on a noble method that was easy to comprehend.

암흑에너지를 대표하는 우주상수(cosmological constant), Λ 의 값이 0인지 아닌지는 1980년대 말부터 논란거리였다. 암흑에너지의 존재는 Λ 의 값이 0이 아니라는 것을 뜻하며

저자약력

임명신 교수 약력은 본문 9쪽 참조

우리나라 학자들을 포함, 여러 연구진들이 금년 노벨물리학상의 근거가 된 1998년의 초신성 연구결과 발표 훨씬 이전부터 우주상수의 존재를 암시하는 연구결과들을 꾸준히 발표하였었다. 박창범 교수(현재 고등과학원) 등 1990년대를 전후하여 우주의 대규모 구조를 연구하고 있던 여러 연구그룹들은 그 당시 많은 지지를 얻고 있었던 암흑에너지 없는 편평한 우주(아인슈타인-드시터 우주모형)로서는 은하들의 모임인 은하단과 같은 우주의 대규모 구조에 대한 관측사실을 설명하기 힘들기 때문에, 우주의 물질밀도는 편평한 우주에서 1이라고 할 때($\Omega_m=1$), 그보다 훨씬 작은 0.2 정도인($\Omega_m=0.2$) 우주를 고려해야 한다는 주장을 제기하였다.^[1-4] 이러한 우주모형에는 Λ 의 값이 0이 아닌 우주도 포함된다. 그리고 희미한 은하의 수를 간단한 아인슈타인-드시터(Einstein-de Sitter) 우주모형과 비교하면 이론에서 예측하는 것보다 관측된 은하의 수가 너무 많다는 것을 알 수 있었는데 그것을 손쉽게 설명할 수 있는 방법 중의 하나로 Λ 값을 0이 아닌 값으로 설정하는 방법이 제안되기도 하였다.^[5] 은하의 개수밀도가 일정하다면, 주어진 입체각 내의 부피는 가속 팽창하는 우주에서 가장 크기 때문에 Λ 값이 0이 아닌 우주에서 많은 수의 은하들을 쉽게 관측할 수 있다는 것이다. 또한 이영욱 교수(연세대학교), 박장현 박사(천문연구원)를 포함 그 당시에 별의 나이를 연구하고 있던 학자들은 구상성단, 타원은하 등에 속해 있는 별의 나이가 약 150억 년 정도이며 이 값은 아인슈타인-드시터 우주모형에서 예측할 수 있는 우주의 나이보다 많다

REFERENCES

- [1] G. Efstathiou, W. J. Sutherland and S. J. Maddox, *Nature* **348**, 705 (1990).
- [2] N. A. Bahcall and R. Cen, *Astrophysical Journal Letters* **398**, L81 (1992).
- [3] C. Park, *et al.*, *Astrophysical Journal* **431**, 569 (1994).
- [4] J. A. Peacock and S. J. Dodds, *MNRAS* **267**, 1020 (1994).
- [5] Y. Yoshii and K. Sato, *Astrophysical Journal Letters* **387**, L7 (1992).

Fig. 1. Examples of strong gravitational lenses. The red, fuzzy object at the center of each image is an elliptical galaxy which is acting as a gravitational lens. The blue dots (3–4 of them) around these elliptical galaxies are the lensed images of a single source that is located further than the lensing galaxy. The cosmological constant can be measured from strong lenses, since the separation between the lensed images and the lensing galaxy depends on the cosmological parameters. [source: NASA] [강한 중력렌즈 현상의 예. 가운데 있는 붉은 반점이 중력렌즈로 작용하는 타원은하이다. 붉은 타원은하 주변에 있는 작은 푸른 점들(3–4개가 보임)은 타원은하보다 더 멀리 있는 천체가 이 타원은하에 의하여 그 상이 굴절되면서 여러 개로 보이는 것이다. 빛의 경로는 우주의 곡률에 따라 달라지기 때문에 이러한 강한 중력렌즈 현상을 이용하여 우주상수를 측정하는 것이 가능하다.]

는 사실로부터 암흑에너지의 존재를 조심스레 점치기도 하였다.^[6,7] 그 외에도 중력렌즈(그림 1 참조)의 성질을 살펴본 결과, 우주상수가 0이 아닐 가능성도 있다는 연구내용이 박명규 교수(경북대학교) 등에 의해 발표되기도 하였다.^[8] 1995년 Ostriker & Steinhardt는 이러한 여러 연구결과들을 종합하여 $\Lambda \approx 0.7$, $\Omega_m \approx 0.3$ 이라는 concordance cosmology의 불가피성을 역설하기에 이르렀다.^[9] 그러나 위에서 열거하였던 방법들을 사용하여 정반대의 결론을 얻은 연구들도 적지 않게 있었기 때문에 우주상수의 존재여부는 여전히 논란거리가 아닐 수 없었다.^[10,11] 그러나 이러한 일련의 연구결과들로 인하여 1990년대 중반에 이르러서는 Λ 값이 0이 아닐 수 있다는 분위기가 학계에 많이 확산이 되고 있던 것이 사실이다.

1990년대 중반까지의 연구들이 막연히 Λ 값이 0이 아닐 수 있다는 가능성을 제기한 것이었다면, 이번 노벨 물리학상을 수상하게 된 제Ia형 초신성 연구결과가 발표되기 1년 전부터는 구체적인 Λ 측정값을 제시하는 논문들이 등장하게 된다. Im(필자), Griffiths, & Ratnatunga는 1997년 2월 $\Lambda = 0.64^{+0.14}_{-0.26}$ 이라는 연구결과를 발표하였는데(그림 2), 이 연구는 우주상수의 측정을 위하여 멀리 있는 퀘이사와 관측자 사이에 위치한 무거운 은하에 의하여 퀘이사의 빛이 굴절이 되어 여러 개의 상이나 원호로 보이는 ‘강한 중력렌즈’(Strong gravitational lensing, 그림 1) 천체 7개를 사용하였다.^[12] 뒤

THE ASTROPHYSICAL JOURNAL, 475:457–461, 1997 February 1
© 1997. The American Astronomical Society. All rights reserved. Printed in U.S.A.

A MEASUREMENT OF THE COSMOLOGICAL CONSTANT USING ELLIPTICAL GALAXIES AS STRONG GRAVITATIONAL LENSES

MYUNGSHIN IM, RICHARD E. GRIFFITHS, AND KAVAN U. RATNATUNGA

Department of Physics and Astronomy, Johns Hopkins University, Baltimore, MD 21218

Received 1996 February 29; accepted 1996 August 20

ABSTRACT

We have identified seven (field) elliptical galaxies acting as strong gravitational lenses and have used them to measure cosmological parameters. To find the most likely value for Ω_m ($=\Omega_{matter}$) and Λ , we have used the combined probabilities of these lens systems having the observed critical radii (or image deflection) for the measured or estimated values of lens redshifts, source redshifts, and lens magnitudes. Our measurement gives $\Lambda = 0.64^{+0.14}_{-0.26}$ if $\Omega_m + \Lambda = 1$, and the $\Omega_m = 1$ model is excluded at the 97% confidence level. We also find, at the 68% ($\Omega = 0$)–82% ($\Omega = 0.3$) confidence level, that an open universe is less likely than a flat universe with nonzero Λ . Except for the possibility of strong perturbations due to cluster potentials and the systematic overestimate of the lens magnitudes, other possible systematic errors do not seem to influence our results strongly: correction of possible systematic errors seems to increase the significance of the result in favor of a nonzero Λ model.

Fig. 2. The abstract of the paper describing a measurement of the cosmological constant using strong gravitational lenses. The paper appeared more than 1 year ahead of the Type-Ia supernovae results on the acceleration of the universe, and this is probably the first paper presenting a positive measurement of the cosmological constant based on observational data. [강한 중력렌즈를 이용하여 우주상수가 0이 아님을 측정하였다는 연구논문의 초록. 이번에 노벨상을 받은 초신성 연구결과가 발표되기 1년 전에 이미 발표되었던 이 논문은 아마도 관측 자료로부터 구체적으로 우주상수를 측정한 최초의 논문인 것으로 보인다.]

이어 1997년 11월에는 Chiba & Yoshii도 강한 중력렌즈 현상의 통계로부터 $\Lambda \approx 0.8$ 이라는 연구결과를 발표하였다.^[13] 반면 비슷한 시기인 1997년 7월, 이번 노벨 물리학상 수상자 중의 한 명인 Perlmutter가 이끄는 초신성 연구그룹은 $\Lambda = 0.06^{+0.28}_{-0.34}$ 이어야 한다는, 즉 암흑에너지는 없다는 노벨상 수상 업적과 정반대되는 결과를 발표하였다.^[14] 그러나 그 후 두 개의 초신성 연구그룹들이 암흑에너지의 존재를 보여주는 연구결과를 1998년과 1999년에 잇달아 발표하면서 Λ 값은 0이 아니라는 사실이 학계에 받아들여지게 된다.^[15–17]

그렇다면 초신성 연구결과 발표 1년 전에 이미 Λ 값이 0이 아니라는 구체적인 결과를 제시하는 논문들이 있었음에도 불

REFERENCES

- [6] M. Bolte and C. J. Hogan, *Nature* **376**, 399 (1995).
- [7] J.-H. Park and Y.-W. Lee, *Astrophysical Journal* **476**, 28 (1997).
- [8] M.-G. Park, *Journal of the Korean Physical Society* **29**, 664 (1996).
- [9] J. P. Ostriker and P. J. Steinhardt, *Nature* **377**, 600 (1995).
- [10] C. Kochanek, *Astrophysical Journal* **466**, 638 (1996).
- [11] J. R. Primack, *Current Topics in Astrofundamental Sciences* (1998), p. 469.
- [12] M. Im, R. E. Griffiths and K. U. Ratnatunga, *Astrophysical Journal* **475**, 457 (1997).
- [13] M. Chiba and Y. Yoshii, *Astrophysical Journal* **489**, 485 (1997).
- [14] S. Perlmutter, *et al.*, *Astrophysical Journal* **493**, 565 (1997).
- [15] S. Perlmutter, *et al.*, *Astrophysical Journal* **517**, 565 (1999).
- [16] A. G. Riess, *et al.*, *Astronomical Journal* **116**, 1009 (1998).
- [17] B. P. Schmidt, *et al.*, *Astrophysical Journal* **507**, 46 (1998).

구하고 왜 그것들이 초신성 연구만큼 주목을 받지 못하였을까? 한 가지 이유는 중력렌즈라는 현상이 지닌 방법론적인 한계를 들 수 있다. 중력렌즈라는 것은 렌즈로 작용하는 은하의 성질에 대한 이해가 필수적인데 멀리 있는 중력렌즈 은하의 성질이 다소 불확실하다는 점이 약점으로 작용했을 수 있다. 반면 초신성의 경우, 경험법칙에 의거한다고 하나, 최대광도와 광도곡선 사이의 상관관계가 비교적 탄탄하게 확립이 된 상태였다. 그 다음 이유로서는 그 당시 초신성을 이용한 우주론 연구를 주도하고 있었던 두 개의 독립적인 경쟁그룹들이 똑같은 결론을 얻었다는 점을 들 수 있다. 특히 1년 전까지는 Λ 값이 0이어야 한다고 주장했던 한 그룹이 더 많은 초신성을 이용하여 추가연구를 수행하였고 이에 대한 면밀한 검토를 거친 끝에 암흑에너지가 존재해야 한다는 정반대의 결론을 얻었던 점, 그리고 경쟁그룹 또한 동시에 동일한 결론을 얻었다는 점이 초신성을 이용한 방법에 무게가 실리는 이유이다. 스웨덴 왕립아카데미에서 발표한 노벨물리학상 해설에 등장하는 다음 문구가 그런 점을 시사하고 있다: “물리학 및 천문학계가 이 놀라운 결과를 수용하게 된 결정적인 요인으로서 두 개의 연구그룹이 서로 일치하는 연구결과를 독

립적으로 제시하였다는 점을 들 수 있다. (The fact that both groups independently presented similar - albeit extraordinary - results was a crucial aspect for their acceptance within the physics and astronomy community.)” 반면, 중력렌즈 연구의 경우, 그 당시 중력렌즈를 이용한 우주론 연구를 주도했던 그룹이 자신들의 연구에 따르면 Λ 값이 0이어야 한다는 정반대의 결과를 강하게 견지하고 있었기 때문에^[10] 학계에 널리 수용되지 못하였을 것이다. 하지만 1997년 이후의 중력렌즈를 이용한 우주상수 측정결과들은 모두 non-zero Λ 를 지지한다.^[18] 초신성을 이용한 우주의 가속 팽창연구 이후 우주의 배경복사, 우주의 거대구조연구, 중력렌즈 연구, 제Ia형 초신성을 이용한 추가 연구 등이 계속 이루어지면서 우주의 가속팽창을 지지하는 연구결과들이 속속 등장하여 이제는 학계의 중론으로 되었지만, 아직까지 암흑에너지의 존재에 대하여 의문을 제기하는 연구결과들도 꾸준히 발표가 되고 있다.

REFERENCES

- [18] K.-H. Chae, *et al.*, Phys. Rev. Lett. **89**, 1301 (1999).