

스티븐 호킹박사 특별강연

우주의 시작

150억년전 대폭발로 팽창...그보다 오랜시간 흐른뒤에 종말

1

이 강의에서 나는 우주가 시작이 있었는지 그리고 종말이 있는지에 관해 논의해 보고자 한다. 모든 증거를 종합해 보면, 우주는 무한히 오래전부터 존재해온 것이 아니라 약 1백50억년 전에 시작되었다. 이는 아마도 현대 우주론의 가장 놀라운 발견일 것이다. 우리는 우주의 종말이 있을지 확실히 알지 못하지만 나는 투자를 해놓고 있는 사람들에게 아직 투자한 것들을 팔아버리기는 이르다고 장담할 수 있다. 종말은 적어도 1백억년 내에 도래하지는 않을 것이기 때문이다. 그때 정도면 한·미 무역관계의 문제들도 해결되지 않겠는가.

별들의 위치이동에 대한 시간척도는 오랫동안 인간의 수명에 비유되어 왔다. 그러므로 최근까지 사람들이 우주는 본질적으로 정적이고 변화하지 않는다고 생각한 것도 무리는 아니다. 반면에 사회가 문화와 기술면에서 발전하고 있다는 점은 아주 당연하다고 여겨져 왔다. 이는 인류역사의

한국면이 수천년 이상 계속되어 오지 않았을 것임을 보여준다. 그러므로 인류 그리고 우주까지도 매우 가까운 과거에 생겨났다고 믿는 것은 자연스럽다. 그러나 많은 사람들은 우주에 시작이 있다는 생각에 동의하지 않는데, 그 이유는 그 생각이 우주를 창조한 초자연적 존재가 있다고 암시하는 듯하기 때문이다. 그들은 인류와 우주가 영원히 존재해오면서 주기적 홍수와 자연재해로 되풀이해서 원시상태로 되돌아갔다고 믿고 싶어한다.

우주에 시작이 있는지 없는지를 둘러싼 이 논쟁은 19세기와 20세기에 걸쳐 계속되었다. 이 논쟁은 관찰에 의한 검증은 고려하지 않고 주로 신학과 철학을 기초로 하여 진행됐다. 우주적 관측들이 극히 최근까지는 믿을 만한 것이 못됐기 때문에 그랬던 것은 당연했다. 에딩톤은 이렇게 말한 적이 있다. “아마도 관측이 잘못되었을지 모르니까 당신의 이론이 관찰결과와 다르더라도 개의치 말라. 그러나 당신의 이론이 열역학의 제2법칙에 어긋난다면 그것은 곤란한 문제이다.” 사

실 우주가 영원히 존재한다는 이론은 열역학 제 2법칙에 어긋난다. 이 법칙은 엔트로피(물질계의 열적인 상태를 나타내는 물리량)나 무질서가 항상 시간에 따라 증가한다는 것을 말한다. 인류 진보의 시작을 둘러싼 논쟁처럼 그 법칙은 태초의 생성이 있어야 했다는 점을 암시한다. 그렇지 않으면 우주는 지금쯤 평형상태에 도달하여 모든 것이 같은 온도를 가질 것이다. 그리고 밤하늘은 대낮처럼 밝게 빛나야 할 것이다. 어떤 이유로 별들이 어떤 특정시간에 비로소 빛을 낸 경우가 성립되지 않는다면 말이다.

본래 정적인 우주였다면, 별들이 어째서 어느 때 갑자기 빛을 내야 했는지 역학적인 이유가 있을 수 없다. 그렇게 되자면 우주 외적 개입에 의해 '점화시간'이 결정되었어야 한다. 그러나 우주는 정태적 존재가 아니고 팽창한다는 사실을 알게 되자 상황은 달라졌다. 수많은 은하계는 계속해서 서로 멀어지고 있다. 이는 은하계들이 과거에는 더욱 가까웠다는 사실을 의미한다. 우리는 두 은하계의 거리를 시간의 함수로 그래프를 그려 나타낼 수 있다. 중력으로 인한 가속도가 없다면 그래프는 일직선이 될 것이므로, 약 2백억년 전에는 은하계들간의 거리는 0으로 될 것이다. 그런데, 중력은 은하계를 서로 가까이 끌어당기는 가속운동을 시키는 것을 안다. 이는 두 은하의 간격 그래프가 직선 밑으로 굽어져 나가게 됨을 의미한다. 그러므로 은하계간 거리가 0이 되는 것은 2백억년 이내였다.

바로 이 시간에 모든 은하계는 서로 포개어져 있었을 것인데, 이 순간을 '대폭발'(빅뱅)이라 부른다. 그 밀도는 무한대로 소위 '특이점' 상태였을 것이다. 특이점에서는 모든 물리법칙은 성립하지 않는다. 이는 대폭발 이후의 우주상태가 대폭발 이전에 발생했는지도 모르는 것과는 아무 상관없다는 것을 뜻한다. 우주는 대폭발 이전의 어떤 것과 완전히 독립하여 대폭발로부터 진화한 것이다. 심지어 우주의 물질총량조차 대폭발 이전과 다를 수 있다. 대폭발에서는 질량보존의 법칙조차 안 통할 것이기 때문이다.

대폭발 이전에 일어난 사건은 아무런 관찰결과

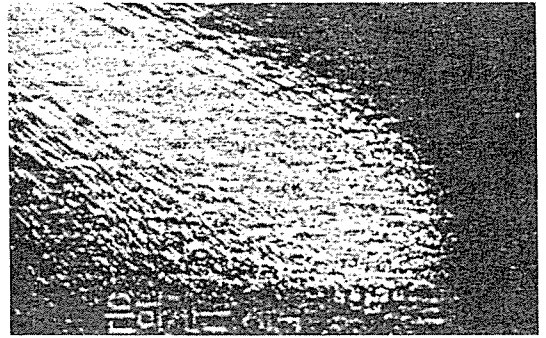
를 남기지 않으므로 우리는 그것을 이론에서 제외하고 시간은 대폭발과 동시에 시작되었다고 말할 수도 있겠다. 대폭발 이전의 사건들은 정의 자체가 되지 않는다. 무엇이 발생했는지 측정할 방법이 없기 때문이다. 이러한 우주의 시작은 이전에 생각해온 우주의 시작들과는 판판이다. 과거의 생각은 '어떤 외적인 신의 섭리가 우주에 작용했을 것'이라는 믿음을 요구했다. 예를들면 어째서 태양계의 천체운동 법칙이 기원전 4004년 훨씬 이전으로 거슬러 올라가서는 적용될 수 없는지 역학적 근거가 없다. 기원전 4004년은 《창세기》에 근거해 우주창조가 이루어진 해라고 전통적으로 인정되는 해이다. 이와 대조적으로 대폭발은 우주를 지배하는 역학적 법칙의 요구에 따른 우주의 시작이다. 그러므로 대폭발은 우주 고유의 것이지 우주 밖으로부터 부여된 것이 아니다.

과학의 법칙들은 우주의 시작이 있다는 점은 예언했지만, 우주가 어떤 식으로 시작했는지를 결정할 수 없다는 점도 예언하는 것 같았다. 이는 매우 불만스러운 일이었다. 그래서 과거에 무한대의 밀도를 갖는 특이점이 있었다는 결론을 피하려고 많은 노력이 경주되었다. 중력의 법칙을 수정하여, 척력(미는 힘)이 생기도록 하려는 제안도 있었다. 그 이론에 따라 은하계의 거리 그래프를 그리면 과거의 어떤 유한시간도 거리가 0이 되는 점을 통과하지 않는 지수곡선이 된다. 그 대신 이 이론은 은하계들이 서로 멀어지며서 그 사이에 물질이 연속적으로 생성되어 새로운 은하계들을 만들어낸다고 주장한다. 이것이 본디, 골드, 호일에 의해 제안된 '定狀우주론'이다.

정상우주론은, 칼 포퍼 이론에 따르면, 훌륭한 과학적 이론이라 부를 만한 것이었다. 그것은 관찰에 의해 입증되거나 부정되거나 부정될 수 있는 분명한 예측을 담고 있었기 때문이다. 그리고, 제안자들에게는 안됐지만, 그 이론은 곧 부정되었다. 이 이론이 첫번째 부당친 어려움은 각기 다른 강도의 전파원의 빈도에 관한 케임브리지 관

측소의 관찰결과를 설명하는 것이다. 평균적으로 보아 희미한 전파원일수록 더욱 멀리 떨어져 있을 것이다. 그러므로 우리에게 가까이 있는 강한 전파원의 수보다 희미한 전파원의 숫자가 많을 것이 예상된다. 그런데 관측결과 알게 된 전파원의 숫자를 그 밝은 정도에 따라 그래프로 그려보니 강도가 낮은 전파원의 수효는 급격히 솟아올라서 '정상우주론'이 예측하는 것보다 훨씬 많았다. 이 그래프에 나타나는 미약한 전파중 일부는 우리 은하계 자체에 존재하므로 우주의 구성과는 무관하다는 식으로 이 전파원 그래프를 설명하려는 시도도 있었다. 그러나 이러한 주장도 새로운 관측결과들을 제대로 설명할 수가 없었다. 정상우주론을 결정적으로 넘어뜨린 것은 1965년의 배경복사장 발견이었다. 이 방사선은 어느 방향에서나 동일했다. 그것은 절대0도(-273℃)보다 2.7 K 높은 곳에서 열평형상태가 되는 방사선 스펙트럼을 가지고 있다. 정상우주론에서는 이러한 방사선을 설명할 방법이 없는 것 같다. 호일은 이 방사선이 은하공간 전체에 퍼져있는 鐵針이 자외선으로 열을 받아 복사선을 내기 때문이라고 아직도 주장하는 것으로 안다. 그러나 우주탐사 위성에 의한 최근의 배경복사장 관찰결과는 그것이 완전한 열스펙트럼을 갖고 있다는 사실을 알려주고 있으며 그 때문에 호일도 결국 정상우주론을 이제는 포기하리라고 생각한다.

시간의 시작을 거부하는 또다른 제안은 과거에 모든 은하계가 한 점에 모여 있지 않았으리라는 것이다. 평균적으로 은하계가 일정한 속도로 서로 멀어진다고 하더라도, 균일한 팽창에 추가해서 작은 속력의 운동이 있다고 보는 것이다. 은하계들의 이른바 '특이한 속도'는 우주팽창과는 다른 방향일 수도 있게 된다. 은하계의 위치를 과거로 추적해갈 때 그러한 추가적인 편향속도 때문에 모든 은하계가 한 곳에 모인 것은 아님을 알게 된다. 그 대신 은하계가 서로를 향해 거리를 좁히는 우주의 전단계의 수축이 존재했을 가능성도 있는 거이다. 편향속도는 은하계가 한 점에서 충돌하는 대신 서로를 향해 돌진하다가 스쳐 지나가 다시 서로 멀어지기 시작했음을 의미할 수



은하계는 계속해서 서로 멀어지고 있다. 이는 과거에 은하계가 가까웠다는 사실을 의미한다. 은하계간의 거리가 0이 되는 시간에 모든 은하계는 서로 포개져 있었을 것이다.

도 있다. 거기서는 무한한 밀도의 특이점 혹은 물리학적 법칙의 붕괴가 없었을 것이므로 우주, 그리고 시간 그 자체의 시작이 있을 필요가 없다. 그렇다면 우주는 그 전부터 수축과 팽창의 순환을 계속했다는 가정이 나올지도 모른다. 그러나 이것은 열역학 제2법칙과 상충된다. 이 법칙에 따르면 진동이 거듭되면서 우주는 더욱 혼돈으로 갈 것이기 때문이다. 그러므로 무한한 시간동안 우주가 진동을 한다는 생각은 성립하기 어렵다.

은하들이 서로 충돌하는 대신 서로 스쳐지나갈 수 있었을 가능성은 1963년 리프쉬츠와 할라트니코프의 논문에서 지지를 받았다. 엄밀한 대칭성을 하나도 갖고 있지 않다는 의미에서 가장 일반적이라고 할 수 있는 일반상대론 장방정식의 풀이에는 특이점이 없다고 그들은 주장했다. 그러나 그들의 주장은 로저 펜로즈와 나 자신이 제시한 여러 정리들에 의해 오류임이 드러났다. 이 정리들은 일정한 영역에 얼마 이상의 물질이 있으면 일반상대론은 특이점의 존재가 반드시 있도록 요구함을 보여준다. 제1정리는 별의 수축으로 형성된 블랙홀의 내부에서 시간이 끝난다는 것을 증명하기 위해 고안되었다. 그런데 우주의 팽창은 별의 붕괴과정을 시간적으로 거꾸로 돌려놓는 것과 유사하다. 그러므로 나는 여러분에게 우주가 충분한 물질을 포함하고 있음을 관측결과가 제시하고 있으며, 그것은 곧 블랙홀의 시간역전

과 유사함을 보여주려 한다. 우주물리학에서 보여주는 관측을 논의하기 위해서는 수평좌표에 시간을 표시하고 수평좌표에 공간을 표시하는 시공이 사건도표를 그려보는 것이 유용하다. 이 도표를 제대로 제시하기 위해서는 4차원 스크린이 필요하다. 그러나 이곳에는 겨우 2차원의 스크린만 있기 때문에 나는 공간좌표의 한 차원만을 보여줄 수 있을 것이다.

우리가 우주를 바라본다는 것은 곧 과거의 시간을 보는 것과 같다. 왜냐하면 현재의 우리에게 도달하는 빛은 매우 오래전에 먼 곳의 물체를 떠났기 때문이다. 이것은 우리가 관찰하는 사건이 우리가 '광추'라고 부르는 시공좌표의 원추위에 있다는 것을 의미한다. 그러므로 현재의 우리 위치는 원추의 꼭지점이다. 시간좌표를 거슬러 올라가면 광추는 훨씬 확장되며 그 영역은 확대된다. 그러나 과거의 광추에 충분한 양의 물질이 있다면, 광선은 서로 가까워지도록 할 것이다. 이것은 우리가 과거로 돌아갈 경우 과거의 광추 영역이 최대에 도달했다가 수축함을 보여준다. 블랙홀의 시간역전처럼 우주가 자체의 지평선내에 있다는 아이디어는 바로 우주내 물질의 중력효과에 의해 과거광추가 이처럼 집중된다는 데에서 온 것이다. 만일 과거의 광추면이 초점에 집중될 수 있을 만큼 우주안에 충분한 물질이 있다는 것을 알게 된다면 시간의 시작을 증명하기 위해 특이점의 정리를 적용할 수 있을 것이다.

관찰결과로부터 과거의 광추면이 집중될 만큼 충분한 물질이 있는가의 여부를 어떻게 알 수 있을까. 우리는 수많은 은하계를 관찰하지만 그 은하계가 얼마나 많은 물질을 포함하고 있는가를 직접적으로 측정할 수는 없다. 또한 우리의 각 시선이 한 은하계를 통과할 것이라고 확신할 수도 없다. 그래서 나는 과거의 광추면이 집중될 수 있을 만큼 우주가 충분한 물질을 포함하고 있음을 보여주기 위해서 또다른 논리를 제시하고자 한다. 배경복사장 스펙트럼은 물질이 동일한 온도에 있는 열평형에서 복사선이 갖는 특징을 갖고 있다. 그러한 평형에 도달하기 위해서는 우주공간의 물질에 의해 복사선이 여러번 산란되어야 한다. 예

를 들어보자. 태양으로부터 우리에게 도달하는 광선은 특유한 열스펙트럼을 갖게 된다. 이러한 현상은 태양 내부에서 진행되는 핵반응이 열스펙트럼을 갖는 방사선을 만들기 때문이 아니다. 그게 아니고 태양 중심부로부터 나오는 방사선이 태양 자체의 물질에 의해 여러번산란되기 때문이다.

3

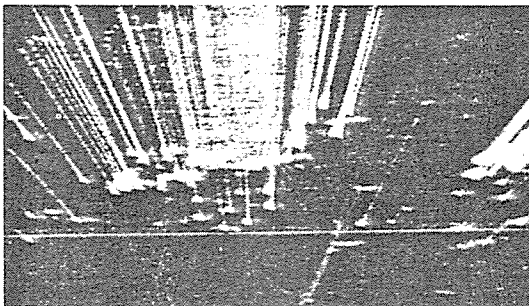
우주의 경우, 배경복사장이 정확한 열스펙트럼을 가진다는 사실은 그것이 여러차례에 걸쳐 산란돼왔음을 보여준다. 배경복사장은 우리가 바라보는 모든 방향에서 같은 것이므로, 우주는 우리가 바라보는 모든 방향에서 우주를 불투명하게 만드는 물질을 상당히 많이 함유하고 있음에 틀림없다. 더구나 우리는 대단히 먼 거리에 있는 은하수나 '준항성'을 볼 수 있다. 이로 미루어 이 불투명성은 우리로부터 매우 먼 거리에서 일어나는 것이 틀림없다. 밀도가 일정하다고 할 때 광대한 전파대에 걸쳐 가장 불투명한 것은 이온화된 수소이다. 우주를 불투명하게 만드는 충분히 많은 물질이 있다면, 과거광추의 집중에 필요한 충분히 많은 물질이 존재한다는 이야기가 된다. 그러므로 일반상대성이론이 옳다면, 시간이 그 시작을 가지고 있다는 것을 보여주기 위해 나와 펜로즈의 정리를 적용할 수 있다.

일반상대성이론이 옳다면 과거의 광추면의 집중은 시간이 틀림없이 그 시작을 가지고 있다는 사실을 시사한다. 그러면 사람들은 일반상대성이론이 옳은지 그른지 의문을 제기할지도 모른다. 그 이론은 지금까지 행해진 모든 관측 테스트와 합치된다. 그러나 이들은 상대성이론을 그저 상당히 큰 거리에서만 검증할 뿐이다. 아는바와 같이 일반상대론은 고전적 이론이므로 짧은 거리에서는 정확하지 못한데, 이는 양자역학의 불확정성의 원리를 고려하고 있지 않은 탓이다. 불확정성의 원리는 입자들의 정확한 위치와 정확한 속도를 동시에 측정할 수 없다는 사실을 보여준다. 입자의 위치를 더 정확하게 측정하면 할 수록 그

것의 속도는 더욱 부정확해지며 그 반대도 마찬가지이다. 그러므로 우주가 매우 작았을 때의 초고밀도 공간을 이해하려면 불확정성의 원리와 상대성 원리를 통합하는 중력의 양자이론을 알 필요가 있다. 많은 사람들은 무한대의 밀도에 의한 특이점을 양자효과로 없앨 수 있지 않을까, 그리고 재팽창시키고 또 수축되는 일을 반복시킬 수 있지 않을까 하고 희망했다. 이 생각은 은하계가 서로 비껴간다는 앞서의 생각에 약간 가깝지만, 재팽창은 보다 밀도가 높은 상태에서 가능하다. 그러나 나는 이러한 일이 일어난다고는 생각하지 않는다: 양자효과는 특이점을 제거하지 않으며, 시간이 무한히 과거를 갖도록 하지도 않는다. 그러나 양자효과는 고전적 일반상대론에서의 특이점에 대해 가장 문제가 되는 특징을 제거할 수는 있을 것이다. 특이점에서는 모든 물리학적 법칙이 붕괴되기 때문에, 고전적 이론으로는 특이점에서 이루어지는 상황을 예측할 수 없다. 이것은 우주가 어떻게 시작되었는가를 과학이 예언할 수 없다는 것을 의미할 것이다. 대신에 사람들은 우주 외부의 어떤 작용에 호소해야 할 것이다. 이것이 아마도 카톨릭교회가 대폭발 이론과 특이성의 정리를 쉽게 받아들이게 된 이유일 것이다.

양자효과가 시간의 시작 당시의 특이성을 제거할 것 같지는 않다. 고전적 이론이 실수에 근거한 것과는 대조적으로 양자이론은 본질적으로 복소수개념에 바탕하고 있다. 특히 양자이론은 복소

무경계가설은 우주의 미래에 대한 '우주가 결국 재붕괴한다'는 것을 말해준다. 그러나 우주의 종말이 가까워졌다고 걱정하기에 앞서 우리가 처리해야 할 더 급한 문제들이 있을 것이다.



수시간 개념을 도입한다. 보통의 실수 대신 시간이 복소수로써 측정된다는 것이다.

보통의 실수시간을 가로축으로, 허수시간을 세로축으로 표시하는 도표를 그릴 수 있다. 이 도표 위에서 동일 수평선상의 점들은 보통의 실수시간 간격으로 배열된 사건을 의미한다. 수직선상에선 허수시간 간격으로 배열될 사건을 말한다. 허수의 시간간격은 공간의 일반적인 3방위에 대한 제4의 방위처럼 직각으로 되어 있다. 보통 공간의 3차원과 허수까지 합해서 4차원의 유클리드 시공간이 된다. 그리고, 허수시간과 보통 공간은 구별이 안되게 동등하다. 한편 이 3차원의 공간과 실수시간은 민코프스키 공간과 같은 시공간을 형성하는데, 이 시공간에서는 시간방위와 공간방위가 다르게 나타난다.

실제시간의 경우, 단지 두가지 가능성만이 존재한다. 즉 시간이 과거로 무한대로 계속되든가, 특이점에서 시작점을 갖든가이다. 그러나 허수시간 방위에 있어서는 제3의 가능성이 존재한다. 허수시간은 또 하나의 공간적 방위와 유사하기 때문에 공간과 허수시간이 넓이는 유한하지만 경계나 끝이 없는 시공간을 형성하는 것이 가능하다. 그것은 마치 지구의 표면에 2개의 차원을 추가한 것과 같을 것이다. 지구의 표면은 넓이가 유한하지만 경계나 가장자리가 있지는 않다. 나는 세계를 일주하여 보았지만 떨어져나간 적은 없었다.

짐 하틀과 나는 공간과 허수시간이 합쳐진 시공간은 경계가 없지만 유한하다고 제안해 왔다. 이렇다면 물리학적 법칙을 붕괴시키는 허수시간 방위상의 어떤 특이점도 존재하지 않을 것이다. 그리고 지구의 표면에 경계가 없는 것처럼 허수시간의 시공간에도 어떤 경계가 없을 것이다. 경계가 없다는 것은 물리학적 법칙이 허수시간 안에서 우주의 상태를 (완전히)유일하게 결정한다는 것을 의미한다. 그런데 허수시간 안에서 우주의 상태를 알게되면 수학적인 해석적 기법에 따라 실제시간 안에서 우주의 상태를 알 수 있게 된다. 실제시간에서 대폭발과 같은 특이점을 기대할 수도 있다. 상수가 아닌 해석함수는 어딘가

에 특이점을 가지고 있어야 한다. 그래서 실수시간에서는 시작이 있게 된다. 그러나 우주가 어떻게 시작되었는가를 알기 위해 사람들이 신 같은 우주밖의 어떤 것에 호소할 필요는 없다. 대신 허수시간에서의 우주의 상태에 의해서 대폭발로부터 우주가 어떻게 시작되었는가가 결정될 것이다. 그러므로 우주는 완전히 독립적인 상태인 것이다. 우리가 관찰하는 물리적 우주밖에 어떤 것이 실재한다고 가정할 필요는 없는 것이다.

4

무경계 조건은 물리학의 법칙들이 어디에서나 적용된다는 것을 말한다. 분명 이는 우리가 그대로 믿고 싶어하는 것이지만 이는 하나의 가설이다. 우리는 이 가설이 예측하는 우주의 상태와 실제의 우주를 관측한 것을 비교함으로써 그 가설을 검증해 보아야 할 것이다. 관측결과가 무경계 가설의 예측과 일치하지 않을 경우 우리는 그 가설이 잘못되었다고 결론지어야 할 것이다. 그렇다면 우주의 밖에 무언가 있어야만 한다. 그것은 우주의 태엽을 감아서 우주가 돌아가게 만드는 무엇이다. 물론 관측이 예측과 일치한다 하더라도 무경계 가설이 옳다는 것을 입증하지는 못한다. 그러나 우주의 양자상태에 대한 다른 자연스런 제안이 없어 보이므로, 무경계 가설에 대한 신뢰도는 커지게 될 것이다.

무경계 가설은 우주의 기원에 대해서 무엇을 예언하고 있는가. 양자역학에 따르면 우주는 오직 한번의 역사만을 가지고 있는 것이 아니라 오히려 가능한 모든 역사를 가지고 있는 것으로 생각할 수 있다. 각각의 역사는 '진폭'이라는 복소수와 관련되어 있다. 이것이 그 역사가 실현되는 가능성의 확률을 준다. 그것은 파동의 골과 마루 사이의 위치인 '위상'과 파동의 크기로 생각할 수 있다. 역사의 진폭은 그 역사속에서 무엇이 일어나는가에 의해 정해진다. 대부분의 경우 역사의 미소한 변화에 대해서도 진폭의 위상은 대단히 빨리 바뀐다. 그런 역사의 진폭은, 약간 다른 역사의 진폭에 의해 거의 상쇄되어 버릴 것이다. 그

것은 마치 한 파동의 최고점과 다른 파동의 최저점이 겹치도록 두 파동을 합쳐놓은 것과 같은 것이다. 2개의 파동은 서로를 상쇄시켜 아무것도 남겨놓지 않을 것이다. 그러나, 어떤 역사는 약간 다른 역사의 진폭이 전혀 바뀌지 않는 예로 있을 것이다. 이런 경우 약간 다른역사의 진폭은 서로 더해질 것이다. 그것은 한 파동의 최고점에 다른 파동의 최고점이 겹치도록 두 파동을 합쳐놓은 듯이 서로를 강화시키는 것과 같다. 이는 곧 이들 역사가 구현될 확률이 훨씬 높음을 의미한다.

역사가 약간 변해도 진폭은 변하지 않는 그런 역사는 일반상대론의 場방정식에 대한 풀이가 된다. 그러나 이러한 풀이에서는 시간과 공간이 고전적 일반상대성 이론에서와는 달리 실수로서가 아니라 복소수로 존재한다. 물론 우리가 측정하는 시간과 공간은 항상 실수값이다. 그러나 장방정식의 복소수 풀이들은 여러가지 측정 가능한 실수양들의 확률을 계산하는데 쓰인다.

우주는 근사적으로 말해 어떤 위치에서나, 어느 방향으로나 균일하다. 그래서 질량이 영이 아닌 스칼라 입자(파이 중간자·스칼라는 방향이 없고 크기만 있는 양)가 들어 있는, 닫힌 공간인 프리드만 우주모형을 고려하겠다. 무경계 상태를 만족시키기 위해서는, 닫힌 공간인 프리드만 우주모형을 고려하겠다. 무경계 상태를 만족시키기 위해서는, 지구의 표면이 북극에서 닫혀 있듯이, 그 우주모형이 허수시간 방향으로 닫혀 있어야 한다. 우주의 크기는 북극점을 중심으로 하는 동서 위도선의 길이처럼 생각하고, 허수시간 방향은 남북방향으로 이해할 수 있을 것이다. 이 비유를 따르면 지구의 북극은 허수시간 속에서 우주의 시작이 되는 셈이다. 북극에서는 동서 위도선의 길이가 0이듯이 우주는 0의 크기에서 출발하였을 것이다. 허수시간이 커짐에 따라 우주도 확장될 것이다. 이는 북극에서 남쪽으로 이동함에 따라 동서 위도선의 길이가 증가하는 것과 마찬가지로, 동서 위도선의 길이가 적도에서 최대가 되듯 우주도 허수시간 속에서 최대의 크기에 이를 것이다.

우리는 실제시간을 수평으로, 허수시간을 수직

으로한 도표를 통해서 이러한 풀이가 어떻게 나타나는가 알아볼 수 있다. 그리고 우주의 크기가 0인 북극점 같은 지점으로부터 시간을 측정할 수 있다. 우리는 북극이 지표상의 보통의 지점이듯이, 이 시작의 점도 시공 속에서의 보통의 지점(특이점이 아니란 뜻)으로 하는 조건을 붙일 수 있다. 그리고 우리는 시간의 시초에서 스칼라장의 값이 주어진다면서, 정방정식을 적분하여 복소수시간의 모든 값에 대한 풀이를 결정할 수 있다.

5

이 풀이에서는 우주의 크기가 양의 허수시간축을 따라 최대치까지 증가하다가 다시 0으로 감소한다. 만일 스칼라장의 초기값의 크다면 그 최대치는 작고, 원점에 가까운 곳에서 일어날 것이다. 우주의 크기가 최대인 허수축상의 점에서 실수시간의 방향으로 해답을 적분할 수 있다.

내 제자중의 하나인 글렌 라이온스의 작업은 이 방향으로 해답을 쫓아가면 우주의 크기가 거의 실수로 남게 됨을 보여준다. 이렇게 되기 위해서는 스칼라장의 최초의 값이 정확히 선택되어야 한다. 물론 우주의 크기, 그리고 우리가 관찰한 스칼라장의 값은 언제나 실수이다. 그러나 그것은 이 해답에 의해 거의 근사하게 구해진다. 어떤 의미에서 우주는 시간의 허수방향으로 0에서 어느 정도까지 팽창하다가, 바뀌어서 실수시간으로 팽창한다고 볼 수 있다. 그러나 이것은 모든 복소수 역사의 총합은 과연 어떠한 것인가를 바라보는 단지 하나의 방법에 불과하다.

누구든 시간의 절대값을 관측할 수는 없고 단지 사건들간의 시간 간격만을 파악할 수 있다. 따라서 횡선을 따라, 허수축의 최대치로부터 시간은 실수로 나타난다. 우주는 최초로 급격히, 즉 기하급수적으로 팽창한다. 이것은 린데에 의해 제안된 혼돈 인플레이션 모델에서의 형태와 유사하다. 그리고서 정상적인 뜨거운 대폭발 모델로 옮겨갈 것이다.

이 단순한 모델에서 무경계 상태는 이처럼 인플레이션적 급격 팽창을 예측시켜 준다. 그런데

우리는 우주가 정확히 동질적인 것도, 등방위적인 것도 아닌 좀더 일반적인 모델이라고 상정해볼 수 있을 것이다. 만일 동질성으로부터 벗어난 정도가 충분히 크다면 우주는 급팽창하지 않을 것이다. 그러나 예비적인 계산을 해보면 우주가 대단히 비동질적인 확률이 낮다는 것을 알 수 있다. 그러므로 무경계 가설은 급팽창의 확률이 높다고 예측한다. 이것은 은하계 형성의 표준적 모델에 필요하다고 생각되는 크기 변화에 대한 대칭성을 갖는다. 이처럼 무경계 가설의 예측은 관측과 일치하는 것 같다. 이것은 무경계 가설이 옳다는 것을 증명해주지는 않지만 그것에 한층 신뢰를 더해준다.

무경계 가설이 우주의 미래에 대해 말해주는 것은 무엇인가. 그것은 우주가 허수시간에서 뿐만 아니라 공간에서도 유한하다는 것을 요구하고 이는 우주가 결국 붕괴한다는 것을 시사한다.

그러나 지금껏 팽창해온 1백50억년보다 훨씬 긴 시간동안에는 다시 붕괴하지 않을 것이다. 우주의 종말이 가까워졌다고 걱정하기에 앞서 우리가 처리해야 할 더 급한 문제들이 있을 것이다.

결론은 우주가 영원히 존재해온 것은 아니라는 점이다. 오히려 우주와 시간 그 자체는 지금으로부터 약 1백50억년전의 대폭발에 그 연원을 두고 있다. 실수시간의 시작은 특이점이었을 것이며, 여기에서는 물리학의 법칙들이 붕괴되었을 것이다. 그럼에도 불구하고 우주가 시작된 방식은 우주가 무경계 조건을 충족시키는 한, 물리학 법칙에 의해 결정되었을 것이다. 이것은 허수시간 방향에서 시공간이 크기는 유한하지만 경계는 없다는 것을 말한다. 무경계 가설이 예측하는 바는 관찰과 일치하는 것 같다. 또 무경계 가설은 우주가 종말을 맞이할 것이라는 점을 예견하지만 나는 그것에 대해 걱정하는 것은 우리 후손의 몫으로 남겨두어도 될 것이라고 생각한다.

이 글은 시사저널 초청으로 내한한 스티븐 호킹박사가 지난 9월10일 서울대 문화관에서 강연한 내용이다.
..... <편집자註>