46억년 전으로의 여행

Minjae Kim (김민재)

ITAP, Kiel Univ., Germany (이론물리 및 천체물리학 연구소, 킬 대학교, 독일)
LSW, Heidelberg Univ., Germany (주립 천문대, 하이델베르크 대학교, 독일)



천체 삽화가의 상상도: 우리 태양계의 시초가 된 태양계 성운의 상상도 Credit: NASA

위대한 뉴턴의 실수 그리고 성운설

크리스마스는 예수님이 태어난 날이기도 하지만, 뉴턴이 태어난 날이기도 합니다. 따라서 물리학자들은 크리스마스때에 “메리 뉴턴 마스” 라는 인사를 종종 나누곤 합니다. 물리학에서는 뉴턴이 예수와 같은 사람이기 때문일 것입니다. 미적분학의 발명과 정립에 있어서 독일의 수학자 라이프니츠는 뉴턴과 경쟁자 였습니다. 따라서 둘의 사이는 그다지 좋지는 않았다고 합니다. 그런 라이프니츠 조차 "인류 역사상 뉴턴이 살았던 시대까지의 수학을 놓고 볼 때, 뉴턴이 이룩한 업적이 반 이상이다.” 라는 엄청난 존경의 찬사를 보냈습니다. 뉴턴이 가져온 가장 큰 변화중 하나는 기존 아리스토텔레스 사고관의 붕괴였습니다. 뉴턴의 중력 법칙은

© copyright VeKNI. e. V.

재독한국과학기술자협회
Verein Koreanischer Naturwissenschaftlicher und Ingenieure in der BRD e.V
The Korean Scientists and Engineers Association in the FRG

“내가 다른 사람보다 더 멀리 앞을 내다볼 수 있다면, 그것은 거인들의 어깨를 딛고 서 있기 때문입니다.”

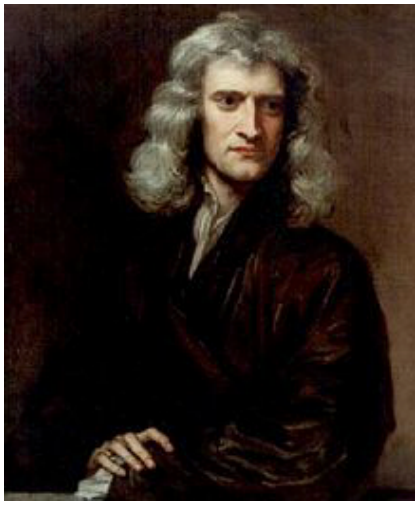


그림 1. 아이작 뉴턴경. (화가 : Sir. Godfrey Kneller (1689))

출처 : http://www.newton.cam.ac.uk

그동안 신성시 되던 천상이나, 천대받던 지상 모두 같은 한가지의 우주법칙을 따른다는 법칙입니다. 논리적이고 과학적인 뉴턴의 설명에 기존 아리스토텔레스 사고관은 빠르게 붕괴되어 갔습니다. 많은 과학자들은 인류 역사상 가장 총명 했던 천재로 아인슈타인을 뽑지만, 이 아인슈타인이 서 있을 수 있던 어깨가 되주었던 거인은, 다름 아닌 뉴턴이었습니다. 실로 뉴턴이 남긴 업적은 정말 엄청 났습니다. 미적분학의 기초를 세우고 고전역학을 다졌다는 업적 만으로도 학계와 대중 양측에서 인류 역사상 가장 영향력 있는 사람들 가운데 1명으로 꼽힐 만합니다. 이처럼 뉴턴의 이론을 바탕으로 비로소 천문학은 찬란한 발전을 이룩하기 시작했지만, 정작 뉴턴 자신에게는 거부할 수 없었던 신의 존재가 커다랗게 자리 잡힌탓에[1] 성운설을 주장할 수 없었습니다. 사실 뉴턴은 물리학자 이기 이전에 신학자 이자 성직자 였기 때문입니다. 뉴턴이 저술한 분량으로만 따지면 신학 관련 저술이 오히려 물리학 관련 저술보다 더 많습니다[2]. 영국의 물리학자 데이빗 브루스터는 그의 수많은 저서중에서 단연코 가장 중요한 출판물로 손꼽히는 <뉴턴의 삶> 에서, 뉴턴을 이렇게 묘사했습니다. “뉴턴이 종교적 믿음 때문에 성운설을 무신론적 이론으로 여겼다. 신의 중재 없이 오래 된 체계로부터 새로운 체계가 자라난다는 것은 뉴턴경에게 확실히 터무니 없는 것처럼 보였을 것이다.” 이처럼 위대한 뉴턴은 의도 되었든, 의도되지 않았든 행성운동의 기원을 “신의 일격”으로 주장하는 실수를 (적어도 물리학적으로는) 범했습니다. 인간의 신에 대한 믿음은 예나 지금이나 초월적이고 신비로운 관계에 놓이나 봅니다. 하지만 뉴턴 사후에 뉴턴의 이론을 중심으로 금기되었던 사항들이 하나 둘씩 무너지고, 차차 천문학은 논리적인 학문이 되어가기 시작했습니다.

뉴턴 사후 20여년이 지나자, 프랑스의 철학자 드 뷔퐁이 “태양계는 공통의 기원을 가지고 있다”는 내용의 성운설을 발표했습니다. 모든 물질들은 중력으로 인해 뭉쳐지면서 둥근형태를 이룬다는 점을 근간으로 하는 이 최초의 성운설은 최초의 본격적인 태양계 형성에 관한 이론이었습니다. 이후 이 성운설에 대해서 뉴턴역학의 원리를 적용하여 물리학적으로 설명하고자 했던 사람은 다름 아닌 고독의 철학가 임마누엘 칸트였습니다. 이 이론이 훗날 “라플라스-칸트의 성운설”로 알려진 이론입니다. 칸트는 우주의 생성 그리고 진화에 관하여 중력과 반발력 그리고 그들이 대립되는 관계를 믿었습니다. 이 이론에 따르면, 태양계의 기원은 지름이 몇광년이나 되는 큰 원시구름(가스성운)입니다. 천천히 자전하던 이 가스성운은 온도가 식으면서 중력에 의한 수축이 이루어지고, 이 수축으로 인해서 회전이 빨라지게 됩니다. 그리고 마침내 그 중심부

---

[1] 뉴턴은 전통적인 기독교 성직자는 아니었지만, 신앙심이 깊었다고 합니다. 그는 심지어 자연과학보다도 성서 해석에 더 많은 시간을 쏟았습니다. 뉴턴은 너무도 아름다운 미적분과 자연과학의 법칙때문에 완벽한 창조주의 존재를 믿었던게 아닐까 합니다.

[2] 거시경제학 이론을 만든 케인즈는 무료한 탓에 뉴턴에 관한 연구를 하였고 이 때문에 알려진 내용입니다.

© copyright VeKNI. e. V.

재독한국과학기술자협회
Verein Koreanischer Naturwissenschaftlicher und Ingenieure in der BRD e.V
The Korean Scientists and Engineers Association in the FRG

에는 원시 태양이 탄생하게 됩니다. 공간을 채우고 있는 원소들은 서로를 움직이게 하는 힘을 가지고 있고, 그러한 힘들은 그 자체가 생명이고 근원입니다. 모든 물질들은 저마다의 형태를 이루려고 분투하는 동안 밀도가 높은 원소들이 작은 원소들을 끌어당기면서[3] 커지곤 합니다. 성운설은 행성들의 동일한 평면 상에서의 운동, 행성의 공전방향과 태양의 자전방향 일치등을 잘 설명할 수 있었기에 논리적이고 과학적인 최초의 이론이라고 할 수 있었습니다. 하지만 회전하는 물체의 운동량을 볼때, 원시성운은 응축이 불가능하다는점이 밝혀져 이 이론은 그만 폐기되고 말았습니다. 여기서 또 한번의 반전이 일어납니다. 불과 30년 전에 어린 별들을 관측한 결과, 먼지와 가스로 둘러 쌓인 아주 큰 원반 - 지금은 원시 행성계 원반이라고 불리우는- 으로 둘러 쌓여 있음이 밝혀져서 성운설은 다시금 고개를 들게 되었습니다. 태양계를 구성하고 있는 모든 천체 들은 원초적인 하나의 물질에서 분리되어 우주공간을 채운것이라는 이 주장이 현재의 과학기술에 의해 어떻게 증명이 되고 반박이 되었는지 하나씩 살펴 보겠습니다.

태양계란?

먼저 태양계(Solar System)의 정의 부터 살펴보겠습니다. 태양계는 대략 46억 년 전 분자구름의 중력붕괴로 형성된 태양과 이 태양의 중력에 이끌려 태양을 돌고있는 주변 천체 모두를 말합니다. 우리 은하 내 수천 억개의 별들 중 아주 평범한 별인 우리 태양은 여타 다른 별들 처럼 태양계를 거느리고 있습니다. 우리 은하 나선 팔의 파동운동 영향으로 초기의 탄생 위치에서 멀리 이동했을 것으로 추측되며, 현재 은하 중심에서 태양까지의 거리는 약 26,500 ± 1,400 광년[4] 입니다. 수평 방향으로는 전체 은하 디스크의 중간 위치에 자리하고 있으며, 수직 방향으로는 은하 기준평면(은위 0도)으로 부터 약 60~70광년 정도 거리의 윗부분에 위치하고 있습니다. 그림2에서 빨간 별표가 우리 태양계의 위치를 나타내고 있습니다.

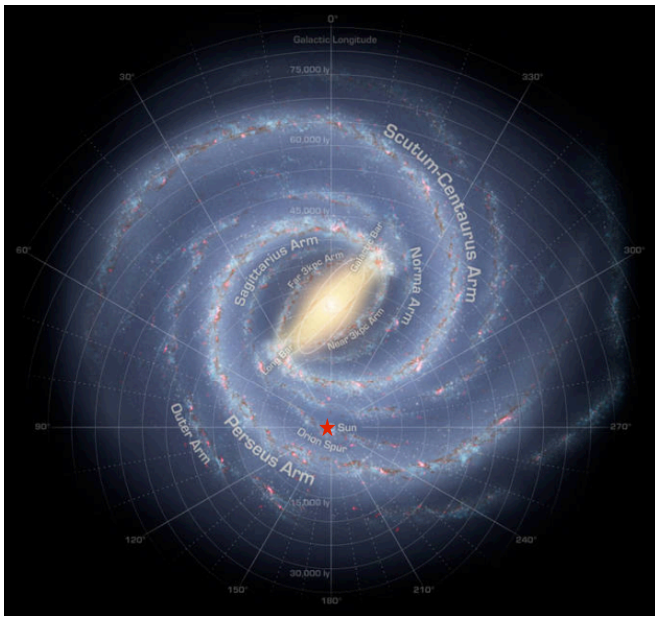


그림 2. 우리 은하계의 모습입니다. 중앙 하단 부분에 다소 큰 별표로 표시 되었지만, 빨간별의 위치가 우리 태양의 위치입니다.

출처 : NASA

태양을 중심으로 공전하는 행성은 태양계 안쪽 먼지원반인 소행성띠 (Astroid belt) 보다 안쪽에 있는 네

[3] 이는 중력의 법칙을 의미합니다. 밀도는 질량과 비례하므로, 큰질량의 물체가 작은질량의 물체를 끌어당김을 의미합니다.

[4] 1광년(light year) 은 빛이 1년동안 갈 수 있는 거리를 말합니다. 단위로는 Ly라고 표현하며 1Ly = 9,460,730,472,580.8 Km 의 거리와도 같습니다.

© copyright VeKNI. e. V.

개의 지구형 행성인 수성, 금성, 지구, 화성 그리고 소행성띠 (Astroid belt) 보다 바깥쪽에 있는 네 개의 목성형 행성인 목성, 토성, 천왕성, 해왕성으로 구성 되어있습니다. 각각의 행성들은 그들을 공전하는 위성들을 가지고 있습니다. 해왕성의 공전 궤도 정도부터는 대부분 물, 암모니아, 메탄 등이 얼어 있는 형태로 구성되어 있는 태양계 바깥쪽 먼지원반인 카이퍼대가 있습니다. 더 바깥쪽에는 긴 주기를 가진 혜성들의 고향으로 알려져 있는 오르트 구름(Oort Cloud)이 있는데 이 크기는 실로 어마어마 합니다. 그림 3 은 태양을 중심으로 공전하는 행성들, 먼지원반, 각종 위성 및 미행성들 그리고 오르트 구름을 묘사한 상상도 입니다. 오르트 구름 넘어로 우리 태양계에서 가장 가까운 별인 알파 센타우리를 볼 수 있습니다.

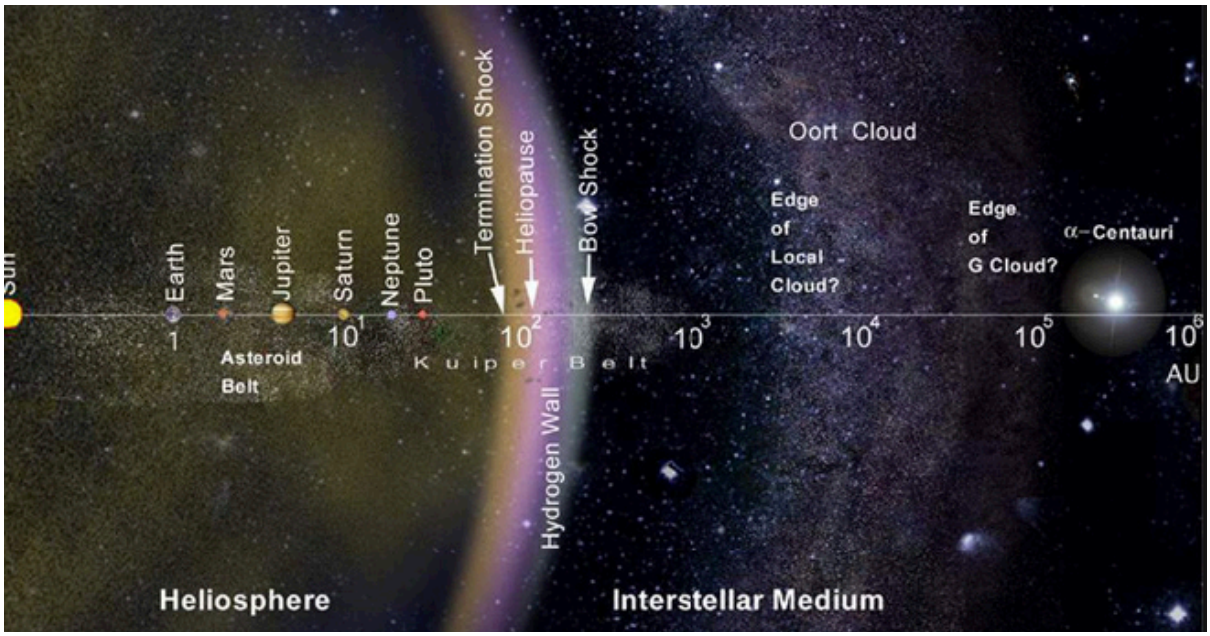


그림 3. 우리 태양계의 상상도를 잘 나타내준 천체 삽화입니다. 출처 : https://www.universetoday.com

우리 태양계의 나이

아쉽게도, 우리는 우리 태양계의 나이를 정확히 알지 못합니다. 태양의 연령을 이론적으로 직접 도출하는것을 아직 성공하지 못했기 때문입니다. 하지만 힌트를 얻을 순 있습니다. 이론적으로 초기 태양계가 형성되고 난 후, 행성이 되기까지는 겨우 수천만년도 걸리지 않는다는 계산결과가 있기 때문에 태양의 연령은 지구 행성의 연령과 비슷하거나 조금 더 앞섰다고 추측할 수 있습니다.

우리는 지구와 달, 소행성, 그리고 지구에 떨어진 암석 이나 별똥별 등 모든 천체들에 포함된 암석의 반감기를 통하여 각각의 나이를 간접적으로 추측할 수 있습니다. 동위원소[5]가 붕괴 되면서 그 양이 절반이 되기까지의 시간을 우리는 반감기라고 부르는데, 이 반감기는 각각의 원소에 대하여 언제 어디서나 항상 일정합니다. 동위원소중에서 방사성을 가지는 원소를 방사성 동위원소[6]라 부르는데, 이때 원래 원소를 모원소 (Parent element)라 부르며 새로 생기는 원소를 딸원소 (Daughter element) 라고 부릅니다. 이 반감기 측정에 이용되는 원소는 우라늄 (원소기호 U) 입니다. 우라늄의 방사성 동위 원소는 태양계에 관한 아주 큰

[5] 동위 원소는 원자 번호가 같지만 원자량이 다른 원소를 말합니다. 동위원소는 그 원소와 같은 수의 양성자와 전자를 가지지만(같은 화학적 성질), 다른 수의 중성자를 가집니다(다른 질량).

[6] 이들은 불안정 하여 감마선이나 다른 아원자 입자를 방출하며 방사성 감쇠를 하게 됩니다.

© copyright VeKNI. e. V.
재독한국과학기술자협회
Verein Koreanischer Naturwissenschaftler und Ingenieure in der BRD e.V
The Korean Scientists and Engineers Association in the FRG

정보를 가져다 줄 수 있습니다. 자연계에 존재하는 우라늄은 세 가지 동위원소가 있습니다. ^{234}U, ^{235}U, ^{238}U이 우라늄의 모원소이고 이들이 붕괴되어서 만들어지는 ^{206}Pb와 ^{207}Pb는 그들의 딸원소입니다.[7] 여러 방사성 동위원소의 반감기가 각각 다르지만 ^{238}우라늄 동위원소의 반감기는 44억년을 넘습니다. 이처럼 긴 반감기를 가진 ^{238}U은 지각에서 흔히 발견되는 탓에 연대 측정에 자주 이용되곤 했습니다. 따라서 ^{238}U은 지구가 언제 생겼으며, 어떤 지질학적 사건이 발생되었는지 말해줄 수 있습니다. 방사능 측정결과 지구의 나이는 45 - 46억년 정도로 추정되며, 따라서 태양계의 형성도 46억년 정도가 아닐까 추정되고 있습니다.

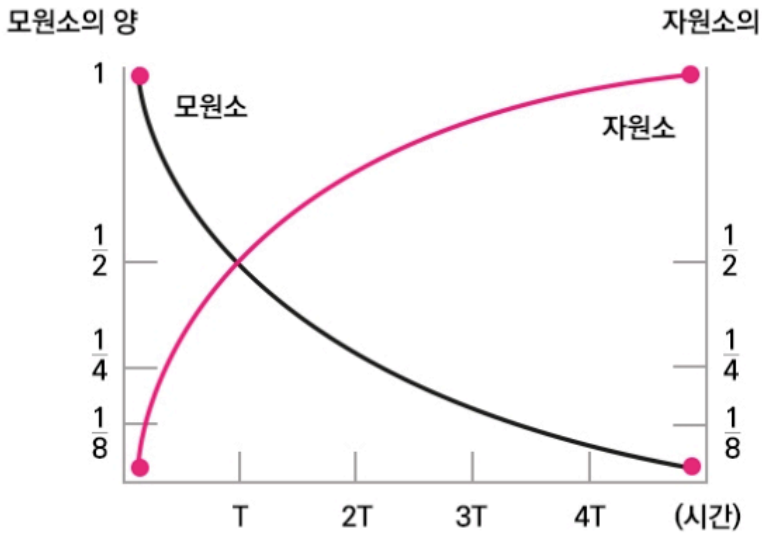


그림 4. 방사성 동위원소 반감기 측정법. 모원소가 절반으로 줄어들게 되면 자원소는 원래 모원소 양의 절반으로 늘어나게 됩니다. 절반으로 줄어드는데에 걸리는 시간인 반감기는 각각 원소 마다 항상 일정하기 때문에 방사성 동위원소 반감기 측정법은 지질연대 측정에 주로 사용 되고 있습니다.

출처 : http://blog.lgchem.com

우리 태양계의 기원

예로부터 태양계의 형성에 대해서는 수많은 가설들이 존재 했습니다. 글의 초입부에 소개한 성운설부터 와동설, 조석설, 미행성 응집설 (현대 성운설) 등이 있습니다. 성운설은 칸트와 라플라스가 정립한 이론으로 가스 물질로 이루어진 성운이 수축되면서 중심에 태양이 형성된다는 이론입니다. 이후에 주변에 남아 있던 물질들이 뭉쳐져 행성이 형성되었다고 주장합니다. 와동설은 우주를 채우고 있던 가상의 물질인 에테르 사이를 태양이 지나가고 이 과정에서 생긴 와류에 의해 태양의 물질 일부가 떨어져 나와 행성이 형성 된다고 믿는 이론 입니다. 조석설은 태양 근처로 다른 별이 지나가면서 서로 인력이 작용하고 이 과정에서 태양의 물질 일부가 떨어져 나와 뭉쳐져 행성이 형성되었다고 생각되는 이론입니다. 마지막으로 미행성 응집설은 수정된 성운설이라고 할 수 있는데, 성운이 회전하면서 수축하여 태양과 원반을 형성하며 이후 원반을 이루는 물질이 뭉쳐져 행성이 형성되었다고 주장합니다.

먼저 성운설을 살펴보겠습니다. 성운설로 다른 대부분의 가설과 예측을 설명할 수 있지만, 태양의 다소 느린 자전은 설명하기 힘듭니다. 와동설과 조석설은 모두 태양에서 떨어져나온 물질이 태양계를 형성한 것이라고 설명하므로, 두 가설 모두 치명적인 문제점을 가지고 있습니다. 태양에서 떨어져 나온 물질은 행성으로 되기전에 증발하거나 분해되므로 행성의 형성 자체가 어렵기 때문입니다. 따라서 현재까지 소개된 여러

[7] ^{235}U는 붕괴해 ^{206}Pb로 변하고, ^{236}U는 ^{207}Pb로 붕괴 됩니다.

© copyright VeKNI. e. V.
재독한국과학기술자협회
Verein Koreanischer Naturwissenschaftler und Ingenieure in der BRD e.V
The Korean Scientists and Engineers Association in the FRG

이론 들중 우리 태양계의 여러 특징과 비교해 봤을때 대체로 가장 논리적인 가설은 성운설 + 미행성 응집설입니다. 미행성 응집설과 성운설의 차이점은 성운을 이루는 물질 전체의 회전여부입니다. 성운설은 성운 전체가 회전 하지 않고 각각의 중심을 향해 모여들어 태양과 행성을 형성한 것으로 설명하고 있지만, 미행성 응집설은 성운을 이루는 물질이 원반을 형성한 후 이 원반이 회전하고 뭉쳐지면서 태양과 행성을 형성한다고 설명하고 있습니다. 허블 우주망원경으로 행성계 진화 초기단계인 원시 행성계 원반을 오리온 성운 내부에서 발견했기에, 이 수정된 성운설, 즉 미행성 응집설은 정설화 되어 가고 있습니다. 많은 과학자들은 새로운 최첨단 관측들이 앞으로도 이 미행성 응집설을 뒷받침 해주리라고 믿고 있습니다.

우리 태양계의 탄생 그리고 죽음

그럼 이제 우리는 우리 태양계의 형성과정을 알아보러 46억년전으로 여행을 떠나보겠습니다. 과정들을 하나씩 살펴보면서, 성운설이 왜 논리적이었는지, 이 모든 이론들이 왜 미행성 응집설이라는 이론으로 귀결이 되었는지 살펴보겠습니다. 우리 태양계의 형성과정은 크게 5가지 정도로 나눌 수 있습니다. 먼저 1. 성운 형성 후 회전수축, 2. 원시태양과 원시행성계 원반 형성, 3. 미행성체 형성, 4. 원시행성 형성, 그리고 마침내 5. 태양과 행성 형성 (태양계) 이렇게 5가지 정도의 단계를 거치게 되면 지금 우리가 알고 있는 우리 태양계 모습과 상당히 흡사 해집니다. 지구에서 더 오래된 암석이나 지질학적 증거가 발견되었다면 시간을 더 오래전으로 돌려야 하겠지만, 현재까지 발견된 증거중 가장 오래된 증거가 45 - 46억년전을 가리키고 있기에, 우리는 우리 태양계가 어떻게 형성이 되었는지 알기위해서 46억년전으로 여행을 떠나보겠습니다. 시간의 차이는 있겠지만, 우리 은하계 및 전 우주의 어느 태양계든 비슷한 과정을 거쳐서 태양계가 형성 될 것 입니다.

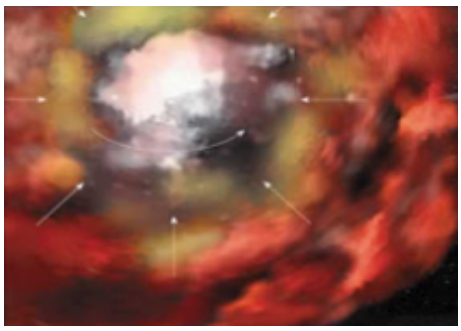
우리는 시간을 자유자재로 넘나드는 타임머신을 타고 46억년전, 우주 어느곳 인가, 우리 은하의 중심(블랙홀)으로 부터 3만 광년 정도 거리에 있는 나선팔 부근에 도착했습니다. 때마침 초신성이 폭발[8]하고 있습니다. 초신성 폭발로 인해서 별은 자신의 모든 인생을 마치고, 다시 무로 돌아갈 준비를 하고 있는 것입니다. 정말 너무나도 밝습니다. 폭발적인 방사선을 내뿜기에, 어두워질 때까지 수 개월정도는 걸릴것 같네요. 이 기간동안 태양이 평생 발산할 그 이상의 에너지를 내뿜습니다. 폭발의 결과 항성은 구성 물질의 대부분 또는 전체를 토해내고 있습니다. 이때 속도는 광속의 10%정도 (30,000 km/s) 까지 가속되기에 주위 성간 매질에 충격파를 일으킵니다. 이 충격파는 새로운 별 탄생을 위한 방아쇠 역할을 할 수 있습니다. 바로 우리 태양의 형성을 위한 방아쇠였습니다. (아래 그림 5-9 외에도, 9페이지 그림 10에 태양계 형성에 관한 간단한 개념도가 있습니다. (출처 : NASA, 본인 번역))

---

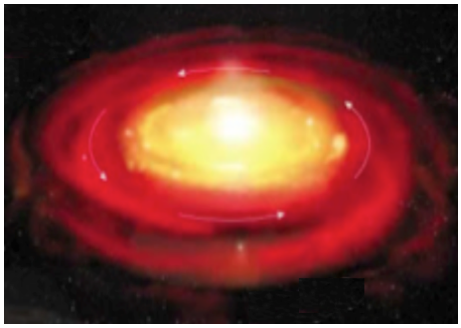
[8] 태양계의 형성은 주변의 여러 충격으로부터 시작할 수 있습니다. 주변에서 초신성이 폭발 할 수도 있고, 태양계가 성간 구름을 통과함으로써 영향을 받았을 수도 있습니다. 하지만 우리 태양계가 초신성이 폭발한 잔해에서 만들어졌다는 걸 어떻게 알았을까요? 먼저 우주의 시작과 함께 만들어진 원소들 즉 우주 대폭발 빅뱅과 함께 만들어진 가장 오래된 원소들은 수소와 헬륨, 리튬 등 입니다. 두번째로 별의 내부에서 만들어질 수 있는 원소들로는 탄소, 산소, 질소 등이 있습니다. 별을 구성하는 원소는 99% 이상이 수소와 헬륨인데, 그 수소와 헬륨이 자체 중력으로 뭉치면서 그 압력과 열에 의해 핵융합 반응이 일어나게 되며 이를 열에너지 형태로 (빛) 내뿜기에 별들은 스스로 빛을 내게 됩니다. 이 핵융합반응은 다양한 원소를 만들어 낼 수 있으며 원자번호 56번 철까지 만들어 낼 수 있습니다. 세 번째로 철보다 무거운 원소들은 반드시 초신성의 폭발과 함께 만들어 집니다. 별들의 일생을 보면 처음에 수소를 원료로 핵융합을 하는데, 이 수소를 다 써버리면 헬륨이나 다른 원소를 이용해서 핵융합을 하며 스스로 만들어 낸 에너지의 압력에 의해서 폭발을 하게 됩니다. 그런데 이 초신성 폭발이 별의 내부로도 향하게 되는데, 이 거대한 압력에 의해서 철보다 무거운 원소들 즉 망간, 우라늄등의 원소들이 만들어 질 수 있습니다. 지구를 포함한 태양계에 이런 원소들이 있다는 것은 결국 우리 태양계가 초신성의 폭발의 잔해로부터 만들어진 것이라는 의미와도 같습니다.

© copyright VeKNI. e. V.

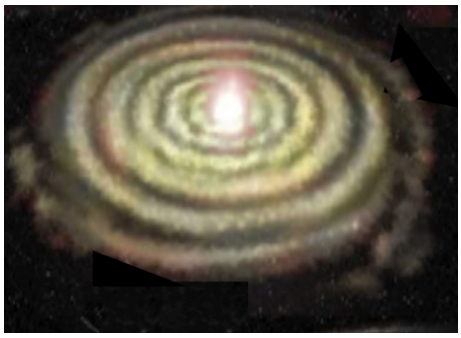
재독한국과학기술자협회
Verein Koreanischer Naturwissenschaftlicher und Ingenieure in der BRD e.V
The Korean Scientists and Engineers Association in the FRG



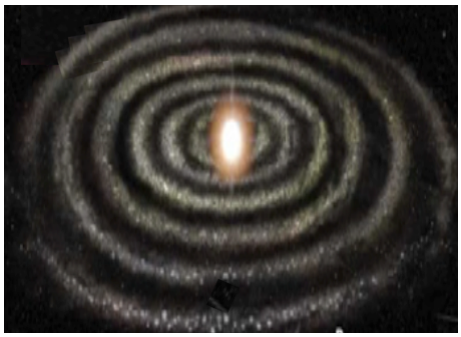
초신성 폭발로 주위 성간 매질에 엄청난 속도의 충격파가 생겨났고 이 충격파가 휩쓸고 간 그 자리에 엄청난 먼지와 얼음, 가스의 잔해들이 남아있습니다. 각각의 질량이 서로간의 중력을 만들어 서로 뭉치기 시작합니다. 원반 형태로 납작해지면서 움직이던 그 흔적들은 곧 굉장히 빠른 속도로 자전하기 시작하네요. 가운데가 볼록 렌즈 모양의 형태로 변형되고 있습니다. 성운이 되고 있는것입니다. 드디어 태양계가 시작되고 있습니다.



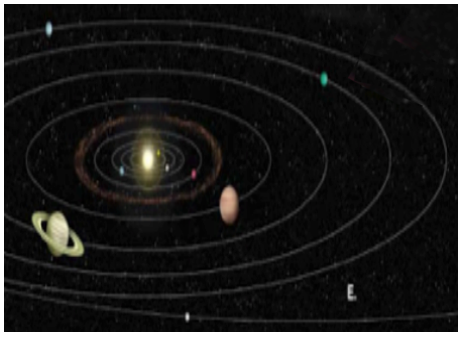
대략 5만년정도가 흐른 후 에, 이렇게 형성된 성운의 중심은 대단히 빠른 속도로 돌면서 주변의 물질들을 흡수해 갑니다. 먼지나 금속성분의 물질들은 성운 전체 범위에 걸쳐 응축되기 시작합니다. 물, 메탄, 암모니아, 다른 얼음물질들은 성운 바깥쪽에서 만 응축이 되고, 성운 물질들의 대부분은 원반중심 쪽으로 강착 되어가면서 빨려들어 갑니다.



150만년정도 지난것 같습니다. 뭉쳐지면서 원반의 반지름이 작아지기에, 회전 속도는 더욱 빨라집니다. (각운동량 보존법칙) 뭉쳐진 물질들이 서로 달라 붙으려는 압력에 의해 이 원시천체 중심부분의 온도가 급속히 올라가게 되고, 마침내 임계점에 도달했을 때 핵융합을 시작하게 됩니다. 드디어 태양이 생겨난것입니다. 성운의 중심에서 열심히 태양이 만들어지고 있는 사이, 성운의 주변부 역시 너무 바빠 보입니다.



대략 4백만년전도 흐른후의 상황입니다. 작은 고체 입자들은 서로 충돌하고 끊임없는 상호작용을 하면서 미행성(Planetesimal) 을 만들어 냅니다. 이들이 자전을 하는 과정에서 서로 부딪치며 뭉쳐진 천체들이 주변의 가스와 먼지, 암석 덩어리를 자기 쪽으로 끊임없이 끌어들이기 시작합니다. 고체 물질들의 상호작용 결과 현재 행성크기의 수많은 실제 행성들을 만들어 내고 있습니다.



처음 초신성이 폭발한 후 적어도 5백만년정도 지난후에, 에너지 가득한 강한 태양풍이 막 행성을 만들려고 충돌 중이던 물질들을 덮칩니다. 원반안에 남아있는 가스들을 깔끔하게 청소하고 있습니다. 덕분에 수성, 금성, 지구, 화성은 가벼운 수소와 헬륨을 거의 모두 잃고 철등의 금속이나, 암석으로만 이루어진 행성이 되었습니다. 태양풍에 의해서 멀리 날아간 수소와 헬륨등의 가스들은 목성과 토성 등에 흡수 되고 있습니다.

그림 5, 6, 7, 8, 9 태양계의 생성과정

출처 : Stephen Hawking - Formation of the Solar System http://ed.ted.com

© copyright VeKNI. e. V.

재독한국과학기술자협회
Verein Koreanischer Naturwissenschaftlicher und Ingenieure in der BRD e.V
The Korean Scientists and Engineers Association in the FRG

태양계의 형성이 언제 시작되더라도 겨우 5백만년 정도만 있으면 현재의 지구등 여러 행성의 생성이 완성됩니다. 따라서 언제 태양이 형성되든 행성들의 형성시점과 큰 차이가 없습니다.

Wyatt 교수는 (Wyatt et al 2008), 원시 태양계의 생성 끝무렵에 중심별은 최소 한개 이상의 천체로 둘러 쌓이게 될것이라고 예측했습니다. 다양한 크기의 행성들, 원시행성계원반의 잔재들인 가스와 먼지들, 계속 자라고 있을 미행성띠, 그리고 충돌이 계속됨에 따라 계속 미행성으로부터 작은 먼지를 공급하는 미행성띠 등등이 그 천체들입니다. 즉, 행성이나 먼지원반 둘중 하나는 반드시 태양을 둘러쌓고 있을것이라는 예측입니다. 이말은 비록 행성과 먼지원반의 규모에는 엄청난 차이가 있을지라도, 둘은 같은 형성 과정으로 만들어 진다는 말을 의미합니다. 물론 행성의 형성과정이 온전히 끝난후에도 먼지원반은 계속해서 진화중입니다. 행성이 되지 못한 미행성들은 끊임없이 충돌하며 먼지 사이즈의 천체를 만들어내기 때문이죠. 주로 행성의 중력에 영향을 받을 수도 있는 먼지원반은 태양이 내뿜는 전자기력과 작은 입자들의 힘에도 영향을 받습니다. 행성과 다르게 먼지원반은 우리눈에 보이지 않는 작은 천체들이나 행성들, 심지어는 별의 증거가 되기도 합니다. 만약 먼지원반 주위에 (혹은 안에) 행성이 없었다면, 이 먼지원반도 행성으로 진화했을 가능성이 크기 때문입니다.

사람의 일생과 같이, 태양계의 구성원들인 행성들, 위성들, 소행성들, 미행성들, 혜성들 등등의 모든 천체 물질 들도 결국은 죽음을 맞이 합니다. 계산에 따르면, 지금으로부터 약 60억 년 정도 지난 후에 태양의 표면온도는 급격히 내려가며 부피는 크게 확장될 것입니다. 약 78억 년 후 우리 태양은 자신의 껍질을 행성상 성운의 형태로 날려 보내면서 백색왜성[9]으로 진화하게 될 것입니다. 이 백색왜성은 대부분 탄소나 산소로 이루어진 핵만이 남아 있는 형태로 핵융합이 더 일어나지 않는 형태입니다. 따라서 에너지를 생성할 수 없고 점차 식어가게 되며, 핵이 중력에 의해 붕괴되는 것을 막지 못합니다. 결국 이 백색왜성은 매우 밀도가 높은 상태가 되어 현재 지구정도의 부피임에도 태양 절반 정도의 질량을 보유하게 됩니다. 더 에너지를 생성할 수 없는 백색왜성은 수백억 년 이상의 세월을 지나며 식어가고, 결국은 관찰할 수 없는 수준에 이르게 될 것입니다. 행성 역시 태양과 비슷한 길을 걷게 될것입니다. 태양이 진화함에 따라서 태양의 중력 때문에 몇몇 행성의 궤도는 망가지게 되어 일부는 충돌하여 부서질것이고, 일부는 우주 공간으로 날아갈 수도 있을것입니다. 궤도가 바뀐다는것은 생명체에게는 정말 치명적임을 의미합니다. 일단 생명체가 살기에 적당한 온도가 아닐것이고 대기권이 망가지게 되면 태양으로부터 오는 방사선과 자기력선을 막을 방법이 없게 될 수도 있기 때문입니다. 결국, 머나먼 미래엔 태양은 자신의 천체들을 모두 잃은채 홀로 존재하다가 백색 왜성으로의 진화후 흑색왜성[10]으로 오랜 생을 마감하게 될것 입니다.

오래전에 목성과 금성은 이미 지구의 공전궤도를 바꿔버린적이 있다고 예측되어 집니다. 하지만 당장 몇억년동안은 걱정할것 이 없습니다. 그 기간동안 어떤 행성도 태양계에서 이탈할 가능성이 없고, 서로 충돌할 가능성이 없다고 계산되어 집니다. 그러나 그 이후는 50억 년 내로 화성의 이심률이 커져서 지구의 공전 궤도가 엇갈리게 되어 결국 서로 충돌할 가능성이 있다고 합니다. 우리가 태양의 진화 및 각종 행성의 공전 궤도 환경 뿐아니라 지구의 지각과 달의 위상까지 신경써야 하는걸 생각해보면 인간은 대자연 우주 앞에서 한없이 나약한 존재가 아닐까 합니다.

---

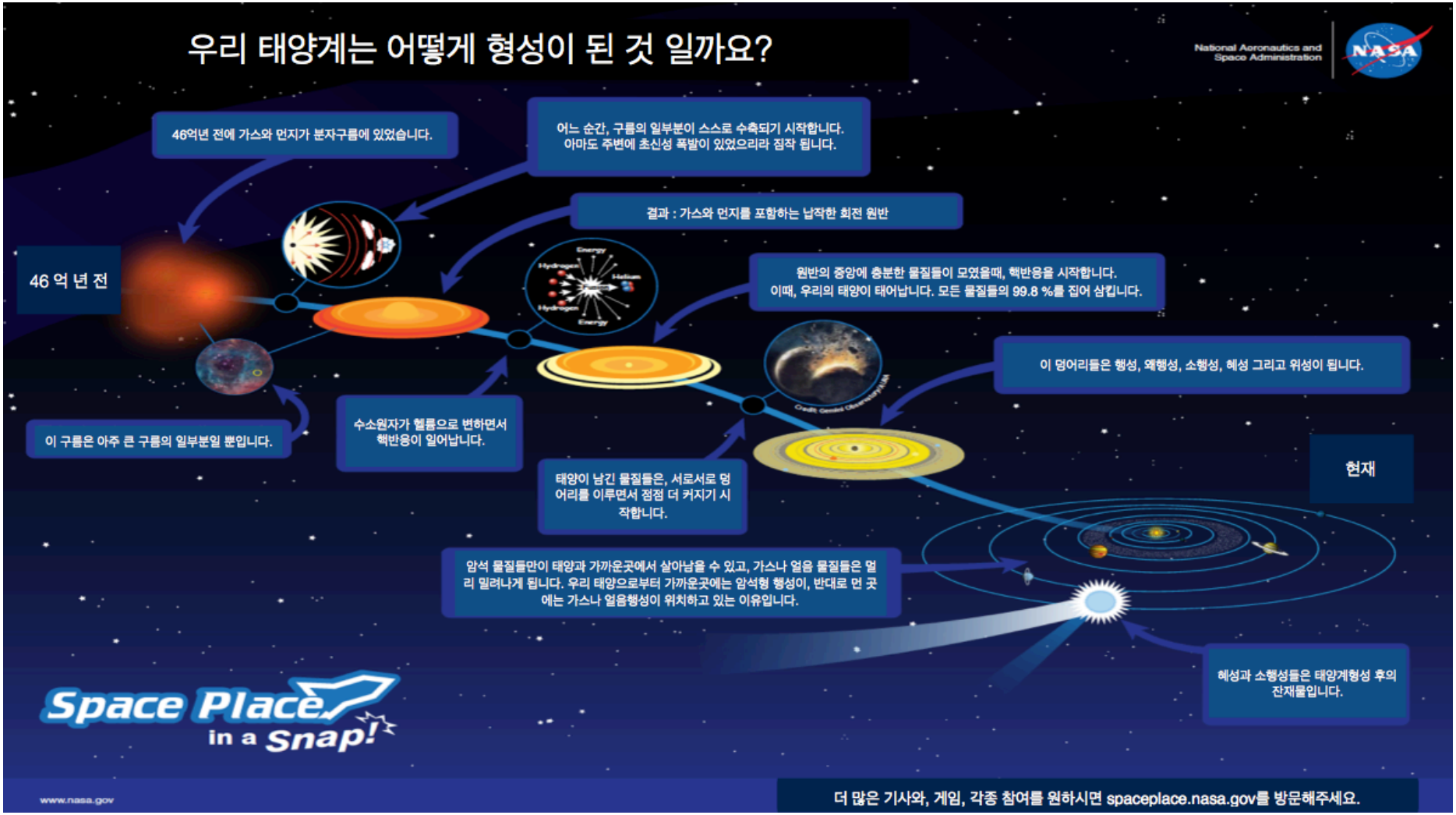
[9] 별은 태어났을때의 초기질량이 앞으로의 운명을 결정합니다. 초기 질량이 상대적으로 무거운 별인 경우 초신성 폭발을 거쳐 중성자별이나 블랙홀을 거쳐서 생을 마감하지만, 가벼운 별인 경우엔 백색왜성을 통해서 죽음을 맞이 합니다. 우리 태양은 상대적으로 가벼운 초기질량으로 태어났기에 초신성을 거치지도 않고 중성자별이나 블랙홀로 생을 마감할 수 없습니다. 주변 더 큰 천체의 방해가 없는 한 먼 훗날 태양의 미래모습은 백색왜성일 것입니다.

[10] 흑색왜성은 이론상의 천체로, 백색왜성이 더 이상 빛이나 열을 내보낼 수 없는 상태로 진화된 별을 의미합니다.

© copyright VeKNI. e. V.

재독한국과학기술자협회
Verein Koreanischer Naturwissenschaftlicher und Ingenieure in der BRD e.V.
The Korean Scientists and Engineers Association in the FRG

그림 10 . 태양계 형성에 관한 개념도 출처 : NASA, 본인 번역



재독한국과학기술자협회
© copyright VeKNI. e. V.

Minjae Kim (김민재)

mkim@astrophysik.uni-kiel.de

Institute of Theoretical physics and Astrophysics,
Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, Germany

- ***CARMENES*** scientific member
- FOR 2285 Research Unit "***Debris Disks in Planetary Systems***" member

References :

- books

천문학 콘서트 - 이광석 저
거인들의 어깨위에 서서 - 스티븐 호킹 편저

- Pictures

표지 그림 : NASA
그림 1 : http://www.newton.cam.ac.uk
그림 2 : NASA
그림 3 : http://www.universitytoday.com
그림 4 : http://blog.lgchem.com
그림 5 - 9 : Stephen Hawking - Formation of the Solar System http://ed.ted.com
그림 10 : NASA, 본인 번역

- Papers

Wyatt, M. 2008 : **Evolution of debris disk**

© copyright VeKNI. e. V.

재독한국과학기술자협회
Verein Koreanischer Naturwissenschaftlicher und Ingenieure in der BRD e.V
The Korean Scientists and Engineers Association in the FRG