ASTRONOMA SORULAR

Doç. Dr. Hasan H. Esenoğlu

2021

Konu Başlıkları

1) Evren
2) Güneş Sistemi
3) Büyük Ölçekli Evren
4) Evren’in Yapısı
5) Temel Bilim Seçme Sorular

Alt Konu Başlıkları

9) Gezegen Sistemi gaz ve toz bulutundan mı oluştu?
10) Güneş nasıl oluştu?
11) Güneş'in sonu nasıl olacak?

2) Güneş Sistemi

9. Gezegen Sistemi gaz ve toz bulutundan mı oluştu?

Güneş Sistemi'ndeki gezegenlerin iki temel hareketi vardır. Gezegenler, hem Güneş'in çevresinde hem de kendi eksenlerinde döner. İki hareketin yönü de aynıdır: Güneş'in kendi ekseninde döndüğü yöndedir, yani sisteme yukarıdan bakıldığında, saatin tersi yönde. Bunun yanında bütün gezegenler Güneş'in çevresinde, neredeyse aynı düzlemde ilerler. Gezegenlerin yörünge düzlemlerinde yalnızca birkaç derecelik bir fark vardır.

Güneş Sistemi'nin üyelerinin her iki dönüşünün de aynı yönde oluşu, doğal olarak hepsinin aynı kökenden geldiğini, dönen tek bir yapıdan ortaya çıktıklarını düşündürür. Gerçekte bu düşünce hiç de yeni değildir; ilk dile getirilişi 18. yüzyıla kadar uzanır. İsveçli düşünür Emanuel Swedenborg tarafından 1734'te ortaya atılmıştır. Düşünceyi, daha sonra Immanuel Kant geliştirmiştir.

Kant'a göre uzayda yavaş yavaş dönen büyük gaz bulutları kütleçekim kuvvetinin etkisiyle giderek içlerine çöker, küçülür ve yassılaşırdı; sonunda da bir yıldız ve onun çevresinde dönen gezegenler oluşurdu. Buna benzer bir oluşum modelini, 1796'da Laplace Markisi Pierre-Simon da ileri sürmüştür. **Bulutsu varsayımı** olarak bilinen bu model, Güneş'in ve gezegenlerin oluşumuna yönelik ortaya atılan ilk bilimsel modeldi. Buna göre ilk başta ağır ağır dönen, dev bir gaz ve toz bulutu vardı. Bulut kütleçekim kuvvetinin etkisiyle giderek küçüldü, yoğunlaştı, hızlandı ve bir dizi aşamadan geçerek Güneş'e ve onun çevresinde dönen gezegenlere, uydulara ve Güneş Sistemi'nin bütün öteki üyelerine dönüştü. İleri sürüldüğü dönemde mantıklı ve tutarlı görünen bu modelin zamanla birçok hatalı yanı olduğu anlaşıldı. Model 20. yüzyılın başlarında gözden düştü ve terk edildi.



Samanyolu gibi sarmal gökadalardaki maddenin yüzde 10 kadarı gaz ve tozdan oluşur. Bunun da büyük bölümü, Güneş Sistemi'nden yüzlerce, hatta binlerce kat büyük ama şekilsiz bulutsularda bulunur. Gökadamızın değişik bölgelerinde de çok sayıda bulutsu vardır. Resimdeki Kartal Bulutsusu gibi bazılarının içlerinde yeni yıldızların doğduğu bölgeler yer alır.



Soru: Dev molekül bulutlara bir örnek vererek tipik özelliklerini yazınız. (13.6.2006 Doktora Yeterlik Yazılı Sınavı)

Daha sonra Güneş Sistemi'nin oluşumuna yönelik yeni fikirler ortaya atıldı. Örneğin, Güneş'in yakınından geçen ya da ona hafifçe çarpan bir yıldızın Güneş'ten madde koparark gezegenleri oluşturduğu ileri sürüldü. Bir başka teoriye göre de, bir zamanlar Güneş bir ikili yıldız sisteminin ikinci yıldızıydı. İlk yıldız süpernova yaparak içeriğinin büyük bölümünü uzaya saçmıştı ve bu hammaddeden de Güneş'in çevresindeki gezegenler oluşmuştu. Ne var ki gerçekleşme olasılıkları düşük ya da fazlasıyla zorlama olduğu hissedilen bu kuramların hiçbiri gökbilimcilerce tam olarak benimsenmedi.

1960’lı yıllarla başlayan ve günümüze dek hızla gelişen gezegen araştırmaları sayesinde, Güneş Sistemi’nin bütün üyelerine ilişkin çok büyük bir bilgi birikimi oluştu. Bu sayede daha önce anlaşılmayan birçok konu açıklığa kavuşmaya başladı; kuşkusuz bazı yeni ve zor sorular da ortaya çıkmadı değil. Zamanla gezegenlerin nasıl oluştuğuna ilişkin de bir model geliştirildi. Bugün yaygın kabul gören yeni model, Sovyet gökbilimci Victor S. Safronov’un 1960’lı yıllardaki çalışmalarıyla ortaya çıkmıştır. Laplace’ın 200 yıl önce ortaya attığı modeli çağrıştıran ama ayrıntılarda çok da farklı olan bu yeni model Güneş Sistemi’nin yapısını ve üyelerinin birçok özelliğini tutarlı olarak açıklayabiliyor. Model ilk başlarda, doğal olarak yalnızca Güneş Sistemi için kullanılıyordu. Ama başka yıldızların çevresinde dönen gezegenler keşfedildikçe, evrensel bir kuram olarak görülmeye başlandı. O yıldızların ve onların gezegenlerinin de, artık Güneş Sistemi’ndekine benzer bir süreçten geçerek oluştuğu düşünülüyor. Bu kuramın temelini oluşturan “güneş bulutsusu”na benzeyen bazı yapıları, artık güçlü teleskoplar sayesinde çevremizdeki birçok genç yıldızın çevresinde de görüyoruz.

Gezegen Sistemi gaz ve toz bulutundan mı oluştu?
Güneş nasıl oluştu?
Güneş'in sonu nasıl olacak?

2) Güneş Sistemi

10. Güneş nasıl oluştu?

Güneş Sistemi, içinde 200 milyar dolayında yıldızın ve yıldızların arasındaki uzayda da dev gaz ve toz bulutlarının bulunduğu büyükçe bir gökadanın içinde yer alır. Bu gaz ve toz bulutlarının büyük bölümü önceki kuşaktan bazı yıldızların kalıntılarıdır.

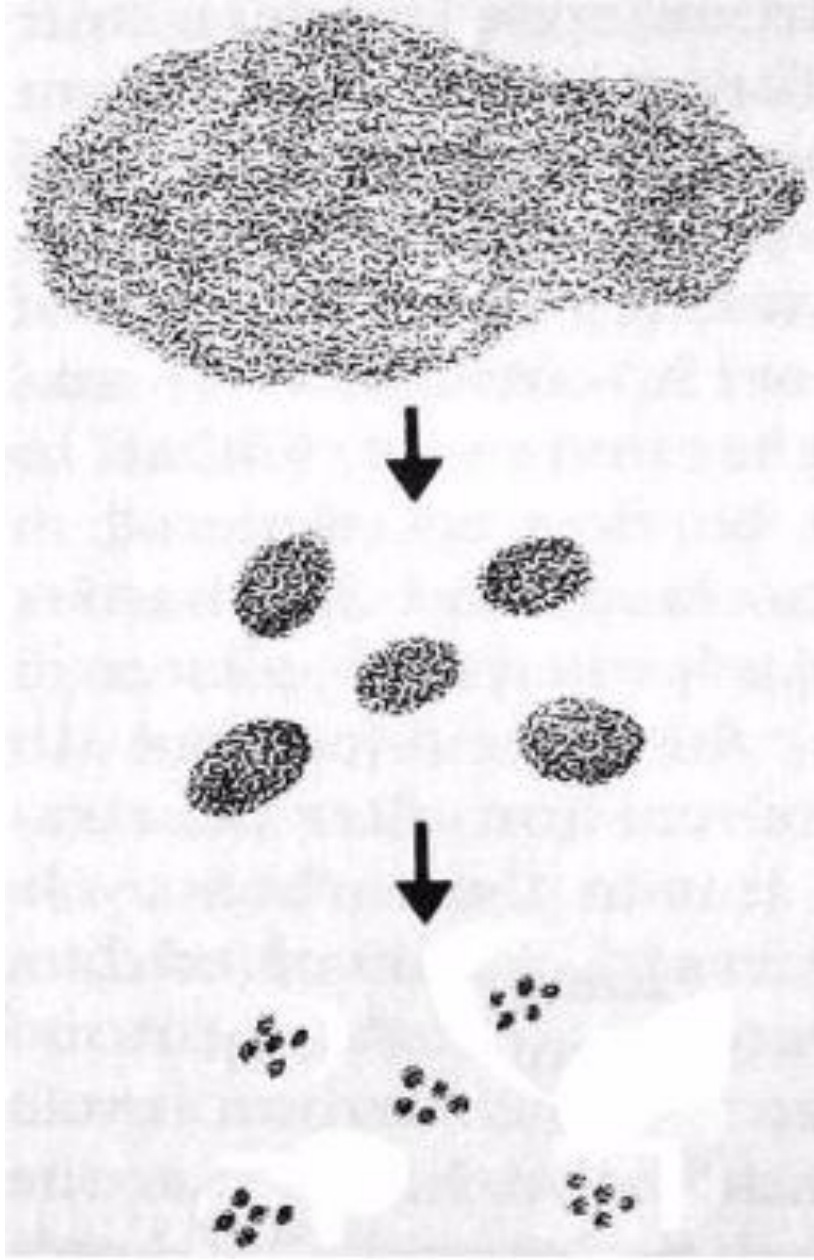
Günümüzden yaklaşık 4,6 milyar yıl önce Güneş Sistemi'miz de yalnızca gaz molekülleri ve toz zerreciklerinden oluşan dev bir hammadde bulutuydu. Güneş, gezegenler, kuyrukluyıldızlar, hayvanlar, bitkiler, verem bakterileri, grip virüsleri vs. hepsi bu buluttan ortaya çıkmıştır. Çapı 50-100 ışık yılı olan bulut, Samanyolu'ndaki bütün nesneler gibi gökada merkezinin çevresinde sakin bir biçimde dönüyordu. Kütlesinin büyük bölümü (yüzde 73'ü) hidrojenden oluşuyordu. Geri kalanının neredeyse tamamı helyumdu; ancak eser miktarda karbon, azot ve oksijen gibi ağır elementler ve toz parçacıkları da vardı. Sıcaklığı -250°C dolayında olan bulutun yoğunluğu santimetreküpte birkaç bin ile birkaç milyon molekül arasında değişiyordu.

Dev gaz ve toz bulutu çevreden gelen bir itme ya da çekme etkisiyle hareketlendi. (Bulut, büyükçe bir yıldızın yanından geçmiş olabilir. Kütleçekim etkisiyle bulutun durgunluğu bozulmuş ve içeriğindeki moleküller hareketlenmeye başlamış olabilir. Ya da bulutun yakınlarında gerçekleşen bir süpernovanın şok dalgalarının bulutu iterek içeriğini sıkıştırması gerçekleşmiş olabilir.) Kuşkusuz bu dev bulutu harekete geçiren etmenin ne olduğu tam olarak bilinemez. Ancak bilinen şey, bunlara benzeyen tetikleyici bir etkiyle hareketlenen bulutun içeriğinin, kütleçekim kuvveti nedeniyle merkeze doğru yönelmiş ve hafif bir dönme hareketiyle birlikte içine çökmeye başlamış olduğudur.

Bulutun hareketlenmesiyle birlikte, Güneş'i ve Güneş Sistemi'ni oluşturan süreç de başlamıştır. Sürecin başlamasından yaklaşık iki milyon yıl sonra bulutun birçok noktasında çevrelerinden daha yoğun olan "çekirdek" bulutlar ortaya çıktı. Bu bölgeler çevrelerine göre daha büyük bir kütleçekimiyle maddeleri kendilerine daha çok çekmeye başladı. Bunların kendi eksenlerinde, küçük de olsa bir dönme hareketi vardı. Bu dönme, çekirdek bulutlar küçüldükçe giderek hızlandı; tıpkı buz pateni yapan birinin kollarını kapadığında hızının artması gibi. Böylesi yüzlerce çekirdek buluttan bazılarından, bir süre sonra, aralarında Güneş'in de bulunacağı yıldızlar oluşacaktı.

Güneş'i oluşturacak çekirdek bulut, bu dönemde bir ışık yılının yüzde biri çapındaydı. Dönen buluttaki madde merkeze doğru çekiliyor, bulut giderek küçülüyor ve dönüş hızı da artıyordu. Bulutun merkezine doğru olan madde akışı sırasında, atomların ve moleküllerin birbirine sürtünmesi ısınmaya yol açıyordu. Merkez giderek ısınıyordu.

Giderek küçülen bulutun merkezinde, Güneş'ten Plüton'a kadar olan, küre şeklinde dev bir yapı oluşmaya başladı. Merkezdeki bu kürenin kütlesi kendine çektiği maddelerle sürekli arttı. Artan kütleyle birlikte büyüyen kütleçekim kuvveti de, hem giderek daha çok maddenin çekilmesine, hem de küçülmeye yol açtı. Küçülen kürenin merkezinde yalnızca sıcaklık değil, dönme hızı ve yoğunluk da giderek arttı. Güneş önyıldız aşamasına girdi. Öngüneşin kendi ekseninde belirgin bir dönüşü vardı.



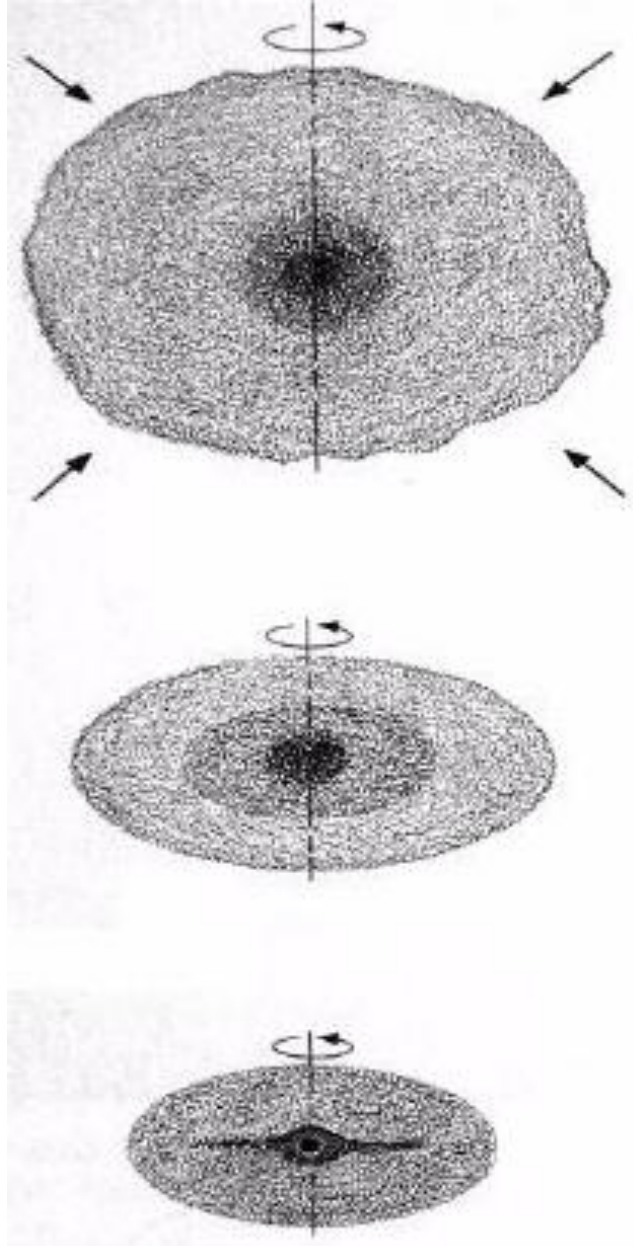
Yüzlerce, hatta binlerce ışık yılı çaplı bir bulutsudan zamanla çok sayıda “çekirdek bulutsu” ortaya çıkar. Çekirdek bulutsular çevrelerine göre maddeleri daha büyük bir kütleçekim kuvvetiyle çekerler. Büyük olasılıkla her biri ileride bir yıldıza dönüşecektir.

Merkezinde öngüneş bulunan gaz ve toz bulutunun geri kalan bölümü dönme hareketi nedeniyle disk şeklini aldı. Bu yapıya güneş bulutsusu denir. (Gökbilimciler günümüzde böylesi disklerle kuşatılmış birçok genç yıldız keşfetmiştir.) Güneş bulutsusunun çapı 100-200 AB ve kütlesi de yüzde 1-10 Güneş kütlesi kadardı.

Merkezindeki sıcaklık 5.000.000°C ve yüzey sıcaklığı da 4500°C dolaylarına geldiğinde, öngüneş T-Tauri denen bir evreye girdi. Kısa süren ama manyetik olarak çok etkin bu evrede, güneş rüzgârı[1] diye bilinen yeni bir etkinlik başladı. Öngüneşin küçülmesi sürerken, artık bir yandan da her saniye büyük miktarlarda elektrik yüklü atomaltı parçacık, yüksek hızlarla uzaya yayılmaya başlamıştı.

Dev gaz ve toz bulutunun hareketlenmeye başlamasından sonra geçen 40 milyon yıl içinde, öngüneşin merkezindeki sıcaklık 15.000.000°C'a ulaştı ve öngüneşin küçülmesi durdu.

1) **Güneş rüzgârı:** Güneş'in atmosferinin üst kısımlarından -güneş tacından- uzaya doğru hızla akan elektrik yüklü parçacıklara güneş rüzgârı denir. Güneş rüzgârı çoğunlukla elektron ve protonlardan oluşur. Güneş tacının sıcaklığı öylesine yüksektir ki, Güneş'in kütleçekim kuvveti, yüksek enerjili parçacıkların kaçışını engelleyemez. Güneş rüzgârının hızı saniyede 300-800 km arasında değişir.



Çekirdek bulutsular kendi eksenlerinde dönerler ve giderek büzülür, küçülürler. Küçüldükçe de hızları ve sıcaklıkları artar.

Öngüneşin merkezindeki aşırı basınç ve sıcaklıkta hidrojen atomları iyonlaşmış haldeydi; yani elektronlar atom çekirdeklerinden (protonlarından) kopmuştu. Protonlar ve elektronlar öngüneşin merkezinde çok yüksek hızlarla rasgele dolaşıyordu. Protonlar, sık sık birbirleriyle karşı karşıya geliyor; ama mıknatısın aynı kutupları gibi birbirlerini itiyorlardı. Ancak sıcaklık 15.000.000°C'a ulaştığında, karşılaşan protonlar artık birbirlerini itemez oldu; artık çarpışıp birbirleriyle kaynaşmaya başladılar. Bu durumda iki protonlu yeni çekirdekler (helyum çekirdekleri) oluştu. Bir başka deyişle bu yüksek sıcaklıkta öngüneşin merkezindeki hidrojen atomları helyum atomlarına dönüşüyor ve dönüşüm sırasında da artan çok küçük bir kütleden, $E=mc^2$ formülünün gösterdiği, büyük bir enerji ortaya çıkıyordu. Bu nükleer tepkimelerin gerçekleşmesiyle birlikte, ilk kez öngüneşin merkezinde çok büyük miktarlarda enerji üretilmeye başlandı. Kütleçekim kuvveti nedeniyle milyonlarca yıldır sürekli küçülen öngüneşin içine çöküşü, merkezinde "yaktığı" hidrojenden sağladığı güçle durdu. Öngüneş gökbilimcilerin hidrostatik denge adını verdiği kararlı bir duruma ulaştı. Artık öngüneş bir "ana kol" yıldızına dönüşmüştü. Ana kol evresi (hidrojen yakma evresi) Güneş'in yaşamının en uzun evresidir. Güneş bir ana kol yıldızı olarak yaklaşık 4,56 milyar yıldır ilk anlarındaki durumundan çok da değişmemiş haliyle ışımasını sürdürüyor. Yaklaşık beş milyar yıl daha öyle kalacağı düşünülüyor. Ancak yaşamının sonlarına yaklaştıkça başka bazı evrelerden geçecektir.

Soru: Güneş'in oluşumunu şekil çizerek anlatınız.
(13.6.2006 Doktora Yeterlik Yazılı Sınavı)

Soru: Asal kol yıldızlarının cüce yıldız olarak isimlendirilmelerinin nedenini açıklayın. (21.4.1992)

Gezegen Sistemi gaz ve toz bulutundan mı oluştu?
Güneş nasıl oluştu?
Güneş'in sonu nasıl olacak?

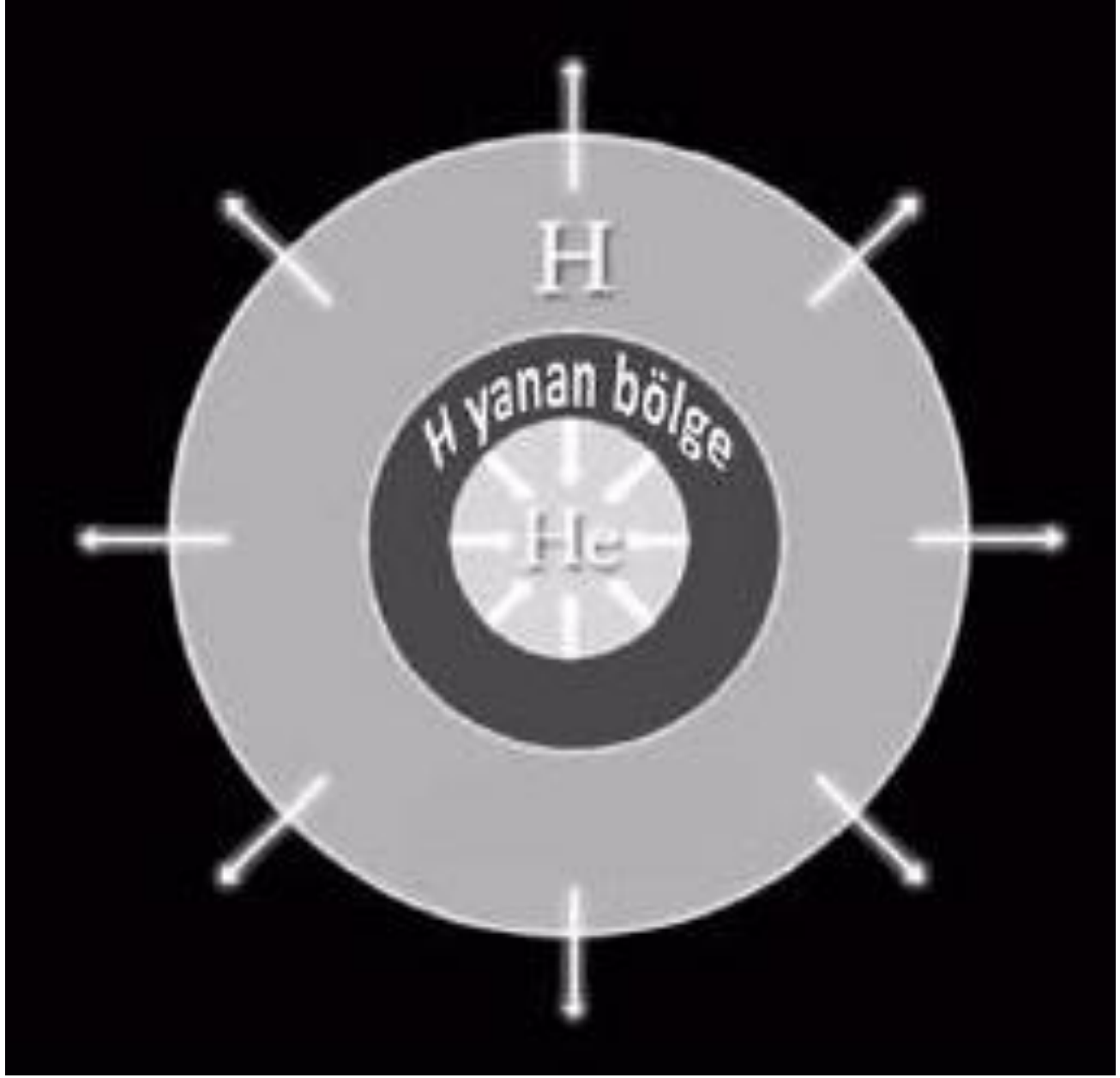
2) Güneş Sistemi

11. Güneş'in sonu nasıl olacak?

Evren'deki her şey gibi, Güneş'in de bir gün sonu gelecek. Aslında Güneş'in sonunun bütün aşamaları bilim insanları için uzun zamandır oldukça açık; çünkü Güneş'e benzeyen, ama ömürlerinin farklı aşamasındaki birçok yıldızı incelemiş ve Güneş'in sonunun nasıl olacağını çok iyi anlamış durumdalar. Ancak tıpkı Güneş Sistemi'nin doğuşunda olduğu gibi, ölümündeki aşamaların sürelerine ilişkin de kesin bir tahminde bulunamıyorlar. Örneğin Güneş'in bir ana kol yıldızı olarak geçireceği süre kimilerine göre 9-10 milyar yılken, kimilerine göre de 13 milyar yıl kadar olabiliyor.

Güneş'in merkezinde hidrojenin helyuma dönüşmesi ve bu sırada da muazzam miktarda enerji ortaya çıkması yaklaşık 4,56 milyar yıldır sürüyor. En azından bir 5 milyar yıl daha bu durumun süreceği düşünülüyor. Merkezindeki yakıtının, yani hidrojenin ancak yarısını tüketen Güneş, artık orta yaşlı bir yıldızdır.

İlk oluştuğu dönemde Güneş'in çapı bugünkünden yaklaşık yüzde 10 daha kısaydı. Aynı şekilde parlaklığı da yüzde 30-40 daha azdı. Güneş'in ömrü boyunca çapı ve parlaklığı yavaş yavaş artmıştır. Bu büyüme ve parlaklık artışı hâlâ sürüyor. Önümüzdeki bir milyar yıl içinde Güneş'in parlaklığı yüzde 10 artacak; bu da yeryüzündeki sıcaklıkların 40-50 derece yükselmesine yol açacak. 3,5 milyar yıl sonraysa parlaklığı yüzde 40 daha çok olacak. Bu durumda yeryüzündeki sıcaklıklar dayanılmaz dereceleri bulacak. Dünya, bugünkü Venüs kadar sıcak bir gezegen olacak. Olasılıkla o zaman yerin binlerce metre derinliklerinde yaşayan dayanıklı birkaç bakteri türünden başka, Dünya'da hiçbir canlı olmayacak. Öyle gözüküyor ki, Dünya'da bakterilerle başlayan yaşam, bakterilerle son bulacak.

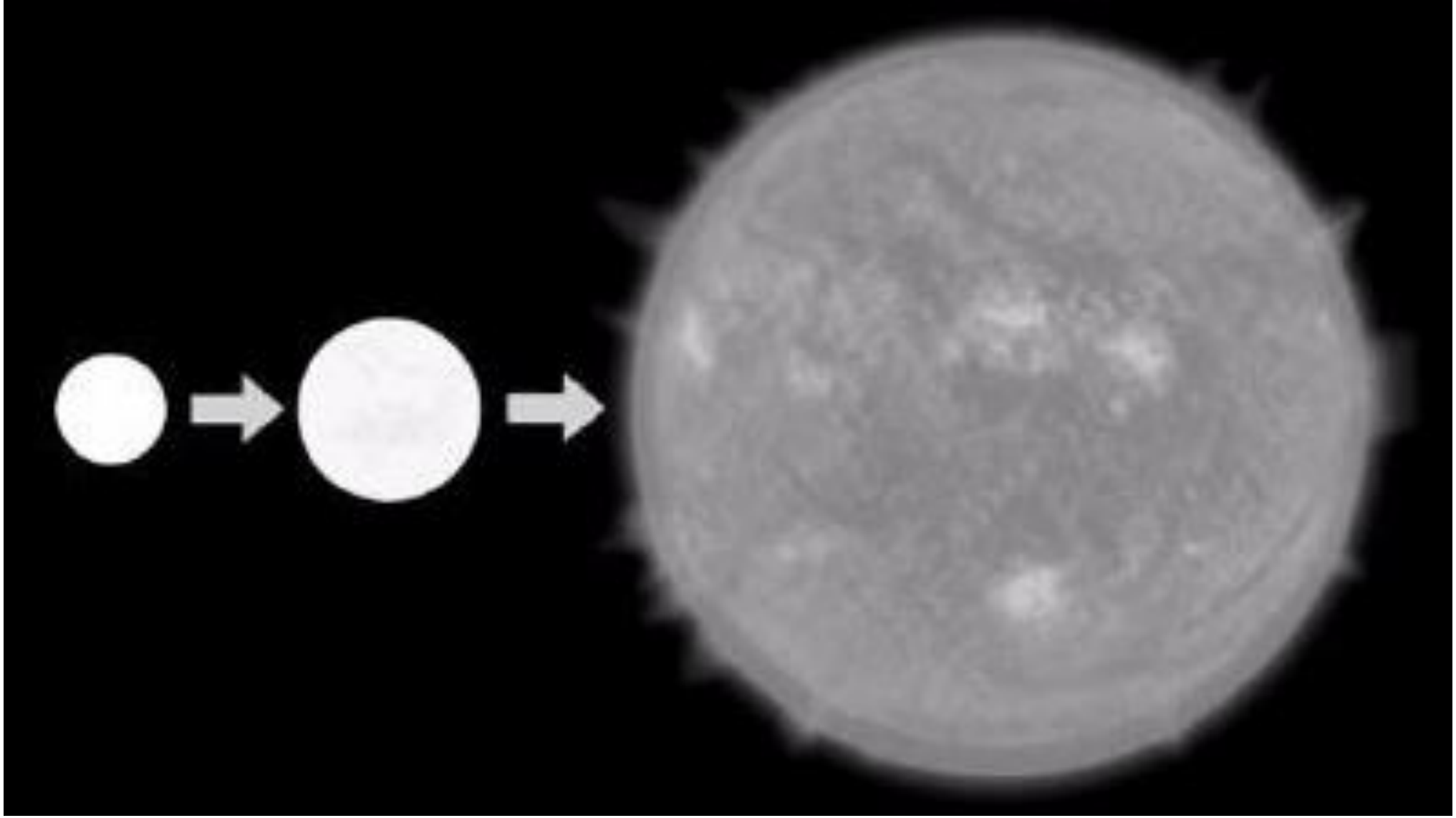


Dengesi bozulan Güneş'in çekirdeği içine çökerken, çekirdeği kuşatan ince bir tabakada nükleer tepkimeler sürecek ve hidrojen helyuma orada dönüştürülecek. Bu sırada Güneş'in dış bölgeleri de şişecek ve genişleyecek.

10 milyarıncı yaşgünü dolaylarında, Güneş'te köklü değişimler görülmeye başlanacak. Çünkü merkezindeki hidrojen, yani yakıtı tümüyle tükenmiş olacak. Bu da Güneş için bir anlamda sonun başlangıcı demek. Ancak Güneş'in sonu hiç de huzur dolu olmayacak. Merkezinde önceden hidrojenin kapladığı yeri, 10 milyar yıldır sürekli oluşan helyum kaplayacak. Ancak iki protonlu helyum atom çekirdekleri birbirlerini tek protonlu hidrojen çekirdeklerine göre çok daha güçlü ittiği ve hiç de bir araya gelmek istemediği için, Güneş'in merkezindeki sıcaklık onların da nükleer tepkimeye girip enerji üretmelerine yetecek düzeyin çok altında kalıyor olacak. Bu durumda Güneş artık bir ana kol yıldızı olmaktan çıkacak; çünkü merkezindeki nükleer tepkimeler ve enerji üretimi durunca, 10 milyar yıldır koruduğu hidrostatik dengeyi yitirecek. Helyumdan oluşan çekirdek bölgesi Güneş'in dev kütleçekim kuvvetinin etkisiyle içine çökmeye başlayacak. Çekirdek küçüldükçe yoğunlaşıp iyice ısınacak. Bu sırada çekirdeği kuşatan ince bir tabakada hidrojenin helyuma dönüştüğü nükleer tepkimeler ve enerji üretimi sürecek. Çekirdeğin giderek ısınması ve onu kuşatan kabukta enerji üretilmesi nedeniyle, dışa doğru bir enerji akışı olacak ve Güneş'in dış katmanları genişlemeye başlayacak. Güneş büyüdükçe yüzey alanı da genişleyecek; böylece yüzeyi giderek soğuyacak ve rengi de turuncuya, kırmızıya doğru kayacak. Yaklaşık 600-700 milyon yıl sürecek bu aşamanın sonunda, Güneş'in çapı bugünkünden 1-2 kat daha büyük, yüzey sıcaklığı 1000°C kadar daha düşük ve dolayısıyla rengi de kırmızıya yakın olacak.

Bu aşamayı izleyen 500 milyon yıl içinde Güneş'te daha köklü bir değişim olacak: Önce boyutları küçülecek ve rengi mavileşecek, ardından da hızlı bir genişleme sürecine girecek. Çapı bugünkünün 150 katına çıkacak. Her ne kadar yüzey sıcaklığı biraz düşse ve rengi kırmızılaşsa da, olağanüstü büyümesi nedeniyle o zamanki parlaklığı bugünkünün 2000 katı olacak. Ölümünün bu aşamasında Güneş tam bir "kırmızı dev" olacak. Kırmızı dev olma sürecinde aşırı şiddetlenen güneş rüzgârı nedeniyle Güneş, kütlesinin yüzde 30-40 kadarını uzaya saçacak. Kütlesindeki bu azalma nedeniyle, Güneş'in çevresinde dönen başta gezegenler olmak üzere bütün her şey üzerindeki kütleçekim etkisi azalacak ve aradaki bağ zayıflayacak. Sistemdeki her şeyin yörüngesi Güneş'ten bir miktar uzaklaşacak. Örneğin Venüs, bugün Dünya'nın olduğu yörüngeye gelirken Dünya'da Mars'ın yörüngesine yakın bir yörüngeye kayacak.

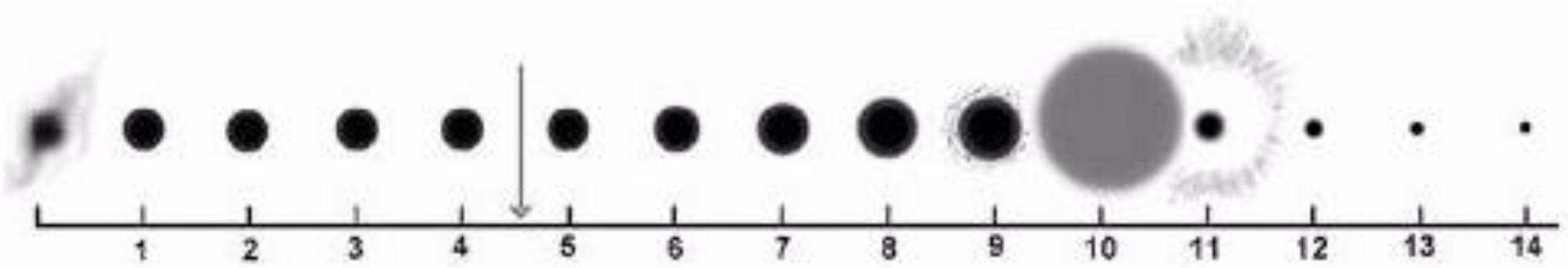
Bir süre sonra yıldızımızın çekirdeğindeki sıcaklık 100 milyon dereceye ulaşacak ve bir başka köklü değişiklik daha yaşanacak. Bu sıcaklıkta helyum atom çekirdekleri birbirlerini iten kuvveti yenip kaynaşmaya ve karbon ile oksijen atom çekirdeklerini oluşturmaya başlayacak. Bir başka deyişle Güneş'te nükleer tepkimeler ve enerji üretimi yeniden başlayacak. Merkez bölgenin içine çökmesi aniden duracak. Bu kez birkaç milyon yıl gibi kısa bir sürede süreç tersine işleyecek ve yıldızımız hızla küçülerek bugünkü çapının on katı çapında bir yıldıza dönüşecek. Yeniden denge durumu sağlanacak ve Güneş bu halde bir süre daha ışıyacak.



Çekirdeğinde hidrojen tükenen ve dengesini yitiren Güneş, ilk 600-700 milyon yıl içinde önce küçük çaplı bir büyüme geçirecektir. Bu sırada yüzey sıcaklığı da düşeceğinden rengi kırmızılaşacak ve bir kırmızı dev olacaktır. Çekirdeğinde helyum yakmaya başladığındaysa, rengi mavileşecek ve boyutları da küçülecektir. Ancak helyum da bittiğinde dengesini ikinci kez yitirecek ve 500 milyon yıl içinde normal çapının 150 katına çıkıp bir süper kırmızı dev olacaktır.

Çekirdekteki helyumun yanması hızlı olacağından, 100 milyon yıl kadar bir süre sonra helyum tükenecek ve çekirdek karbon ve oksijenle dolacak. Merkezdeki nükleer tepkimeler yine duracak. Yıldızımız dengesini son kez yitirecek. Nükleer tepkimelerin durduğu çekirdek yine küçülmeye başlayacak ve ilk kırmızı dev aşamasındaki gibi dış katmanlar da genişleyecek. Artık karbon ve oksijenden oluşan çekirdeği saran iki kabuk olacak: İlkinde helyumu karbona ve oksijene dönüştüren nükleer tepkimeler gerçekleşirken, onu saran ikinci kabukta da hidrojenin helyuma dönüşmesi sürecek. Ama bu aşama öncekine göre çok daha hızlı tamamlanacak ve (5-6 yüz milyon yıl yerine) 20-25 milyon yıl gibi bir sürede sona erecek. Bu süre boyunca "esen" şiddetli güneş rüzgârları nedeniyle, yine büyük bir kütle yitirilecek, uzaya savrulacak. Yıldızın kütleçekim etkisi bir kez daha azalacağından gezegenlerin yörüngeleri daha da ötelere kayacak.

Sonunda Güneş'imizin çapı, bugünkünün 200 katına ulaşmış (neredeyse Dünya'nın bugünkü yörüngesine kadar genişlemiş), parlaklığı da 5000 katına çıkmış olacak. Dış katmanlarıyla merkezi arasındaki kütleçekim bağı iyice zayıflamış olacak. Dış katmanların uzaya yayılması sürecek ve 6-7 bin AB çapında bir "gezegenimsi bulutsu" oluşacak.



Güneş'in yaşamı (Büyüklükler ölçekli değildir)

Merkezdeyse Dünya'nın çapının 1,5 katı çapında (ana kol yıldızı olduğundaki çapının yüzde 1'i kadar), karbon ve oksijenden oluşan, ama Güneş'in kütlesinin yarısı kütlede bir beyaz cüce kalacak. Yoğunluğu 1 ton/cm^3 ve yüzey sıcaklığı da 120.000°C dolayındaki bu beyaz cüce artık küçülmeyecek. Yüzey sıcaklığı zamanla düşecek.

Sonraki 100 milyar yıl içinde beyaz cücenin yüzey sıcaklığı görünür dalga boyunda ışıma yapamayacak kadar azalacak ve beyaz cüce artık hiç görülemeyen bir siyah cüce olacak. Güneş'in bu şiddetli ve çalkantılı ölüm sürecinde ayakta kalmayı başaran gezegenler varsa, artık hiç görünür ışık yaymayan Güneş'in çevresinde, bugünkünden çok farklı yörüngelerde, hepsi buzdan birer küre olarak dönmeye devam edecek.

Soru: Güneş'in evrimini şekil çizerek anlatınız.

(13.6.2006 Doktora Yeterlik Yazılı Sınavı)