

YILDIZ SİS

Prof. Dr. Esin Soyduġan [*Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi,
Fizik Bölümü Astrofizik Araştırma Merkezi ve Ülupınar Gözlemevi*

“Sismoloji, yıldızların iç yapılarının anlaşılmasında kullanılan önemli araçlardan biri. Yıldızlardaki depremlerin neden olduğu sismik değişimlerin incelenmesi, onların iç bölgeleriyle ilgili bilgi sağlarken, iç yapılarının ve gelişim süreçlerinin sınanmasında da kullanılan en önemli yöntemlerden.

Sismik analizler, yıldızların nasıl yaşayıp öleceği ile ilgili kanıtlar sunuyor.”

Güneş türü yıldızlarda titreşimler (ortada)

<https://www.eso.org/public/news/eso0125/>

Sismoloji yer yüzeyine yerleştirilmiş alıcılarla, deprem kaynaklı sismik ve akustik dalgaların incelenmesi yöntemi olarak bilinir. Bizden çok uzakta ve birer nokta ışık kaynağı olan yıldızlarda da sismik değişimlerin olması ilk başta ilginç gelse de fiziksel sürecin anlaşılması çok kolay değildir. Dönemsel olarak görülen bu sismik değişimler yıldızlarda da deprem mi oluyor sorusunu aklımıza getirir. Depremler, dış katmanları katı olan gezegenimizde inceleniyor. Çok yüksek sıcaklıktaki plazmadan oluşan yıldızlarda bu tür olaylar neden ve nasıl ortaya çıkar? Güneş’te ve başka türden yıldızlarda karşımıza çıkan ve depremlerle benzerlik gösteren sismik titreşimlerin kaynaklarına ve özelliklerine daha yakından bakalım. Başka bir deyişle, yıldızlardaki depremleri inceleyelim.

SISMİYOLOJİSİ

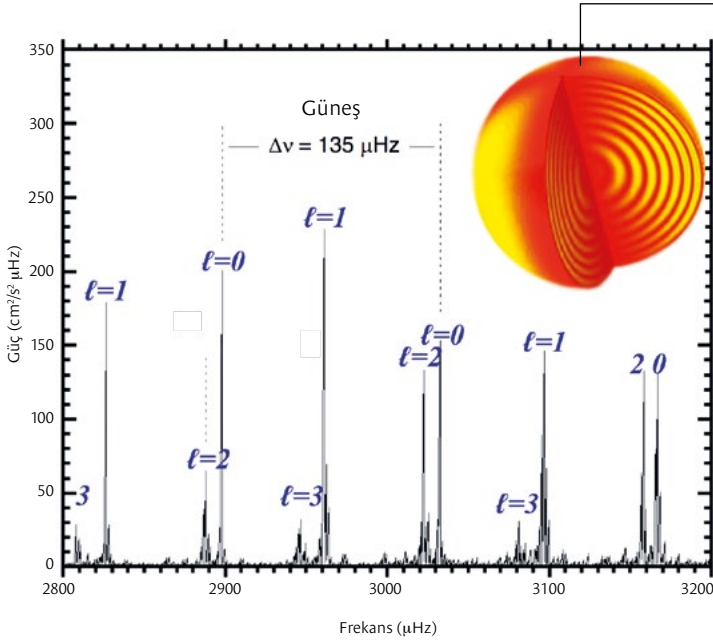


Gökyüzündeki yıldızların bize gönderdiği ışık sürekli değişiyor. Bu değişim, yıldızın özelliklerine göre çok uzun veya kısa dönemli olabiliyor ve farklı genliklerde olarak ortaya çıkıyor. Astrofizikçiler kendi teknolojik imkânları ile ışık değişimlerini yakalayabildikleri yıldızları “değişen yıldızlar” olarak isimlendirmiş. Bu tür yıldızlardan en ilginç olanlarından biri de bünyesel değişenler sınıfına giren, “zonklayan yıldızlar”. İşte deprem benzeri titreşimlerle, ışık değişimini bize sismik bir desenle sunan yıldızlar bu türün üyesi. Yıldız sismolojisi, bu tür yıldızların ışık ve tayf değişimlerini analiz ederek sismik değişimlerin kaynağını belirleyen, böylece yıldızların iç yapı özelliklerini ve yaşlarını araştırırken iç yapılarının ve gelişmelerinin de sunanmasına olanak sağlayan bir alan. Zonklayan değişen yıldızlar yıllardır bilinmesine rağmen uzun süre ışık ölçüm ve tayf çalışmalarından hassas sonuçlar elde edilemedi.

Bu tür yıldızlara ilişkin önemli ilk çalışmalar Henrietta Leavitt tarafından 1908’de ve 1912’de yayımlandı. Cepheid türü zonklayan yıldızların parlaklıkları ile zonklama dönemleri arasındaki ilişkiyi veren araştırma, bu tür zonklayan yıldızlar içeren uzak cisimlerin uzaklıklarını bulmak açısından önemli bir yöntem sunuyordu. Buna karşın bu alandaki araştırmalar son yıllara kadar sınırlı kaldı. Son yirmi yıldır gelişen teknoloji ile birlikte çok uzaktaki yıldızlardan gelen ışık çok daha hassas olarak kaydedilerek analiz edilebiliyor. Ayrıca ötegezegen keşifleri için gönderilen uydu teleskopların (örneğin Kepler ve CoRoT) yüksek hassasiyetteki gözlem verileri binlerce gezegenin keşfedilmesine olanak vermesinin yanı sıra yıldızların ışığındaki çok küçük genlikli değişimlerin ortaya çıkarılmasını da sağlıyor. Sismik değişim gösteren farklı türden pek çok yıldız grubunda bu tür değişimler kısa dönemli ve daha da önemlisi hayli küçük genlikli. Bu küçük genlikli değişimler uydu verilerinden gelen hassas veriler kullanılarak elde ediliyor.

Özellikle 2000'li yıllardan itibaren ivmelenen yıldız sismolojisi çalışmaları, yıldızların iç yapısının ve fiziğinin anlaşılması bakımından en popüler alanlardan biri olarak kabul ediliyor. Güneş ve Güneş türü yıldız dışındaki, zonklama gösteren yıldızlarda titreşimlerin kaynağı, yıldızın merkezinde üretilen enerjinin farklı derinlikte yer alan iyonlaşma bölgesinde tutularak belli bir dönemle akustik dalgalarla yıldızın yüzeyine taşınmasıdır. Yeryüzünde görülen depremler de aslında yer kabuğundaki ani kırılmalar nedeniyle meydana gelen titreşimlerin dalgalar halinde yer yüzeyine ulaşması yani bir bakıma enerji boşalmasıdır. Dünya'da görülen depremlerle aralarındaki benzerlik nedeniyle son yıllarda yıldızlardaki titreşim hareketleri de yıldızlarda deprem olarak adlandırılıyor. Peki yıldızlarda gözlenen sismik değişimlerin fiziği nasıl açıklanabilir?

Rus astrofizikçi S. A. Zhevakin 1950'de yıldızların sismik değişimlerini açıklamak için bölgesel iyonlaşma tabakasını ele alan bir öneri sunar. Yıldızlarda görülen zonklamaları yani titreşim hareketini sürdüren bölgenin bu iyonlaşma bölgeleri olabileceğini öne sürer. Yıldızlarda ilk önce sismik değişimlerin kaynağı olarak hidrojen gösterilmiş ancak daha sonra yıldızların özelliklerine göre farklı tür elementlerin de (örneğin helyum, demir gibi) zonklama üretebileceği belirlenir.



Güneş'in titreşimlerinin frekans dağılımı.

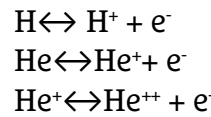
<http://mao.tfai.vu.lt/schools/downloads/20120806-Bedding-asteroseismology.pdf>

Yıldızların büyük bölümünde ışınım basıncı ve çekim kuvveti birbirini dengeler ve böylece yıldız küresel yapısını korur. Bu kararlı durum hidrostatik denge olarak tanımlanır. Aslında yıldızlardaki depremler yani zonklamalar hidrostatik dengeden ayrılmanın göstergesidir. Dengeden ayrılma, farklı mekanizmalarla gerçekleşebilir. Hidrojen, helyum ve demir gibi elementlerin kısmen iyonlaşmaya başladığı, yıldızların içindeki opak bölgeler bir ısı makinesine dönüşerek sismik titreşimlerin başlamasına neden olur. Yıldız çekim kuvveti ile büzülürken iç bölgelerde iyonlaşmanın başladığı katmanlarda parçacık sayısı ile birlikte opaklık da artar. Bir trafik polisinin yoldaki araçları durdurduğu zaman araçların birikmesi durumuna benzetebileceğimiz opaklık, sismik değişen yıldızların zonklamalarından sorumlu iyonlaşma bölgesinde tıpkı araçları bekleten bir trafik polisi gibi görev yapar. Böylece tutulan enerji belli bir süre sonra basınçla beraber çekim kuvvetini yenerek dış katmanların genişlemesi için kullanılır. Dış katmanlar genişlediği zaman fazladan enerji kaybı olur. Bu kaybı karşılayacak olan bir kuvvete ihtiyaç vardır. Çekim kuvveti basınç kuvvetini yendiği anda yıldız büzülmeye başlar. Bu şekilde yıldız zonklamaları dönemsel ve kalp atışını andırurcasına düzenli değişimler olarak tekrarlanır.

Çapsal olmayan zonklama yapan bir yıldızın yüzey ve iç yapı modeli

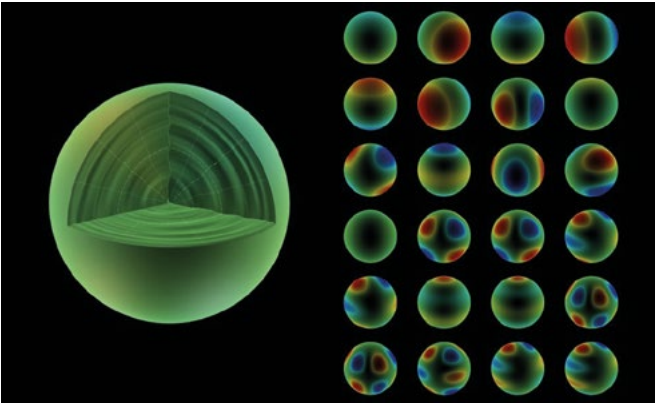
http://www.lesia.obspm.fr/perso/claude-catala/plato_web_files/asteroseismology.html

Yıldızlardaki sismik değişimlerin kaynağı olan hidrojen iyonlaşma bölgelerinde sıcaklık 15.000 K iken, helyum iyonlaşma bölgeleri için bu değer 40.000 K civarındadır. Yıldızın kütlesine göre iyonlaşma bölgesinde farklı elementler de görülebilir. Hidrojen ve helyum için iyonlaşmalar şu şekilde gerçekleşir:



Zonklamalardan sorumlu iyonlaşma bölgesinin, kütleleri ve yüzey sıcaklıkları farklı olan yıldızlarda farklı yerlerde bulunacağı unutulmamalıdır.

Yaşam kaynağı olan yıldızımız Güneş'in de akustik ses dalgalarıyla, binlerce farklı frekansta titreştiğini biliyoruz. Güneş zonklamaları yıldız zonklamalarının anlaşılmasında yol gösterici olmuştur. Güneş'te titreşime neden olan mekanizma konveksiyon olarak gösterilirken, diğer zonklayan yıldızlarda konveksiyon zonklamaları durdurucu etki olarak bilinmektedir. Titreşim genliği (0,1 m/s – 0,5 km/s) küçüktür ve beş dakikalık dönemlerle zonklar. Dünya'ya yakın olduğu için diskini bölge bölge inceleme şansımızın olması nedeniyle Güneş'te diğer yıldızlardan çok daha fazla hatta binlerce zonklama frekansı elde edilir.



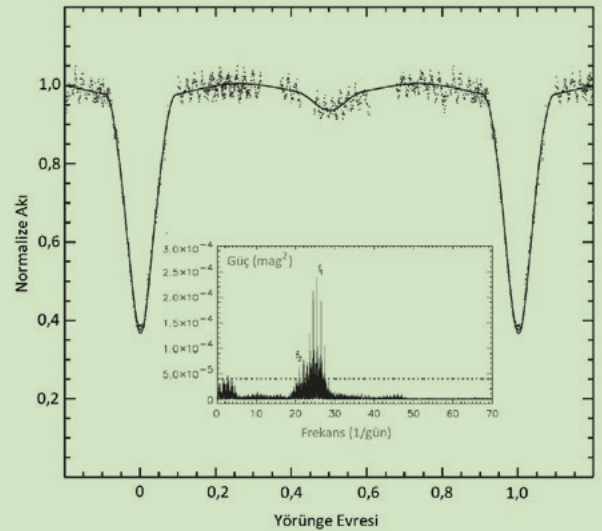
Çok sayıda farklı modla titreşim yapan ölmüş yıldız kalıntısı bir beyaz cücenin yüzey ve iç yapı modeli

<http://craa-astro.ca/2018/01/08/journey-to-the-center-of-a-white-dwarf-star/?lang=en>

Yıldızların bazıları zonklama türü titreşimler gösterirken bazıları neden göstermez? Akustik dalgaların görev aldığı küçük genlikli zonklamalardan kaynaklanan değişimlerin ancak çok hassas gözlemlerle belirlenebileceğini aklımızdan çıkarmayalım. Birçok yıldızda gerçekleşen bu değişimler hassas veriler olmaması nedeniyle hâlâ elde edilememiş olabilir. İyonlaşma bölgesinin yıldızın içinde uygun derinlikte olmaması da ikinci bir neden olabilir. Bazı yıldızlarda zonklamayı başlatacak elementin iyonlaşması -gerekli sıcaklığa ulaşmak için- daha derin katmanlarda gerçekleşebilir. Bu durumda, iyonlaşma bölgesinin üstünde yer alan katman çok daha büyük kütleli olabileceği için, biriken enerjinin neden olduğu ışınım kuvveti çekim kuvvetini yenemeyeceğinden zonklama başlamayabilir. Ters durumda ise, yani eğer iyonlaşma bölgesi yıldızın yüzeyine çok yakınsa zonklama kaynaklı ışık değişimlerinin genliği çok küçük olacağından bu değişimleri gözlem yaparak belirlemek mümkün olmayabilir.

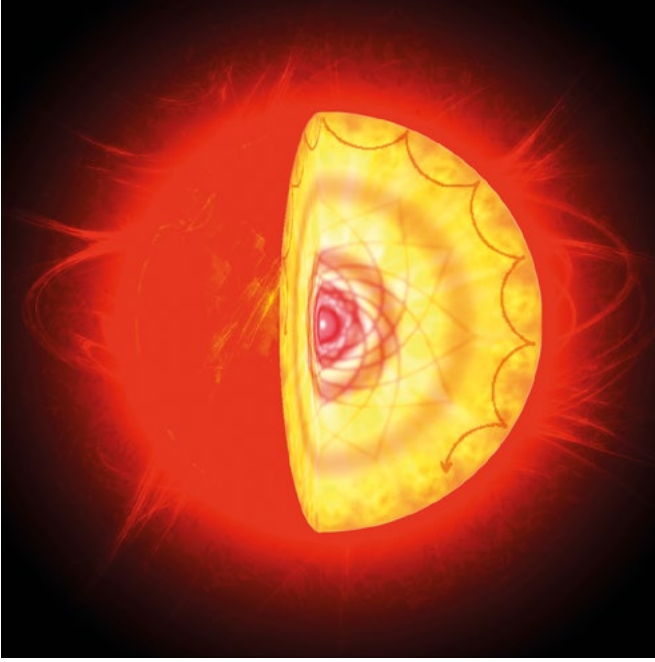
Çift Yıldız Sismolojisi

Son yıllarda yapılan yüksek hassasiyetli gözlemler, çift veya çoklu yıldız bileşenlerinde de sismik değişimler olduğunun anlaşılmasını sağladı. Bu çift sistemlerdeki zonklayan bileşenlerin zonklamalarına yol açtığı bilinen uyarılma mekanizmalarına çekimsel etkileşme de eklendi. Ortak kütle merkezi etrafında hareket eden yıldızlarda, zonklama yapan bileşenin sismik özellikleri yanındaki bileşenin çekimsel etkisi nedeniyle değişiyor. Kısacası, yıldızlardan birindeki depremler yanındaki yıldızın çekim kuvvetinden etkileniyor ve hatta sismik özellikleri ona göre değişebiliyor. Özellikle örten çiftlerin bileşenlerinin kütle ve yarıçap gibi temel parametreleri de yüksek hassasiyetle belirlendiğinden, bu tür yıldızların sismik analiz sonuçları yıldızların iç yapıları ve gelişimleri ile ilgili kuramların sınanmasında kullanılıyor.



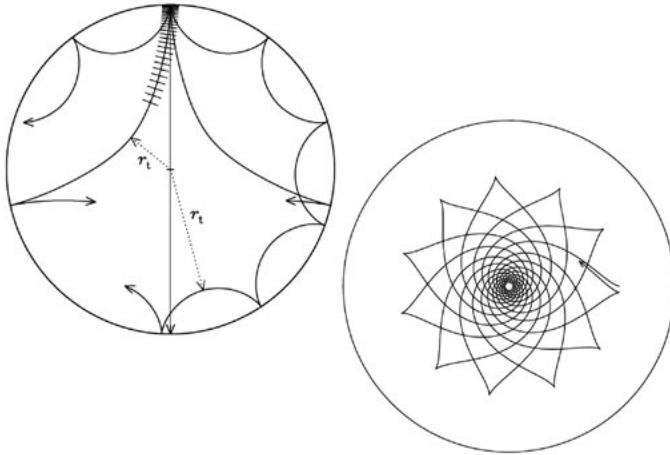
Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Gözlemevi'nde sismik değişimleri keşfedilen çift yıldız sistemi BG Peg'in parlaklık değişimi (dış panel) ve güç tayfi (iç panel)

Kaynak: Soyduğan, E., 2011.



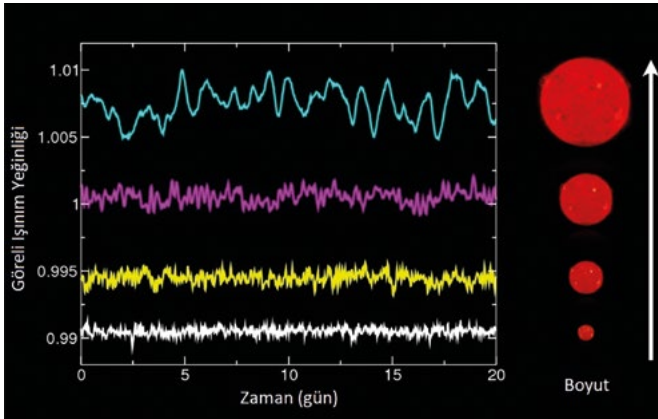
Basınç (alt solda) ve yıldız içlerinde çekim (alt sağda) modları

(<https://arxiv.org/abs/1703.07604>; Di Mauro, M.P., 2016, "A Review on Asteroseismology", *Frontier Research in Astrophysics-II*, 23-28 Mayıs 2016, Palermo, İtalya)



Şiddeti büyük depremlerde, aktif bölge yakınında yaşayanlar deprem sırasında büyük bir uğultu duyduklarını ifade eder. Depremin şiddeti arttıkça titreşimin şiddeti de artar. Titreşen cisimlerin ses çıkardığını ancak her cismin titreşim sonucunda çıkardığı seslerin birbirinden farklı olabileceğini de biliyoruz. Aslında gökyüzü farklı frekanslarda sesler çıkaran, farklı özelliklerdeki müzik aletlerine benzetebileceğimiz sismik değişen yıldızlarla dolu.

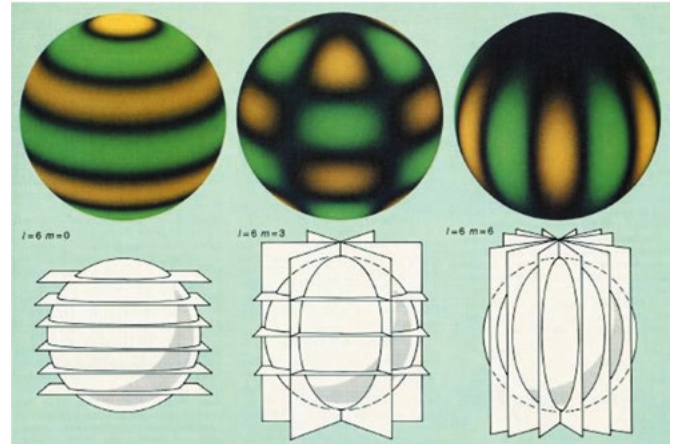
Yıldızlardaki depremler temelde iki farklı zonklama hareketiyle kendini gösterir: Yarıçap doğrultusunda büzülüp genişleme şeklinde görülen zonklama türü yani çapsal zonklamalar ve daha karmaşık olan yıldızın birbirine komşu tüm bölgelerinin zıt fazlarda büzülüp genişlediği çapsal olmayan zonklamalar. Zonklamalarda geri çağırıcı kuvvet basınç veya çekim olabilir. Bu durumda zonklama modları, basınç veya çekim modu olarak adlandırılır. Yer tabanlı veya atmosfer dışı gözlemlerden elde edilen verilerin sismik analiziyle, zonklayan yıldızların zonklama türleri, zonklama frekansları ve akustik dalgaların genlikleri belirlenebilir. Zonklayan bir yıldızın hem yüzey sıcaklığı hem de geometrik yapısı zonklama çevrimleri boyunca değişir. Yer tabanlı gözlemlerle belirlenen frekans sayısı azken gözlem hassasiyetine bağlı olarak atmosfer dışı gözlemlerden elde edilen frekans sayısı hayli fazladır. Frekans sayısı ne kadar artarsa edindiğimiz bilgi de o kadar artar. Çapsal ve çapsal olmayan modlara ilişkin modelleme animasyonları <http://www.konkoly.hu/staff/rszabo/images/anim20.gif> adresinde görülebilir.



Güneş'teki, yıldızlardaki ve yerdeki titreşimler üzerine çalışmak bu cisimlerin iç yapıları hakkında bilgi sahibi olmamıza olanak sağlar. Yer için de en önemli titreşim kaynağı depremlerdir ve depremi meydana getiren akustik ses dalgaları yerin iç kısımlarından bilgi taşır. Zonklama türü ışık değişimleri gösteren yıldızların iç kısımlarından gelen ve akustik ses dalgalarının meydana getirdiği titreşimler de bize yıldızların iç kısımlarındaki şifreleri taşır.

Özellikle birden fazla modla zonklama gösteren yıldızlardan gelen ve her biri ayrı bir modu temsil eden dalgalar yıldızın iç kısımlarındaki farklı bölgelerden geliyor demektir. Bu dalgaların birbirlerini sönmülmesi veya birbirleriyle girişim yapması yıldızın zonklama genliğinde azalışa veya artışa neden olur. Yıldızın içinde ilerleyen dalgalar, geçtikleri bölgelerin yoğunlukları, dönme dağlımları, kimyasal bollukları ile ilgili bilgi taşırken aynı zamanda yıldızların temel parametrelerini ve yaşlarını hesaplamamıza da olanak sağlar.

Bir yönüyle doğal afet olan depremler, diğer bir yönden bakıldığında üretildikleri cisimlerin doğasını anlamamız için bize fırsatlar sunan olaylardır. Bu nedenle, astrofizikçiler yıldız depremlerini daha ileri teknoloji ve analiz yöntemleri ile araştırmaya ve izlemeye devam edecek. ■



Farklı modlarda zonklama yapan yıldızların modlara göre yüzey görünümleri. (üstte)

<http://www.pnas.org/content/pnas/96/10/5356.full.pdf>

Farklı boyutlardaki kırmızı dev yıldızların Kepler uydurularından çıkarılan titreşimleri (solda)

<https://astrobites.org/wp-content/uploads/2011/04/kasc4.jpg>

Kaynaklar

Di Mauro, M. P., "A Review on Asteroseismology", *Frontier Research in Astrophysics-II*, 23-28 Mayıs 2016, Palermo, İtalya, 2016. <https://arxiv.org/abs/1703.07604>

Soyduğan, E., Soyduğan, F., Şenyüz, T., Püsküllü, Ç., Demircan, O., "A comprehensive photometric study of the Algol-type eclipsing binary: BG Pegasi", *New Astronomy*, Cilt 16, Sayı 2, s. 72-78, 2011.

<http://www.konkoly.hu/staff/rszabo/images/anim20.gif>

<https://phys.org/news/2015-12-results-heretofore-pulsating-stars.html>

Leavitt, H., "1777 variables in the Magellanic Clouds", *Annals of the Harvard College Observatory*, Cilt 60, s. 87-107, 1908.

Leavitt, H. ve Pickering, E. C., "Periods of 25 Variable Stars in the Small Magellanic Cloud", *Harvard College Observatory Circular*, Cilt 173, s. 1-3, 1912.