

Erken Tip Yıldızlarda İç Dönme: Hızlı Dönen Özek

Mutlu Yıldız

Ege Üniversitesi Fen Fakültesi
Astronomi ve Uzay Bilimleri Bölümü
35100 Bornova İzmir

1. Giriş

Genel kanının aksine, yıldızlarda dönme konusu en az bilinen konular arasında yer almaktadır. Bu durum, ısısal işlemin bulunduğu bir plazma ortamında açısal momentum evriminin karmaşıklığının yanı sıra, yıldızların gözlenen yüzey özelliklerinin kural koymayı neredeyse geçersizleştirecek çeşitlilikte olmasından ötürüdür. Geri tayf tipindeki yıldızların yavaş dönmelerinden dolayı, dönmenin bunların temel küresel özellikleri üzerindeki doğrudan etkisi ihmal edilebilir. Hızlı dönen erken tip yıldızlarda ise, dönme, hem yapı üzerinde doğrudan etkilidir hem de yıldızdan yıldıza değişerek birbirinden çok farklı yıldızlar görmemize yol açmaktadır. Bu bakımdan, dönme konusundaki bilgilerimizin bazılarının düzeltilmesi gerekmektedir: örneğin, erken tip yıldızların hepsinin hızlı (eşlek hızı = 200-300 km/s) döndüklerine ilişkin çıkarsama (mesela, bak. Böhm-Vitense 1989), gözlenen $v \sin(i)$ dağılımlarına bakıldığında geçerli görünmemektedir. Bu tip yıldızların açısal momentumları birbirinden oldukça farklı olduğundan, adeta her yıldız kendi özgün evrimini yaşamaktadır.

Bu yıl Yıldızlarda Dönme başlığıyla bir IAU toplantısı 11-15 Kasım 2002 tarihleri arasında Meksika'da yapılacaktır. Bu konudaki en son gerçekleşen IAU toplantısı ise 1969 yılında gerçekleştirilmiştir. İki toplantı arasında bu kadar zaman geçmesi bile, bize konunun güçlüğü hakkında bazı ipuçları vermektedir.

Dönme genel olarak şaşırtıcı sonuçlar ortaya çıkarmaktadır. Daha yavaş döndüğü için olsa gerek, geç tip yıldızlarda dönmenin daha az karmaşık olduğu kabul edildiği halde, gözlenen titreşim sıklıklarından Güneş'in dönmesine ilişkin elde edilen veriler daha önceki iki beklentimizin tam tersinin geçerli olduğunu ortaya çıkardı: 1) Konvektif zarfın katı cisim gibi döndüğünü varsayarken, ışınımsal dengede olan iç kısımda yarıçapa bağlı bir dönme hızı profili beklenmekteydi, ancak gerçeğin bu durumun tam zıddı olduğu anlaşıldı, yani iç kısmın dönmesi katı cisim dönmesine daha yakın; 2) Dönen bir yıldızda, ısısal kararsızlıktan dolayı, yüzeyde kutuptan eşleğe doğru olduğu kabul edilen meridyonel akıntının tam ters yönde eşlekten kutba doğru olduğu ortaya çıktı (Basu, 2002).

Bu nedenle, yıldızlarda dönmeye ilişkin sürprizlere hazır olmalıyız. Bileşenlerinin temel özellikleri iyi bilinen bazı çift yıldızlardaki erken tip yıldızlar, özeklerinin çol hızlı döndüğüne ilişkin ipuçları vermektedir. Yıldızların gözlenen özellikleri ile elde edilen modeller arasındaki farklardan yola çıkarak ulaşılan bu sonuç Hyades açık kümesi için yapılan çalışmada da ortaya çıkmıştır (Yıldız ve ark, 2002).

Kimyasal bakımdan tuhaf olan yıldızların büyük kısmı A ya da geç B tipi yıldızlardır ve bu yıldızlar dönme özellikleri bakımından birbirinden çok farklılık göstermektedirler: örneğin, Ap ve Am yıldızları yavaş dönen yıldızlardır. Bu bağlamda, tuhaf yıldızların tuhaflikları ile iç dönmeleri arasında bir ilişki olabilir.

Bu çalışmada, temel özellikleri iyi bilinen çift çizgili örten çift yıldız sistemindeki bileşenler için yaptığımız model çalışmalarının bazı temel sonuçlarını sunuyoruz. Bu sistemler, EK Cep ve PV Cas sistemleridir ve aynı zamanda eksen dönmesi göstermektedirler. Bu konuda da analizler yapılarak, mümkün olduğunca daha çok veri kullanılıp daha gerçekçi bir çözüm elde edilmeye çalışılmıştır.

2. Ayrık Çift Yıldızların Modelleri ve Gözlemlerle Farkları

Temel özellikleri iyi bilinen ayrık çift yıldızlardaki bileşenlerin yapılan modellerinden (Pols ve ark., 1997; Young ve ark. 2001) şu genellemeyi yapabiliriz: erken tip yıldız modeller, geç tip yıldız modellere göre daha az ağır element ve daha çok hidrojen bolluğu ile gözlemsel verileri sağlamaktadır. Bu durumun en tipik özelliği EK Cep çift yıldız sisteminde görülmektedir.

Bu sistemdeki ikinci bileşen anakol öncesi ve Güneş benzeri bir yıldız iken, birinci bileşen sıfır yaş anakol (SYAK) modelinden bile daha küçük ve daha sönük görünmektedir. Eğer iki bileşen aynı yaşa ve kimyasal içeriğe sahipse, modellerden birisinde bir sorun var demektir. Bu model, birinci yıldızın modeli olma olasılığı çok daha yüksektir, çünkü gereksinim duyduğu kimyasal içerik yıldız evrim kuramıyla çelişkili: sistemin genç olmasına karşın, hidrojen bolluğu Güneş'inkinden daha fazla ağır element bolluğu ise daha az olmaktadır.

Erken tip yıldızlardan oluşan çift yıldız sistemlerinin bir çoğundaki tipik durum budur ve bu durumun diferansiyel dönmenin bir sonucu olabilir.

3. Dönmenin Yıldız Yapısı Üzerindeki Etkisi

Dönmenin yapı üzerindeki doğrudan etkisi merkez kaç kuvvetinin hidrostatik denge denklemindeki katkısı ile betimlenebilir. Yıldız döndüğü durumda en azından iki boyutlu bir yapıya sahip olmasına karşın açılı boyutunda ortalama etkiyi ele alarak yine tek boyutlu hidrostatik denge denklemini elde ederiz:

$$\frac{dP}{dM_r} = -\frac{GM_r}{4\pi r^4} (1 - \Lambda_r).$$

Burada, ω yıldızın r yarıçaplı katmanının açısal dönme hızı olmak üzere, Λ_r ,

$$\Lambda_r = \frac{2}{3} \frac{\omega^2 r^3}{GM_r}$$

ile verilmektedir ve dönmenin etkisi için bir ölçüt niteliğindedir. Λ_r sıfır olduğu zaman dönmenin etkisi yokken, bir olduğu uç durumdaysa yıldız hidrostatik dengeye gelemeyecek kadar hızlı dönüyor demektir.

Ortalamanın $\bar{\Lambda}$ olduğu bir durumda, ΔU ve $\Delta \Phi$ iç enerjide ve gizilgüç enerjisinde değişim olmak üzere, Virial kuramı

$$\Delta U = -\frac{1}{2} (1 - \bar{\Lambda}) \Delta \Phi$$

şeklini alır. Bu ilişkiden, dönen bir yıldızın bazı özelliklerini çıkarabiliriz. Yukarıdaki açıklamaya göre bir yıldızın gizilgüç enerjisindeki değişimin (örneğin büzülmeden dolayı) ne kadarının iç enerji olarak depolanacağı $\bar{\Lambda}$ 'ya bağlı: $\bar{\Lambda}$ ne kadar büyükse gizilgüç enerjisindeki değişimin o kadar az miktarı iç enerji olarak depolanabilmektedir. Dönmeyen ($\omega = \Lambda = 0$) bir yıldızda kaybedilen gizilgüç enerjisinin

yarısı, $\bar{\Lambda} = 0,5$ olduğunda ise sadece dördte biri iç enerjiye dönüşmektedir. Bu durumun net sonucu olarak, dönen bir yıldız dönmeyen tam benzerine göre daha fazla çökerek hidrostatik dengeye ulaşacaktır. Buradan hareketle, dönen yıldızın merkezindeki yoğunluk dönmeyene göre daha fazla iken, merkezindeki sıcaklık daha azdır. Nükleer tepkimeler sıcaklığa daha duyarlı olduğu için, dönen yıldız dönmeyene göre daha sönük olmak durumundadır.

Yıldızın yüzeyindeki özellikler ise daha çok dış kısımların dönme hızına bağlıdır. Eğer yıldızın katı bir cisim gibi döndüğünü düşünürsek, dönme hızı çok yüksek olduğunda bile merkezdeki koşullar dönmenin olmadığı durumdaki koşullara çok yakındır. Ancak, merkezkaç kuvvetinin etkisiyle yıldız çok büyük yarıçapta hidrostatik dengeye geldiğinden yüzey sıcaklığı, dönmeyen modelin yüzey sıcaklığına göre oldukça düşük kalacaktır. Eğer dönme katı cisim gibi değilse durum biraz daha kamaşık bir hal almaktadır. Senkronizasyon sürecindeki duruma denk gelecek şekilde, iç kısımların hızlı, dış kısımdaki kütlelerin kayda değer bir kısmının ise yavaş döndüğü bir durumda ise, dönen yıldızın yüzey sıcaklığı dönmeyeninkinden daha fazla olabilmektedir.

4. Neden Diferansiyel Dönme?

Model yaparken kullandığımız, çekirdek tepkimeleri, saydamsızlık (opasite) ve hal denklemi gibi betimlemelerimizde kayda değer bir sorun olmadığını düşünelim. Güneş modelleri ile helyosismik sonuçlar arasındaki farkların oldukça düşük kaldığını göz önünde tutarsak, bu yaklaşımın iyi bir yaklaşım olduğunu kabul edebiliriz. Bu durumda, erken tip yıldızların daha sönük ve daha küçük olmalarına oldukça yüksek ($H \approx 10^8 \text{ gauss}$) manyetik alan ya da diferansiyel dönme neden olmuş olabilir. A tipindeki bir yıldızın kararlı olabilmesi için manyetik alanın en yüksek değeri $H \approx 10^7 \text{ gauss}$ 'dur (Chandrasekhar ve Fermi, 1953). Dolayısıyla, manyetik alan (en azından tek başına) bu durumdan sorumlu tutulamaz.

Zahn'ın 1970'li yıllarda ışınımsal dengede zarfa sahip olan erken tip yıldızlardan oluşan sistemlerdeki senkronizasyon için geliştirdiği kurama göre de bu tip yıldızlarda diferansiyel dönme olmalı. Karşılıklı etkileşimden dolayı konvektif özek ile ışınımsal zarf arasındaki sınırda çekim (gravity) dalgaları uyartılmaktadır ve bu dalgalar ancak ışınımsal bölgede ilerleyebilmektedir. Yüzeyde kısmen yansıtılan bu dalgalar, negatif açısal momentum taşıdıklarından, yüzeyi senkronize ederken (yavaşlatırken), iç kısımların daha hızlı dönmesine yol açmaktadır.

5. EK Cep A ve PV Cas'ın Bileşenlerinde Diferansiyel Dönme

EK Cep sistemi için, ikinci yıldızın temel özelliklerini ve sistemin tek bir yaş ve kimyasal içeriğe sahip olduğu koşulunu kullanarak bulduğumuz kimyasal içerik ($X = 0,61$ ve $Z = 0,04$) ile birinci yıldız için elde ettiğimiz, gözlemlerle uyumlu, diferansiyel dönen modelin özek kısmı senkronize dönen yüzeyden 65 kat daha hızlı dönmektedir ve senkronize olmuş kütlelerin toplam kütle içerisindeki payı 48 %'dir. Sistemin eksen dönmesi göstermesine karşın, dönemin uzun olması (4000 yıl) ve ikinci yıldızın yapısına ilişkin terimin baskınlığından dolayı bu hareketin varlığı pek bir işe yaramamaktadır.

Bileşenlerinin temel özellikleri iyi bilinen PV Cas sisteminin diğer sistemlere göre daha sönük olmasının yanı sıra, sistemin eksen dönme döneminin kısa olması (91 yıl) ve ışık eğrisinde Ap benzeri değişimler göstermesi, modelleme ve eksen dönmesi analizi açısından sistemi yeterince ilginç kılmaktadır. Her ne kadar Young ve ark. bu sistemin bileşenlerin anakol öncesi evrede bulduklarını iddia etse de, hem yörünge elemanları hem de bileşenler arasındaki düşük sıcaklık farkını gözönünde tuttuğumuzda bu iddianın çok zayıf bir olasılık olduğunu söyleyebiliriz.

Bileşenlerin kütleleri birbirine yakın olduğundan, dönmeyi gözönünde tutmasak bile, EK Cep sistemindeki gibi sistemin özelliklerini bulamayız. Bu durumda, sisteme çeşitli yaşlar atfederek, modelle gözlemin uyumu için gerekli kimyasal içerikleri buluruz ve modellerden elde edeceğimiz eksen dönme hızı ile gözlenen tutulma zamanlarından elde edilen eksen dönme hızını kıyaslayabiliriz. Dönmeyen modellerle,

yıldızların anakol ömürleri süresince hiç bir zaman için, hem yıldızların temel özellikleri hem de eksen dönmesi için bir çözüm bulunmamaktadır.

Genel olarak, belirli bir yaş atfedilerek elde edilen bütün dönmeyen modellerden hesaplanan eksen dönme hızları gözlenen eksen dönme hızından fazla çıkmaktadır. Senkronizasyonun önemli bir kütle miktarında gerçekleştiğini varsayarak hesaplanan modellerle fark gittikçe artmaktadır. Senkronizasyonun ancak çok ince bir yüzey katmanında gerçekleşmesi durumunda gözlenen ve modellerden hesaplanan eksen dönme hızları birbirine yakın olmaktadır. Yani, yüzeye yakın kısımda dönme hızı için keskin bir gradyent vardır.

6. Sonuç

İkinci bileşeni anakol öncesi evrede olan genç EK Cep sistemi için bulunan kimyasal içeriğe göre bu sistem metalce zengin bir sistemdir ($Z = 0,04$). Birinci bileşenin merkezinin çok hızlı dönmesinden dolayı yıldızın ışınımgücü dönmeyen modelin SYAK'da sahip olduğu ışınımgücünden bile daha az gözlenmektedir. Bunun yanı sıra, toplam kütleinin 48 % kadarı olan dış kütlede senkronizasyon gerçekleşmiş gözükmemektedir.

Neredeyse özdeş iki yıldızdan oluşan PV Cas sistemindeyse, kısa olan eksen dönme dönemini de kullanarak, çözüm yine hızlı dönen özekle sağlanmaktadır. EK Cep A'nın tersine, PV Cas bileşenlerinde senkronizasyon yüzeyle sınırlı ve hemen altta keskin bir dönme gradyenti bulunmaktadır.

Yine bu sistemin ışık eğrisinde Ap benzeri değişimler gözlemlendiği için, bileşenlerin elde edilen bu dönme özellikleri Ap yıldızlarının genel ve ayırıcı özelliği olabilir. Bu durumda, kimyasal olarak tuhaf olan yıldızların doğasını anlamak için önemli bir adım atılmış olur. En azından manyetik Ap yıldızlarının yapısı PV Cas bileşenleri için yaptığımız modele çok yakın olmalıdır.

Eğer erken tip yıldızların, en azından bazılarının merkez kısımları çok hızlı dönüyorlarsa, bu durumun başka belirteçlerinin de gözlenmesi gerekmektedir. Bu belirteçlerden birisi, dağılma hızına yakın dönen yıldız kalıntıları olabilir.

Yıldız astrofiziğinde çözülmemiş önemli problemlerin çoğunun pek betimleyemediğimiz açısal momentum evrimi ve dönmeye eşlik eden manyetik alandan kaynaklandığı savı ortaya atılabilir ve bu sorun her tür yıldız ilgilendiriyor gibi görünmektedir. Proje evresinde olan 3-boyutlu yıldız modellerinin gündeme gelmesi ile bu tür sorunların, en azından bir kısmının, çözüm zamanının geldiğini düşünebiliriz.

Kaynaklar

- Basu, S., 2002, *3D Stellar Evolution Workshop*'da, hazırlanıyor
Böhm-Vitense, E., 1989, *Introduction to Stellar Astrophysics*, Vol.1, Cambridge University Press
Chandrasekhar, S., Fermi, E. 1953, ApJ, 118, 116
Pols, O. R., Tout, C.A., Schroder, K.-P., Eggleton, P. P., Manners, J., 1997, MNRAS, 289, 869
Yıldız, M., Yakut, K., Şart, H., hazırlanıyor
Young, P. A., Mamajek, E. E., Arnett, D., Liebert, J., 2001, ApJ, 556, 230
Zahn, J.-P. 1977, A&A, 57,383.