

# Sarmal, Çubuklu Sarmal ya da Eliptik Gökadalar

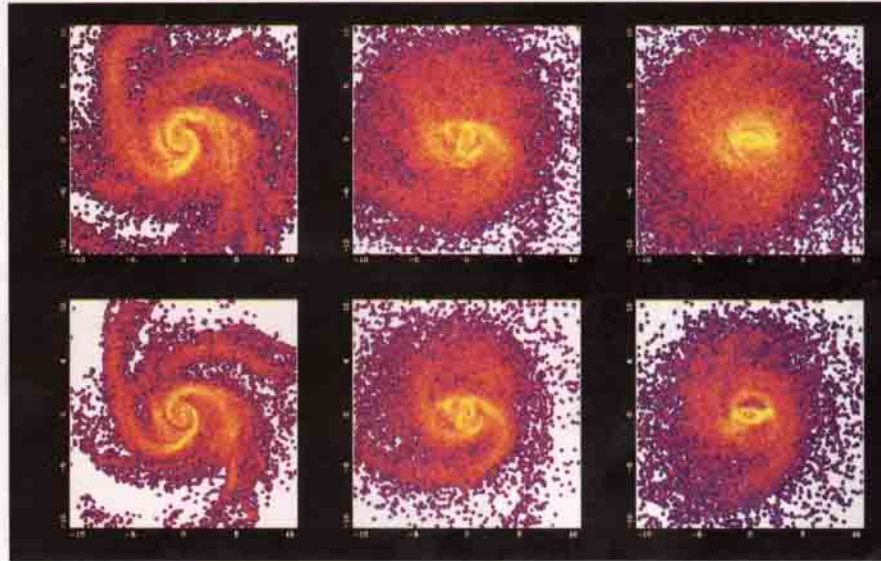
Gökadaların elips, sarmal ya da çubuk biçiminde olmaları, kütle çekim kuvvetinin bir yıldız ve gaz karışımına yaptığı etkilerin sonucudur. Bugüne değin birçok gökbilimci Edwin Hubble'ın sezgilerini izleyerek, gökadalara en basit biçimlerden (eliptik gökadalara) en karmaşık biçimlere (sarmallar) doğru bir evrim gösterdiğine inandı. Bugün bilgisayar simülasyonlarıyla desteklenmiş kuramsal modeller, bunun tam tersi yönde bir evrim olduğunu ortaya koymuştur.



1924'te Amerikalı astronom Edwin Hubble, uzun sürmüş bir tartışmayı sona erdirdi: Gökadalar (galaksiler), bazı gökbilimcilerin düşündüğü gibi gaz ve tozlardan yapılmış bulutsular olmayıp, yüz milyarlarca yıldızdan yapılmış ayrı alemlerdir. Gökadalar çeşitli biçimlerde görülür: Az ya da çok uzamış elipsler, sarmal kollarla çevrili tekerler (diskler) ya da şekilsiz (amorfl) bulutlar. Hubble, gökada biçimlerini en genç ve en basitten (eliptik gökadalara) en yaşlı ve en karmaşığa (sarmal ya da düzensiz gökadalara) doğru sınıflandırmıştır. Günümüz gökbilimcileri, 1959'da bu sınıflandırmanın daha genişletilmiş bir biçimini ortaya koymuş olan Fransız gökbilimci Gerard de Vaucouleurs'un izinden gitmektedir. Hubble ve öğrencisi Allan Sandage, gökadalara zaman içindeki evrimlerine göre, erken ve geç evredeki diye sınıflandırmıştı. Hubble'a göre sarmal gökadalara en yaşlı, eliptik gökadalara en gençti. Bugün bu sıranın tam tersinin söz konusu olduğu anlaşılmıştır. Bugünün senaryosu şöyledir: Gökadalar başlangıçta sarmal biçimde ya da düzensiz bir görünümdeydi (Eski sınıflandırmada geç evredeki gökadalara).

Zamanla gökadalara arası etkileşimler sonucu sarmal ve çubuklar kaybolur; gökadada kütle artışı, yoğunlaşma ve giderek büyüyen merkezi şişkinlik görülür (eski sınıflandırmada erken evredeki gökadalara). Birçok gökadanın birleşmesi sonucu elips biçimi gökadalara oluşur. Bütün bu durumlar için şu söylenebilir: Gökadalar "kütleçekimsel kararsızlık" sonucu, kendiliklerinden biçim değiştirirler (Kütleçekimsel kararsızlık: Bir gökadayı bir bütün halinde tutan başlıca kuvvet kütleçekimidir. Yıldızlar birbirini çeker; onların araya gelerek kümeleşmelerini önleyen tek şey görece hızlarıdır. Buna rağmen bu hızlar, bölgesel kümeler, örneğin sarmal kollar oluşmasını engelleyecek kadar büyük değildir. Bu kümeleşme bölgeleri kütleçekimsel kararsızlık sonucudur.).

Gökadalara sarmal biçimde oluşları, hem insanı en büyüleyen, hem de gökbilim kuramcılarını en zorlayan



Başlıca gökada biçimleri. Üst sıra: Hubble sınıflandırmasına göre; eliptik gökadarlar (solda); yassılaşıma derecesine göre E0, E3 ve E7. Mercek biçimi (lentiküler) gökadarlar S0; mercek biçimi gökadalarda bir teker (disk), merkezi bir şişkinlik (çekirdek) ve çok az gaz vardır; bu gökadarlar küremsi (sferoid) gökadalarla tekerli sarmal gökadalarda bir ara şekildedir. Resmin sağ yarısında üstte normal sarmal gökadarlar (Sa, Sb, Sc), altta çubuklu sarmal gökadarlar (SBa, SB, SBc) görülüyor; hem normal, hem de çubuklu sarmal gökadalarda sarmal kollar açıkça görülmektedir. Çekirdeğin tekere oranı soldan sağa küçülmektedir: Sa "erken" evredeki sarmallar, Sc "geç" evredeki sarmallar. Buna paralel olarak soldan sağa gaz ve genç yıldız oranı giderek artar. Bu verilerin Hubble sınıflandırmasıdır; bu eski sınıflandırmada, resme göre bir gökada ne kadar soldaysa o kadar genç (eliptik) ne kadar sağdaysa o kadar yaşlı (sarmal kollu ve çubuklu)dur. Gökbilimcilerin bugün kabul ettiği sınıflandırma bunun tam tersidir: eliptik gökadarlar (solda) en yaşlı ve sarmal gökadarlar (sağda) en gençtir. Soldan sağa NGC 628 gökadası (normal sarmal, Sa), NGC 1300 (çubuklu sarmal) ve NGC 2523 (halkalı çubuklu sarmal).



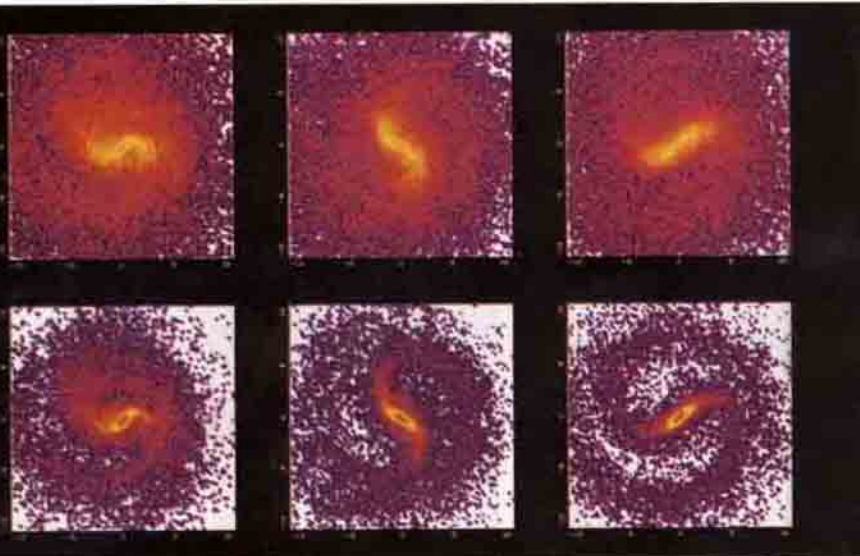
yanlarıdır. Sarmal, en sık rastlanan gökada biçimidir; gökadalardan üçte ikisi sarmal biçimindedir. Sarmal bir gökada, kendi eksenini etrafında dönerken, kütleçekim ve merkezkaç kuvvetleri denge halindedir. Bir gökada, katı bir tekerin döndüğü gibi dönmez. Gökadanın merkezi, kenarlarından daha hızlı döner; bunun sonucu olarak bütün radyal yapılar bir sarmal şeklinde açılır. Buraya kadar her şey doğal gözüküyor. Bununla beraber problem yara-

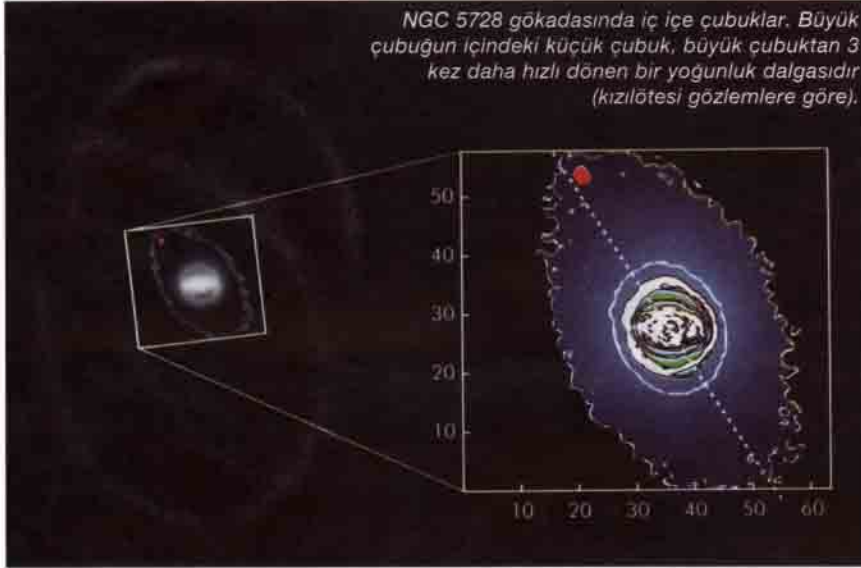
tan husus, gökadanın kenarının ve merkezinin farklı hızlarda dönişüdür. Gökadanın merkezine yakın bir yıldız, dönişünü birkaç milyon yılda tamamlarken, kenara yakın bir yıldız bir milyar yılda tamamlar. Bu nedenle bir milyar yıldan daha kısa bir sürede, bütün sarmal kolların merkez diskine sarılmaları, onun içinde kaybolmaları beklenir. Oluşumlarından bu yana 10 milyar yıl geçmiş olan gökadalarda, bugün hiçbir sarmal kol kalmamış olmalıdır!

1960'lı yıllarda, Amerikalı Chia-Chiao Lin ve Frank Shu, bu çelişkiye bir açıklama getirdiler: Sarmal kollar değişmez bir açılma hızla dönen yoğunluk dalgalarıdır. Gökada tekerinin yıldızları, devirli (periyodik) olarak bu dalgaların içinden geçer; bu yıldızlar, merkezde dalgalardan daha hızlı, çevrede daha yavaş dönerler. Diğer taraftan sarmal bir kolun içinden geçerken şok dalgasına maruz kalan yıldızlararası gaz, yeni yıldızlar oluşturur. Bunlar, sarmal kolun içinde bulunma süreleri (on milyon yıl) kadar yaşarlar; sarmal kolların diskten çok daha parlak oluşlarının nedeni budur.

Bir gökada, kütleçekim etkisiyle, kütle merkezine doğru yoğunlaşacak şekilde evrimleşir. O halde merkez, gittikçe daha hızlı dönecektir; çünkü merkez kütesinin artışı, buradaki küt-

Bilgisayarda gökadalarda sarmal ve çubuk oluşumunun simülasyonu. Zaman soldan sağa her aşamada 200 milyon yıl olarak akmaktadır. Üst sırada yıldızlar, alt sırada yıldızlararası gaz gösterilmiştir. Başlangıçta gökada tekeri eksenine göre tamamen simetrik (aksisimetri); kendi kütleçekiminin etkisi altında giderek karsız bir hal alır ve sarmal dalgalar oluşturur. Bu dalgalar açılma momentumu dışa kaydırır; yörüngeler giderek uzar ve bir çubuk oluşur.





leçekimi de artırmıştır. Merkez, merkezkaç kuvvet, kütleçekimini dengeleyecek şekilde daha hızlı dönmeye başlar.

Ne var ki merkezin daha hızlı dönmesi, kütlelerin merkezde yoğunlaşmasına bir engel oluşturur. Sistemin toplam açısal momentumunun aynı kalabilmesi için, açısal momentumu merkezden dışa doğru kaydırabilen, bir başka deyişle merkezdeki parçacıkları yavaşlatıp kenardaki parçacıkları hızlandırabilen, bir mekanizmaya gereksinim vardır. Sarmal kollar böyle bir iş için son derece uygundur. Gerçek şudur ki teker dairesel yörüngelere sahip olacak şekilde eksene göre simetrik kalsaydı, kütleçekim kuvvetleri daima radyal olurdu; oysa açısal momentumu etkilemek için teğetsel kuvvetlere ge-

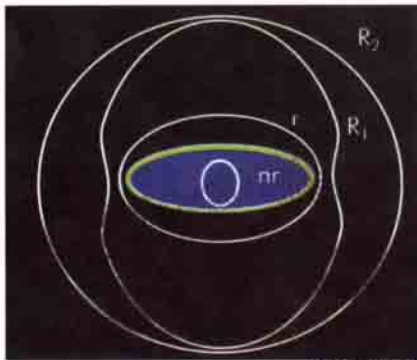
reksinim vardır (Açısal momentum, gökadanın açısal hızı ile eylemsizlik momentinin çarpımına eşittir. Eylemsizlik momenti = kütle x dönme eksenine olan uzaklığın karesi). Açısal momentumu dışa doğru kaydırmak için, dönmenin tersi yönde sürünerek teker sarılan sarmalların gerekli olduğu kanıtlanabilir. İşte bunun içindir ki Evren'de bütün sarmallar, dönmenin ters yönünde tekere sarılırlar!

Bilgisayarlar da sayısal simülasyonlarla çok mükemmel incelenen bu sarmal kollar, zamanla gökadanın merkezinde çubuk oluşumuna yol açarlar. Sarmal gökadalardan üçte ikisinin merkezinde çubuk vardır. Uzun süre çubuklu gökadalardan çok farklı bir gökada grubu olduğuna inanıldı; fakat bilgisayarlarla desteklenen kuramlar göstermiştir ki bir gökadanın hayatında çubuksu bir yapı defalarca belirebilir ve kaybolabilir; çubuksu yapılar gökadalardan yapısına etkin olarak katılır. Acaba sarmal kol ya da çubuk gibi de-

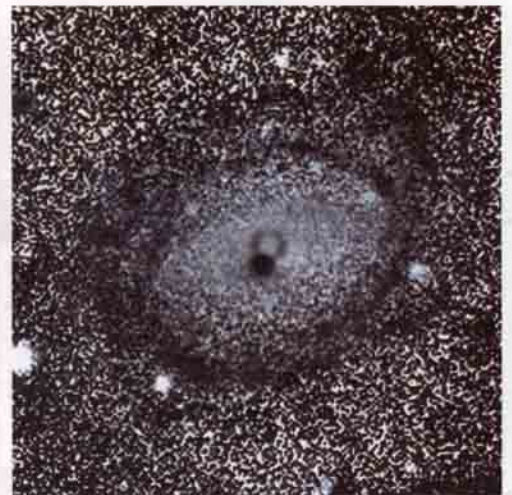
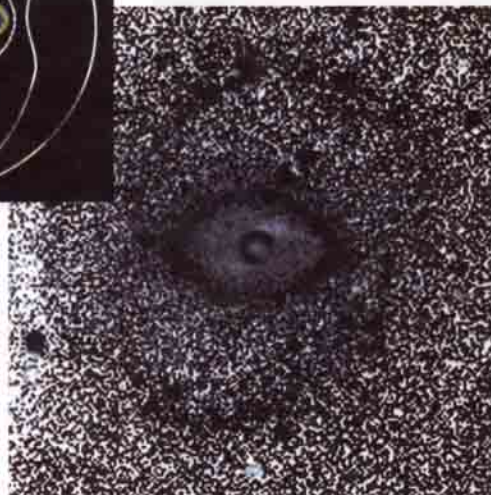
ğişken yapılar neden düzenli olarak yenileniyor ve acaba hangi koşullarda oluşuyor? Güncel senaryolar, gökadalardan bileşimindeki yıldız ve gazlar arasında büyük bir etkileşim olduğunu kabul etmektedir. Şöyle ki bir gökadamda gaz oluşu, kazanılmış enerjiyi kararsızlıklar yönünde dağıtır. Bu ise gökadayı başka kararsızlıklara duyarlı hale getirir. Bunun aksine gazlardan yoksun bir gökadamda kararsızlık, parçacıkları harekete geçirir ve hızların yayılımını artırarak ortamı kararlı kılar. Bir başka deyişle bir gökadamda gaz oluşu, onu genç ve değişken yapar. Gazları tükenen gökadalarda yaşlanır ve artık sarmal kollar şeklinde kararsız durumlar yaratamaz; bunlar artık mercecek biçimini almış yaşlı (eski görüşlerle "erken" evredeki) gökadalardır.

Yıldızlar ve gazlar içeren bir gökadamda, çubuk ve sarmallar oluştuğu zaman, açısal momentum etkili bir biçimde dışarıya aktarılır. Madde yoğunlaşarak merkezdeki şişkinlik büyür. Şişkinlik çok büyük ve yoğunsa, çubuk tahrir edebilir. Bu tahrir başlangıçtaki çubuğun içinde, iç içe geçmiş daha küçük çubukların oluştuğu bir ara evreden sonra meydana gelir.

Bu yapılar uzun zamandan beri bilinmektedir; fakat bilgisayarlar da yapılan sayısal simülasyonlar sayesinde, ancak 1990'lı yıllarda açıklanabilmiştir. Nasıl oluyor da çubuklu sarmallar, matriyoşkalar (iç içe geçmiş Rus tahta bebekleri) örneği öteki çubuklu sarmallar içinde yuvalanabiliyor? Madde merkezde biriktiği ölçüde, teker merkezinin teker kenarına oranla dönme hızı artar ve merkezde oluşabilen dalgaların açısal hızı da buna paralel olarak fazlalaşır. Nihayet merkezle kenar



Çubuklu gökadalarda sıklıkla görülen üç halka tipi: dış halkalar (bazen R1, R2 gibi "çukur"larla birlikte), çubuğu çeviren iç halkalar (r) ve nükleer halkalar (nr). Bu halkalar gaz birikmesiyle oluşur. NGC 6782 ve IC 1438 gökadalarnın fotoğrafları iç içe üç halka göstermektedir.



arasındaki hız farkı o denli büyüktür ki tekerin merkezi, tekerin çevresinden kopar ve iki ayrı dalga belirir; bunlardan merkezdeki dıştakine göre 3-10 kat daha hızlı döner. Küçük bir çubuk oluşması, maddenin yoğunlaştırıcı etkisini merkeze doğru uzatır. Büyük çubuk o andan itibaren zayıflamıştır; çünkü şimdiden çok sayıda yıldız kaybetmiştir; bu yıldızlar artık büyük çubuğun değil, küçük çubuğun hareketine katılırlar. Madde merkeze doğru çöktükçe, büyük çubuğun giderek kayboluşuna tanık olunur. Fakat her şey kaybolmamıştır: Gökada dıştan gaz alırsa ("geç" evredeki gökadalardan büyük gaz kütleleriyle çevrilmiştir), tekerin çevresi yeniden canlanır ve yeni bir çubuk yaratan yeni bir sarmal kararsızlık oluşabilir. Böylece bir gökada 10 milyar yıl içinde 3-4 kere çubuk yaratabilir. Birbirini izleyen bu çubuklar ve onlarla birlikte görülen sarmallar, gökadanın kütesinin merkezde toplanmasıyla sonuçlanan bir evrimi oluşturur.

Gerard de Vaucouleurs'un ve daha yeni olarak Ron Buta'nın sınıflandırmalarında parlak halkalar gökadalardan önemli bir özelliğidir. Bu halkalar çubuklarla çok yakından ilgilidir; çünkü daima çubuğun uzunluğuyla orantılı bir uzaklıkta, ya gökadalardan optik tekerlerinin kenarında, ya çubuğun etrafında, ya da çubuğun içinde bulunurlar. Gökbilimciler bu halkaların çubukla teker gazı arasında bir rezonans sonucu oluştuğunu düşünmektedirler. Rezonans bölgelerinde gazın çökeliş yörüngeleri çubuk yönünde olduğu için, üzerlerinde bir kuvvet çifti oluşmaz. Bu bölgeler dışında ise kuvvet çiftleri, gazın açısal momentumunu etkileyen gaz ve rezonans bölgelerine doğru çökerek yoğunlaşır. Böylece halkalar, onların çok parlak görünmelerine yol açan yıldızların oluşmaları için verimli hale gelir. Bu halkalar gökada hareketlerini anlama bakımından çok değerlidirler; özellikle rezonans bölgelerini belli ederler ki buradan da çubuk biçimindeki dalganın dönme hızı ölçülebilir. Bu genel evrim senaryosunda gökadalardan arası etkileşimler de önemli rol oynar; çünkü bunlar, gökadalardan dışındaki gazları harekete geçiren kütleçekim kuvvetlerinin kaynağıdır; bu kuvvetlerse, sarmallar ve çubuklar gibi kütleçekimsel kararsız-



*Kütlesi birbirine yakın büyüklükte iki sarmal gökadanın birleşmesi: Üstte, Şili'de Cerro-Tololo teleskobuyla görüntülenen birleşme. Altta, birleşmenin bilgisayar simülasyonu. Sistemin merkezi eliptik bir gökadayla benzemeye başlamıştır.*

*Bilgisayar simülasyonu iki sarmal gökadanın birleşmesinin gelişimi.*

lıklar oluştururlar. İki gökadanın çarpışmasıyla ilgili gözlemlerin ve sayısal simülasyonların gösterdiği gibi, gökadalardan biçimleri bu kararsızlıklardan çok etkilenir. Gelgit kuvvetleri her gökadamda iki sarmal kol oluşturur. Eğer iki gökadanın kütleleri birbirine yakınsa, kuyruklar meydana gelir; bu kuyruklar çok uzaklara (gökada yarıçapının 5-10 katı uzaklığa) kadar uzanır ve sonunda düşer. Bu düzensizliklerin oluşması için gerekli enerji, iki gökadanın yörüngesel açısal enerjilerinden karşılanır. Bunun sonucu olarak iki gökadamda giderek birbirine doğru yaklaşır ve sonunda birleşerek elips biçimi bir gökadam oluşturur.

Elips biçimi gökadalardan uzun süre yanlış yorumlandı. Gökbilimciler bunların dönüş etkisiyle yassılaştırmış yıldız sistemleri olduğuna inanıyorlardı. 1970'li yıllardan beri biliniyor ki eliptik gökadalardan dönme hızları küçüktür ve kütleçekimsel dengeleri, yıldızların basınç olarak beliren düzensiz hareketleriyle ilişkilidir.

Bir gazın basıncı izotropiktir, yani her yönde aynıdır. Ama yıldızların basıncı belli bir doğrultuda daha yüksektir. Bu gibi gökadalardan yapısı bir hayli karmaşıktır. Bir peksimet gibi yassı,

bir puro gibi uzamış biçimler ya da daha genel olarak dönüş simetrisi olmayan, üç farklı eksene sahip elipsoidler söz konusu olabilir. Eliptik bir gökadamda görülen düzensiz yıldız hareketleri ve yavaş dönme hızı, sarmal gökadalardan onu oluşturmak üzere birleşmesinin sonucudur. Gökadalardan çok değişik olabilen biçimleri, onların Hubble dizisi boyunca evrimlerini izlemeye olanak sağlar. Bir gökadamda ne denli büyükse ve ne kadar çok gökadam arasında bulunuyorsa, o kadar hızlı bir evrim geçirir. Bu nedenledir ki, gökadam kümelerinde, gökadalardan genç hali olan sarmal gökadalardan daha seyrek; yaşlı hali olan eliptik gökadalardan daha sık rastlanır. (Hatırlatalım ki eskiden sarmal gökadalardan yaşlı ve eliptik gökadalardan genç sanılıyordu.) Bugün şurası kesindir ki evrensel zamanlar boyunca gökadalardan toplam sayısı, birleşmeler sonucu giderek azalmış ve çeşitli gökadam tiplerinin oranı, anlatıldığı gibi bir evrim göstermiştir. Bu düşünceler, Evren'de büyük yapıların daha küçük yapıların birbirini izleyen birleşmeleri sonucu oluştuğu kuramıyla tam bir uyum içindedir.

Combes F., *La Recherche*, Ocak 1998  
Çeviri: Selçuk Alsan