



Kaos

ya da

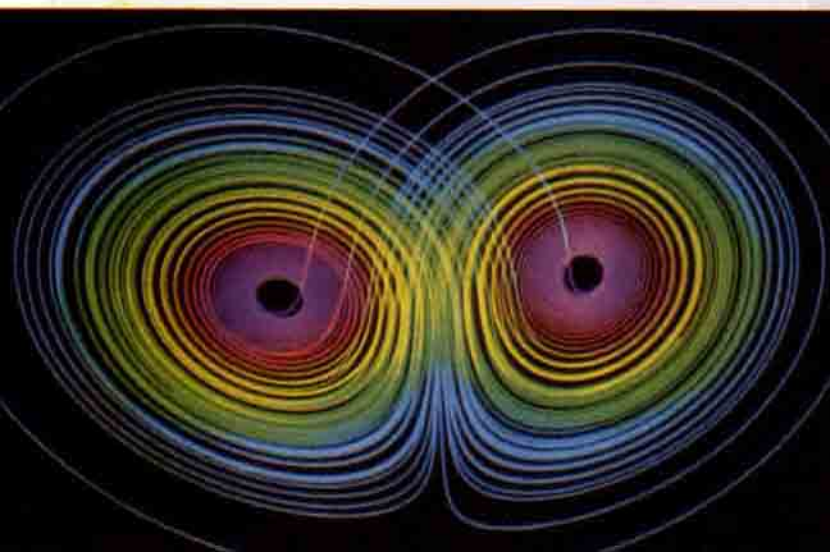
Doğurgan Bir Düzensizlik

Sahin Koçak
Anadolu Üniversitesi

Hayat Mücadeleden İbaretir...

Uzun yıllar önceydi. İlkokul 4. veya 5. sınıftaydım. İlkokul öğretmenimi evinde ziyarete gitmiştim. Salonun duvarında büyük ve süslü harflerle yazılmış ve çerçevelemiş olarak "Hayat Mücadeleden İbaretir" yazısı asılıydı. O gün bu söze pek bir anlam verememiştim, fakat bu söz zihnimden de çıkmamıştı. Geçen yıllar içinde bu sözün anlamını daha iyi kavramaya başladım. Çünkü benim hayatım da mücadele ile geçti. Genellikle yasalara saygılı bir insan olmama rağmen, sürekli bir şekilde termodinamiğin 2. yasasına karşı savaşmak zorunda kaldım. Hiçbir şey bıraktığımız gibi kalmıyor, hatta ço-

ğu kez yerinde bile durmuyor. Öğretmenimi sonraki ziyaretlerimin her defasında daha çökmüş buldum ve bir defa da hiç bulamadım. Yerini tarif ettiler ama, artık herhalde görmem ya da konuşmam pek mümkün görünmüyordu. Üstündeki ağırlığı kaldırırsam bile, kadıncağıza küşayış vermesi ihtimali zayıftı. Benzer bir şey sonra tekrar başıma geldi. Bir arkadaşımın bize çok güzel hikayeler anlatan babası, yüksek bir yerde çalışırken el ve ayak kaslarının karmaşık koordinasyonunda ufak bir hata yapmış, daha sonra yerçekimi yasası ile yaptığı mücadeleyi kaybetmiş ve görünmez yasa icracıları tarafından hızlı bir hareketle ve zorla yeri değiştirildikten sonra bu defa kaldırım taşlarıyla kısa bir mücadeleye girmiş fakat onları yolundan uzaklaştıramadığı için geri çekilmiş, bu sırada kafatasının formu değişmiş ve hareket birden sona ermişti. Aslında gövde durduğu halde yoluna devam etmek isteyen bazı sıvı doku parçaları yok değildi ve onlar kaldırım taşının etrafından dolanarak ve anlaşılın gene yerçekiminin zoruyla fakat bu defa daha sakin ve teslimiyet içinde aşağı doğru sızmaya devam ettiler. Ancak artık gövdenin bütünlüğü bozulmuştu. Bu olaydan sonra kendisini eve getirip 3 gün kadar beklediğimiz halde eski şekline geri dönemedi ve daha sonra başka bir mahalde kaderine terkedildi.



Her Şey Bozuluyor

Daha az karmaşık sistemler de sürekli bozuluyor. Otomobiller içinde geçirdiğim binlerce ve otomobil tamircileri yanında geçirdiğim yüzlerce saatten sonra artık bu konuda size tanıklık yapabilirim. Daha 20-30 sene geçmeden bu aletler yürütülmesi çok zor hale geliyor. Arabalarımın hepsi benden genç olduğu halde ve benden daha sert maddelerden yapılmış oldukları halde, benden daha çabuk bozuluyorlar. Hele paslanma, çürüme, tozlanma falan, onlardan artık hiç söz etmiyorum. Onlara mecburen alıştım. Ama hiç olmazsa bir güne bir gün, inik bir lastiğin benim yardımım olmadan kendi kendine şiştiğini görsem gam yemeyeceğim. Günlerce dokunmasam öyle inik kalıyor, hatta daha da iniyor. Lastikten dışarı kaçmaya pek meraklı olan hava parçacıkları, aynı yoldan içeri girmeye hiç hevesli görünmüyorlar.

Eşim oldukça sakar bir insandır. Bu biraz kızıma da sirayet etmiş. Aslında ben de biraz sakar sayılırım. Bu yüzden bizim evde sıkça tabak, bardak falan uçur ve çok sayıda parçaya ayrılır. Bir ara bir arkeoloji oyunu icat etmiştik ve irili ufaklı onlarca parçanın biraraya gelerek tabağın eski bütünlüğüne kavuşmasına yardımcı oluyorduk. Biz ilgilenmezsek parçalar ne yerde, ne çöp poşetinde kat'iyyen eski ilişkilerine dönmüyorlardı. Bir defasında ihtimali yükseltmek için tabak parçalarını toplayıp tekrar tekrar halının üstüne attık. Bunun da hiçbir faydası olmadı ve parçaların bir araya gelmeleri şöyle dursun, tersine sayıları arttı.

Oturduğumuz ev de zaman içinde kendiliğinden bozulmağa başladı. Duvarların ve marleylerin delik deşik durumu beni bile rahatsız eder hale geldi. Pencereleer açılıp kapanmıyor, her taraftan rüzgar üfürüyor, bütün musluklar su kaçırıyor, elektrik düğmelerinin yarısı çalışmıyor. Sonunda evle baş edemedik ve başka bir yere taşınmak zorunda kaldık. Ama burada da aynı dejenerasyonun ipuçlarını görmeye başlıyorum.



Karabasan Gibi Kanun

Sözü fazla uzatmayayım, bende oluşan kanaat şu oldu ki, herşey gerçekten genel bir yıkıma doğru gidiyor. Fizikçilerin "evrenin termodinamik ölümü" dedikleri herhalde bu olsa gerek. Bütün düzenler bozulacak, taş taş üstünde kalmayacak. Hiroşima'nın o günkü halinden bin beter bir durum. Elden gelen birşey yok. Kanunsa kanun.

Fakat gene de içimde bir uyumsuzluk var. Tam aklıma yatmıyor. Yıllardır odamın bir köşesinde içine birkaç damla mürekkep damlattığım küçük ve ağzı sıkıca kapalı bir su şişesi duruyor. Bazan gizlice bakıyorum. Mürekkebin sudan ayrıştığı yok. Şişede hiçbir zaman bir mürekkep damlası görmedim. Hep açık mavi şekilsiz bir sıvı. Galiba fizikçiler haklı.

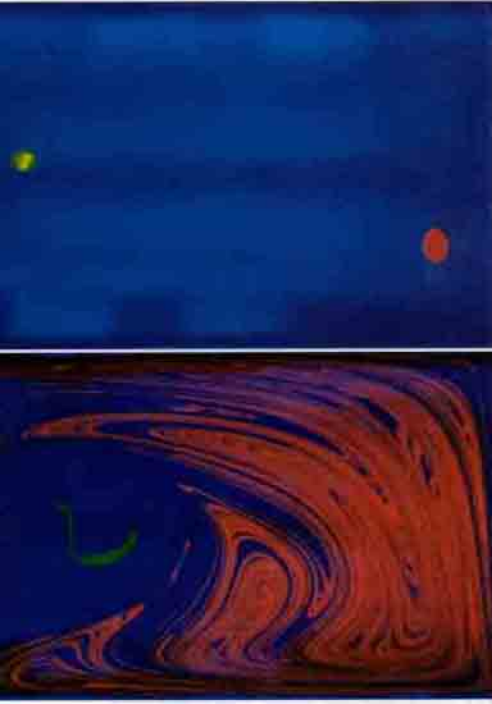
Biyolojik Başkaldırı

Ama bir sabah traş olurken hayretler içinde kaldım. Her sabah bozulan yüzümü düzeltmekle uğraşmak zaten sıkıntılı bir işti. Fakat o sabah yüzümdeki bozulmanın diğer bozulmalara benzemediğini, onun aslında bir restorasyon ve diğer türden bozulmalara organize bir karşı çıkış olduğunu farkettim ve bu bende sarsıcı bir ayılma duygusu yarattı. Yüzümde her sabah yaşadığım ve kesici aletlerle yok ermeye çalıştığım bu deformasyon, güneşin, yağmurun, tozun, rüzgarın, stresin yarattığı tahribattan çok farklı nitelikteydi. Bu deformasyon, bir çocuğun büyümesi, bir tohumun filizlenmesi, bir yaranın kapanması, kirazların çiçek açması, hatta kedilerin çatıda yürümesi, ustaların araba tamir etmesi, çırakların lastik şişirmesi ve daha binlerce mucize ile yakın akrabaydı ve termodinamiğe meydan okuyordu.

Yoksa fizikçiler yanlış mı düşünüyordu? Birkaç gazı ya da sıvıyı karıştırıp gözledikleri şeyi bize kanun diye mi yutturuyorlardı? Bir düzenin bozulması için önce biraz düzen olması gerekirdi ki, bütün düzenlerin bozulduğu bir alemde ilk düzenlerin nasıl oluştuğu bana zaten hep biraz şüpheli gelirdi.

Kafam allak bullak olmuştu. Her şeyin kaçınılmaz bir düzensizliğe doğru seyrettiği söylenirken, ortalık düzenden kayınıyordu. Kar tanelerinden meşe yapraklarına, kırlangıçların uçuşundan gezegenlerin rakasına, mısır tanelerinin dizilişinden türkülerin ritmine kadar bir düzen uğultusundan zihnim zonkluyordu.





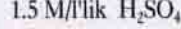
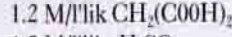
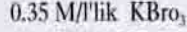
Salman Sıvının Sihri

Yukarıda belki biraz ölçsüz kaçan ifadelerimin bağışlanmasını dileyeceğim. Bunu lütfen içine yuvarlandığım tarafsız ve içinden çıkılmaz çelişkiye veriniz. Bir tarafta çürüyen çelik köprüler, diğer tarafta çiçek açan kiraz bahçeleri. Olacak şey değil! Hele beton kaldırımı parçalayan bir çınar ya da rüzgarla savrulan nergis kokuları bu iki fenomenin ne kadar iç içe girebileceğini gösteriyor. Bir yerde düzen bozuluyor, başka bir yerde düzensizlikten düzen oluşuyor, bir diğer yerde yeni oluşan düzen çevresinde düzensizlik yaratıyor, bir başka yerde çok düzensiz bir düzen ya da düzen dolu bir düzensizlik oluşuyor!

Düzenle düzensizliğin ilişkisini kavramaya çalıştığım tam o günlerde elime kurtarıcı gibi birkaç kitap geçti (Galiba bazan çözüm olgunlaşınca sorun algılanıyor!). Prigogine adlı bir kimyacı ile Haken adlı bir fizikçi kendilerine göre yöntemlerle düzensizlikten düzene geçişin gizlerini çözmeye çalışıyorlardı. Aslında bu bana çok tuhaf geldi. En büyük mucizelerin mümessili biyologlar, moleküler düzeydeki akıl durdurucu kodlamaları ve bunların nergis gibi, kurbağa gibi rakipsiz bir kompleksiteye sahip makro formlara dönüşmesini neredeyse bir tabiiyet gibi karşılarken, bunlara nisbetle çok çok daha basit sayılabilecek bir olay bilim dünyasında çalkantılar yaratıyordu. Sözünü ettiğim olay, bir kimyasal çözeltinin periyodik olarak renk değiştirmesi! "Canlı" dan

her maharet bekleniyor da, "cansız"ın en küçük kıpırdanması ürküntü veriyor. Binlerce ritimle salınan canlıları normal karşılıyoruz, ama bir sıvının rengi salınmaya başladığı zaman bilim adamları bile paniğe kapılıyorlar.

Zhabotinsky tarafından bulunan söz konusu sıvı,



çözeltilerinin eşit hacimde karıştırılmasıyla oluşuyor. Redoks endikatörü olarak birkaç damla ferroin damlatırsanız ve sıvıyı sürekli olarak karıştırırsanız, sıvının rengi kırmızı ve mavi arasında, 1 dakika civarındaki bir periyotla, salınmaya başlıyor (Daha doğrusu başlıyor"muş". Çünkü maalesef bunu izleme mutluluğuna erişemedim. Bu sıvıyı hazırlamaları için yalvardığım kimyacı arkadaşlar beni her seferinde atlattılar. Ya malonik asit yok dediler, ya da başka bir sebep gösterdiler. Bu sıvıyı seyredemediğim için çok üzgünüm).

Aslına bakarsanız, salınan başka sıvılar da var; mesela denizler de salınıyor; ama bizim sıvının salınmasının tarzı biraz farklı. Denizler dalgalanırken mekansal ve zamansal bir organizasyon ortaya çıkıyor; fakat bu sıvıda mekansal bir organizasyon görünmüyor ve yalnızca zamansal bir organizasyon ortaya çıkıyor. Buna şaşırmanın sebebi, belki de bu tür organizasyonlarla önceden karşılaşmamış olmamız. Yoksa, denizlerin dalgalanması daha az şaşılacak bir şey değil. Katrilyonlarca su molekülünün (yeni öğrendiğim en büyük sayı sıfatı bu olduğu için bunu kullanıyorum) sanki birbirleriyle konuşuyorlar-mışçasına harika ondüleler oluşturması da akıl alacak şey değil.

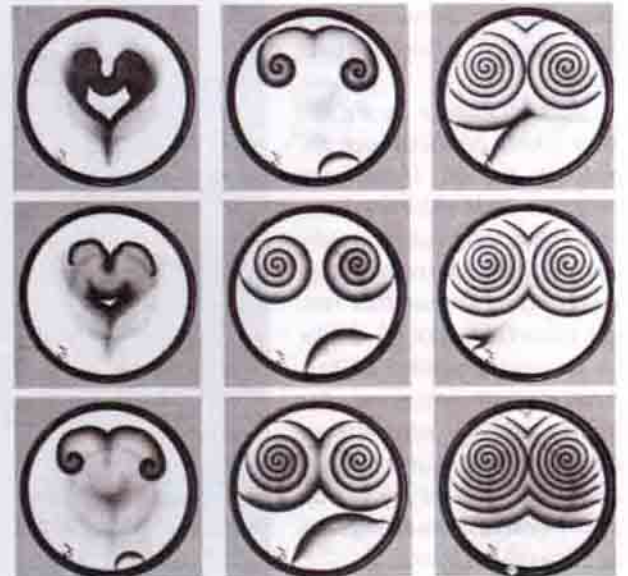
Yukarıda "cansızın en küçük kıpırdanması ürküntü veriyor" derken herhalde haksızlık ettim. Alışmadığımız türden kıpırdanmalar ürküntü veriyor aslında. Ama alışmak ne kadar büyük talihsizlik! Keşke hiçbir şeye alışmasaydık da, herşeye törpülenmemiş bir duyarlılıkla bakabilseydik. O zaman etrafımızı kuşatan sayısız mucizevi



organizasyonlara her an şaşırma, ürkme, hayranlık duyma şansımızı yitirmemiş olurduk ve bunun bileyeceği kavrama dürtümüz körelmemiş olurdu.

Başka Harikalar

Eğer yorulur da yukarıdaki sıvıyı karıştırmayı bırakır ve kendi haline terkederseniz, sizi daha büyük bir sürpriz bekliyor. O zaman denizdeki dalgaların mekansal organizasyonuna taş çıkartacak başka oluşumlar ortaya çıkıyor. Sıvı içinde birtakım spiral formlar oluşmaya, büyümeye, birbirleriyle çatışmaya başlıyorlar. Yani sıvıda bir anlamda (alttaki şekildedirildiği gibi) geometrik bir hayat başlıyor





Aslında sıvılardaki bu tür geometrik organizasyonların çok daha önceden bilinen örnekleri de var. Sıvı filmlerindeki Benard hücreleri olarak bilinen bir fenomenin bir örneğini üstteki şekilde görüyorsunuz. Altın uygun dozda ısıtılan bir silikon yağı filminde kendiliğinden bir tür bal peteği organizasyonu oluşuyor (Burada peteklerin iyi görülebilmesi için yağa alüminyum tozu katılmış).

Bu tür kendiliğinden oluşumun daha inanılmaz biyolojik örneklerine biraz önce değinmiştik.

Termodinamiğin 2. Kanunu Yanlış mı?

Bu kadar yıllık bir kanunda herhalde bir gerçek payı olsa gerektir. Ancak bana öyle geliyor ki, bu kanunun doğruluğuyanlılığı, ifade edildi biçimindeki "genellikle" alakalı olsa gerek. Bir şeyi aşırı genel ve soyut biçimde ifade ettiğiniz zaman, onun yanlışlığını göstermek (başka hallerden de bilindiği üzere) zor olabiliyor. Çok somut birkaç durumla ilgili bir iddia da, doğruluğu ya da yanlışlığı kolay gösterilse bile, fazla bir mana ifade etmeyebiliyor ve kanun mertebesinde olmayabiliyor. Bu sebeple anlamlı kanunları orta genellikteki durumlarla ilgili olarak ifade

etmekte fayda var. Termodinamiğin 2. kanununun tam olarak hangi kategoriye girdiğini kestiremiyorum. Bu "kanun"un basit bazı sıvı ya da gaz karışımları ile ilgili ifadelerinin doğruluğu muhakkak görünüyor. Fakat fizikçilerin insanı ürküten çok iddialı formülasyonları da var. Ancak, "Her kapalı sistemde entropi artar" gibi çok genel ifadeler, yanlışlanabilirlikten uzaklaşmak bir yana, çok anlamlı da görünmüyor: Bir kere, "sistem" müthiş genel bir kavram. Sistemi oluşturacak parçalar ve bunların etkileşim biçimleri hakkında herhangi bir spesifikasyon verilmiyor. "Kapalı sistem"

de biraz tartışmalı. Gerçekte belki de evrenin tümünden başka kapalı bir sistem yok. "Entropi"ye gelince, bir düzensizlik ölçüsü olan bu değer, bir nergis için kaç olduğunu ve nergis vazoda solarken ne kadar arttığını şahsen ben bilmiyorum ve bunu hesaplamaktan acizim.

Bazı biyotitrim deneylerinde insanlar aylarca günışığının girmedeği bir laboratuvara kapatılıyor, ihtiyaç duyacakları maddeler stoklanıyor. Bu laboratuvarın intern bir elektrik, ısıtma vs. sistemine sahip olduğunu da kabul edelim. Benzin vs. maddeleri de stoklayalım. Muhtemel atıkları da uygun şekilde muhafaza edip dışarı çıkarmayalım. Laboratuvarı her bakımdan çok iyi yalıtalım ve birkaç ay dışarı ile her türlü alışverişi keselim. Bu sistem bu süre içinde bir kapalı sistem midir? Büyük olasılıkla değildir diyeceksiniz. Herhalde bu kadar amatörece kapalı bir sistem oluşturamaz ve nötrinoları da kolay kolay kimse yalıtamaz. Ama belli bir toleransla buna kapalı bir sistem dersiniz, içerdeki insanlar da bu birkaç ayda bir sürü şiirler, romanlar yazarlar, kavramlar oluştururlar, teoremler ispatlarlar, ortalığa çeki-düzen verirler ve başka yaratıcı faaliyetlerde bulunurlarsa, o zaman bu laboratuvarın entropisi artacak mı, azalacak mı? Eğer sezginiz azalacağı yönündeyse (hele kazara bir iki dahiyi falan kapattıysanız) o zaman

termodinamiğin 2. kanunu ne olacak? Belki böyle uzak örnek düşünmeye gerek de yok. Birkaç elmanın düzenini afiyetle bozarak kan şekerini yükselten ve zihninde yeni düzenler kuran bir organizma kendi yakın civarındaki entropiyi artırıyor mu, yoksa azaltıyor mu?

Evren, büyük patlama dedikleri o zamanlardan ("günlerden" demeye dilim varmıyor) bu yana daha düzenli hale mi geldi, daha düzensiz hale mi geldi?

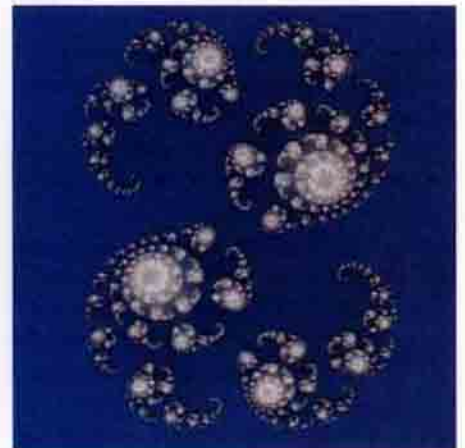
Bunu bir bilen varsa ve bana söylerse, gerçekten minnettar olacağım.

Açık Sistemler

Belki de termodinamiğin 2. kanununu fazla sorgulamaya lüzum yok. Çünkü neticede çoğu formülasyona göre bu bir olasılık kanunu olduğu için, yanlışlanmaya karşı zaten doğuştan dirençli! Bu kanun, kapalı bir sistem daha düzenli hale gelemeyebilir, kendi kendine cansızdan canlı oluşamaz demiyor. Sadece bu ihtimal çok zayıf (hemen hemen sıfır, ama sıfır değil) diyor. Ve J. Monod gibi bazı büyük moleküler biyologlar da bu ihtimale sığınıyorlar.

Ama işi böyle geçiştirmenin mümkün olabileceğini zannetmiyorum. Sizin de zihniniz mevcut düzenden zonkluysa ve çaresiz bir hayret içindeyseniz, herhalde bana hak vereceksiniz. Nitekim, henüz düzen oluşumu konusunda kapsamlı bir teori oluşmamış olmakla birlikte, Prigogine tarafından ortaya konulan bazı yeni düşünceler ve ipuçları, işlerin başka türlü yürütmekte olabileceğine işaret ediyor.

Klasik termodinamik, çevresiyle madde ve enerji alışverişinde bulunmayan ve kendi içinde "denge" durumunda bulunan sistemleri esas alıyor. Kapalı bir sistem, asimetric, inhomojen, kısmi düzenli bir durumdan, düzensizliği artarak, homojen bir duruma doğru yol alıyor; ve bu





denge durumundan tekrar bir inhomojenliğe geçiş söz konusu olmuyor. Ancak, çevresiyle etkileşen açık sistemler (ısıtılan silikon yağı ya da karıştırılan Zhabotinsky sıvısı, ya da sulanan ve güneşlenen ağaç, ya da elmanın düzenini bozan organizma örneğinde olduğu gibi) veya kendi içinde belli bir mekanizmayla enerji transferi yapan sistemler (karıştırılmayan Zhabotinsky sıvısı ya da elmayı yemiş organizma örneğinde olduğu gibi) termodinamik "denge"nin çok uzaklarında seyredebiliyorlar ve karmaşık oluşumlara sahne olabiliyorlar.

Gaz mı Karmaşık, İnsan mı Karmaşık?

Son cümlede "karmaşık" kelimesini (kavramını) kullandıktan sonra, bunun karışıklığa yol açabileceğini düşünerek kaygıya kapıldım. Karmaşık sözcüğü oldukça farklı, hatta bir anlamda zıt durumlar için kullanılan biraz aşınmış bir kavram.

Sayısız moleküllerinin her biri bir yönde derbederce uçan bir gazın durumuna da karmaşık diyoruz, aynı çoklukta molekülleri müthiş bir düzen ve deveran içinde bulunan bir organizmaya da karmaşık diyoruz. Belki birinci durumda düzensiz (ya da desorganize) bir karmaşıklaktan, ikinci durumda ise düzenli (ya da organize) bir karmaşıklaktan söz etmek daha doğru olabilir. Bazen "karmaşık" yerine "kompleks" sözcüğü de kullanılıyor. Ancak "kompleks olma" ya da "kompleksite" kavramı, ikinci durum, yani organize karmaşıklık için kullanılmaya aday görünmüyor.

Gene bazan, karmaşıklık anlamında kaotiklikten söz ediliyor. Kamu vicdanında "kaotik"liğin düzensiz karmaşıklığa

yakın bir anlamı var. Biraz sonra, sözel imkanlar ölçüsünde, kaotikliği tanımlamağa çalışacağız. Ancak şimdiden söyleyelim ki, kaotiklik düzenli karmaşıklığa, yani gazın durumundan çok insanın durumuna daha yakın bir durum olacak.

Termodinamik Dengenin Ötesinde Ne Var?

Zhabotinsky sıvısını karıştırınca ne oluyor da, periyodik bir renk değişikliği oluyor? Ya da, silikon yağını ısıtınca neler olup bitiyor da, petek yapıları oluşuyor? Böyle sistemler nasıl anlaşılabilir? Bir sistem nasıl incelenir? Sistem nedir? (Bir de "anlamak" nedir diye soracak olursak, bu işin içinden bir daha çıkamayız! Ama bu sorunun da önemli olduğunu düşünen R. Thom gibi üniversal deha sahipleri yok değil!)



Sistem kavramı, çok genel olduğu halde çok faydalı olan nadir kavramlardan biri. Sistemleri incelemek için başvurulan, her bilim dalında kendine özgü çeşitli yollar var (Bunlardan bir tanesi hakkında aşağıda kısa bir fikir vermeğe çalışacağım). Yukarıdaki iki sistemi anlayabilmek için ise, detayı sözle aktarılamayacak düzeyde matematiksel sofistasyon gerekiyor.

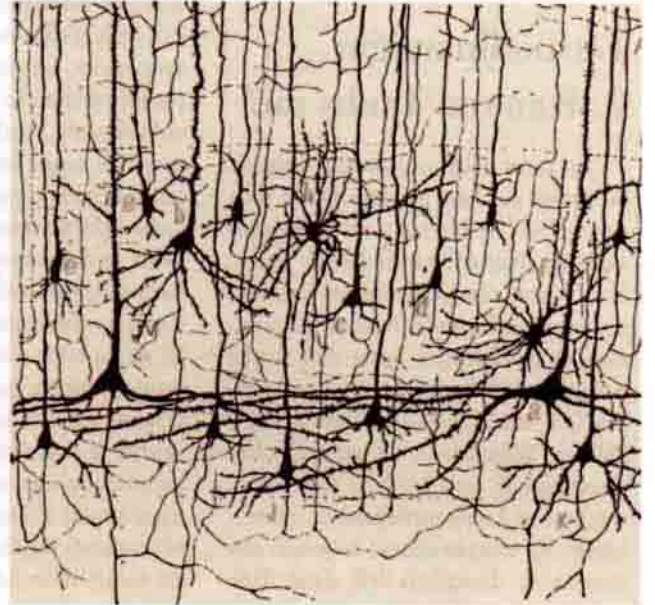
Termodinamik dengenin ötesindeki esrar hakkında bir nebze olsun fikir yürütebilmek için, en minimal ölçüde de olsa, matematiğin diline başvurmaktan başka çare yok.

Sistem Durumu

Bir sistemin "durumu"nu bir şekilde kuantifiye edip, sayılara dökebildiğiniz zaman, sistemi incelemeniz, onun seyrini gözlemeniz ve dinamiğini anlamanız için elinize faydalı bir araç geçmiş oluyor. Basit sistemlerin durumu nisbeten az sayıda parametreyle karakterize edilebilir. Tabii, sistem durumundan ne anlaşılacağı da ayrı bir tefekkür konusudur. Bir ormandaki tavşan popülasyonunu inceleyen bir zoolog için tavşanların sağlık ve afiyet durumları, bir etolog için tavşanlar arası hiyerarşik ilişkiler ve bir popülasyon genetikçisi için yaş gruplarına göre tavşan sayıları önemli olabilir (Bu sonuncusu kuantifiye edilmiş bir durum olduğu için, popülasyon genetiğinin zengin bir matematiksel modelleme repertuarı var ve burada da karşımıza gene ilginç salınımlar çıkıyor!).

Basit bir sarkacın durumunu, belli makul ihmaller altında, pozisyon ve hız gibi iki sayıyla belirleyebilirsiniz. Uzaydaki iki ya da üç cisim problemini gene belli ihmallerle idealize edip incelerken, her bir cisim için pozisyon ve hızı belirten üçer sayı olmak üzere, toplam 12 ya da 18 sayısıyla yetinebilirsiniz. Ama bir yıldızın yaşlanmasını incelerken astrofizikçilerin yıldız durumundan ne anladığını ve onu nasıl sayısalılaştırdıklarını bilmiyorum.

Bir gazın durumunu incelerken her bir molekülün pozisyon ve hızını, ya da maazallah bunlar da yetmez de dönme momentlerini, bilmek isterseniz ruh sağlığınız tehlikeye girebilir. Ama özellikle sıvılarda gözlenen kendi-kendine organizasyon fenomenlerini (acaba sıvıların bu özelliği, gazların fazla havai, katıların fazla



rijid olmasından mı kaynaklanıyor?) anlamak için bir gün bu detaya da inmek zorunda kalabiliriz (gittikçe daha gerçekçi hale gelen bilgisayar simülasyonları şimdiden bu sınırı zorlamaya başlıyor).

Ama daha mütevazı bir inceleme için gazın sıcaklığı ve hacmini bilmeye razı olabilirsiniz. Benzer şekilde, milyonlarca nöronuyla son derece organize bir kompleksiteye sahip biyolojik beyinlerin durumunu kavramak korkunç sayıda parametreye gerektirebilir, ama orada da belli bir inceleme için şimdilik oldukça kaba bazı göstergelere razı olabilirsiniz.

Zhabotinsky sıvısı için işimiz biraz daha kolay. Burada, karıştırdığımız maddelerin, ve reaksiyon sırasında oluşacak başka ara maddelerin, konsantrasyonları iyi bir durum bilgisi olabilir.

Determinizm, İndeterminizm

Öyle veya böyle, sistem durumu kavramıyla ilgili en önemli husus şu: Biz sistemin belli bir andaki durumunu biliyorsak, sadece bu durum bilgisinden hareketle, sistemin bunu izleyen anlardaki durumunu belirleyebilir miyiz? Aslında bizim bunu fiilen belirleyebilmemiz o kadar önemli değil (bunu biraz sonra ayrıca tartışacağız), söz konusu yeni durumların "teorik" olarak belli olup olmaması önemli. Yani sistem, belli bir durumdan farklı zamanlarda yola çıkarak farklı yerlere varabilir mi, yoksa belli bir andaki durum (bu an hangi an olursa olsun) sistemin bundan sonraki yazgısını belirler mi?

Sistemin niteliği bu şekilde ise, yani başlangıç durumları sistemin bundan sonraki kaderini belirliyorsa, sisteme determinist bir sistemdir diyeceğiz. Ama aksi halde determinist olmayan (ya da indeterminist) bir sistem demeyeceğiz. Çünkü bu halde çok farklı mahiyette iki olgu söz konusu olabilir. Ya sistem durumunu tanımlamakta ihmal edilen ciddi başka parametreler vardır, ya da sistem durumunu ne kadar detaylandırırsanız detaylandırın, sistemin doğasında var olan ve modelleme sofistikasyonu ile aşamayacağınız bir belirsizlik söz konusudur.

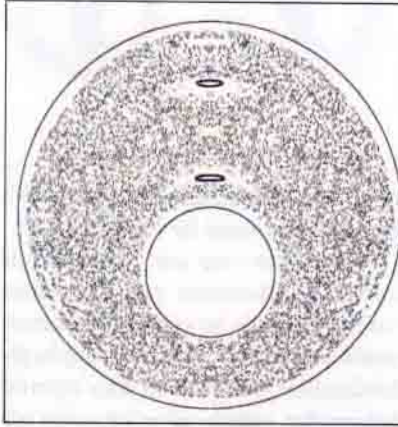
Örneğin, bir basit sarkacı modellerken pozisyon bilgisini alır, hız bilgisini ihmal ederseniz, sarkacın hareketi determinist olmaktan çıkar. Belli bir anda sadece pozisyonunu bildiğiniz sarkacın, onu izleyen anlarda hangi yöne gideceğini bile



söyleyemezsiniz. Ama bu durum, sarkacın dinamiğinin incelenen klasik makro-model çerçevesinde, determinist olmadığı anlamına gelmez.

Ancak, atomar ölçeklere doğru inerseniz, fizikçiler "tabiatın doğasında" var olan ve modellerin inceltilmesiyle aşılamayacak belirsizliklerin var olduğunu düşünüyorlar. Bunların makro-ölçekli belirsizliklere yol açabilmesi elbette teorik olarak imkan dahilinde olan bir olay.

Terminolojik açıdan iki belirsizlik türünün ayırdedilmesi iyi olurdu. Sistem durumunun eksik tanımlanmasından kay-



naklanan belirsizliğe belki bilgi eksikliği indeterministmi ya da zahiri indeterministizm, diğerine de "hakiki" (?) indeterministizm denilebilir.

Aslında şu aşamada bunların her ikisiyle de ilgilenmiyoruz, çünkü başımıza gelecek başka bir iş daha var.

Kader Çizgileri

Determinist sistemlere matematikte dinamik sistemler (ya da daha doğrusu, otonom dinamik sistemler) adı verilir ve sistem durumları genellikle sonlu gerçel sayı dizgeleri ile karakterize edilir. Eğer bu amaçla n tane sayı kullanılıyorsa, sistem durumu n-boyutlu öklidyen uzayın bir noktası olarak düşünülebilir. Ancak bizim için bu formalizm o kadar önemli değil. Ana fikri tebarüz ettirmek için n=2 veya n=3 olduğunu düşünebiliriz. Sistem durumunu n=2 halinde düzlemde bir nokta ile, n=3 halinde de uzayda bir nokta ile temsil edebiliriz.

Dinamik sistemlerin matematiksel teorisi 100 sene kadar önce Poincare ve Liapunov ile başlamıştır ve bugün kavramsal düzeyde oldukça gelişmiş bir noktaya ulaşmıştır. Ancak somut sistemlerin detaylı analizi konusunda alınan yol hemen hemen bir arpa boyu kadardır ve n=3 hali dahi matematikçileri neredeyse pes ettirmiş durumdadır.

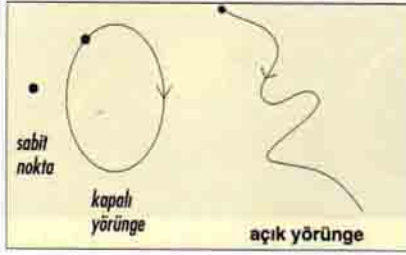
Bir dinamik sistemle karşı karşıya olduğumuzda, neyi bilmek istiyoruz? Aslında bunun cevabı ilk bakışta oldukça basit: Bize sistem için herhangi bir başlangıç noktası verildiğinde, determinist olduğunu varsaydığımız sistemin, o noktadan yola çıktığında zaman ebediyete akıp giderken izleyeceği seyri; yani sistemi temsil eden noktanın, sistemin durumu zaman içinde değişirken, durum uzayı içinde (yani sistemin mümkün bütün durumlarının oluşturduğu uzay içinde) çizeceği eğriyi; yani sistemin o noktadan başlayan hayat eğrisini, ya da bir başka ifadeyle, kader çizgisini bilmek istiyoruz (Bu kader çizgilerine matematikte yörünge, trajektör veya orbit gibi adlar verilir).

Ama tabii bu işi bir veya birkaç başlangıç noktası için değil, herhangi bir başlangıç noktası için, yani bütün başlangıç noktaları için yapmak ve sistemin bütün yaşamlarını bir anlamda bir arada görmek, bütün kader çizgilerini aynı anda çizmek istiyoruz.

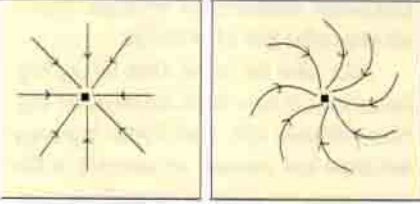
Biraz sonra bunun zorluğunu hissedip, neyi bilmek istediğimizi gözden geçirmek zorunda kalacağız ama önce kader çeşitlerine bir göz atalım.

Kader Çeşitleri ve Akibet Halleri

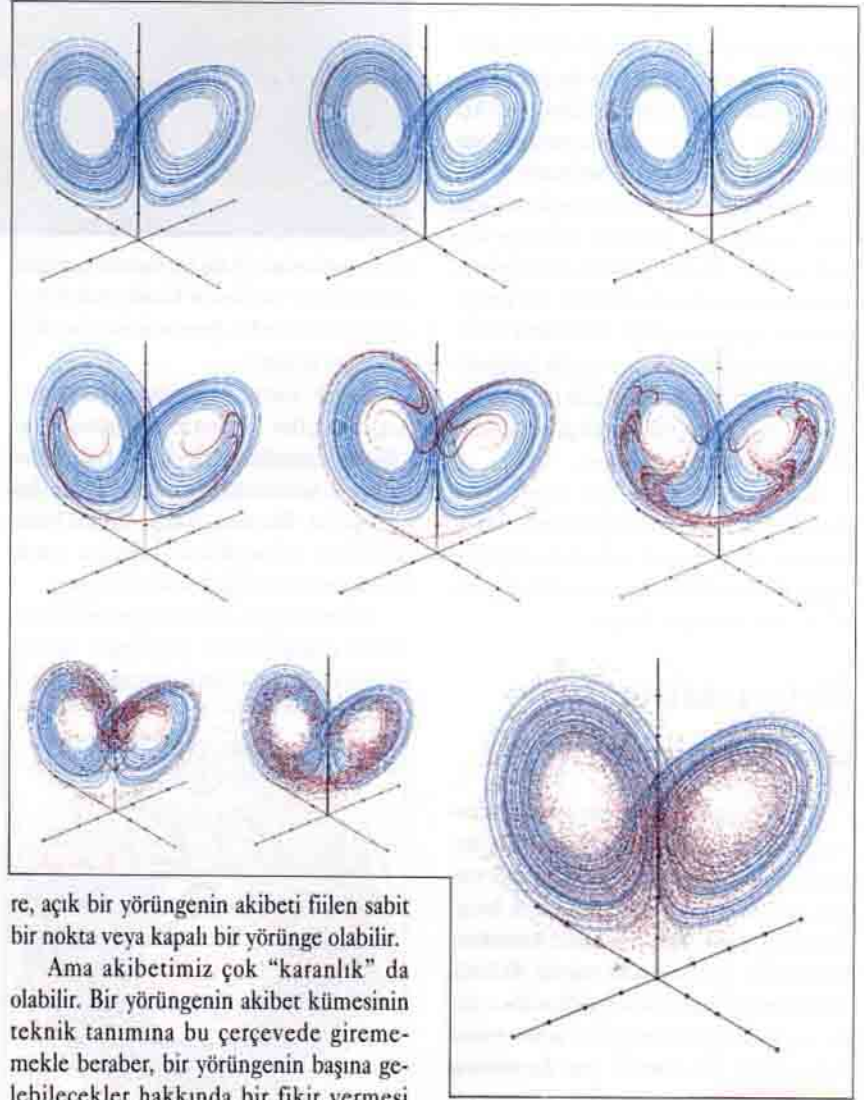
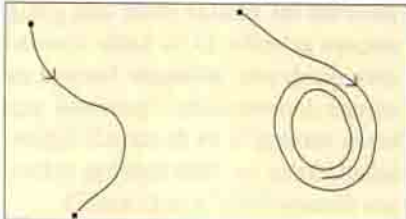
Belli bir başlangıç durumundan yola çıkan bir sistem, ilelebet bu durumda kalabilir ("sabit nokta"); veya durum uzayında bir tur attıktan sonra yola çıktığı noktaya gelebilir, ki bu halde determinizm gereği aynı yörüngede biteviye dolanmak durumundadır ("periyodik veya kapalı yörünge"); ya da sürekli değişme halinde kalıp, bir daha başladığı noktaya geri dönmeyebilir ("açık yörünge").



Bir dinamik sistem verildiğinde, durum uzayımızın tamamı bu üç tipten yörüngelerle doldurulmuş olacak ve büyüğe bir durum uzayını böyle küçük çizgilerle doldurmanın ne kadar çok yolunun olabileceğini bir an düşünürsek, dinamik sistemleri anlamının çok kolay olmayabileceği hususunda bir ilk fikir edinmiş oluruz. Belki sadece bu gözlem dahi, bir dinamik sistem hakkında neyi bilmek istediğimiz konusunda bizi biraz daha kalitatif bir yaklaşıma sevk edebilir. Örneğin, yörüngelerin durum uzayı içindeki detaylı kantitatif konumunu değil, yörüngeler arası ilişkileri ve bunların ortaya koyduğu kalitatif tabloyu ön plana çıkarabiliriz. 1930'larda Andronov ve Pontrjagin tarafından benimsenen bu yaklaşım, nicelik bilgisinin kaybı pahasına, önemli bazı nitelik kavrayışları getirmiştir. Bu anlamda mesela aşağıdaki (şematik olarak ima ettiğimiz) iki sisteme aynı nitelikte iki sistem gözüyle bakabiliriz:



Başka bazı tercihler de temel sorumuzun modifikasyonuna yol açmaktadır. Bir işin seyri mi önemlidir, yoksa sonucu mu? Kadet yolda başa gelen midir, yoksa yolun sonunda başa gelen mi? Zihnimizin derinliklerinde vuslatı bekleyişten, buluşu arayıştan, maksudu menzilden, kalıcıyı geçiciden daha önemli gören bir yönelim var. Bu anlamda, bir yörüngenin akibeti kendisinden daha önemli görülebilir ve yörüngelerin kendilerinden çok akibetlerinin anlaşılması daha faydalı olabilir. Bu akibet halleri çeşitli şekillerde tezahür edebilir! Örneğin aşağıda görüldüğü üzere,



re, açık bir yörüngenin akibeti fiilen sabit bir nokta veya kapalı bir yörünge olabilir.

Ama akibetimiz çok "karanlık" da olabilir. Bir yörüngenin akibet kümesinin teknik tanımına bu çerçevede girememekle beraber, bir yörüngenin başına gelebilecekler hakkında bir fikir vermesi bakımından, yandaki şekle bakmanızı rica edeceğim. Bu şekil üç boyutlu uzayda ve nispeten "basit" sayılabilecek bir dinamik sistemde bir yörüngenin akibeti hakkında bir fikir vermektedir. "Lorenz attractörü" (ya da Lorenz çekicisi) adı verilen bu akibet kümesi, bazı detayları henüz hala tam olarak anlaşılammış ürkünç bir yapıya sahiptir.

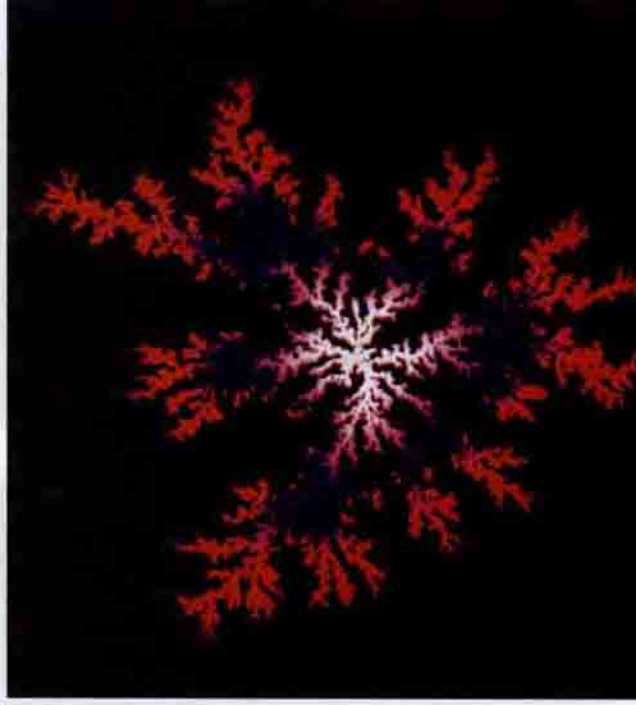
Kantitenin Kaliteye Dönüşümü ya da Başlangıç Şartlarına Hassas Bağımlılık

Bir dinamik sistemin "anlaşılması" ile ilgili bir başka önemli husus, başlangıç durumunun çok hafif değiştirilmesi durumunda sistemin akibetinin nasıl değişeceği meselesi.

Bir sistemi sabit bir noktanın birazcık yakınında kendi dinamğine terkettiğiniz

zaman, sistem o sabit noktaya doğru yol alabilir ya da oradan çok uzaklaşabilir. Benzer şekilde, akibeti kapalı bir yörünge olan bir başlangıç noktasının çok yakınından yola çıkarsanız, sistemin akibeti gene o kapalı yörünge olabilir, veya sistem bambaşka bir akibete düşer olabilir. Genel olarak, başlangıç noktasının uygun bir civarında sistemin akibeti hep aynı kalabilir, ya da bu noktaya çok yakın oldukları halde, akibetleri farklı olan noktalar mevcut olabilir. İki yakın noktanın akibetinin aynı olması durumunda dahi, bu noktaların, önce yakın seyreden yörüngeleri, zamanla alakasız hale gelebilir ve noktalar aynı akibete çok farklı şekillerde ulaşabilirler.

Eğer bir başlangıç noktasının yeterince yakınındaki noktalar, bundan sonra da başlangıç noktasının hareketini yeterince yakından izliyorsa, bu takdirde başlangıç noktasına kararlı bir nokta denir. Aksi halde kararsız (veya hassas, ya da duyarlı) bir noktadan ve başlangıç koşuluna hassas bağımlılıktan (ya da duyarlılıktan) söz edilir. Hassas bir noktaya ne kadar yaklaşırsanız



yaklaşın, ya başka bir akibeti olan, ya da aynı akibete çok farklı şekilde ulaşan başka noktalar vardır.

Aslında bir sistemin başlangıç durumlarındaki küçük değişikliklerin sistemin akibeti ile ilgili vahim sonuçlar doğurabileceği, modern kaos teorisi ortaya çıkmadan önce de bilinen bir gerçektir. "Bazı" başlangıç durumlarına hassas bağımlılık günlük yaşamda bile son derece yaygındır. Mesela bu yazının başında sözünü ettiğim evde, son derece hassas bir banyo armatürümüz vardı ve iki musluğu ayarlarken derenin kesri kadar bir hata yapınca (ki bu kaçınılmazdı) başımıza buz gibi ya da kaynar sular dökülüyordu.

"Tesadüf" ler de bir anlamda başlangıç şartlarına hassas bağımlılığın eseridir. O gün başka bir yoldan geçmiş olsaydınız, bugünkü eşinizle hala hiç tanışmamış olabileirdiniz. Daha büyük ölçekte, tarihsel ve evrimsel olaylarda da başlangıç şartlarına hassas bağımlılık, ya da geçen yüzyılın diyalektik filozoflarının deyimiyle "kantitenin kaliteye dönüşümü" bir çok gelişmenin, yeniliğin, yaratının, motoru olan çok önemli bir olgudur. Biyolojideki mutasyonların organizmaların akibet hallerinde makro-form farklılıklarına yol açabildikleri malumdur.

Ancak kaos teorisi, başlangıç şartlarına duyarlılığın hangi boyutlara varabileceğini gözler önüne sermiştir ve böyle "kaotik" sistemlerin istisna değil, muhtemelen kural olduğuna işaret etmektedir. Bir dinamik sistemin "kaotik"liğinin hala genel kabul gören bir tanımı yoktur. Ancak, durum uzayı içinde başlangıç noktalarına hassas bağımlılığın yaygınlığı, ya da başka bir ifadeyle, duyarlı noktaların teknik açıdan daha netleştirilmek durumunda olan belli anlamlarda "çokluğu", kaos'un en önemli şartı olarak kabul edilmektedir. Ayrıca, ilginç bir şekilde, bu düzensizlik şartını kompanse eden bazı düzenlilik şartları da (mesela çok sayıda kapalı yörüngenin varlığı gibi) aranmaktadır. Bu sebeple kaos, bugün anlaşıldığı anlamda, "gürültü" nün değil, hayli düzenli bir düzensizliğin teorisi-dir.

Determinist Belirsizlik

Başlangıç şartlarına hassas bağımlılığın yaygın olduğu bir sistemde ileriye yönelik uzun vadeli kantitatif tahminlerde bulunmak fiilen imkansızdır ve sistemin, bütün deterministikliğine rağmen, akibetinin detayı ile ilgili büyük bir belirsizlik vardır.

Örneğin, Lorenz sisteminde bir noktanın akibeti ile ilgili olarak söyleyebileceğimiz şey, bu noktanın şekilde kırmızı noktalarla ima edilen bulutsu atraktör üzerinde "bir yerlerde" olacağıdır. Burada insan "elektron bulutu" çağrışımını zihninden uzaklaştıramıyor. Ama bu biraz tehlikeli bir benzetme. Elektronun ne olduğu belli değil, ama bizim noktamızın "ne olduğu" uzay içinde sonsuz hassasiyetle "belli", noktamızın çok uzun süreler sonra dahi tam olarak nerede olacağı "belli", ama süre uzadıkça biz onun yerini daha az biliyoruz. Başlangıç noktamızla birazcak oynasak, çok özel haller dışında, gene aynı atraktöre gitmekle beraber, bir süre sonra tamamen farklı bir güzergah üzerinde doluyoruz. Atraktör önce uzayı kendine çekip, sonra da uzak noktalarını yakınlaştırıp, yakın noktalarını uzaklaştırarak kendini, ama sonuçta da uzayı, "yoğuruyor".

Daha önce, bilgi eksikliğinden kaynaklanan zahiri inde terminizm ile sistemin doğasından kaynaklanan hakiki inde terminizm dışında başımıza gelecek bir iş daha var derken kasdettiğimiz bu determinist belirsizliktir. Ne kadar paradoksal görünürse görünsün, tümüyle determinist bir sistem, uzun vadeli öngörüye tamamen mani olacak fiili bir belirsizlik arzede-bilmektedir.

Ancak burada ilginç olan, düzenle düzensizlik arasında kurulan derin ve garip bir dengedir. Kaotik bir sistemde duyarlı noktalar durum uzayı içinde çok yaygın olmakla birlikte, bunların akibet kümeleri genellikle durum uzayının çok dar bir bölgesini işgal etmektedirler. Durum uzayının noktalarının hemen tamamı, sistemin fazla oyalanmadığı geçici noktalar ve sistem bir anlamda gizemli bazı akibet halleri tarafından "çekilmektedir". "Garip çekici" (bazan "acayip atraktör") denilen bu akibet bölgeleri fevkalade ilginç ("fraktal") yapılar ve düzenler arzede-bilmektedir.

Çekiciler durum uzayı içinde, daha önce termodinamik açıdan nasıl oluşmuş olabileceğine pek akıl erdiremediğimiz bir asimetri, inhomojenite yaratmaktadır. Boyutları binlerle ifade edilebilecek büyük durum uzayları içinde, çekicilerin boyutları "birkaç" la ifade edilebilecek kadar küçük olabilir. Bu olgu, düzensizlikten düzen oluşumunun gizlerini aralamak için ümitli bir işaret veriyor.

Termodinamiğe Başka Bir Bakış

Klasik termodinamiğin kapalı sistemleri ile Prigogine termodinamiğinin açık sistemleri arasında ben esasen fazla bir fark görmüyorum. Sonuçta matematiksel açıdan sistem sistemdir ve açık sistemlere etkileşikleri çevreyi de katıp, model hassasiyeti çerçevesinde kapalı sayabileceğimiz biraz daha büyük sistemlere geçebileceğimiz gibi; içlerinde aktif enerji transferi olan ve davranışsal açıdan açık sistemlerdeki organizasyonları gösterebilen kapalı sistemlere de, önemli ve kritik alt sistemlerini belirledikten sonra, yukarıdaki anlamda genişletilmiş açık sistemler gözüyle bakabiliriz.

Bu anlamdaki herhangi bir sistemin büyük olasılıkla, klasik terminolojideki "termodinamik ölüm" e karşılık gelen bir büyük çekicisi ile, organize hallerine karşılık gelen, daha "kırılgan", belki bazıları "garip", başka bir çok çekicisi olacak! Bu diğer çekiciler, mesela karıştırılan Zhabotinsky sıvısında bir kapalı yörünge, karıştırılmayan Zhabotinsky sıvısında bir garip çekici olabilecek. Karmaşık bir sistem, müthiş büyük bir durum uzayında, çok dar bir stabilite köprüsünde, ipin üzerindeki cambaz misali, organize haller gösterebilecek ve en küçük bir sarsıntı ile termodinamik ölüm çekicisine yuvarlanabilecek. Ama onu o çukurdan çıkarmak olan da gene küçük sarsıntılar ve onu takiben, kaos'un birbirinden ayırıp uzaklaştırdığı yörüngeler olacak!

Bu tablo şu an için belki bir vizyon. Ama kimbilir. Belki de büyük Alman şairi Schiller'in kulakları çınlıyordu:

*Berraklığı karışıklık getirir
Ve hakikat uçurumda oturur.*