

# TERMODİNAMİK'İN İKİNCİ KANUNU *ve* ENTROPİ

**Durmuş Hocaoğlu**

*Ders Notu*

Kasım 2008



**Termodinamiğin Kurucusu**

**Nicolas-Leonard Sadi Carnot**

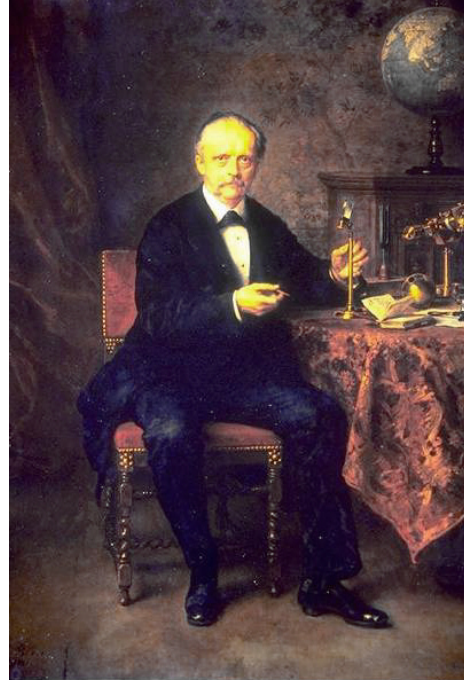
(1 Haziran 1796, Paris - 24 Ağustos 1832, Paris)

# I. BÖLÜM

## TERMODİNAMİK'İN İKİNCİ KANUNU

### Giriş

Sanâyi' çağının en büyük yeniliği ve onu bir devrim yapan yanı, hiç şüphesiz, *Babalar ve Oğullar*'ın baş kahramanı Bazarov'un ifâdesiyle, “maddenin içindeki gücü keşfetmesi” olmuştur; bu gücün keşfi fizik bilimini, onu insanın emrine tâbi' kılmak ise, mühendisliğin başarısıdır. Bu sûretle *idealar dünyasından nesnelere dünyasına, lâhûti/ulvî âlemden nâsûti/süflî âleme* indirilen, et ekemiğe bürünen bilimin insanın emrine müsahhar kıldığı bu güç, esas olarak, herhangi bir enerji türünün “**mekanik enerji**”ye tahvîl edilmesi esâsına dayanmaktadır. Bu noktada karşımıza çıkan ilk husus, Helmholtz tarafından keşfedilen “Enerjinin Korunumu Kanunu”dur. Lavoisier'nin “Maddenin Korunumu Kanunu”nun tamamlayıcısı kabul edilen ve fiziğin en sağlam kanunlarından olan bu kanun, *enerjinin hiçbir türünün yoktan var edilemediğini, var olan enerjinin de yok edilemediğini; enerjinin ancak, bir türden bir başka türe dönüştürülebileceğini* öngörmektedir. Bu kanunun termodinamikteki uygulaması, I. Kanun'dur.



Modern kimyanın kurucusu, “Maddenin Korunumu Kanunu”nun kâşifi, Fransız İhtilâli’nin, kendisini giyotine göndererek ödüllendirdiği Antoine-Laurent de Lavoisier (1743-1794) ve fizyolog ve fizikçi, “Maddenin Korunumu Kanunu”nun kâşifi, yaşadığı dönemde “Fiziğin Başbakanı” olarak adlandırılan Hermann Helmholtz (121-1894) (Ludwig Knaus’un 1881 tarihli portresi)

Termodinamiğin I. Kanunu’na göre, belirli bir V hacminde belirli bir P basıncı altında bulunan ve izole edilmiş, yâni dışarıdan içeriye veya içeriden dışarıya herhangi sûrette bir kaçak söz konusu olmayan bir sistemdeki belirli bir gaz kütlesinin – burada bu gaz kütlesine “cisim” denmektedir P-V diyagramını göz önüne aldığımızda, cismin P ve V değerlerinin bir yol boyunca 1 hâlden 2 hâline değiştiğini, bir Q ısıyı aldığını ve W işinin yapıldığını kabul edelim. Q, ısı transferi ile cisme ilâve edilen enerji, W ise iş yapılarak cisimden alınan enerjidir. Bu takdirde  $Q - W$  farkı,  $U_1$ , cismin 1. haldeki iç enerjisi,  $U_2$  ise cismin 2. haldeki iç enerjisi olmak üzere, İç Enerji’deki  $\Delta U = U_2 - U_1$  farkına [“iç enerji değişimi”ne] tekabül edecektir:

$$Q - W = \Delta U (= U_2 - U_1) \quad (1)$$

İşte bu fark, P-V diyagramındaki “yol”dan, yâni cismin ilk konumundaki P ve değerlerinden yola çıkarak ikinci konumdaki P ve V değerlerine hangi güzergâhtan gidildiğinden bağımsızdır. “**Termodinamiğin Birinci Kanunu**” olarak bilinen bu olgusal gerçekliğin sözlü ifâdesi, “**bir cismin iç enerjisindeki değişim yoldan bağımsızdır**” şeklinde olup, kantitatif ifadesi, Q, cisim tarafından alınan Isı, W ise yapılan İş olmak üzere, şu şekildedir:

$$Q = \Delta U (U_2 - U_1) + W \quad (2)$$

Bu takdirde Termodinamiğin Birinci Kanunu'nun sözlü ifâdesi şu şekli alacaktır: **Bir cisme verilen Isı, cismin iç enerjisindeki değişim ile yapılan işin toplamına eşittir.**

Buradan,

$$\Delta U = U_2 - U_1 = Q - W \quad (3)$$

veya,

$$Q = W + (U_2 - U_1) = W + \Delta U \quad (4)$$

ifâdesi elde edilir.

Burada,

$$\begin{aligned} \Delta U > 0 [U_2 > U_1] \text{ ise cismin iç enerjisi artar,} \\ \Delta U < 0 [U_2 < U_1] \text{ ise cismin iç enerjisi azalır.} \end{aligned}$$

Bu son bağıntıya dikkat edilecek olursa, açıkça görülmektedir ki, bu ifâde enerjinin korunundan başka birşey değildir: Sisteme bir Q ısıyı girmekte ve bu ısının bir kısmı sistemde bir W işi yapmak için harcanırken, geri kalan kısmı da  $\Delta U = U_2 - U_1$  şeklinde ifâde edilen bir “iç enerji değişimi”ne sebebiyet vermektedir ve sonuç olarak, sisteme giren enerji (Q) ile sistemdeki toplan enerji ( $W + (U_2 - U_1)$ ) eşitlenmekte, yâni, hiçbir enerji *yok oluşu* vuku' bulmamaktadır.

I. Kanun'u tanımlayan II. Kanun ise, daha farklı bir şey söylemektedir: İzole edilmiş bir termal işlemde, sisteme giren toplam enerji (Q) ile sistemde işe dönüşen enerji (W) ve iç enerjide değişmeye yol açan enerjinin ( $\Delta U$ ) toplamı eşittir, yâni, enerjinin korunumu kanunu geçerlidir; ancak, buna mukabil, (4) numaralı denklemin sağ tarafından sol tarafına bire-bir bir dönüşüm mümkün değildir; yâni, sistemde elde edilen W işi ve  $\Delta U$  iç enerji değişiminin geriye döndürülerek tekrar aynı Q ısısının elde edilmesi imkânsızdır; mutlaka, sıfırlanması mümkün olmayan bir kayıp söz konusudur. Eğer böyle olmasa idi, enerjiyi yaratamamakla beraber, bir **sonsuz döngü** elde etmek mümkün olabilirdi. İmdi, nasıl ki Enerjinin Korunumu Kanunu ve onun bir termal uygulaması olan Termodinamiğin I. Kanunu, enerjinin yaratılamazlığı dolayısıyla, eski fiziğin ezeli hülyâsı olan **Devri Dâim Makinası**'na<sup>1</sup> (*Perpetuum Mobile*) bütün kapıları kapatmakta ise, Termodinamiğin II. Kanunu da sonsuz bir döngü elde etmeye bütün kapıları kapatmakta ve bütün termal süreçlerin sonlu ve bitimli olması gerektiği sonucunu çıkarmaktadır.

---

<sup>1</sup> Devri Dâim Makinası için, bkz.: EK NOT: II: “Termodinamik Kanunları ve Devri Dâim Makinaları (Perpetuum Mobile)”

İşte bu, termal proseslerin geriye döndürülemezlik (irreversibility, tersinmezlik) özelliği, ileride *Entropi* bahsinde de göreceğimiz gibi, Evren'in kaçınılmaz olarak bir “**termal ölüm**”e gidişini âmir olan en temel kanunu hükmündedir.

Şimdi, termal süreçlerde Termodinamiğin II. Kanunu'na biraz daha yakından bakalım:<sup>2</sup>

Mekanik enerjinin doğrudan doğruya elde edildiği su kuvveti müstesna enerji stoklarının çoğu petrol veya kömür gibi yakıtlar şeklindedir ve enerji bunlarda iç enerji olarak depo edilmiştir. Yanma işlemi iç enerjiyi serbest hale geçirir ve ısıya dönüştürür. Bu şekildeki enerji meskenlerin ısıtılmasında, pişirmede, yahut başka kimyasal veya fiziksel işlemler hasil etmek için bir fırını yüksek sıcaklıkta tutmakta kullanılabilir. Fakat bir makinayı çalıştırmak yahut bir vasıtayı yürütmek veya bir mermiyi fırlatmak için ısı mekanik enerjiye dönüştürülmelidir, ve makina mühendislerinin problemlerinden biri bu dönüşümü mümkün olan en büyük verimle yapmaktır.

İç enerjinin doğrudan doğruya mekanik enerjiye dönüştüğü yalnız bir tip işlem vardır ve bu, kimyasal cisimlerin elektrolitik bir pilde terkip edilmiş olduğu haldir. Diğer bütün metodlar iç enerjinin ısıya dönüşümü ara adımını ihtiva ederler. Değişimler şematik olarak

İç enerji → Isı → Mekanik enerji

şeklinde gösterilebilir.

İç enerji → Isı

ile gösterilen işlem bir güçlük arzetmez. Tabii en çok bilinen misal kömür, petrol yahut gazın yanmasıdır. Bu itibarla problem

Isı → Mekanik enerji

ye indirgenmiş olur.

Her şeyden önce aşikârdır ki bu dönüşüm daima buhar makinası, gazolin motoru yahut diesel motoru gibi bir makinanın kullanılmasını gerektirir.

İlk bakışta, problem güç görünmüyor; çünkü biliyoruz ki 1 kal=4,18 jul'dür ve her kalorilik termal enerji bize 4,18 jul'lük mekanik enerji temin edecek zannedilir. Meselâ bir kg kömür yanınca takriben 7500 kcal'lik ısı hasil edecek ve 7500X10<sup>3</sup>X 4,18 jul'lük mekanik enerji temin edeceği zannedilir. Halbuki hakikî buhar makinaları bu değer ancak % 5'den % 30'a kadarını temin ederler. Geriye kalan % 70'den % 95'e kadarı ne oluyor?

---

<sup>2</sup> Francis Weston Sears, Mark W. Zemansky., *Üniversite Fiziği (University Physics), Birinci Kısım: Mekanik, Isı, Ses.*, Çeviren: Prof. Dr. Ali Sümer., İkinci Baskı., Birsen Kitabevi Yayınları., İstanbul, 1982., s.362-363

Baca ve sürtünme kayıpları ancak küçük bir kısmı karşılar, büyük kısım ekzosta dışarı verilen ısıdır. Şimdiye kadar kimse, kendisine verilen ısının oldukça büyük kısmını ekzostundan dışarı atmıyan bir ısı makinası inşa etmiş değildir, ve bundan sonra da hiç kimsenin yapamayacağından eminiz. Başka bariz değişiklikler yapmadan verilen bir ısı miktarını *tamamen* mekanik enerjiye çeviren bir makina yapmanın imkânsızlığı, *termodinamiğin ikinci kanunu* olarak bilinen Tabiatın temel bir kanunudur. Hatırlanacağı gibi birinci kanun enerjinin korunumu prensibinin bir ifadesidir ve yalnız her kaloriden 4,18 jul'den daha fazla iş elde edilemeyeceği tahdidini koyar. Bir makinanın verilen bir ısı miktarının bir kesrini mekanik enerjiye çevrilebileceği tahdidini ihtiva etmez, ikinci kanun birinciden daha ileriye gider, ve hiç bir cins makina ile % 100 dönüşümün olamayacağını ifade eder. Tabii makinanın kendisine verilen ısının mekanik şekle çevirdiği kesri için birinci kanunun ifade ettiği denklik doğru olmalıdır.

Genç bir Fransız mühendisi olan Sadi Carnot bir ısı makinasının verimini temelden ele alan ilk kimsedir. Carnot'nun 1824'deki çalışmalarına kadar buhar makinelerindeki tekâmül ya daha iyi mekanik plân yapmak şeklinde olmuş ya da, eğer daha esaslı bir tekâmül olmuşsa, temel prensiplerden habersiz ya tesadüfen ya da ilhamla olmuştur. Carnot'nun yaptığı yardım "teorik" idi fakat endüstrilemiş toplumumuz üzerinde 19 uncu asırdaki tesiri bu alanda kendisinden önceki "tatbiki" adamların yaptığı çalışmalardan daha fazladır.

Kısaca Carnot'nun yaptığı, bir ısı makinasının çalışmasının teferruatını bir tarafa bırakıp dikkati onun hakikaten ehemmiyetli olan taraflarına teksif etmesidir. Bunlardan birincisi makinaya ısı şeklinde ve yüksek sıcaklıkta enerji verilmektedir. İkincisi makina mekanik iş yapar. Üçüncüsü, makina dışarı daha alçak sıcaklıkta ısı atar. Carnot'nun zamanında *ısının tahrip edilemez bir akışkan olduğuna dair kalorik teori* hâlâ kabul ediliyordu. Carnot'nun neşredilmiş makalelerinden ısı ve işin tabiatı hakkındaki inanışlarının ne olduğunu, bilhassa kullandığı terimlerin *açık* bir tarifini vermemiş olması sebebiyle, kestirmeye imkân yoktur. Fakat Carnot'nun kendisi problemi *hadsî* olarak (*sezgi* ile) anlamış olsa da zamanının ilim adamlarının çoğu bir makinada ısının yüksek sıcaklıktan alçak sıcaklığa akışını bir su değirmeninde suyun yüksek seviyeden alçak seviyeye akışına benzetiyordu. Herhangibir zaman aralığında eşit miktarda su türbine girmekte ve onu terketmekte fakat işlemde bir miktar mekanik enerji sudan çıkarılmaktadır. Carnot ısı makinasında benzer bir işlemin yer aldığına inanmıştı - bir miktar mekanik enerji ısıdan çıkarılıyordu fakat herhangibir zaman aralığında makinadan dışarı atılan ısı miktarı makinaya verilen ısıya eşitti. Bu gün biliyoruz ki bu fikir doğru değildir, ve makinadan dışarı atılan ısı ona verileden mekanik işe çevrilen kadar azdır. Isının tabiatına dair yanlış bir fikre sahip olduğu halde Carnot, verilen iki sıcaklık arasında çalışan herhangibir ısı makinasının maksimum verimi için doğru ifadeyi hakikaten buldu.

Bir ısı makinasında birinci derecede önemli olan ısı ve iş olduğundan basitlik için bir *kapalı çevrime* göre çalışan makinayı göz önüne alacağız. Yani bir pistonu karşı genleşen madde periyodik olarak ilk şartlarına getirilecek ve bu

sebeple *faal (aktif) madde* denilen bu maddenin bir çevrimdeki, iç enerjisinin değişimi sıfır olacaktır. Yoğunlaşma tipinde buhar makinaları hakikaten bu şekilde çalışırlar, dışarı atılan buhar yoğunlaşır ve tekrar kazana sokularak faal madde (bu halde, su) tekrar tekrar kullanılır. Şu halde faal madde ısıyı bir cisimden diğerine transfer etmeye yarar, ve hacminin değişmesi dolayısı ile ısının bir kısmını mekanik işe çevirir.

Şu hâlde, Termodinamik'in sııradan bir bilgi ve bir zenaat olmaktan çıkıp hâlıfs bir bilim olmasında bğış rol üstlenen Lazarre Carnot'nun, İranlı şâir Şeyh Sadî-i Şîrâzî'nin adını taşıyan oğlu Nicolas-Leonard Sadi Carnot'nun yaptığı dâhiyâne keşif şudur özetle:

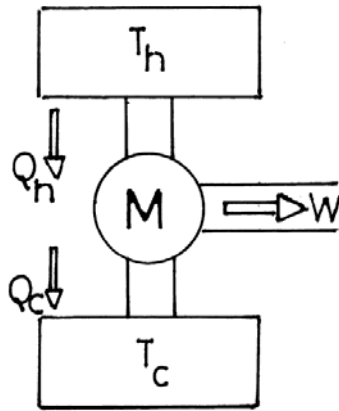
**a: Bir termal işlemde, hiçbir vakit, verilen ısının tamâmı faydalı mekanik işe dönüştürülemez; verim (randıman) hiçbir vakit yüzde yüz olamaz, bir kayıp olması kaçınılmaz bir fizik kuralıdır;**

**b: Randıman, kullanılan maddelerin kalori değerine veya başka herhangi bir fizikî veya kimyevî özelliğine değil, sadece ve yalnız, iki ısı seviyesi arasındaki farka tâbî'dir.**

## Termal Makina

Bir  $Q$  ısısı olarak bunu faydalı işe ( $W$ ) dönüştüren tertibatlara fizikte ve mühendislikte “ısı makinası”, veya “termal makina”, yâhut kısaca “makina” tâbir edilir.

Bir Termal Makina,  $T_h$  sıcaklığındaki bir Yüksek Sıcaklık Deposu ile  $T_c$  sıcaklığındaki bir Alçak Sıcaklık Deposu arasında çalışan bir sistemdir. Makina, Yüksek Sıcaklık Deposu'ndan Alçak Sıcaklık Deposu'na akan  $Q_h$  ısısının bir kısmını alarak bunu “Faydalı Mekanik İş”e dönüştürür; fakat aşağıda da tekrar göreceğimiz gibi, Makina, hiçbir zaman  $Q_h$  ısısının tamamını İş'e dönüştüremez ve geriye dâimâ, İş'e dönüştürülemeyen ve Alçak Sıcaklık Deposu'na akan bir  $Q_c$  ısısı kalır.



$T_h$ : Yüksek Sıcaklık Deposu'nun sıcaklığı  
 $T_c$ : Alçak Sıcaklık Deposu'nun sıcaklığı  
 $Q_h$ : Yüksek Sıcaklık Deposu'ndan akan ısı  
 $Q_c$ : Alçak Sıcaklık Deposu'na Giren Isı  
 $M$ : Makina (Termal Makina)  
 $W$ : Termal Makina tarafından elde edilen Faydalı Mekanik İş (veya, Net Mekanik İş, ya da kısaca: İş

Makina tarafından elde edilen Faydalı Mekanik İş, ya da kısaca İş (W),  $Q_h$  ile  $Q_c$  arasındaki fark olan Net Isı'ya ( $Q_{net}$ ) eşittir:

$$W=Q_{net}=Q_h-Q_c$$

Makinanın Termal Verimliliği ( $e$ ): Makina tarafından elde edilen faydalı işin (W) Makinaya giren  $Q_h$ 'a oranına denir:

$$e = \frac{W}{Q_h} = \frac{Q_{net}}{Q_h} = \frac{Q_h - Q_c}{Q_h}$$

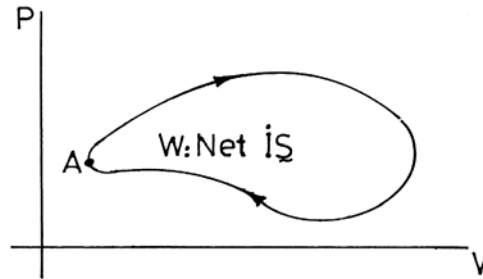
İlk bakışta  $Q_h$ 'ın tamamının İş'e dönüştürülebilmesi mümkün görülebilir ve böyle bir düşünce Termodinamiğin I. Kanunu'na da uygundur; ancak, vehlei ülâda bahsedildiği ve biraz ileride Entropi bahsinde de göreceğimiz gibi, bütün termal Makinalerin aldığı yüksek ısının ne kadarını İş'e dönüştürebileceğinin, yâni Verim'in teorik sınırını belirleyen Carnot Prensipi'nin de gösterdiği üzere, hiçbir Makina için ve daha makro planda ele alındığında Tabiat'taki bütün termal süreçler ve nihâyetinde Evren için, böyle bir şey asla mümkün olamaz, yâni Verim dâimâ %100'den düşük olmaya mahkûmdur ve bu sonuç da Termodinamiğin I. Kanunu'na aykırı değildir. Elektrik Makinalerinde verimin %100'e yaklaşabilmesine karşılık, gerçek termal Makinalerde verim, en fazla %60 civarında tahakkuk edebilmektedir; bu oran arttırılabilir, ama asla %100 olamaz..

Verim'in %100 olamaması, yâni mutlaka İş'e dönüştürülemeyen bir enerjinin - ki buna Entropi'de "**Ölü Enerji**" tâbir edilir - artakalması, yukarıda bahsedilen "Devr-i Dâim Makinesi"nin (*Perpetuum Mobile*) imkânsız olduğunun da isbatıdır.

Termal süreçlerin bu özelliği, Kelvin ve Planck tarafından belirlenen ve **Termodinamiğin II. Kanununun Kelvin-Planck Formu** adı verilen şu formülasyon ile ifâde edilir:

***"Bir çevrimde ısı enerjisi alıp, tamâmen buna eşit miktarda iş yapan ve bunun dışında başka hiçbir etki oluşturmayan bir Makina yapılması imkânsızdır."***

Sistem'in çalışmasına âit genel P-V diyagramında da gösterilmiş olduğu gibi, bir A noktasından başlanılarak tekrar aynı noktaya dönmek sûretiyle gerçekleştirilen bir "tam çevrim" sonucunda yapılan Net İş, kapalı eğrinin alanına eşittir.





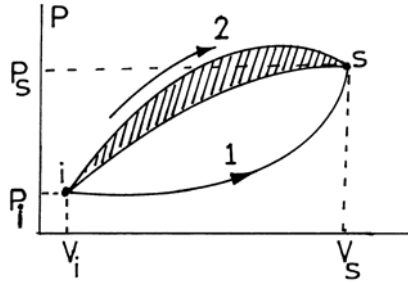
$T_h$  sıcaklıktaki depodan akan ısı ( $Q_h$ ),  $T_c$  sıcaklıktaki depoya giren ısı ( $Q_c$ ) ve Makina tarafından elde edilen Faydalı Mekanik İş ( $W$ ) arasındaki bağıntılar bilançosu aşağıdaki cetvelde çıkarılmıştır.

$$W = Q_{net} = Q_h - Q_c \quad (\text{Makinaya verilen net ısı})$$

$$W = Q_{net} \quad (\text{Makina tarafından yapılan net iş})$$

$$e = \frac{W}{Q_h} = \frac{Q_h - Q_c}{Q_h} = 1 - \frac{Q_c}{Q_h} \quad (\text{Makinanın Termal Verimliliği})$$

### Tersinir ve Tersinmez Süreçler



- 1: Tersinir Süreç,
- 2: Tersinmez Süreç,
- i: İlk Denge Konumu,
- s: Son Denge Konumu

### Bâzı Temel Tanımlar

• **Termal Denge:** Bir gazın hâlini belirleyen en temel iki kategorisi “basınç” ve “hacim”dir; bu iki kategoriden birisi veya ikisi tâyin edilemeyen bir gaz “belirsiz” bir hâldedir. **Termal Denge** ise bu “belirlenebilirliğin” kavramsal bir ifâdesi olup, belirli bir miktar gazın belirli (muayyen) bir basınca ve belirli bir hacme sâhip olduğu hâli anlatır; Termal Denge’nin diğ er adı da “**Kararlı Hâl**”dir. İmdi, böyle bir tanımın yapılabilmesi için bu şartların her ikisi birden mevcut olmalıdır. Ne var ki, bu durum, yâni termal denge durumu, mutlak anlamda bir hareketsizlik, mutlak anlamda bir kıvıldamazlık demektir; çünkü her hareket bir hâl değı ştirme, yâni bir hâlden diğ er bir hâle geçi ş demektir ki bu geçi ş esnâsında geç en süre ne kadar kısa olursa olsun, bir süre için denge bozulur.

• **Termal Denge ve Kararlı Süreç:** Görüldüğü gibi, termal dengede bulunan bir gaz “kararlı”dır ve bu bakımdan da “değı şme” demek olan “süreç”ten bağımsızdır. Yâni, “kararlı” kelimesini tam gerçek anlamında kullanacak olursak, “kararlı” ve “süreç” kavramları birbirinin zıddı olduğu için, **Kararlı Süreç** diye bir kavram tanımlanamaz. Evren’de bütün fiziksel olayların **tersinir** değı l **tersinmez** (*irreversible*, geriye dönüşümsüz) oluşunun sebeplerinden birisi de budur. Çünkü Evren’de mutlak anlamda sâkin,i hareketesiz olan ghiçbir şey yoktur; evren, sonsuz ve bitimsiz hareketlerden oluşur: Madde, hareketsiz olduğu

ânda yok olur; diğeri bir ifâdeyle, mutlak anlamda hareketsizlik, madde için ölüm demektir.

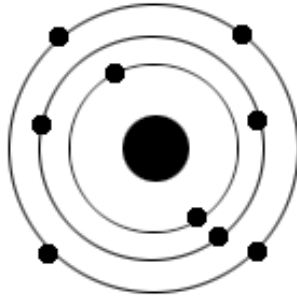
Termodinamik işlemler kendiliğinden sürekli olarak devam etmez, bir yerde kesilir. Termodinamik işlemler, aynı zamanda, izotermaldir; termal denge şarttır. Isı arttıran veya azaltan yâni termal dengeyi bozan etkiler tersinir işlemi ortadan kaldırır.

Ancak, biz **Tersinir Süreç** kavramını, aşağıda da göreceğimiz gibi, birbiri ardınca gelen adetâ nokta şeklindeki ve sonsuz denebilecek kadar çok sayıdaki “yarı-kararlı süreçler”den oluşan hâl değiştirmelerinin bütünü olarak tanımlayacağız.

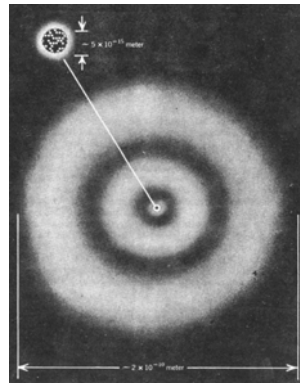
• **Yarı-Kararlı Süreç:** Gerçek bir termal işlemde tersinir süreç, ardarda gelen çok sayıda denge durumlarından oluşmakta olduğundan, bir “yarı-kararlı süreç”tir.

• **Tersinir Süreç:** Gerçek bir termal işlemde bir tersinir süreç, ardarda gelen çok sayıda, geçici denge durumlarından oluşmakta olduğundan, bir “yarı-kararlı süreç”tir, veya daha doğru bir nitelendirme ile, bir “yarı-kararlı süreçler bütünü”dür. Böyle bir sürecin bir başlangıcında ve bir de bitiminde olmak üzere iki denge durumu kabûl edilir ki buna göre, **Tersinir Süreç** (veya tersinir olduğu kabûl edilebilecek süreç), ilk denge ve son denge durumları arasındaki sürecin, birbirini tâkip eden (ardışık) denge durumlarından oluşması hâlidir. Bu vaziyette, her bir noktanın P ve V değeri belirlenebileceğinden, süreç bir çizgi ile gösterilebilir (şekilde “1” ile gösterilen P-V eğrisi).

• **Tersinmez Süreç:** Sâdece ilk ve son denge durumları için P ve V değeri belirlenebildiği, dengesiz hâllerin ardışık olarak birbirini tâkip ettiği süreçtir. Bu hâller için P ve V değerlerinin her ikisini birden tam olarak belirlemek imkânsızdır. Ancak, genel olarak, V’nin tam belirlenebilmesi daha mümkündür, bu durumda P’nin belirsizliği artar. Bu sebeple Tersinmez Süreç, P-V diyagramında bir sürekli (eğri) olarak değil de, bir belirsizlik alanı olacak şekilde gösterilir (şekilde “2” numaralı ilerleme oku ile gösterilen taralı bölge).



Bohr Atom Modeli'nde, elektronların çekirdek etrafındaki yörüngelerdeki konumları



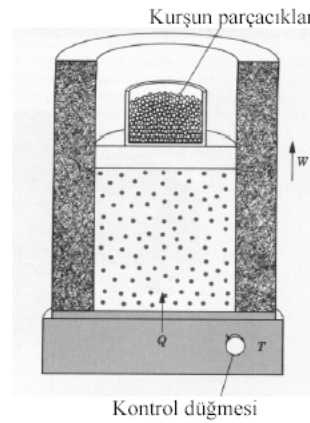
Elektron Bulutu içinde elektronların dağılımı<sup>3</sup>

<sup>3</sup> D. Halliday, R. Resnick., *Physics for Students of Science and Engineering.*, Wiley International Editions, Printed in Japan., Part II, 2nd Ed., 1962, p.564

i'den (İlk Denge Konumu) s'ye (Son Denge Konumu) gidişi gösteren 1 eğrisi üzerinde her bir noktanın P ve V değerleri tam belirlenebilir demiştik. Bu, Bohr Atom Modeli'nde her bir elektronun yörünge üzerindeki konumunun tam belirlenebilir olmasına benzetilebilir. Ancak, buna karşılık, 2 eğrisinde P ve V değerlerinin her ikisinin birden tam olarak belirlenememesi, Elektron Bulutu'na benzetilebilir. Nasıl ki Elektron Bulutu'nun fizikî anlamı, çekirdek etrafındaki yörüngede dönen elektronların her ândaki konumunun, Heisenberg Prensibi mücibince, tam bir kesinlikle bilinmemesinden dolayı, elektronların konumunun bulunması ihtimâlinin matematikî ifâdesi ise, P ve V değerlerini her ikisinin birden tam bir kesinlikle bilinmemesi de benzer bir durum arz etmektedir.

Tersinir ve Tersinmez Süreçler'i şematik olarak temsil eden grafikteki 1 eğrisi ile gösterilen Tersinir Süreç'i anlatan "geçici denge durumları" ile "yarı-kararlı süreç" ifâdesine dikkat edilmelidir. Bir gazın "denge" ve "kararlılık" durumu, her noktasında ve her yönde P, V ve T değerlerinin eşit (homojen ve izotrop) olması demektir. Gazın bu değerlerinden herhangi birisinin değişmesi dengesinin ve kararlılığının bozulması demektir; şu hâlde denge durumundaki – yâni "kararlı" – bir gazda "süreç"ten bahsedilemez, çünkü süreç, değişme demektir. Öyleyse, bir gazın bir termal sürece tâbi' olabilmesi için tam ve mutlak anlamda bir denge konumunda bulunmaması ve tam ve mutlak anlamda kararlı olmaması gerekir. Bu sebeple, 1 eğrisi üzerindeki süreç de gerçekte, herbirisi kararsız ve dengesiz olan durumlardan oluşan, ancak, bu durumların ölçülebilir ve belirlenebilir olduğu, çok sayıda ardışık durumlardan teşekkül eder. 2 eğrisi üzerindeki süreç ise işbu ardışık süreçler, tek tek ölçülebilir ve belirlenebilir olmayıp, P ve V'den birisi tam olarak ölçülüp belirlendiğinde diğeri tam olarak ölçülebilmekte ve belirlenebilmekte değildir.

Bir yarı-kararlı sürecin laboratuvar ortamında elde edilebilmesi için P ve V değerlerinin küçük aralıklarla ve her defasında ölçülebilen miktarlarda değiştirilmesi gerekir. Bu maksatla, yandaki şekilde gösterildiği gibi bir tertibat kullanılabilir. Burada bulunan ufak kütleli kurşun parçacıklar sırayla silindirin tepesine konmak sûretiyle, mümkün olduğunca küçük farklarla oluşan ardışık basınçlar elde edilerek, mümkün olduğunca yarı-kararlı bir süreç yaratılmağa çalışılır.



## Carnot Makinası ve Carnot Çevrimi<sup>4</sup>

**Carnot Makinası**, Sadi Carnot'nun 1824 yılında yayınladığı, daha sonra William Thomson (Lord Kelvin) ve Émile Clapeyron sâyesinde unutulmaktan kurtulan *Réflexions Sur La Puissance Motrice de Feu et Les Machines Propre à Développer Cette Puissance (Ateşin Hareket Ettirici Gücü ve Bu Gücü Kullanacak Makinalar Üstüne Düşünceler)* isimli eserinde temellendirdiği ve termal işlem esasına göre çalışan bütün Makinaların temel teorisi olarak kabul edilen, gerçekte mevcut olmayan, hayâlî bir Makinadır. Carnot Makinası fizikî bir varlığı olmadığı için mekanik kayıpların tamâmıyle yok farzedildiği ve tasavvur edilebilecek bütün termal Makinaların temel fiziksel çalışma esaslarını ve maksimum veriminin şartlarını ve âzâmî sınırlarını da belirleyen bir Makinadır. Carnot Makinası fizikî anlamda gerçek bir makina olmamakla berâber, bütün “gerçek makinalar”ın temel prensibini ihtivâ etmektedir. Carnot Makinası ile mühendisliğin ilgilendiği gerçek termal makinalar arasındaki fark, gerçek makinalarda, önlenmesi mümkün olmayan kayıplar ve kaçaklardır ve söz gelimi, gerçek makinalarda bu yüzden, teorik makinalarda olduğunun aksine, tam bir izole sistem elde etmek mümkün değildir. Yine söz gelimi bu sebeple, aşağıda da göreceğimiz gibi, hiçbir termal makinanın verimi Carnot Makinası'ninkine eşit dahi olamaz; Carnot Makinası, verimi maksimum olan makinadır

**Carnot Çevrimi** ise, Carnot Makinası'nın çevrimine verilen addır.

Bir Carnot Çevrimi, kapalı bir hacimde bulunan bir gaza uygulanan ve ardarda gelen dört termal işlem aşamasından oluşur. Bu dört aşamanın ikisi izotermal, ikisi adiabatiktir. Aşağıdaki şekilde gösterildiği gibi, bir piston içerisinde bulunan bir miktar gaza tatbîk edilen işlemler şöyledir:

**Aşama I [İzotermal Genleşme]:** Gaz, önce sabit  $T_h$  yüksek sıcaklığında bulunan bir yüzey ile temas ettirilmek sûretiyle bir  $Q_h$  ısı verilir, izotermal olarak genişletilir.

**Aşama II: [Adiabatik Genleşme]:** Bu defa pistonun dışarıyla termal bağlantısı kesilir, yâni ısı alış-verişi önlenir ( $Q=0$ ) ve bu hâlde iken genişlemeye devam edilir.  $Q=0$  olduğundan bu aşama bir adiabatik genişlemedir.

**Aşama III: [İzotermal Sıkıştırma]:** Bundan sonra gaz sabit  $T_c$  düşük sıcaklığındaki bir yüzeyle temas ettirilir; gazdan dışarıya  $Q_c$  ısı çıkarken sıkıştırma yapılır; gaz sabit bir sıcaklıkta sıkıştırıldığından, bu aşama bir izotermal sıkıştırma olur.

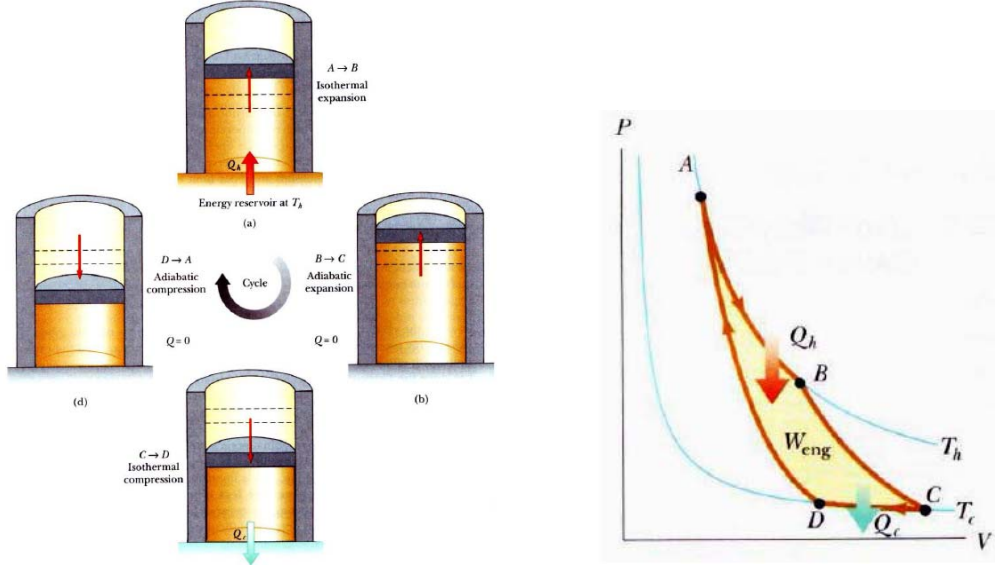
**Aşama IV: [Adiabatik Sıkıştırma]:** Nihâyet son aşamada, pistonun yine dışarıyla termal bağlantısı kesilir, ısı alış-verişi önlenir ( $Q=0$ ) ve bu hâlde iken

---

<sup>4</sup> Bkz.: Francis Weston Sears., *Fizik Prensipleri*, C. I, s.565., D. Halliday, R. Resnick., *Fiziğin Temelleri.*, C: I, s.456., Raymond A. Serway., *Fizik.*, C: I., Çeviri Editörü: Kemâl Çolakoğlu., Palme Yayıncılık, Ankara 1995, s.592

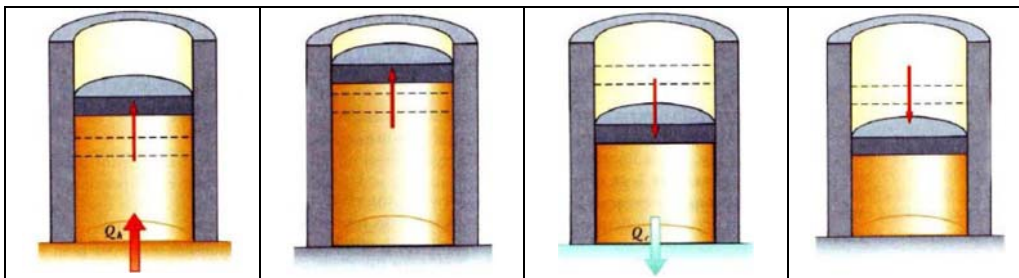
sıkıştırılmaya devam edilir.  $Q=0$  olduğundan bu aşama da bir izotermal sıkıştırma olur.

Aşağıda soldaki şekilde, Carnot Makinası'nın çevriminin saat yönündeki şematik diyagramı, sağda ise bu çevrimin P-V grafiği verilmiştir.



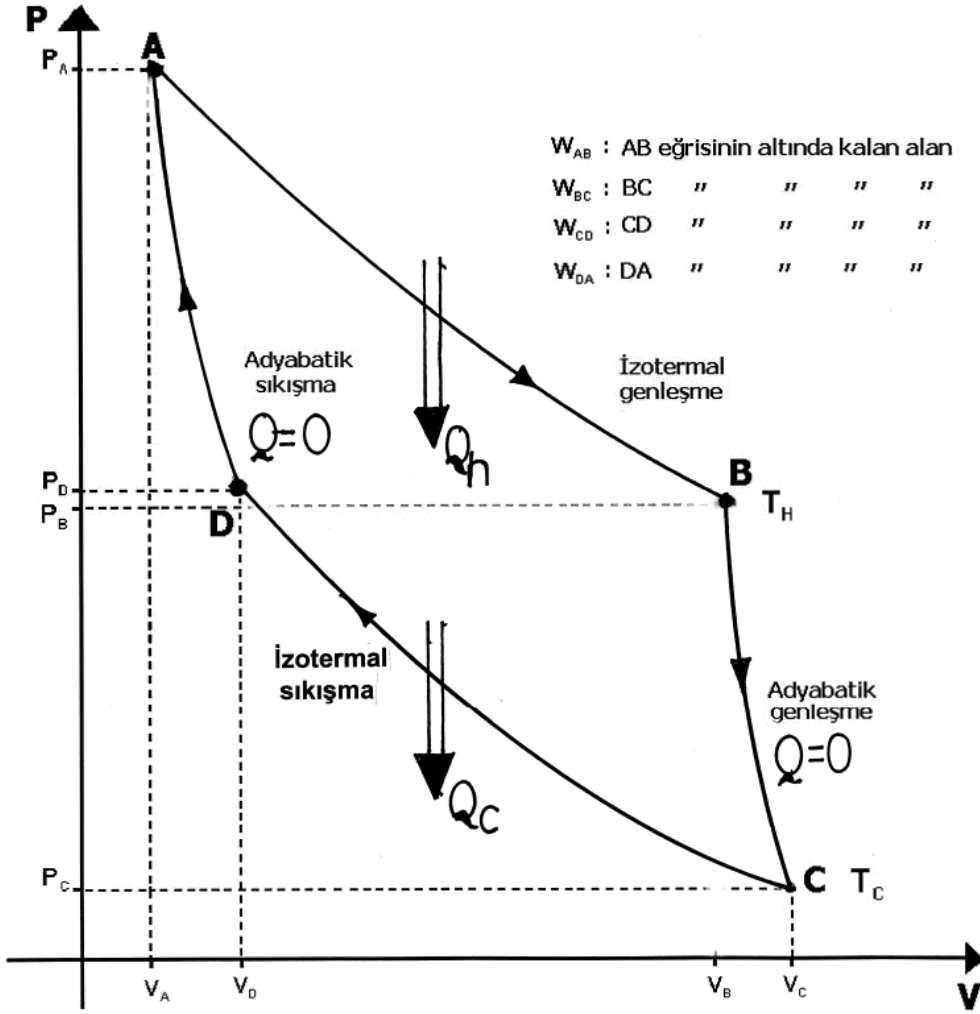
a: İzotermal Genleşme (A-B arası); b: Adiyatik Genleşme (B-C arası); c: İzotermal Sıkıştırma (C-D arası); d: Adiyatik Sıkıştırma (D-A arası). ( $W_{eng}$ : Makinanın yaptığı iş)

Şimdi yukarıdaki grafikteki a, b, c ve d aşamalarını tek-teke ele alalım:



I A → B	II B → C	III C → D	IV D → A
<b>İzotermal Genleşme</b>	<b>Adiyatik Genleşme</b>	<b>İzotermal Sıkıştırma</b>	<b>Adiyatik Sıkıştırma</b>
Gaz üzerine yapılan iş: $W_{AB}$	Gazın yaptığı iş: $W_{BC}$	Gaz üzerine yapılan iş: $W_{CD}$	Gaz üzerine yapılan iş: $W_{DA}$

Bu dört aşama, aşağıdaki P-V diyagramında temsilî olarak gösterilmiştir.



- Aşama I [A → B]:** İzotermal Genleşme. Gaz üzerine yapılan iş:  $W_{AB}$   
**Aşama II [B → C]:** Adyabatik Genleşme. Gazın yaptığı iş:  $W_{BC}$   
**Aşama III [C → D]:** İzotermal Sıkıştırma. Gaz üzerine yapılan iş:  $W_{CD}$   
**Aşama IV [D → A]:** Adyabatik Sıkıştırma. Gaz üzerine yapılan iş:  $W_{DA}$

A'dan başlayıp tekrar A'ya dönmek sûretiyle elde edilen çevrim (ABCD A çevrimi) bir tersinir işlemdir ve yapılan net iş, ABCDA alanına eşittir:

$$W_{net} = Q_h - Q_c \quad (\text{İşleme aktarılan ısı})$$

Bu ise, sisteme aktarılan ısıya eşittir. Çünkü, Termodinamiğin Birinci Kanunu'na göre

$$Q_{net} = W_{net} + \Delta U$$

idi. Beri yandan, İç Enerji'de bir değişme olmadığı için  $\Delta U = U_2 - U_1 = 0$  'dır. Buradan,

$$W_{net} = Q_{net} = Q_h - Q_c$$

elde edilir ki buna dayanarak, Carnot Makinası'nın Termal Verimliliği'ni [e: Efficiency=Verim],

$$\text{Verim} = \frac{\text{Elde Edilen Net İş}}{\text{Alınan Enerji}}$$

şeklinde ifade edilen genel "verim" prensibine göre hesaplayabiliriz:

$$e = \frac{W}{Q_h} = \frac{Q_h - Q_c}{Q_h} = 1 - \frac{Q_c}{Q_h} \quad (1)$$

$e = \frac{W}{Q_h} = \frac{Q_h - Q_c}{Q_h} = 1 - \frac{Q_c}{Q_h}$  Bir Carnot Çevrimi için, aşağıda da göreceğimiz gibi,  $Q_h$ ,  $Q_c$ ,  $T_h$  ve  $T_c$  arasında

$$\frac{Q_c}{Q_h} = \frac{T_c}{T_h} \quad (2)$$

bağıntısı geçerli olduğundan, (1)'den, Carnot Makinası'nın Termal Verimlilik ifadesi ( $e_c$ ) şu şekli alır:

$$e_c = e = \frac{W}{Q_h} = \frac{Q_h - Q_c}{Q_h} = 1 - \frac{Q_c}{Q_h} = 1 - \frac{T_c}{T_h}$$

veya, kısaca:

$$e_c = 1 - \frac{Q_c}{Q_h} = 1 - \frac{T_c}{T_h}$$

**$e_c$   
Carnot Makinası'nın  
Termal Verimi**

Bu verim hesabında gerçek Makinalarda kaçınılmaz olan mekanik kayıplar göz önüne alınmamıştır. Çünkü Carnot Makinası, fizikî bir varlığı olan, diğer bir ifadeyle gerçekleştirilmesi, mümkün olmayan hayâlî (kurgusal, fiktif) bir Makinadır. Ancak, bu hayâlî bir Makinada dahi teorik verim asla "1" (%100)

olamaz.  $T_c < T_h$ ,  $Q_c < Q_h$  olduğu için  $e_c < 1$  olur. Verimin %100, yani  $e_c = 1$  olması için,  $T_c = T_h$ ,  $Q_c = Q_h$  veya  $T_c = 0K$  olması gerekir. Hâlbuki bu imkânsızdır; zîrâ,  $T_c = T_h$ ,  $Q_c = Q_h$  olması durumunda her iki deponun sıcaklık ve ısı değerleri eşit olacağından böyle bir sistem bir termal Makina teşkil etmez.  $T_c = 0K$  olması ise Evren'in temel prensiplerine aykırıdır. Bu sebeple, en yüksek verimli Makina olan Carnot Makinası'nda dahi, verim hiçbir zaman %100 olamaz. Esâsen, verimin %100 olması, Entropi yüzünden de imkânsızdır.

Yâni sonuçta şu şekilde genel ve kapsayıcı bir hükme ulaşılmış olmaktadır:

***Hiçbir zaman, iki sıcaklık deposu arasında çalışan ve bu iki depo arasında akan ısının tamamını üzerine alan ve onu da tam olarak Faydalı İş'e dönüştüren bir Makina ne düşünülebilir ve ne de yapılabilir.***

### Carnot Makinasının Verimi<sup>5</sup>

1. A→B izotermal genişmesi süresince sıcaklık değişmez [ $\Delta T = 0$ ], bu yüzden iç enerji sabit kalır; bu sebeple  $\Delta U = 0$  olur.

Bu sırada gaz tarafından yapılan iş (Bkz: Bir gazın izotermal Genleşmesinde Yapılan İş)

$$Q_h = W = W_{AB} = nRT_h \ln \frac{V_{son}}{V_{ilk}} = nRT_h \ln \frac{V_B}{V_A}$$

2. C→D izotermal sıkışmasında da aynı sebepten dolayı , [ $\Delta T = 0$ ,  $\Delta U = 0$  olduğundan]

$$Q_c = |W_{CD}| = nRT_c \ln \frac{V_C}{V_D} \quad \text{olur.}$$

Bu iki denklemden  $Q_c$  ve  $Q_h$ 'in bölünmesiyle,

$$\frac{Q_c}{Q_h} = \frac{T_c}{T_h} \cdot \left[ \frac{\ln \frac{V_C}{V_D}}{\ln \frac{V_B}{V_A}} \right] \quad \text{[I]}$$

elde edilir. Şimdi, bir adiabatik işlemde Basınç ile Hacim arasında geçerli olan  $PV^\gamma = \text{sabit}$  bağıntısını  $PV^\gamma = PVV^{\gamma-1}$  şeklinde yazabiliriz ki buradan da  $PV = nRT$  yazarak, .

<sup>5</sup> Raymond A. Serway., *Fizik*, C: I, s.595



$$TV^{\gamma-1} = \text{sabit}$$

elde edebiliriz. Gazın mol hacmi (n) ve R sabit olduğundan, buradan da,

$$TV^{\gamma-1} = \text{sabit}$$

elde edilir.<sup>6</sup>

Bu sonucu, B → C Adiyabatik Genleşme ve D → A Adiyabatik Sıkışma için tatbik edelim:

$$B \rightarrow C \text{ Adiyabatik Genleşme için} \quad T_h V_B^{\gamma-1} = T_C V_C^{\gamma-1} \quad 1$$

$$D \rightarrow A \text{ Adiyabatik Sıkışma için} \quad T_h V_A^{\gamma-1} = T_C V_D^{\gamma-1} \quad 2$$

(1)Denklemini (2) denklemine bölersek:

$$\left(\frac{V_B}{V_A}\right)^{\gamma-1} = \left(\frac{V_C}{V_D}\right)^{\gamma-1}$$

$$\frac{V_B}{V_A} = \frac{V_C}{V_D}$$

elde edilir ki buradan da

$$\ln\left(\frac{V_A}{V_B}\right) = \ln\left(\frac{V_C}{V_D}\right)$$

ve

$$\frac{\ln\left(\frac{V_C}{V_D}\right)}{\ln\left(\frac{V_B}{V_A}\right)} = 1$$

olacağı görülür. Bu sonucu [1] denkleminde ikame ettiğimizde,

---

<sup>6</sup> Hâtırlatma:  $C_p$ : Sabit Basınçta Molar Isı Kapasitesi,  $C_v$ : Sabit Hacime Molar Isı Kapasitesi olmak üzere,  $\gamma = \frac{C_p}{C_v}$  şeklinde tanımlanır.

$$\frac{Q_c}{Q_h} = \frac{T_c}{T_h} \cdot \left[ \frac{\ln \frac{V_C}{V_D}}{\ln \frac{V_B}{V_A}} \right] = \frac{T_c}{T_h}$$

Yâni netîce îtibâriyle,

$$\frac{Q_c}{Q_h} = \frac{T_c}{T_h}$$

veya,

$$Q_c \cdot T_h = Q_h \cdot T_c$$

Bulunur ki bu sûretle de **Carnot Makinası'nın Termal Verimi**,

$$e = 1 - \frac{Q_c}{Q_h} = 1 - \frac{T_c}{T_h} = \frac{T_h - T_c}{T_h} < 1$$

olarak elde edilir.

Carnot Makinası'nın termal verimine âit bu ifâde şu kapsayıcı sonuçları hâsıl etmektedir:

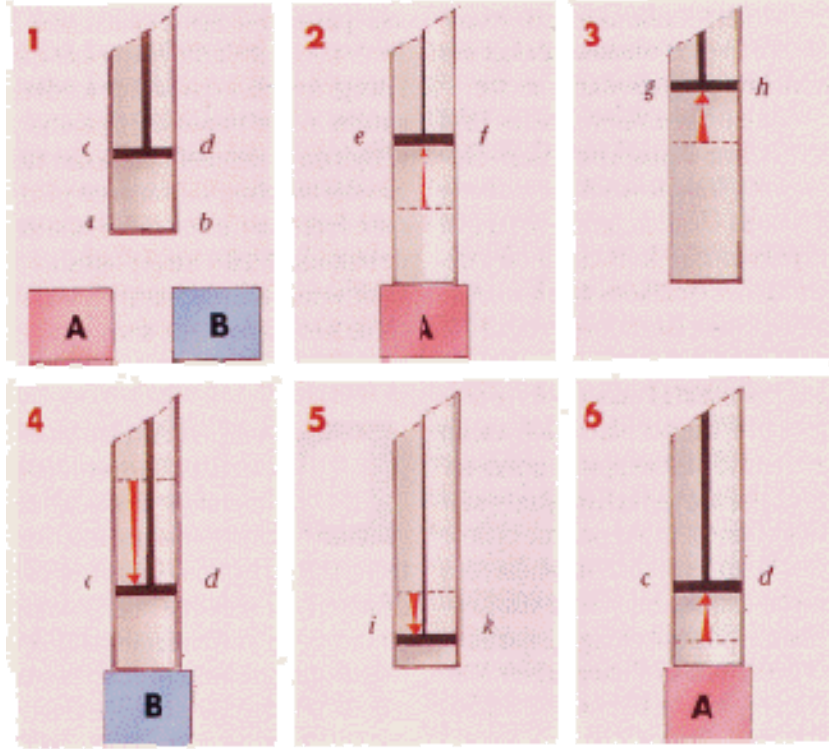
**1. Bütün termal makinaların verimleri, daha evvelce de başlangıçta söylenmiş olduğu üzere, kullanılan maddelerin kalori değerine, makinanın mühendislik dizayn ve konstrüksiyonuna, veya başka herhangi bir fizikî veya kimyevî özelliğine değil, sâdece ve yalnız, makinanın çalıştığı iki ısı seviyesi arasındaki farka tâbî'dir.**

**2. Gerek teorik makina ve gerekse de gerçek makina olmak üzere, hiçbir makinanın verimi, yüzdeyüz (e=1) olamaz. Zîra, bunun için,  $T_c/T_h$  ifâdesinin sıfır olması**

$$\frac{T_c}{T_h} = 0$$

**gerekir ki bunun sağlanabilmesi için de ya  $T_h$  sonsuz olmalıdır, ya  $T_c$  sıfır olmalıdır. Hâlbuki bunların her ikisi de fizikî olarak imkânsızdır.**

3. Her termal işlem bir “termal makina” demek olduğundan, verimin yüzdeyüzden küçük olması, günün birinde, bütün termal işlemlerin ve ebn nihâyetinde topyekûn Kâinat’ın, “sıfır noktası”na kadar gelip orada durarak Ölü Enerji hâline gelmesi kaçınılmazdır.



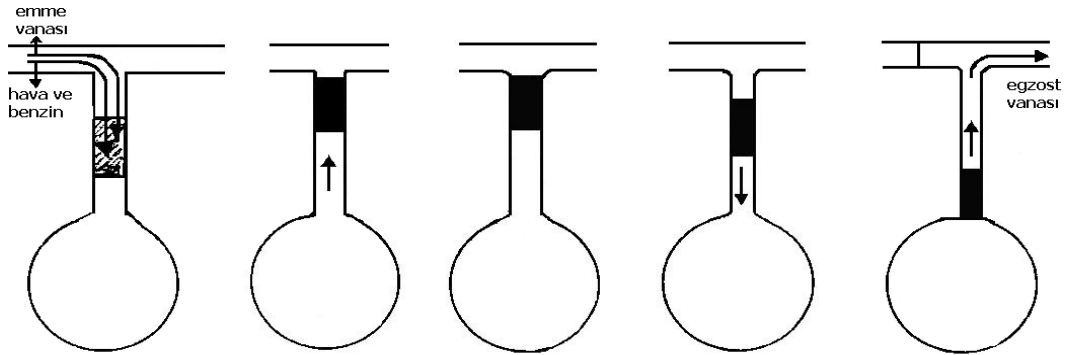
Carnot Makinası'nın çalışmasına âit temsilî bir şema

## Benzin Motoru (Otto Çevrimi)<sup>7</sup>



Nikolaus August Otto  
(1832-1891)

Bir benzin motoru çevriminde ardışık beş işlem vardır. Bu işlemlere “zaman” tâbir edilir: 1: Emme Zamanı; 2: Sıkıştırma Zamanı; 3: Ateşleme (Yanma) Zamanı; 4: Güç Verme Zamanı; 5: Boşalma (Ekzost) Zamanı



I	II	III	IV	V
Emme $O \rightarrow A$	Sıkıştırma $A \rightarrow B$	Ateşleme $B \rightarrow C$	Güç Verme $C \rightarrow D$	Boşalma $D \rightarrow A$
Sabit Basınçta Genleşme	Adiyabatik Sıkışma	Sabit Hacimde Sıkışma	Adiyabatik Genleşme	Sabit Hacimde Gevşeme
Gaz üzerine yapılan iş: $W_{AB}$	Gazın yaptığı iş: $W_{BC}$	Gaz üzerine yapılan iş: $W_{CD}$	Gaz üzerine yapılan iş: $W_{DA}$	Gaz üzerine yapılan iş: $W_{DA}$

<sup>7</sup> Raymond A. Serway., *Fizik*, C: I., Çevri Editörü: Kemâl Çolakoğlu., Palme Yayıncılık, Ankara, 1995., s.596

**1: Emme Zamanı: O → A**

Emme Vanası açılarak Hava + Benzin karışımı emilir; hacim  $V_2$ 'den  $V_1$ 'e yükselir.

Yapılan İş: OA doğrusunun altında kalan alan.  $W_{OA} = P_A.(V_1-V_2)$

**2: Sıkıştırma Zamanı: A → B**

Emilen Hava + Benzin karışımı adiabatik olarak sıkıştırılır; hacim  $V_1$ 'den  $V_2$ 'e, sıcaklık  $T_A$ 'dan  $T_B$ 'ye yükselir.

Yapılan İş: AB eğrisinin altında kalan alan

**3: Ateşleme (Yanma) Zamanı: B → C**

Sıkıştırılmış bulunan Hava + Benzin karışımı bujiler vâsıtasıyla ateşlenir. Piston içerisinde bulunan gaz ateşlemeden dolayı ısınır, yâni gaza, yanmadan mütevellit  $Q_h$  ısı verilmış olur. Basınç  $P_B$ 'den  $P_C$ 'ye, sıcaklık  $T_B$ 'den  $T_C$ 'ye yükselir; yalnız, dikkat edilmesi gereken husus, basınç ve sıcaklıkta meydana gelen bu artışların çok kısa bir sürede, yâni ânîden oluşudur. Aşağıdaki P-V diyagramına dikkat edildiğinde, Ateşleme Zamanı'nda yapılan işin sıfır olduğu görülecektir. [ $W_{BC}=0$ ]

**4: Güç Verme Zamanı: C → D** Ateşlenen Hava + Benzin karışımının basınç ve sıcaklığı kısa sürede büyümüştür, işte bu vaziyette iken piston yukarı doğru itilir ve böylece bir mekanik enerji elde edilmeye başlanır. Pistonun yukarıya doğru itilmesi hacmin genişlemesine, basıncın ve sıcaklığın düşmesine yol açar. Piston'un yukarıya doğru itilmeye başladığı nokta olan C'de hacim minimum, basınç ve sıcaklık maksimum değerde iken pistonun itilmesinin durduğu nokta olan D'de hacim maksimum olur; çünkü piston itilebileceği kadar itilmiş, bütün hacmi kullanılmıştır. Fakat sıcaklık ve basınç henüz minimuma inmiş değildir, her ikisinin de inebileceği en alt değere Güç Verme'den Boşalma'ya geçilmesi gerekir. inebilmesi için biraz basıncın ekzost kapaklarının açılıp gazın dışarıya atılması gerekecektir.

Yapılan İş: CD eğrisinin altında kalan alan

**5: Güç Verme-Boşalma Zamanı: D → A** Bu zamanda, Makina hâlâ güç vermeye, yâsni faydalı mekanik iş üretmeye devam eder; ancak, A noktasına varıldığında gerek sıcaklık ve gerekse de basınç en alt değere indiği için güç verme işlemi de sona erer. Artık sıra, gazın dışarıya atılmasına gelmiştir.

P-V diyagramına dikkat edildiğinde, Ateşleme Zamanı'nda olduğu gibi Güç Verme-Boşalma Zamanı'nda yapılan işin sıfır olduğu görülecektir. [ $W_{DA}=0$ ]

**6: Boşalma (Ekzost) Zamanı: A → O** Ekzost Vanası açılır; yanmış ve enerjisini vermiş olan gaz (Hava + Benzin karışımı) dışarı atılır.

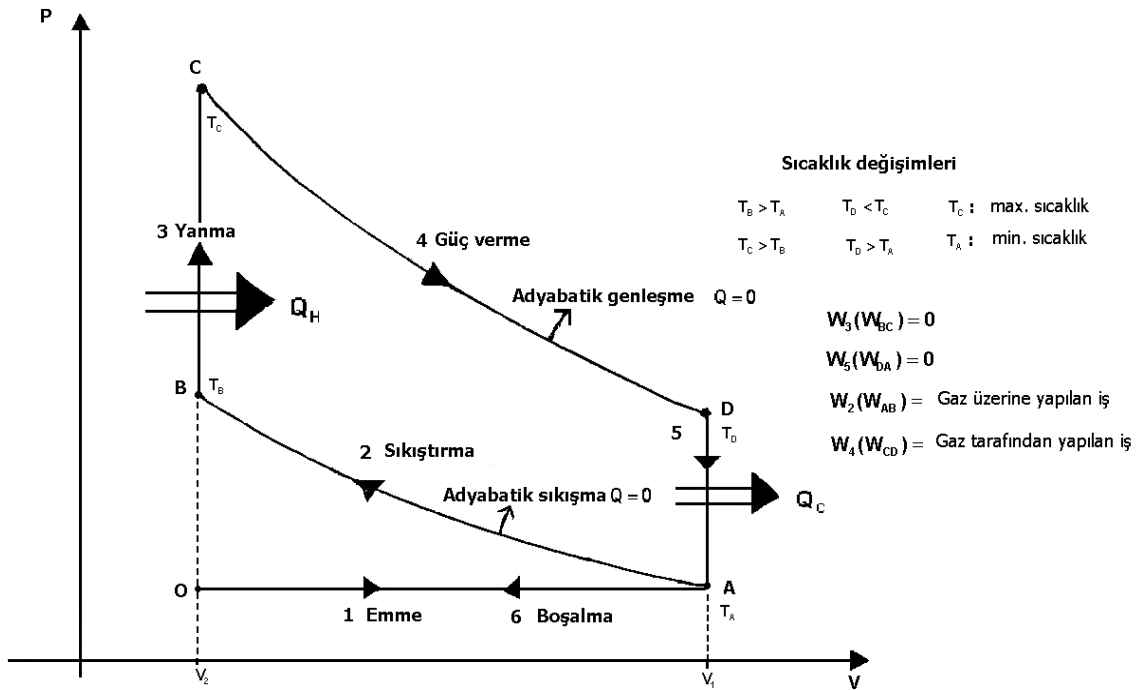
### Sıcaklık Değişimleri:

Otto Makinası, Carnot Makinası gibi yüksek bir  $T_h$  sıcaklığı ile ve alçak bir  $T_c$  sıcaklığındaki iki ısı kaynağı arasında çalışan ve bir makina değildir; bu Makinada dört ayrı sıcaklık noktası bulunmaktadır ve bu noktaların sıcaklık hiyerarşileri de şöyledir:

$$T_B > T_A, T_C > T_B, T_D < T_C, T_D > T_A$$

$T_A$ : En Düşük (Min.) Sıcaklık,  $T_C$ : En Yüksek (Max.) Sıcaklık

### P-V diyagramı:



Hava + Benzin karışımı bir ideal gaz kabul edilirse, Otto Çevriminin Verimi,

$$e = 1 - \frac{1}{\left(\frac{V_1}{V_2}\right)^{\gamma-1}} \quad [1]$$

veya

$$e = 1 - \left( \frac{V_2}{V_1} \right)^{\gamma-1} \quad [2]$$

olarak elde edilir. Burada, gazın ilk hacminin son hacmine oranını veren  $V_1/V_2$  bölümüne **Sıkıştırma Oranı** denir.

$$\frac{V_1}{V_2} : \text{Sıkıştırma Oranı}$$

Bu bağıntılar dikkate alındığında:

1:  $V_1 > V_2$  olduğundan,

$$\frac{V_1}{V_2} > 1 \Rightarrow \left( \frac{V_2}{V_1} \right)^{\gamma-1} > 1 \Rightarrow \frac{1}{\left( \frac{V_1}{V_2} \right)^{\gamma-1}} < 1$$

ve sonuç olarak,  $e < 1$  olacağı görülür.

2: [1]'den,  $V_1/V_2$  şeklinde belirlenen Sıkıştırma Oranı ne kadar büyürse, diğer deyişle  $V_2/V_1$  ne kadar küçülürse, Verim'in o kadar büyük olacağı anlaşılır. Şu hâle göre, piston içerisindeki karışım ne kadar fazla sıkıştırılırsa Otto Makinası'nın verimi de o kadar büyüyecektir.

### **Otto Çevrimi'nin Verim Hesabı<sup>8</sup>**

Hava + Benzin karışımı bir ideal gaz kabûl edildiği takdirde, her bir çevrimde bu ideal gaz tarafından yapılan işleri şu şekilde icmâl edebiliriz:

Ateşleme'de yapılan İş:  $W_{BC}=0$ ,

Güç Verme-Boşalma'da yapılan İş:  $W_{DA}=0$

Adiyabatik Sıkışma'da Gaz tarafından yapılan İş:  $W_{CD}$

Adiyabatik Genleşme'de Gaz tarafından yapılan İş:  $W_{CD}$

Bir tam kapalı çevrimde İç Enerjideki Değişme sıfırdır:  $\Delta U = 0$

I. Kanun'a göre, sisteme giren ve çıkan ısıların farkı olan Net Isı ( $\Delta Q = Q_h - Q_c$ ), İç Enerjideki Değişme ile elde edilen Net İş'in toplamına eşit olduğundan,

<sup>8</sup> Bkz.: Raymond A. Serway., *Fizik*, C: I., Örnek: 22.5

$$\Delta Q = \Delta U + W = W \quad [1]$$

yazabiliriz. Burada  $\Delta U = 0$  olduğundan,

$$W = \Delta Q = Q_H - Q_C \quad [2]$$

olur.

**1:** Şimdi **B → C** ve **D → A** süreçlerini göz önüne alalım. Bunların her ikisinde de, V sabit olduğundan, İdeal Gaz için geçerli olan

$$Q_h = nC_v\Delta T = C_v(T_C - T_B) \text{ ve } Q_c = nC_v\Delta T = C_v(T_D - T_A) \quad [3]$$

bağıntılarını kullanabiliriz. Verim için geçerli olan  $e = 1 - \frac{Q_c}{Q_h}$  bağıntısında yukarıdaki ifâdeleri ikame ettiğimizde,

$$e = 1 - \frac{Q_c}{Q_h} = 1 - \frac{T_D - T_A}{T_C - T_B} \quad [4]$$

elde ederiz.

**2:** **A → B** ve **C → D** süreçleri adiabatiktir; dolayısıyla da  $TV^{\gamma-1} = \text{sabit}$  olur.  $V_A = V_D = V_1$ ,  $V_B = V_C = V_2$  olduğundan,

$$\frac{T_D - T_A}{T_C - T_B} = \left(\frac{V_2}{V_1}\right)^{\gamma-1} = \frac{T_D}{T_C} = \frac{T_A}{T_B} \quad [5]$$

olur.<sup>9</sup>

---

<sup>9</sup> İsbat:

$$T_A V_1^{\gamma-1} = T_B V_2^{\gamma-1} \Rightarrow \frac{T_A}{T_B} = \left(\frac{V_2}{V_1}\right)^{\gamma-1} \text{ ve } T_C V_2^{\gamma-1} = T_D V_1^{\gamma-1} \Rightarrow \frac{T_D}{T_C} = \left(\frac{V_2}{V_1}\right)^{\gamma-1}$$

denklemlerinden, elde edilen  $T_A/T_B$  ve  $T_D/T_C$  oranlarını taraf tarafa böldüğümüz takdirde,



**3: Verim:** [5] numaralı bağıntıda  $\frac{T_D - T_A}{T_C - T_B}$  için bulunan değeri [4]'de yerleştirirsek,

$$e = 1 - \frac{Q_C}{Q_H} = 1 - \frac{T_D - T_A}{T_C - T_B} = 1 - \frac{T_A}{T_B} = 1 - \frac{T_D}{T_C}$$

∴

$$e = 1 - \left(\frac{V_2}{V_1}\right)^{\gamma-1} = 1 - \frac{1}{\left(\frac{V_1}{V_2}\right)^{\gamma-1}} \quad [6]$$

elde ederiz.

Şimdi, düşük sıcaklık deposunun sıcaklığı  $T_c = T_A$  ve yüksek sıcaklık deposunun sıcaklığı da  $T_h = T_C$  olan bir Carnot Makinası tasarlanacak olursa, bu makinanın verimi:

$$e_{Carnot} = 1 - \frac{T_c}{T_h} = 1 - \frac{T_A}{T_C} \quad [7]$$

olacaktır. Bu vaziyete göre, Carnot ve Otto verimleri arasında bir mukayese yapacak olursak; yukarıdaki P-V grafiğinden, en yüksek sıcaklık derecesinin C'deki sıcaklık olan  $T_C$  olduğunu göz önüne alarak,  $T_B < T_C$  olduğundan,  $[(T_A/T_B) = T_D/T_C]$  olduğuna da dikkat ederek

$$\frac{T_D}{T_C} = \frac{T_A}{T_B} = \left(\frac{V_2}{V_1}\right)^{\gamma-1}$$

elde ederiz ve buradan da,

$$\frac{x}{y} = \frac{z}{k} = A \text{ ise } \frac{x-z}{y-k} = A, \text{ yâni, } \frac{x}{y} = \frac{z}{k} = \frac{x-z}{y-k} = A$$

olacağını göz önünde tutarak,

$$\frac{T_D}{T_C} = \frac{T_A}{T_B} = \frac{T_D - T_A}{T_C - T_B} = \left(\frac{V_2}{V_1}\right)^{\gamma-1}$$

elde ederiz.

$$1 - \frac{T_A}{T_B} \left[ 1 - \frac{T_D}{T_C} \right] < \frac{T_A}{T_C} \quad [8]$$

olacağı ve, buradan da, sonuç olarak,

$$\left\{ e_{Otto} = 1 - \frac{T_A}{T_B} \left[ 1 - \frac{T_D}{T_C} \right] \right\} < \left\{ e_{Carnot} = 1 - \frac{T_A}{T_C} \right\} \quad [9]$$

olacağı görülür.

\*

\*\*

Yâni, netîce olarak şu noktaya gelmiş olduğumuzu söyleyebiliriz:

***Verimi Carnot Makinası'nın veriminden daha yüksek olan bir termal Makina yapılması, zihnen dahi mümkün değildir.***

## II. BÖLÜM

# ENTROPI

### Klasik Fizik ve Entropi

Bütün fiziksel olguları, Newton tarafından temellendirilen Klasik Mekanik, veya yaygın olarak bilinen adıyla Newtonyen Mekanik prensipleri ile açıklamaya çalışan ve Mekanistik Felsefe üzerine binâ edilen Mekanistik Fizik'in uygulama alanlarının en başarılılarından birisi de termal işlemler olup Klasik Termodinamik de bu temel üzerine kurulmuştur. Bu cümleden olmak üzere, Mekanistik Fizik'in en fazla gelişme gösterdiği 19ncu asırda, Termodinamik'in ilk mîmarları olan Sadi Carnot, Rudolph Clausius, Benoit Claperyon, James Clerk Maxwell ve William Thomson (Lord Kelvin) bu konuda çok büyük katkılarda bulunmuşlardır. Fakat ilk defa olarak Clausius, *On Different Forms of the Fundamental Equations of the Mechanical Theory of Heat (Isının Mekanik Aslı Denklemlerinin Farklı Formları Üzerine, 1865)* ve *The Mechanical Theory of Heat (Isının Mekanik Teorisi, 1867)* isimli eserleri ile münhasıran Entropi kavramını ilerleten isim olmuştur.

Entropi'nin ilk tanımı 1865 yılında Clausius tarafından aşağıdaki şekilde yapılmış olup bu tanıma **Entropi'nin Clausius Formu** denir:

$$\Delta S = \frac{\Delta Q}{T}$$

[1]  
**Entropi'nin  
Clausius Formu**

Burada S Entropi'yi, Q Sistem'in Isı Muhteviyâtı'nı (Heat Content) ve T de Sistem'in Sıcaklığı'nı temsil etmektedir. Bu dönemde Gaz'ın çok küçük moleküllerden meydana geldiği ve Sıcaklık'ın da bu moleküllerin ortalama kinetik enerjileri olduğu henüz bilinmiyordu ve Carnot ve Clausius, "Termal Akışkanlar Teorisi"ne uygun olarak Isı'yı bir sistemden diğerine akan bir "akışkan" olarak kabul etmekteydiler; bir istisnâ olarak sâdece Thomson, Mekanik İşin Isı'ya dönüştürülebilmesi ile bağdaştırılamaması yüzünden bu fikri kabul edilemez olarak telakkî etmiş görünmektedir.

Daha sonra, yine 19ncu yüzyılda Maxwell, Thomson ve Boltzmann'ın çalışmaları ile Moleküler Teori'nin baskın hâle gelmesi sonucunda Entropi kavramı geliştirilmiş olup, bu sebeple Q, "Sistem'in Isı Muhteviyâtı" (Heat Content) olarak değil, "Sistemin İç (Isı) Enerjisi" olarak adlandırılması tercih edilmektedir.



Ludwig Boltzmann'ın (1844-1906) mezar taşı üzerindeki büstü ve taş üzerinde kazılı meşhur denklemi:  $S = k \ln W$

Entropi'nin Clausius Formu'na sâdik kalarak, Entropi'den Entropi Değişimi'ne şöyle geçilmektedir: *Termodinamik denge* hâlindeki bir sistemin belirli bir T sıcaklığında Q değerinde  $\Delta Q$  gibi bir değişme olduğu takdirde S entropisinde de  $\Delta S$  gibi bir değişme olacak ve bu sûretle, sistemdeki **Entropi Değişimi** de şu şekilde ifâde edilecektir:

$$S = k \ln(1) = 0T \rightarrow 0 = \frac{\Delta Q}{T} \quad [2]$$

Entropi'nin birimi Cal/K, Joule/K'dir.

**Spesifik (Özgül) Entropi:** Bir sistemin birim kütesinin entropisine o sistemin özgül entropisi denir. Birimi, Cal/g.K ve/ya Joule/kg.K'dir.

Yukarıdaki son bağıntıdan hareket ederek,  $\Delta S$ 'in ânî değeri de aşağıdaki hâle getirilebilir:

$$s = \int \frac{dQ}{T} \quad [3]$$

Entropi Değişimi matematiksel olarak şöyle tanımlanır: Bir sistem sâbit bir T sıcaklığında bir hâlden diğer bir hâle geçerken bir dQ ısıyı alırsa, dQ/T oranı bir S fonksiyonunun tam diferansiyeli olur. Buna **Entropi Değişimi** denir. Burada dQ/T'ye "**İndirgenmiş Isı**" tâbir edilir; birimi (Cal/K) veya (Joule/K)'dir. dQ = mcdT alındığı takdirde yukarıdaki ifâde aşağıdaki şekli alır:

$$s = \int \frac{mcdT}{T} \quad [4]$$

Söz konusu bu termal işlem bir "yarı kararlı" işlem olmalıdır. İlk hâl ve ikinci hâl denge halleridir; işlem "tersinir"(reversible)dir. Bu sebeple dQ sembolü, dQ<sub>r</sub> şeklinde de temsil edilebilir.

Entropi'nin değeri sâdece sistemin hâline tâbî olup, geçmişinden bağımsızdır. Buna göre, bir “tersinir yol” için,  $ds = \int \frac{dQ}{T}$  bağıntısından,

$$\Delta S = S_2 - S_1 = \int_{ilk}^{son} dS = \int_{ilk}^{son} \frac{dQ_r}{T} \quad [5] \quad [\text{Tersinir Yol}]$$

yazabiliriz. Sistem'e ısı girerse  $dQ > 0$ , yâni Entropi Değişimi pozitif olur ki bunun anlamı Entropi'nin artmasıdır; aksi hâlde, yâni Sistem'den ısı çıkması durumunda,  $dQ < 0$ , yâni Entropi Değişimi negatif olur, bunun anlamı da Entropi'nin azalmasıdır.

$dQ$ ,  $dQ = mc dT$  şeklinde değişiyor ve  $T$  de sâbit değil ise, Entropi Değişimi'nin alacağı ifade şöyledir:

$$\Delta S = S_2 - S_1 = \int_{T_{ilk}}^{T_{son}} \frac{dQ_r}{T} = \int_{T_{ilk}}^{T_{son}} mc \frac{dT}{T} = mc \ln \left[ \frac{T_{son}}{T_{ilk}} \right] \quad [6]$$

• **İsentropik (Sâbit Entropili) İşlem**,  $\Delta S = 0$  olan işlemdir. Bunun içinde  $dQ = 0$  olmalıdır ki bu da Adiyabatik İşlem'e tekabül eder. Yâni, İsentropik (Sâbit Entropili) İşlem, bir adiyabatik işlemdir.

• İzole edilmiş sistemler düzensizliğe doğru meylederler; yâni düzensizlikleri artar, o sebeple entropileri de artar.

Entropi değişimi, bir sistemin sâdece ilk ve son denge durumlarına bağlıdır; bu özellik

$$\Delta s = S_2 - S_1 = \int_{ilk}^{son} \frac{dQ_r}{T}$$

denkleminde de açıkça görülmektedir.

## Entropi'nin Temel Nitelikleri

### 1: Entropinin Artması (Korunumsuzluğu) Prensibi

Bütün doğal (tabîî, natural) süreçlerde Entropi artar; çünkü “doğal süreç” demek, bundan önce de görmüş olduğumuz gibi, yüksek sıcaklıktaki bir ısı deposundan alçak sıcaklıktaki bir ısı deposuna Isı Akışı ile vuku bulan süreç demektir; bunun tersi, doğal olmayan, yâni ancak Sistem'e dışarıdan yapılacak bir

müdâhele ile gerçekleştirilebilecek bir işlem olmaktadır ki bu da enerjinin israf edilmesi demektir. Hâlbuki, Evren’de ilk defa Antoine Laurent de Lavoisier tarafından 1789’da, *Traité Élémentaire de Chimie* isimli eserinde, ortaya atılan “Maddenin Korunumu” ve ilk defa 1847’de Hermann Helmholtz tarafından ortaya atılan “Enerjinin Korunumu” gibi ihlâl edilmesi mümkün olmayan en katı prensiplerden birisi de, “Enerjinin İsfraf Edilmemesi” (boşa harcanmaması), diğer adıyla “Adem-i İsfraf Prensibi” olup, Descartes tarafından *Felsefenin Prensipleri (Principiae Philosophia)* isimli eserinin IV. bölümünde ifâde edildiği şekliyle şöyledir: **“Tabiat, hedeflerine varmak için dâimâ en kısa yolu kullanır”**.

Bunun içindir ki, Entropi, Madde ve Enerji gibi korunumlu değildir; burada, yukarıda Entropinin Korunumsuzluğu’nun, tabiatta ihlâl edilmesi mümkün olmayan prensipler olan “Maddenin Korunumu” ve “Enerjinin Korunumu” kanunlarından farklı oluşuna dikkat edilmelidir: Bunların her üçünün de ihlâl edilemezliğinden hareket ederek, Madde ve Enerji’nin korunumluluğunun Entropi için de geçerli olması gerektiği gibi bir sonuca gidilmemelidir.

## 2: Entropi ve “Düzensizlik”

Entropi, **“Düzensizlik”**in bir ölçüsüdür. Ancak, Entropi’nin matematiksel olarak tanımlanmasındaki kolaylığa karşılık, kavramsal düzeyde tam olarak anlaşılmasını en fazla zorlaştıran da budur. Çünkü, “düzensizlik” (disorder) kavramı, ekseriyetle farklı kontekstteki içerikleriyle karıştırılmaktadır. Felsefede ve Eğitim felsefesinde “Yanlış Kavramlandırma” (Misconception) olarak adlandırılan bu yanlışlıkları kısaca şöyle özetleyebiliriz:

**2.1: Entropik Düzensizlik ve Görsel Düzensizlik:** Entropik Düzensizlik, bâzan **“görsel düzensizlik”** olarak anlaşılmaktadır: Bir odanın dağınıklığı gibi. Şüphesiz, bu durum, fizik-bilimsel düzensizlikten radikal bir kopukluk içinde olmayıp, onunla içten bir bağlantıya sâhiptir. Meselâ; bir oda kendi başına bırakıldığı takdirde *“doğal süreç” gereği* dağınık olur; bu **“entropik düzensizlik”**tir ve burada *entropi artışı* vardır; ancak, aynı oda bir dış etken (meselâ bir insan, hattâ bir hayvan) tarafından dağınık hâle getirilebilir ki, bu ise doğal olmayan, bir canlının, yâni dış etkilere karşı maddî/mekanik değil, kognitif (bilinçli) veya instinktif (içgüdüsel) eylemlerinin sonucu olarak meydana gelen ve dışarıdan bir enerji sarfedilmek sûretiyle bir müdâhele ile sağlanmış ve entropik olmayan bir dağınıklığıdır; bu durumda odada entropi artmaz, azalır, daha da doğrusu *azaltılmış* olur.

**2.2: Entropik Düzensizlik ve Kaos:** Entropik Düzensizlik bâzan da *“karmaşa, kargaşa, belirsizlik”* anlamındaki **Kaos** ile karıştırılmaktadır. Aslında bu kelimenin ilk olarak ortaya çıkışı bu şekildedir; Grekçe olan bu kelimenin orijinal anlamı “derin, karanlık, ürpertici uçurum” (İng: Chasm), “cehennem, cehennem çukuru” (Türkçe: Tamu, İng.: Abyss; cehennem kelimesi de Arapça olup sözlük anlamı “korkutucu çukur”dur) olup, eş-anamlısı “anarşi”dir [an-arche: düzensizlik, düzen yokluğu]; daha sonra eski Grek filozofları tarafından, Kâinat’ın ilk olarak yaratılmasından önceki “bilinemez kargaşa hâli; bu hâldeki

ilksel (primordiyal) madde” anlamında kullanılmıştır ve bu hâliyle Kaos (Chaos), orijin olarak “düzenli” demek olan ve bir terim olarak da Kâinat anlamına gelen Kozmos’un zıddıdır ve çok yakın zamana kadar da bu hâliyle kullanılmıştır. Meselâ Immanuel Kant, ilk olarak Kâinat’ın ve galaksi sistemlerinin yaratılışı ile ilgili olarak ortaya attığı ve bugün de bu konudaki teorilerin ilki ve referansı kabul edilen “**Evrensel Doğa Tarihi Ve Gökler Kuramı**” isimli eserinde de<sup>10</sup> Kâinat’ın Kaos’tan Kozmos’a dönüştüğünü, teorisinin temeline koymuştur. Kaos kelimesi bugün de, fizik bilimi dışında, genellikle yine Grekçe’deki ilk anlamına yakın şekilde kullanılmaktadır ve bu anlam, Entropik Düzensizlik ile ilgisi olan bir kavram değildir.

### 3: Fiziksel Anlamda Entropik Düzensizlik ve Kaos

#### 3.1: Fiziksel Anlamda Entropik Düzensizlik:

Fiziksel anlamdaki düzensizlik, yâni Entropik Düzensizlik, kısaca, birbirini bütünleyen şu iki şekilde tanımlanabilir:

**a: Belirli bir sistemin toplam enerjisinin mevcut tanecikler arasındaki dağılımı;**

**b: Bir termal işlemde, bir sisteme giren enerjinin tamâmının faydalı mekanik işe dönüştürülememesi sonucunda, sistemin geriye dönerek elde edilen bu faydalı mekanik iş ile kendisini yenileyememesi ve dolayısıyla, sistemin kendiliğinden eski hâline geri dönememesi.**

Sistemin bu şekilde kendiliğinden geriye dönememesi, geriye dönebilmek için başka bir yerden, yâni sistem dışından bir müdâhelenin kaçınılmaz olması, kendi hâline bırakılan ve dışarıdan müdâhele edilmeyen sistemin her enerji-iş dönüşümünde bir önceki hâle göre daha fazla kendisini toparlayamaz olması demektir ki, “düzensizlik” ile kastedilen budur. Açıkça anlaşılabilceği gibi, süreç ilerledikçe işbu düzensizlik (disorder), sürecin biteceği bir finali de ortaya ıkaracaktır. İşte, **Termal Ölüm** ve **Ölü (Âtl) Enerji** kavramları da bunu anlatmaktadır. Sürecin bu işleyişi, aynı zamanda **Kaos** ve **Zaman Oku** kavramlarıyla da yakından ilintilidir.

Zaman Oku, bütün fiziksel süreçlerin geriye döndürülemezliğini ifâde eden bir kavram olup, ilk defa, fizikçi ve bilim felsefecisi Arhur Eddington tarafından 1928’de yayınlanan “Fizikî Dünyanın Tabiatı” isimli eserinde kullanılmıştır ve üç kısımdan mürekkep bir “felsefî prensip” üzerine binâ edilmiştir:<sup>11</sup>

<sup>10</sup> Immanuel Kant., *Evrensel Doğa Tarihi Ve Gökler Kuramı.*, Çev: Seçkin Cılızoğlu., Havass Yayınları., İstanbul, Mart 1982 [Sunuş Yazısı: Milton K. Munitz., Eserin Almanca Orijinal Adı: *Allgemeine Naturgeschichte und Theorie des Himmels, oder von der Verwassung und dem mechanischen Ursprunge des Ganzen Weltgebäudes nach Newtonischen Grunsätzen abgehandelt* (Evrensel Tabiat Tarihi ve Gökler Teorisi: Tüm Evrenin Oluşumu ve Mekanik Kökeni Konusunda Newton İlkeleri Uyarınca Bir Deneme)], Türkçe Çevirinin Esas Alındığı İngilizce Metin: *Universal Natural History and Theory of the Heavens.*, The University of Michigan Press., 1969

<sup>11</sup> Bu üç prensibin orijinal ifâdesi şu şekildedir:

**1. Bu kavram, berrak bir şekilde, açık bir bilinç tarafından kavranır.**

**2. Aklın kavrama gücü üzerinde, aksinin vârid olduğunu - yâni zamanın geriye döndürülebilmesini - mümkün farzetmek ‘dış dünya’nın (Fizikî Varlığın, Kâinat’ın) abes olduğu sonucuna götürür.**

**3. Bir bireyler grubunun organizasyonu hâricinde, fizik biliminde kendisini isbât-ı vücut etmez.**

Eddington’ın bu felsefî prensiplerinin açık anlatımı şudur: Zaman’ın geriye döndürülemezliği, “deney”den (empeiria) elde edilemez, “saf akıl”dan (ratio) elde edilir. Yâni Zaman Oku, aksiyomatik-apriorik bir kavramdır. Bu itibarla, aksiyomatik-apriorik bir kavram olmak bakımından, Zaman Oku, Newton’ın “Hareketin Kanunları veya Aksiyomları” olarak Klasik Fizik’e temel yaptığı Üç Kanun ile benzeşir.

Aksiyomatik-apriorik bir kavram olmak demek, doğruluğunun bir başka yerden bir başka vâsıta ile elde edilmesi değil, rûhun (saf aklın) açık ve seçik bir şekilde (bedihî olarak) kavranması demektir. Çünkü aksiyomlar, başka yerden türetilmeyen, kendileri diğer doğruların temeli olan “ilk doğru önermeler”dir.<sup>12</sup>

- 
- It is vividly recognized by consciousness.
  - It is equally insisted on by our reasoning faculty, which tells us that a reversal of the arrow would render the external world nonsensical.
  - It makes no appearance in physical science except in the study of organization of a number of individuals.

[Bkz.: Sir Arthur Stanley Eddington., *The Nature of the Physical World* (1928)., Introductory Note by Sir Edmund Whittaker., Everyman’s Library, London, 1964., p.76-77]

<sup>12</sup> Filozof Scheler, “Apriorik Bilgi”yi şu şekilde açıklamaktadır [Max Scheler., *İnsanın Kozmostaki Yeri.*, Çeviri: Tomris Mengüşoğlu., Yaprak Kitap Yayın Pazarlama., İstanbul, Tarihsiz (tahminen: 1990)., s.52-53]:

Eğer biz, “geist” adını verdiğimiz şeyin kendine has özelliklerini ayrıntılarında aydınlatmak istiyorsak, geistın bir aktını, ideleştirme aktını ele almalıyız. Bu akt, teknik zekâdan apayrı olan bir aktır. Zekanın problemi şöyle olabilir: Şimdi, kolumun şurasında bir ağrı var. Bunun nedeni nedir ve nasıl geçirilebilir? Bunu çözmek pozitif bilimlerin işidir. Fakat ben bu aynı ağrıyı, çok garip bir şekilde, genel olarak dünyanın varlık-yapısı hakkında, dünyanın ağrı, kötülük ve acılarla dolu olduğuna bir örnek olarak kavrayabilirim. O zaman soru sorma tarzım değişecektir: Şimdi kolumun şurasındaki ağrı değil, ağrının kendisi nedir? Şeylerin temel yapısı nasıl olmalı ki, “genel olarak ağrı” olabilsin? Böyle bir ideleştirme aktı için en iyi örnek, Buddha’nın çok bilinen dönme öyküsüdür. Bir prens olan Buddha, babasının sarayında



İmdi: Bu kavram doğru olmalıdır; bu bir zorunluktur. Çünkü, aksi takdirde, yâni zamanın geriye döndürülebilmesinin mümkün farzedilmesi durumunda, Kâinat'taki en temel prensiplerden olup, sebep-sonuç ilişkisini belirleyen ve sebeplerin sonuçlardan önce geleceğini vaz' eden **İllyet (Nedensellik, Kozalite) Prensibi** ihlâl edilmiş olur; zîrâ, bu takdirde, sebeplerin sonuçlardan sonra gelmesi gibi bir durum hâsıl olacaktır ki, bu da, Kâinat'ın abes olmayan bir varlık olduğunu kabûl eden "Saçmasızlık" (Adem-i Abesiyet, Non-absurdity) prensibine aykırıdır.

Yâni, Zaman Oku, Zaman'ın tek yönde ve yeknesak ilerleyen bir karaktere sâhip olduğu fikrine dayanmaktadır. Buna göre, Zaman, sâdece bir istikamette ilerler ve hızı da sâbittir. Beri yandan, Zaman, süreçlerin bir ifâdesi olduğuna göre, hiçbir fiziksel süreç geriye döndürülemez.

**Kozmolojik Zaman Oku**, Kâinat'ın sürekli olarak genişleyeceğini ileri sürmektedir; buna göre, durmadan genişleyen Kâinat'ta çok uzun zamanlar sonunda maddî partiküller arasındaki mesâfe o kadar büyüyecektir ki sonuçta hiçbir fiziksel süreç gerçekleşmeyecektir.

**Termodinamik Zaman Oku** ise, farklı ısı kaynakları arasındaki ısı transferinin ancak ve yalnız daha yüksek sıcaklıktaki ortamdan (Sıcak Depo) daha alçak sıcaklıktaki ortama yapılabileceği gerçeğinden hareketle, bunun geriye döndürülemezliğini ifâde etmektedir.

Zaman Oku'nun ortaya koymuş olduğu çok önemli sonuçlardan birisi de, her var-olanın ve en genel olarak da bütün kâinatın kaçınılmaz olarak ölüme mahkûm olduğudur. Nasıl ki Kozmolojik Zaman Oku bütün fiziksel süreçlerin işleyemeyeceği bir **kozmetik final sahnesi** öngörmekte ise, Termodinamik Zaman Oku da, kullanılabir bütün enerjisini tüketmiş, limit olarak Mutlak Sıfır'a kadar

---

yıllarca her türlü olumsuz izlenimden uzak yaşadıkdan sonra, bir gün bir yoksul, bir hasta, bir ölü görür. O, bu üç raslantıya bağlı, "şimdi, burada, böyle" olup-biten olayı, dünyanın onlarda açığa çıkan özsel varlık-yapısı için birer örnek olarak kavıyor. Descartes, maddenin essentiası ile varlık-yapısını, bir parça balmumunda açıklamaya çalışmıştı. Geist'in geist olarak sorduğu sorular, işte bu gibi sorulardır. Bu tür sorulara en iyi örnekleri matematik verir. İnsan, örneğin üçlüğü, üç şeyin "sayı"sı olarak bu objelerden ayırır; üç sayısına kemdi başına bir şey gibi bakar; sayılarla, objelerin sıralanmasındaki düşünce yasalarına göre işlemler yapabilir. Hayvan böyle bir şey yapamaz. O halde *ideleştirme, yaptığımız gözlemlerin sayısından, indüktif sonuç çıkarmalardan bağımsız olarak dünyanın özsel yapı şekillerini, o öz alanı ile birlikte, bir örnekte kavramaktır*. Bizim bu şekilde elde ettiğimiz, geçerliği sonsuz olan bilgi, duyularımızın raslantılara bağlılığına, onların uyarılma yeteneklerinin tarzına ve derecesine bağlı olmadan, o öz alanında var olması olası olan bütün objeler için geçerliği olan bir bilgidir. Bizim bu şekilde kazandığımız bilgiler, duyulara bağlı algılarımızın sınırlarını aşarlar. Biz felsefe dilinde bu tür bilgilere "apriori" bilgiler adını veriyoruz.

soğuyarak tamâmiyle âtil ve Mutlak Sıfır'da yok olmanın eşiğine varan bir kozmik final sahnesi öngörmektedir.<sup>13</sup>



Fransız Astronom Nicolas Camille Flammarion'un [26 Şubat 1842 - 3 Haziran 1925] "Omega, Dünyanın Son Günleri" (Omega, Last Days of the World) isimli eserinden ilham alarak, Abel Gance tarafından yapılan "Dünyanın Sonu" (La Fin du Monde) isimli filmde, Kâinat'ın termal ölümü konu edinilmektedir. Yukarıdaki resimde, kullanılabilir enerjisini tüketerek sıcaklığı Mutlak Sıfır'a yaklaşan dünyanın sonundaki insanlar gösterilmektedir.

J. Rifkin ve T. Howard, müştereken kaleme aldıkları *Entropi* isimli eserde şunları söylemektedirler:<sup>14</sup>

Termodinamik, çok karışık bir kavram tınısı verir. Gerçekte ise bilinen en yalın ve en etkileyici bilimsel kavramdır. Termodinamiğin her iki yasası kısa bir cümlede özetlenebilir:

Evrenin toplam enerji muhtevası sabittir ve entropi sürekli artmaktadır.

ifade edilen, enerjinin yaratılması veya yok edilmesinin imkânsız olduğudur. Evrendeki enerji miktarı, zamanın başlangıcından itibaren sabit kılınmış ve zamanın sonuna değin sabit kalacaktır. Birinci yasa, sakınım yasasıdır. Enerjinin yaratılabilecek veya yok edilebilecek olmamasıyla birlikte bunu bir formdan bir başka forma dönüştürebileceğimizi söyler.

Bilim yazarı Isaac Asimow basit bir örnek sunar:

Bir miktar ısı edindiğimizi ve bunu bir işte kullanarak değiştirdiğimizi varsayalım. Bunu yaparken ıssıyı yoketmeyiz, yaptığımız sadece başka bir hale dönüştürmek veya muhtemelen, başka bir enerji formuna çevirmektir.

Daha iyi anlayabilmek için, bir otomobil motorunu düşünün. Petrol içindeki enerji, "petrollü motor tarafından yapılan iş artı üretilen ısı artı egzoz ürünlerindeki enerji"ye eşittir.

<sup>13</sup> Bu konuda Narlikar'ın şu makalesi şâyân-ı tavsiyedir: Jayant V. Narlikar., "The Direction of Time", *The British Journal for the Philosophy of Science.*, Vol. 15, No. 60., Feb. 1965., pp. 281-285

<sup>14</sup> Jeremy Rifkin, Ted Howard., *Entropi, Dünyaya Yeni Bir Bakış.*, ISBN 975-346-037-6., Türkçesi: Hakan Okay., Ağaç Yayıncılık Ltd. Şti., İstanbul, 1992., 41-43

Hatırlanacak en önemli unsur, enerjii yaratamayacağımızdır. Bunu kimse başaramadı ve başaramayacak. Yapabileceğimiz tek şey enerjii bir halden bir başka hale dönüştürmektir. Bu, her şeyin enerjiden yapılmış olduğunu düşünmeye koyduğumuzda farketdiğimiz bir olgudur. Varolan her şeyin şekli, formu ve hareketi, gerçekte sadece enerjinin çeşitli konsantrasyonları ve transformasyonlarının bir düzenlenişidir. İnsan, gökdelen, otomobil ve bitki yaprağının hepsi bir halden diğerine dönüşmüş enerjii sergiler. Bir gökdelen veya bitki yaprağı oluştuğunda, başka yerlerden biraraya toplanmış enerjiden yapılır. Gökdelen yıkıldığında ya da bitki yaprağı solduğunda kullanılan enerji yokolmaz. Sadece çevrede başka yerlere nakledilir. Hepimiz ‘Güneş altında yeni bir şey yok’ dendiğini duymuşuzdur. Kendinize bunu alacağınız bir sonraki nefesle kantılayabilirsiniz. Sadece, Platon’un bir zamanlar soluduğu yaklaşık 50 milyon molekülü solumaktasınız.

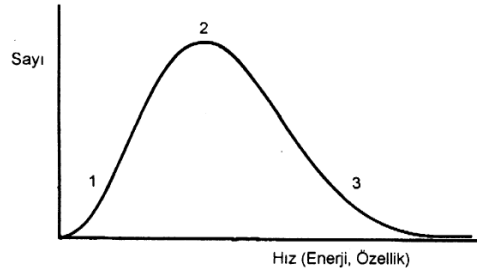
Tüm düşünmemiz gereken termodinamiğin birinci kanunu olsaydı, enerjinin tüketilmeksizin tekrar tekrar kullanılabilceğini düşünmemizde bir beis olmayacaktı. Fakat, dünyanın bu biçimde dönmediğini biliyoruz. Örneğin bir kömür parçası yaktığımızda enerji kalır ama uzaya yayılan kükürt dioksit ve diğer gazlara dönüştürülür. Süreç içinde enerjinin kaybolmayacağı ile birlikte asla aynı kömür parçasını tekrar yakamayacağımızı ve aynı faydayı elde edemeyeceğimizi de bilmekteyiz. Bu durumun açıklaması, enerjinin bir halden başka bir hale her dönüştürücüsünde ‘belli bir cezanın ifa edildiğini’ söyleyen termodinamiğin ikinci yasasında bulunur. Bu ceza, gelecekte aynı türden bir işin yürütülmesi için elde edilebilir enerji miktarındaki azalmadır. Bunun için bir terim bulunmaktadır; buna entropi denilir.

Evet; bunun adı, Ludwig Boltzmann’ın “Entropi” olarak konmuştur. 19ncu yüzyılın ikinci yarısının sonlarına doğru Avusturyalı fizikçi ve bilim felsefecisi Ludwig Boltzmann (1844-1906) şöyle bir problemi ele almıştır: Enerjinin Korunumu Kanunu, Evren’de enerjinin transfer edilebileceğini fakat yok edilemeyeceği gibi yaratılamayacağını da söylüyordu. Maddenin Korunumu Kanunu ile birlikte mütâlea edildiğinde, bu ikisinden hâsıl olan sonuç şu olmaktadır: **Kâinat’a “başlangıçta” belirli bir miktar enerji ve madde verilmiş ve sonra da bu madde ve enerjinin bir formdan bir başkasına transferine izin ve imkân tanınmış, fakat yok edilmelerine de yeniden yaratılmalarına da izin verilmemiştir.** İmdi; Termodinamiğin I. Kaanunu da, bir termal işlemde, yâni bir ısı alış veriş ve ısının faydalı mekanik işe dönüştürülmesi prosesinde bu katı kuralları onaylamakta idi; ama şimdi şöyle bir soru ortaya çıkmıştı: Acaba, bu proses esnâsında, sisteme giren bütün ısı hiç zayıatsız faydalı mekanik işe dönüştürülebilir ve aynen geriye alınabilir miydi? Eğer bu işlem mümkün kılınabilirse, özel olarak “*Devr-i Dâim Makinası*” (*Perpetuum Mobile*) yapılmasının mümkün olacağı, daha genel ve kuşatıcı bir sonuç olarak da *Kâinat’ın ölümsüz olduğu* gibi bir netîceye vâsıl olunabilecekti. İşte, Termodinamiğin II. Kaanunu’nun, I. Kanunu ihlâl etmeden, bu soruya “hayır” diye cevap verişini, yâni, kapalı bir sistemin (1) gibi bir hâlden (2) gibi bir hâle geçmesi durumunda, dışarıdan bir müdâhelede bulunulmadığı takdirde kendiliğinden geriye dönüp eski hâlini alamayacağını ifâde etmek üzere,

Boltzmann, Grekçe “dönme, şans, sonraki” anlamına gelen “trope” kelimesinden türettiği “Entropi” kelimesi ile kavramsallaştırdı.

Boltzmann’a göre...:<sup>15</sup>

Boltzmann kaos kavramını bilim dünyasında kullanan ilk kişidir. Ona göre atomlar rast gele veya düzensiz çarpışmalarla birbirleriyle etkileşirler; bu arada momentum ve enerjilerini değiştirirler. Boltzmann’ın ortaya koyduğu denklemlerde atomlar arası çekim yok kabul edilmiştir. Düzensiz çarpışmaların nedeni de budur. Boltzmann matematik çözümlemesi sonunda daha önceden Maxwell tarafından elde edilen dağılım eğrisini bulmuştur. Bu eğri Boltzmann’a göre sistemin her tür etkiden arınmış durumunda ortaya çıkmaktadır. Şekil 1 diye gösterilen eğri Maxwell eğrisini göstermektedir.



Burada yatay eksen özelliğin türünü dikey eksen de özelliğin sayısını göstermektedir. Özellik olarak örneğin atomların hızlarını alırsak dikey eksen de o hız da tahmini kaç atom olduğunu verir. Bu eğriyi isterseniz toplumsal olaylara uygulayalım. Yatay eksen örneğin geliri gösterirse dikey eksen de o gelirden tahminen kaç kişi olduğunu gösterir. Şekil 1 de “1” ile gösterilen bölge gelir düzeyinin çok düşük olduğu bölgeyi, “3” ise gelir düzeyinin çok yüksek olduğu bölgeyi göstermektedir. Görüldüğü gibi gelir düzeyi çok düşük olan kişilerin sayısı ve yine gelir düzeyi çok yüksek olan kişilerin sayısı çok düşüktür. Eğri başlangıçta ve sonda yatay eksene yakın durmaktadır. Orta direk yurttaşların sayısı ise çok yüksek olup onlar eğrinin yüksek bölgesine yani “2” numaralı bölgeye tekabül etmektedir. Bu örnekleme tabii ki bir yaklaşımdır, çünkü ekonomi rast gele yürümeyen ülkeler vergilerle Maxwell eğrisi dışında bir gelir dağılımını sağlamaktadırlar. Maxwell türü bir gelir dağılımı hiçbir kuralın olmadığı her şeyin mutlak rast gelelik içinde yürüdüğü bir sistemde ortaya çıkar. Diğer bir deyişle bütün düzenler eğer denetim mekanizmaları kaldırılırsa eninde sonunda Maxwell dağılımının öngördüğü bir düzene gider. Maxwell dağılımı kargaşanın mutlak anlamda egemen olduğu ortamların düzenidir, diğer bir deyişle Maxwell dağılımı “kargaşa”nın düzenidir.

<sup>15</sup> Güngör Gündüz., “Kaos Kavramının Tarihsel Gelişimi”, *Düşünen Siyaset.*, ISSN 1302-1419., Sayı: 18., Temmuz 2003., s.173-181., s.174-175

Buna göre, **Entropi**'yi kalitatif olarak kabaca şöyle tanımlayabiliriz:

**Kapalı bir sistem bir 1 durumundan bir 2 durumuna geçtiğinde, tekrar 2'den 1'e kendiliğinden dönebilmesi için gerekli olan şarta "entropi" denir ki buna göre, 1'deki entropi  $S_1$ , 2'deki entropi de  $S_2$  ile gösterilecek olursa,  $S_1 = S_2$  olduğu takdirde sistem tekrar 2'den 1'e kendiliğinden, yâni dışarıdan ayrıca bir enerji sarfına hâcet kalmadan dönebilir; tabiiyle 2'den 1'e kendiliğinden dönebilirse tekrar 1'den 2'ye de kendiliğinden dönebilir ve böylece bir "sonsuz çevrim" elde edilir. Bu durumu şöyle şematikleştirebiliriz:**

#### **Klasik Fizik'te:**

$S_1$  ve  $S_2$  bir sistemin 1nci ve 2nci hâllerindeki entropileri göstermek üzere:

- $S_1 = S_2$  ise, sistem tekrar 2'den 1'e kendiliğinden dönebilir; buna **Tersinir İşlem (Reversible Process)** denir;
- $S_2 > S_1$  ise, sistem tekrar 2'den 1'e kendiliğinden dönemez; buna da **Tersinmez İşlem (Reversible Process)** denir

- $S_1 > S_2$  ( $S_2 < S_1$ ) olamaz.

$$\Delta S = S_2 - S_1 \text{ olduğundan}$$

$S_2 > S_1$  olunca:  $\Delta S > 0$  (+) olur. Bu, entropinin doğal süreçlerde artması gerektiği kuralına uygundur.

$S_2 < S_1$  olunca:  $\Delta S < 0$  (-) olur. Bu ise, entropinin doğal süreçlerde artması gerektiği kuralına aykırıdır. O sebeple imkânsızdır.

#### **Kuantum Fiziği'nde:**

$S_1$  ve  $S_2$  bir sistemin 1nci ve 2nci hâllerindeki olasılıkları (ihtimâlleri) göstermek üzere:

- $S_1 = S_2$  ise, sistem tekrar 2'den 1'e kendiliğinden dönebilir; buna **Tersinir İşlem (Reversible Process)** denir;
- $S_2 > S_1$  ise, sistem tekrar 2'den 1'e kendiliğinden dönemez; buna da **Tersinmez İşlem (Reversible Process)** denir

- Benzer şekilde,  $S_1 > S_2$  ( $S_2 < S_1$ ) olan bir proses tanımlanamaz.

İlk şıkta  $S_1 = S_2$  olması öngörülmektedir. Ne var ki hiçbir gerçek fiziksel işlemde  $S_1 = S_2$  değildir ve bu sebeple hiçbir gerçek fiziksel işlem tersinir değildir. Yâni, hiçbir işlem geriye döndürülemez; bu da Zaman'ın 1'den 2'ye

yönelik olarak akması şeklinde açıklanır ki Zaman'ın bu cereyan tarzını da **Zaman Oku** kavramı ifâde eder. Zaman, yaydan fırlamış bir ok gibi hep ileriye doğru akar ve asla geriye doğru çevrilemez.

**3.2: Fiziksel Anlamda Kaos:** Kaos kelimesinin fizik-bilimsel anlamı, sözlük anlamından ve geleneksel anlamından hayli farklıdır. Başlangıç olarak, Kaos'u "sürekli kararsızlık" ve/veya "belirlenemezlik" olarak târif edebiliriz. İyice açılmadığı ve açıklanmadığı takdirde kendisi dahi kaotik olan bu ilk târif, bir başka "belirlenemezlik" ile karıştırılabilir; bu ikincisi, Modern Fizik'in kurucularından Werner Karl Heisenberg'in (1901-1876) "Belirlenemezlik İlkesi"dir. Şimdi önce kısaca buna temas edelim:

### **Heisenberg'in Belirlenemezlik İlkesi (Uncertainty Principle):<sup>16</sup>**

Modern Fizik'in en temel kavramlarından ve ilkelerinden Belirlenemezlik İlkesi çok kısaca söylendikte, hareket hâlinde bulunan bir cismin momentum ve konumunun aynı anda ve aynı kesinlikle tesbât edilemeyeceği esâsına dayanır ve matematiksel olarak

$$\Delta x \cdot \Delta p \geq \frac{h}{4\pi}$$

bağıntısı ile ifâde edilir. Burada  $\Delta x$  "Konum'un belirlenmesindeki hatâ",  $\Delta p$  "Momentum'un belirlenmesindeki hatâ" ve  $h$  ise, bilinen "Planck Katsayısı"dır [ $6.63 \times 10^{-34}$  J.s]. İmdi, Hatâ Teorisi'ne göre, Momentum [ $p=m \cdot v$ ] ve Konum [ $x$ ] ölçümünde bir hatâ yapmak kaçınılmazdır; bu husus, Evren'in kanunlarından birisidir. Bağıntının ifâde ettiği derin mânâ ise önce, "*bu kaçınılmaz hatânın küçültülebileceği ve fakat yok edilemeyeceği*", sonra da, "*hatâ yok edilemezliğin sayısal değerinin de tek-tek momentum ölçümlerindeki hatâlar ile değil, her ikisinin ölçümlerindeki hatâlarındaki çarpım ile belirlenebileceği ve bu çarpımın da Planck Katsayısı'ndan daha küçük olamayacağı*"dır. Buna göre cismin konum ve momentumunun (dolayısıyla da hız ve kütesinin) ölçümündeki hatâlardan birisi küçültüldüğü takdirde diğeri büyüyecektir; meselâ Momentum'un ölçüm hatâsı azaltılarak sıfıra, yâni "tam belirlenebilme" sınırına yaklaştıkça Konum'un ölçüm hatâsı da sonsuza, yâni "hiç belirlenememe" sınırına doğru yaklaşır ve limit hâlde  $\Delta x = 0$  için  $\Delta p = \infty$  olur ki bu, şu demektir: Eğer cismin momentumunu, yâni hızını ve kütesini "tam olarak", yâni sıfır hatâ

---

<sup>16</sup> W. Heisenberg., "Über den anschaulichen Inhalt der quantentheoretischen Kinematik and Mechanik" (On the intuitive content of quantum-theoretical kinematics and mechanics), Zeitschrift für Physik 43 172-198 (1927); W. Heisenberg., "The physical principles of Quantum Theory", University Chicago Press, Chicago (1930) – Dover, New York

ile ölçmüş isek, konumunu, yâni, nerede olduğunu asla bilemeyiz. Ölçümünü “burada” yaptığımız cisim, *Evren’in herhangi bir yerinde bulunuyor olabilir*. Bu ise, Heisenberg’in “...nedensellik (determinizm-D.H.) kavramı, son olarak, bir doğa olayının inceden inceye belirlenebileceği anlamına gelir oldu. Buna göre doğayı, ya da doğanın bir parçasını kavrayıp bilmeniz, geleceği kestirmenize yeter sayılıyordu. Newton fiziğine göre, bir sistemin belli bir andaki durumundan yola çıkarak, o sistemin gelecekteki hareketinin ne olacağı hesap edilebilirdi. Bu bir doğa ilkesiyle, Laplace onu en genel ve anlaşılır biçimde dile getirmişti: Ona göre, belli bir anda bütün atomların durumunu ve hareketini bilebilen bir şeytan (üstün zekâ), evrenin geleceğini toptan kestirebilirdi.”<sup>17</sup> ifâdesiyle tasvîr ettiği Newton Mekaniği’nin temel aksiyomlarından olan **Determinizm** (Belirlenebilirlik, Nedensellik) ile taban-tabana zıttır.

Şimdi bu konuda, bizzat bu ilkenin mûcidi Heisenberg’den uzun bir iktibasa başvuralım:<sup>18</sup>

Gibbs ve Boltzmann’ın buluşlarından beri, her ne kadar bir sistem üstündeki eksik bilgi fizik yasalarının dile getirilmesinde rol oynamaktaysa da, Max Plack’ın ünlü buluşuna (Quanta kuramına) kadar gerekircilik ilkesi bir yana bırakılmadı. Planck, ışımaya (radiation) kuramıyla ilgili çalışmalarında, önceleri, ışımaya olaylarında bir kesiklik (discontinuite) ögesinden başka bir şey bulamamıştı. Isınan bir atomun enerjisini kesintisiz değil, kesintili olarak, atımlar (choc) halinde saçtığını göstermişti. Bu atımlı ve kesintili enerji saçımı, bütün atomlar kuramında olduğu gibi, insana, ışın saçımının istatistik bir olay olduğunu düşündürmüştür. Bununla birlikte, Quanta kuramının yasaları istatistik bir formüle sokmaya ve gerekircilik ilkesini bırakmaya zorladığını anlamak için yirmi beş yıllık bir sürenin geçmesi gerekmiştir. Einstein, Bohr ve Sommerfeld’in yaptıkları incelemeler göstermiştir ki, Planck’ın kuramı, atom fiziğinin bütün alanlarının kapısını açan bir anahtar olmuştur. Rutherford’la Bohr’un meydana getirdikleri atom modeline dayanarak kimyasal oluşumlar açıklanabilmiş, ve bugün bugün kimya, fizik ve astrofizik bir bütün halinde birbiriyle kaynaşmıştır. Bununla birlikte, yasaların Quanta kuramına göre matematiksel formüllere sokulmasına gelince, gerekircilik ister istemez bırakılmıştır. Burada, bu matematik denklemini vermeyeceğim, sadece atom fiziğinde, fizikçinin özel durumunu dile getiren bazı formülleri göstermekle yetineceğim. İlk, çağdaş fizik ile eski fizik arasındaki ayrılığı, “belirsizlik bağlantısı” denen şey ile dile getirebiliriz. Bir atom parçacığının konumunun (position) ve hızının birarada, istenildiği zaman ve kesinlikle gösterilemeyeceği ispatlanmıştır. Konum tam olarak ölçülebilir; ama o zaman da, gözlem araçlarının araya karışması, hız’ın ölçülmesini, bir dereceye kadar, önler. Böyle yapmayı da, önce hız ölçülürse, o zaman da konum kesinlikle öğrenilemez olur. Öyle ki, Planck’ın konstant’ı bu iki belirsizlikten çıkan sonuç için bir alt yaklaşıklık sınırı meydana getirmiştir. Bu formül Newton mekaniğine bağlı kavramların artık bizi niçin daha uzağa götüremediğini göstermektedir. Çünkü, bir mekanik süreci hesaplamak için, bir cisimciğin, belli bir andaki konumunu ve

<sup>17</sup> Werner Heisenberg., *Çağdaş Fizikte Doğa.*, Çevirenler: Vedat Günyol, Orhan Darı., Çan Yayınları., İstanbul, Ekim 1968., s.39

<sup>18</sup> Werner Heisenberg., *Çağdaş Fizikte Doğa.*, s.44-47

hızını aynı zamanda bilmek gerekir ki, Quanta kuramı böyle bir şey olamayacağını ortaya koymuştur. Niels Bohr, bir başka formül yardımı ile, tümleyicilik kavramı'nı kabul etti. Bununla Bohr şunu demek istiyordu: Atom sistemlerini açıklamaya yarayan çeşitli açık imgeler, bazı deneylere uygulanabildiği halde, birbirini karşılıklı olarak ortadan kaldırmaktadır. Örneğin, Bohr'un atomunu, küçük bir gezegenler sistemi gibi gösterebiliriz: Ortasında bir çekirdek, bu çekirdeğin çevresinde dolaşan elektronlar. Bununla birlikte, başka deneyler için, çekirdeği (frekansı atomun ışınmasını etkileyen) dural dalgalar sistemi ile çevrili tasarlamak yararlı olur. Son olarak, atomu kimyasal bir madde gibi de düşünebiliriz; başka atomlarla birleştiği zaman gösterdiği ısı (termik) tepkiyi ölçebilirsek de, elektronların devinimini aynı zamanda gözleyemeyiz. Bundan şu sonuç çıkıyor ki, bütün bu çeşitli imgeler, doğru olarak kullanıldıkları sürece doğrudurlar. Ama, bunlar birbiriyle çelişme halindedirler, onun için onlara birbirinin tümleyicisi deniliyor. Bu imgelerden herbirinde bulunan kesinsizlik, kesinsizlik ilişkileri ile dile getirilmiştir, ayrı imgeler arasındaki çelişmeleri de önlemeye yeterlidir. Quanta kuramının ayrıntılarına girmeden verdiğimiz bu birkaç bilgi bize şunu anlatabilir: Bir sistem üstündeki eksik bilgi Quanta kuramının her önermesinin önemli bir parçasını temsil etmektedir. Quanta kuramı yasalarının istatistik nitelikte olmaları gerekmektedir. İşte bir örnek: Biliyoruz ki, bir radyum atomu alfa ışınları saçabilir. Quanta kuramı, her zaman birimi için, alfa parçacığının çekirdekten ayrılma olasılığını (olasılık derecesini) saptayacak durumdadır. Ama, bu olasılığın ne zaman meydana geleceğini, kesin olarak, önceden kestirmemektedir. Çünkü, kural olarak, bu olasılık belirsizdir. Gelecekte, bu olayın anını kesin olarak belirleyebilecek yeni yasaların bulunabileceğini de düşünemeyiz. Çünkü, eğer böyle olsaydı, alfa parçacığına hâlâ niçin çekirdekten ayrılan bir dalga gözüyle bakıldığı anlaşılmazdı. Atom maddesinin aynı zamanda dalgalı ve cisimsel bir yapıya sahip olduğunu gösteren çeşitli deneylerin aykırı niteliği, birtakım istatistik yasalar dile getirmeye zorlamaktadır bizi. Atom fiziğinin bu istatistik ögesi, genellikle, büyük ölçüdeki süreçlerde hiç bir rol oynamamaktadır. Çünkü, bu alanda, istatistik yasaların olasılığı öylesine yüksektir ki, bu sürece pratik olarak belirli gözlemlerle bakılabilir. Büyük ölçüdeki sürecin, bir tek, ya da benzeri az olan, birkaç atomun davranışına bağlı olduğu durumlar her zaman vardır şüphesiz; bu durumlarda da, bu süreci yalnız istatistik olarak belirleyebiliriz. Buna kanıt olarak, herkesin bildiği ama, hiç de hoş olmayan bir örnek vermek istiyorum: yani atom bombasını. Patlayıcı maddenin ağırlığına ve kimyasal yapısına bakarak, herhangi bir bombanın patlama gücünü önceden hesaplayabiliriz. Atom bombasına gelince, patlama gücü için, bir üst bir de alt sınır gösterebiliriz, ama, kural olarak, bu gücü önceden, tam olarak, hesaplayamayız. Çünkü, bu güç, atomların ateşleme anındaki davranışlarına bağlıdır. Jordan'ın özel olarak belirttiği gibi, buna benzer oluşumlar biyolojide de olmalı. Biyolojide, insan ölçüsündeki olayları, tek tek atomlarla ilgili oluşumlar yönetmektedir. Bu durum, özellikle, kalıtım sürecinde genlerin ânî değişimlerinde böyle olsa gerek. Bu iki örnek, Quanta kuramının istatistik niteliğinin pratik sonuçlarını açıklamak amacıyla seçilmiştir; onun gelişimi yirmi yılı aşkın bir süreden beri meydana konmuştur. Burada, gelecekte bir kural değişikliği olup olmayacağı önceden kestirilemez.





Werner Heisenberg (5 Aralık 1901-1 Şubat 1976)  
(foto: 1926)

### **Kaotik Belirlenemezlik**

Fakat Kaos'un içerdiği bilinemezlik, yâni, Kaotik Belirlenemezlik bundan farklı bir anlam taşır. Buna göre, herhangi bir sisteme âit bir ölçüm yapıldığında, ölçüm ne kadar dikkatle yapılırsa yapılsın, mutlaka birtakım hatâlar yapılır ve yapılacaktır da; yukarıda zikrettiğimiz Hatâ Teorisi, bize, bir ölçümün hiçbir zaman sonsuz derecede kesin olamayacağı, mutlaka bir kesinliksizlik içeren bir değer olması gerektiğini göstermektedir. Her gerçek ölçümde kaçınılmaz ortaya çıkan bu “kesinsizlik”, tasavvur edilebilecek en mükemmel herhangi bir ölçüm aracının dahi, yine en mükemmel bir şekilde tasarlanmış ve kullanılıyor olsa bile, yaptığı ölçümleri sonlu bir kesinlikle kaydedebilmesi için sonsuz sayıda basamak gösterme kapasitesine sahip olması gerekeceğini de, ortaya koymaktadır ki, bu, imkân dışıdır ve bu imkânsızlık, hiçbir gerçekliği bulunmayan, zihnen tasarlanmış hayâlî bir ölçüm için dahi geçerlidir. Dinamik bilimi açısından, her ölçümde bir kesinsizlik bulunması, her ölçümün “başlangıç şartlarına” belirli bir duyarlılığı ve bağımlılığı anlamına gelmektedir. İmdi, şâyet bu başlangıç şartlarına bağımlılık aşırı bir hadde varıyorsa, buna **Dinamik Kararsızlık** tâbir edilir ve buna göre de, dinamik kararsızlığı yüksek, yâni başlangıçtaki hatâların, sistemin ileriki hâllerini tâyin edebilme konusunda aşırı derecede etkili olan bir sistem “**Kaotik Sistem**” olarak tanımlanır. Yâni târifimizi şu şekilde getirebiliriz: Kaos, “Dinamik Kararsızlık”tır; “Kaotik Sistem” de “Dinamik Kararsız Sistem”dir.

Bu tanıma göre, bir Kaotik Sistem’de ölçüm yapıldığında, elde edilen sonuçlara dayanarak uzun vâdeli çok sağlam, çok güvenilir neticeler sonuçlar elde edilebilmesi mümkün olamaz. Hâlbuki Klasik Fizik’in en temel prensiplerinden olan Determinizm (Belirlenebilirlik) İlkesi, pratikte her zaman mümkün olmasa da teoride hatâsız ölçümü aksiyom olarak almaktaydı; buna göre, bu şekilde hatâsız bir ölçüm yapıldığı takdirde, bir sistemin zamanda ileriye doğru bütün geleceğini ve geriye doğru da bütün geçmişini “tam ve noksansız” olarak bilebilmek mümkündür.

Bâzı fiziksel sistemlerde gözlenen zamana bağlı özel bir davranış biçimi olan Dinamik Kararsızlık, ilk defa 1900’de Henri Poincaré tarafından keşfedilmiştir. Gezegenlerin Güneş etrafındaki hareketleri ile ilgilenen Poincaré, onların hareketlerinin gözlenmesi ve ölçümü ile elde edilen sonuçların Newton Mekaniği’nin öngördüğü **Determinizm** (Belirlenebilirlik, Nedensellik) ile uyuşmadığını; bâzı göksel sistemlerin, başlangıç şartlarına ilişkin kesinsizliği küçültmenin netîcedeki kesinsizliği de küçültmesi şeklindeki kurala uymadığını, aşırı derecedeki “başlangıç şartlarına hassas bağlılık”ın, sonuca çok fazla te’sir ederek onu belirsiz hâle getirdiğini fark etmişti ki bu keyfiyet, daha sonraları, “**dinamik kararsızlık**”, veya kısaca “**kaos**” olarak anılmaya başlandı.

Kaotik sistemler konusundaki en dikkat çekici örneklerden birisi, atmosferik ölçümlerdir. Bu konuda, öğrenciye, James Gleick’in Kaos’u enine-boyuna irdeleyen kitabını<sup>19</sup> tavsiye ettikten sonra, şimdilik, şu metni vermekle yetineceğim.<sup>20</sup>

“1963 yılında, havanın basitleştirilmiş bir modelini çalışmak üzere basit bir matematiksel bilgisayar programı yazan meteorolog Edward Lorenz tarafından yapıldı. Özgül olarak Lorenz, bir hava akımının güneş tarafından ısıtıldıkça nasıl azalıp çoğalacağına ilişkin ilkin bir model üzerinde çalışıyordu. Lorenz’in yazdığı bilgisayar kodları hava akımlarının akışlarını düzenleyen matematiksel formülleri içermekteydi. Bilgisayar kodu tamamen determinist özellikte olduğundan Lorenz, aynı başlangıç koşulları verildiği takdirde, programın çalıştırılması sonucu hep aynı sonuçları almayı bekliyordu. Fakat aynı zannettiği başlangıç değerlerini girdiği zaman, her seferinde kökten farklı sonuçlar elde ettiğini görmek Lorenz’i şaşkına çevirmişti. Daha dikkatli bir inceleme yaptığında her seferinde tamamen aynı değerleri değil, birbirinden hafifçe farklı değerleri girmiş olduğunu fark etti. Her deneme sırasındaki başlangıç değerlerinin farklı olduğunu anlayamamıştı, çünkü farklılıklar, alışılmış standartlara göre mikroskobik ve önemsiz addedilecek kadar inanılmaz düzeyde küçük farklılıklardı. Lorenz’in atmosfer modelinde kullandığı matematik 1970’lerde geniş bir biçimde araştırıldı. Zamanla, kaotik bir sistemin temel özelliği olarak, iki farklı başlangıç koşulları dizgesindeki düşünülebilecek en küçük farklılığın, daima, sonraki veya önceki zamanlarda büyük farklılıklara yol açacağı, bilinen bir gerçek haline geldi. Günümüzde bilim adamları, havanın, Lorenz’in hava akımlarına ilişkin basit bilgisayar modeli gibi kaotik bir sistem olduğuna inanmaktalar. Yani belli bir doğrulukta uzun vadeli bir hava tahmini yapabilmek için sonsuz sayıda ölçüm yapılması gereklidir. Dünyanın tüm atmosferini kocaman bir ölçüm araçları — bu durumda termometreler, rüzgar-ölçerler ve basınç-ölçerler — ağı ile doldurmak mümkün olsaydı bile, başlangıç koşullarındaki belirsizlikler bu kez de ağdaki her bir aracın yapacağı ölçüm değerleri arasındaki minik farklılıklardan meydana çıkacaktı. Atmosfer kaotik olduğundan dolayı ne

<sup>19</sup> James Gleick., *Kaos (Chaos)*, Çeviren: Fikret Üçcan., *Tübitak Popüler Bilim Kitapları*, No: 15., Ankara, Mayıs 1995

<sup>20</sup> Dr. Matthew A. Trump., “What is Chaos?”, Çeviren: Sinan Canan., Orijinal metin için URL: [<http://order.ph.utexas.edu/chaos/>], Tercüme metin için URL: [<http://www.sinancanan.net/kaosne.htm>]

kadar küçük olursa olsun bu belirsizlikler gittikçe hesapları geçersizleştirecek ve hava tahminin doğruluğunu ortadan kaldıracaktır. Bu ilke bazen “**Kelebek Etkisi**” olarak adlandırılır. Hava tahmini söz konusu olduğunda “Kelebek Etkisi” dünyanın herhangi bir yerindeki bir kelebeğin kanat çırpmasının, bir yıl sonra dünyanın diğer bir tarafında bir fırtınanın çıkıp çıkmayacağına belirleyici rol oynayabileceği fikrine gönderme yapar. “Kelebek Etkisi” yüzünden artık hava tahminlerinin ancak kısa vadede doğru olabileceği, uzun vadeli tahminlerin ise, ne kadar gelişmiş bilgisayarlı yöntemle yapılırsa yapılsın, şansa dayalı kestirimlerden daha doğru olamayacağı kabul edilmektedir. Dolayısıyla doğada kaotik sistemlerin varlığı, belli bir derece doğruluğa sahip bir hareket tahmini yapabilmek üzere determinist fizik yasalarını uygulayabilme yetimize bir sınır koyuyor gibi gözükmekte. Kaosun keşfi evrenin tüm deterministik modellerinin merkezinde rasgeleliğin pusuda beklediğini ima ediyor gibi gözükmekte. Bu gerçekten yola çıkarak bazı bilimciler, neticede evrenin davranışının determinist olduğunu söylemenin anlamlı olup olmadığını sorgulamaya başladılar. Bu soru, bilim kaotik sistemlerin nasıl işlediğini öğrendikçe kısmen yanıtlanabilecek açık uçlu bir sorudur. Kaotik sistemlerle ilgili çalışmalarda en ilginç konulardan bir tanesi, kaosun varlığının daha büyük düzeylerde düzenli yapı veya örüntüler ortaya çıkarıp çıkarmayacağı konusudur. Bazı bilimcilerin spekülasyonlarına göre, kaosun (yani mikroskobik düzeyde determinist fizik yasaları üzerinden işleyen rasgeleliğin) varlığı, aslında daha büyük düzeylerdeki fiziksel örüntülerin ortaya çıkabilmesi için gerekli olabilir. Yakın zamanlarda bazı bilimciler fizikte kaosun varlığının, evrene, geçmişten geleceğe geri dönüşsüz akış anlamındaki “**zaman oku**”nu veren özellik olduğuna inanmaya başlamış durumdadır. Fizikte kaos çalışmaları ikinci yüzyılına girerken evrenin gerçekten determinist mi olduğu sorusu henüz cevapsız bir sorudur ve kaotik sistemlerin davranışlarını gittikçe daha iyi anlasak da bu şekilde kalacağına şimdilik şüphe yok...”

#### 4. Entropik Düzensizlik, Kaos ve Belirsizlik İlkesi’nin Felsefi Sonuçları

Entropik Düzensizlik, Kaos ve Belirsizlik İlkesi, çok sarsıcı felsefi sonuçlar hâsıl etmiştir.

**4.1 Entropik Düzensizlik**, Kâinat’ın kaçınılmaz olarak bir termal ölüme doğru gittiğini göstermektedir ve, nasıl ki Michelson-Morley deneyi materyalist felsefenin en büyük umudu olan Esîr için öldürücü bir darbe te’siri yaratmışsa, bu da, Kâinat’ın ezeli ve ebedî olduğunu *apriorik* olarak kabûl eden felsefeler için ağır bir darbe teşkil etmektedir. Nitekim, Ernst Haeckel, bunun için termodinamik kanunlarının ve bilhassa II. Kanun’un yanlış olduğunda ısrar etmektedir.<sup>21</sup>

II. Kanun’un topyekûn kâinat için geçersiz olması, ancak, Kâinat’ın fizikî uzamının sonsuz ve hep madde ile dolu olmasıyla kabildir; fakat bu konuda hem

<sup>21</sup> Ernst Haeckel., *The Riddle Of The Universe.*, Translated By: Joseph Mc Cabe., London., 1913., s.202-203

Olbers Paradoksu hâlâ bertaraf edilemeyen ciddî bir engel oluşturmakta ve hem de modern kozmoloji teorileri buna imkân tanımamaktadırlar.

**4.2. Kaos ve Heisenberg'in Belirlenemezlik İlkesi'nin** ortaya koymuş olduğu açık sonuçlar ise kısaca şudur: Herşeyin, kesin bir mekanik sebep-sonuç ilişkisine tâbi' ve bu ilişkilerin de tam bir kesinlikle bilinmesinin mümkün olduğunu ileri süren görüşler olmuştur ve Klasik Fizik de bu fikri destekliyordu. Nitekim, Klasik Fizik'ten çok etkilenen Marksist felsefe, evrende olup-biten herşeyin kesin bir şekilde bilinmesinin mümkün olduğu görüşündeydi. Meselâ Stalin, "*marksist felsefi materyalizm, dünyanın ve yasalarının mükemmelen tanınabileceği, deneyim ve pratik tarafından kanıtlanan doğa yasalarının bilinebileceği, bu bilgilenmenin nesnel bir hakikati ifade ettiği; dünya üzerinde bilinmeyen şeylerin değil fakat sadece henüz bilinmeyen, ancak bilim ve pratik aracılığıyla keşfedilecek ve tanınacak şeylerin olduğu ilkesinden hareket eder*" demektedir<sup>22</sup> ve tabiatıyla o görüşte olanlar bu fikri insan dünyasına ve tarihe de tatbik etmektedirler:<sup>23</sup>

"...marksizm-leninizm öyle bir araçtır ki, onun yardımıyla geleceğin üzerindeki örtü kaldırılır ve tarihin gelecekteki dönemeçleri görülebilir. Bu bir "zaman teleskobu" gibidir."

Ama, bu şartlar muvâcehesinde, kabûl edilmelidir ki, insanın bu evrendeki olup-biten şeylerin tam ve noksansız bir bilgisine sâhip olması, artık terkedilmesi gereken eski ve boş bir hayâldir; biz, olup-bitenleri, ancak, kaba bir tasvirle ve dâimâ ihtimâlli olarak kavrayabiliriz.

Yâni insan bilgisi her zaman sınırlı ve hatâli olmuştur ve her zaman da böyle olacaktır; bu, varlık âlemine konmuş olan bir kanundur.

Kant'ın dediği gibi:<sup>24</sup>(16)

"... ben diyorum ki, şeyler bizim dışımızda bulunan duyu nesnelere olarak bize verilirler; ne var ki onların kendi başlarına ne oldukları konusunda bilgi sahibi değiliz, sadece görünüşlerini bilebiliriz."

...O'ndan altı asır önce Sadreddin-i Konevî de aynı şeyi bildiriyordu:<sup>25</sup>

"... Biz nesnelere ancak sıfat ve arazlarını... bilebiliriz. Nesnelere, mücerret hakikatları bakımından bilemeyiz."

<sup>22</sup> J(oseph) Stalin., *Diyalektik ve Tarihî Materyalizm.*, Çeviren: Mehmet Atilla., Evren Yayınları., İkinci Baskı, İstanbul, Şubat 1978., s.17

<sup>23</sup> *Marksizm-Leninizmin İlkeleri.*, Yar Yayınları., Çev: Nadiye R. Çobanoğlu., Yedinci Baskı., İstanbul, Eylül 1990., C: I., s.13

<sup>24</sup> Immanuel Kant., *Gelecekte Bilim Olarak Ortaya Çıkabilecek Her Metafizîğe Prolegomena (Prolegomena Zu Einer Jeden Künftigen Metaphysischen Die Als Wissenschaft Wird Auftreten Können).*, Çevirenler: İonna Kuçuradi, Yusuf Örnek., Hacettepe Üniversitesi Yayınları., Ankara, Kasım 1983., 63

<sup>25</sup> Sadreddin Konevî., *İcâz el-Beyân.*, 17b (Nihat Keklik., *Felsefenin Tekniği.*, Doğuş Yayın ve Dağıtım., İstanbul, Ocak 1984., s.32'den naklen)

## Carnot Makina'sında Entropi Değişimi

$$\Delta S = S_2 - S_1 = \int_{ilk}^{son} \frac{dQ_r}{T} = \frac{Q_h}{T_h} - \frac{Q_c}{T_c}$$

ifâdesini tekrar ele alalım. Carnot Makinası'nda

$$\frac{Q_h}{Q_c} = \frac{T_h}{T_c} \text{ olduğundan, } \frac{Q_h}{T_h} = \frac{Q_c}{T_c} \text{ olur, böylece}$$

$$\Delta S = 0$$

olacağı görülür.

Herhangi bir “tersinir çevrim” için ilk durum=son durum olacaktır; bu, termodinamik sürecin kapalı bir eğri teşkil etmesi demektir. Böylelikle,  $i = s$  olarak,

$$\Delta S = S_2 - S_1 = \int_i^i \frac{dQ_r}{T} = \oint_C \frac{dQ_r}{T} \equiv 0$$

olur.

$$\Delta S = S_2 - S_1 = \int_i^i \frac{dQ_r}{T} = \oint_C \frac{dQ_r}{T} \equiv 0 \text{ olur.}$$

$dQ = mc dT$  şeklinde değişiyor ve  $T$  de sâbit değil ise,

$$\Delta S = S_2 - S_1 = \int_{T_{ilk}}^{T_{son}} \frac{dQ}{T} = \int_{T_{ilk}}^{T_{son}} mc \frac{dT}{T} = mc \ln \left[ \frac{T_{son}}{T_{ilk}} \right]$$

## Bir İdeal Gazın Yarı Kararlı Tersinir İşlemi

Bir ideal gaz  $T_i, V_i$ , ilk hâlden  $T_s, V_s$  son hâline bir “tersinir işlem” ile “yarı kararlı” olarak gelsin. I. kanundan:  $dQ_r = dU + dW$  yazabiliriz [ $dQ_r$ : Verilen Isı].  $dW = PdV$  olduğundan,

$$dQ_r = dU + PdV$$

olur.

İdeal gazlarda

$$dU = nC_v dT \text{ ve } P = \frac{nRT}{V}$$

oduğundan,

$$dQ_r = dU + PdV = nC_v dT + nRT \frac{dV}{V}$$

olur.  $C_v$ 'yi sâbit kabûl edip her iki tarafı  $T$ 'ye bölersek

$$\frac{dQ_r}{T} = nC_v \frac{dT}{T} + nR \frac{dV}{V}$$

elde edilir.

$$\Delta S = 0 \int \frac{dQ_r}{T} = nC_v \ln \frac{T_{son}}{T_{ilk}} + nR \ln \frac{V_{son}}{V_{ilk}}$$

Sonuç:

- $\Delta S$ , yalnızca ilk ve son duruma bağlıdır ve tersinir yoldan bağımsızdır.
- $\Delta S$ 'nin pozitif veya negatif olması, gazın işlem süresince ısı soğurmasına veya vermesine bağlıdır.
- Tam (kapalı) bir çevrim için,  $T_i = T_s$ ,  $V_i = V_s$  olacağından,  $\Delta S = 0$  olur.

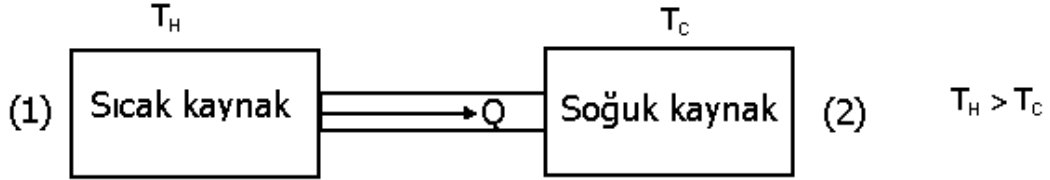
## Tersinmez Süreçlerde Entropi Değişimleri

Entropi fonksiyonu

$$\Delta S = S_2 - S_1 = \int_{ilk}^{son} \frac{dQ_r}{T}$$

şeklinde tanımlanmış olduğundan, sistemin yalnızca “ilk” ve “son” hâllerine bağlıdır. Yâni Entropi sonuç olarak bir “**hâl fonksiyonu**”dur. Bu matematiksel tanım deneysel olarak da kanıtlanmıştır. Entropi değişimi, “ilk” ve “son” halleri aynı (özdeş) olan bütün termodinamik işlemler için aynı (özdeş) olmaktadır. Daha açık bir ifadeyle,  $\Delta S$  ara süreçlerden bağımsızdır. Aksi hâlde, Termodinamiğin İkinci Kanunu ihlâl edilmiş olurdu [**niçin?**]. Şimdi; bu gerçeğe dayanarak, iki denge hâli arasındaki entropi değişimlerine dair birkaç misâl verelim. Aynı iki denge (ilk ve son) hâli arasında, tersinir ve tersinmez işlemlerin entropi değişimleri aynıdır.

## Isı İletiminde Entropi Değişimi



(1):  $T_h$  sıcaklığındaki (yüksek sıcaklıktaki) ısı kaynağı

(2):  $T_c$  sıcaklığındaki (alçak sıcaklıktaki ısı) kaynağı

$Q$ : (1)'den (2)'ye iletilen (transfer edilen) ısı

$S_2$ : (2)'nin entropisi

$S_1$ : (1)'in entropisi

Olmak üzere,  $\Delta S_2$  ve  $\Delta S_1$  sırasıyla,

$$\Delta S_2 = \int \frac{dQ}{T} = \frac{Q}{T_c}$$

$$\Delta S_1 = \int \frac{dQ}{T} = \frac{Q}{T_h}$$

(1)

Sisteme ısı giriyor  
(entropisi artıyor)

(2)

Sistemden ısı çıkıyor  
(entropisi azalıyor)

olacağından,

$$\Delta S = S_2 - S_1 = \frac{Q}{T_c} - \frac{Q}{T_h} \quad (3)$$

olur. Beri yandan,  $T_c < T_h$  olduğundan,  $\frac{Q}{T_c} > \frac{Q}{T_h}$  olacaktır ki buradan da, sonuç

olarak (3)'den,

$$\Delta S > 0$$

elde edilir. Yâni, bir sıcak kaynaktan bir soğuk kaynağa, kendiliğinden (yâni doğal bir süreçle) ısı transferi gerçekleştiğinde, sistemin toplam entropisi artmaktadır. Bu da, Entropi'nin bütün doğal süreçlerde artacağını, Zaman Oku'nun hep ilerleyen süreçle aynı istikamette olduğunu öngören genel hükmün bir doğrulanmasıdır.

## Serbest Genleşmede Entropi Değişimi



Gazın ilk hacmi:  $V_i$ , son hacmi:  $V_s$ ; gaz genleştiği için,  $V_s > V_i$  olur. Genleşin gaz tekrar kendiliğinden eski, hâline dönemeyeceği için işlem ‘tersinmez’dir. Ayrıca, gazın bu genleşmesi bir “ânî genleşme” olduğu için yarı kararlı da değildir. Gaz tarafından boşluğa karşı yapılan iş sıfırdır ( $W=0$ ). Sistem izole edilmiş olduğu için ısı transferi yoktur ( $Q=0$ ); yâni işlem bir ‘adiyabatik işlem’dir.

I. Kanun’dan,

$$Q = W + \Delta U$$

yazabileceğimiz için  $W=0$  ,  $Q = 0$  almak sùretiyle,  $\Delta U = 0$  bulunur; yâni, İç Enerjideki değişme sıfırdır. Bu sebeple de,

$$U_1 = U_2 \text{ veya } U_{\text{son}} = U_{\text{ilk}} \text{ olacaktır.}$$

Gaz idealdir;  $U$  sadece  $T$ ’ye bağlıdır.  $U_{\text{son}} = U_{\text{ilk}}$  olduğu için  $T_{\text{son}} = T_{\text{ilk}}$  olacaktır ( $T$ : sabit)

İşlem tersinirdir; bu sebeple

$$\Delta S = \int_{\text{ilk}}^{\text{son}} dS = \int_{\text{ilk}}^{\text{son}} \frac{dQ_r}{T}$$

ifadesi kullanılamaz.  $Q=0$  olduğundan  $\Delta S=0$  olacağı düşünülebilir ise de bu doğru değildir.  $\Delta S$ ’in hesaplanabilmesi için ilk ve son durumlar birbirine bir tersinir yol ile bağlanırlar. Bu yol ise,  $V_i$ ’yi  $V_s$ ’ye bağlayan izotermal genleşmedir. İzotermal Genleşme, Serbest Genleşme’den farklı olmasına rağmen aralarında çok mühim bir ortak nokta vardır: Her ikisinin ilk ve son durumları sabit sıcaklıkta oluşan birer denge durumudur. (İzotermal genleşmede ara sıcaklıklar bilindiği halde Serbest genleşmede bilinemez; ancak bu vaziyet, ilk ve son denge durumları bakımından benzer olmalarını engellemez.) Entropi ise bir hâl fonksiyonu olmakla ara süreçlerden bağımsız olduğuna binâen, İzotermal Genleşme’ye âit



$$\int dQ_r = Q = W = nRT \ln \frac{V_s}{V_i}$$

bağıntısı kullanılarak, (T sabit alınarak)

$$\Delta S = \int_{ilk}^{son} \frac{dQ_r}{T} = \frac{1}{T} \int_{ilk}^{son} dQ_r = \frac{1}{T} nRT \ln \frac{V_{son}}{V_{ilk}}$$

$$\Delta S = nRT \ln \frac{V_{son}}{V_{ilk}}$$

elde edilir.

$V_{son} > V_{ilk}$  olduğundan  $\frac{V_{son}}{V_{ilk}} > 1 \therefore \ln \frac{V_{son}}{V_{ilk}} > 0 \ln \frac{V_{son}}{V_{ilk}} > 0$  ve sonuç olarak da,

$$\Delta S > 0$$

olur.

## EK NOT I

### Termodinamik'in Kurucu Babası

## Nicolas-Leonard Sadi Carnot

(1 Haziran 1796, Paris - 24 Ağustos 1832, Paris)

*AnaBritannica, Genel Kültür Ansiklopedisi.*, Ana Yayıncılık A.Ş. ve Encyclopaedia Britannica, Inc. İşbirliği İle Yayınlanmıştır., İstanbul 1986-1992., Cilt: 5., s.353a-c



Sadi Carnot, A. Bailly'nin bir çalışmasından yapılmış oymabaskı, 1813, Bibliothèque Nationale, Paris

**Carnot, (Nicolas-Leonard-) Sadi,** (d. 1 Haziran 1796, Paris - ö. 24 Ağustos 1832, Paris), ısı Makineleri kuramına ilişkin Carnot çevrimini tanımlayan Fransız bilim adamı.

Fransız Devrimi'nin önde gelen kişilerinden Lazare Carnot'nun en büyük oğlu olan Carnot'ya, doğduğu sıralarda yapıtları Paris'te oldukça ilgi gören İranlı şair ve filozof Şirazlı Sadi'nin adı verilmişti. Carnot'nun yaşamının ilk yılları kargaşalı bir döneme rastladı; bu dönemde ailesinin durumu sürekli değişikliklere uğruyordu. Sadi doğduktan kısa bir süre sonra babası ülkeden kaçmak zorunda kaldı. 1799'da geri dönerek 1800'de Napoleon'un savaş bakanı oldu, ama kısa süre sonra istifaya zorlandı. Askeri ve politik konularda olduğu kadar matematik ve mekanik üzerine de yazılar yazan baba Carnot, politik görevinden ayrıldıktan sonra oğlunun eğitimine yön vermek için gerekli boş zamanı bulabildi.

1812'de Sadi, öğretim kadrosunda, fizik ve kimyadaki son gelişmeleri yakından izleyen ünlü bilim adamlarının yer aldığı ve sağlam bir matematiğe dayalı çok parlak bir eğitim veren Politeknik Okulu'na girdi. 1814'te mezun olduğunda Napoleon'un imparatorluğu sallantıdaydı ve Avrupa orduları Fransa'yı işgal ediyordu. Kısa süre sonra Paris kuşatıldığında, öteki öğrencilerle birlikte kentin dış bölgelerinde işgalcilere karşı çarpıştı.

Yetişmiş olduğu meslekte çalışılmamasına, terfi ettirilmemesine ve kıdemine ilişkin çeşitli tartışmalara karşın Sadi, uzun bir süre orduda subay olarak kaldı. 1819'da yeni kurulan Genelkurmay'a atandıysa da kısa bir süre sonra yarı maaşla emekli edildi ve Paris'e yerleşerek ordu görevine çağrılacağı günü beklemeye başladı. Arkadaşları onu çok az konuşan, çekingen ama bilim ve teknik ilerlemeler konusunda doymak bilmez bir merak sahibi bir insan olarak nitelendirirlerdi.

Artık, yaşamının olgun, yaratıcı dönemi başlamıştı. Sadi, fizik ve kimya konularında işçiler için düzenlenen konferanslara katıldı. Derin kavrayışı ve genelleştirme yeteneğiyle sonradan kuramlarına açıklık kazandıracığı ünlü fizikçi ve başarılı sanayici Nicolas Clément-Desormes ile yaptığı uzun tartışmalar da onu çok etkiledi.

Carnot'nun üzerinde durduğu temel sorun, yüksek verimli buhar Makinelerinin tasarımına ilişkindi. Madenlerden dışarı su pompalamak, liman ve ırmaklarda kazı yapmak, demir dövmek, tahıl öğütmek ve iplik eğirip kumaş dokumak gibi çeşitli alanlarda buhar gücünden yararlanılıyordu. Ama Makinelerin verimi düşüktü. İngiltere'yle yapılan savaştan sonra Fransa'ya gelişmiş Makinelerin ithal edilmesiyle Carnot, Fransız Makine tasarımcılığının oldukça geri kalmış olduğunu gördü. En çok da, İngiliz Makine sanayisinin, resmî bir bilim eğitimi almamış birkaç mühendisin yaratıcılığıyla hızla ilerlemiş olmasına şaşırıyordu. İngiliz mühendisleri değişik Makine türlerinin gerçek çalışma koşullarındaki verimleri üzerine güvenilir bilgiler toplayıp yaygınlaştırmalardı. Düşük ya da yüksek basınçlı, tek silindirli ya da çok silindirli Makinelerin üstünlükleri konusunda da etkin tartışmalar yapıyorlardı.

Fransa'nın çöküşünde, buhar gücünden yeterince yararlanılamamış olmasının da etken olduğuna inanan Carnot, buhar Makinelerinin verimleri üzerine teknik olmayan bir yapıt hazırlamaya başladı. Kendisinden önce bu konu üzerinde çalışanların, buhar Makinelerinin verimini yükseltme sorununa yaklaşımı, buhann

genleşme ve sıkışmasını elde edilen iş ve tüketilen yakıtla kıyaslamak olmuştü. Carnot ise, 1824'te yayımlanan *Réflexions sur la puissance motrice du feu et sur les machines propres à développer cette puissance* (Ateşin Devindirici Gücü ve Bu Gücü Açığa Çıkaran Makineler Üzerine Düşünceler) adlı makalesinde, öbür araştırmacıların yaptığı gibi mekanik ayrıntularla uğraşmak yerine, Makinedeki sürecin temel niteliğini ele aldı. Carnot, bir buhar Makinesinde hareket enerjisinin, ısının, buhar kazanının yüksek sıcaklığından yoğunlaştırıcının düşük sıcaklığına “düşerken” üretildiğini belirledi ve bunu suyun aşağı düşerken su çarkını döndürmesine benzetti. Çalışmalarını, o dönemde geçerli olan ve ısının yoktan var, vardan yok edilemeyen bir gaz olduğu varsayımına dayanan kalorik kuramı temeline dayandırıyordu. Bu varsayımın yanlış olmasına ve kendisinin makalesini yazarken bu konuda kuşkuvarının bulunmasına karşın, Carnot'nun vardığı sonuçlarla çoğu doğruydü. Özellikle ideal bir Makinenin veriminin, Makineyi çalıştıran maddeye (buhar ya da başka bir akışkan) değil, yalnızca Makinenin en sıcak ve en soğuk bölümlerinin sıcaklıklarına bağlı olduğunu da doğru olarak öngörmüştü.

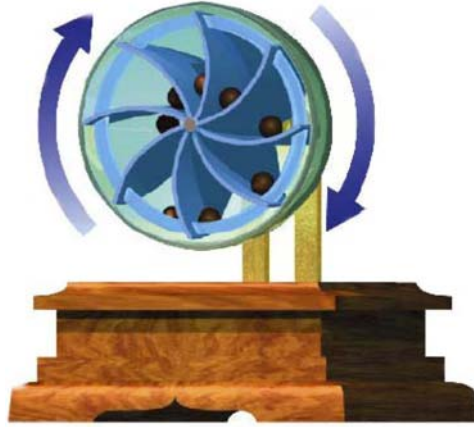
Carnot'nun çalışması, Fransız Bilimler Akademisi'ne resmen sunulmasına ve başında çok iyi bir biçimde tanıtılmasına karşın, 1834'te demiryolu mühendisi Émile Clapeyron, bu çalışmadan alıntılar yaparak Carnot'nun ulaştığı sonuçları geliştirene kadar görmezlikten gelindi. Carnot'nun makalesinin bu kadar geç kabul görmesinde çeşitli etkenler rol oynamıştı; basılı kopyaları sayısı azdı, bilimsel yayınların dağıtımını ağır işliyordu ve ayrıca buhar teknolojisinde önderlik yüz yıldan beri İngiltere'nin elindeyken böyle bir yapıtın Fransa'dan çıkması beklenmiyordu. Sonunda, Carnot'nun görüşleri 1850'de Rudolf Clausius tarafından Almanya'da, 1851'de de William Thomson (sonradan Lord Kelvin) tarafından İngiltere'de geliştirilen termodinamik kuramıyla birleştirildi.

Carnot'nun daha sonraki çalışmalarına ilişkin çok az bilgi bulunmaktadır. 1828'de kendisini “Paris'te buhar Makineleri yapımcısı” olarak tanıtıyordu. Fransa'da 1830 Devrimi'nden sonra rejimin liberalleşmesinin beklendiği sıralarda, Carnot'ya resmî bir görev verilmesi söz konusu olduysa da bundan bir sonuç çıkmadı. Kamu eğitiminin iyileştirilmesi konusuyla da ilgilenen Carnot, mutlakiyetçi monarşi rejimi yeniden kurulduğunda bilimsel çalışmalarına döndü ve bu çalışmalarını 1832'de Paris'teki kolera salgınında ölene değin sürdürdü.



## EK NOT II

# Termodinamik Kanunları ve Devr-i Dâim Makinaları (Perpetuum Mobile)



Görölmüş olduğu gibi, termodinamik kanunları, fizikî varlık âleminde, her nesnenin mutlaka hareket etmek zorunda bulunduğunu ve fakat her hareketin yapılabilmesi için mutlaka bir enerji girdisi gerektiğini ve yine zarûrî olarak her hareketin yüzdeyüzden daha düşük bir verimle yapılacağını ve bu sebebe binâen her başlayan hareketin mutlaka *'birşekilde'* sona ereceğini, evrenin yekûn entropisinin kaçınılmaz olarak artacağını ve bunun da evrenin bir "kader" (fatum)

olarak bir “termal ölüm” ile karşı-karşıya kalması neticesini hâsıl edeceğini göstermektedir.

Fakat, termodinamik kanunlarının keşfedilmesinin çok öncelerinden başlayarak günümüze gelinceye dek, birçok hayalperest veya aşırı derecede gözüpek kişi, bu kanunlardan habersiz olarak veya onlara meydan okuyarak, sürekli bir enerji girdisi olmaksızın çalışarak Dâimî Hareket (Lat.. Perpetuum Mobile, İng.: Perpetual Motion) ilelebed faydalı iş üretecek makinalar tasavvur etmişlerdir ve etmeye de devam etmektedirler.

\*\*

**Matematikî** bir tanım olarak, bir gradyent alanı olmayan bir kuvvet alanı hâsıl eden cihazlar, genel olarak, Devr-i Dâim Makinası ismiyle anılırlar.

**Fizikî** olarak ise, Devr-i Dâim Makinası, başlangıçta bir ilk hareket, yâni bir ilk enerji girdisi verildikten sonra, dışarıdan başka bir enerji almaksızın, dâimî olarak aynı hareketi tekrarlayabileceği, yâni “devri dâim” (*perpetuum mobile*) yapabileceği, yâni, sürekli olarak, enerji girişi olmadan faydalı iş üretebileceği tasavvur edilen fiktif bir makinedir. “İmkânsız Makina” olarak da bilinen bu makina tasavvurları prensip olarak Newton kanunlarına aykırı değildir; aykırılık Enerjinin Korunumu prensibine ve Termodinamik kanunlarıdır. Bu aykırılığa rağmen, bu makinalar, birçok “mahâretli kişi”nin<sup>26</sup> rü’yalarını süslemeğe devam etmiştir.

İmdi I. Kanun,

$$Q = \Delta U (U_2 - U_1) + W$$

denklemleri ile, bir işlemde sisteme verilen (giren) enerji ile sistemde işe dönüşen enerji ve sistemin iç enerjisindeki artışın toplamının sâbit olduğunu öngörmektedir. Halbuki bu makinaların bir kısmında prensip olarak sisteme bir enerji girişi olmadığı hâlde sistemde enerji hâsıl olmaktadır ki, bu, enerjinin yaratılabilmesini kabul etmek demektir ve bu ise, Enerjinin Korunumu prensibinin ihlâli anlamına gelmektedir. Bunun yanında, daha da önemlisi, bu makinalar, sistemde herhangi bir kayıp kabul etmemektedirler ki bu ise gerçek dışı bir illüzyondur. Ve daha fazlası, II. Kanun, I. Kanun ile hiç çelişkiye düşmeden, bir termal proseste, dâimâ, entropi'nin artacağını ve verimliliğin de, sürtünme gibi, mekanik etkilerden müstakillen, yâni onlar sıfır olsa bile, bir makinanın “termal verimliliği”, yâni, Makina tarafından elde edilen faydalı işin (W) Makinaya giren  $Q_h$ 'a oranı

$$e = \frac{W}{Q_h} = \frac{Q_{net}}{Q_h} = \frac{Q_h - Q_c}{Q_h}$$

---

<sup>26</sup> Theodor Finkelstein and Allan J Organ., *Air Engines, The History, Science, and Reality of the Perfect.*, Published in the United Kingdom by Professional Engineering Publishing Limited and published in the United States by ASME Press, The American Society of Mechanical Engineers, New York., 2001, ISBN 0-7918-0171-3., p.4

şeklinde belirlenmiş olduğundan, verimin %100 ( $e=1$ ) olması için  $Q_c = 0$  (K) olması gerekir ki bu da böyle bir makinanın teorik olarak dahi imkânsız olduğunu âmir olduğu hâlde, bu makinalar II. Kanun'un bu şartlarını da gözardı etmektedirler.

\*

\*\*

Şimdi bu konuda, bu makina tasarımlarını, **“Yerçekimi Kuvvetine Dayalı Tasarımlar, Hidrostatik Kuvvetler, Kılcal Yükselmeye Dayalı Tasarımlar, Yerçekimi Kuvvetine Dayalı Tasarımlar, Yerçekimi Kalkanı ve Manyetik Kuvvet”** gibi başlıklar altında toplayan Vural Altın'dan kısa bir alıntı yapalım.<sup>27</sup>

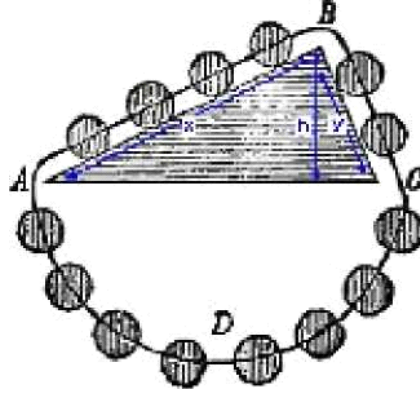
Termodinamik yasaları, Newton yasalarının zorunlu birer sonucu değildirler. Bu nedenle olsa gerek, pek seyrek olmayarak; bu yasaların etrafından dolanılarak, sundukları kısıtların aşılabileceği yanılgısına düşüldüğü olur. Sürtünme kayıpları da gözardı edilince, sonuç bir ‘devr-i daim makinesi’dir. Halbuki bilim insanları termodinamik yasalarını; gaz, sıvı veya katı; büyük ölçekli makroskopik sistemlerin analizinde sık sık kullanırlar. Bunu yaparken; aslında bir yandan da yasaları, bir bakıma sınava tabi tutmakta olup, bunun farkındadırlar. Hatta bazen kendileri, yasalara aykırı görünen tasarım önerileri üretip, aralarında tartışır ve tasarım hatasının belirlenmesi sırasında, gözden kaçan fizik ilkelerinin daha iyi anlaşılmasını sağlamaya çalışırlar. Bunun dışında, geçmişteki uygulamalarının istisnasız biçimde, deney ve gözlemlerle uyumlu sonuçlar vermiş olmasından dolayı, yasalara karşı güven dolu bir gönül rahatlığı içerisindeyler. Dolayısıyla, yasalara uymayan bir tasarımla karşılaştıklarında, tasarımı ellerinin tersiyle kenara itip, ayrıntılarına girmeye gerek görmeksizin, reddederler.

Şimdi de Vural Altın'ın bu makalesinden, **Yerçekimi Kuvvetine Dayalı Tasarımlar**'a basit bir örnek olarak, Hollandalı matematikçi ve mühendis Simon Stevin'in (1548-1620) bir zincire eşit  $d$  aralıkları ile dizilmiş olan eşit  $m$  kütleli ağırlıkların üçgen kesitli sürtünmesiz bir rampanın etrafından dolanması esâsına dayalı olarak tasavvur edilen bir devri dâim makinasını, şeması, açıklaması ve kritiği ile birlikte aktaralım.<sup>28</sup>



<sup>27</sup> Vural Altın., “Nasıl Çalışmaz? Devr-i Daim Makineleri” ., *Bilim ve Teknik.*, Sayı: 446, Ocak 2005, s.46

<sup>28</sup> Vural Altın., aynı makale, s.47



“Eğimi daha dik olan rampadaki kütlelere etki eden yerçekimi kuvvetinin daha büyük olacağı düşüncesiyle, zincirin saat yönünde dönmesi bekleniyor. Kazandığı kinetik enerji yararlı işe dönüştürülebilirse, zincir tekrar dönmeye başlayacak ve sistem, sürekli enerji üreten bir devr-i daim makinesi oluşturacaktır.

Zamanında epeyce tartışılmış olan bu tasarımdaki hatayı, Newton’un ikinci yasasını kullanarak göstermek mümkün. Çünkü,  $x$  rampasındaki kütlelerin ağırlığının  $(mgx/d)$  rampaya paralel olan bileşeni  $(mgx/d)\sin A$ , diğer rampadakilerinki de  $(mgy/d)\sin C$ ’dir. Halbuki öte yandan,  $\sin A = h/x$  ve  $\sin C = h/y$  olduğundan, bu bileşenlerin ikisi de  $mgh/d$ ’ye, dolayısıyla birbirine eşit olur. Başlangıçta eğer durağansa, zincirin harekete geçmesi mümkün değildir. Yok, eğer başlangıçta bir itkiyle harekete geçirilmişse; sürtünmenin gözardı edilmiş olması nedeniyle, hareketine sabit hızla devam eder. Ancak sistemden enerji alınmaya kalkışıldığında, kinetik enerjisi azalır ve tükendiğinde durur.

Stevin bu problemi, Newton yasalarının bilinmediği bir dönemde irdelerken, ‘sanal iş’ (‘virtual work’) ilkesini keşfetmiştir. İlkeyi şöyle açıklamak mümkün: Herhangi bir sistemi ele alıp, dışarıdan üzerine uygulanan tüm kuvvetlere ve dönme momentlerine bakalım. Sonra da sistemin, olası bir hareket biçimi çerçevesinde, az biraz, ‘diferansiyel’ bir miktarda hareket ettiğini veya döndüğünü varsayalım. Eğer bu ‘sanal’ hareketi sırasında, sistemin üzerindeki kuvvetlerin veya dönme momentlerinin yaptığı işlerin toplamı sıfırsa, sistem bu hareketinden dolayı enerji kazanamaz. Sonuç olarak bu hareketi de yapmaz: Niye yapsın ki? Eğer sanal iş miktarı negatifse, sistemin hareket etmesi için, tam tersine, dışarıdan üzerine iş yapılması gerekir. Dolayısıyla; sistemin harekete geçmesi için, sanal iş miktarının pozitif olması gerekir; ki sistem, hareketi için gerekli olan, hareketinin temsil ettiği kinetik enerjiyi kazanabilsin. İlke, dögüsel hareket tasarımları için, bir periyot üzerinden kullanılmak durumundadır.

Dikkatli incelemeleriyle, statik sistemlerin kararlılık analizinde bugün dahi hâlâ sıkça kullanılan sanal iş ilkesini aydınlanma çağı öncesinin alacakaranlığında keşfetmiş olan Stevin’in anısına, yukarıdaki şekil mezar taşına kazanmıştır.



\*

\*\*

Percy Verance ise, bu konuda kaleme aldığı hacimli ve mufassal eserinde, devri dâim makinalarını daha detaylı bir şekilde sınıflandırmıştır:

Bölüm I: Tekerler ve ağırlıklar vâsıtası ile yapılan cihazlar;

Bölüm II: Yuvarlanan ağırlıklar ve eğik düzlemler vâsıtası ile yapılan cihazlar;

Bölüm III: Hidrolik ve hidro-mekanik cihazlar;

Bölüm IV: Pnömatik sifon ve hidro-pnömatik cihazlar;

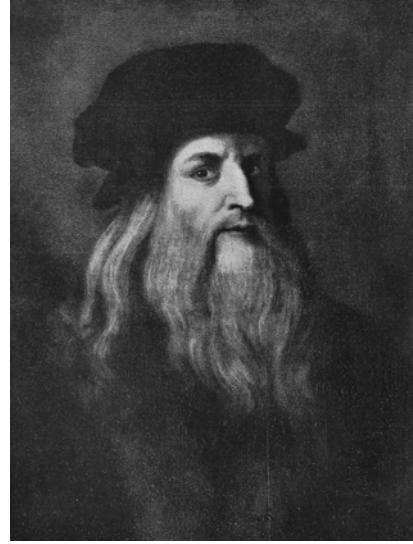
Bölüm V: Magnetik Cihazlar;

Bölüm VI: Kapillar çekim ve fizikî temâyülden (*affinity*) istifâde edilerek yapılan cihazlar;

Bölüm VII: Bir dâimî hareket vâsıtası olarak sıvı hava;

Bölüm VIII: Bir “tasarlanmış dâimî hareket” olarak farzedilen radyum ve radyo-aktif cevherler.

Verance’ın bu kitabında konu edindiği dikkat çekici bir örnek de Leonardo da Vinci’ye (15 Nisan 1452 – 2 Mayıs 1519) âit olduğu ileri sürülen, mekanik kuvvetlere göre dizayn edilmiş olan devri dâim makinası tasarımıdır. Verance’ın bildirdiğine göre, Leonardo’nun bu tasarımı kesin değildir, daha ziyâde ikinci el kaynaklara dayanmaktadır ve makinanın inşâi ve çalışma prensibi hakkında da detaylı bilgi bulunmakta değildir. Kitabında, ikinci el kaynaklara dayanarak altı adet şekil de veren Verance, özetle, şu açıklamalarda bulunmaktadır.<sup>29</sup>



Şekil 1, 15nci yüzyıla âit olup, daha sonra geliştirilmek üzere hazırlanmış bir ilk taslak gibi görünmektedir. Bu düzenek, yataklanmış bir tambur üzerinde, hareketi, yekdiğerine aktarmak üzere tasarlanmış ağırlıklar ve toplardan oluşmuştur.

Şekil 2’de, mücütin, biri dışarıya, diğeri içeriye doğru düşecek şekilde, yine yataklanmış bir tambur etrafında dizilmiş ağırlıklardan oluşmuş bir tasarı üzerinde çalıştığı görülmektedir.

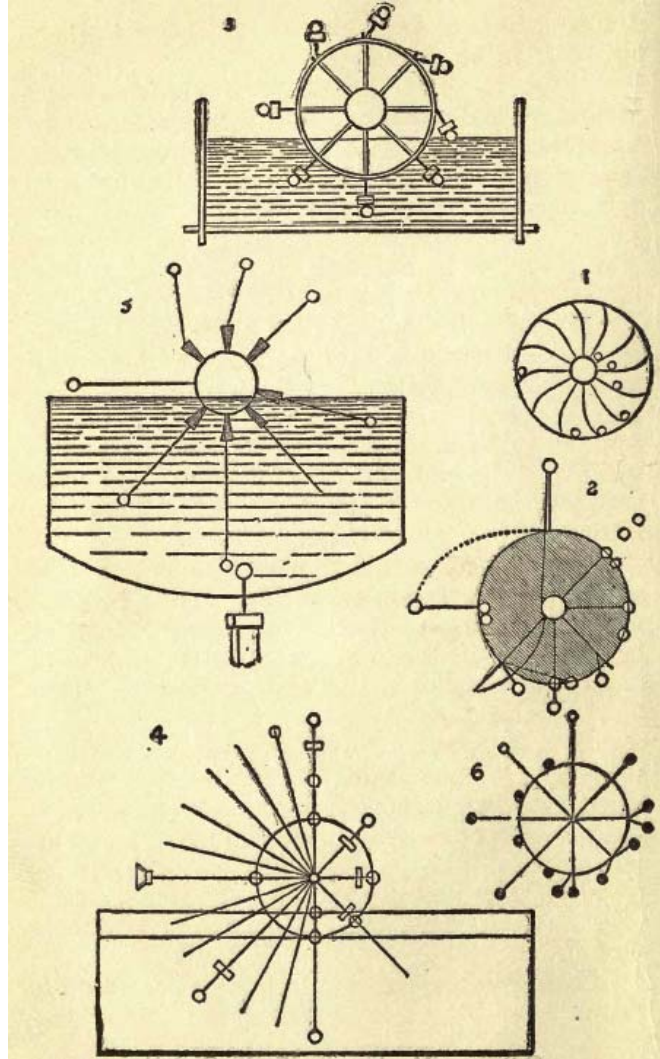
Şekil 3’te, ağırlıkları kaldırmakta ortaya çıkacak olan güçlüklerin suyun kaldırma kuvvetinden istifâde edilmek suretiyle bertaraf edilmesi istendiği anlaşılmaktadır ve bunun için de ağırlıklar su dolu bir kap içinden geçirilmektedir.

<sup>29</sup> Percy Verance., *Perpetual Motion.*, 20th Century Enlightenment Specialty Co., 1916., pp.29-31

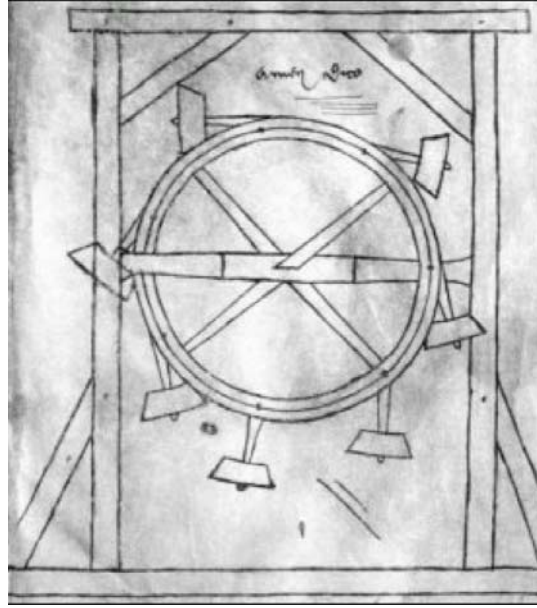
Şekil 4, 3ncü şekilde, içinden çıkılması çok zor olan bazı müşkilâtların ortaya çıkması üzerine, tasarlanmış olabileceği düşünülmektedir; fakat burada da aynı müşkilâtlar giderilmiş değildir: Uzun kolun ucunda bulunan ağırlığın sıvının içinde batması eğilimi taşımasına karşılık, bu ağırlığın nasıl olup da tekrar geriye alınabileceği açıklık kazanmış değildir.

Şekil 5, daha önceki tasarımların bir varyasyonu ve tamamlanmamış bir çizim olarak görülmekte olup, ya aşağıda görülen makina tarafından çalıştırılmayı veya onu çalıştırmayı amaç edinir görünmektedir ve muhtemelen bu tasarımda, kabın dibinde bir magnet tasavvur edilmiştir.

Şekil 6'ya gelince: Burada, iki tasarım bir çizim olarak gözükmektedir. Bir yanda, uçlarında birer ağırlık ve civârında her ikisinin arasında bir ağırlık bulunan uzun basit kaldıraçlar ve diğer yanda ise, çifte veya çatallaşmış kaldıraçlar ve çifte ağırlıklar bulunmaktadır ve bu hâliyle, ancak, bir ön proje olduğu izlenimini vermektedir.



Devri dâim makinaları için tasarlanan enerji kaynaklarından birisi, sürtünmesiz bir çark tertibatı vâsıtası ile döndürülen eşit ağırlıklı cisimlerin çark aşağı inerken yapacağı faydalı iş için yerçekimini kullanırken, yukarıya çıkarken yer çekimine karşı yapılması gereken işe tamamen eşit olması gerektiği gibi saf ve fakat tabii ki yanlış bir düşünceden yola çıkmaları ve bu esnada vuku' bulacak kayıpları ve geriye artacak entropiden habersiz oluşlarıdır. Aşağıda, bu konuda, Villard de Honnecourt tarafından tasarlanan 1230 tarihli bir çark düzeneğinin krokisi görülmektedir. Çarkın etrafına yerleştirilmiş sekiz adet çekiç, tasarıya göre, birisi aşağıya inerken diğerinin yukarıya çıkmasını sağlayacak ve bu süreç sonsuzca devam edecektir.

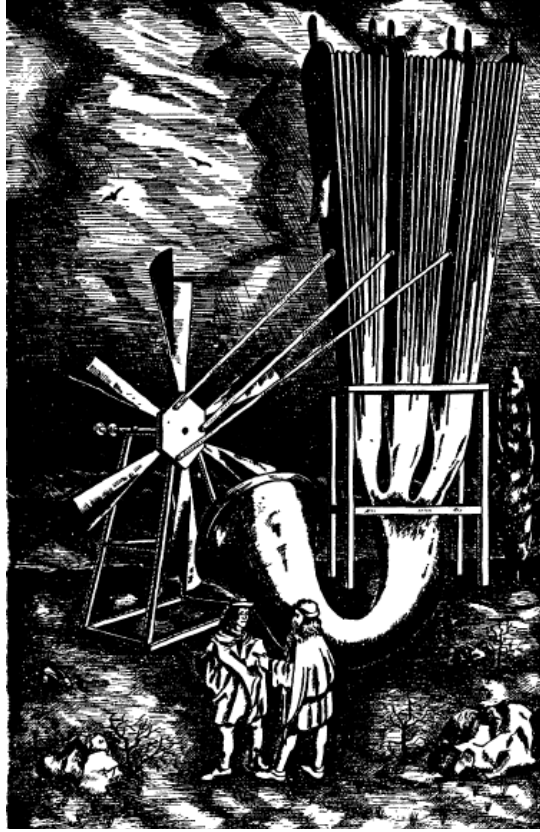


Da Vinci ile yaklaşık aynı yüzyılı paylaşan İtalyan filozof, tabip, astrolog ve kimyacı olan, San Pietro'lu Mark Ant(h)ony Zimara (1460 – 1523, veya 1532) da, bir devri dâim makinası tasarısı üzerinde çalışmıştır. Zimara, 1505'de yayınladığı *Quæstio de movente et motu* adlı eserinde, herhangi bir çizim yapmadan, kalitatif olarak sürekli faydalı mekanik iş üretecek bir değirmen tasviri yapmış ve temel çalışma prensibini de “Motus Perpeti Mechanici” (Dâimî Mekanik Hareket) başlıklı pasajda şöylece îzah etmiştir.<sup>30</sup>

Dört veya daha fazla kenarı olan, bir rüzgâr değirmeni tekeri gibi, yükseltilmiş bir teker inşâ et ve ona zıt olarak iki veya daha fazla muhkem körük yerleştir, öyle ki, kanatları tekeri sür'atle döndürebisinler. Tekerin çevresine veya merkezine (ki yapımcısı daha iyisini düşünebilir), tekerin kendisi döndükçe körükleri işletecek bir cihaz irtibatlandır (bu yapımcının

<sup>30</sup> Bkz.: G. Kasten Tallmadge., “The Perpetual Motion Machine of Mark Antony Zimara”. *Isis*, Vol. 33, No. 1, March 1941., pp.11-12

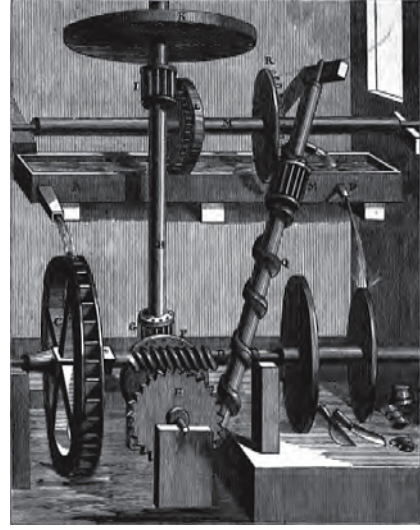
mahâretinin bir onur belgesi olacaktır). Tekerden rotora rüzgâr geldiğinde dönen teker tarafından harekete geçirilen körüklerin kendileri dâimî (kesintisiz) olarak rüzgâr hâsıl edeceklerdir. Bu, muhtemelen, saçma değildir fakat yüce gayeyi, “dâimî hareket”i (*perpetuum mobile* – D.H) araştırma ve keşfetmenin başlangıç noktasıdır; öyle bir başlangıç noktası ki, onu hiçbir yerde okumuş değilim, hiçbir kimsenin çalıştırıp sonuç aldığını bilmediğim gibi.



Zimara'nın, Layton School of Art, Milwaukee'den Burton Lee Potterveld tarafından, Zimara'nın târiflerine göre çizilmiş olan **Rüzgâr Değirmeni** tasarımı<sup>31</sup>

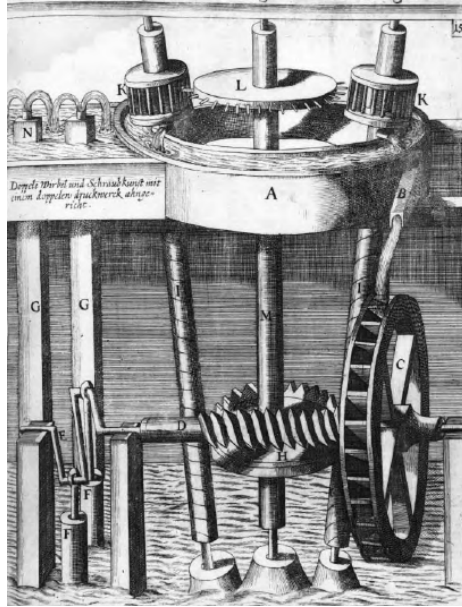
Devri dâim makinası tasarlama konusundaki bir hayli bol örnekten birisi de, “Su Çarkları”dır. Prensip olarak, bir haznedeki bir havuza akıtılan bir miktar suyun bu akış esnâsında bir çarkı çevirerek faydalı (net) bir mekanik iş yapması ve sonra tekrar enerji kayıpsız olarak hazneye geri dönmesi esâsı üzere tasarlanmışlardır. Bu girişimlerden birisi, da Vinci'den bir asırdan daha uzunca bir müddet sonra, Robertus de Fluctibus olarak da tanınan Robert Fludd tarafından 1618'de yapılan ve değirmen taşlarını çevirmek üzere tasarlanan “Su Çarkı”dır.

<sup>31</sup> G. Kasten Tallmadge., aynı makale., s.13



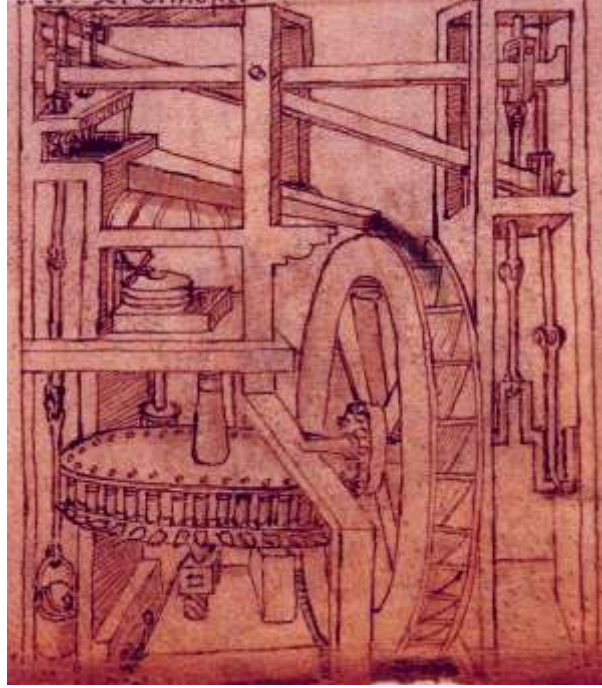
Robert Fludd (1574-1637) ve “Su Çarkı” devri dâimisi

Aşağıdaki şekilde de, mîmar Georg Andreas Boeckler (1644-1698) tarafından tasarlanan ve *Theatrum Machinarum Novum* (Nuremberg, 1662) isimli eserinde yer alan ve aynı mantıkla kurgulanmış bir başka su çarkı devri dâimisi görülmektedir.<sup>32</sup>



<sup>32</sup> Jonathan Sawday., *Engines of the Imagination; Renaissance Culture and the Rise of the Machine.*, Simultaneously published in the USA and Canada by Routledge, 270 Madison Ave, New York, NY 10016., ISBN 0-203-69615-8 Master e-book ISBN., p.119

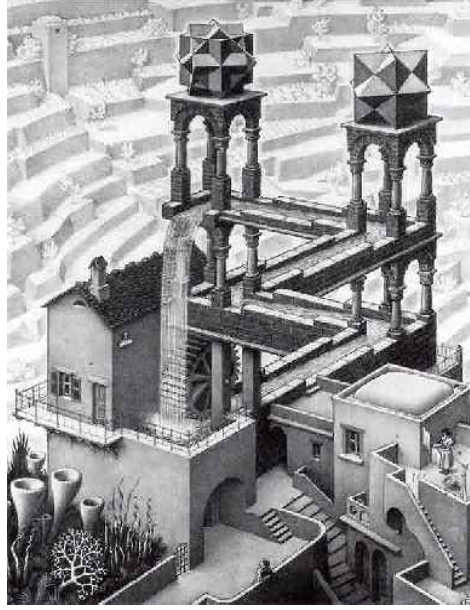
Rönesans dönemi sanatçılarından Francisco di Georgio da, aşağıdaki şekilde gösterilen bir su çarkı ile devri dâim elde etmeyi planlamıştır. İçi su dolu bakraçların bir tekere bağlanması ve tekerin hareketi esnâsında bakraçların aşağı inerken diğer bakraçları yukarıya çıkarabileceği düşüncesi üzerine kurulan plan ilk bakışta oldukça kompakt görünmesine karşılık, daha dikkatle bakıldığında, aşağı inen bakraçların hâsıl edeceği kinetik enerjinin yukarı çıkacak olan bakraçlara aktarımındaki kayıpları gözardı etmesi prensip olarak imkânsızlığı ortaya kormen, ayrıca, çizimde gösterilen bakraçların da, değirmen taşının ebadına nisbetle çok küçük oluşu ise bu planın zâten pratikte hiçbir değerinin olamayacağı intibâını uyandırmaktadır.



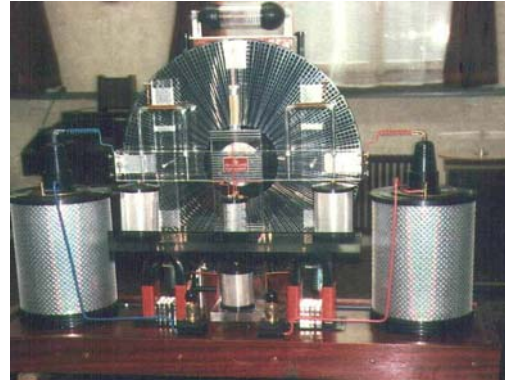
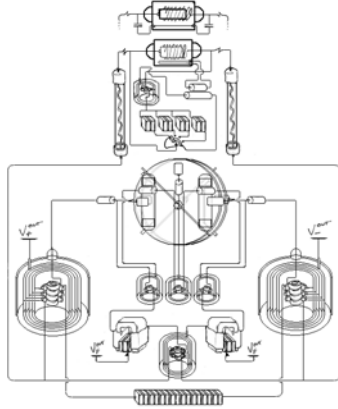
\*

\*\*

Su Çarkları ile yapılması tasarlanan su değirmeni devri dâimisine yakın zamandan bir örnek, M. C. Escher'e (1898-1972) âittir. Proje, değirmenden gelen suyun su çarkını çevirdikten sonra tekrar su haznesine geri döneceğini ve bu sürecin sonsuz kere tekrarlanabileceğini öngörmektedir. Ancak, bu durumun imkânsızlığı bir yana, mûcudin, projesini bir akarsu kenarında gerçekleştirmek isyemesi, de ayrıca dikakt çekicidir.

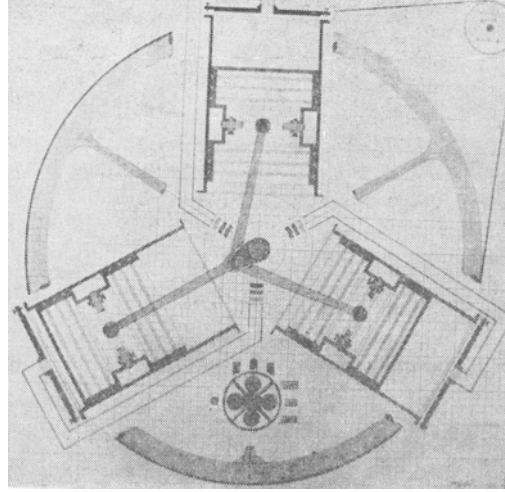
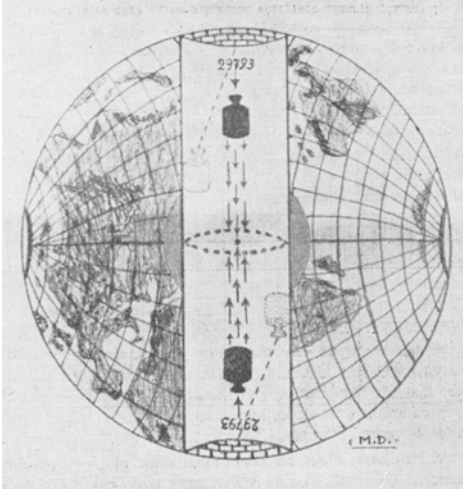


Devri dâim makinası yapma konusundaki gayretler sona ermiş değildir; günümüzde de devam etmektedir. Bu husustaki en yakın misallerden birisi de, 1898 tarihli, bir endüktans devresi, bir kapaistans devresi, ve termionik valfi ihtivâ eden Pidgeon elektrostatik makinası üzerine temellendirilen Testatika'dır. Aşağıda solda bu makınanın elektrik devre şeması ve sağda da îsmâl edilmiş olan İsveç M-L konvertörü veya Thesta-Distatica olarak bilinen modelidir.



Bu konuda Türkiye'den bir örnek de, benim talebelik yıllarımda İstanbul Teknik Üniversitesi'nin kapılarını aşındıran Mehmet Doğruluk isimli bir zâtın fantastik kurgulamalarıdır. Akademisyenleri cehâletle suçlayan ve kendisini, Newton ve Einstein'dan sonra bilimde devrim yapan üçüncü süper dâhi îlân eden bu zât, bozuk bir Türkçe ile kaleme aldığı *Bilim'de İhtilâl* isimli hezeyan dolu eserinde, sınırsız olarak enerji üretecek makina projeleri sunmaktadır. Aşağıda,

solda, Doğruluk'un, Yerçekimi diye birşey olmadığını isbat sadedinde çizdiği şekil ve sağda ise sürtünmesiz ve sıfır kayıplı bir devri dâim elektrik motoru şeması görülmektedir.<sup>33</sup>



<sup>33</sup> Mehmet Doğruluk., *Bilim'de İhtilâl.*, Dilek Matbaası, İstanbul, 1973; şekiller: s.45 ve s.75