

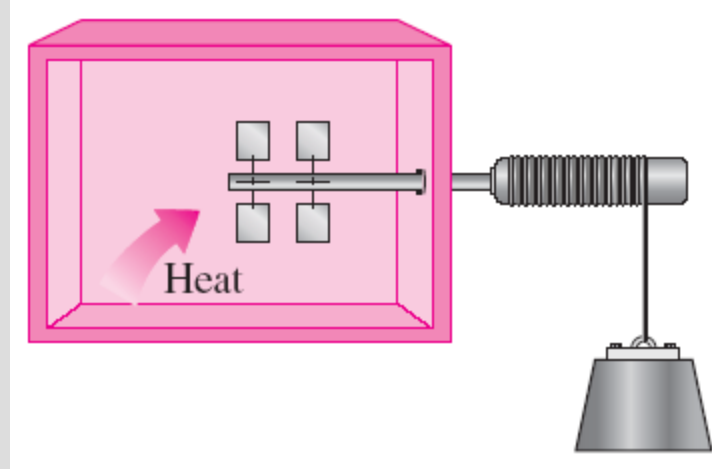
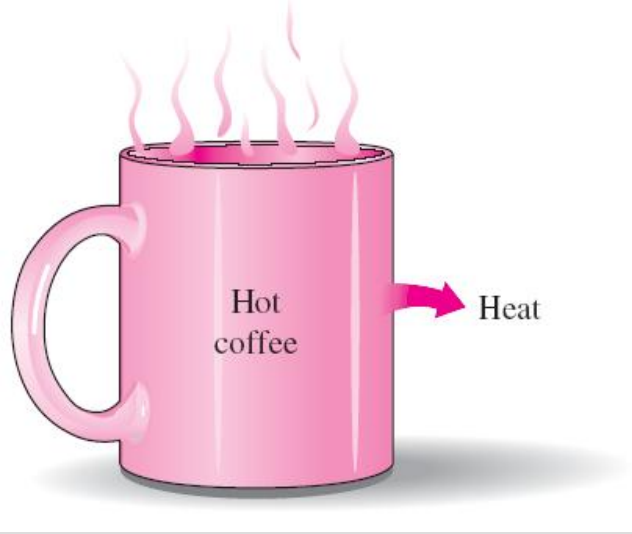
**Bölüm 2**  
**TERMODİNAMİĞİN İKİNCİ**  
**YASASI**

**Ceyhun Yılmaz**  
**Afyon Kocatepe Üniversitesi**

# Amaçlar

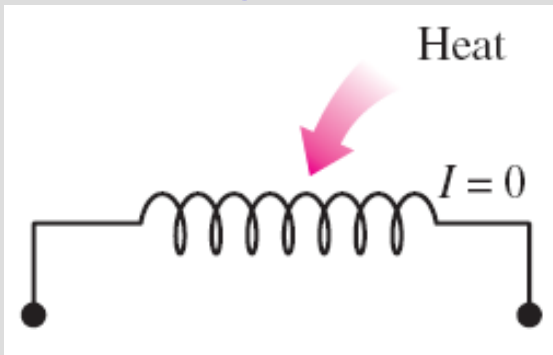
- Termodinamiğin ikinci yasasına giriş yapmak.
- Termodinamiğin birinci ve ikinci yasalarını birlikte sağlayan geçerli hal değişimlerini belirlemek.
- Isıl enerji depoları, tersinir ve tersinmez hal değişimleri, ısı makineleri, soğutma makineleri ve ısı pompaları kavramlarını tanımak.
- Termodinamiğin ikinci yasasının Kelvin-Planck ve Clausius ifadelerini tanımlamak.
- Devridaim makineleri kavramlarını tartışmak.
- Termodinamiğin ikinci yasasını çevrimlere ve bir çevrim gerçekleştirerek çalışan makinelere uygulamak.
- Mutlak termodinamik sıcaklık ölçeğini belirlemek için ikinci yasanın uygulanması.
- Carnot çevriminin tanımlanması.
- Carnot ilkelerinin, ideal Carnot ısı makinelerinin, soğutma makinelerinin ve ısı pompalarının incelenmesi.
- Tersinir ısı makineleri, ısı pompaları ve soğutma makineleri için ısı verim ve etkinlik katsayıları ifadelerinin belirlenmesi.

# TERMODİNAMİĞİN İKİNCİ YASASINA GİRİŞ



Çarka ısı geçişi çarkın dönmesini sağlamaz.

Daha soğuk bir odada bulunan bir fincan sıcak kahve daha çok ısınmaz.

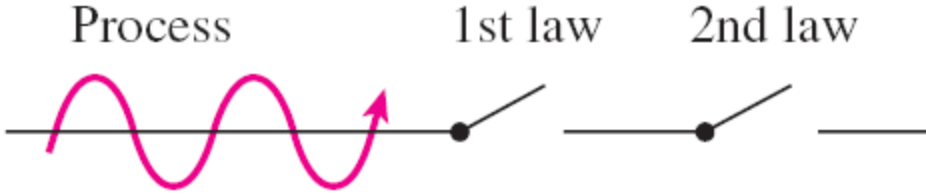


Tele ısı geçişi elektrik üretimine yol açmaz.

Bu işlemler birinci kanuna uymalarına rağmen, gerçekleşemezler.



Hal değişimleri belirli bir yönde gerçekleşir. Ters yönde gerçekleşmez.

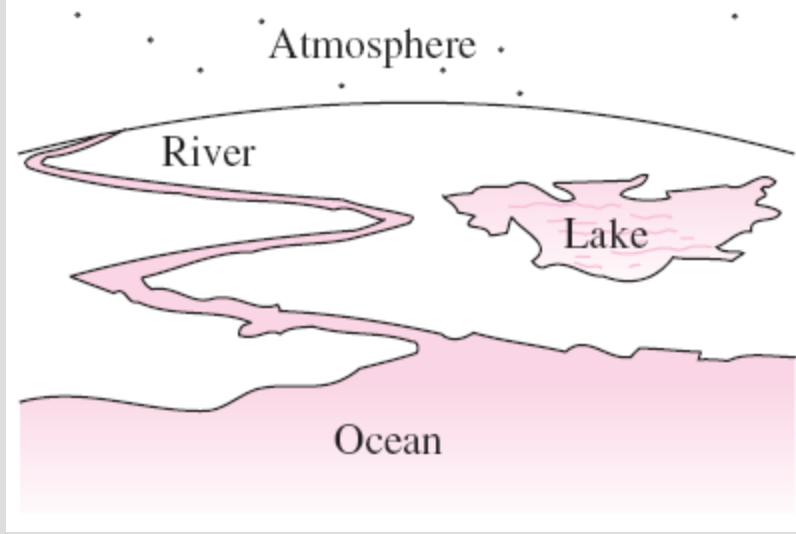


Bir hal değişiminin gerçekleşebilmesi için termodinamiğin birinci ve ikinci yasalarının sağlanması zorunludur.

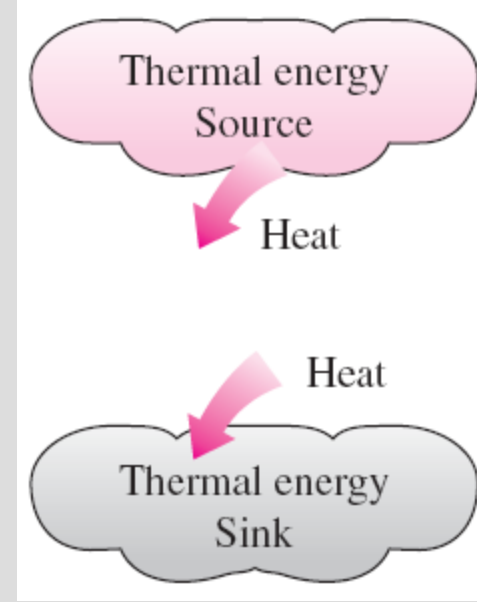
## İKİNCİ YASANIN ESAS KULLANIMI

1. İkinci yasa hal değişimlerinin yönünü açıklayabilir.
2. İkinci yasa aynı zamanda enerjinin niceliği kadar niteliğinin de olduğunu öne sürer. Birinci yasa, niteliğiyle ilgilenmeksizin, enerjinin niceliğiyle ve bir biçimden diğerine dönüşümüyle ilgilidir. İkinci yasa, enerjinin niteliğinin ve bir hal değişimi sırasında bu niteliğin nasıl azaldığının belirlenmesinin gerekli vasıtalarını sağlar.
3. Termodinamiğin ikinci yasası, yaygın olarak kullanılan ısı makineleri ve soğutma makineleri gibi mühendislik sistemlerinin verimlerinin kuramsal sınırlarının ve kimyasal reaksiyonların hangi oranda tamamlanacaklarının belirlenmesinde de kullanılır.

# ISIL ENERJİ DEPOLARI

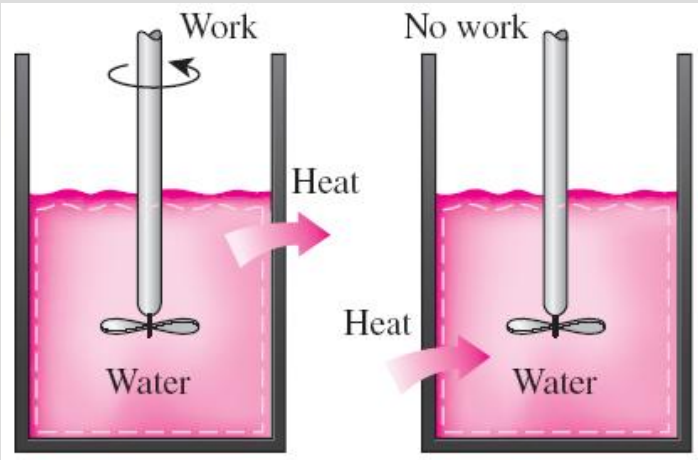


Isıl enerji sığaları büyük kütleler, ısıl enerji deposu olarak tanımlanabilir.

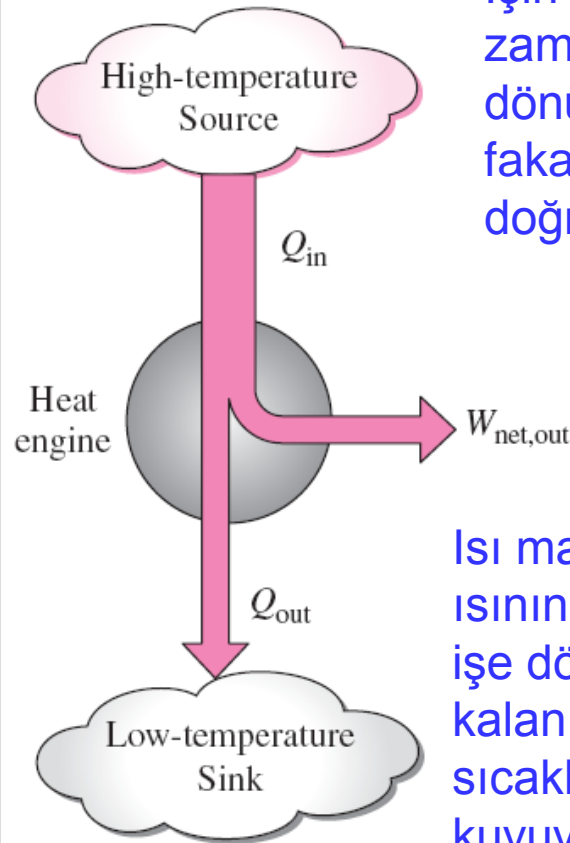


Isıl kaynak ısıl enerji sağlar, ısıl kuyuya ısıl enerji verilir.

- Sıcaklığında bir değişim olmaksızın, sonlu miktarda ısıyı verebilecek ya da alabilecek büyüklükte ısıl enerji sığasına (**kütle x özgül ısı**) sahip cisimler **ısıl enerji deposu** veya yalnızca depo olarak adlandırılır.
- Uygulamada atmosferik hava kadar, okyanuslar, göller ve akarsular gibi büyük su kütleleri de büyük enerji depolama yetenekleri veya ısıl kütleleri nedeniyle, birer ısıl enerji deposu olarak düşünülebilirler.



İşin tümü her zaman ısı enerjisiye dönüştürülebilir, fakat bunun tersi doğru değildir.



Isı makinesi aldığı ısının bir bölümünü işe dönüştürür, geri kalanını düşük sıcaklıktaki bir ısı kuyuya verir.

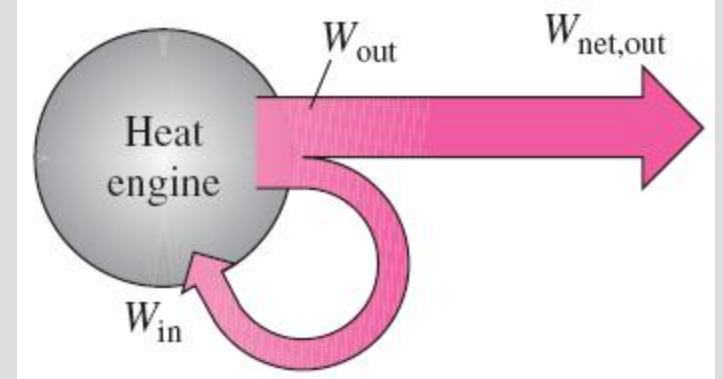
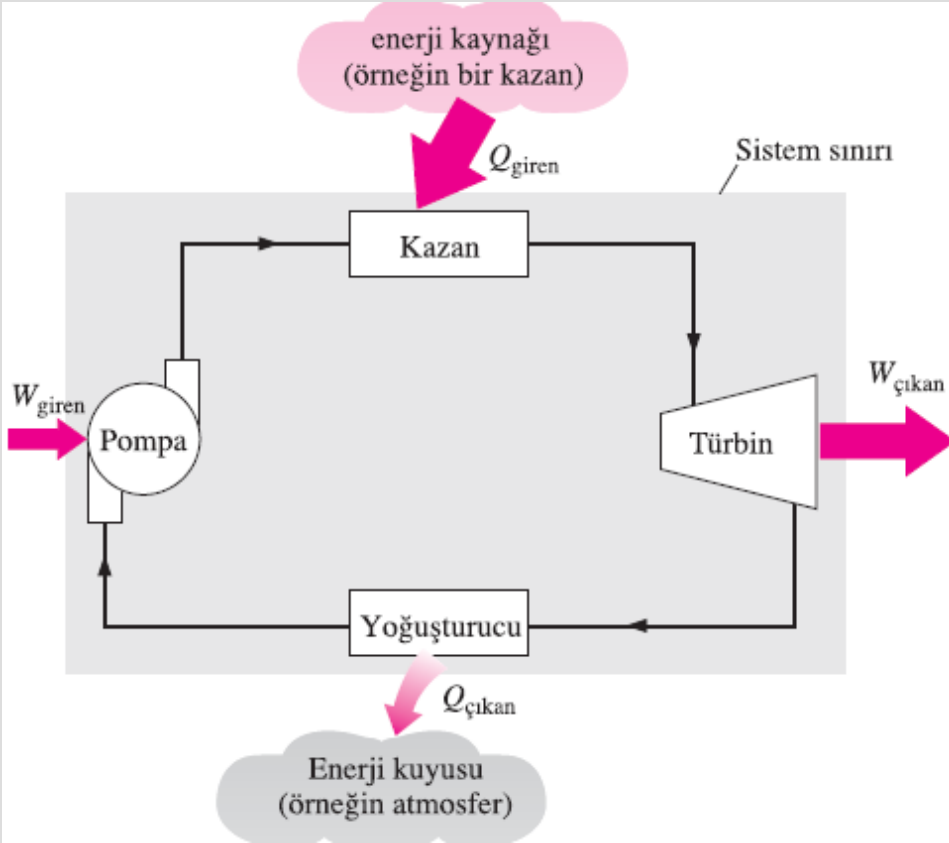
# ISI MAKİNELERİ

Isı Makineleri ısıyı işe dönüştürürler.

1. Yüksek sıcaklıktaki bir kaynaktan (güneş enerjisi, kazanlar, nükleer reaktörler vb.) ısı alırlar .
2. Bu ısının bir kısmını işe (genellikle dönen bir mil işi biçiminde) dönüştürürler.
3. Geri kalan atık ısıyı düşük sıcaklıktaki bir kuyuya (atmosfer, akarsular, vb.) verirler.
4. Bir çevrim gerçekleştirerek çalışırlar.

Isı makineleri ve bir çevrime göre çalışan diğer makineler, çevrimi gerçekleştirirken ısı alışverişini yapabilecekleri ortam olarak genellikle bir akışkan içerirler. Bu akışkana **iş akışkanı** denir.

# Bir buharlı güç santrali



Isı makinesinin yaptığı işin bir bölümü, sürekli çalışmayı sağlamak için çevrim içinde kullanılır.

$$W_{net,out} = W_{out} - W_{in} \quad (\text{kJ})$$

$$W_{net,out} = Q_{in} - Q_{out} \quad (\text{kJ})$$

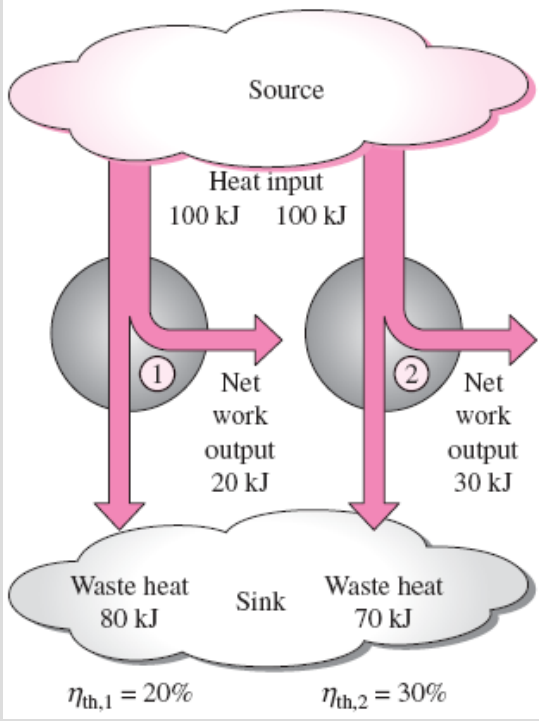
$Q_{giren}$  = Yüksek sıcaklıktaki ısı kaynağından (kazandan) suya geçen ısı miktarı.

$Q_{cıkan}$  = Yoğuşturucuda buhardan düşük sıcaklıktaki kuyuya (atmosfer, akarsular vb.) geçen ısı miktarı.

$W_{cıkan}$  = Türbinde genişlerken buhar tarafından üretilen iş miktarı.

$W_{giren}$  = Suyu kazan basıncına sıkıştırmak için gereken iş miktarı.

# Isıl verim



Bazı ısı makinelerinin verimi daha yüksektir (aldıkları ısının daha büyük kısmını işe dönüştürürler).

$$\text{Isıl verim} = \frac{\text{Elde edilen net iş}}{\text{Toplam giren ısı}}$$

$$\eta_{th} = \frac{W_{\text{net, çıkan}}}{Q_{\text{giren}}}$$

$$\eta_{th} = 1 - \frac{Q_{\text{çıkan}}}{Q_{\text{giren}}}$$

$$W_{\text{net, çıkan}} = Q_{\text{giren}} - Q_{\text{çıkan}}$$



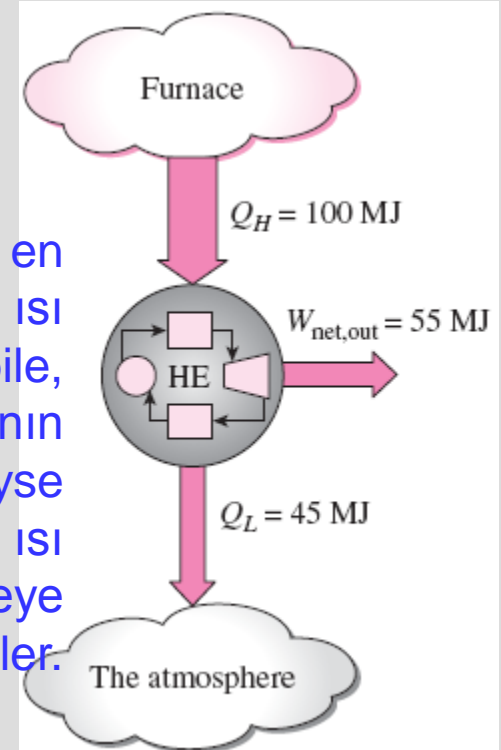
Isı makinesinin genel gösterimi.

$$W_{\text{net, çıkan}} = Q_H - Q_L$$

$$\eta_{th} = \frac{W_{\text{net, çıkan}}}{Q_H}$$

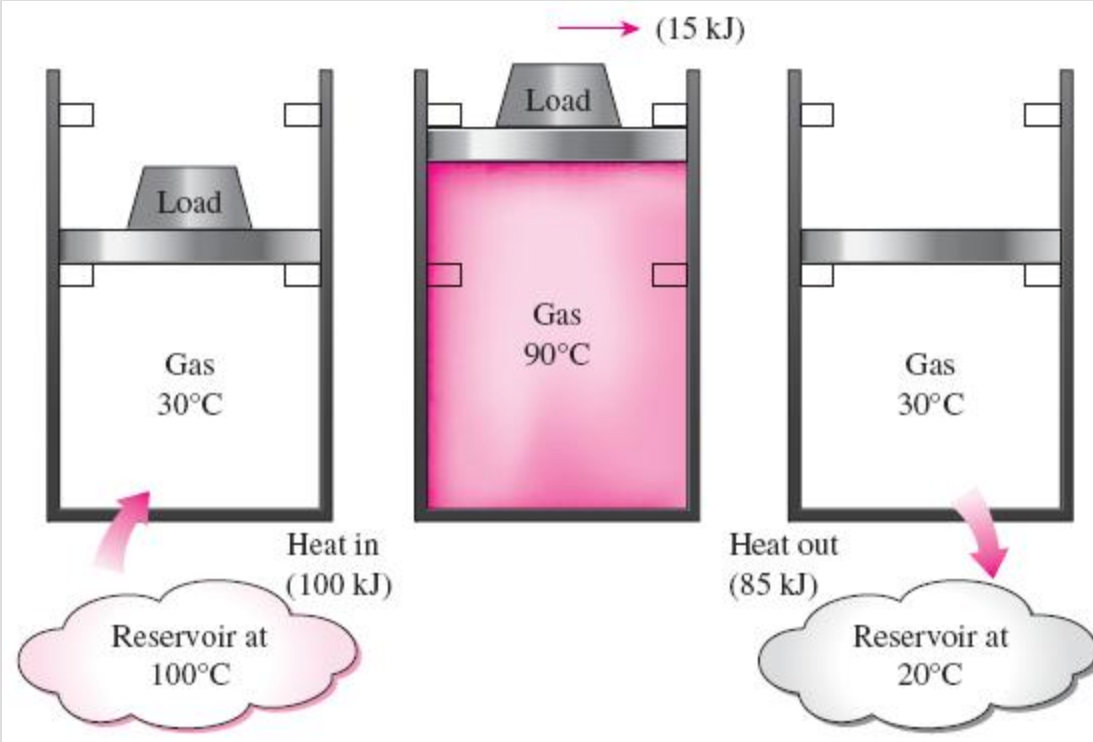
$$\eta_{th} = 1 - \frac{Q_L}{Q_H}$$

Verimi en yüksek ısı makineleri bile, aldıkları ısının neredeyse yarısını atık ısı olarak çevreye verirler.





# Q<sub>çıkan</sub> Olmayabilir mi?



Bir ısı makinesi çevrimi, düşük sıcaklıktaki ısı kuyuya bir miktar enerji vermeden tamamlanamaz.

İdeal koşullarda olsa bile, bütün ısı makinelerinin çevrimlerini tamamlayabilmek için bir miktar enerjiyi düşük sıcaklıktaki bir ısı deposuna atık olarak vermesi gerekir.

Bir buharlı güç santralinin yoğuşturucusunda, büyük miktarlarda atık ısı akarsulara, göllere veya atmosfere atılmaktadır.

Bu durumda yoğuşturucu santralden çıkarılıp söz konusu atık ısıdan tasarruf edilemez mi?

Bu sorunun yanıtı, ne yazık ki kesin bir hayırdır. Çünkü, yoğuşturucuda ısı atılma işlemi gerçekleşmeden çevrim tamamlanamaz.

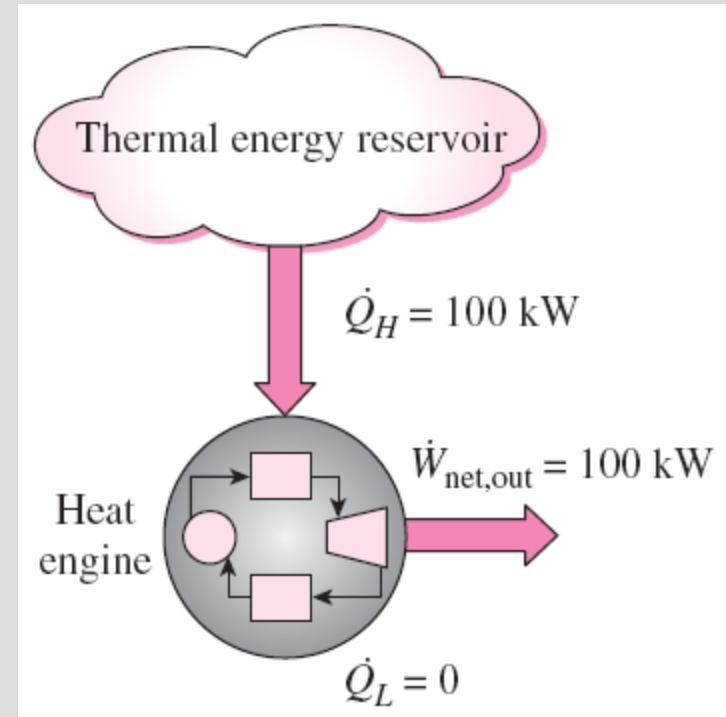
- Pistondaki gazın sıcaklığı başlangıçta 30 C olup, ağırlık yüklü piston alt durdurucularda durmaktadır. Daha sonra 100 C lik kaynaktan 100 kJ ısı verilerek sıcaklık 90 C ye getiriliyor, bu esnada gaz genişliyor ve örneğin 15 kJ iş yapılıyor. Bu iş yükünün potansiyel enerjisindeki artışa eşit olduğuna dikkat edin.
- Eğer piston ağırlıksız, sürtünmenin ve ısı kayıplarının olmadığı, sanki dengeli genişlemenin olduğu kabul edilseydi bile, gaza verilen ısı enerjisinin miktarı, yapılan işten fazladır. Çünkü verilen ısı enerjisi bir kısmı gazın sıcaklığını yükseltmeye harcanmıştır.
- 90 C sıcaklıktaki bu sisteme fazladan verilen 85 kJ lük ısı enerjisi tekrar 100 C lik kaynağa verebilir miyiz? **HAYIR**. Çünkü ısı yüksek sıcaklıktan düşük sıcaklığa gider. Gazın tekrar eski haline gelebilmesi ancak 30 C den düşük, örneğin 20 C deki bir ısı deposuyla temas ettirilmesiyle mümkündür. Çevreye verilen bu ısı enerjisi artık tekrar kullanılamaz ve bu nedenle **atık enerji** olarak adlandırılır.
- **Bu yüzden çevrimin tamamlanabilmesi için bir miktar ısı enerjisinin daha düşük sıcaklıktaki bir ısı deposuna atık olarak verilmesi sonucuna varılır.**

# Termodinamiğin İkinci Yasası: Kelvin-Planck İfadesi

Termodinamik bir çevrim gerçekleştirerek çalışan bir makinenin, yalnızca bir kaynaktan ısı alıp net iş üretmesi olanaksızdır.

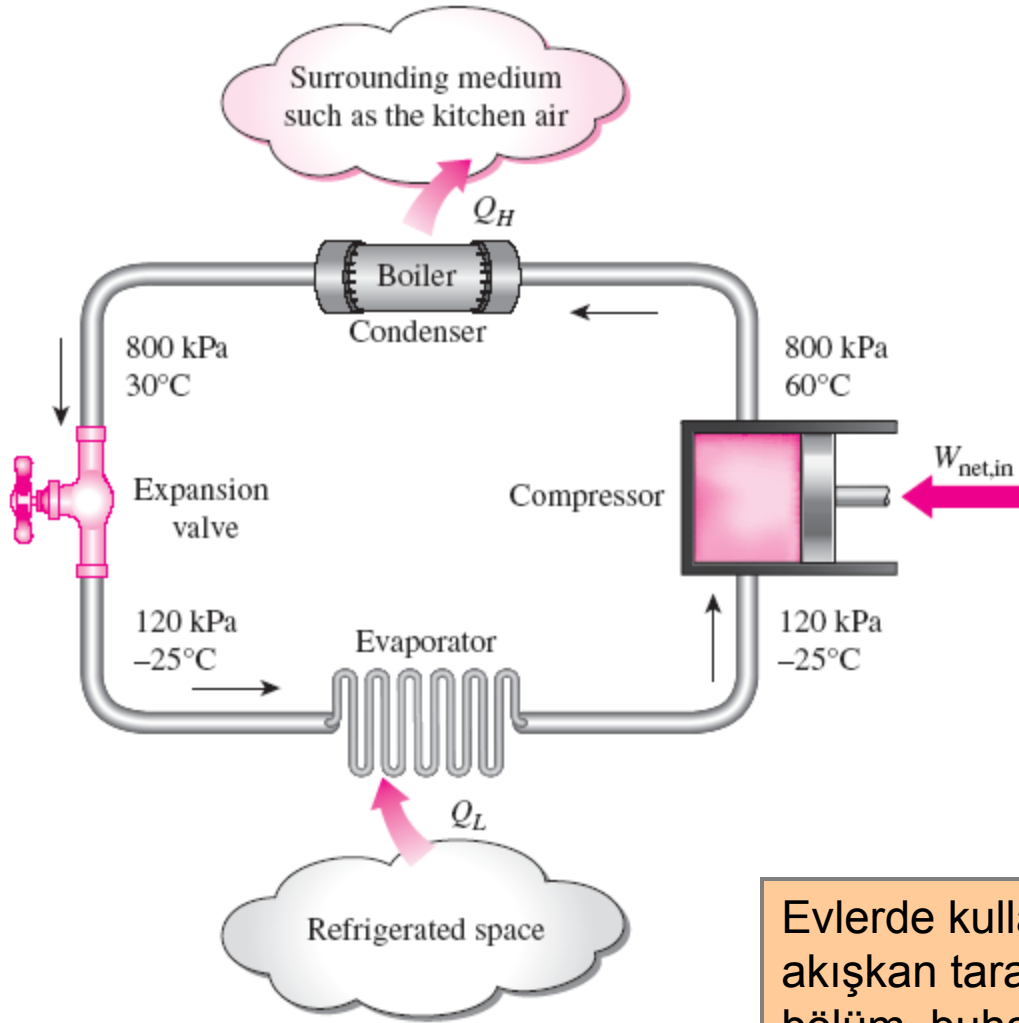
*Hiçbir ısı makinesinin ısı verimi yüzde 100 olamaz veya bir güç santralinin sürekli çalışabilmesi için iş akışkanının hem kazanla, hem de çevreyle ısı alışverişinde bulunması gerekir.*

Bir ısı makinesinin yüzde 100 ısı verime sahip olamamasının, sürtünmeler veya diğer kayıplardan kaynaklanmadığı vurgulanmalıdır. Çünkü bu sınırlama gerçek ısı makineleri kadar, ideal ısı makineleri için de geçerlidir.



İkinci yasanın Kelvin-Planck ifadesine aykırı bir ısı makinesi.

# SOĞUTMA MAKİNELERİ VE ISI POMPALARI



Bir soğutma sisteminin ana elemanları ve tipik çalışma koşulları.

Düşük sıcaklıklı bir ortamdan yüksek sıcaklıklı bir ortama ısı geçişi kendiliğinden oluşmaz ve **soğutma makineleri** adı verilen özel makinelerin kullanımını gerektirir.

Isı makineleri gibi soğutma makineleri de bir çevrim gerçekleştirerek çalışan makinelerdir.

Soğutma çevriminde kullanılan iş akışkanı **soğutucu akışkan** olarak adlandırılır.

En yaygın kullanılan soğutma çevrimi, **buhar- sıkıştırımlı soğutma çevrimidir**.

Evlerde kullanılan bir buzdolabında, soğutucu akışkan tarafından ısının alındığı dondurucu bölüm, buharlaştırıcı işlevini görür. Buzdolabının arkasında bulunan ve ısının soğutucu akışkandan mutfak havasına geçmesine yarayan borular ise yoğuşturucu olarak görev yapar.

## Etkinlik Katsayısı

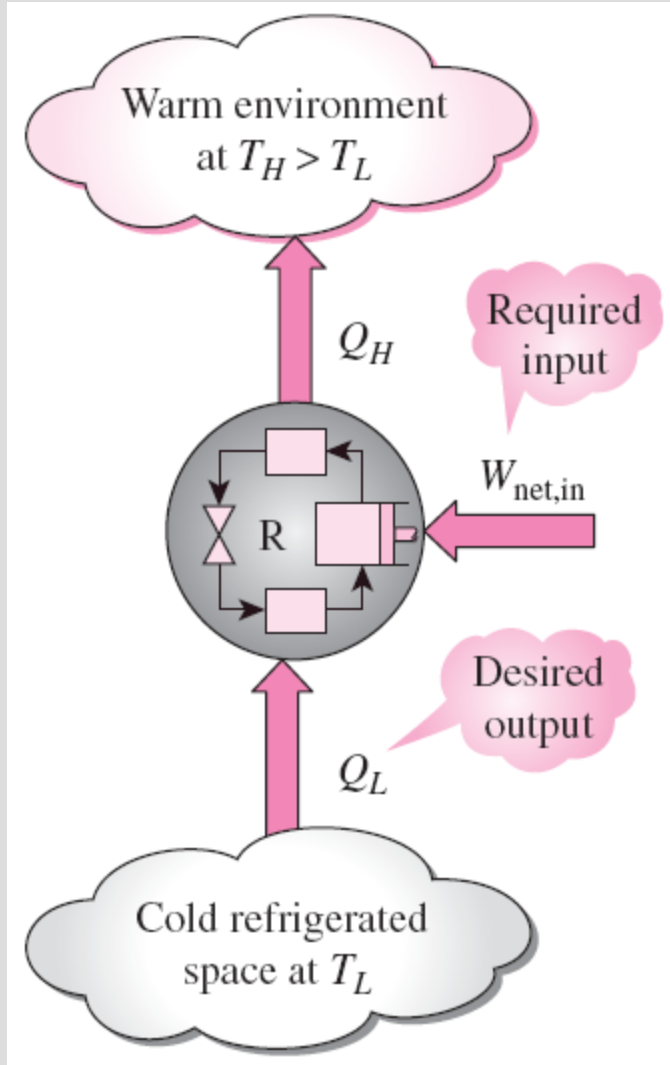
Bir soğutma makinesinin verimi, **etkinlik katsayısı** ile ifade edilir ve **COP<sub>SM</sub>** ile gösterilir.

Soğutma makinesinin amacı, soğutulan ortamdan ısı ( $Q_L$ ) çekmektir.

$$\text{COP}_{\text{SM}} = \frac{\text{Elde edilmek istenen değer}}{\text{Harcanması gereken değer}} = \frac{Q_L}{W_{\text{net,giren}}}$$

$$W_{\text{net,giren}} = Q_H - Q_L \quad (\text{kJ})$$

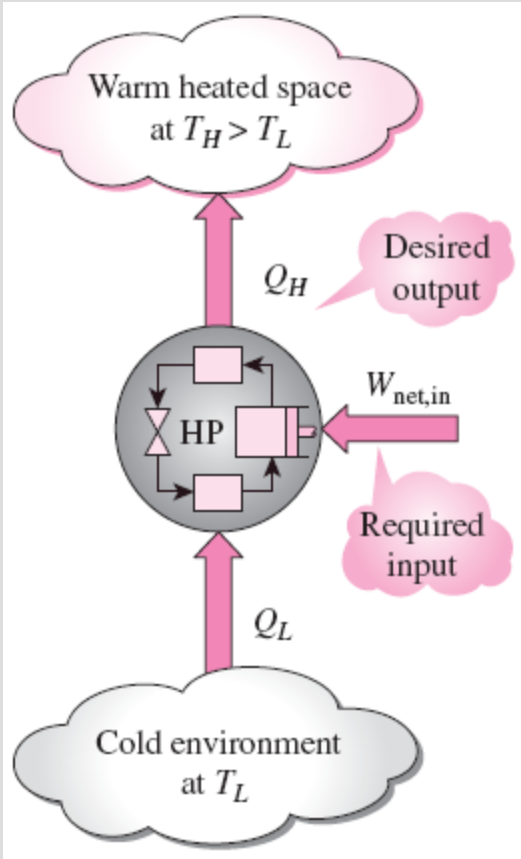
$$\text{COP}_{\text{SM}} = \frac{Q_L}{Q_H - Q_L} = \frac{1}{Q_H/Q_L - 1}$$



Bir soğutma makinesinin amacı, soğutulan ortamdan  $Q_L$  ısını çekmektir.

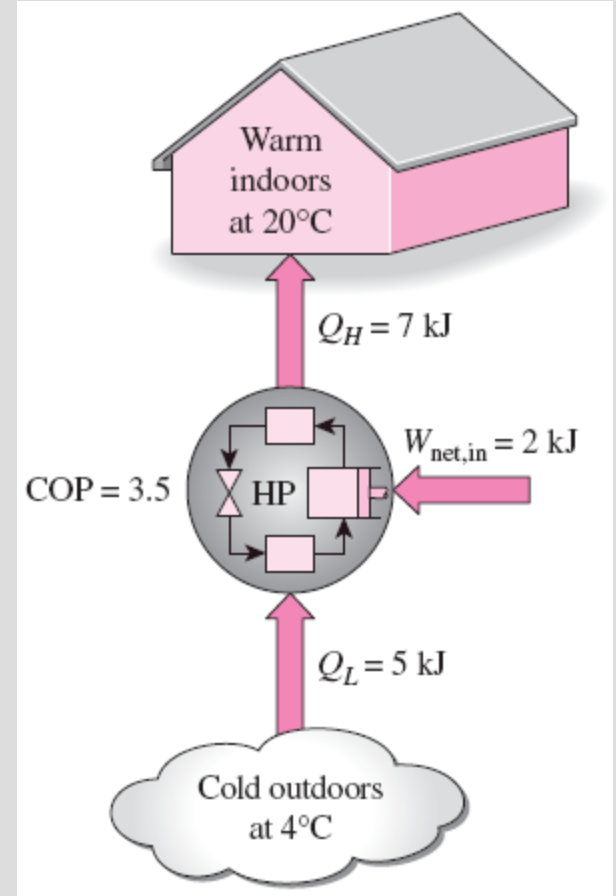
COP<sub>SM</sub> 'in değeri birden büyük olabilir mi?

# Isı Pompaları



Bir ısı pompasının amacı, ılık ortama  $Q_H$  ısıyı vermektir.

Bir ısı pompasına giren iş, soğuk dış ortamdan alınan ısı enerjisinin, ılık iç ortama verilmesini

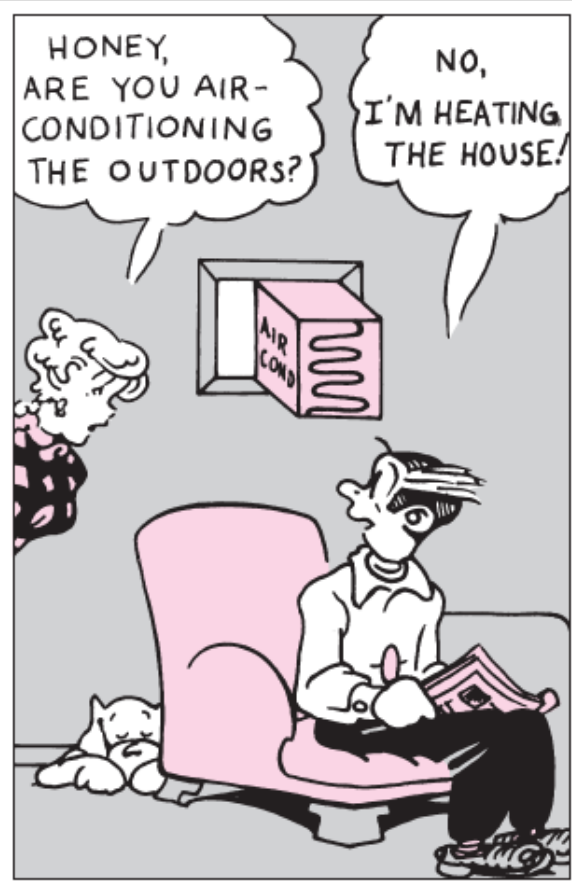


$$\text{COP}_{\text{IP}} = \frac{\text{Elde edilmek istenen değer}}{\text{Harcanması gereken değer}} = \frac{Q_H}{W_{\text{net,giren}}}$$

$$\text{COP}_{\text{IP}} = \frac{Q_H}{Q_H - Q_L} = \frac{1}{1 - Q_L/Q_H}$$

$$\text{COP}_{\text{IP}} = \text{COP}_{\text{SM}} + 1 \quad Q_L \text{ ve } Q_H \text{ 'in sabit değerleri için}$$

$\text{COP}_{\text{IP}}$  'in değeri birden daha küçük olabilir mi?  
 $\text{COP}_{\text{IP}}=1$  neyi gösterir?



Ters yönde yerleştirildiğinde, bir iklimlendirme cihazı, ısı pompası gibi çalışır.

- Günümüzde kullanılan ısı pompalarının mevsimlik ortalama COP değerleri 2 ile 3 arasında değişir.
- Mevcut ısı pompalarının çoğu kışın soğuk dış havayı ısı kaynağı olarak kullanırlar (hava-kaynaklı ısı pompaları).
- Sıcaklık donma noktasının altına düştüğünde verimleri önemli ölçüde azalır.
- Böyle durumlarda ısı kaynağı olarak toprağı kullanan, **jeotermal (veya toprak-kaynaklı) ısı pompaları kullanılabilir.**
- Kurulumları daha masraflı olmasına karşın, bu tür ısı pompalarının verimleri daha yüksektir.
- **İklimlendirme cihazları** -klimalar esas olarak buzdolabından farklı değildir. Soğuttukları ortam yiyecek bölümü yerine bir binanın bir odasıdır.
- **COP değeri, soğutma sıcaklığının düşüşüyle azalmaktadır.**
- Bu nedenle gerek duyulan sıcaklıktan daha düşük sıcaklıklara soğutma işlemi ekonomik değildir.

**Enerji Etkinlik Oranı (EER):** Tüketilen 1 Wh (watt-saat) elektrik enerjisi için, soğutulan ortamdan çekilen ısının Btu cinsinden değeri olarak tanımlanır.

$$EER \equiv 3.412 COP_R$$

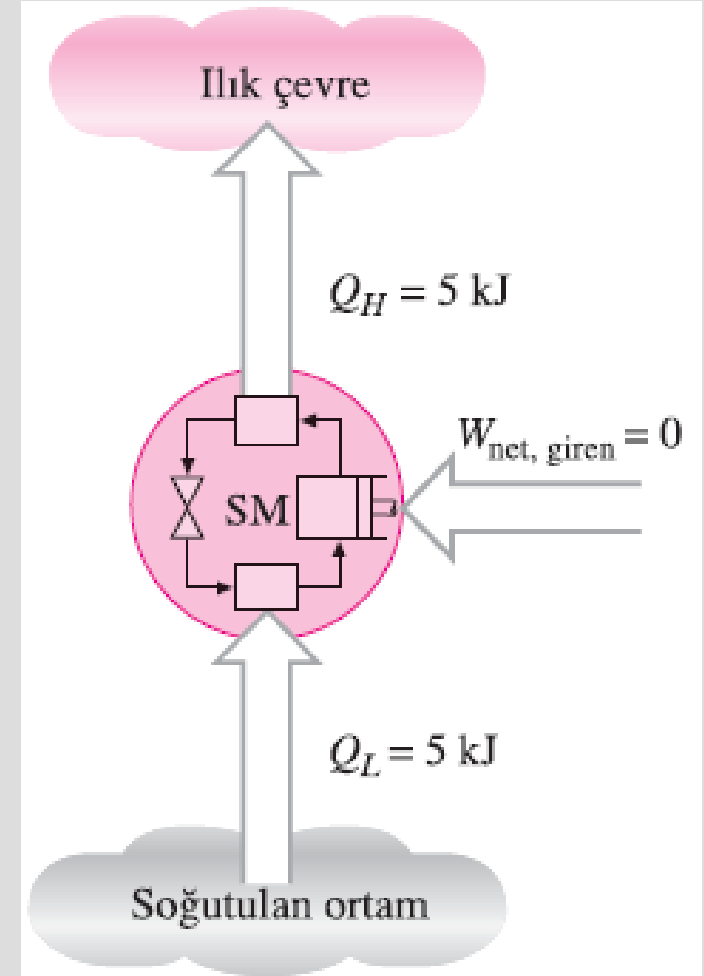
# Termodinamiğin İkinci Yasası: Clausius İfadesi

Termodinamik bir çevrim gerçekleştirerek çalışan ve düşük sıcaklıktaki bir cisimden aldığı ısıyı yüksek sıcaklıktaki bir cisme aktarmak dışında hiçbir enerji etkileşiminde bulunmayan bir makine tasarlamak olanaksızdır.

*Buzdolabının kompresörüne bir elektrik motoru gibi herhangi bir dış güç kaynağı yoluyla iş girişi olmadan, buzdolabının kendiliğinden çalışamayacağı anlamına gelir.*

Böylece çevrimin çevre üzerindeki net etkisi, ısının daha soğuk bir cisimden daha sıcak olana aktarılması yanında, iş biçiminde bir miktar enerji tüketmesidir.

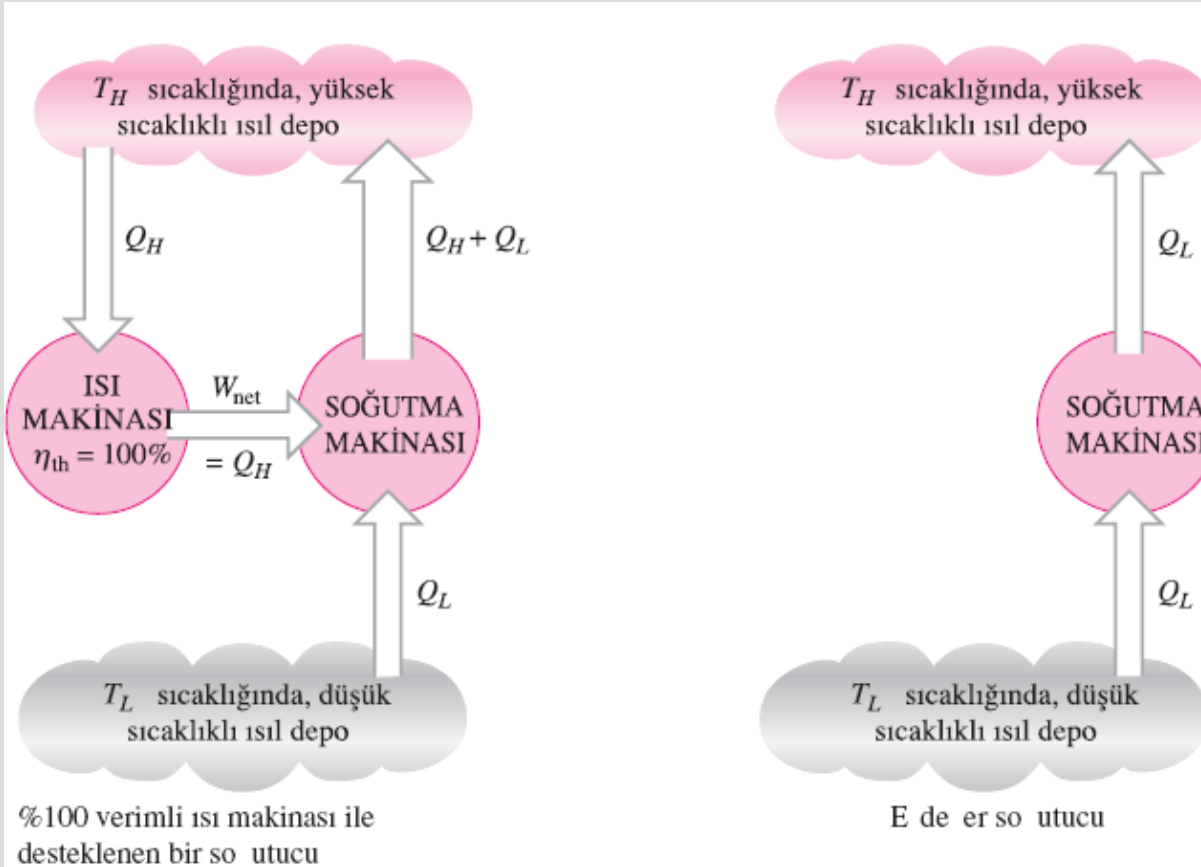
Bugüne kadar ikinci yasaya aykırı bir deney yapılamamıştır. Bu da ikinci yasanın geçerliliğinin yeterli bir kanıtıdır.



İkinci yasanın Clausius ifadesine aykırı bir soğutma makinesi.



# İki İfadenin Eş anlamlılığı

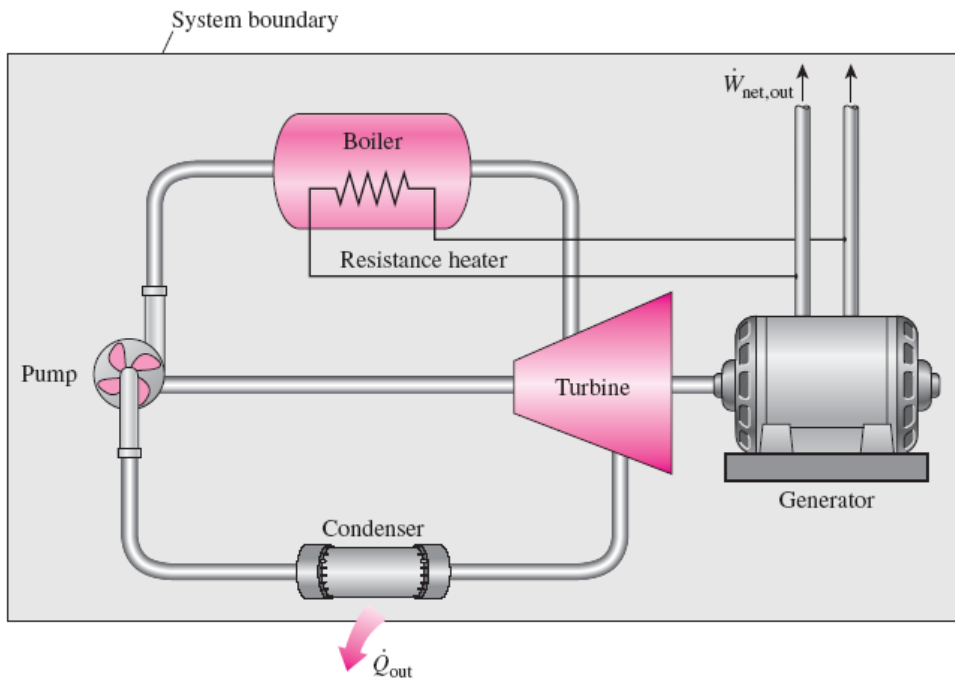


Kelvin-Planck ifadesine aykırı bir durumun Clausius ifadesine de aykırı olacağını kanıtı.

Kelvin-Planck ve Clausius ifadeleri sonuçları bakımından birbirinin eşdeğeri olup, her ikisi de termodinamiğin ikinci yasasının ifadesi olarak kullanılırlar.

İfadelerden birine aykırı olan herhangi bir makine veya çevrim, diğerine de aykırıdır.

# DEVİRDAIM MAKİNELERİ

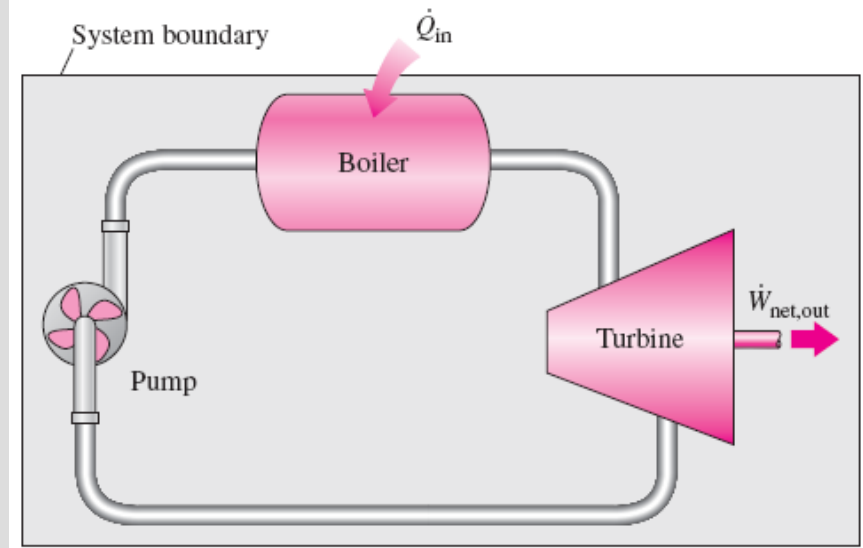


Termodinamiğin birinci yasasına aykırı bir devridaim makinesi (DDM1).

**Devridaim makinesi** : Birinci ve ikinci yasalardan herhangi birine aykırı olan makinelerdir.

Birinci yasaya aykırı olan (yani yoktan enerji var eden) makinelere **(DDM1)**, ikinci yasaya aykırı makinelere de **(DDM2)** denir.

Devridaim makinesi yapmaya yönelik sayısız girişim olmasına karşın, bunlardan hiçbiri başarılı olamamıştır. **Eğer bir şey gerçek olamayacak kadar iyi ise, büyük olasılıkla öyledir.**

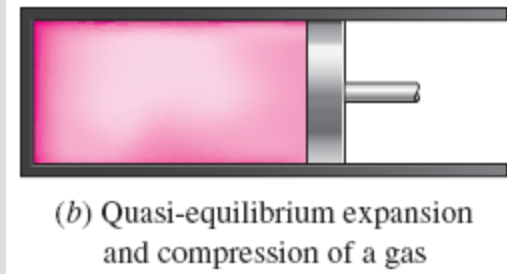
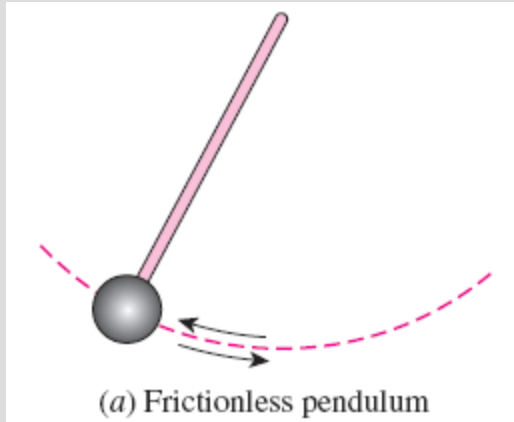


Termodinamiğin ikinci yasasına aykırı bir devridaim makinesi (DDM2).

# TERSİNİR VE TERSİNMEZ HAL DEĞİŞİMLERİ

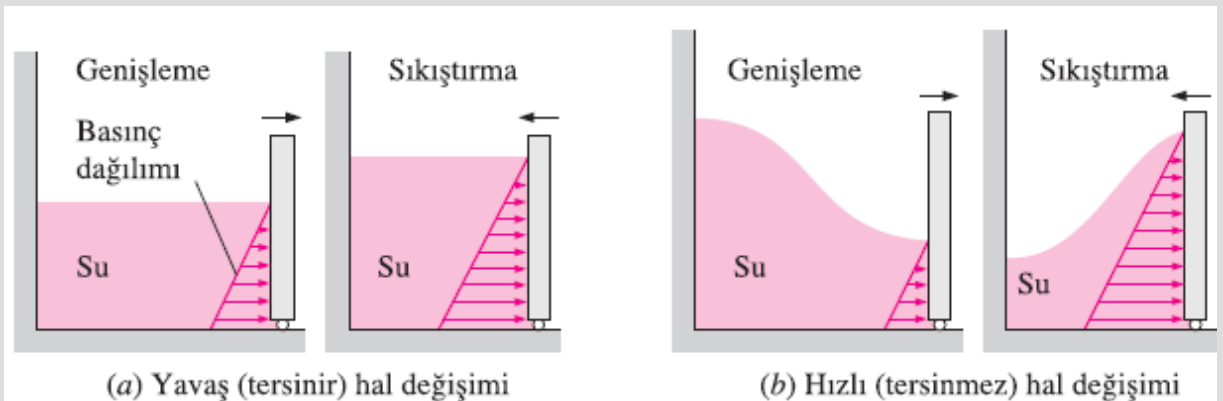
**Tersinir hal değişimi:** Çevrede herhangi bir iz bırakmadan tersi yönde gerçekleştirilebilen bir hal değişimi olarak tanımlanır.

**Tersinmez hal değişimi:** Tersinir olmayan hal değişimlerine denir.

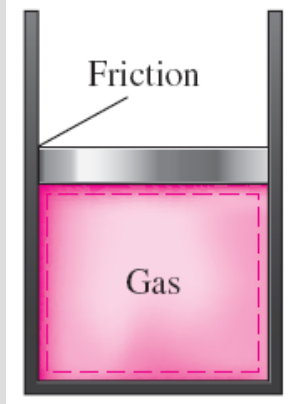


Bilinen iki tersinir hal değişimi.

- Doğada tersinir hal değişimlerine rastlanmaz.
- *Neden tersinir hal değişimleriyle uğraşırız ?*
- **(1) İncelemek kolaydır ve (2) Gerçek hal değişimlerinin karşılaştırılabileceği ideal modeller (kuramsal limitler) oluştururlar.**
- Bazı hal değişimleri diğerlerine göre daha çok tersinmezdir.
- Tersinir hal değişimlerini tahmin etmeye çalışırız. **Niçin?**



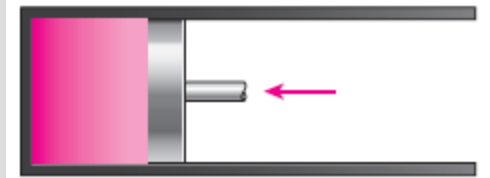
En çok iş, tersinir hal değişimleri sırasında yapılır.  
En az iş, tersinir hal değişimleri sırasında gerekir.



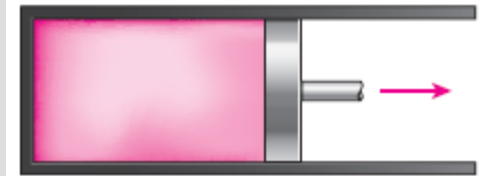
Sürtünme, bir hal değişimini tersinmez.

- Bir hal değişiminin tersinmez olmasına neden olan etkenlere **tersinmezlikler** adı verilir.
- Sürtünme, dengesiz genişleme, iki sıvının karışması, sonlu bir sıcaklık farkında ısı geçişi, elektrik direnci, katıların elastik olmayan şekil değişimleri ve kimyasal tepkimeler bu etkenler arasındadır.
- Bu etkenlerden herhangi birinin varlığı, hal değişimini tersinmez yapar.

## Tersinmezlikler



(a) Fast compression



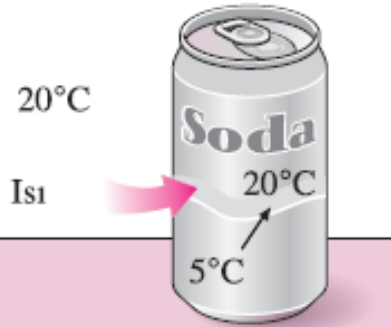
(b) Fast expansion



(c) Unrestrained expansion

Tersinmez sıkıştırma ve genişleme işlemleri.

(a) Sonlu sıcaklık farkında ısı geçişi tersinmezdir  
(b) soğuk ortamdan sıcak ortama kendiliğinden ısı geçişi olanaksızdır.



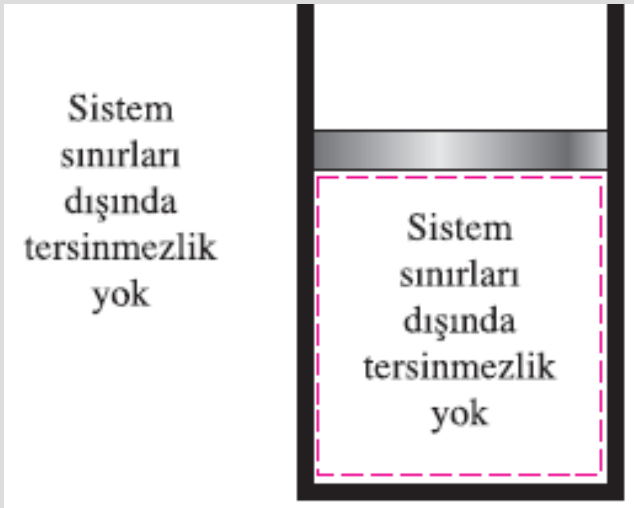
(a) Tersinmez ısı geçişi



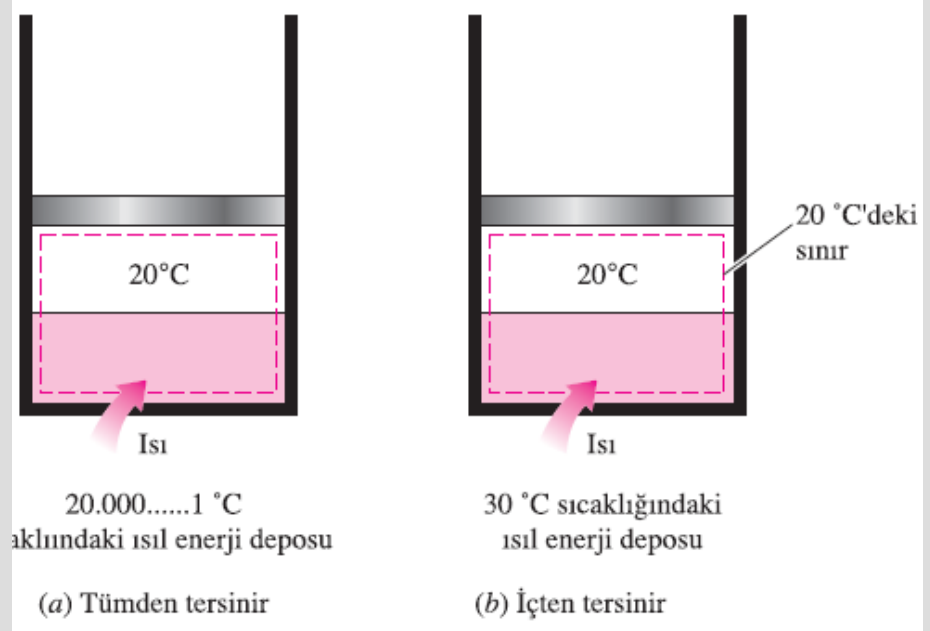
(b) Gerçekleşmesi olanaksız ısı geçişi

# İçten ve Dıştan Tersinir Hal Değişimleri

- **İçten tersinir hal değişimi** : Hal değişimi sırasında sistemin sınırları içinde tersinmezlikler meydana gelmiyorsa.
- **Dıştan tersinir hal değişimi** : Sistemin sınırları dışında tersinmezlikler meydana gelmiyorsa.
- **Tümden tersinir hal değişimi** : Sistemin sınırları içinde ve ilişkide olduğu çevrede tersinmezlikler meydana gelmiyorsa.
- Tümden tersinir bir hal değişiminde sonlu sıcaklık farkında ısı geçişi, sanki dengeli olmayan değişimler, sürtünme ve benzer olgular yoktur.

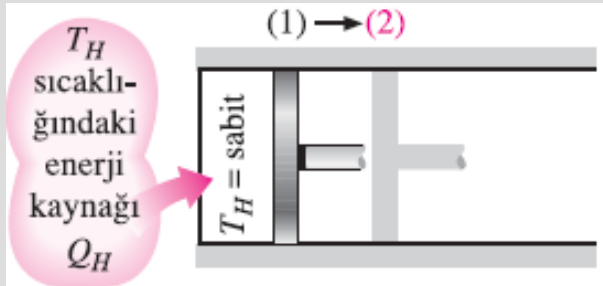


Tersinir bir hal değişiminde sistem sınırları içinde ve dışında tersinmezlikler yoktur.

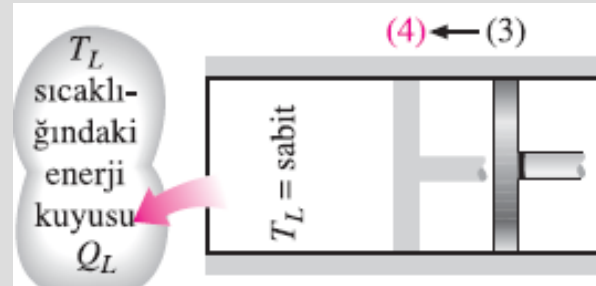


Tümden ve içten tersinir ısı geçişi.

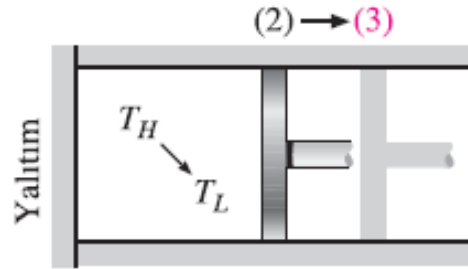
# CARNOT ÇEVİRİMİ



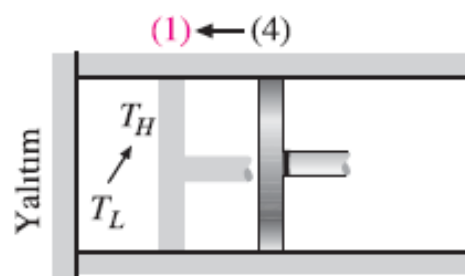
(a) 1-2 hal değişimi



(c) 3-4 hal değişimi



(b) 2-3 hal değişimi



(d) 4-1 hal değişimi

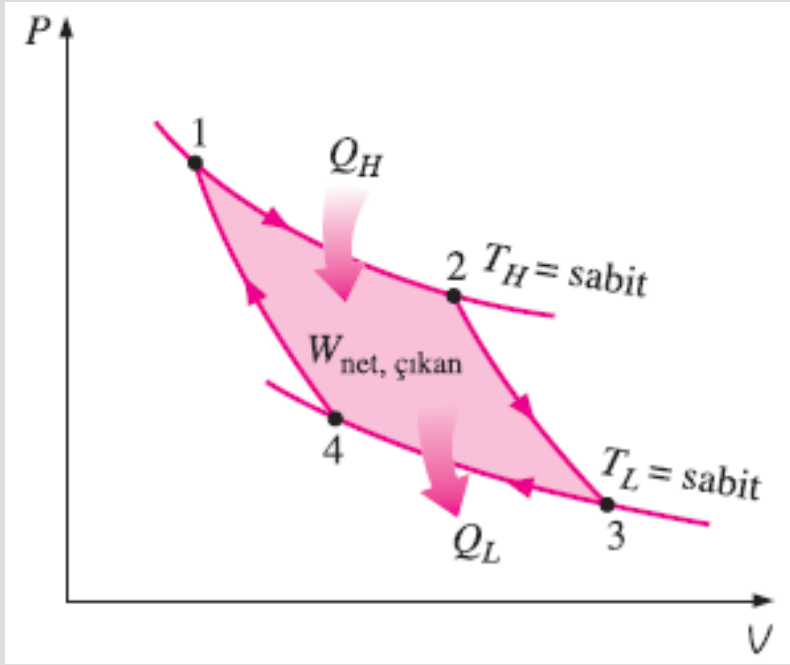
Carnot çevriminin kapalı bir sistemde gerçekleştirilişi.

**Tersinir sabit sıcaklıkta genişleme** (1-2 hal değişimi,  $T_H = \text{sabit}$ )

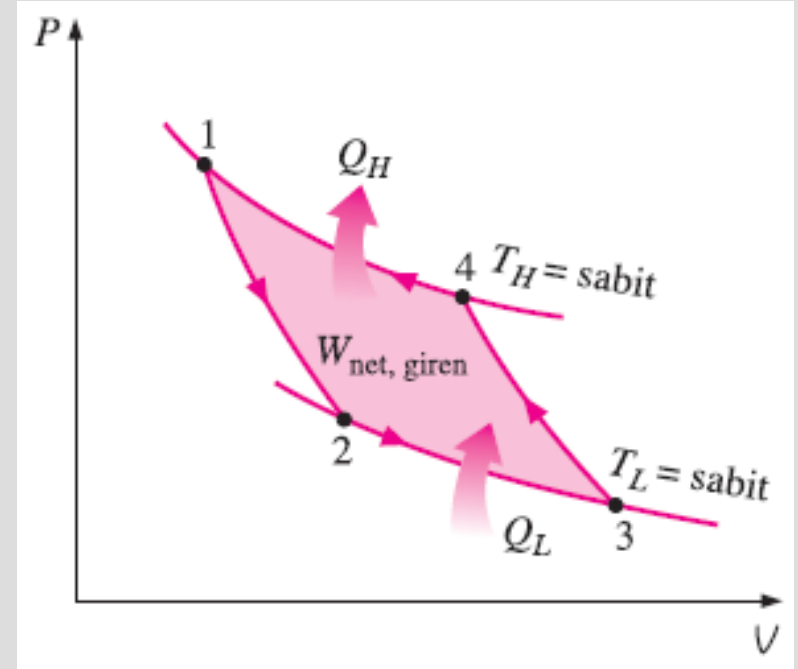
**Tersinir adyabatik genişleme** (2-3 hal değişimi, sıcaklık  $T_H$ 'den  $T_L$ 'ye düşmektedir)

**Tersinir sabit sıcaklıkta sıkıştırma** (3-4 hal değişimi,  $T_L = \text{sabit}$ )

**Tersinir adyabatik sıkıştırma** (4-1 hal değişimi, sıcaklık  $T_L$ 'den  $T_H$ 'ye yükselmektedir)



Carnot çevriminin  $P$ - $V$  diyagramı.



Ters Carnot çevriminin  $P$ - $V$  diyagramı.

## Ters Carnot Çevrimi

Carnot ısı makinesi çevrimi tümünden tersinir bir çevrimdir.

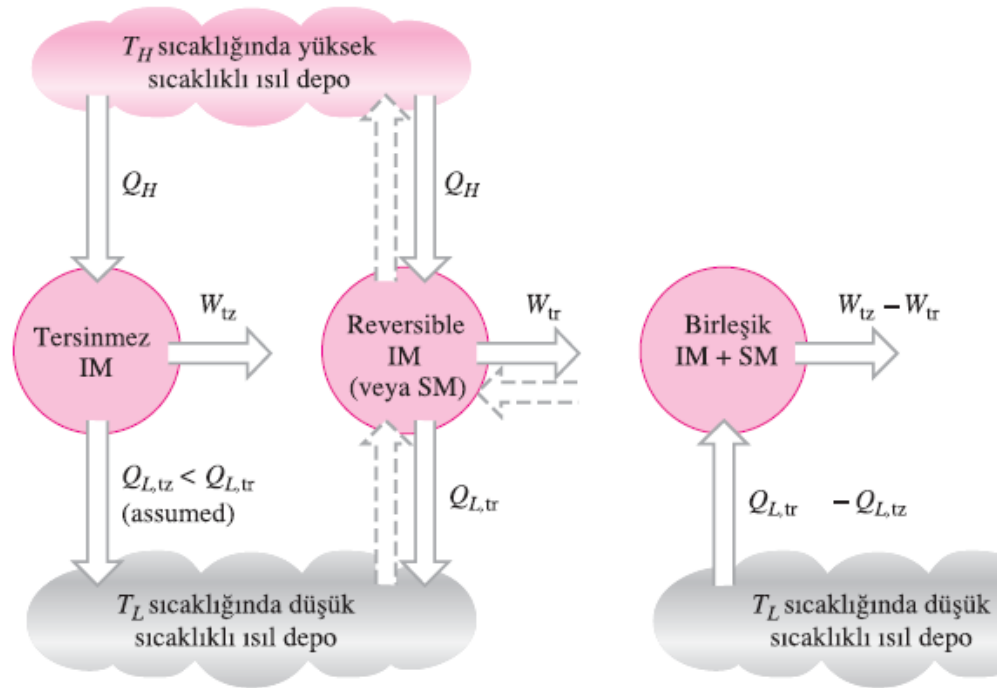
Onu oluşturan tüm hal değişimleri ters yönde gerçekleştirilebilir.

Bu durumda **Carnot soğutma makinesi çevrimi** elde edilir.

# CARNOT İLKELERİ



## Carnot ilkeleri



(a) Aynı ısı depolar arasında çalışan tersinir ve tersinmez ısı makineleri (tersinir ısı makinesi daha sonra soğutma makinesi olarak çalıştırılmaktadır).

(b) Eşdeğer birleşik sistem.

## Birinci Carnot ilkesinin kanıtlanması.

1. Aynı iki ısı depo arasında çalışan iki ısı makinesinden, tersinmez olanın verimi her zaman tersinir olanın veriminden küçüktür.
2. Aynı iki ısı depo arasında çalışan bütün tersinir ısı makinelerinin verimleri eşittir.



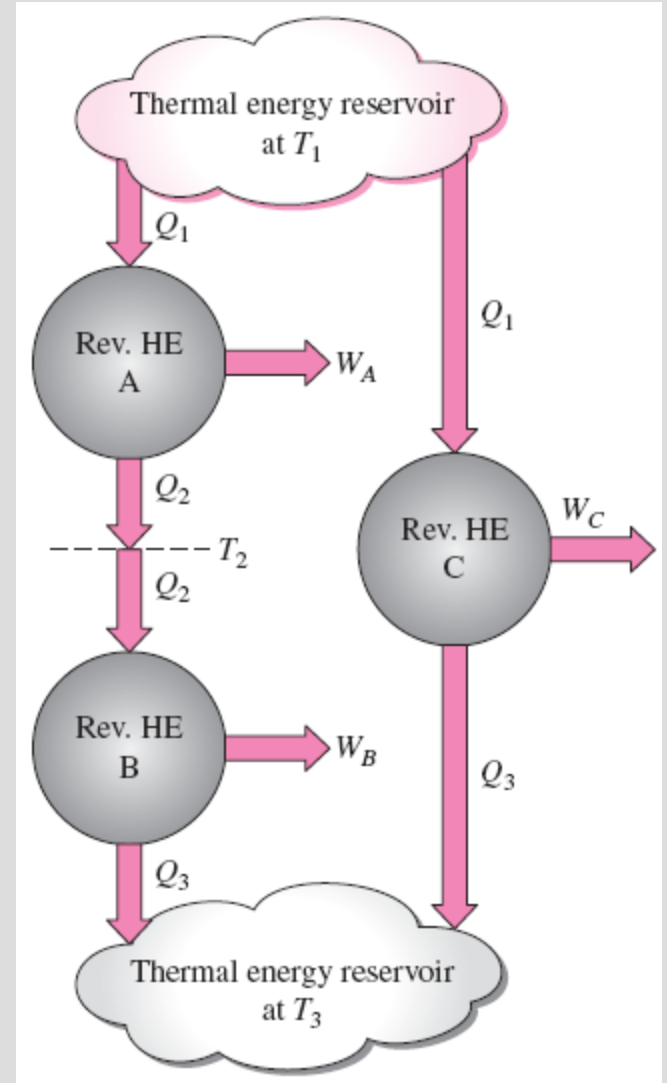
# TERMODİNAMİK SICAKLIK ÖLÇEĞİ

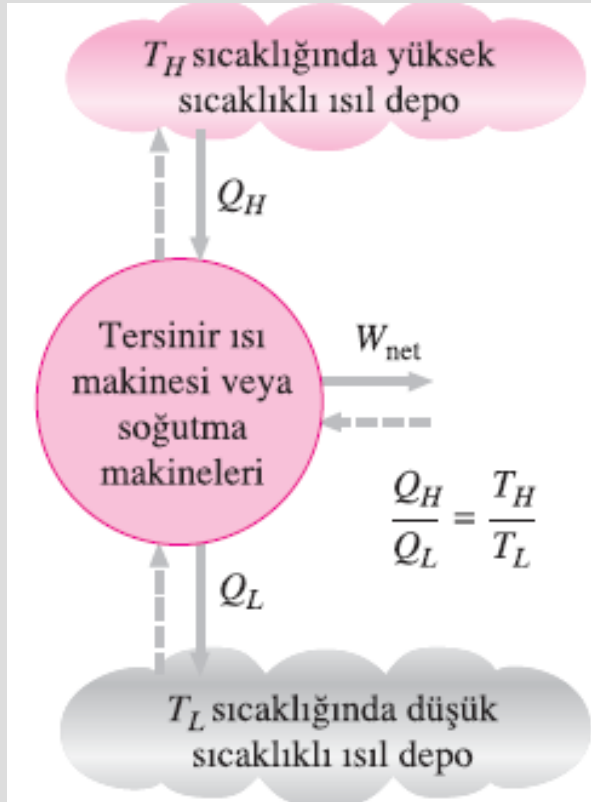


Sıcaklığı ölçmek için kullanılan maddelerin özelliklerinden bağımsız olan sıcaklık ölçeğine **termodinamik sıcaklık ölçeği** adı verilir.

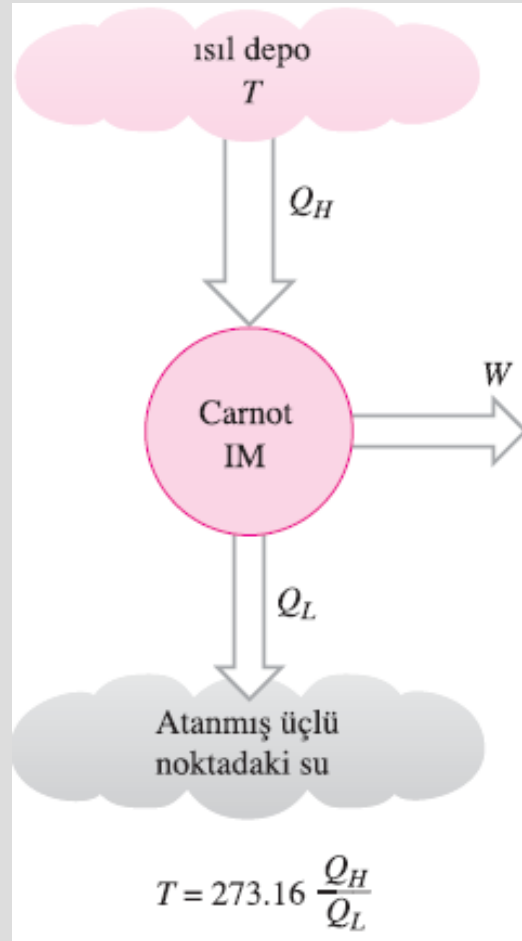
Bu tür bir sıcaklık ölçeği, termodinamik hesaplarda büyük kolaylık sağlar.

Termodinamik sıcaklık ölçeğini geliştirmek için kullanılan ısı makinelerinin düzeni.





Tersinir çevrimlerde ısı geçişi oranı  $Q_H/Q_L$ , mutlak sıcaklık oranı  $T_H/T_L$ 'ye eşittir.



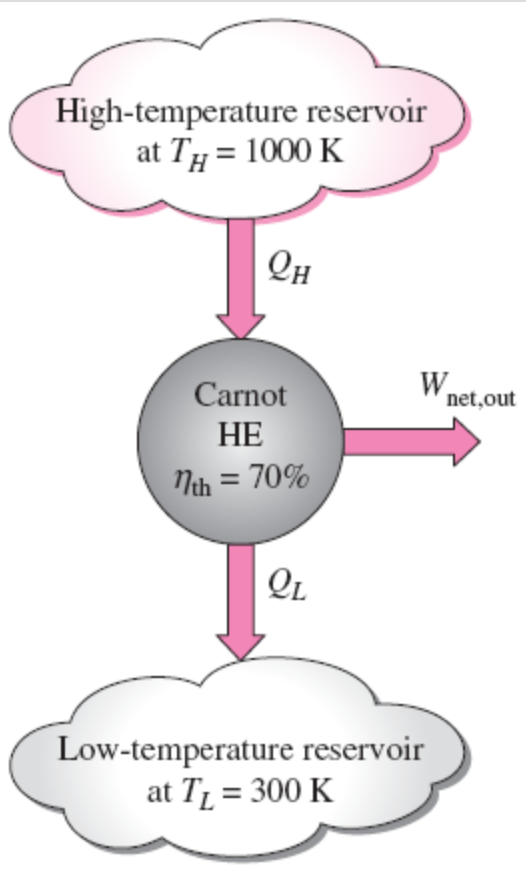
$Q_H$  ve  $Q_L$  ölçülerek Kelvin ölçeğinde termodinamik sıcaklıkları belirlemeye yönelik kavramsal deney düzeneği.

$$\left( \frac{Q_H}{Q_L} \right)_{tr} = \frac{T_H}{T_L}$$

Bu sıcaklık ölçeği **Kelvin ölçeği** olarak adlandırılır ve bu ölçeğe göre sıcaklıklara **mutlak sıcaklıklar** denir.

$$T(^{\circ}\text{C}) = T(\text{K}) - 273.15$$

# CARNOT ISI MAKİNESİ



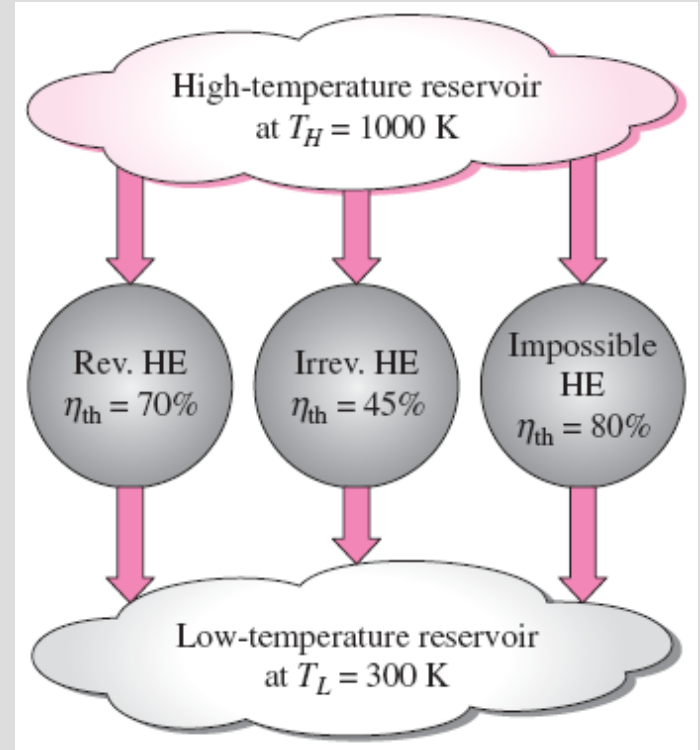
Carnot ısı makinesi, aynı yüksek ve düşük sıcaklıklı ısı depolar arasında çalışan ısı makineleri içinde en yüksek verime sahip olanıdır.

Herhangi bir ısı makinesi

$$\eta_{th} = 1 - \frac{Q_L}{Q_H}$$

Carnot ısı makinesi

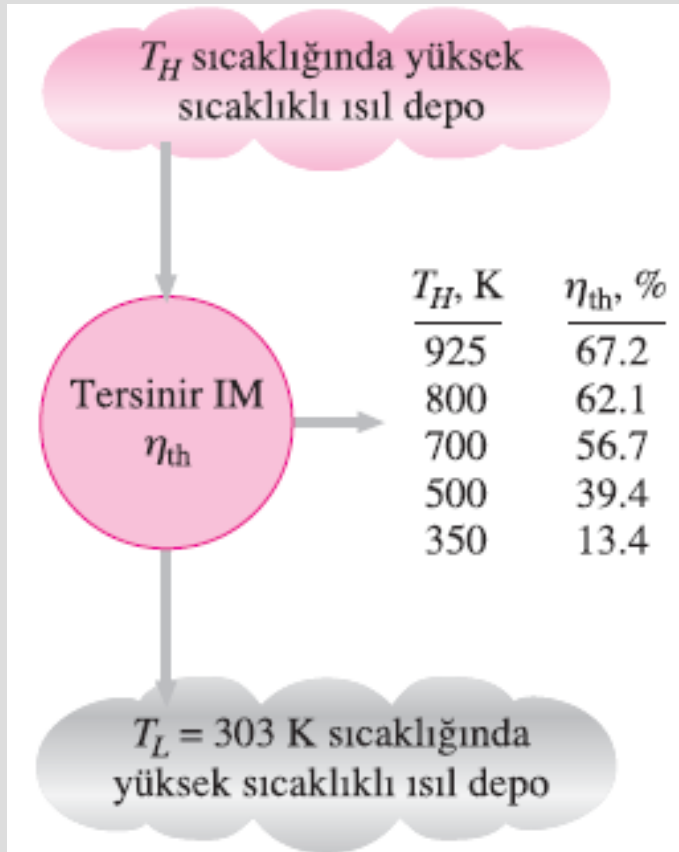
$$\eta_{th,rev} = 1 - \frac{T_L}{T_H}$$



Aynı yüksek ve düşük sıcaklıklı ısı depolar arasında çalışan ısı makinelerinden hiçbirinin verimi, tersinir ısı makinesinin veriminden yüksek olamaz.

$$\eta_{th} \begin{cases} < \eta_{th,tr} & \text{tersinmez ısı makinesi} \\ = \eta_{th,rev} & \text{tersinir ısı makinesi} \\ > \eta_{th,tr} & \text{olanaksız ısı makinesi} \end{cases}$$

# Enerjinin Niteliği



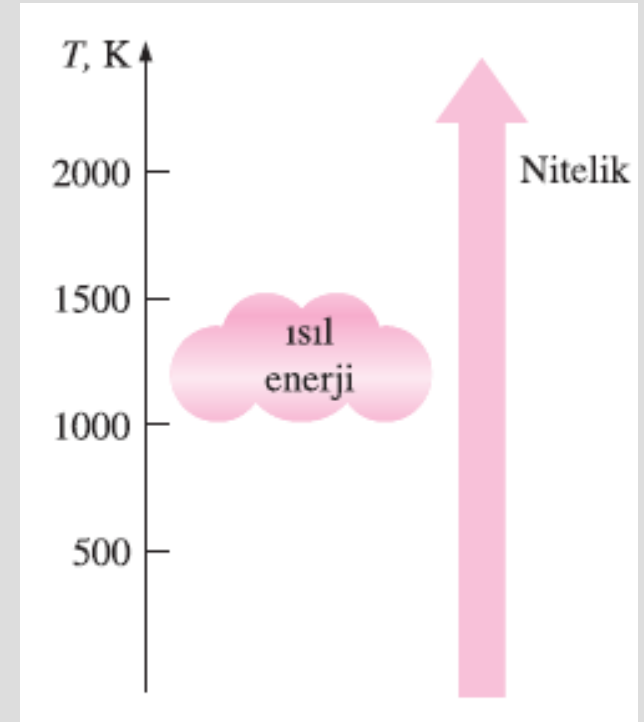
Kaynak sıcaklığına bağlı olarak ısının işe dönüşme oranı.

$$\eta_{th,rev} = 1 - \frac{T_L}{T_H}$$

Burada sıcaklık için °C birimi kullanılabilir miyiz?

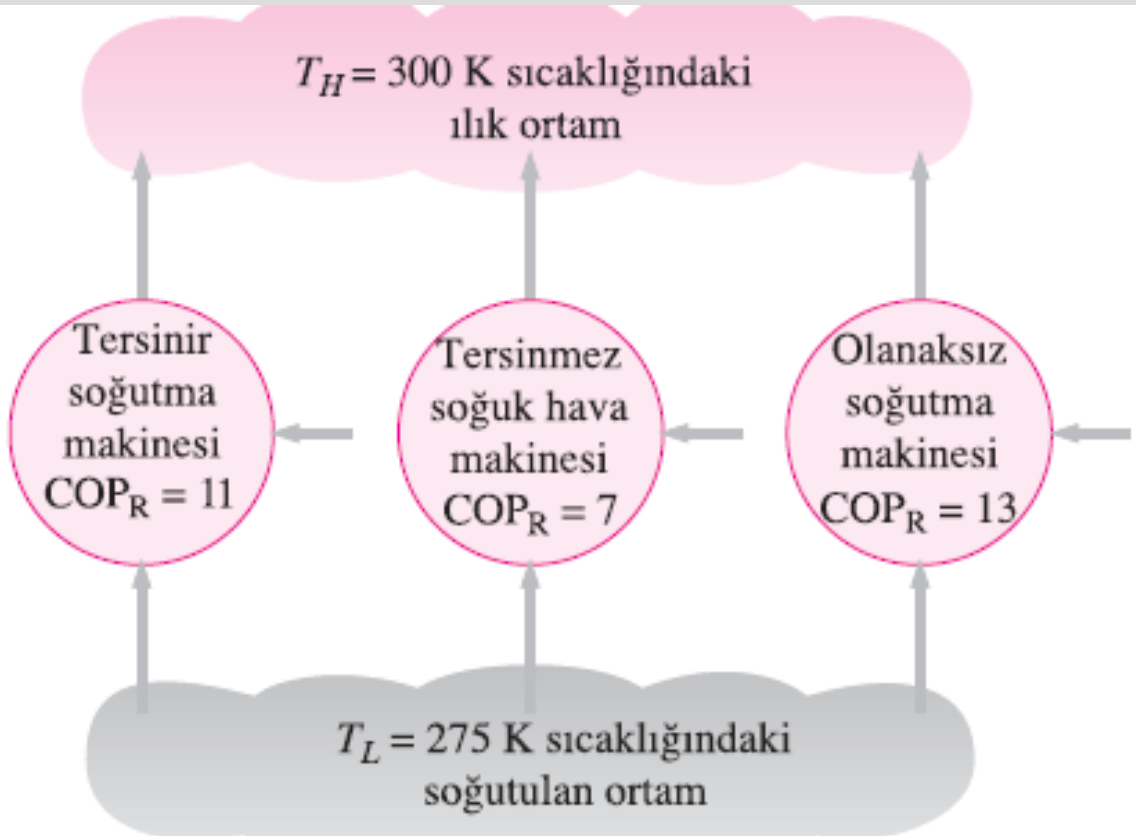
Carnot ısı makinesinin ısı verimini nasıl arttırabilirsiniz?

Gerçek ısı makineleri için ne dersiniz?



Isıl enerjinin sıcaklığı ne kadar yüksek olursa, niteliği de o kadar yüksek olur.

# CARNOT SOĞUTMA MAKİNESİ VE ISI POMPASI



Hiçbir soğutma makinesi aynı sıcaklık sınırları arasında çalışan tersinir bir soğutma makinesinden daha yüksek bir COP değerine sahip olamaz.

Herhangi bir soğutma makinesi veya ısı pompası

$$COP_R = \frac{1}{Q_H/Q_L - 1}$$

$$COP_{HP} = \frac{1}{1 - Q_L/Q_H}$$

Carnot soğutma makinesi veya ısı pompası

$$COP_{SM, tr} = \frac{1}{T_H/T_L - 1}$$

$$COP_{IP, tr} = \frac{1}{1 - T_L/T_H}$$

Carnot soğutma makinesi veya ısı pompasının COP' sini nasıl arttırabilirsiniz? Gerçek olanları için ne dersiniz?

$$\text{COP}_R \begin{cases} < \text{COP}_{R,\text{rev}} & \text{irreversible refrigerator} \\ = \text{COP}_{R,\text{rev}} & \text{reversible refrigerator} \\ > \text{COP}_{R,\text{rev}} & \text{impossible refrigerator} \end{cases}$$

The COP of a reversible refrigerator or heat pump is the maximum theoretical value for the specified temperature limits.

Actual refrigerators or heat pumps may approach these values as their designs are improved, but they can never reach them.

The COPs of both the refrigerators and the heat pumps decrease as  $T_L$  decreases.

That is, it requires more work to absorb heat from lower-temperature media.

# ÖZET

- Birinci yasaya giriş
- Isıl enerji depoları
- Isı makineleri
  - ✓ Isıl verim
  - ✓ İkinci kanun: Kelvin-Planck ifadesi
- Soğutma makineleri ve ısı pompaları
  - ✓ Etkinlik Katsayısı (COP)
  - ✓ İkinci kanun: Clausius ifadesi
- Devridaim makineleri
- Tersinir ve tersinmez hal değişimleri
  - ✓ Tersinmezlikler, İçten ve Dıştan tersinir hal değişimleri
- Carnot çevrimi
  - ✓ Ters Carnot çevrimi
- Carnot ilkeleri
- Termodinamik sıcaklık ölçeği
- Carnot ısı makineleri
  - ✓ Enerjinin niteliği
- Carnot soğutma makinesi ve ısı pompası