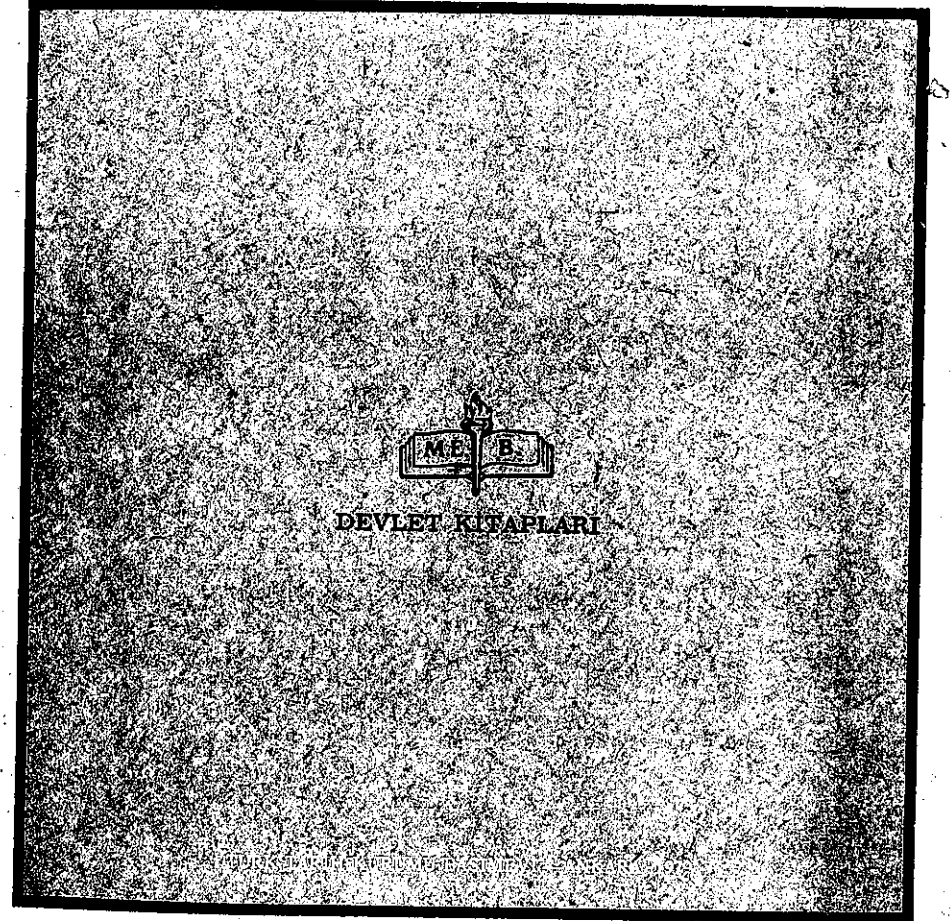


TERMODİNAMİK



SATIŞ VE DAĞITIM YERİ :
İstanbul'da Devlet Kitapları Müdürlüğü
ve İllerde Millî Eğitim Bakanlığı Yayinevleri

No. 6398

Fiati : 37.50 TL.

Jerit Baltas
27-3-1986-İST.

HİDROLİK VE ENERJİ MAKİNALARI
ÜÇÜNCÜ KİTAP

TERMODİNAMİK

Yazan

Mehmet Emin Zorkun

Ankara Yüksek Teknik Öğretmen Okulu
Öğretim Üyesi



DEVLET KİTAPLARI

TÜRK TARİH KURUMU BASİMEVİ — ANKARA 1979

Ü N S Ü Z

Teknik liselerde okutulan, öğrencileri meslek yaşamına hazırlamak amacıyla yönelik derslerin başında, "HİDROLİK VE ENERJİ MAKİNALARI" dersi gelir. Zaten "HİDROLİK VE ENERJİ MAKİNALARI", dersinin termodinamik ve nükleer enerjiden hidrolik kumanda sistemlerine dek birçok bilim ve bilim dallarına ilişkin özgün konuları içermesi de bu yargının doğruluğunu kanıtlar.

Konuların farklılığı, özgünlüğü ve çeşitliliği, "Hidrolik ve Enerji Makinaları, dersi için "UYGULAMALI HİDROLİK VE HİDROLOJİ", "HİDROLİK KUMANDA SİSTEMLERİ", "TERMODİNAMİK", "SOĞUTMA TEKNİĞİ VE KLİMA", "NÜKLEER ENERJİ" ve TERMİK MOTORLAR" adlı temel ders kitaplarından oluşan bir dizinin hazırlanmasını gerektirmiş ve bu amaçla da Mehmet Emin Zorkun'un başkanlığında Harun Yaşar Kutoğlu, Ali Rıza Ardic, Demir Yücelen ve Vehbi Özyurt'un katıldıkları bir komisyon oluşturulmuştur. Komisyonun ilk toplantılarında çalışma yöntemleri saptanmış, Teknik liselerin öğretim programları incelenmiş, temel ders kitaplarının yazımında uyulacak ve uygulanacak ortak kurallar, ortak ilkeler belirlenmiştir. Daha sonra diziyi oluşturan ders kitaplarının içeriğine kesinlik kazandırmak düşüncesiyle bazarlar, hidrolik ve termik santraller, gözlem istasyonları, takım tezgâhı, pompa imâl eden fabrikalar, soğutma tesisleri, uçak bakım ve onarım merkezleri gezilmiş, buralarda çalışan mühendis ve teknisyenlerin görüşleri alınmıştır. Ayrıca sanayileşmiş ülkelerde, orta dereceli teknik öğretim kurumlarında okutulan ders kitapları gözden geçirilerek bunların bir değerlendirilmesi yapılmış, konuların işlenmesinde yararlanılacak kaynak kitaplar, makaleler derlenmiştir. (1) yılı aşkın bir süre devam eden bu tür hazırlık çalışmalarından sonra ancak temel ders kitaplarının yazımına geçilmiştir.

Temel ders kitaplarının yazımında bilgilerin hazır ortaya konulmasından kaçınılmış, "NEDEN" ve "NİÇİN" sorularının cevaplandırılmasına öncelik verilmiştir. Ayrıca konuların

Millî Eğitim Bakanlığı Talim ve Terbiye Kurulunun 5.3.1979 tarih ve 42 sayılı kararı ile bastırılması uygun görülmüş, Yayımlar ve Basılı Eğitim Malzemeleri Genel Müdürlüğü'nün 30.4.1979 tarih ve 3794 sayılı emirleriyle birinci kez 25.000 adet basılmıştır.

biribirine bağlanmasına da özen gösterilmiştir.

Yeni bilgilerin öğrenciler tarafından özümlemesinde daha önce kazanılmış doğru bilgilerin önemli bir yeri vardır. Bu gerçek daima gözönünde bulundurulmuş, diziyi oluşturan temel ders kitaplarına ayrı birer bütünlük kazandırmak düşüncesiyle de bazı konuların yinelenmesinden, değişik bir yaklaşımla ele alınıp incelenmesinden ve yorumlanmasından kaçınılmamıştır.

Temel ders kitabı yazımının kendine özgü bazı güçlükleri vardır. Özellikle, konuların seçiminde, sıralanmasında, düzeyinin belirlenmesinde ve işlenmesinde ortaya çıkan güçlükler, teknik öğretim kurumlarında öğrenimlerini sürdüren gençlere yararlı olmak düşüncesiyle ancak göğüslenebilmiştir. Hele yabancı kökenli teknolojinin ürünü olan araç, gereç ve organlara ad bulmakta karşılaşılan zorluklar, uygulama alanında kullanılan terimlerin anlam yetersizliği yanında tutarsızlığı, çoğu zaman elimizi kolumuzu bağlamış, temel ders kitaplarının hizmete sunulmasını geciktirmiştir.

"TERMODİNAMİK" adlı temel ders kitabı, "Hidrolik ve Enerji Makinaları" dersi için hazırlanan dizinin üçüncü kitabıdır. (5) bölümden oluşan bu temel ders kitabının 1. bölümünde "TEMEL KAVRAMLAR VE YETKİN GAZ KANUNLARI" ikinci bölümünde "TERMODİNAMİĞİN BİRİNCİ KANUNU, ANTROPİ, ANTALPİ VE AÇIK DÖNÜŞÜMLER", 3. bölümünde "TERMODİNAMİĞİN İKİNCİ KANUNU, TERMİK MAKİNA ÇEVRELERİ VE SOĞUTMA MAKİNALARI", 4. bölümünde "GERÇEK GAZLAR, BUHARLAŞMA VE SU BUHARI" ve nihayet 5. bölümünde de "YANMA" incelenmiştir.

"TERMODİNAMİK" adlı temel ders kitabına alınan konuların seçiminde termik santrallarda ve termik cihazların imal edildiği işyerlerinde çalışan teknisyenlerin gereksinimleri gözönünde bulundurulmuştur. Ayrıca temel ders kitabının düzeyi belirlenirken teknik lise öğrencilerinin teknik öğretmenlik ve mühendislik öğretimine hazırlanmaları da amaçlanmıştır.

Bu temel ders kitabında, her bölümün sonuna, o bölümün içerdiği konuların kavranmasını kolaylaştıran ve bilgilerin özümlemesini sağlayan nitelikte çözümlü problemler eklenmiştir. Ancak temel ders kitabını izleyen öğretmenlerin salt bu problemlere bağlı kalmamalarını ve öğrencilerin durumunu gözetecek yeni problemler hazırlamalarını yararlı bulduğumuzu da özellikle belirtmek isteriz.

Dil ve anlatım bakımından özgün olmasına özen gösterilen "TERMODİNAMİK" adlı temel ders kitabının mutlaka eksikleri vardır ve olacaktır. İleride, değerli meslektaşlarımızın uyarı ve eleştirileri bu eksiklerin giderilmesinde bizlere yardımcı olacaktır.

Şubat - 1979

Mehmet Emin ZORKUN

İ Ç İ N D E K İ L E R

Sayfa Numarası

I. B Ü L Ü M

TEMEL KAVRAMLAR VE YETKİN GAZ KANUNLARI

1) Termodinamiğin tanımı	2
2) Enerjinin tanımı	2- 3
3) Isı ve sıcaklık kavramları	3- 5
4) Sıcaklığın ölçümü ve termometreler	
4.a) Bir cismin sıcaklığının saptanması	5- 6
4.b) Gaz termometresi	6-13
4.c) Sıvı termometreler	13-14
5) Isı miktarının ölçümü ve kalorimetreler	
5.a) Isı miktarının ölçümü	14-16
5.b) Isı oluşturan olaylar	
5.b.1) Durum değiştirme ısı	16-17
5.b.2) Yanma ısı	17
5.c) Kalorimetreler	17-18
6) Yetkin gaz kanunları	
6.a) Avogadro Kanunu	19-20
6.b) Boyle ve Mariotte Kanunu	20
6.c) Gay-Lussac Kanunları	
6.c.1) Gay-Lussac Hacim Kanunu	21-22
6.c.2) Gay-Lussac Basınç Kanunu	23-24
6.d) Genel Gaz Kanunu	25-30
6.c) Dalton Kanunu	30-32
ÇÖZÜMLÜ PROBLEMLER	33-59

II. B Ü L Ü M

TERMODİNAMİĞİN BİRİNCİ KANUNU, ANTROPI, AÇIK DÖNÜŞÜMLER VE ANTALPI

1) Termodinamiğin Birinci Kanunu-Eşdeğerlik ilkesi	
--	--

Sayfa Numarası

1.a) Termodinamiğin Birinci Kanununun tanımı	62- 64
1.b) Joule Deneyi	64- 66
1.c) İç enerji	66- 68
2) Entropi	
2.a) Entropinin tanımı	68- 70
2.b) Homojen katı ve sıvıların entropisi	70- 71
2.c) Gazların entropisi	71- 73
3) Açık dönüşümün tanımı ve açık dönüşümler	74- 76
3.a) İzokor dönüşüm	76- 78
3.b) İzobar dönüşüm	78- 80
3.c) İzoterm dönüşüm	81- 83
3.d) Adiyabatik dönüşüm	84- 87
3.e) Politropik dönüşüm	87- 90
4) Entalpi	87- 90
4.a) Entalpinin tanımı	90- 12
4.b) Pistonlu kompresöre uygulama	92- 95
4.c) İzobar dönüşüm sürecinde ısı alış-verişi	96
ÇÖZÜMLÜ PROBLEMLER	96-121

III. B Ü L Ü M

TERMODİNAMİĞİN İKİNCİ KANUNU, TERMİK MAKİNALARIN ÇEVİRİMLERİ VE SOĞUTMA MAKİNALARI

1) Termodinamiğin İkinci Kanunu-Carnot İlkesi	
1.a) Tersinirlik kavramı ve tersinirdönüşümler	124-126
1.b) Tersinirliği gerçekleştirmenin fizik koşulları	
1.b.1) İzoterm sıkıştırma	127
1.b.2) Adiyabatik sıkıştırma	127-128
1.c) Isının işe dönüştürülmesi ve termik makinalar	129-133
2) Termik makinaların çevrimleri	133

Sayfa Numarası

2.a) Carnot çevrimi	134-138
2.b) Beau de Rochas çevrimi	138-142
2.c) Joule çevrimi	142-147
3) Soğutma makinaları	147-150
ÇÖZÜMLÜ PROBLEMLER	150-161

IV. B Ü L Ü M

GERÇEK GAZLAR, BUHARLAŞMA VE SU BUHARI

1) Sıvı-Gaz karışımı ve sıkıştırma izotermi	164-166
2) Van der Waals Denklemi	166-169
3) Gerçek gazların genleşme sürecinde iş	169
3.a) Gerçek gazların izoterm genleşme sürecinde iş	169-170
3.b) Gerçek gazların adiyabatik genleşme sürecinde iş	170
4) Buharlaşma ve temel kavramlar	170-176
5) Buhar gerilim denklemi	176-177
6) Buharlaşma ısısı	177-178
7) Toplam buharlaşma ısısı	178-179
8) Buharlaşma sürecinde iş	179-180
9) Buharlaşma sürecinde iç enerji değişimi	180
10) Buharlaşma antropisi	181
11) Toplam buharlaşma antropisi	181-182
12) Doygun buharın adiyabatik genleşme sürecinde iş	183-184
13) Rankine Çevrimi	184-186
14) Su buharının antalpik diyagramı Mollier Diyagramı	186-191
ÇÖZÜMLÜ PROBLEMLER	194-211

V. B Ü L Ü M

YANMA

1) Temel kavramlar ve genel tanımlar	214-215
--	---------

Sayfa Numarası

2) Kuramsal yanma	215-216
2.a) Kuramsal yanmada ağırlık analizi	216-217
2.b) Kuramsal yanmada hacim analizi	217-219
3) Yakacakların hava ile yakılması	219-222
4) Yanmanın genel denklemi	222-224
5) Yanma gazlarının hacmi	224-226
ÇÖZÜMLÜ PROBLEMLER	227-232
Çizelgeler	233-236
"1'den 900'e kadar sayıların tabii logaritmesi"	
Kaynakça	237

I. B Ö L Ö M

TEMEL KAVRAMLAR VE YETKİN GAZ KANUNLARI

- 1) Termodinamiğin tanımı
- 2) Enerjinin tanımı
- 3) Isı ve sıcaklık kavramları
- 4) Sıcaklığın ölçümü ve termometreler
 - 4.a) Bir cismin sıcaklığının saptanması
 - 4.b) Gaz termometresi
 - 4.c) Sıvı termometreleri
- 5) Isı miktarının ölçümü ve kalorimetreler
 - 5.a) Isı miktarının ölçümü
 - 5.b) Isı oluşturan olaylar
 - 5.b.1) Durum değiştirme ısısı
 - 5.b.2) Yanma ısısı
 - 5.c) Kalorimetreler
- 6) Yetkin gaz kanunları
 - 6.a) Avogadro Kanunu
 - 6.b) Boyle ve Mariotte Kanunu
 - 6.c) Gay-Lussac Kanunları
 - 6.c.1) Gay-Lussac Hacim Kanunu
 - 6.c.2) Gay-Lussac Basıncı Kanunu
 - 6.d) Genel Gaz Kanunu
 - 6.e) Dalton Kanunu

ÇÖZÜMLÜ PROBLEMLER

TEMEL KAVRAMLAR VE YETKİN GAZ KANUNLARI

1) TERMODİNAMİĞİN TANIMI

Termodinamik ısıyı, ısı ile enerjinin diğer türleri arasındaki ilişkiyi ve özellikle ısıнын mekanik enerjiye dönüştürülmesine ilişkin fizik kanunlarını inceleyen bilimdir. Bu bilim oldukça yenidir. Fakat buna rağmen günümüzde artık mekanik bile Termodinamiğin bir kolu sayılmaktadır. Doğada karşılaşılan tüm fiziksel olayların maddesel bir görünümü vardır. Ayrıca bunların mekanik bir modelini de vermek mümkündür. Ancak, ısı incelenirken, özde değil görünürde, mekaniğe yabancı bazı deneysel kavramlarla işe başlamak gerekir. Termodinamik sıcaklık ve ısı miktarı denilen iki temel kavrama dayanır. Bilindiği gibi, sıcaklık termometre, ısı miktarı da kalorimetre adı verilen aletlerle ölçülür. ısıнын incelenmesine sıcaklık ve soğukluk duygularının algılanması ile başlanır. Daha ilk çağlarda insanlar, ısıнын cisimler üzerinde ergime, buharlaşma, genleşme şeklinde ortaya çıkan etkilerini gözlemişler ve bunlardan yararlanmanın yollarını araştırmışlardır. Ancak bugün elimizde eski çağlardan kalma ısı ile ilgili ölçüm, tanım ve açıklamaları içeren hiçbir yazılı belgenin bulunmaması Termodinamiğin çok yeni bir bilim olduğunu kanıtlamaktadır.

2) ENERJİNİN TANIMI

Enerji, Termodinamiğin kurucuları ve bu bilimin gelişmesine katkısı olan bazı bilim adamları tarafından hareket halindeki kuvvet ve iş veren bir maddesel sistemin sahip bulunduğu yetenek olarak tanımlanmaktadır.

Isı dışında, enerji doğrudan doğruya ölçülebilen bir nicelik değildir ve aynı ayrı ölçülebilen en az iki büyüklüğün çarpımı ile ifade edilir. Örneğin mekanik iş kuvvetle bir uzunluk ve zinde kuvvet kütle ile hızın karesi çarpılarak bulunur. Elektrik enerjisinin hesabı daha karmaşıktır. Çünkü akım şiddetininin, potansiyel farkının ve direncin ölçümünü ve bilinmesini gerektirir.

20. yüzyılın başında, klâsik yer ve zaman kavramlarının ötesinde Rölativite Teorisini ortaya atan büyük bilgin Albert Einstein kütleli maddenin enerjiye ve enerjinin de kütleli maddeye dönüşebileceğini açıklamış ve bilime "Kütleli madde ile enerjinin eşdeğerliği ilkesini" sokmuştur. O dönemde bu ilkeyi doğrulayacak deneysel kanıtlar bulmak çok güçtü. Ama günümüzde elementer partiküllerin kinetik enerjiden ürediklerini ve kinetik enerjiden üreyen bu partiküllerin de ışınlara dönüşüklerini deneysel olarak gözlemek olanağı bulunmaktadır. Bu bakımdan kütleli maddenin enerjiye dönüşmesi ve bunun tam tersi artık olağan karşılanan olgular olmuştur. Günümüzde kütleli maddeye yoğunlaşmış enerji olarak bakılmaktadır. Kütleli madde ile enerjinin eşdeğerliği ilkesi Albert Einstein tarafından

$$E = m \cdot c^2$$

denklemleri ile ifade edilmiştir. Bu denklemde yer alan (c) ışığın boşluktaki hızını, (m) maddesel kütle ve (E) de maddesel kütleli enerji eşdeğerini göstermektedir. Son ölçümlerle ışığın boşluktaki hızı (2,9978.10⁸ m/sn) olarak saptanmıştır. Görüldüğü gibi, maddesel kütle ile enerji arasındaki eşdeğerlik katsayısı çok büyüktür. Bu nedenle kütleli maddenin, gerçekte, tükenmeyen bir enerji kaynağı olduğu söylenebilir.

Enerji, bu açıklamalardan da anlaşılacağı gibi, tüm elementer partikülleri oluşturan kütleli maddedir ve aynı zamanda hareketi meydana getiren, değişmeyi yaratan bir kuvvete de sahiptir. Enerjinin toplam niceliği değişmez. Evrendeki tüm değişmelerin nedeni olan enerji harekete, ısıya, ışığa ve gerilime dönüşerek varlığını belli eder ve sürdürür.

3) ISI VE SICAKLIK KAVRAMLARI

Termodinamiğin dayandığı ısı ve sıcaklık kavramlarını birbirinden ayırmak inanılmayacak kadar uzun bir zaman almıştır. Isı ve sıcaklık kavramları arasında nesnel bir ayırım yapıldıktan sonra ancak Termodinamikte, gerçek anlamda ilerleme sağlanabilmiştir.

Isı ve sıcaklık kavramları kimseye yabancı değildir. Ama bunları inceleyerek aralarındaki ayırımı ortaya koymak gerekir. Bir cismin sıcak, diğer bir cismin de soğuk olduğunu dokunma duyumuzla algılarız. Bu algılama nitel bir değerlendirmedir ve Termodinamikte geçerli olan nicel bir tanımlama ve değerlendirme için yeterli değildir. Biri soğuk, biri ılık ve biri de sıcak su ile dolu olan üç ayrı kab alalım. Bir elimizi soğuk su dolu kaba, diğer elimizi de sıcak su dolu kaba sokalım. Birinci kabtaki suyun soğuk ve ikinci kabtaki suyun sıcak olduğunu algılarız. Daha sonra her iki elimizi birden ılık su dolu kaba sokacak olursak algıladığımız duyguların farklı ve çelişik olduklarını gözleriz. Farklı ve çelişik duyguların getirdiği sorunlar ancak termometre adı verilen bir ölçüm aleti kullanılarak çözümlenebilir.

Isı adı verilen enerji türünü tanımlayabilmek için bazı niteliklerini saptamak gerekir.

Maddesel özellikleri, kütle ve sıcaklıkları farklı olan cisimleri çevreden tamamen yalıtılmış bir yere hep birlikte koyalım. Bir süre sonra bunların sıcaklıklarının aynı değeri aldığını gözleriz. Bilindiği gibi, bir hastanın sıcaklığı civalı termometre ile ölçülür. Termometre sıcaklığı ölçülecek hastanın uygun bir yerine yerleştirilir. Burada dikkat edilmesi gereken nokta, arada başka bir madde olmaksızın termometre ile hastanın birbirine temas etmesini sağlamaktır. Termometre hasta ile temas edince sıcaklığı yükselir ve bir süre sonra sıcaklığın yükselmesi durur. Bunun nedeni hastanın sıcaklığı ile termometrenin sıcaklığının aynı olmasıdır. Bu somut örnekler ısının bir cisimden diğer bir cisme geçebildiğini ve bir cisimden diğer bir cisme geçen ısının da o cismin sıcaklığını yükselttiğini kanıtlamaktadır. Suyun bulunduğu düzeyden daha alçakta başka bir düzeye akması gibi ısının da sıcaklığı yüksek olan bir cisimden sıcaklığı daha düşük olan başka bir cisme geçtiği düşünülebilir. Gerçekte bu ilkel bir benzetme olmakla beraber olguların birçoğuna uymaktadır. Yapılan bu kısa açıklama ısı kavramı ile diğer fiziksel kavramlar arasında bir benzerlik olduğunu da vurgula-

maktadır. Isı adı verilen enerji türü elle tutulan, gözle görülen bir nesne değildir ve bir süre sonra çevreye yayılır yani bir cisimden diğer bir cisme geçer. Isı, Termodinamiğin kurucuları tarafından, bulunduğu yerin sıcaklığını yükselten ve bir cisimden diğer bir cisme kendiliğinden geçebilen enerji olarak tanımlanmaktadır.

Sıcaklık kavramı, bilindiği gibi, çevrede bulunan cisimlere dokunularak algılanan duygularla oluşur. Bir cisimden bahsedilirken, bunun diğer cisimden daha sıcak ya da daha soğuk olduğu söylenir. Isı ve sıcaklık gerçekte, birbirine bağlı olan kavramlardır. Bununla beraber bunları birbirinden kesinlikle ayırmak gerekir. Çünkü ısı bir enerji, fakat sıcaklık onun potansiyel seviyesidir. Sıcaklık, aynı zamanda bir cismin iç hareketliliğinin belirlenmesini ve ölçülerek değerlendirilmesini de sağlar. Alınan ısı ile orantılı olarak sıcaklığın artması giderek yapının bozulmasına yol açar. Yapının bozulmasına Termodinamikte, durum değişikliği denir. Örneğin bir katı ergir, bir sıvı buharlaşır. Eğer bir katının ergimesinde ve bir sıvının buharlaşmasında basınç sabit kalırsa durum değişikliği de sabit sıcaklıkta meydana gelir.

4) SICAKLIĞIN ÖLÇÜMÜ VE TERMOMETRELER

4.a) BİR CİSMİN SICAKLIĞININ SAPTANMASI

Sıcaklık, bir cismi oluşturan moleküllerin ya da elementer partiküllerin hareketliliğini ifade eder. Sıcaklığı belirlemek için bunun değişimini somut olarak yansıtan bir fiziksel olay seçilir. Bu fiziksel olay bir cismin genişmesi olabileceği gibi bir basınç değişmesi de olabilir. Seçilen fiziksel olayın termoskopik nitelikte olması gerekir. Termoskopik olayların en belirgin niteliklerinden biri, sıcaklık değiştiği zaman bunların da aynı yönde değişiklik gösterebilmesidir. Bir cismin sıcaklığının belirlenmesi söz konusu olduğu zaman genişlemenin ya da basınç değişmesinin oluşumuna olanak sağlayan bir alet seçilir. Seçilen bu aletle sıcaklığı belirlenecek

cisim biribirine temas ettirilir. Aletle cisim arasında termik denge kurulduktan sonra önceden derecelendirilmiş alet üzerine yansıyan termoskopik olayın sayısal değeri cismin sıcaklığını ifade eder.

Termoskopik olayın oluşumuna olanak sağlayan ve oluşan termoskopik olayın aracılığı ile bir cismin sıcaklığını belirleyen aletlere termometre denir. Termometreler termik denge kurulurken sıcaklığı ölçülecek cisme mümkün olduğu kadar az ısı verecek ya da ondan mümkün olduğu kadar az ısı alabilecek nitelikte olmalıdır. Termometrelerin kalorifik kapasitesi de düşük tutulmalı yani az bir miktar ısı ile bunların sıcaklığında büyük değişimler meydana gelmemelidir.

4.b) GAZ TERMOMETRESİ

Genleşme, incelenmesi ve sayısal olarak değerlendirilmesi kolay olan bir fiziksel olaydır. Bu niteliğinden ötürü, sıcaklığı ölçmek ve belirlemek için bir genleşme olayından yararlanmakta büyük yarar vardır.

Bilindiği gibi, katılar sıvılardan ve sıvılar da gazlardan daha az genleşirler. Katıların genleşmesinde karşılaşılan güçlükler sıcaklığın ölçülmesinde bunların kullanımını engellemektedir. Katılar kadar olmamakla beraber sıvılardan yararlanmanın da sakıncaları vardır. Bir kez kullanmak için sıvıyı mutlaka katı bir kabın içinde bulundurmak gerekir. Bu, hemen belirtelim ki, ölçüm işlemini çoğu zaman duyarlılıktan uzaklaştırmakta ve güçleştirmektedir. Genellikle gereksiz ayrıntılardan kurtulmak için sıcaklık ölçümünün gazlardan yararlanılarak sabit hacimde yapılması istenilir. Sabit hacimde gazlardan yararlanılarak yapılan sıcaklık ölçüm işlemi basınç ve basınç değişmelerinin ölçümü esasına dayanır. Gaz termometresinde, genellikle, hidrojen kullanılır. Bunun nedeni, hidrojenin ısıyı iyi iletmesi ve saf olarak elde edilmesindeki kolaylıktır.

İleride, Yetkin Gaz Kanunlarını incelerken karşılaştığımız

bir konuya burada kısaca değineceğiz. Yapılan deneysel araştırmalar sonunda kütlesi değişmeyen ve değişmeyen hacimde tutulan bir gazın mutlak basıncının mutlak sıcaklığına oranının daima sabit kaldığı saptanmıştır. Kütlesi değişmeyen ve değişmeyen hacimde tutulan bir gazın mutlak basıncını (P) ve mutlak sıcaklığını da (T) ile gösterecek olursak (a) oran etkeni olduğuna göre,

$$T = a \cdot P$$

eşitliğini yazabiliriz. Mutlak basınç, efektif basınçla atmosferik basıncın toplamıdır. Effektif basınçtan manometre ile ölçülen basınç anlaşılmalıdır. Effektif basıncı (P_{eff}) ve atmosferik basıncı da (P_{atm}) ile gösterelim. Bu durumda,

$$P = P_{eff} + P_{atm}$$

eşitliğini yazabiliriz. Mutlak sıcaklık kavramını açıklayabilmek için SANTIĞRAD SICAKLIK ÖLÇÜM DÜZENİ üzerinde durmak gerekir. Sıcaklık, uzun süre ampirik bir nesne olarak kabul edilmiş ve başlangıçta pratik gereksinimleri karşılamak için gelişigüzel seçilmiş ölçüm düzenlerinden yararlanılmıştır. Kesin ve tutarlı bir gösterge elde edebilmek, hemen belirtelim ki, değişmeyen sıcaklıklarda ve belirli basınçlarda meydana gelen durum değişikliklerini saptamakla mümkün olur. (76 cm) yüksekliğinde civa sütununa eşdeğer basınç altında buzun ergimesi ve suyun kaynaması bu durum değişikliklerine örnek alınabilir. Santigrad ya da Celsius ölçüm düzeninde buzun ergime noktası sıfır ve suyun kaynama noktası da (100) kabul edilir. İşleyiş düzenini açıklayacağımız Normal Hidrojen termometresinin hazinesi önce ergimekte olan buza ve sonra kaynamakta olan suya daldırılır, ergime ve kaynama noktalarını karşılayan sıcaklıklarda kütlesi değişmeyen ve değişmeyen hacimde tutulan hidrojenin basıncı da sırası ile (P_0) ve (P_{100}) olarak belirlenir. Eğer (t) santigrad sıcaklığı ise buzun ergime noktasını mutlak sıcaklık ölçüm düzeninde karşılayan sıcaklık (T_0) olduğuna göre

$$T = T_0 + t$$

eşitliğini yazabiliriz.

$$T = a \cdot P$$

eşitliğinde (T)'nin değerini yerine koyacak olursak

$$T_0 + t = a \cdot P$$

eşitliğini elde ederiz. Şimdi

$$T_0 = a \cdot P_0$$

ve

$$T_{100} = a \cdot P_{100}$$

eşitliklerini yazalım.

$$T_{100} = T_0 + 100$$

olduğu için

$$T_{100} = a \cdot P_{100}$$

eşitliğinden yararlanılarak

$$T_0 + 100 = a \cdot P_{100}$$

eşitliği yazılabilir.

$$T_0 + t = a \cdot P$$

eşitliği ile

$$T_0 = a \cdot P_0$$

eşitliğini ve

$$T_0 + 100 = a \cdot P_{100}$$

eşitliği ile yine

$$T_0 = a \cdot P_0$$

eşitliğini taraf tarafa çıkaracak olursak

$$t = a (P - P_0)$$

ve

$$100 = a(P_{100} - P_0)$$

eşitliklerini elde ederiz.

$$t = a(P - P_0)$$

ve

$$100 = a(P_{100} - P_0)$$

eşitliğinin birleşimi yapılırsa

$$P = P_0 \left(1 + \frac{P_{100} - P_0}{100 \cdot P_0} \cdot t\right)$$

eşitliği bulunur. $\left(\frac{P_{100} - P_0}{100 \cdot P_0}\right)$, hidrojenin sıkışma katsayısı olarak adlandırılır ve (β) ile gösterilir.

$$P = P_0 \left(1 + \frac{P_{100} - P_0}{100 \cdot P_0} \cdot t\right)$$

eşitliğinde, $\left(\frac{P_{100} - P_0}{100 \cdot P_0}\right)$ yerine (β) koyacak olursak

$$P = P_0(1 + \beta t)$$

eşitliğini elde ederiz. Yapılan deneysel araştırmalar sonunda sıkışma katsayısı (β) 'nin değeri $(1/20000)$ hata ile $(1/273,16)$ olarak belirlenmiştir. Bu açıklamalardan sonra, mutlak sıcaklık ölçüm düzeninde buzun ergime noktasını karşılayan sıcaklığı bulalım. Mutlak sıcaklık ölçüm düzeninde buzun ergime noktasını karşılayan sıcaklığı bulmak için

$$T_0 = a \cdot P_0$$

$$P = P_0(1 + \beta t)$$

ve

$$T = a \cdot P$$

eşitlikleri ile

$$T = T_0 + t$$

eşitliğinden yararlanılır.

$$P = P_0(1 + \beta t)$$

eşitliği ile

$$T = a \cdot P$$

eşitliğinin birleşimi yapılırsa

$$T = a \cdot P_0(1 + \beta t)$$

eşitliği elde edilir. Bundan sonra

$$T = a \cdot P_0(1 + \beta t)$$

eşitliği ile

$$T_0 = a \cdot P_0$$

ve

$$T = T_0 + t$$

eşitliklerinin birleşimini yapalım. Bu durumda

$$T_0 = \frac{1}{\beta}$$

eşitliği elde ederiz.

$$\beta = \frac{1}{273,16}$$

olduğu için

$$T_0 = 273^{\circ},16$$

olur. Bu açıklama bize, mutlak sıcaklık ölçüm düzeninde buzun ergime noktasını karşılayan sıcaklığın ($273^{\circ},16$) olduğunu göstermektedir. Mutlak sıcaklık ölçüm düzenine göre sıcaklık (KELVİN DERECE) ile ifade edilir ve ($^{\circ}K$) notasyonu ile gösterilir.

$$T = T_0 + t$$

eşitliğinde (T_0) yerine ($273^{\circ},16$) koyacak olursak

$$T = 273,16 + t$$

eşitliğini elde ederiz. Şimdi sabit hacimde tutulan bir gazın basıncının sıfır olduğu sıcaklığı araştıralım.

$$P = 0$$

olursa

$$P = P_0(1 + \beta t)$$

eşitliğinden yararlanarak

$$t = -\frac{1}{\beta}$$

eşitliğini yazabiliriz.

$$\beta = \frac{1}{273,16}$$

olduğu için

$$t = -273^{\circ},16$$

olur. Bu açıklama da bize, sabit hacimde tutulan bir gazın basıncının sıfır olduğu sıcaklığın santigrad ölçüm düzenine göre değerinin ($-273^{\circ},16$) olduğunu göstermektedir. Sabit hacimde tutulan bir gazın basıncının sıfır olduğu sıcaklığın mutlak sıcaklık ölçüm düzenindeki değerini bulmak için

$$T = 273,16 + t$$

eşitliğinde, (t) yerine ($-273^{\circ},16$) koymak gerekir.

$$T = 273,16 + t$$

eşitliğinde (t) yerine ($-273^{\circ},16$) konulursa

$$T = 0^{\circ}K$$

bulunur. Görülüyor ki, sabit hacimde tutulan bir gazın basıncının sıfır olduğu sıcaklığın mutlak sıcaklık ölçüm düzenindeki değeri ($0^{\circ}K$)'dir. İşte sabit hacimde tutulan bir yetkin gazın basıncının sıfır olduğu sıcaklığın mutlak sıcaklık ölçüm düzenindeki değerine Termodinamikte MUTLAK SIFIR denir.

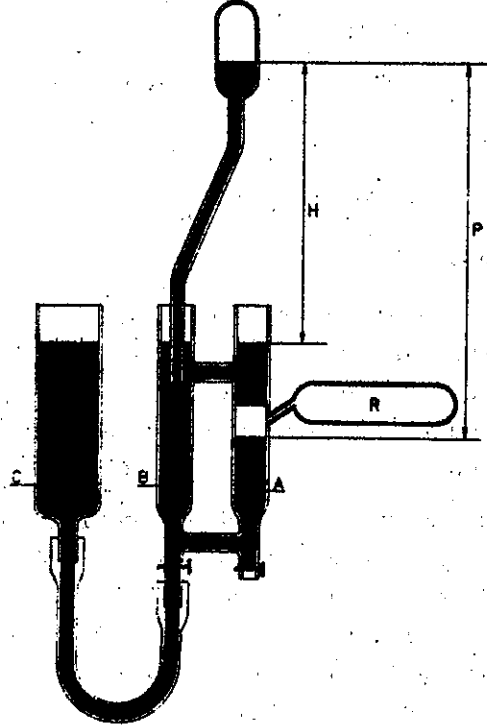
Santigrad ölçüm düzeni ile mutlak sıcaklık ölçüm düzeninden başka sıcaklık ölçüm düzenleri de vardır. Bunlar Réaumur ve Fahrenheit ölçüm düzenleridir. Réaumur ölçüm düzeni bugün için tamamen terk edilmiştir. Bu ölçüm düzeninde buzun ergime noktasını karşılayan sıcaklık (0°) ve suyun kaynama noktasını karşılayan sıcaklık da (80°) ile gösterilir. Fahrenheit ölçüm düzeni, hâlen İngiltere ve Amerika Birleşik Devletlerinde kullanılmaktadır. Fahrenheit ölçüm düzeninde, buzun ergime noktasını

karşılaman sıcaklık (32°) ve suyun kaynama noktasını karşılayan sıcaklık da (212°) olarak alınır.

(Şekil-1.1)'de, BUREAU INTERNATIONAL DES POIDS ET MESURES adlı kurum tarafından kabul edilmiş olan bir HİDROJEN TERMOMETRESİ görülmektedir. Hidrojen Termometresi ile sıcaklık ölçümü, yukarıda da değinmiş olduğumuz gibi, sabit hacimde tutulan hidrojenin sıcaklığa bağlı olarak basıncında meydana gelen değişimler saptanarak yapılır. Sabit hacimde tutulan hidrojenin sıcaklığı ile basınç değişimi arasındaki ilişki,

$$P = P_0(1 + \beta t)$$

eşitliği ile gösterilir.



Şekil-1.1 (HİDROJEN TERMOMETRESİ)

Hidrojen Termometresi dört parçadan oluşmuştur. Hidrojen (R) haznesinin içerisinde bulunur. Boyu çok uzun olan (R) haznesi platinden yapılmıştır. (R) haznesi, civa seviyesinde meydana gelen değişimlere bağlı olarak basınç değişimini belirlemek için (A) tübünün içindeki hücreye bir kılcal boru ile bağlanmıştır. (A) ve (B) tüpleri de birbiriyle bağlantılıdır. (C) tübü ile (A) ve (B) tüpleri arasındaki bağlantı bir lastik boru tarafından sağlanır. (A), (B) ve (C) tüplerinin içerisinde civa vardır. (C) tübünün işlevi, aşağı-yukarı hareket ettirilerek basınç değişiminin ve buna bağlı olarak sıcaklığın ölçümü esnasında (A) ve (B) tüplerindeki civanın belirli bir seviyede durmasını sağlamaktır. (B) tübünün içerisine, ayrıca, kaynamakta olan suyun sıcaklığının ölçümünde yapılması gereken düzeltmeler için atmosfer basıncının belirlenmesine yarayan bir barometre yerleştirilir. Sıkıştırma katsayısı (β)'nin değeri, bu cihazda hidrojen için ($1/273,03$) olarak saptanmıştır. (β)'nin değeri saptandıktan sonra

$$t = \frac{1}{\beta} \cdot \frac{P - P_0}{P_0}$$

eşitliğinin yardımı ile sıcaklığın hesabı kolayca yapılabilir.

C) SIVI TERMOMETRELERİ

Pratik gereksinimler ve günlük yaşamda karşılaşılan sıcaklıkların ölçümü için sıvıların cam içinde izlenebilen genişlemesinden yararlanılır. Bunun için özellikle civa seçilir. Çünkü civanın elde edilmesi kolaydır. Civa termometre camı içerisinde iyi görünür ve kalorifik kapasitesi düşük olduğundan az miktar ısı ile kolayca genişler. Sıvı termometreleri, civa dolu bir hazne, buna bağlı olan kılcal bir cam boru ve bir göstergeden oluşur. Hazneye bağlı olan kılcal cam borunun ucu, içindeki hava tamamen boşaltıldıktan sonra kapatılmalıdır. Kılcal cam borunun boyu, haznenin hacmi yeterli olursa ancak çok uzun tutulabilir. Bu durumda termometrelerin duyarlılığı ($1/1000$) dereceye

ulaşır. Termometrelerin en duyarlı olanları hekim termometreleri gibi yalnız birkaç dereceyi kapsayan bir aralıkta kullanılmak için imâl edilir.

Civalı termometreler cıvanın ergime noktası olan $(-38,87^{\circ}\text{C})$ 'den kaynama noktası olan $(+357^{\circ}\text{C})$ 'ye kadar kullanılabilir. Bazı hallerde, (600°C) 'nin üstündeki sıcaklıklarda yumuşayarak fiziksel özelliklerini kaybeden camdan yapılmış termometrelerin (550°C) 'ye kadar tüm sıcaklıkların ölçümünde kullanıldıkları da olur. (-39°C) 'den daha küçük olan sıcaklıkların ölçümünde renkli alkol termometrelerinden yararlanılır. Bu tür termometrelerle (-120°C) 'ye kadar olan sıcaklıklar ölçüldüğü gibi adi sıcaklıklar da ölçülebilir. Bazı hallerde sıvı termometrelerinde Tolüen ve Pentan gibi maddeler de kullanılır. Tolüen, benzole benzeyen bir hidrokarbürdür. Ancak bu sıvıların kullanıldığı termometreleri çok iyi taksimatlandırmak gerekir. Örneğin (-70°C) 'lik sıcaklık iyi taksimatlandırılmamış bir tolüen termometresinde (-60°C) okunur. (Şekil-1.2)'de, çok kullanılan bir renkli alkol termometresi görülmektedir.



Şekil:1.2 Renkli Alkol Termometresi

5) ISI MIKTARININ ÖLÇÜMÜ VE KALORİMETRELER

5.a) ISI MIKTARININ ÖLÇÜMÜ

Isının en belirgin niteliklerinden biri de doğrudan doğruya ölçülebilmesidir. Isı miktarının ölçümünde KALORİ (cal) ve TERMİ (th) denilen ölçü birimlerinden yararlanılır. (1 kalori), normal yerçekimi ivmesi altında ağırlığı (1 gram) olan su kütlesinin sıcaklığını (1°) arttırmak için gerekli ısı miktarı olarak tanımlanmaktadır. (1 termi), normal yerçekimi ivmesi altında ağırlığı (1 ton) olan su kütlesinin sıcaklığını (1°)

yükselten ısı miktarıdır. ⁽¹⁾

$$1 \text{ th} = 10^3 \text{ kcal} = 10^6 \text{ cal}$$

Bir cisim çevre ile ısı alış-verişi yaparsa bilindiği gibi, sıcaklığı değişir. Ağırlığı (G) olan su kütlesine ısı verilerek sıcaklığının (t)'den (θ)'ya yükseltildiğini kabul edelim. Bu durumda sıcaklık değişimi ($\theta - t$) olur ve suyun özgül ısınma ısısı (C) olduğuna göre, ağırlığı (G) olan su kütlesine verilen ısı miktarı

$$Q = C \cdot G \cdot (\theta - t)$$

eşitliğinden yararlanılarak bulunur.

Isı alış-verişi, termik denge kuruluncaya dek devam eder ve termik denge kurulurken birbirine temas eden iki cisimden birinin verdiği ısı miktarı diğerinin aldığı ısı miktarına eşit olur.

Ağırlığı (G_1), sıcaklığı (t_1) olan su kütlesi ile ağırlığı (G_2), sıcaklığı da (t_2) olan su kütlesinin karıştırıldığı ve termik denge kurulduktan sonra karışımın sıcaklığının (θ) olduğunu kabul edelim. Eğer

⁽¹⁾

Teknikte, birinci esas birim olarak uzunluk birimi (metre), ikinci esas birim olarak zaman birimi (saniye) üçüncü esas birim olarak kuvvet birimi (kilogram) alınmıştır. Fizikte ise birinci esas birim olarak uzunluk birimi (metre), ikinci esas birim olarak zaman birimi (saniye), üçüncü esas birim olarak da kütle birimi (kilogram) seçilmiştir. Teknikte üçüncü esas birim olarak alınan kuvvet birimi (kilogram), $(+4^{\circ}\text{C})$ sıcaklıkta (1 dm^3) saf suyun normal yerçekimi ivmesi altındaki ağırlığı, fizikte üçüncü esas birim olarak seçilen kütle birimi (kilogram) da $(+4^{\circ}\text{C})$ sıcaklıkta (1 dm^3) saf suyun kütlesidir. Buradaki terslik, görüldüğü gibi, Teknik Birimler Sistemindeki kuvvet birimi ile Fizik Birimler Sistemindeki kütle biriminin (kilogram) olarak adlandırılmalarıdır. Bu durum, bugün bile bu önemli sorunu çevreleyen ve bir türlü önlenemeyen karışıklığın temel nedenidir. Fizik Birimler Sistemine göre kütlesi (1 kilogram) olan bir cismin Teknik Birimler Sistemine göre, normal yerçekimi ivmesi altında ağırlığı (1 kilogram)'dır. Bunun için bir cismin Fizik Birimler Sistemine göre belirlenen kütlesi ile Teknik Birimler Sistemine göre belirlenen ağırlığı arasındaki bu sayısal eşdeşlik daima göz önünde bulundurulmalıdır.

olursa $t_1 > t_2$

ve $\theta < t_1$

olursa $t_1 < t_2$

olursa $\theta > t_1$

olur. Karışım oluşurken ağırlığı (G_1), sıcaklığı (t_1) olan su kütlelerinin kaybettiği ya da kazandığı ısı miktarını (Q_1) ve ağırlığı (G_2), sıcaklığı (t_2) olan su kütlelerinin kaybettiği ya da kazandığı ısı miktarını da (Q_2) ile gösterebiliriz. Bu durumda

$$Q_1 + Q_2 = 0$$

eşitliğini yazabiliriz.

$$Q_1 = C \cdot G_1 (\theta - t_1)$$

$$Q_2 = C \cdot G_2 (\theta - t_2)$$

olduğu için

$$Q_1 + Q_2 = 0$$

eşitliğinden yararlanılarak

$$C \cdot G_1 (\theta - t_1) + C \cdot G_2 (\theta - t_2) = 0$$

eşitliği yazılabilir.

Her cismin suya göre saptanan bir ısınma katsayısı vardır. Bir cismin suya göre saptanan ısınma katsayısı ile ağırlığı çarpılırsa kalorifik olarak bu cisme eşdeğer su kütlelerinin ağırlığı bulunur. İşte kalorifik olarak bir cisme eşdeğer su kütlelerinin ağırlığına KALORİFİK GENLİK denir.

5.b) ISI OLUŞTURAN OLAYLAR

5.b.1) DURUM DEĞİŞTİRME ISISI

Gazlar sıvılaştırırken ve sıvılar da katılaştırırken çevreye ısı yayarlar. Gazların sıvılaştırırken ve sıvıların da katılaştırırken çevreye yaydıkları ısıya DURUM DEĞİŞTİRME ISISI denir.

Gazların sıvılaştırırken ve sıvıların da katılaştırırken çevreye ısı vermelerine karşın sıvılar buharlaştırırken ve katılar da ergirken çevreden ısı alırlar. Belirli bir basınç altında ve bu basıncı karşılayan sıcaklıkta katıların (1 gram) 'ını sıvılaştırmak için gerekli ısı miktarına ERGİME ISISI ve sıvıların (1 gram) 'ını buharlaştırmak için gerekli ısı miktarına da BUHARLAŞMA ISISI denir.

5.b.2) YANMA ISISI

Kimyasal reaksiyonlarda, bilindiği gibi, bir bileşik oluşurken ısı da oluşur. Isı oluşturan kimyasal reaksiyonlara ekzotermik reaksiyonlar denir. Örneğin yüksek oranda karbon içeren kömür, benzin, benzol, asetilen gibi hidrokarbürler yanarken çevreye ısı yayarlar. İşte ağırlığı (1 gram) olan bir kütleli maddenin yanarken çevreye yaydığı ısı miktarına YANMA ISISI denir.

5.c) KALORİMETRELER

Isı miktarının ölçülmesinde kalorimetre adı verilen aletlerden yararlanılır. Isı miktarının ölçülmesinde başvurulan birçok kalorimetrik yöntemler vardır. Bu kalorimetrik yöntemlerin esasını, ısının kalorimetreye geçirilmesi ve kalorimetreye geçirilen ısının da ölçülmesi oluşturmaktadır.

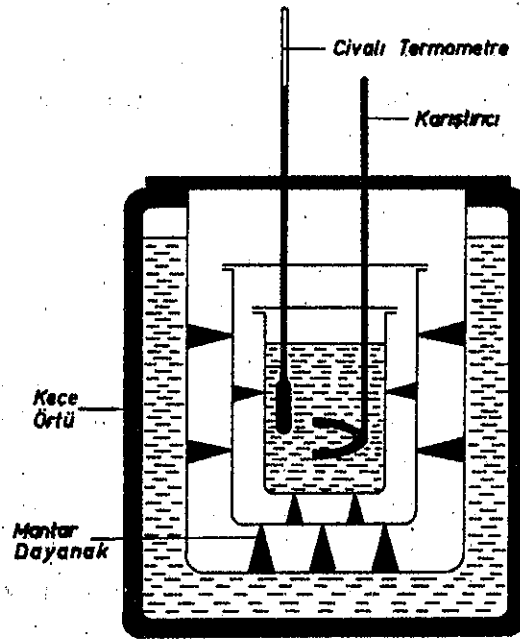
(Şekil-1.3)'de BERTHELOT KALORİMETRESİ görülmektedir. Berthelot Kalorimetresi ile ısı miktarının ölçümünde karışımlar yönteminden yararlanılır. Bu yöntemle ölçülecek ısı miktarı, kalorimetrede ağırlığı ve sıcaklığı bilinen su kütlelerine geçirilir ve sonra suyun sıcaklığında meydana gelen değişim miktarı saptanarak ısı miktarı hesaplanır.

Berthelot Kalorimetresinde çok ince bir metalden yapılmış olan asıl kalorimetre koruyucu bir kabın içerisine yerleştirilmiştir. Bu koruyucu kaba gömlek adı verilir. Kalorimetre ile gömlek arasında, iyi bir yalıtkan olan mantardan yapılmış dayanaklar bulunur. Gömlek, kalorimetreyi çevreden tamamen

yalıtmak için dış yüzü keçe ile kabllanmış ve çeperleri arasında su bulunan bir kabin içerisine yerleştirilir. Kalorimetre, ayrıca bir karıştırıcı ve bir de civalı termometre ile donatılmıştır. Kalorimetre ile ısı miktarının ölçümünde hata payının çok düşük bir düzeyde tutulması zorunluluğu da vardır. Ölçümdeki hatanın (1/200) ya da (1/300) olması için kullanılan civalı termometrenin hiç değilse (1/100) dereceyi ölçebilecek kadar duyarlı olması gerekir. Kalorimetreye geçen ısı miktarı bulunurken su kabının, termometrenin ve karıştırıcının kalorifik genlikleri su kütlesinin ağırlığına eklenir. Su kabının kalorifik genliğinin ($G_0.C_0$), termometrenin kalorifik genliğinin ($G_1.C_1$), karıştırıcının kalorifik genliğinin ($G_2.C_2$) ve sıcaklık değişiminin de ($\theta - t$) olduğunu kabul edelim. Bu durumda kalorimetreye geçen ısı miktarı,

$$Q = (G + G_0.C_0 + G_1.C_1 + G_2.C_2)(\theta - t)$$

eşitliğinden yararlanılarak bulunur.



Şekil-1.3 Berthelot Kalorimetresi

6) YETKİN GAZ KANUNLARI

6.a) AVOGADRO KANUNU

Avogadro Kanunu, gazların kimyasal reaksiyonlarında karşılaşılan önemli bir kanundur. Geçen yüzyılın başında Fransız bilgini Gay-Lussac, gazların kimyasal reaksiyonları ile ilgili birçok deneyler yapmış ve kimyasal reaksiyona katılan gazların hacimleri arasında, aynı koşullar altında küçük ve tam sayılarla ifade edilebilen bir oran bulunduğunu göstermiştir. Örneğin aynı koşullar altında bulunan iki hacim karbonmonoksit ile bir hacim oksijenin iki hacim karbondioksit ve iki hacim hidrojenle bir hacim oksijenin iki hacim su buharı oluşturdularını gözlenmiştir. Ancak Gay-Lussac, aynı basınç, aynı sıcaklık ve aynı hacimde tutulan gazlarda aynı sayıda atılan atom bulunduğunu tasarladığı için bu olguyu açıklayamamıştır.

Bütün gazlar, basınç ve sıcaklık değişimine karşı aynı tepkiyi gösterirler. Bunu göz önünde bulunduran İtalyan bilgini Avogadro gazların aynı yapıya sahip bulunduğunu düşünerek bu yapıda birden fazla atomun oluşturduğu bağımsız bir elemana yer verilmesi gerektiğini kabul etmiştir. Gazların yapısında yer alan, birden fazla atomun oluşturduğu bu bağımsız elemana bilimde molekül adı verilir.

Gazların katıldıkları kimyasal bir reaksiyonda toplam hacmin azalmasının nedeni molekül sayısının azalmasıdır. Atom sayısı değişmediğine göre, molekül sayısının azalması için molekülde atom sayısının çoğalması gerekir. Gazların yapısında önemli olan atom değil moleküldür. Elementel gazların moleküllerinde de birden fazla atom bulunabilir. Gazların ortak olan yanı, birim hacimdeki molekül sayısıdır. Bu kısa açıklamaya dayanarak Avogadro Kanunu şöyle ifade edilebilir. "Aynı basınç ve aynı sıcaklıkta tutulan aynı hacimli gazlarda aynı sayıda molekül vardır."

Bir elementin atom ağırlığının (gram) olarak eşdeğeri, o elementin (1 atom-gram)'ıdır. Örneğin (1 atom-gram) hidrojen

(1 gram) hidrojene eşdeğerdir. Bütün elementlerin (1 atom-gram)'ında aynı sayıda atom bulunur. Herhangi bir elementin (1 atom-gram)'ındaki atom sayısı AVOGADRO SAYISI olarak adlandırılır.

Moleküler yapıya sahip bir maddenin kimyasal formülünde yer alan bir ya da birden fazla elementin toplam atom ağırlıklarının (gram) olarak eşdeğerine, o maddenin (FORMÜL-GRAM)'ı ya da (MOL) denir. Bunun nedeni, kimyasal formülün, tıpkı karbondioksitte, klorlu hidrojen ve suda olduğu gibi, aynı zamanda molekül formülü olmasıdır. Formül ağırlığı aynı zamanda molekül ağırlığıdır. Moleküler yapıya sahip olan herhangi bir maddenin molekül ağırlığının (gram) olarak eşdeğeri (1 molekül - gram) ya da (1 mol)'dur. Örneğin (1 mol), hidrojen (2 gram) hidrojene, (1 mol) oksijen (32 gram) oksijene ve (1 mol) su da (18 gram) suya eşdeğerdir. Moleküler yapıya sahip olan bütün maddelerin (1 mol)'unda aynı sayıda molekül bulunur. Bu durumda, Avogadro Sayısı, moleküler yapıya sahip bir maddenin (1 mol)'undaki molekül sayısı olarak da tanımlanabilir. Bütün gazların, normal koşullar altında yani (0 °C) sıcaklıkta ve deniz seviyesinde atmosferik basınçta (1 mol)'unun hacmi (22,42 . 10⁻³ m³)'tür.

6.b) BOYLE VE MARIOTTE KANUNU

Kütlesi değişmeyen ve değişmeyen sıcaklıkta tutulan bir gazın mutlak basıncı ile hacminin çarpımı daima sabit kalır.

Bir değişim sürecinde kütlesi değişmeyen ve değişmeyen sıcaklıkta tutulan bir gazın mutlak basıncının aldığı değerleri (P₁), (P₂), (P₃),, (P_n) ve hacminin aldığı değerleri de (V₁), (V₂), (V₃),, (V_n) ile gösterecek olursak, Boyle ve Mariotte Kanunu uyarınca

$$P_1 V_1 = P_2 V_2 = P_3 V_3 = \dots = P_n V_n$$

eşitliklerini yazabiliriz.

6.c) GAY-LUSSAC KANUNLARI

6.c.1) GAY-LUSSAC HACİM KANUNU

Kütlesi değişmeyen ve değişmeyen basınçta tutulan bir gazın hacminin mutlak sıcaklığına oranı daima sabit kalır.

Bir değişim sürecinde, kütlesi değişmeyen ve değişmeyen basınçta tutulan bir gazın hacminin aldığı değerleri (V₁), (V₂), (V₃),, (V_n) ve mutlak sıcaklığının aldığı değerleri de (T₁), (T₂), (T₃),, (T_n) ile gösterebiliriz. (m) oran etkeni olduğuna göre, Gay-Lussac Hacim Kanunu uyarınca

$$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2} = \frac{V_3}{T_3} = \dots = \frac{V_n}{T_n} = m$$

eşitliğini yazabiliriz.

Kütlesi değişmeyen ve değişmeyen basınçta tutulan gazın santigrad ölçüm düzeninde buzun ergime noktasını karşılayan sıcaklıkta hacmi (V₀) ve suyun kaynama noktasını karşılayan sıcaklıkta hacmi de (V₁₀₀) olsun. Bu durumda

$$V_0 = m \cdot T_0$$

ve

$$V_{100} = m \cdot T_{100}$$

eşitliklerini yazabiliriz.

$$T = T_0 + t$$

ve

$$T_{100} = T_0 + 100$$

olduğuna göre, bu eşitliklerle

$$V = m \cdot T$$

ve

$$V_{100} = m \cdot T_{100}$$

eşitliklerinin birleşiminden

$$V = m (T_0 + t)$$

ve

$$V_{100} = m (T_0 + 100)$$

eşitlikleri elde edilir.

$$V = m (T_0 + t)$$

ve

$$V_{100} = m (T_0 + 100)$$

eşitlikleri ile

$$V_0 = m \cdot T_0$$

eşitliğinin birleşimi yapılırsa

$$V = V_0 \left(1 + \frac{V_{100} - V_0}{100 \cdot V_0} \cdot t \right)$$

eşitliği bulunur. Bu eşitlikte yer alan $\left(\frac{V_{100} - V_0}{100 \cdot V_0} \right)$ genişleme katsayısı olarak adlandırılır ve (α) ile gösterilir.

$$V = V_0 \left(1 + \frac{V_{100} - V_0}{100 \cdot V_0} \cdot t \right)$$

eşitliğinde $\left(\frac{V_{100} - V_0}{100 \cdot V_0} \right)$ yerine (α) koyacak olursak bu kez

$$V = V_0 (1 + \alpha t)$$

eşitliğini elde ederiz. Yapılan deneysel araştırmalar sonunda, genişleme katsayısı (α) 'nın değeri, Genel Gaz Kanununa uyma niteliği ile yetkin gaza en çok yaklaşan hidrojen için (0,00366609) olarak saptanmıştır.

$$\alpha = 0,00366609 = \frac{1}{273,16}$$

$$V = V_0 \left(1 + \frac{1}{273,16} t \right)$$

6.c.2) GAY-LUSSAC BASINÇ KANUNU

Kütlesi değişmeyen ve değişmeyen hacimde tutulan bir gazın mutlak basıncının mutlak sıcaklığına oranı daima sabit kalır.

Bir değişim sürecinde, kütlesi değişmeyen ve değişmeyen hacimde tutulan bir gazın mutlak basıncının aldığı değerleri $(P_1), (P_2), (P_3), \dots, (P_n)$ ve mutlak sıcaklığının aldığı değerleri de $(T_1), (T_2), (T_3), \dots, (T_n)$ ile gösterelim. (n) oran etkeni olduğuna göre, Gay-Lussac Basınç Kanunu uyarınca

$$\frac{P_1}{T_1} = \frac{P_2}{T_2} = \frac{P_3}{T_3} = \dots = \frac{P_n}{T_n} = n$$

eşitliklerini yazabiliriz.

Kütlesi değişmeyen ve değişmeyen sıcaklıkta tutulan gazın santigrad ölçüm düzeninde, buzun ergime noktasını karşılayan sıcaklıkta mutlak basıncını (P_0) ve suyun kaynama noktasını karşılayan sıcaklıkta mutlak basıncını da (P_{100}) ile gösterelim. Bu durumda

$$P_0 = n \cdot T_0$$

ve

$$P_{100} = n \cdot T_{100}$$

eşitliklerini yazabiliriz.

$$T = T_0 + t$$

ve

$$T_{100} = T_0 + 100$$

olduğuna göre, bu eşitliklerle

$$P = n \cdot T$$

ve

$$P_{100} = n \cdot T_{100}$$

eşitliklerinin birleşiminden

$$P = n (T_0 + t)$$

ve

$$P_{100} = n (T_0 + 100)$$

eşitlikleri elde edilir.

$$P = n (T_0 + t)$$

ve

$$P_{100} = n (T_0 + 100)$$

eşitlikleri ile

$$P_0 = n \cdot T_0$$

eşitliğinin birleşimi yapılırsa

$$P = P_0 \left(1 + \frac{P_{100} - P_0}{100 \cdot P_0} \cdot t \right)$$

eşitliği bulunur. Bu eşitlikte yer alan $\left(\frac{P_{100} - P_0}{100 \cdot P_0} \right)$, daha önce de açıklanmış olduğu gibi, sıkışma katsayısı olarak adlandırılır ve (β) ile gösterilir.

$$P = P_0 \left(1 + \frac{P_{100} - P_0}{100 \cdot P_0} \cdot t \right)$$

eşitliğinde $\left(\frac{P_{100} - P_0}{100 \cdot P_0} \right)$ yerine (β) koyacak olursak

$$P = P_0 (1 + \beta t)$$

eşitliğini elde ederiz. Yapılan deneysel araştırmalar sonunda sıkışma katsayısı (β) 'nin değeri, Genel Gaz Kanununa uyma niteliği ile yetkin gaza en çok yaklaşan hidrojen için (0,0036609) olarak saptanmıştır.

$$\beta = 0,0036609 = \frac{1}{273,16}$$

$$P = P_0 \left(1 + \frac{1}{273,16} t \right)$$

6.d) GENEL GAZ KANUNU

Kütlesi değişmeyen bir gazın mutlak basıncı ile hacminin çarpımının mutlak sıcaklığına oranı daima sabit kalır.

Bir değişim sürecinde, gazın mutlak basıncının aldığı değerleri $(P_1), (P_2), (P_3), \dots, (P_n)$, hacminin aldığı değerleri $(V_1), (V_2), (V_3), \dots, (V_n)$ ve mutlak sıcaklığının aldığı değerleri de $(T_1), (T_2), (T_3), \dots, (T_n)$ ile gösterecek olursak, Genel Gaz Kanunu uyarınca

$$\frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_2 V_2}{T_2} = \frac{P_3 V_3}{T_3} = \dots = \frac{P_n V_n}{T_n}$$

eşitliklerini yazabiliriz.

Genel Gaz Kanununun ispatı için buzun ergime noktasını karşılayan sıcaklıkta ve deniz seviyesinde atmosfer basıncı altında homojen bir gaz kütlesi alınır. Bu gaz kütlesinin basıncı (P_0) , hacmi (V_0) ve sıcaklığı da (T_0) olsun. Başlangıçta sabit basınçta tutulan gazın bir değişim sürecinde hacminin aldığı değerleri

$$(V_{T_1}), (V_{T_2}), (V_{T_3}), \dots, (V_{T_n})$$

ve mutlak sıcaklığının aldığı değerleri de

$$(T_1), (T_2), (T_3), \dots, (T_n)$$

ile gösterelim. Bu durumda gazın hacmi ile mutlak sıcaklığı arasındaki ilişki Gay-Lussac Hacim Kanununa uyduğu için

$$\frac{V_0}{T_0} = \frac{V_{T_1}}{T_1} = \frac{V_{T_2}}{T_2} = \frac{V_{T_3}}{T_3} = \dots = \frac{V_{T_n}}{T_n}$$

eşitliklerini yazabiliriz.

Bundan sonra kütlesi değişmeyen gazın (T_1) sıcaklığında hacminin (V_{T_1}) 'den (V_1) 'e, basıncının (P_0) 'dan (P_1) 'e, (T_2) sıcaklığında hacminin (V_{T_2}) 'den (V_2) 'ye, basıncının (P_0) 'dan

(P_2) 'ye, (T_3) sıcaklığında hacminin (V_{T_3}) 'den V_3 'e, basıncının (P_0) 'dan (P_3) 'e ve nihayet (T_n) sıcaklığında da hacminin (V_{T_n}) 'den (V_n) 'ye, basıncının (P_0) 'dan (P_n) 'ye değiştiğini kabul edelim. Kütle değişmeyen ve değişmeyen sıcaklıkta tutulan gazın hacmi ile mutlak basıncı arasındaki ilişki Boyle ve Mariotte Kanununa uyduğu için bu kez

$$P_0 V_{T_1} = P_1 V_1$$

$$P_0 V_{T_2} = P_2 V_2$$

$$P_0 V_{T_3} = P_3 V_3$$

$$P_0 V_{T_n} = P_n V_n$$

eşitlikleri yazılabilir.

$$\frac{V_0}{T_0} = \frac{V_{T_1}}{T_1} = \frac{V_{T_2}}{T_2} = \frac{V_{T_3}}{T_3} = \dots = \frac{V_{T_n}}{T_n}$$

eşitlikleri ile

$$P_0 V_{T_1} = P_1 V_1$$

$$P_0 V_{T_2} = P_2 V_2$$

$$P_0 V_{T_3} = P_3 V_3$$

$$P_0 V_{T_n} = P_n V_n$$

Eşitliklerinin birleşimi yapılırsa

$$\frac{P_0 V_0}{T_0} = \frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_2 V_2}{T_2} = \frac{P_3 V_3}{T_3} = \dots = \frac{P_n V_n}{T_n}$$

eşitlikleri elde edilir.

Gazın özgül hacmi ile ağırlığı çarpılırsa, bilindiği gibi, hacmi bulunur. Gazın ağırlığını (G) ve bir değişim sürecinde özgül hacminin aldığı değerleri de

$$(V_0), (V_1), (V_2), (V_3), \dots, (V_n)$$

ile gösterecek olursak bu tanım uyarınca

$$V_0 = G \cdot v_0$$

$$V_1 = G \cdot v_1$$

$$V_2 = G \cdot v_2$$

$$V_3 = G \cdot v_3$$

$$V_n = G \cdot v_n$$

eşitliklerini yazabiliriz. Bu eşitliklerle

$$\frac{P_0 V_0}{T_0} = \frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_2 V_2}{T_2} = \frac{P_3 V_3}{T_3} = \dots = \frac{P_n V_n}{T_n}$$

eşitliklerinin birleşimi yapılırsa

$$\frac{P_0 V_0}{T_0} = \frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_2 V_2}{T_2} = \frac{P_3 V_3}{T_3} = \dots = \frac{P_n V_n}{T_n}$$

eşitlikleri elde edilir.

$(\frac{P_0 V_0}{T_0})$, Termodinamikte, GAZ SABİTİ olarak adlandırılır ve (R) ile gösterilir.

$$R = \frac{P_0 V_0}{T_0}$$

Gaz Sabiti, genellikle, gazların belirli bir durumu için hesaplanır. Avogadro Kanununa göre, aynı sıcaklık ve aynı basınçta

bulundurulmuş gazların (1 mol)'u aynı hacme sahip olur. Bu nedenle gaz sabitinin (1 mol) gaz için hesaplanması gerekir. (1 mol) gazın normal koşullarda hacmi $(22,42 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3)$ 'tür. Normal koşullarda, $(22,42 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3)$ gaz için bulunan gaz sabitine, Termodinamikte ÜNİVERSAL GAZ SABİTİ denir. Üniversal Gaz Sabiti, genellikle, (R_u) ile gösterilir.

Bir gazın özgül hacmini bulmak için (1 mol)'unun hacmini moleküler ağırlığına bölmek gerekir. Normal koşullarda gazın (1 mol)'unun hacmini (v_{om}) ve moleküler ağırlığını da (G_m) ile gösterecek olursak

$$v_o = \frac{v_{om}}{G_m}$$

eşitliğini yazabiliriz.

$$R = \frac{P_o v_o}{T_o}$$

eşitliği ile

$$v_o = \frac{v_{om}}{G_m}$$

eşitliğinin birleşimi yapılırsa

$$R = \frac{P_o \cdot v_{om}}{T_o} \cdot \frac{1}{G_m}$$

eşitliğini elde edilir.

$$R_u = \frac{P_o \cdot v_{om}}{T_o}$$

olduğuna göre,

$$R = \frac{R_u}{G_m}$$

eşitliği yazılabilir. Bu eşitlik açık olarak göstermektedir ki, bir gazın gaz sabitini bulmak için üniversal gaz sabiti moleküler ağırlığına bölünmektedir.

Üniversal Gaz Sabitinin hesabı (P_o) , (v_{om}) ve (T_o) 'in değerlerinin saptanmasına bağlıdır. Buzun ergime noktasını karşılayan sıcaklıkta deniz seviyesinde atmosferik basınç $(1,0336 \cdot 10^4 \text{ kg/m}^2)$, normal koşullarda (1 mol) gazın hacmi $(22,42 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3)$ ve buzun ergime noktasını mutlak sıcaklık ölçüm düzeninde karşılayan sıcaklık da $(273,16 \text{ }^\circ\text{K})$ 'dir.

$$P_o = 1,0336 \cdot 10^4 \text{ kg/m}^2$$

$$v_{om} = 22,42 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3 / \text{mol}$$

$$T_o = 273,16 \text{ }^\circ\text{K}$$

olduğu için

$$R_u = \frac{P_o v_{om}}{T_o} = \frac{1,0336 \cdot 10^4 \cdot 22,42 \cdot 10^{-3}}{273,16} = 0,848 \text{ kgm/mol. }^\circ\text{K}$$

$$R_n = 0,848 \text{ kgm/mol. }^\circ\text{K}$$

olur.

$$R = \frac{P_o v_o}{T_o} = \frac{P_1 v_1}{T_1} = \frac{P_2 v_2}{T_2} = \dots = \frac{P_n v_n}{T_n}$$

eşitlikleri, genel anlamda

$$Pv = RT$$

eşitliği ile ifade edilir. Bu eşitliğe, Termodinamikte, YETKİN GAZLARIN GENEL DURUM DENKLEMİ denir.

Genellikle, çok büyük olmayan basınçlarda ve çok düşük olmayan sıcaklıklarda Hidrojen, Helyum, Oksijen, Azot ve karbonmonoksit gibi gazların değişimi Genel Gaz Kanununa uyar. Ancak kritik basıncın üstünde fakat kritik basınca yakın basınçlarda sıkıştırılan bu gazların durumunda ölçülebi- len sapmalar meydana gelir. Hele kritik sıcaklıkta ve kritik basınçta sıkıştırılan gaz tamamen yoğunlaşır. Bu durumda gaz hali bozulduğu için Genel Gaz Kanununu uygulamak olanağı da tamamen ortadan kalkar. Termodinamikte, Genel Gaz

Kanununa uyan gazlara YETKİN GAZ denir. Yetkin gaza en çok yaklaşan gazlar Helyum, Hidrojen, Azot, Karbonmonoksit ve Oksijendir.

6.e) DALTON KANUNU

Dalton Kanununu somut bir örnekle açıklayacağız. (10 dm³)'lük bir kabta, (1 kg/cm²)'lik basınç altında, bir perde ile birbirinden ayrılmış olan (2 dm³) oksijen ve (8 dm³) azot bulunsun. Perdeyi kaldırırsak oksijenle azot hemen birbirine karışır ve oksijenin kısmi basıncı (2/10 kg/cm²), azotun kısmi basıncı da (8/10 kg/cm²) olur. Karışımı oluşturan elemanların basıncı, karışımı oluşturmada önce (1 kg/cm²) olduğu için karışımın basıncı da (1 kg/cm²) olur ve bu oksijenin kısmi basıncı ile azotun kısmi basıncının toplamına eşittir.

Kısmi basınçtan bir gaz karışımını oluşturan gazlardan her birinin molar konsantrasyonunu karşılayan basınç anlaşılmalıdır. (1 dm³) gazdaki mol sayısına molar konsantrasyon denir ve Avogadro Kanununa göre, normal koşullar altında bütün gazların molar konsantrasyonu (1/22,42)'dir.

Dalton Kanununun ispatını yapabilmek için bir gaz karışımının, sıcaklık dışında termodinamik durumları birbirinden farklı (n) sayıda elemandan oluştuğunu kabul edelim. Dalton Kanununun geçerli olabilmesi için şu koşulların yerine getirilmiş olması gerekir:

1°) Karışımın sıcaklığı ile karışımı oluşturan elemanların sıcaklıkları aynı olmalıdır,

$$T = T_1 = T_2 = T_3 = \dots = T_n$$

2°) Karışımın hacmi, karışımı oluşturan elemanların hacimlerinin toplamına eşit olmalıdır.

$$V = V_1 + V_2 + V_3 + \dots + V_n$$

3°) Karışımın ağırlığı, karışımı oluşturan elemanların ağırlıklarının toplamına eşit olmalıdır.

$$G = G_1 + G_2 + G_3 + \dots + G_n$$

Karışımı oluşturan elemanlardan her birinin basıncı, bu elemanların hacmi, ayrı ayrı, karışımın hacmine eşit olduğu zaman sırası ile (P₁'), (P₂'), (P₃'), ..., (P_n') olur. Bu durumda Boyle ve Mariotte Kanunu uyarınca, karışımı oluşturan elemanlar için

$$P_1 V_1 = P_1' V$$

$$P_2 V_2 = P_2' V$$

$$P_3 V_3 = P_3' V$$

$$P_n V_n = P_n' V$$

eşitliklerini yazabiliriz. Bu eşitliklerin birleşiminden

$$(P_1' + P_2' + P_3' + \dots + P_n') \cdot V = P_1 V_1 + P_2 V_2 + P_3 V_3 + \dots + P_n V_n$$

eşitliği elde edilir. Ağırlık (G), sıcaklık (T) ve hacim de (V) olduğu için zorunlu olarak karışımın basıncı da (P) olur ve bu durumda

$$P V = (P_1' + P_2' + P_3' + \dots + P_n') V$$

eşitliği yazılabilir.

$$P V = (P_1' + P_2' + P_3' + \dots + P_n') V$$

ve

$$P_1' + P_2' + P_3' + \dots + P_n' \cdot V = P_1 V_1 + P_2 V_2 + P_3 V_3 + \dots + P_n V_n$$

eşitliklerinin birleşiminden

$$P = \frac{P_1 V_1}{V} + \frac{P_2 V_2}{V} + \frac{P_3 V_3}{V} + \dots + \frac{P_n V_n}{V}$$

eşitliği elde edilir. Bu açıklamaya dayanarak DALTON KANUNUNU şöyle ifade edebiliriz: "Sabit sıcaklıkta oluşturulan bir gaz karışımının basıncı bu gaz karışımını oluşturan elemanların kısmi basınçlarının toplamına eşit olur."

Genel Gaz Kanunu uyarınca, gaz karışımını oluşturan elemanlar için

$$P_1 V_1 = G_1 R_1 T_1$$

$$P_2 V_2 = G_2 R_2 T_2$$

$$P_3 V_3 = G_3 R_3 T_3$$

$$P_n V_n = G_n R_n T_n$$

eşitliklerini yazabiliriz. Bu eşitliklerin birleşiminden

$$P_1 V_1 + P_2 V_2 + P_3 V_3 + \dots + P_n V_n = G_1 R_1 T_1 + G_2 R_2 T_2 + G_3 R_3 T_3 + \dots + G_n R_n T_n$$

eşitliğini elde edebiliriz.

$$P_1 V_1 + P_2 V_2 + P_3 V_3 + \dots + P_n V_n = P V$$

$$P V = G R T$$

$$T = T_1 = T_2 = T_3 = \dots = T_n$$

ve

$$G = G_1 + G_2 + G_3 + \dots + G_n$$

olduğu için bu eşitliklerle

$$P_1 V_1 + P_2 V_2 + P_3 V_3 + \dots + P_n V_n = G_1 R_1 T_1 + G_2 R_2 T_2 + G_3 R_3 T_3 + \dots + G_n R_n T_n$$

eşitliğinin birleşiminden

$$R = \frac{G_1 R_1 + G_2 R_2 + G_3 R_3 + \dots + G_n R_n}{G_1 + G_2 + G_3 + \dots + G_n}$$

eşitliği elde edilir.

Ç Ö Z Ü M L Ü P R O B L E M L E R

1.1. PROBLEM

(Şekil-1.4)'de, basit ölçümlerin yapıldığı ilkel bir hidrojen termometresi görülmektedir. Küresel hazneye (0 °C) sıcaklıkta ve atmosferik basınçta hidrojen doldurulmuştur. Hidrojen termometresinin haznesi, içerisinde sıvı bulunan bir kabı yerleştirildikten bir süre sonra termik denge kurulmakta ve diferansiyel manometredeki seviye farkı da (19 cm) olmaktadır. Hidrojeni sabit hacimde tutmak ve birinci kolda civa seviyesinin sıfır noktasında bulunmasını sağlamak için civa haznesi belirli bir miktar yukarıya kaldırılmıştır. Civanın özgül ağırlığı (13,6 . 10³ kg/m³), hidrojenin sıkıştırma katsayısı (1/273,03) ve atmosferik basınç da (1,0336 . 10⁴ kg/m²) olduğuna göre, termik kayıpların bulunmadığını ve geçirgenlik koşullarının tam olarak yerine getirildiğini düşünerek kabın içerisinde bulunan sıvının sıcaklığını hesaplayınız.

PROBLEMİN ÇÖZÜMÜ

Bu problemi çözümlenebilmek için

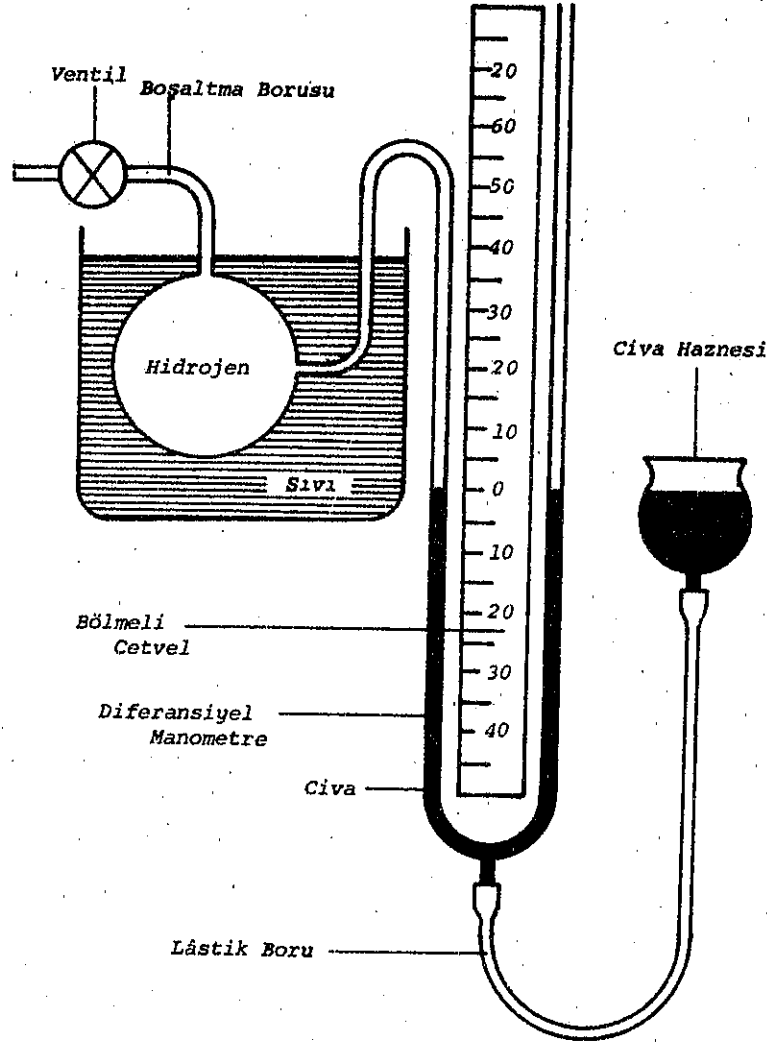
$$t = \frac{1}{\beta} \cdot \frac{P - P_0}{P_0}$$

eşitliğinden yararlanmak gerekir. (P₀), (0 °C) sıcaklıkta küresel haznenin içerisinde bulunan hidrojenin basıncıdır. Küresel haznenin içerisine (0 °C) sıcaklıkta ve atmosferik basınçta hidrojen doldurulduğu için

$$P_0 = 1,0336 \cdot 10^4 \text{ kg/cm}^2$$

olur. (P), diferansiyel manometredeki seviye farkı (19 cm) olduğu zaman küresel haznenin içerisinde bulunan hidrojenin mutlak basıncını göstermektedir. (P_{atm}) atmosferik basınç, (Y_{Hg}) civanın özgül ağırlığı, (h) diferansiyel manometredeki seviye farkı olduğuna göre, (P)

$$P = P_{atm} + Y_{Hg} \cdot h$$



Şekil-1.4 (Basit ölçümlerin yapıldığı ilkel hidrojen termometresi)

eşitliğinden yararlanılarak bulunur. Bu eşitlikte (P_{atm}), (γ_{Hg}) ve (h)'nin değerlerini yerlerine koyacak olursak

$$P = P_{atm} + \gamma_{Hg} \cdot h = 1,0336 \cdot 10^4 + 13,6 \cdot 10^3 \cdot 0,19 = 1,0594 \cdot 10^4 + \text{kg/m}^2$$

$$P = 1,0594 \cdot 10^4 \text{ kg/m}^2$$

elde ederiz.

$$\beta = \frac{1}{273,03}$$

olduğu için

$$t = \frac{1}{\beta} \cdot \frac{P - P_0}{P_0}$$

eşitliğinden yararlanarak

$$t = \frac{1}{\beta} \cdot \frac{P - P_0}{P_0} = \frac{1}{\frac{1}{273,03}} \cdot \frac{0,2584 \cdot 10^4}{1,0336 \cdot 10^4} = 68,2575 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$t = 68,2575 \text{ } ^\circ\text{C}$$

buluruz.

1.2. PROBLEM

Bir yalağın içerisinde, ($10 \text{ } ^\circ\text{C}$) sıcaklıkta (20 dm^3) su bulunmaktadır. Bu yalağın içerisine soğutmak için, açık demirci ocağında ($800 \text{ } ^\circ\text{C}$) sıcaklığa dek tavllanmış ağırlığı (2 kg) olan bir demir kütlesi atılmıştır. ($10 \text{ } ^\circ\text{C}$) sıcaklıkta suyun özgül ağırlığı (10^3 kg/m^3)'tür. Demirin özgül ısınma ısısı ($0,11 \text{ kcal/kg} \cdot ^\circ\text{C}$), suyun özgül ısınma ısısı da ($1 \text{ kcal/kg} \cdot ^\circ\text{C}$) olduğuna göre, termik denge kurulduktan sonra yalağın içinde bulunan su ile demir kütlesinin sıcaklığını hesaplayınız.

PROBLEMİN ÇÖZÜMÜ

(8), termik denge kurulduktan sonra yalağın içinde bulunan su ile demir kütlesinin sıcaklığı olduğuna göre, bu problemi

$$C_1 \cdot G_1 (\theta - t_1) + C_2 \cdot G_2 (\theta - t_2) = 0$$

eşitliğinden yararlanarak çözümlenebiliriz. (C_1) suyun özgül ısınma ısısını, (G_1) suyun ağırlığını, (t_1) suyun sıcaklığını ve (C_2) demirin özgül ısınma ısısını, (G_2) demirin ağırlığını, (t_2) demirin sıcaklığını göstermektedir.

$$C_1 = 1 \text{ kcal/kg. } ^\circ\text{C}$$

$$G_1 = 20 \cdot 10^{-3} \cdot 10^3 = 20 \text{ kg.}$$

$$G_2 = 20 \text{ kg.}$$

$$t_1 = 10 ^\circ\text{C}$$

$$C_2 = 0,11 \text{ kcal/kg. } ^\circ\text{C}$$

$$M_2 = 2 \text{ kg.}$$

$$t_2 = 800 ^\circ$$

olarak verilmiştir. Bu durumda

$$C_1 G_1 (\theta - t_1) + C_2 G_2 (\theta - t_2) = 1 \cdot 20 (\theta - 10) + 0,11 \cdot 2 (\theta - 800) = 0$$

$$\theta = 18,595 ^\circ\text{C}$$

olur.

1.3. PROBLEM

Bir su kabının içerisinde ($30 ^\circ\text{C}$) sıcaklıkta bulunan (40 dm^3) su, ($0 ^\circ\text{C}$) sıcaklıkta buzdan yararlanılarak ($5 ^\circ\text{C}$) sıcaklığa dek soğutulmak istenmektedir. Suyun özgül ısınma ısısı ($1 \text{ kcal/kg. } ^\circ\text{C}$)'dir. ($0 ^\circ\text{C}$) sıcaklıkta (1 kg) buzunu yine ($0 ^\circ\text{C}$) sıcaklıkta su haline getirmek için gerekli ısı miktarı (80 kcal) olduğuna göre, (40 dm^3) suyun sıcaklığını ($30 ^\circ\text{C}$)'den ($5 ^\circ\text{C}$)'ye düşürmek için gerekli buz miktarını hesaplayınız.

PROBLEMİN ÇÖZÜMÜ

Bu problemi çözmek için soğutmanın iki aşamada gerçekleştiğini tasarlamak gerekir. Soğutmanın birinci aşamasında ($0 ^\circ\text{C}$) sıcaklıkta buzunu yine ($0 ^\circ\text{C}$) sıcaklıkta su haline geldiğini ve ikinci aşamasında da ($0 ^\circ\text{C}$) sıcaklıkta su ile ($30 ^\circ\text{C}$) sıcaklıkta suyun birbirine karışarak termik dengenin kurulduğunu kabul edeceğiz. Buz kütlesinin ağırlığını (G_2), su kütlesinin ağırlığını (G_1), suyun özgül ısınma ısısını (C_1) ve ağırlığı (G_1) olan su kütlesinin buzunu erimesi için gerekli ısıyı verdikten sonraki sıcaklığını da (θ_1) ile göstereyim. ($0 ^\circ\text{C}$) sıcaklıkta (1 kg) buzunu yine ($0 ^\circ\text{C}$) sıcaklıkta su haline gelmesi için gerekli ısı miktarı (80 kcal) olduğuna göre,

$$C_1 G_1 (\theta_1 - t_1) + 80 \cdot G_2 = 0$$

eşitliği yazılabilir. Diğer yandan ($0 ^\circ\text{C}$) sıcaklıkta su ile ($30 ^\circ\text{C}$) sıcaklıkta su birbirine karışarak termik denge sağlanmaktadır. Termik denge sağlandıktan sonra sıcaklığı (θ_2) ile gösterecek olursak, daha önce yapmış olduğumuz açıklama uyarınca

$$C_1 G_1 (\theta_2 - \theta_1) + C_1 G_1 (\theta_2 - t_2) = 0$$

eşitliğini yazabiliriz.

$$C_1 = 1 \text{ kcal/kg. } ^\circ\text{C}$$

$$t_1 = 30 ^\circ\text{C}$$

$$\theta_2 = 5 ^\circ\text{C}$$

$$t_2 = 0 ^\circ\text{C}$$

$$G_2 = 40 \cdot 10^{-3} \cdot 10^3 = 40 \text{ kg.}$$

$$G_1 = 40 \text{ kg.}$$

olduğu için

$$C_1 G_1 (\theta_1 - t_1) + 80 G_2 = 0$$

yerine

$$1.40(\theta_1 - 30) + 80.G_2 = 0$$

eşitliği ve

$$C_1 G_1 (\theta_2 - \theta_1) + C_1 G_2 (\theta_2 - t_2) = 0$$

yerine de

$$1.40(5 - \theta_1) + 1.G_2 . 5 = 0$$

eşitliği yazılır.

$$40(\theta_1 - 30) + 80.G_2 = 0$$

$$40(5 - \theta_1) + 5.G_2 = 0$$

denklemlerinin çözümünden

$$G_2 = 11,7642 \text{ kg.}$$

ve

$$\theta_1 = 8,4615 \text{ }^\circ\text{C}$$

elde edilir.

1.4. PROBLEM

Bir Berthelot Kalorimetresinin su kabında, özgül ağırlığı (10^3 kg/m^3) olan (2 dm^3) su bulunmaktadır. Civalı termometre ile ölçülen suyun sıcaklığı ($27 \text{ }^\circ\text{C}$) olarak saptanmıştır. Daha sonra su kabında bulunan su, özel bir elektrikli cihazla ısıtılmış ve sıcaklık 8 dakikada ($27 \text{ }^\circ\text{C}$)'den ($100 \text{ }^\circ\text{C}$)'ye yükseltilmiştir. Özel elektrikli cihazın iki ucu arasındaki potansiyel farkı (220 V) ve suyun özgül ısınma ısısı da ($1 \text{ kcal/kg. }^\circ\text{C}$)'dir. Su kabının, termometrenin ve karıştırıcısının kalorifik genliğinin sıfır olduğunu kabul ederek özel elektrikli cihazın direncini ve özel elektrikli cihazdan geçen elektrik akımının şiddetini hesaplayınız.

PROBLEMİN ÇÖZÜMÜ

Bu problemi çözümlenebilmek için ısı ve elektrek enerjisi

arasındaki eşdeğerlik katsayısını belirlemek gerekir.

$$1 \text{ Watt} = 1 \text{ Amper} . 1 \text{ volt}$$

$$1 \text{ Watt} = 1 \text{ Joule/Saniye}$$

olduğu için

$$1 \text{ Joule/saniye} = 1 \text{ Amper} . 1 \text{ Volt}$$

olur. Diğer yandan

$$1 \text{ kgm} = 9,81 \text{ Joule}$$

$$1 \text{ kcal} = 427 \text{ kgm}$$

olarak verilmiştir. Bu durumda ısı ile elektrik enerjisi arasındaki eşdeğerlik katsayısı

$$1 \text{ Joule} = \frac{1}{9,81 . 427} \text{ kcal} = 2,38 . 10^{-4} \text{ kcal}$$

$$1 \text{ Watt} = 2,38 . 10^{-4} \text{ kcal/saniye}$$

olarak belirlenir.

$$N(\text{Watt}) = N(\text{Joule/saniye}) = I(\text{Amper}) . v(\text{volt}).$$

$$W(\text{Joule}) = N(\text{Watt}) . t(\text{Saniye}) = I(\text{Amper}) . v(\text{Volt}) . t(\text{Saniye})$$

ve

$$v(\text{Volt}) = (I(\text{Amper}) . R(\text{Ohm}))$$

olduğu için (W)'nin ısı eşdeğeri (Q) ile gösterilirse

$$Q = 2,38 . 10^{-4} W = 2,38 . 10^{-4} . I^2 . R$$

$$Q = 2,38 . 10^{-4} . I^2 . R$$

eşitliği yazılabilir. Problem çözümlenirken Berthelot kalorimetresinde su kabının, termometrenin ve karıştırıcısının kalorifik genliği sıfır kabul edileceği için

$$Q = C(G + G_1C_1 + G_2C_2 + G_3C_3) (\theta_2 - \theta_1)$$

eşitliği yerine

$$q = G.C (\theta_2 - \theta_1)$$

eşitliğini yazmak mümkün olur.

$$G = 2 \cdot 10^{-3} \cdot 10^3 = 2 \text{ kg}$$

$$G = 2 \text{ kg.}$$

$$C = 1 \text{ kcal/kg. } ^\circ\text{C}$$

$$\theta_1 = 27 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\theta_2 = 100 \text{ } ^\circ\text{C}$$

olarak verilmiştir. Bu durumda

$$Q = G.C(\theta_2 - \theta_1) = 2 \cdot 1(100 - 27) = 146 \text{ kcal}$$

$$Q = 146 \text{ kcal}$$

bulunur.

$$Q = 2,38 \cdot 10^{-4} \cdot I^2 \cdot R$$

$$v = I \cdot R$$

eşitliklerinin birleşimi yapılırsa

$$I = \frac{10^4 \cdot Q}{2,38 \cdot v \cdot t}$$

eşitliği elde edilir.

$$Q = 146 \text{ kcal.}$$

$$v = 220 \text{ V}$$

$$t = 8 \text{ dakika} = 480 \text{ saniye}$$

olduğu için

$$I = \frac{10^4 \cdot Q}{2,38 \cdot v \cdot t} = \frac{10^4 \cdot 146}{2,38 \cdot 220 \cdot 480} = 6,342 \text{ Amper}$$

$$I = 6,342 \text{ Amper}$$

ve

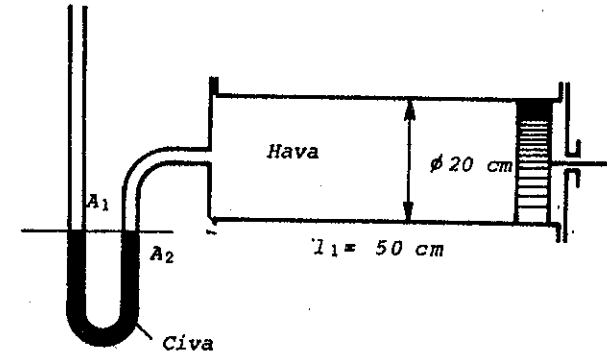
$$R = \frac{v}{I} = \frac{220}{6,342} = 34,689 \text{ Ohm.}$$

$$R = 34,689 \text{ Ohm.}$$

bulunur.

1.5. PROBLEM

(Şekil-1.5)'de, ana boyutları verilmiş olan bir pistonlu silindir görülmektedir. Pistonlu silindir ayrıca bir diferansiyel manometre ile donatılmıştır. Piston alt ölü noktada



Şekil-1.5

iken silindirin içerisine atmosferik basınçta sıcaklığı ($t_1=15^\circ\text{C}$) olan hava doldurulmuştur. Diferansiyel manometrenin içerisinde özgül ağırlığı ($\gamma_{\text{Hg}} = 13,6 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3$) olan cıva bulunmaktadır. Pistonlu silindir içerisinde sabit sıcaklıkta tutulan hava daha sonra pistonun üst ölü noktadan uzaklığı ($l_2 = 20 \text{ cm}$) oluncaya

dek sıkıştırılmıştır. Havanın yetkin gaz olduğunu düşünerek ağırlığını ve sıkıştırma süreci sonunda diferansiyel manometredeki seviye farkını bulunuz.

PROBLEMİN ÇÖZÜMÜ

Bu problem Genel Gaz Kanunu ile Boyle ve Mariotte Kanunundan yararlanılarak çözümlenebilir. Genel Gaz Kanununa göre

$$P_1 V_1 = G R T_1$$

eşitliğini, Boyle ve Mariotte Kanununa göre de

$$P_1 V_1 = P_2 V_2$$

eşitliğini yazabiliriz.

$$P_1 V_1 = G R T_1$$

eşitliğinde bilindiği gibi, (R) gaz sabitidir. Hava, oksijen ve azot karışımıdır. Havada hacimsel olarak oksijenin karışım oranı ($x_1 = 0,21$) ve azotun karışım oranı da ($x_2 = 0,79$)'dur. Gaz sabiti

$$R = \frac{R_u}{G_m}$$

eşitliğinden yararlanılarak bulunur. (R_u) üniversal gaz sabiti, (G_m) de havanın moleküler ağırlığıdır. Oksijenin moleküler ağırlığı ($G_{m1} = 32 \cdot 10^{-3}$ kg/mol), azotun moleküler ağırlığı da ($G_{m2} = 28 \cdot 10^{-3}$ kg/mol) olduğu için

$$G_m = x_1 \cdot G_{m1} + x_2 \cdot G_{m2} = 0,21 \cdot 32 \cdot 10^{-3} + 0,79 \cdot 28 \cdot 10^{-3} = 28,84 \cdot 10^{-3} \text{ kg/mol}$$

$$G_m = 28,84 \cdot 10^{-3} \text{ kg/mol}$$

olur. Diğer yandan daha önce

$$R_u = 0,848 \text{ kgm/mol} \cdot ^\circ\text{K}$$

bulmuştuk.

$$R = \frac{R_u}{G_m}$$

eşitliğinde (R_u)'nun ve (G_m)'nin değerlerini yerlerine koyacak olursak

$$R = \frac{R_u}{G_m} = \frac{0,848 \text{ kgm/mol} \cdot ^\circ\text{K}}{28,84 \cdot 10^{-3} \text{ kg/mol}} = 29,4 \text{ kgm/kg} \cdot ^\circ\text{K}$$

$$R = 29,4 \text{ kgm/kg} \cdot ^\circ\text{K}$$

elde ederiz. (P_1) atmosferik basınç, (V_1) piston alt ölü noktada iken silindirin içerisinde bulunan havanın hacmi, (T_1) de mutlak sıcaklıktır.

$$P_1 = 1,0336 \cdot 10^4 \text{ kg/m}^2$$

$$V_1 = \frac{\pi d^2}{4} \cdot l_1 = \frac{3,14 \cdot 20^2}{4} \cdot 50 = 15700 \text{ cm}^3$$

$$V_1 = 15700 \text{ cm}^3 = 15,7 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$$

$$t_1 = 15 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$T_1 = 273 + t_1 = 273 + 15 = 288 \text{ } ^\circ\text{K}$$

$$T_2 = 288 \text{ } ^\circ\text{K}$$

olarak verilmiştir. Genel Gaz Kanununa göre,

$$P_1 V_1 = G R T_1$$

olduğu için

$$G = \frac{P_1 V_1}{R T_1} = \frac{1,0336 \cdot 10^4 \cdot 15,7 \cdot 10^{-3}}{29,4 \cdot 288} = 0,0191 \text{ kg.}$$

$$G = 0,0191 \text{ kg.}$$

olur.

Sıkıştırma sürecinde sıcaklık sabit kaldığı için sıkıştırma süreci sonundaki basınç Boyle ve Mariotte Kanunu uyarınca yazmış olduğumuz

$$P_1 V_1 = P_2 V_2$$

eşitliğinden yararlanılarak bulunur.

$$V_1 = \frac{\pi d^2}{4} \cdot l_1$$

$$V_2 = \frac{\pi d^2}{4} \cdot l_2$$

olduğu için

$$P_1 V_1 = P_2 V_2$$

eşitliğinden yararlanarak

$$P_2 = P_1 \frac{V_1}{V_2} = P_1 \frac{\frac{\pi d^2}{4} \cdot l_1}{\frac{\pi d^2}{4} \cdot l_2} = P_1 \cdot \frac{l_1}{l_2}$$

$$P_2 = P_1 \cdot \frac{l_1}{l_2}$$

eşitliğini yazabiliriz.

$$l_1 = 50 \text{ cm}$$

$$l_2 = 20 \text{ cm}$$

$$P_1 = 1,0336 \cdot 10^4 \text{ kg/m}^2$$

olduğu için

$$P_2 = P_1 \frac{l_1}{l_2} = 1,0336 \cdot 10^4 \cdot \frac{50}{20} = 2,584 \cdot 10^4 \text{ kg/m}^2$$

$$P = 2,584 \cdot 10^4 \text{ kg/m}^2$$

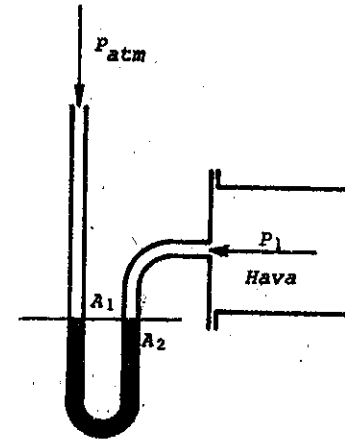
olur. Sıkıştırma süreci sonundaki basınç atmosferik basınçla statik sıvı basıncının toplamıdır. Buna göre,

$$P_2 = P_{atm} + \gamma_{Hg} \cdot h$$

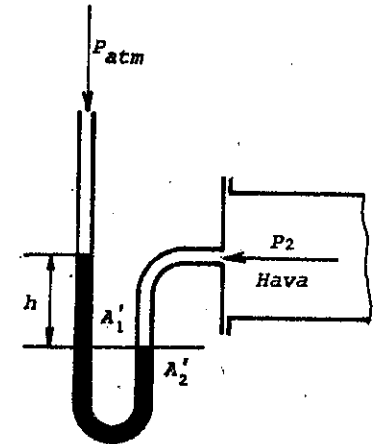
eşitliği yazılabilir. Bu eşitlikten

$$h = \frac{P_2 - P_{atm}}{\gamma_{Hg}}$$

eşitliği elde edilir.



Şekil-1.6.a Sıkıştırma sürecinin başında diferansiyel manometrede cıvanın konumu



Şekil:1.6.b Sıkıştırma sürecinin sonunda diferansiyel manometrede cıvanın konumu

$$P_2 = 2,584 \cdot 10^4 \text{ kg/m}^2$$

$$P_{atm} = 1,0336 \cdot 10^4 \text{ kg/m}^2$$

$$\gamma_{Hg} = 13,6 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3$$

olduğu için

$$h = \frac{P_2 - P_{atm}}{\gamma_{Hg}} = \frac{2,584 \cdot 10^4 - 1,0336 \cdot 10^4}{13,6 \cdot 10^3} = 1,14 \text{ m}$$

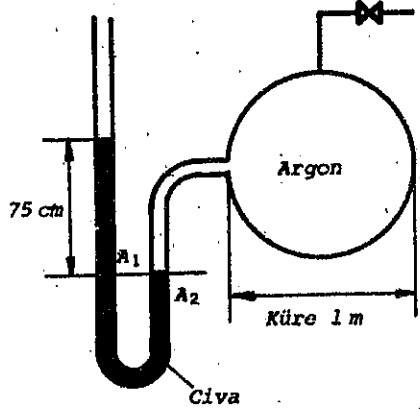
$$h = 1,14 \text{ m}$$

bulunur.

1.6. PROBLEM

(Şekil-1.7)'de görülen ve bir diferansiyel manometre ile donatılmış olan küresel kabın içerisinde argon bulunmaktadır.

Argonun sıcaklığı ($t_1 = 17^\circ\text{C}$) ve diferansiyel manometredeki seviye farkı da ($h_1 = 75\text{ cm}$)'dir. Küresel kabın içerisinde, sabit hacimde tutulan argon daha sonra basıncı ($P_2 = 0,336 \cdot 10^4\text{ kg/m}^2$) oluncaya dek soğutulmuştur. Civanın özgül ağırlığı ($\gamma_{\text{Hg}} = 13,6 \cdot 10^3\text{ kg/m}^3$) olduğuna göre, soğutma süreci sırasında diferansiyel manometredik seviye farkını, argonun sıcaklığını ve ağırlığını bulunuz.



Şekil-1.6

PROBLEMİN ÇÖZÜMÜ

Bu problemi çözümlenebilmek için Gay - Lussac Basınç Kanunundan yararlanmak gerekir. Gay - Lussac Basınç Kanununa göre,

$$\frac{P_1}{T_1} = \frac{P_2}{T_2}$$

eşitliğini yazabiliriz. Soğutma sürecinin başında, küresel kabın içerisinde bulunan argonun basıncını

$$P_1 = P_{\text{atm}} + \gamma_{\text{Hg}} \cdot h_1$$

eşitliğinden yararlanarak bulabiliriz.

$$P_{\text{atm}} = 1,0336 \cdot 10^4\text{ kg/m}^2$$

$$\gamma_{\text{Hg}} = 13,6 \cdot 10^3\text{ kg/m}^3$$

$$h_1 = 0,75\text{ m}$$

olduğu için

$$P_1 = P_{\text{atm}} + \gamma_{\text{Hg}} \cdot h_1 = 1,0336 \cdot 10^4 + 13,6 \cdot 10^3 \cdot 0,75 = 2,0536 \cdot 10^4\text{ kg/m}^2$$

$$P_1 = 2,0536 \cdot 10^4\text{ kg/m}^2$$

olur. Diğer yandan

$$P_2 = 0,336 \cdot 10^4\text{ kg/m}^2$$

$$t_1 = 17^\circ\text{C}$$

$$T_1 = 273 + t_1 = 273 + 17 = 290^\circ\text{K}$$

$$T_1 = 290^\circ\text{K}$$

olarak verilmiştir. (P_1), (P_2) ve (T_1)'nin değerleri

$$\frac{P_1}{T_1} = \frac{P_2}{T_2}$$

eşitliğinde yerlerine konulursa

$$T_2 = \frac{P_2}{P_1} \cdot T_1 = \frac{0,336 \cdot 10^4}{2,0536 \cdot 10^4} \cdot 290 = 47,448^\circ\text{K}$$

$$T_2 = 47,448^\circ\text{K}$$

bulunur.

$$T_2 = 273 + t_2$$

olduğu için

$$t_2 = T_2 - 273 = 47,448 - 273 = -225,552^\circ\text{C}$$

$$t_2 = -225,552^\circ\text{C}$$

olur. Soğutma sürecinin sonunda argonun basıncı atmosferik basınçla statik sıvı basıncının toplamıdır. Soğutma sürecinin sonunda diferansiyel manometredeki seviye farkı (h_2) olduğuna göre,

$$P_2 = P_{\text{atm}} + \gamma_{\text{Hg}} \cdot h_2$$

eşitliğini yazabiliriz. Bu eşitlikten yararlanılarak

$$h_2 = \frac{P_2 - P_{\text{atm}}}{\gamma_{\text{Hg}}} = \frac{0,336 \cdot 10^4 - 1,0336 \cdot 10^4}{13,6 \cdot 10^3}$$

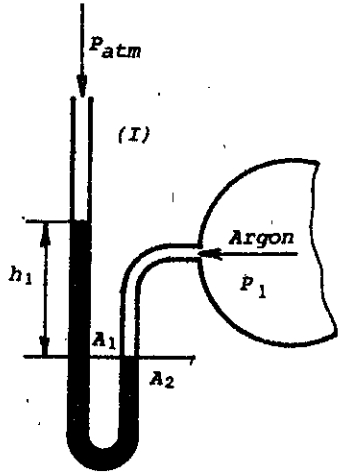
$$h_2 = -0,5129 \text{ m}$$

bulunur.

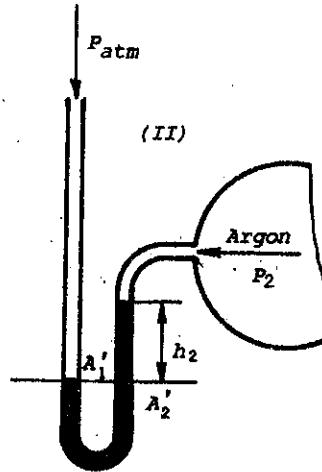
Argonun ağırlığını ancak

$$P_1 V_1 = G R T_1$$

eşitliği ile ifade edilen Genel Gaz Kanunundan yararlanarak hesaplayabiliriz. (R) argonun gaz sabitidir. Argonun gaz sabitini bulmak için üniversal gaz sabitini moleküler ağırlığına bölmek gerekir. Bir asal gaz olan argonun moleküler yapısı tek atomludur. Argonun atom tartısı (40)'tır. Bu durumda argonun moleküler ağırlığı ($G_m = 40 \cdot 10^{-3} \text{ kg/mol}$) olur.



Şekil-1.8 a Soğutma sürecinin başında diferansiyel manometrede cıvanın konumu



Şekil-1.8 b Soğutma sürecinin sonunda diferansiyel manometrede cıvanın konumu

$$R_u = 0,848 \text{ kJ/mol} \cdot \text{K}$$

olduğu için

$$R = \frac{R_u}{G_m} = \frac{0,848 \text{ kJ/mol} \cdot \text{K}}{40 \cdot 10^{-3} \text{ kg/mol}} = 21,2 \text{ kJ/kg} \cdot \text{K}$$

$$R = 21,2 \text{ kJ/kg} \cdot \text{K}$$

bulunur.

$$V_1 = \frac{\pi d^3}{6} = \frac{3,14 \cdot 1^3}{6} = 0,523 \text{ m}^3$$

$$V_1 = 0,523 \text{ m}^3$$

olarak verilmiştir.

$$P_1 V_1 = G R T_1$$

eşitliğinde (P_1), (V_1), (T_1) ve (R)'nin değerlerini yerlerine koyacak olursak argonun ağırlığını

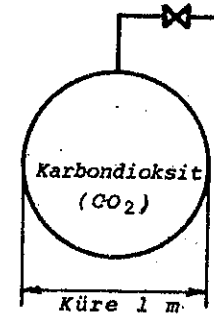
$$G = \frac{P_1 V_1}{R T_1} = \frac{2,0536 \cdot 10^4 \cdot 0,523}{21,2 \cdot 290} = 1,7469 \text{ kg}$$

$$G = 1,7469 \text{ kg}$$

olarak bulunur.

1.7. PROBLEM

(Şekil-1.9)'da görülen küresel kabın içerisinde (0°C) sıcaklıkta ve atmosferik basınçta karbondioksit bulunmaktadır.



Şekil-1.9

Küresel kaba bağlı olan boru üzerindeki ventil açılarak sabit basınçta tutulan ve sıcaklığı, verilen ısı ile (127°C)'ye yükseltile karbondioksitin bir bölümü atmosfere atılmıştır. Karbondioksitin yetkin gaz olduğunu düşünerek küresel kabtan atmosfere atılan karbondioksitin hacmini ve ağırlığını hesaplayınız.

PROBLEMİN ÇÖZÜMÜ

Bu problem Gay-Lussac Hacim Kanunundan yararlanılarak çözümlenebilir. Gay-Lussac Hacim Kanununa göre,

$$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}$$

eşitliğini yazabiliriz. (V_1) ısıtma sürecinin başında, (V_2) de

ısıtma sürecinin sonunda karbondioksitin hacmidir. (V) ısıtma sürecinin sonunda atmosfere atılan karbondioksitin hacmi olursa

$$V_2 = V_1 + V$$

eşitliğini yazabiliriz.

$$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}$$

eşitliği ile

$$V_2 = V_1 + V$$

eşitliğinin birleşiminden

$$V = V_1 \left(\frac{T_2}{T_1} - 1 \right)$$

eşitliği elde edilir.

$$t_1 = 0 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$T_1 = 273 + t_1 = 273 \text{ } ^\circ\text{K}$$

$$T_1 = 273 \text{ } ^\circ\text{K}$$

$$t_2 = 127 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$T_2 = 273 + t_2 = 273 + 127 = 400 \text{ } ^\circ\text{K}$$

$$T_2 = 400 \text{ } ^\circ\text{K}$$

$$V_1 = \frac{\pi d^3}{6} = \frac{3,14 \cdot 1^3}{6} = 0,523 \text{ m}^3$$

$$V_1 = 0,523 \text{ m}^3$$

olarak verilmiştir. Bunları

$$V = V_1 \left(\frac{T_2}{T_1} - 1 \right)$$

eşitliğinde yerlerine koyacak olursak

$$V = V_1 \left(\frac{T_2}{T_1} - 1 \right) = 0,523 \left(\frac{400}{273} - 1 \right) = 0,2433 \text{ m}^3$$

$$V = 0,2433 \text{ m}^3$$

bulunur.

Karbonun atom tartısı (12) ve oksijenin atom tartısı da (16)'dır. Buna göre, moleküler yapısı (3) atomlu olan karbondioksitin moleküler ağırlığı ($G_m = 44 \cdot 10^{-3} \text{ kg/mol}$) olur.

$$R_u = 0,848 \text{ kgm/mol. } ^\circ\text{K}$$

olduğu için karbondioksitin gaz sabiti

$$R = \frac{R_u}{G_m} = \frac{0,848 \text{ kgm/mol. } ^\circ\text{K}}{44 \cdot 10^{-3} \text{ kg/mol}} = 19,272 \text{ kgm/kg. } ^\circ\text{K}$$

$$R = 19,272 \text{ kgm/kg. } ^\circ\text{K}$$

olarak bulunur.

Genel Gaz Kanununa göre,

$$P V = G R T$$

eşitliğini yazabiliriz. Atmosfere atılan karbondioksit için

$$P = P_{\text{atm}} = 1,0336 \cdot 10^4 \text{ kg/m}^2$$

$$V = 0,2432 \text{ m}^3$$

$$T = T_2 = 400 \text{ } ^\circ\text{K}$$

$$R = 19,272 \text{ kgm/kg. } ^\circ\text{K}$$

olarak verilmiştir. Bu durumda atmosfere atılan karbondioksitin ağırlığı

$$G = \frac{P V}{R T} = \frac{1,0336 \cdot 10^4 \cdot 0,2483}{19,272 \cdot 400} = 0,3262 \text{ kg}$$

$$G = 0,3262 \text{ kg}$$

bulunur.

$$P_2 = 161 \cdot 10^4 \text{ kg/m}^2$$

$$P_3 = P_{\text{atm}} + P_{e_3} = 10^4 + 200 \cdot 10^4 = 201 \cdot 10^4 \text{ kg/m}^2$$

$$P_3 = 201 \cdot 10^4 \text{ kg/m}^2$$

olur. Diğer yandan

$$V_1 = V_2 = V_3 = 40 \text{ dm}^3$$

olduğu için

$$P = \frac{P_1 V_1 + P_2 V_2 + P_3 V_3}{V_1 + V_2 + V_3}$$

eşitliği yerine

$$P = \frac{P_1 + P_2 + P_3}{3}$$

eşitliğini yazabiliriz. Bu eşitlikte (P_1), (P_2) ve (P_3)'ün yukarıda bulmuş olduğumuz değerleri yerlerine koyacak olursak

$$P = \frac{P_1 + P_2 + P_3}{3} = \frac{121 \cdot 10^4 + 161 \cdot 10^4 + 201 \cdot 10^4}{3} = 161 \cdot 10^4 \text{ kg/m}^2$$

$$P = 161 \cdot 10^4 \text{ kg/m}^2$$

buluruz.

Çıkış borusu üzerine bağlanmış olan manometre karışımın efektif basıncını gösterdiğine göre,

$$P = P_{\text{atm}} + P_M$$

eşitliğini yazabiliriz.

$$P = 161 \cdot 10^4 \text{ kg/m}^2$$

$$P_{\text{atm}} = 10^4 \text{ kg/m}^2$$

olduğu için

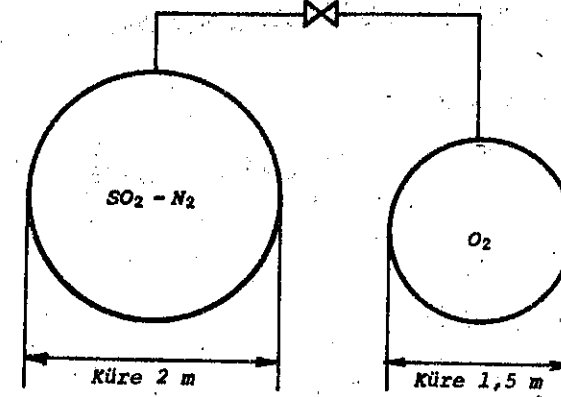
$$P_M = P - P_{\text{atm}} = 161 \cdot 10^4 - 10^4 = 160 \cdot 10^4 \text{ kg/m}^2$$

$$P_M = 160 \cdot 10^4 \text{ kg/m}^2$$

olarak bulunur. Bu durumda çıkış borusu üzerine bağlanmış olan manometrenin gösterdiği basınç (160 kg/cm^2) olmaktadır.

1.9 PROBLEM

(Şekil-1.11)'de, çapları farklı iki küresel kabtan oluşan bir dizge görülmektedir. Birinci küresel kabın içerisinde



Şekil-1.11

basıncı ($P_1 = 4 \cdot 10^4 \text{ kg/m}^2$), sıcaklığı ($t_1 = 17^\circ \text{C}$) olan Kükürtdioksit-Azot karışımı ve ikinci küresel kabın içerisinde de basıncı ($P_2 = 2 \cdot 10^4 \text{ kg/m}^2$), sıcaklığı ($t_2 = 17^\circ \text{C}$) olan oksijen bulunmaktadır. Küresel kablari birleştiren boru üzerindeki ventil açılarak sabit sıcaklıkta yeni bir gaz karışımı oluşturulmuştur. Birinci küresel kab içerisinde bulunan Kükürtdioksit-Azot karışımında ağırlık olarak Kükürtdioksitin karışım oranı ($x_1 = 0,40$) ve azotun karışım oranı da ($x_2 = 0,60$) olduğuna göre, yeni gaz karışımının basıncını ve gaz sabitini hesaplayınız.

PROBLEMİN ÇÖZÜMÜ

a) Yeni karışımın basıncı

Yeni karışımın basıncı Dalton Kanunundan yararlanılarak bulunur. Dalton Kanununa göre,

$$P = \frac{P_1 V_1 + P_2 V_2}{V_1 + V_2}$$

eşitliğini yazabiliriz.

$$P_1 = 4 \cdot 10^4 \text{ kg/m}^2$$

$$P_2 = 2 \cdot 10^4 \text{ kg/m}^2$$

$$V_1 = \frac{\pi d_1^3}{6} = \frac{3,14 \cdot 2^3}{6} = 4,1866 \text{ m}^3$$

$$V_1 = 4,1866 \text{ m}^3$$

$$V_2 = \frac{\pi d_2^3}{6} = \frac{3,14 \cdot (1,5)^3}{6} = 1,7662 \text{ m}^3$$

$$V_2 = 1,7662 \text{ m}^3$$

olarak verilmiştir. Bunları

$$P = \frac{P_1 V_1 + P_2 V_2}{V_1 + V_2}$$

eşitliğinde yerlerine koyacak olursak

$$P = \frac{P_1 V_1 + P_2 V_2}{V_1 + V_2} = \frac{4 \cdot 10^4 \cdot 4,1866 + 2 \cdot 10^4 \cdot 1,7662}{4,1866 + 1,7662} = 3,4065 \cdot 10^4 \text{ kg/m}^2$$

$$P = 3,4065 \cdot 10^4 \text{ kg/m}^2$$

buluruz.

b) Yeni karışımın gaz sabiti

Yeni karışımın gaz sabiti

$$R = \frac{G_1 R_1 + G_2 R_2}{G_1 + G_2}$$

eşitliğinden yararlanılarak hesaplanabilir. Bu eşitlikte yer alan (G_1) ve (R_1) kükürtdioksit - Azot karışımının ağırlığı ile gaz sabitini

(G_1) ve (R_2) de oksijenin ağırlığı ile gaz sabitini göstermektedir. Kükürtdioksit - Azot karışımının gaz sabiti, (R_1) kükürtdioksitin ve (R_2) azotun gaz sabiti olduğuna göre,

$$R_1 = x_1 R_1' + x_2 R_2'$$

eşitliğinden yararlanılarak bulunur. Kükürdün atom tartısı (32), oksijenin atom tartısı (16) ve azotun atom tartısı da (14)'dür. Kükürtdioksitin moleküler yapısı (3) atomlu ve azotun moleküler yapısı (2) atomludur. Bu durumda kükürtdioksitin moleküler ağırlığı $(G_{m1} = 64 \cdot 10^{-3} \text{ kg/mol})$ ve azotun moleküler ağırlığı da $(G_{m2} = 28 \cdot 10^{-3} \text{ kg/mol})$ olur.

$$R_u = 0,848 \text{ kgm/mol} \cdot ^\circ\text{K}$$

olduğu için

$$R_1' = \frac{R_u}{G_{m1}} = \frac{0,848 \text{ kgm/mol} \cdot ^\circ\text{K}}{64 \cdot 10^{-3} \text{ kg/mol}} = 13,25 \text{ kgm/kg} \cdot ^\circ\text{K}$$

$$R_1' = 13,25 \text{ kgm/kg} \cdot ^\circ\text{K}$$

$$R_2' = \frac{R_u}{G_{m2}} = \frac{0,848 \text{ kgm/mol} \cdot ^\circ\text{K}}{28 \cdot 10^{-3} \text{ kg/mol}} = 30,285 \text{ kgm/kg} \cdot ^\circ\text{K}$$

$$R_2' = 30,285 \text{ kgm/kg} \cdot ^\circ\text{K}$$

buluruz.

$$x_1 = 0,40$$

$$x_2 = 0,60$$

olarak verilmiştir.

$$R_1 = x_1 R_1' + x_2 R_2'$$

eşitliğinde bu değerler yerlerine konulursa

$$R_1 = x_1 R_1' + x_2 R_2' = 0,40 \cdot 13,25 + 0,60 \cdot 30,285 = 23,471 \text{ kgm/kg} \cdot ^\circ\text{K}$$

$$R_1 = 23,471 \text{ kgm/kg} \cdot ^\circ\text{K}$$

elde edilir. Oksijenin moleküler yapısı (2) atomludur. Bu nedenle oksijenin moleküler ağırlığı ($G_{m2} = 32 \cdot 10^{-3} \text{ kg/mol}$) olur. ve

$$R_2 = \frac{R_u}{G_{m2}}$$

eşitliğinden yararlanılarak

$$R_2 = \frac{R_u}{G_m} = \frac{0,848 \text{ kgm/mol} \cdot \text{°K}}{32 \cdot 10^{-3} \text{ kg/mol}} = 26,5 \text{ kgm/kg} \cdot \text{°K}$$

$$R_2 = 26,5 \text{ kgm/kg} \cdot \text{°K}$$

bulunur.

Genel Gaz Kanunu uyarınca

$$G_1 = \frac{P_1 V_1}{R_1 T_1}$$

ve

$$G_2 = \frac{P_2 V_2}{R_2 T_2}$$

eşitliklerini yazabiliriz. Diğer yandan

$$T_1 = T_2$$

$$P_1 = \frac{1}{2} P_2$$

olduğu için

$$R = \frac{G_1 R_1 + G_2 R_2}{G_1 + G_2}$$

eşitliği yerine

$$R = \frac{V_1 + 2 V_2}{\frac{V_1}{R_1} + \frac{2 V_2}{R_2}}$$

eşitliğini yazmak mümkün olur.

$$V_1 = 4,1866 \text{ m}^3$$

$$V_2 = 1,7662 \text{ m}^3$$

olarak verilmiştir. Daha önce

$$R_1 = 23,471 \text{ kgm/kg} \cdot \text{°K}$$

$$R_2 = 26,5 \text{ kgm/kg} \cdot \text{°K}$$

olarak bulunduğu için

$$R = \frac{V_1 + 2 V_2}{\frac{V_1}{R_1} + \frac{2 V_2}{R_2}} = \frac{4,1866 + 2 \cdot 1,7662}{\frac{4,1866}{23,471} + \frac{2 \cdot 1,7662}{26,5}} = 24,772 \text{ kgm/kg} \cdot \text{°K}$$

$$R = 24,772 \text{ kgm/kg} \cdot \text{°K}$$

olarak bulunur.

II. B Ü L Ü M

TERMODİNAMİĞİN BİRİNCİ KANUNU, ANTROPİ, AÇIK DÖNÜŞÜMLER VE ANTALPİ

- 1) Termodinamiğin Birinci Kanunu - Eşdeğerlik İlkesi
 - 1.a) Termodinamiğin Birinci Kanununun tanımı
 - 1.b) Joule Deneyi
 - 1.c) İç Enerji
- 2) Entropi
 - 2.a) Entropinin tanımı
 - 2.b) Homojen katı ve sıvıların entropisi
 - 2.c) Gazların entropisi
- 3) Açık dönüşümün tanımı ve açık dönüşümler
 - 3.a) İzokor dönüşüm
 - 3.b) İzobar dönüşüm
 - 3.c) İzoterm dönüşüm
 - 3.d) Adiyabatik dönüşüm
 - 3.e) Politropik dönüşüm
- 4) ANTALPİ
 - 4.a) Antalpinin tanımı
 - 4.b) Pistonlu kompresöre uygulama
 - 4.c) İzobar dönüşüm sürecinde ısı alış-verişi

ÇÜZÖMLÜ PRÖBLEMELER

TERMODİNAMİĞİN BİRİNCİ KANUNU, ANTROPI, AÇIK DÜNOŞÖMLER VE ANTALPI

1) TERMODİNAMİĞİN BİRİNCİ KANUNU - EŞDEĞERLİK İLKESİ

1.a) Termodinamiğin Birinci Kanununun tanımı

Termodinamikte, somut bir yarar sağlama amacına yönelik deneysel çalışmalara kuramsal çalışmalardan daha fazla önem verilir.

Bilindiği gibi, birçok hareketler kendiliğinden oluşur ve bunları elde etmek için bir çaba harçlamak gerekmez. Örneğin su, yamaçlardan vadilere kendiliğinden iner ve mecrasını bularak akar. Mecralar oluştuktan ve kanallar açıldıktan sonra artık yeni harcamalara gereksinme duyulmadan su her zaman daha aşağıda bulunan yerlere gönderilebilir. Buna karşın bir bina inşa edilirken gerekli yapı malzemesi yukarılara çıkarılır. Bunun için ya motorlardan ya da insan gücüyle çalışan makara, lövye ve çıkrik gibi basit makinalardan yararlanılır.

Motorun kullanımı yorucu değildir. Makara, lövye ve çıkrik gibi basit makinalar yükün kaldırılmasını kolaylaştırırlar. Önce basit makinaların insan kuvvetini on kez, yirmi kez ve hatta daha fazla büyütmesi imgelemimizi etkiler. Fakat çok geçmeden bu kuvvet artımını başka bir şeyle karşılamak gerektiği anlaşılır. Kuvvetten kazanılır ama yoldan kaybedilir. Ancak kuvvetle yolun çarpımı daima sabit kalır. Kuvvetle yolun çarpımı, bilindiği gibi, iş olarak adlandırılır. Basit makinalar işin oluşumunu, iletimini ve kullanımını kolaylaştırırlar ama iş üretmezler. Bu olgu, Termodinamiğin Birinci Kanununun açıklanmasına ve kavranmasına giden yol üzerinde birinci aşama olarak kabul edilebilir. Termodinamiğin Birinci Kanununun açıklanmasına ve kavranmasına giden yol üzerinde ikinci aşama klâsik mekaniğin Zinde Kuvvetler Teoremi'dir. İşin, sadece, sabit hızla çalışan makinalarda korunduğu sanılır. Oysa durum farklıdır.

Gerçi makina çalıştırılırken devitken iş karşı koyma işinden daha büyüktür. Bu nedenle bir iş kaybının bulunduğu da düşünülebilir. Ama kaybolduğu sanılan iş gerçekte kaybolmaz ve makina durdurulurken yeniden ortaya çıkar. Çünkü makina durdurulurken karşı koyma işi devitken işten daha büyüktür.

Klâsik mekaniğin bilinen kanunlarına göre, sürtünmesiz bir ortamda motor çalıştırılırken devitken iş karşı koyma işinden ne kadar büyük olursa motor durdurulurken karşı koyma işi de devitken işten o kadar büyük olur. Bunun için hareketli bir cismin hızı arttığı zaman bu hız artımını sağlayan işin kaybolmadığı fakat hareketli cisim tarafından oluşturulduğu kolayca anlaşılabilir. Bu kısa açıklama göstermektedir ki, iş bir cisimde saklanabilmekte ve bunu, kullanmak için yeniden ortaya çıkarmak mümkün olmaktadır.

Termodinamiğin Birinci Kanununun açıklanmasına giden yolda son aşama ısı ve iş arasındaki eşdeğerlik kavramıdır. Deneysel araştırmalar sonunda kinetik enerji bile olsa iş olduğu gibi korumanın olanaksızlığı anlaşılmıştır. İşin kaybolmasına karşın ısı ortaya çıkar. Ortaya çıkan bu ısıda her zaman kaybolan işin karşılığını aramak da aldatıcı olur. Zaten günümüzden 150 yıl kadar önce yapılan joule deneylerinin amacı da hep harcanan aynı işe karşılık her zaman aynı ısı miktarının alındığını göstermek ve kanıtlamak olmuştur.

Joule deneylerinde işin kaybolmadığı ve kaybolmayacağı temel düşünce olarak alınmış ve işin kaybolduğu zaman tamamen ısı şeklinde ortaya çıktığı kabul edilmiştir. İş, tamamen ısı şeklinde ortaya çıkmadığı zaman arta kalan kısmı bir kütlelesel madde tarafından soğurulur. Kütlelesel maddenin soğurduğu iş hız artımına neden olduğu zaman kinetik enerjiyi ve yığnak yapan mekanizma bunu geri vermeyip sakladığı zaman da iç enerjiyi oluşturur.

Yapılan bu açıklamalardan sonra Termodinamiğin Birinci Kanununu şöyle ifade edebiliriz:

1°) İşin oluşumu, iletimi ve kullanımı kolaylaştırılabilir ama bir makinanın aracılığı ile iş üretilmez,

2°) İş, bir kütleşel maddede saklanabilir. Kütleşel maddede saklanan işi, gerektiği ve istenildiği zaman ortaya çıkarmak mümkündür.

3°) İş kaybolduğu zaman ortaya buna eşdeğer ısı çıkar. Bunun için ısı, genellikle kendisine eşdeğer işle ifade edilir,

1.b) JOULE DENEYİ

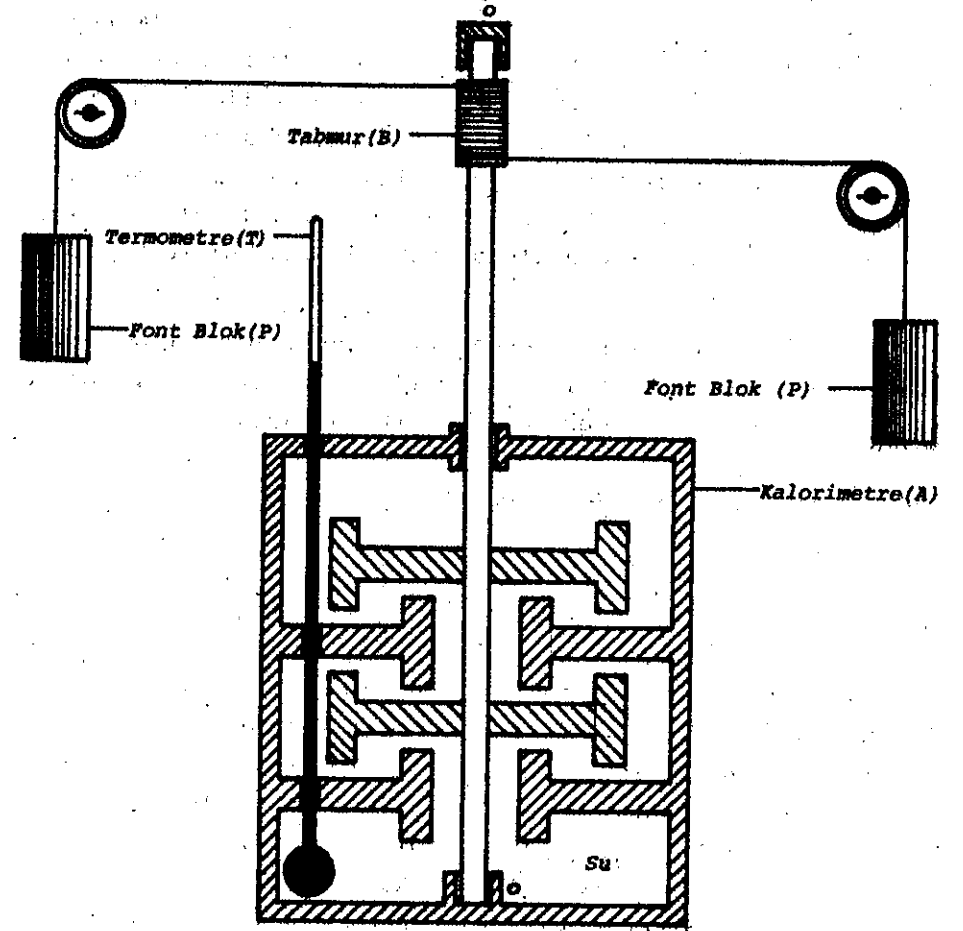
(Şekil-2.1'de, klâsik Joule Deney Cihazı görülmektedir.

(A) kalorimetresi, termik olarak dış çevreden yalıtılmıştır. Kalorimetrenin içerisinde bulunan suyun sıcaklığı (T) termometresi ile ölçülmektedir. Deneyin amacı (oo) milinin hareketli kanatları ile kalorimetrenin sabit kanatları arasında suyu sürtünme ile ısıtmaktır. Mil ve paletleri döndürmek için (B) tamburuna bir çiftley uygulamak ve bir iş vermek gerekir. İlkel Joule deneylerinde iş, diyametral olarak (B) tamburunun karşıt iki noktasından iplerle çekilen iki font blokun düşmesi ile sağlanır. İş, hem blokların ağırlığına ve hem de düşme yüksekliğine bağlıdır. (1880) yılında Rowland tarafından tekrarlanan Joule deneyinde milin dönme hareketi için bir motordan yararlanılmıştır.

Joule deneylerinde kalorimetre ve kalorimetrenin içerdiği su bir bütün olarak düşünülür ve bunların daima bir termodinamik sistem oluşturdukları kabul edilir. Kalorimetre ve kalorimetrenin içerdiği sudan oluşan termodinamik sistem dış çevreden belirli bir miktar iş alır ve bunun sonucu sıcaklığı bir miktar artar. Termodinamik sistemin dış çevreden aldığı iş (W_e) olsun ve sıcaklık da (T_0)'dan (T_1)'e yükselsin. Termodinamik sistemin sıcaklığının (T_0)'dan (T_1)'e yükselmesi için gerekli olan ısı miktarı, (Q), (T_0) ve (T_1) sıcaklıkları arasında termodinamik sistemin ortalama kalorifik katsayısı olduğuna göre,

$$Q = \alpha (T_1 - T_0)$$

eşitliğinden yararlanılarak bulunur. Termodinamik sistemin dış çevreden aldığı ve sıcaklığını (T_0)'dan (T_1)'e yükselten iş, termodinamik sistemin sıcaklığının (T_0)'dan (T_1)'e yükselmesi için gerekli ısı miktarına eşdeğer olur.



Şekil-2.1

Joule deneylerinin amacı yukarıda da belirtmiş olduğumuz gibi, işin eşdeğer ısı miktarına oranının daima sabit kaldığını kanıtlamak olmuştur. Eşdeğerlik katsayısını (A) ile

gösterecek olursak bu açıklama uyarınca

$$Q = A W_e$$

eşitliğini yazabiliriz. Bu eşitlik hemen belirtelim ki, ısı ve iş arasında türdeş bir özdeşlik bulunduğunu kesinlikle göstermez. Joule deneyinden elde edilen sonuçlara göre, bu ikisi arasında bir karşıtlık da yoktur. Çünkü kalorimetre ve içindeki sudan oluşan termodinamik sistem (T_0) sıcaklığından (T_1) sıcaklığına dışarıdan iş verilerek getirildiği gibi ısı verilerek de getirebilir. Ancak bu termodinamik sistemi örneğin (T_1) sıcaklığından (T_0) sıcaklığına getirmek yani soğutmak için ondan mutlaka ısı almak gerekir. İş alarak kalorimetre ve içindeki sudan oluşan termodinamik sistemi soğutmak olanaksızdır.

Joule deneylerinin sonuçlarına göre, (427 kgm)'lik işe karşılık ortaya çıkan ısı miktarı (1 kcal) olmaktadır. Bu durumda iş ve ısı arasındaki eşdeğerlik katsayısı

$$A = \frac{1}{427} \text{ kcal/kgm}$$

olur.

1.c) İÇ ENERJİ

İç enerji kavramını açıklamak için Joule deneyine geri döneceğiz. İş, kinetik ya da potansiyel mekanik enerji olarak ortaya çıkmadan kaybolur. İşin oluşturduğu ısı kalorimetrede kalır. Kaybolduğu sanılan iş gerçekte kaybolmaz fakat şimdi-lik bilmediğimiz bir süreçte termodinamik sistemde toplanır. Termodinamik sistemde toplanan iş daha sonra ya iş olarak ya da işe eşdeğer ısı olarak geri alınabilir. İşte bir termodinamik sistem tarafından özümlenen ve daha sonraki bir süreçte iş ya da işe eşdeğer ısı olarak geri verilen enerjiye Termodinamikte İÇ ENERJİ denir.

Joule kalorimetresi (W_e) işini aldığı zaman iç enerjisi de (W_e) kadar artar. Başlangıçta iç enerjisi (U_0) ise (W_e)

işini aldıktan sonra iç enerjisi

$$U = U_0 + A W_e$$

olur. Bu eşitliğin geçerli olabilmesi için termik olarak kalorimetrenin çok iyi yalıtılmış olması gerekir. Bir ısı kaçağı olduğu zaman iç enerji kaybedilen ısı miktarı kadar azalır. Kalorimetre aynı anda hem iş ve hem de ısı alıyorsa iç enerjinin artış hesabı yapılırken alınan ısı miktarı işe eklenir ve bu durumda

$$U = U_0 + A W_e + Q$$

eşitliği yazılabilir.

Sistem ısı aldığı zaman (Q)'nun işareti pozitif ve sistem ısı verdiği zaman (Q)'nun işareti negatif olur. Joule deney cihazında olduğu gibi, sürtünme ile ısıtmanın yapıldığı bir durumda kalorimetre iş aldığı için (W_e)'nin işareti pozitifdir.

Bu görüş ve düşünceler sadece Joule kalorimetresi için değil fakat sıcaklığı sürtünme ile yükseltilen tüm katı ve sıvılar için de geçerlidir.

Bir cismin ya da bir sistemin durumu mutlak anlamda sıcaklığına bağlıdır. Cisim ya da sistemin başlangıç sıcaklığı (T_0) olsun. Sıcaklığı (T_0)'dan (T)'ye yükseltmek için gerekli ısı miktarı salt sıcaklığa bağlı olduğu için

$$U = U_0 + f(T)$$

eşitliğini yazabiliriz. Görülüyor ki, (U_0) toplanabilir sabit olduğuna göre iç enerji yalnız sıcaklığa yani tek bir durum parametresine bağlı olmaktadır.

Başlangıç sıcaklığı (T_0)'dan hareketle termodinamik sistem aynı anda ısı ve iş verilerek (T) sıcaklığına kadar ısıtılırsa işlem biçimi nasıl olursa olsun ısı ve işin toplamı daima sabit kalır ve bu durumda

$$U - U_0 = A W_e + Q$$

eşitliği yazılabilir. Bu eşitliğe göre, (T_0) ve (T) sıcaklıklarının sınırladıkları bir değişim sürecinde termodinamik sisteme fazla iş verildiği zaman daha az ısı ve bunun tersi fazla ısı verildiği zaman da daha az iş vermek gerekir.

2) ANTROPI

2.a) ANTROPİNİN TANIMI

Katı, sıvı ya da gaz homojen bir cismin durumu, bilindiği gibi, basınç, hacim ve sıcaklık arasından seçilen iki durum parametresinin değerleri ile belirlenir. Katı ve sıvıların dönüşümleri için bu iki parametre pratik olarak bire, sadece sıcaklığa indirgenir. Belirli bir durum için bir cisim ayrıca bir iç enerjiye de sahiptir. İç enerji cismin durumuna bağlı olan bir büyüklüktür. İç enerjinin değeri, cismin bulunduğu duruma geliş tarzından tamamen bağımsızdır. Termodinamikte bu niteliğe sahip olan çok sayıda büyüklük vardır ve bunlar durum büyüklükleri olarak adlandırılırlar. Basınç ve sıcaklığın sahip olduğu değerlere bağlı olan bir gaz kütlesinin hacmi durum büyüklüğüne sade bir örnektir.

İç enerjinin yanında, Termodinamik, ANTROPI olarak adlandırılan ikinci bir durum büyüklüğünden daha yararlanır. Sade birkaç örnekle bir cismin antropisinden ne anlaşılması gerektiğini açıkladıktan sonra bu kavramı genelleştireceğiz. Örneğin ağırlığı (G) olan belirli bir su kütlesi alalım. Bu su kütlesinin sıcaklığı üniform ve mutlak sıcaklık ölçüm düzenindeki değeri de (T) olsun. Sıcaklığı üniform olan su kütlesine, sıcaklığında ölçülebilen nitelikte değişiklik meydana getirmeyen çok küçük bir miktar ısı verelim ve bunu (ΔQ) ile göstereyim. Bu durumda suyun dış çevreden çok küçük bir miktar entropi aldığı söylenir. Ağırlığı (G) olan su kütlesinin dış çevreden aldığı entropi (ΔS) ile gösterilir ve bu $(\Delta Q/T)$ oranı ile ifade edilerek

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

eşitliği yazılabilir.

Görüldüğü gibi, entropi, cismin sıcaklığında ölçülebilen bir değişiklik meydana getirmeyen ısı miktarının birim sıcaklığa düşen değeri olarak tanımlanmaktadır. Sıcaklığın (T_0) 'dan (T_1) 'e geldiği bir değişim sürecinde dış çevreden alınan ya da dış çevreye verilen entropi miktarı elementer antropilerin toplamına eşittir. Sıcaklığın (T_0) 'dan (T_1) 'e geldiği değişim sürecinde, cismin sıcaklığının aldığı değerleri $(T_1), (T_2), (T_3), \dots, (T_n)$, aralarındaki fark sonsuz küçük olan bu ardışık sıcaklıkların sınırladıkları aralıklarda dış çevreden alınan ısı miktarının değerleri $(\Delta Q_1), (\Delta Q_2), (\Delta Q_3), \dots, (\Delta Q_n)$ ve elementer antropileri de $(\Delta S_1), (\Delta S_2), (\Delta S_3), \dots, (\Delta S_n)$ ile gösterecek olursak

$$\Delta S_1 = \frac{\Delta Q_1}{T_1}$$

$$\Delta S_2 = \frac{\Delta Q_2}{T_2}$$

$$\Delta S_3 = \frac{\Delta Q_3}{T_3}$$

$$\Delta S_n = \frac{\Delta Q_n}{T_n}$$

eşitliklerini yazabiliriz. Bu eşitliklerden yukarıda yapmış olduğumuz açıklama uyarınca, sıcaklığın (T_0) 'dan (T_1) 'e geldiği bir değişim sürecinde elementer antropilerin toplamı $(\Sigma \Delta S)$ olduğuna göre,

$$\Sigma \Delta S = \Delta S_1 + \Delta S_2 + \Delta S_3 + \dots + \Delta S_n = \frac{\Delta Q_1}{T_1} + \frac{\Delta Q_2}{T_2} + \frac{\Delta Q_3}{T_3} + \dots + \frac{\Delta Q_n}{T_n}$$

eşitliği elde ederiz. Bütün dönüşüm boyunca sıcaklık üniform kalmak koşulu ile bu tanım herhangi bir termodinamik sistem için kolayca genelleştirilebilir ve

$$\Sigma \Delta S = \frac{\Delta Q_1}{T_1} + \frac{\Delta Q_2}{T_2} + \frac{\Delta Q_3}{T_3} + \dots + \frac{\Delta Q_n}{T_n}$$

eşitliği daima alınan entropiyi verir. Ancak bu arada hemen belirtelim ki, ısı alış-verişi için olduğu gibi, entropi alış-verişi için de almak sözcüğü cebirsel anlamda değerlendirilmelidir. Termodinamik sistem dış çevreye ısı verdiği zaman entropi de verir ve işte o zaman (ΔQ) gibi (ΔS)'nin de işareti negatif olur.

2.b) HOMOJEN KATI VE SIVILARIN ANTROPİSİ

Homojen katı ve sıvıların entropisini hesaplamak için bunların özgül ısınma ısısının bilinmesi gerekir. Ağırlığı (1 kg) olan homojen bir katı ya da sıvı kütlesinin sıcaklığını (1°) arttırmak için gerekli ısı miktarına o homojen katı ya da sıvının özgül ısınma ısısı denir. Homojen katı ve sıvıların özgül ısınma ısısı, genellikle sabit kabul edilir ve (C) ile gösterilir. Sıcaklığın (T_0)'dan (T_1)'e geldiği bir değişim sürecinde homojen katı ya da sıvının entropisi, (G) ağırlık olduğuna göre,

$$\Delta S = G \cdot C \cdot \ln \left(\frac{T_1}{T_0} \right)$$

eşitliğinden yararlanılarak hesaplanır.

$$\ln \left(\frac{T_1}{T_0} \right) = 2,3 \log \left(\frac{T_1}{T_0} \right)$$

olduğu için

$$\Delta S = G \cdot C \cdot \ln \left(\frac{T_1}{T_0} \right)$$

yerine

$$\Delta S = 2,3 \cdot G \cdot C \cdot \log \left(\frac{T_1}{T_0} \right)$$

eşitliğini yazabiliriz. Sıcaklığın (T_0)'dan (T_1)'e geldiği değişim sürecinde elementer entropilerin toplamı, termodinamik sistemin (T_1) sıcaklığındaki entropisi ile (T_0) sıcaklığındaki entropisinin farkına eşittir. Termodinamik sistemin (T_1) sıcaklığındaki entropisini (S_1) ve (T_0) sıcaklığındaki entropisini de

(S_0) ile gösterecek olursak

$$S_1 - S_0 = 2,3 \cdot G \cdot C \cdot \log \left(\frac{T_1}{T_0} \right)$$

eşitliğini yazabiliriz.

2.c) GAZLARIN ANTROPİSİ

Daha önce de değinmiş olduğumuz gibi, yetkin gazların durumunu yalnız sıcaklıkla belirlemek olanaksızdır. Yetkin gazların durumunu belirlemek için sıcaklıktan başka hacim ve basınç gibi iki ayrı parametreye daha gereksinme vardır. Entropi termodinamik sistemin durumuna bağlıdır. Yetkin gazların durumu basınç, hacim ve sıcaklık gibi parametrelerle belirlendiği için bunların entropisini de bu parametrelere bağlı olarak ifade etmek gerekir. Yetkin gazların entropisini basınç, hacim ve sıcaklık gibi parametrelere bağlı olarak ifade etmeden önce sabit basıncıdaki özgül ısınma ısısı ile sabit hacimdeki özgül ısınma ısısına kısaca değineceğiz. Bir gaz ya sabit hacimde ya da sabit basınçta tutularak ısıtılır. Sabit hacimde tutulan ve ağırlığı (1 kg) olan bir gaz kütlesinin sıcaklığını (1°) yükseltmek için gerekli ısı miktarına SABİT HACİMDEKİ ÖZGÜL ISINMA ISISI, sabit basınçta tutulan ve ağırlığı (1 kg) olan gaz kütlesinin sıcaklığını (1°) yükseltmek için gerekli ısı miktarına da SABİT BASINÇTAKİ ÖZGÜL ISINMA ISISI denir. Sabit hacimdeki özgül ısınma ısısı (C_v) ve sabit basınçtaki özgül ısınma ısısı da (C_p) ile gösterilir. Yapılan deneysel ve kuramsal araştırmalarla bir gazın sabit basınçtaki özgül ısınma ısısının sabit hacimdeki özgül ısınma ısısından daha büyük olduğu kanıtlanmıştır. Sabit basınçtaki özgül ısınma ısısı ile sabit hacimdeki özgül ısınma ısısı arasındaki ilişki (γ) oran etkeni, (A) eşdeğerlik katsayısı ve (R) de gaz sabiti olduğuna göre,

$$C_p - C_v = A R$$

$$\frac{C_p}{C_v} = \gamma$$

eşitlikleri ile gösterilir. Bu eşitliklerden yararlanılarak

$$C_p = \frac{\gamma}{\gamma - 1} A R$$

$$C_v = \frac{A R}{\gamma - 1}$$

eşitlikleri yazılabilir. (γ) oran etkeni gazın moleküler yapısına bağlıdır. (γ)'nın değeri moleküler yapısı tek atomlu olan metal buharları ile asal gazlar için (1,666), moleküler yapısı iki atomlu olan azot (N_2), oksijen (O_2), hidrojen (H_2) gibi gazlar için (1,41) moleküler yapısı üç atomlu olan karbondioksit (CO_2) gibi gazlar için de (1,3) alınır.

Ağırlığı (G) olan bir gaz kütlesi için elementer antropilerin toplamı sıcaklığın (T_0)'dan (T_1)'e ve hacmin (V_0)'dan (V_1)'e geldiği bir değişim sürecinde

$$\Sigma \Delta S = G \left[C_v \ln \left(\frac{T_1}{T_0} \right) + (C_p - C_v) \ln \left(\frac{V_1}{V_0} \right) \right]$$

eşitliğinden, sıcaklığın (T_0)'dan (T_1)'e ve basıncın (P_0)'dan (P_1)'e geldiği bir değişim sürecinde

$$\Sigma \Delta S = G \left[C_p \ln \left(\frac{T_1}{T_0} \right) - (C_p - C_v) \ln \left(\frac{P_1}{P_0} \right) \right]$$

eşitliğinden ve nihayet hacmin (V_0)'dan (V_1)'e ve basıncın (P_0)'dan (P_1)'e geldiği bir değişim sürecinde de

$$\Sigma \Delta S = G \left[C_v \ln \left(\frac{P_1}{P_0} \right) + C_p \ln \left(\frac{V_1}{V_0} \right) \right]$$

eşitliğinden yararlanılarak hesaplanır. Sıcaklığın (T_0)'dan (T_1)'e, hacmin (V_0)'dan (V_1)'e ve basıncın da (P_0)'dan (P_1)'e geldiği bir değişim sürecinde elementer antropilerin toplamı, termodinamikte sistemin, sıcaklığın (T_1), hacmin (V_1), basıncın (P_1) olduğu zamanki antropisi ile sıcaklığın (T_0), hacmin

(V_0), basıncın da (P_0) olduğu zamanki antropisinin farkına eşittir. Termodinamik sistemin (T_1) sıcaklığında, (V_1) hacminde, (P_1) basıncında antropisini (S_1) ve T_0 sıcaklığında, (V_0) hacminde, (P_0) basıncında antropisini de (S_0) ile gösterelim. Bu durumda

$$\Sigma \Delta S = S_1 - S_0$$

olduğu için

$$S_1 - S_0 = G \left[C_v \ln \left(\frac{T_1}{T_0} \right) + (C_p - C_v) \ln \left(\frac{V_1}{V_0} \right) \right]$$

$$S_1 - S_0 = G \left[C_p \ln \left(\frac{T_1}{T_0} \right) - (C_p - C_v) \ln \left(\frac{P_1}{P_0} \right) \right]$$

$$S_1 - S_0 = G \left[C_v \ln \left(\frac{P_1}{P_0} \right) + C_p \ln \left(\frac{V_1}{V_0} \right) \right]$$

eşitliklerini yazabiliriz. Bu eşitliklerle

$$C_p = \frac{\gamma}{\gamma - 1} A R$$

$$C_v = \frac{A R}{\gamma - 1}$$

eşitliklerinin birleşiminden de

$$S_1 - S_0 = \frac{G A R}{\gamma - 1} \left[\ln \left(\frac{T_1}{T_0} \right) + \ln \left(\frac{V_1}{V_0} \right)^{\gamma - 1} \right]$$

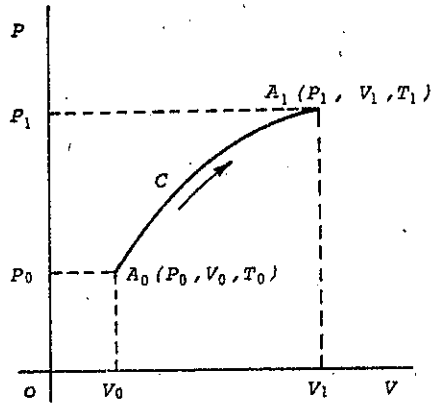
$$S_1 - S_0 = \frac{G A R}{\gamma - 1} \left[\ln \left(\frac{T_1}{T_0} \right)^{\gamma} - \ln \left(\frac{P_1}{P_0} \right)^{\gamma - 1} \right]$$

$$S_1 - S_0 = \frac{G A R}{\gamma - 1} \left[\ln \left(\frac{P_1}{P_0} \right) + \ln \left(\frac{V_1}{V_0} \right)^{\gamma} \right]$$

eşitlikleri elde edilir.

3) AÇIK DÖNÜŞÜMÜN TANIMI VE AÇIK DÖNÜŞÜMLER

Kütlesi değişmeyen bir termodinamik sistemin durumunu belirleyen basınç, hacim ve sıcaklık gibi parametrelerden en az ikisinde herhangi bir nedenle meydana gelen değişikliğe Termodinamikte açık dönüşüm denir. Açık dönüşüm yatay konumdaki (oV) ve dikey konumdaki (oP) eksenlerinden oluşan dik açılı koordinatlar sisteminde, (Şekil-2.2)'de görüldüğü gibi,



Şekil-2.2

(A₀) ve (A₁) noktalarının sınırladıkları denklemi bilinen bir eğri ile gösterilir. Yatay konumdaki (oV) ve dikey konumdaki (oP) eksenlerinden oluşan dik açılı koordinatlar sistemine CLAPEYRON KOORDİNATLARI sistemi adı verilir. Clapeyron Koordinatları sisteminde, açık dönüşümü gösteren (A₀) ve (A₁) noktalarının sınırladıkları eğrinin altında kalan düzlem yüzeyin alanı, açık dönüşüm sürecinde basınç kuvvetlerinin işini ifade eder.

Açık dönüşümde çevreden alınan ya da çevreye verilen işle ısı miktarı arasında eşdeğerlik söz konusu değildir. Bunun nedeni, açık dönüşümde kapalı devre koşulunun yerine getirilmemiş olmasıdır. Kapalı devre koşulunun yerine getirilmesinden bir termodinamik sistemin dönüşüm sürecinde ilk ve son durumların özdeşliği anlaşılmalıdır. Termodinamiğin Birinci Kanunu uyarınca ısı miktarı ile alınan iş arasında eşdeğerlik ancak kapalı devre koşulu yerine getirildiği zaman gerçekleşir.

Bir açık dönüşüm sürecinde, termodinamik sistemin çevreden aldığı ya da çevreye verdiği ısı miktarı ile iş arasında, eşdeğerliğin gerçekleşmesinin fiziksel nedenleri vardır. Deneysel ve kuramsal araştırmalar sonunda bu fiziksel nedenler, kinetik enerji ile durum değişimi olarak saptanmıştır. Buna göre, açık

dönüşüm sürecinde termodinamik sistemin çevreden aldığı ya da çevreye verdiği ısı miktarı ile iş arasındaki farkın iç enerji değişimi ile kinetik enerji değişimi olarak ortaya çıkması gerekir. Basıncın (P₀)'dan (P₁)'e, hacmin (V₀)'dan (V₁)'e ve sıcaklığın da (T₀)'dan (T₁)'e geldiği bir açık dönüşüm sürecinde Termodinamik sistemin çevreden aldığı ya da çevreye verdiği ısı miktarını (Q), işi (W_e), ile gösterelim. Basıncın (P₀), hacmin (V₀), sıcaklığın (T₀) olduğu zaman termodinamik sistemin iç enerjisini (U₀), kinetik enerjisini (W_{k0}) ve basıncın (P₁), hacmin (V₁), sıcaklığın (T₁) olduğu zaman termodinamik sistemin iç enerjisini (U₁), kinetik enerjisini (W_{k1}) ile gösterecek olursak

$$Q \neq AW_e$$

olduğu için

$$Q + AW_e = (U_1 - U_0) + A (W_{k1} - W_{k0})$$

eşitliğini yazabiliriz. Kinetik Enerji Teoremine göre, iç sürünme direncinin bulunmadığı bir termodinamik sistem için, açık dönüşüm sürecinde kinetik enerji değişimi iç basınç kuvvetlerinin işi ile çevreden alınan işin toplamına eşittir. Bu durumda Kinetik Enerji Teoremi uyarınca, basınç kuvvetlerinin işi (W) ile gösterilirse

$$W_{k1} - W_{k0} = W_e + W$$

eşitliği yazılabilir. Bu eşitlikte

$$Q + A W_e = (U_1 - U_0) + A (W_{k1} - W_{k0})$$

eşitliğinin birleşiminden

$$U_1 - U_0 = Q - AW$$

eşitliği elde edilir. Açık olarak görülmektedir ki, basıncın (P₀)'dan (P₁)'e, hacmin (V₀)'dan (V₁)'e ve sıcaklığın da (T₀)'dan (T₁)'e geldiği bir açık dönüşüm sürecinde, termodinamik

sistemin iç enerji değişimi, çevreden alınan ya da çevreye verilen ısı miktarı ile basınç kuvvetlerinin işi arasındaki farka eşit olmaktadır.

3.a) İZOKOR DÖNÜŞÜM

3.a.1) İZOKOR DÖNÜŞÜMÜN TANIMI

Kütlesi değişmeyen ve değişmeyen hacimde tutulan bir termodinamik sistemin durumunu belirleyen parametrelerden basınç ve sıcaklıkta herhangi bir nedenle meydana gelen değişmeye İZOKOR DÖNÜŞÜM ya da SABİT HACİMDEKİ DÖNÜŞÜM denir.

İzokor dönüşüm Gay - Lussac Basınç Kanununa uyar. Sıcaklığın (T_1)'den (T_2)'ye ve basıncında (P_1)'den (P_2) geldiği bir izokor dönüşümde basınç ve sıcaklık arasındaki ilişki de

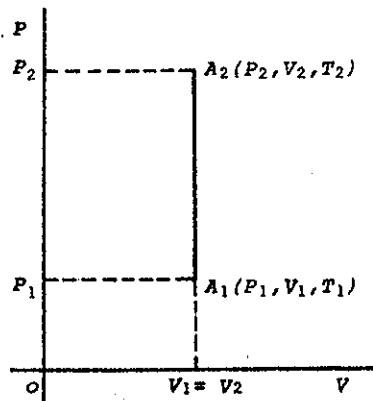
$$\frac{P_1}{T_1} = \frac{P_2}{T_2}$$

eşitliği ile gösterilir.

3.a.2) İZOKOR DÖNÜŞÜMDE İŞ

Sıcaklığın (T_1)'den (T_2)'ye, basıncın da (P_1)'den (P_2)'ye geldiği bir izokor dönüşüm sürecinde basınç kuvvetlerinin işi sıfırdır.

$$W = 0$$



Şekil-2.3

İzokor dönüşüm, Clapeyron Koordinatları sisteminde, (Şekil-2.3)'de görüldüğü gibi, (A_1) ve (A_2) noktalarının sınırladıkları absisi ($V_1 = V_2$) olan (oP) eksenine paralel bir doğru ile gösterilir.

3.a.3) İZOKOR DÖNÜŞÜMDE ISI

Sıcaklığın (T_1)'den (T_2)'ye ve basıncın da (P_1)'den (P_2)'ye geldiği bir izokor dönüşüm sürecinde

termodinamik sistemin çevreden aldığı ya da çevreye verdiği ısı miktarı

$$Q = C_V (T_2 - T_1) = \frac{A V}{\gamma - 1} (P_2 - P_1)$$

eşitliklerinden yararlanılarak hesaplanır. Burada (C_V), termodinamik sistemin sabit hacimdeki ısınma ısısını göstermektedir. Sabit hacimdeki ısınma ısısı, termodinamik sistemin ağırlığı ile sabit hacimdeki özgül ısınma ısısının çarpımıdır.

3.a.4) İZOKOR DÖNÜŞÜMDE İÇ ENERJİ

Bir açık dönüşüm sürecinde termodinamik sistemin iç enerjisinde meydana gelen değişme miktarı, bilindiği gibi,

$$U_2 - U_1 = Q - A W$$

eşitliğinden yararlanılarak hesaplanır.

İzokor dönüşüm sürecinde

$$W = 0$$

olduğu için

$$U_2 - U_1 = Q$$

olur. Görülüyor ki, sıcaklığın (T_1)'den (T_2)'ye ve basıncın da (P_1)'den (P_2)'ye geldiği bir izokor dönüşüm sürecinde termodinamik sistemin iç enerjisi çevreden alınan ya da çevreye verilen ısı miktarı kadar artmakta ya da azalmaktadır.

3.a.5) İZOKOR DÖNÜŞÜMDE ANTROPİ

Sıcaklığın (T_1)'den (T_2)'ye ve basıncın da (P_1)'den (P_2)'ye geldiği bir izokor dönüşüm için termodinamik sistemin antropisinde meydana gelen değişme miktarı

$$S_2 - S_1 = \frac{G A R}{\gamma - 1} \left[\ln \left(\frac{T_2}{T_1} \right)^\gamma - \ln \left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\gamma-1} \right]$$

eşitliğinden yararlanılarak hesaplanır. İzokor dönüşümde

$$\frac{P_1}{T_1} = \frac{P_2}{T_2}$$

olduğu için

$$S_2 - S_1 = \frac{GAR}{\gamma - 1} \left[\ln \left(\frac{T_2}{T_1} \right)^\gamma - \ln \left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\gamma-1} \right]$$

eşitliğinden

$$S_1 - S_2 = \frac{GAR}{\gamma - 1} \ln \left(\frac{P_2}{P_1} \right)$$

ve

$$S_2 - S_1 = \frac{GAR}{\gamma - 1} \ln \left(\frac{T_2}{T_1} \right)$$

eşitlikleri elde edilir.

3.b) İZOBAR DÖNÜŞÜM

3.b.1) İZOBAR DÖNÜŞÜMÜN TANIMI

Kütlesi değişmeyen ve değişmeyen basınçta tutulan bir termodinamik sistemin durumunu belirleyen parametrelerden hacim ve sıcaklıkta herhangi bir nedenle meydana gelen değişmeye İZOBAR DÖNÜŞÜM ya da SABİT BASINÇTAKİ dönüşüm denir.

İZOBAR DÖNÜŞÜM, Gay-Lussac Hacim Kanununa uyar. Sıcaklığın (T_1)'den (T_2)'ye ve hacmin de (V_1)'den (V_2)'ye geldiği bir izokor dönüşümde hacim ve sıcaklık arasındaki ilişki de

$$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}$$

eşitliği ile gösterilir.

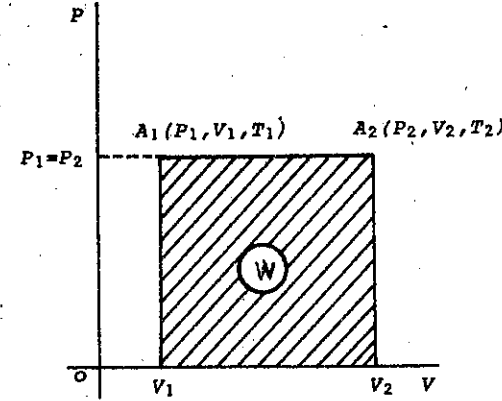
3.b.2) İZOBAR DÖNÜŞÜMDE İŞ

Basıncın değişmediği ve sıcaklığın (T_1)'den (T_2)'ye, hacmin de (V_1)'den (V_2)'ye geldiği bir izobar dönüşüm sürecinde basınç kuvvetlerinin işi

$$W = P (V_2 - V_1)$$

eşitliğinden yararlanılarak hesaplanır.

Clapeyron Koordinatları sisteminde, izobar dönüşüm, (şekil-2.4)'de görüldüğü gibi, (A_1) ve (A_2) noktalarının sınırladıkları ordinatı ($P_1 = P_2$) olan (oV) eksenine paralel bir doğru ile gösterilir. Bu doğrunun altında kalan düzlem yüzeyin alanı, izobar dönüşümde, basınç kuvvetlerinin işini ifade eder.



Şekil-2.4

3.b.3) İZOBAR DÖNÜŞÜMDE ISI

Sıcaklığın (T_1)'den (T_2)'ye ve basıncın da (P_1)'den (P_2)'ye geldiği bir izobar dönüşüm sürecinde, termodinamik sistemin çevreden aldığı ya da çevreye verdiği ısı miktarı

$$Q = C_p (T_2 - T_1) = \frac{\gamma}{\gamma - 1} AP (V_2 - V_1)$$

eşitliğinden yararlanılarak hesaplanır. Burada (C_p), termodinamik sistemin sabit basınçtaki ısınma ısısını göstermektedir. Sabit basınçtaki ısınma ısısı, termodinamik sistemin ağırlığı ile sabit basınçtaki özgül ısınma ısısının çarpımıdır.

3.b.4) İZOBAR DÖNÜŞÜMDE İÇ ENERJİ

Bir izobar dönüşüm sürecinde, termodinamik sistemin iç enerjisinde meydana gelen değişme miktarı

$$U_2 - U_1 = Q - AW$$

eşitliğinden yararlanılarak hesaplanır. Sıcaklığın (T_1)'den (T_2)'ye ve hacmin de (V_1)'den (V_2)'ye geldiği bir izobar dönüşüm sürecinde çevreden alınan ya da çevreye verilen ısı miktarı

$$Q = \frac{\gamma}{\gamma - 1} AP (V_2 - V_1)$$

ve basıncın kuvvetlerinin işi de

$$W = P (V_2 - V_1)$$

olduğu için

$$U_2 - U_1 = Q - AW$$

eşitliğinden yararlanarak

$$U_2 - U_1 = Q - AW = \frac{\gamma}{\gamma - 1} AW - AW = \frac{AW}{\gamma - 1}$$

$$U_2 - U_1 = \frac{AW}{\gamma - 1}$$

eşitliğini yazabiliriz.

3.b.5) IZOBAR DÖNÜŞÜMDE ANTROPI

Sıcaklığın (T_1)'den (T_2)'ye ve hacmin de (V_1)'den (V_2)'ye geldiği bir izobar dönüşüm için termodinamik sistemin antropisinde meydana gelen değişme miktarı

$$S_2 - S_1 = \frac{GAR}{\gamma - 1} \left[\ln \left(\frac{T_2}{T_1} \right) + \ln \left(\frac{V}{V_1} \right)^{\gamma - 1} \right]$$

eşitliğinden yararlanılarak hesaplanır. Izobar dönüşümde

$$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}$$

olduğu için

$$S_2 - S_1 = \frac{GAR}{\gamma - 1} \left[\ln \left(\frac{T_2}{T_1} \right) + \ln \left(\frac{V_2}{V_1} \right)^{\gamma - 1} \right]$$

eşitliğinden

$$S_2 - S_1 = \frac{\gamma}{\gamma - 1} GAR \ln \left(\frac{T_2}{T_1} \right)$$

ve

$$S_2 - S_1 = \frac{\gamma}{\gamma - 1} GAR \ln \left(\frac{V_2}{V_1} \right)$$

eşitlikleri elde edilir.

3.c) IZOTERM DÖNÜŞÜM

3.c.1) IZOTERM DÖNÜŞÜMÜN TANIMI

Kütlesi değişmeyen ve değişmeyen sıcaklıkta tutulan bir termodinamik sistemin durumunu belirleyen parametrelerden basınç ve hacimde herhangi bir nedenle meydana gelen değişmeye IZOTERM DÖNÜŞÜM ya da SABİT SICAKLIKTAKİ DÖNÜŞÜM denir.

Izoterm dönüşüm Boyle ve Mariotte Kanununa uyar. Basıncın (P_1)'den (P_2)'ye ve hacminden (V_1)'den (V_2)'ye geldiği bir izoterm dönüşümde basınç ve hacim arasındaki ilişki de

$$P_1 V_1 = P_2 V_2$$

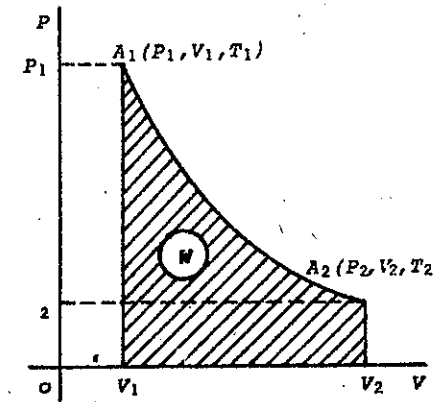
eşitliği ile gösterilir.

3.c.2) IZOTERM DÖNÜŞÜMDE İŞ

Sıcaklığın değişmediği ve basıncın (P_1)'den (P_2)'ye, hacmin de (V_1)'den (V_2)'ye geldiği bir izoterm dönüşüm sürecinde basınç kuvvetlerinin işi

$$W = P_1 V_1 \ln \left(\frac{V_2}{V_1} \right)$$

eşitliğinden yararlanılarak hesaplanır.



Şekil-2.5

Izoterm dönüşüm, (Şekil-2.5)'de görüldüğü gibi, Clapeyron Koordinatları sisteminde genel denklemi

$$P = P_1 V_1 \frac{1}{V}$$

olan (A_1) ve (A_2) noktalarının sınırladıkları bir eğri ile gösterilir. Bu eğrinin altında kalan düzlem yüzeyin alanı, izoterm dönüşüm sürecinde basınç kuvvetlerinin işini ifade eder.

3.c.3) İZOTERM DÖNÜŞÜMDE ISI

Basıncın (P_1)'den (P_2)'ye ve hacmin de (V_1)'den (V_2)'ye geldiği bir izoterm dönüşüm sürecinde, termodinamik sistemin çevreden aldığı ya da çevreye verdiği ısı miktarı

$$Q = A P_1 V_1 \ln \left(\frac{V_2}{V_1} \right)$$

eşitliğinden yararlanılarak hesaplanır.

$$W = P_1 V_1 \ln \left(\frac{V_2}{V_1} \right)$$

olduğu için

$$Q = A P_1 V_1 \ln \left(\frac{V_2}{V_1} \right)$$

eşitliği yerine

$$Q = A W$$

eşitliğini yazabiliriz. Görülüyor ki, basıncın (P_1)'den (P_2)'ye ve hacmin de (V_1)'den (V_2)'ye geldiği sınırlı bir izoterm dönüşüm sürecinde termodinamik sistemin çevreden aldığı ya da çevreye verdiği ısı basınç kuvvetlerinin işine eşit olmaktadır.

3.c.4) İZOTERM DÖNÜŞÜMDE İÇ ENERJİ

Izoterm dönüşüm sürecinde, bir termodinamik sistemin iç enerjisinde meydana gelen değişme miktarı

$$U_2 - U_1 = Q - A W$$

eşitliğinden yararlanılarak hesaplanır. Basıncın (P_1)'den (P_2)'ye ve hacmin de (V_1)'den (V_2)'ye geldiği bir izoterm dönüşümde

$$Q = A W$$

olduğu için

$$U_2 - U_1 = 0$$

olur. Bu açıklama bize, izoterm dönüşüm sürecinde, termodinamik sistemin iç enerjisinde meydana gelen değişme miktarının

sıfır olduğunu yani iç enerjinin sabit kaldığını göstermektedir.

3.c.5) İZOTERM DÖNÜŞÜMDE ANTROPI

Basıncın (P_1)'den (P_2)'ye ve hacmin de (V_1)'den (V_2)'ye geldiği, bir izoterm dönüşüm için termodinamik sistemin antropisinde meydana gelen değişme miktarı

$$S_2 - S_1 = \frac{G A R}{\gamma - 1} \left[\ln \left(\frac{P_2}{P_1} \right) + \ln \left(\frac{V_2}{V_1} \right)^\gamma \right]$$

eşitliğinden yararlanılarak hesaplanır.

$$P_1 V_1 = P_2 V_2$$

ve

$$P_1 V_1 = P_2 V_2 = G R T$$

olduğu için

$$S_2 - S_1 = \frac{G A R}{\gamma - 1} \left[\ln \left(\frac{P_2}{P_1} \right) + \ln \left(\frac{V_2}{V_1} \right)^\gamma \right]$$

eşitliğinden

$$S_2 - S_1 = \frac{A P_1 V_1 \ln \left(\frac{V_2}{V_1} \right)}{T}$$

eşitliği elde edilir. Diğer yandan

$$Q = A P_1 V_1 \ln \left(\frac{V_2}{V_1} \right)$$

olduğu için

$$S_2 - S_1 = \frac{A P_1 V_1 \ln \left(\frac{V_2}{V_1} \right)}{T}$$

eşitliği yerine

$$S_2 - S_1 = \frac{Q}{T}$$

eşitliğini yazabiliriz.

3.d) ADIYABATİK DÖNÜŞÜM

3.d.1) ADIYABATİK DÖNÜŞÜMÜN TANIMI

Kütlesi değişmeyen ve çevre ile ısı alış-verişi yapmayan bir termodinamik sistemin durumunu belirleyen parametrelerden basınç, hacim ve sıcaklıkta herhangi bir nedenle meydana gelen değişmeye ADIYABATİK DÖNÜŞÜM denir.

Basıncın (P_1)'den (P_2)'ye, hacmin (V_1)'den (V_2)'ye ve sıcaklığın da (T_1)'den (T_2)'ye geldiği sınırlı bir adiyabatik dönüşümde basınçla hacim arasındaki ilişki

$$P_1 V_1^\gamma = P_2 V_2^\gamma$$

eşitliği ile basınçla sıcaklık arasındaki ilişki

$$\frac{T_1}{T_2} = \left(\frac{P_1}{P_2}\right)^{1-\frac{1}{\gamma}}$$

eşitliği ile ve hacimle sıcaklık arasındaki ilişki de

$$\frac{T_1}{T_2} = \left(\frac{V_1}{V_2}\right)^{1-\gamma}$$

eşitliği ile gösterilir.

3.d.2) ADIYABATİK DÖNÜŞÜMDE İŞ

Basıncın (P_1)'den (P_2)'ye, hacmin (V_1)'den (V_2)'ye ve sıcaklığın da (T_1)'den (T_2)'ye geldiği sınırlı bir adiyabatik dönüşüm sürecinde basınç kuvvetlerinin işi

$$W = \frac{P_2 V_2 - P_1 V_1}{1-\gamma}$$

eşitliğinden yararlanılarak hesaplanır. Genel Gaz Kanununa göre,

$$P_1 V_1 = G R T_1$$

$$P_2 V_2 = G R T_2$$

eşitliklerini yazabiliriz. Diğer yandan adiyabatik dönüşümde

$$\frac{T_1}{T_2} = \left(\frac{P_1}{P_2}\right)^{1-\frac{1}{\gamma}} = \left(\frac{V_1}{V_2}\right)^{1-\gamma}$$

olduğu için

$$W = \frac{P_2 V_2 - P_1 V_1}{1-\gamma}$$

eşitliğinden

$$W = \frac{P_1 V_1}{1-\gamma} \left(\frac{T_2}{T_1} - 1\right) = \frac{P_1 V_1}{1-\gamma} \left[\left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{1-\frac{1}{\gamma}} - 1\right] = \frac{P_1 V_1}{1-\gamma} \left[\left(\frac{V_2}{V_1}\right)^{1-\gamma} - 1\right]$$

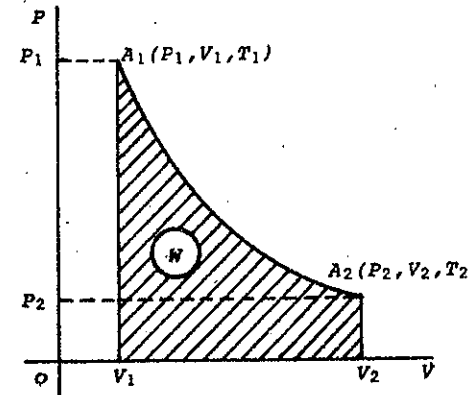
eşitlikleri ile

$$W = \frac{P_2 V_2}{1-\gamma} \left(1 - \frac{T_1}{T_2}\right) = \frac{P_2 V_2}{1-\gamma} \left[1 - \left(\frac{P_1}{P_2}\right)^{1-\frac{1}{\gamma}}\right] = \frac{P_2 V_2}{1-\gamma} \left[1 - \left(\frac{V_1}{V_2}\right)^{1-\gamma}\right]$$

eşitliklerini türetebiliriz.

Adiyabatik dönüşüm, Clapeyron Koordinatları sisteminde, (Şekil-2.6)'da görüldüğü gibi, Genel Denklemi

$$P = P_1 V_1^\gamma \frac{1}{V^\gamma}$$



Şekil-2.6

olan (A_1) ve (A_2) noktalarının sınırladıkları bir eğri ile gösterilir. Bu eğrinin altında kalan düzlem yüzeyin alanı, adiyabatik dönüşüm sürecinde basınç kuvvetlerinin işini ifade eder.

3.d.3. ADIYABATİK DÖNÜŞÜMDE İÇ ENERJİ

Bir adiyabatik dönüşüm sürecinde, termodinamik sistemin iç

enerji değişimi

$$U_2 - U_1 = Q - AW$$

eşitliğinden yararlanılarak hesaplanır. Basıncın (P_1)'den (P_2)'ye, hacmin (V_1)'den (V_2)'ye ve sıcaklığın (T_1)'den (T_2)'ye geldiği sınırlı bir adiyabatik dönüşüm sürecinde termodinamik sistemin çevreden aldığı ya da çevreye verdiği ısı miktarı sıfır olduğu için

$$U_2 - U_1 = Q - AW$$

eşitliğinden

$$U_2 - U_1 = - AW$$

eşitliği elde edilir. Görülüyor ki, basıncın (P_1)'den (P_2)'ye, hacmin (V_1)'den (V_2)'ye ve sıcaklığın da (T_1)'den (T_2)'ye geldiği bir adiyabatik dönüşüm sürecinde termodinamik sistemin iç enerjisi basınç kuvvetlerinin işi kadar artmakta ya da azalmaktadır.

3.d.4) ADIYABATİK DÖNÜŞÜMDE ANTROPI

Basıncın (P_1)'den (P_2)'ye, hacmin (V_1)'den (V_2)'ye ve sıcaklığın da (T_1)'den (T_2)'ye geldiği sınırlı bir adiyabatik dönüşüm için termodinamikte sistemin antropisinde meydana gelen değişme miktarı

$$S_2 - S_1 = \frac{GAR.}{\gamma - 1} \left[\ln \left(\frac{P_2}{P_1} \right) + \ln \left(\frac{V_2}{V_1} \right)^\gamma \right]$$

eşitliğinden yararlanılarak hesaplanır. Adiyabatik dönüşümde

$$P_1 V_1^\gamma = P_2 V_2^\gamma$$

olduğu için

$$S_2 - S_1 = 0$$

olur. Bu açıklama göstermektedir ki, basıncın (P_1)'den (P_2)'ye, hacmin (V_1)'den (V_2)'ye ve sıcaklığın da (T_1)'den (T_2)'ye geldiği

sınırlı bir adiyabatik dönüşüm için termodinamik sistemin antropisinde meydana gelen değişme miktarı sıfır olmakta yani antropi sabit kalmaktadır. Adiyabatik dönüşümde termodinamik sistemin antropisi sabit kaldığı için bu dönüşüme, Termodinamikte İZANTROPİK DÖNÜŞÜM de denir.

3.e) POLİTROPİK DÖNÜŞÜM

3.e.1) POLİTROPİK DÖNÜŞÜMÜN TANIMI

Kütlesi değişmeyen ve çevre ile ısı alış-verişi yapan bir termodinamik sistemin durumunu belirleyen parametrelerden basınç hacim ve sıcaklıkta herhangi bir nedenle meydana gelen değişmeye POLİTROPİK DÖNÜŞÜM denir.

$$1 < n < \gamma$$

olmak koşulu ile basıncın (P_1)'den (P_2)'ye, hacmin (V_1)'den (V_2)'ye ve sıcaklığın da (T_1)'den (T_2)'ye geldiği sınırlı bir politropik dönüşümde, basınçla hacim arasındaki ilişki

$$P_1 V_1^n = P_2 V_2^n$$

eşitliği ile, basınçla sıcaklık arasındaki ilişki

$$\frac{T_1}{T_2} = \left(\frac{P_1}{P_2} \right)^{1 - \frac{1}{n}}$$

eşitliği ile ve hacimle sıcaklık arasındaki ilişki de

$$\frac{T_1}{T_2} = \left(\frac{V_1}{V_2} \right)^{1 - n}$$

eşitliği ile gösterilir.

3.e.2) POLİTROPİK DÖNÜŞÜMDE İŞ

Basıncın (P_1)'den (P_2)'ye, hacmin (V_1)'den (V_2)'ye ve sıcaklığın da (T_1)'den (T_2)'ye geldiği sınırlı bir politropik dönüşüm sürecinde basınç kuvvetlerinin işi,

$$W = \frac{P_2 V_2 - P_1 V_1}{1 - n}$$

eşitliğinden yararlanılarak hesaplanır. Genel Gaz Kanununa göre,

$$P_1 V_1 = G R T_1$$

$$P_2 V_2 = G R T_2$$

eşitliklerini yazabiliriz. Diğer yandan adiyabatik dönüşümde

$$\frac{T_1}{T_2} = \left(\frac{P_1}{P_2}\right)^{1-\frac{1}{n}} = \left(\frac{V_1}{V_2}\right)^{1-n}$$

olduğu için

$$W = \frac{P_2 V_2 - P_1 V_1}{1-n}$$

eşitliğinden

$$W = \frac{P_1 V_1}{1-n} \left(\frac{T_2}{T_1} - 1\right) = \frac{P_1 V_1}{1-n} \left[\left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{1-\frac{1}{n}} - 1\right] = \frac{P_1 V_1}{1-n} \left[\left(\frac{V_2}{V_1}\right)^{1-n} - 1\right]$$

eşitlikleri ile

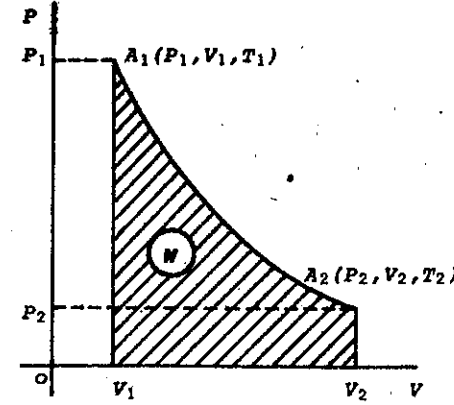
$$W = \frac{P_2 V_2}{1-n} \left(1 - \frac{T_1}{T_2}\right) = \frac{P_2 V_2}{1-n} \left[1 - \left(\frac{P_1}{P_2}\right)^{1-\frac{1}{n}}\right] = \frac{P_2 V_2}{1-n} \left[1 - \left(\frac{V_1}{V_2}\right)^{1-n}\right]$$

eşitliklerini türetebiliriz.

Adiyabatik dönüşüm, Clapeyron Koordinatları sisteminde, (şekil-2.7)'de görüldüğü gibi, Genel Denklemi

$$P = P_1 V_1^n \frac{1}{V^n}$$

olan (A₁) ve (A₂) noktalarının sınırladıkları bir eğri ile gösterilir. Bu eğrinin altında kalan düzlem yüzeyin alanı, adiyabatik dönüşüm sürecinde basınç kuvvetlerinin işini ifade eder.



Şekil-2.7

3.e.3 POLİTROPİK DÖNÜŞÜMDE ISI

Basıncın (P₁)'den (P₂)'ye, hacmin (V₁)'den (V₂)'ye ve sıcaklığın da (T₁)'den (T₂)'ye geldiği sınırlı bir politropik dönüşüm sürecinde termodinamik sistemin çevreden aldığı ya da çevreye verdiği ısı miktarı,

$$W = \frac{P_2 V_2 - P_1 V_1}{1-n}$$

olduğuna göre,

$$Q = \frac{\gamma - n}{\gamma - 1} A W$$

eşitliğinden yararlanılarak hesaplanır.

3.e.4) POLİTROPİK DÖNÜŞÜMDE İÇ ENERJİ

Politropik dönüşüm sürecinde, bir termodinamik sistemin iç enerjisinde meydana gelen değişme miktarı,

$$U_2 - U_1 = Q - A W$$

eşitliğinden yararlanılarak hesaplanır.

$$Q = \frac{\gamma - n}{\gamma - 1} A W$$

olduğu için bu eşitlikte

$$U_2 - U_1 = Q - A W$$

eşitliğinin birleşiminden

$$U_2 - U_1 = \frac{1-n}{\gamma-1} A W$$

eşitliği elde edilir.

3.e.5) POLİTROPİK DÖNÜŞÜMDE ANTROPI

Basıncın (P_1)'den (P_2)'ye, hacmin (V_1)'den (V_2)'ye ve sıcaklığın da (T_1)'den (T_2)'ye geldiği sınırlı bir politropik dönüşüm için termodinamik sistemin antropisinde meydana gelen değişme miktarı

$$S_2 - S_1 = \frac{GAR}{\gamma - 1} \left[\ln \left(\frac{T_2}{T_1} \right) + \ln \left(\frac{V_2}{V_1} \right)^{\gamma - 1} \right]$$

eşitliğinden yararlanılarak hesaplanır. Politropik dönüşümde

$$\frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{V_2}{V_1} \right)^{1-n}$$

olduğu için

$$S_2 - S_1 = \frac{GAR}{\gamma - 1} \left[\ln \left(\frac{T_2}{T_1} \right) + \ln \left(\frac{V_2}{V_1} \right)^{\gamma - 1} \right]$$

eşitliğinden

$$S_2 - S_1 = \frac{GAR}{\gamma - 1} \cdot \frac{\gamma - n}{1 - n} \cdot \ln \left(\frac{T_2}{T_1} \right)$$

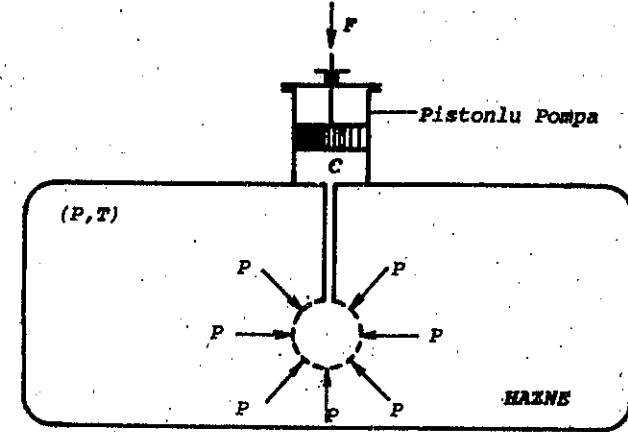
eşitliği elde edilir.

4) ANTALPİ

4.a) ANTALPİNİN TANIMI

(Şekil-2.8)'de görülen bir deney cihazında, haznenin içerdiği belirli bir basınç altında tutulan gazın içerisine aynı maddesel ve fiziksel özelliklere sahip olan çok küçük bir gaz kütlelerini göndermeyi tasarlayalım. Haznenin içermiş olduğu gazın maddesel ve fiziksel özelliklerine sahip olan bu gaz kütleleri başlangıçta, pistonlu pompanın silindiri içerisinde bulunsun. Piston üzerine (F) kuvvetini uygulayarak basınç ve sıcaklığı değiştirmeksizin hacmi (V) olan gaz kütlelerini bir kılcal borudan geçirerek hazneye basalım. Bu işlem,

hemen belirtelim ki, haznedeki gazın içerisine, çevre basıncına karşı koyarak gaz kütlelerinin yerleşeceği (V) hacmini açmak için kılcal borunun hazneye açılan ucunda kullanılacak işin pistonu iletilmesini gerektirir. Bilindiği gibi, çevre basıncı



Şekil-8.2

(P) ve gaz kütlelerinin hacmi de (V)'dir. Bu durumda gaz kütlelerini hazneye basmak için harcanması gereken iş (PV) olur. (V) hacmi, haznenin hacmi yanında çok küçük olduğu için (P) basıncının değişmediği kabul edilir. Ayrıca (T) sıcaklığı değişmediği için içerisine hacmi (V) olan gaz kütlelerinin gönderildiği haznedeki gazın iç enerjisi de değişmez. Görüldüğü gibi, karşı tarafta, haznenin içerdiği gazın derhal ortaya çıkarmadığı bir iş harcanmış olmaktadır. Fakat bu iş, hemen belirtelim ki, yukarıda açıklamış olduğumuz işlemin tersi olan bir işlemle hacmi (V) olan gaz kütlelerinin iç enerjisi değişmeksizin piston aracılığı ile geri alınabilir. Bu olgu, ilginç bir enerji olayı ile karşı karşıya bulunulduğunu göstermektedir. Çünkü geri alınma ve yeniden ortaya çıkma olasılığı ile iş kaybolmaktadır Bunun nedeni, hazneye basılan gazla haznenin içerisinde bulunan gazın karşılıklı basınç etkileşimidir. Şimdi hazneye basılan gaz kütlelerinin iç enerjisi ile bu gaz kütlelerini hazneye basmak için harcanan işi gözönünde bulunduralım ve

$$H = U + A P V$$

eşitliğini oluşturalım. (H), görüldüğü gibi, hazneye basılan küçük gaz kütesinin iç enerjisi ile bu gaz kütesini hazneye basmak için harcanan işin yani karşılıklı etkileşim enerjisinin toplamıdır ve bir potansiyel enerjisinin niteliklerine sahiptir. İşte bir potansiyel enerjinin niteliklerine sahip olan ve iç enerji ile karşılıklı etkileşim enerjisinin toplamına Termodinamikte ANTALPI denir. ⁽¹⁾ Antalpi, basınç ve sıcaklık parametreleri ile belirlenen bir gazın durumuna bağlı olduğu için bir durum fonksiyonu olarak da nitelendirilebilir.

İç enerji ile karşılıklı etkileşim enerjisinin toplamı olan antalpi, toplam mekanik enerji ile aynı kullanım niteliklerine sahiptir. Ayrıca antalpi, basınç kuvvetlerinin işini gözönünde bulundurmaksızın, Termodinamiğin Birinci Kanununu ifade eden enerji denkleminin başka biçimde yazılmasını da sağlar. Bu durumda, Termodinamiğin Birinci Kanununu ifade eden

$$U_2 - U_1 = Q + A W_e$$

eşitliği yerine

$$H_2 - H_1 = Q + A W_e$$

eşitliğini yazabiliriz.

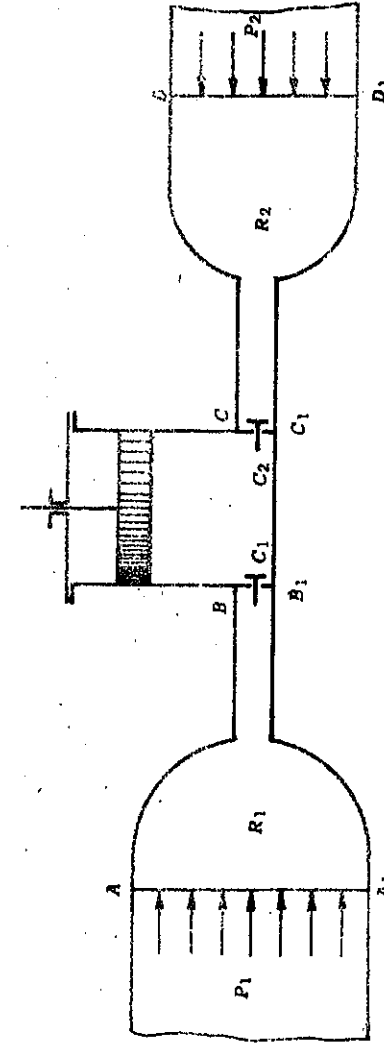
$$H_2 - H_1 = Q + A W_e$$

eşitliğine göre, antalpi değişimi, alınan ısı miktarı ile yakın çevrenin üniform basınç kuvvetleri dışında termodinamik sistem üzerine etkiyen diğer dış kuvvetlerin işinini toplamına eşit olmaktadır.

4.b) PİSTONLU KOMPRESÖRE UYGULAMA

(Şekil-2.9)'da, bir pistonlu kompresörün şeması görülmektedir. Burada söz konusu olan, (R₁) haznesinde alçak basınçta tutulan gazın yüksek basınçlı (R₂) haznesine basılmasıdır.

⁽¹⁾ Thermodynamique Générale - Prof.Dr. Charles Bory



Şekil-2.9

BİRİNCİ ZAMAN - Piston yukarıya kalkınca (R_1) haznesinde (P_1) basıncının etkisi ile hacmi (V_1) olan gaz kütlesi silindirin içerisine dolar ve (AA_1) ayırma yüzeyi giriş klapesi (C_1) üzerinde (BB_1)'e gelir. Makina, (R_1) haznesinin sınırladığı çevrenin sağladığı (P_1V_1) işini alır. Bu durumda sadece bir aracı olan gazın dış çevreden aldığı ya da dış çevreye verdiği iş sıfırdır. Kısaca söylemek gerekirse silindirin içerisine dolan gaz (AA_1) ayırma yüzeyi üzerinde aldığı işi pistonu terkeder.

İKİNCİ ZAMAN - (C_1) klapesi kapanır. Gaz, basıncı (P_2) oluncaya dek sıkıştırılır. Basıncı (P_2) oluncaya dek sıkıştırılan gazın sıcaklığı (T_2) olur ve makinadan (W_e) işini alır. Sıkıştırma adiyabatik olursa silindirin içerisine dolan gazın iç enerjisi (W_e) kadar ortar.

ÜÇÜNCÜ ZAMAN - (C_2) klapesi açılır ve bu klapeden geçen gaz (CC_1)'den (DD_1) ayırma yüzeyine kadar basılır. Makina, bu esnada (DD_1) ayırma yüzeyine kadar basılan gaza (P_2V_2) işini verir. Bu iş, (R_2) haznesinde (DD_1) ayırma yüzeyinin ötesinde kalan gaza geçer. (CC_1)'den (DD_1) ayırma yüzeyine kadar basılan ve kütlesi değişmeyen gazın buradaki işlevi de sadece işin iletimine aracılık yapmaktır.

Görülüyor ki, makina gazın iç enerjisini arttıran (W_e) sıkıştırma işi ile gazı (R_1) haznesinden (R_2) haznesine doldurmak için harcanan ve bu nedenle doldurma işi olarak dalandırılan ($P_1V_1 - P_2V_2$) işini sağlamaktadır. Bu durumda (R_1) haznesinden (R_2) haznesine basılan gazın iç enerjisinde meydana gelen değişme miktarı

$$U_2 - U_1 = A W_e + A(P_1V_1 - P_2V_2)$$

eşitliği ile ifade edilir. Bu eşitlikten yararlanarak

$$A W_e = (U_2 + A P_2V_2) - (U_1 + A P_1V_1)$$

eşitliğini yazabiliriz.

$$H_2 = U_2 + A P_2V_2$$

ve

$$H_1 = U_1 + A P_1V_1$$

olduğu için

$$A W_e = (U_2 + A P_2V_2) - (U_1 + A P_1V_1)$$

eşitliğinden

$$A W_e = H_2 - H_1$$

eşitliği elde edilir. Bu sonucu,

$$H_2 - H_1 = A W_e + Q$$

eşitliğini uygulayarak doğrudan doğruya elde etmek de mümkündür. Bir adiyabatik dönüşüm sürecinde bilindiği gibi, termodinamik sistem çevre ile ısı alış-verişi yapmaz ve

$$Q = 0$$

olur. Bu durumda

$$H_2 - H_1 = A W_e + Q$$

eşitliği yerine

$$H_2 - H_1 = A W_e$$

eşitliğini yazabiliriz.

$$H_2 = U_2 + A P_2V_2$$

ve

$$H_1 = U_1 + A P_1V_1$$

olduğu için

$$H_2 - H_1 = A W_e$$

eşitliğinden

$$A W_e = (U_2 + A P_2V_2) - (U_1 + A P_1V_1)$$

eşitliği elde edilir.

4.c) İZOBAR DÖNÜŞÜM SÜRECİNDE ISI ALIŞ-VERİŞİ

Çevri ile iş alış-verişinin yalnızca basınç kuvvetlerinin işine indirildiği bir izobar dönüşüm sürecini ele alalım. Sıcaklığın (T_0)'den (T)'ye geldiği izobar dönüşüm süreci için

$$W_e = 0$$

olduğundan

$$H - H_0 = A W_e + Q$$

eşitliği yerine

$$H - H_0 = Q$$

eşitliğini yazabiliriz. Bu eşitlik bize, sabit basınçtaki dönüşüm sürecinde bir termodinamik sistemin çevreden aldığı ya da çevreye verdiği ısı miktarının entalpi değişimine eşit olduğunu göstermektedir. Sıcaklığın (T_0)'den (T)'ye geldiği sınırlı bir izobar dönüşüm sürecinde çevreden alınan ya da çevreye verilen ısı miktarı, (C_p) sabit basınçtaki ısınma ısısı olduğuna göre,

$$Q = C_p (T - T_0)$$

eşitliğinden yararlanılarak hesaplanır. Bu eşitlikle

$$H - H_0 = Q$$

eşitliğinin birleşimini yapacak olursak

$$H = H_0 + C_p (T - T_0)$$

eşitliğini elde ederiz.

ÇÖZÜMLÜ PROBLEMLER

2.1. PROBLEM

Atmosferik basınçta (0°C) sıcaklıkta bulunan (1 ton) su (100°C) sıcaklığa dek ısıtılmıştır. Suyun özgül ısınma ısısı ($C = 1 \text{ kcal/kg}\cdot^\circ\text{K}$) olduğuna göre, (0°C) ve (100°C) sıcaklık

sınırları arasında (1 ton) suyun entropi değişimini bulunuz.

PROBLEMİN ÇÖZÜMÜ

Bu problemi

$$S_1 - S_0 = G \cdot C \cdot \ln \left(\frac{T_1}{T_0} \right)$$

eşitliğinden yararlanarak çözümlenebiliriz.

$$t_0 = 0^\circ\text{C}$$

$$T_0 = 273 + t_0 = 273^\circ\text{K}$$

$$T_0 = 273^\circ\text{K}$$

$$t_1 = 100^\circ\text{C}$$

$$T_1 = 273 + t_1 = 273 + 100 = 373^\circ\text{K}$$

$$T_1 = 373^\circ\text{K}$$

$$G = 1 \text{ Ton} = 10^3 \text{ kg.}$$

$$C = 1 \text{ kcal/kg}\cdot^\circ\text{K}$$

olduğu için

$$S_1 - S_0 = G \cdot C \cdot \ln \left(\frac{T_1}{T_0} \right) = 10^3 \cdot 1 \cdot \ln \left(\frac{373}{273} \right) = 312,106 \text{ kcal/}^\circ\text{K}$$

$$S_1 - S_2 = 312,106 \text{ kcal/}^\circ\text{K}$$

olarak bulunur.

2.2. PROBLEM

Atmosferik basınçta (-23°C) sıcaklıkta katı halden (27°C) sıcaklıkta sıvı hale getirilen (1 Ton) suyun toplam entropi değişimini bulunuz.

PROBLEMİN ÇÖZÜMÜ

(-23°C) sıcaklıkta katı halden (27°C) sıcaklıkta sıvı

hale getirilen (1 Ton) suyun toplam entropi değişimi entropi değişimlerinin toplamıdır. Toplam entropi değişimini ($\Sigma \Delta S$), (-23°C) ve (0°C) sıcaklık sınırları arasında buzun entropi değişimini (ΔS_1), (0°C) sıcaklıkta katı halden sıvı hale geçen suyun entropi değişimini (ΔS_0), (0°C) ve (27°C) sıcaklık sınırları arasında suyun entropi değişimini de (ΔS_2) ile gösterecek olursak

$$\Sigma \Delta S = \Delta S_1 + \Delta S_0 + \Delta S_2$$

eşitliğini yazabiliriz.

Buzun özgül ısınma ısısı ($C_1 = 0,5 \text{ kcal/kg.}^\circ\text{K}$), suyun özgül ısınma ısısı ($C_2 = 1 \text{ kcal/kg.}^\circ\text{K}$) ve (0°C) sıcaklıkta ağırlığı (1 kg) olan su kütesini katı halden sıvı hale getirmek için gerekli ısı miktarı ($q_0 = 80 \text{ kcal/kg}$)'dır. Buna göre, (-23°C) ve (0°C) sıcaklık sınırları arasında buzun entropi değişimini

$$\Delta S_1 = G \cdot C_1 \ln \left(\frac{T_0}{T_1} \right)$$

eşitliğinden, (0°C) sıcaklıkta katı halden sıvı hale geçen suyun entropi değişimini

$$\Delta S_0 = G \cdot \frac{q_0}{T_0}$$

eşitliğinden ve nihayet (0°C) ve (27°C) sıcaklık sınırları arasında suyun entropi değişimini de

$$\Delta S_2 = G \cdot C_2 \ln \left(\frac{T_2}{T_0} \right)$$

eşitliğinden yararlanarak bulabiliriz.

$$G = 1 \text{ Ton} = 10^3 \text{ kg}$$

$$t_0 = 0^\circ\text{C}$$

$$T_0 = 273 + t_0 = 273^\circ\text{K}$$

$$T_0 = 273^\circ\text{K}$$

$$t_1 = -23^\circ\text{C}$$

$$T_1 = 273 + t_1 = 273 - 23 = 250^\circ\text{K}$$

$$T_1 = 250^\circ\text{K}$$

$$t_2 = 27^\circ\text{C}$$

$$T_2 = 273 + t_2 = 273 + 27 = 300^\circ\text{K}$$

$$T_2 = 300^\circ\text{K}$$

olarak verildiği için

$$\Delta S_1 = G \cdot C_1 \ln \left(\frac{T}{T_1} \right) = 1000 \cdot 0,5 \cdot \ln \left(\frac{273}{250} \right) = 44 \text{ kcal/}^\circ\text{K}$$

$$\Delta S_2 = 44 \text{ kcal/}^\circ\text{K}$$

$$\Delta S_0 = G \cdot \frac{q_0}{T_0} = 1000 \cdot \frac{80}{273} = 293,04 \text{ kcal/}^\circ\text{K}$$

$$\Delta S_0 = 293,04 \text{ kcal/}^\circ\text{K}$$

$$\Delta S_2 = G \cdot C_2 \ln \left(\frac{T_2}{T_0} \right) = 1000 \cdot 0,5 \cdot \ln \left(\frac{300}{273} \right) = 94,31 \text{ kcal/}^\circ\text{K}$$

$$\Delta S_2 = 94,31 \text{ kcal/}^\circ\text{K}$$

olur. Bunları

$$\Sigma \Delta S = \Delta S_1 + \Delta S_0 + \Delta S_2$$

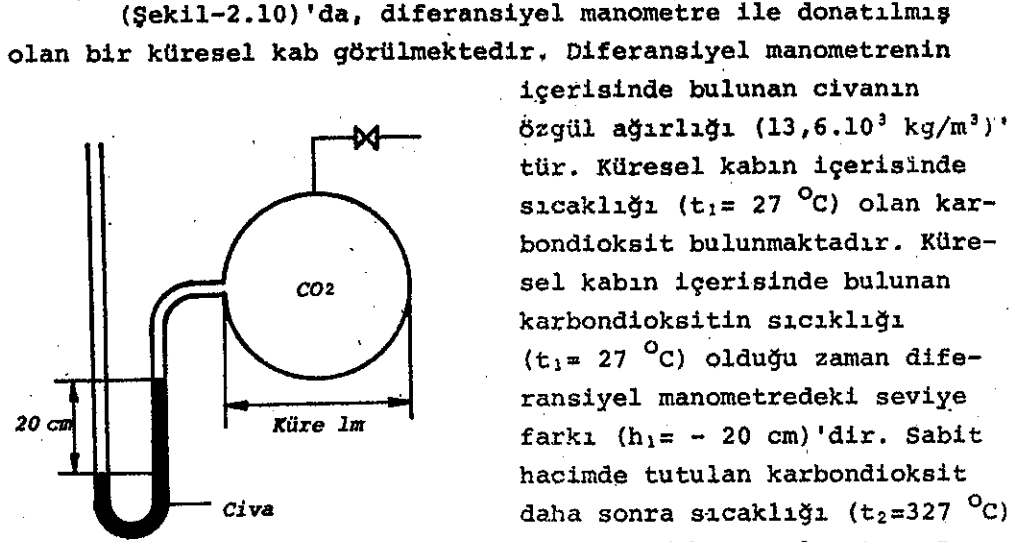
eşitliğinde yerlerine koyacak olursak toplam entropi değişimini

$$\Sigma \Delta S = \Delta S_1 + \Delta S_0 + \Delta S_2 = 44 + 293,04 + 94,31 = 431,35 \text{ kcal/}^\circ\text{K}$$

$$\Sigma \Delta S = 431,35 \text{ kcal/}^\circ\text{K}$$

olarak buluruz.

2.3. PROBLEM



Şekil-2.10

ki seviye farkını, izokor dönüşüm sürecinde çevreden alınan ısı miktarını ve karbondioksitin iç enerji değişimi ile entropi değişimini bulunuz.

PROBLEMİN ÇÖZÜMÜ

a) İzokor dönüşüm süreci sonunda diferansiyel manometredeki seviye farkı,

izokor dönüşüm süreci sonunda diferansiyel manometredeki seviye farkı,

$$\frac{P_1}{T_1} = \frac{P_2}{T_2}$$

eşitliğinden yararlanılarak bulunur. İzokor dönüşüm süreci başında basıncı bulmak için

$$P_1 = P_{atm} - \gamma_{Hg} \cdot h_1$$

eşitliğinden ve izokor dönüşüm süreci sonunda basıncı bulmak

için de

$$P_2 = P_{atm} + \gamma_{Hg} \cdot h_2$$

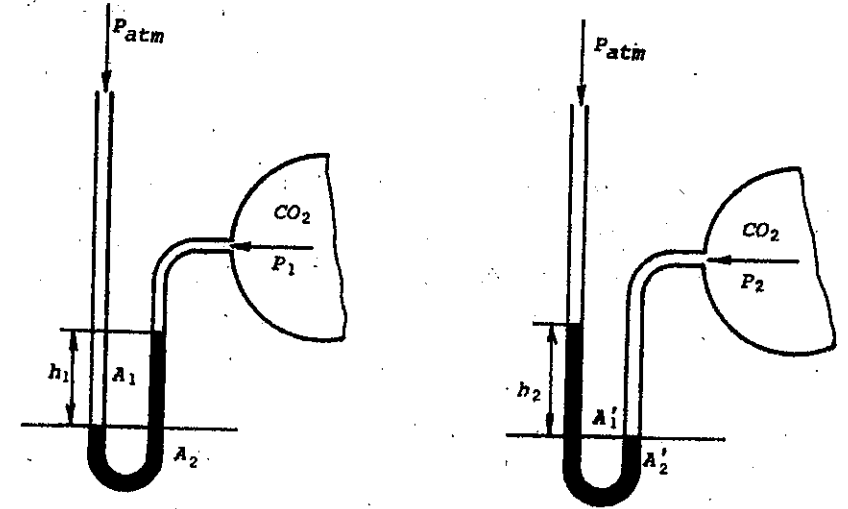
eşitliğinden yararlanmak gerekir. Bu eşitliklerle

$$\frac{P_1}{T_1} = \frac{P_2}{T_2}$$

eşitliğinin birleşimi yapılırsa

$$h_2 = \frac{1}{\gamma_{Hg}} \left[\frac{T_2}{T_1} (P_{atm} - \gamma_{Hg} \cdot h_1) - P_{atm} \right]$$

eşitliği elde edilir.



Şekil-2.11 a İzokor dönüşüm süreci başında diferansiyel manometrede cıvanın konumu

Şekil-2.11 b İzokor dönüşüm süreci sonunda diferansiyel manometrede cıvanın konumu

$$P_{atm} = 10^4 \text{ kg/m}^2$$

$$\gamma_{Hg} = 13,6 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3$$

$$h_1 = 20 \text{ cm} = 0,2 \text{ m}$$

$$t_1 = 27^\circ \text{C}$$

$$T_1 = 273 + t_1 = 273 + 27 = 300 \text{ } ^\circ\text{K}$$

$$T_1 = 300 \text{ } ^\circ\text{K}$$

$$t_2 = 327 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$T_2 = 273 + t_2 = 273 + 327 = 600 \text{ } ^\circ\text{K}$$

$$T_2 = 600 \text{ } ^\circ\text{C}$$

olarak verildiği için

$$h_2 = \frac{1}{\gamma_{\text{Hg}}} \left[\frac{T_2}{T_1} (P_{\text{atm}} - \gamma_{\text{Hg}} \cdot h_1) - P_{\text{atm}} \right] = \frac{1}{13,6 \cdot 10^3} \left[\frac{600}{300} (10^4 - 13,6 \cdot 10^3 \cdot 0,2) - 10^4 \right] = 0,335$$

$$h_2 = 0,335 \text{ m}$$

bulunur.

b) İzokor dönüşüm sürecinde çevreden alınan ısı miktarı

İzokor dönüşüm sürecinde, küresel kabın içerisinde bulunan karbondioksitin çevreden aldığı ısı miktarını bulmak için

$$Q = \frac{A V}{\gamma - 1} (P_2 - P_1)$$

eşitliğinden yararlanmak gerekir.

$$P_1 = P_{\text{atm}} - \gamma_{\text{Hg}} \cdot h_1 = 10^4 - 13,6 \cdot 10^3 \cdot 0,2 = 0,728 \cdot 10^4 \text{ kg/m}^2$$

$$P_1 = 0,728 \cdot 10^4 \text{ kg/m}^2$$

$$P_2 = P_{\text{atm}} + \gamma_{\text{Hg}} \cdot h_2 = 10^4 + 13,6 \cdot 10^3 \cdot 0,335 = 1,456 \cdot 10^4 \text{ kg/m}^2$$

$$P_2 = 1,456 \cdot 10^4 \text{ kg/m}^2$$

$$A = \frac{1}{427} \text{ kcal/kgm}$$

$$V = \frac{\pi d^3}{6} = \frac{3,14 \cdot 1^3}{6} = 0,523 \text{ m}^3$$

$$V = 0,523 \text{ m}^3$$

ve moleküler yapısı (3) atomlu olan karbondioksit için

$$\gamma = 1,3$$

olarak verilmiştir. Buna göre,

$$Q = \frac{A V}{\gamma - 1} (P_2 - P_1) = \frac{1}{427} \cdot \frac{0,523}{1,3 - 1} (1,456 \cdot 10^4 - 0,728 \cdot 10^4) = 29,722 \text{ kcal}$$

$$Q = 29,722 \text{ kcal}$$

bulunur.

c) İzokor dönüşüm sürecinde iç enerji değişimi

İzokor dönüşüm sürecinde iç enerji değişimi çevreden alınan ya da çevreye verilen ısı miktarına eşdeğerdir.

$$U_2 - U_1 = Q$$

$$Q = 29,722 \text{ kcal}$$

olduğu için

$$U_2 - U_1 = 29,722 \text{ kcal}$$

olur.

d) İzokor dönüşüm sürecinde entropi değişimi

İzokor dönüşüm sürecinde, küresel kabın içerisinde bulunan karbondioksitin entropi değişimi

$$S_2 - S_1 = \frac{G A R}{\gamma - 1} \cdot \ln \left(\frac{T_2}{T_1} \right)$$

eşitliğinden yararlanılarak bulunur. Genel Gaz Kanununa göre,

$$G = \frac{P_1 V_1}{R T_1}$$

olduğu için

$$S_2 - S_1 = \frac{GAR}{\gamma - 1} \cdot \ln \left(\frac{T_2}{T_1} \right)$$

eşitliği yerine

$$S_2 - S_1 = \frac{P_1 V_1}{T_1} \cdot \frac{A}{\gamma - 1} \cdot \ln \left(\frac{T_2}{T_1} \right)$$

eşitliğini yazabiliriz.

$$P_1 = 0,728 \cdot 10^4 \text{ kg/m}^2$$

$$V_1 = V = 0,523 \text{ m}^3$$

$$T_1 = 300 \text{ }^\circ\text{K}$$

$$T_2 = 600 \text{ }^\circ\text{K}$$

$$\gamma = 1,3$$

$$A = \frac{1}{427} \text{ kcal/kgm}$$

olarak verildiği için

$$S_2 - S_1 = \frac{P_1 V_1}{T_1} \cdot \frac{A}{\gamma - 1} \cdot \ln \left(\frac{T_2}{T_1} \right) = \frac{0,728 \cdot 10^4 \cdot 0,523}{300} \cdot \frac{1}{427} \cdot \frac{1}{1,3 \cdot 1} \cdot \ln \left(\frac{600}{300} \right) = 0,0068 \text{ kcal/}^\circ\text{K}$$

$$S_2 - S_1 = 0,0068 \text{ kcal/}^\circ\text{K}$$

buluruz.

2.4. PROBLEM

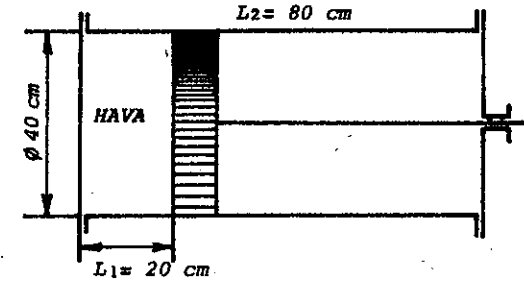
(Şekil-2.12)'de görülen pistonlu silindirin içerisine, piston (Ü.Ö.N.)'dan (20 cm) uzaklaşmaya dek (0 °C) sıcaklıkta ve atmosferik basınçta hava doldurulmuştur. Sabit basınçta tutulan hava daha sonra piston (A.Ö.N.)'ya gelinceye dek geniştirilmiştir. Buna göre, izobar genişleme süreci sonunda sıcaklığı, izobar genişleme sürecinde basınç kuvvetlerinin işini, dış çevreden alınan ısı miktarını, iç enerji değişimi ile entropi değişimini bulunuz.

PROBLEMİN ÇÖZÜMÜ

a) İzobar genişleme süreci sonunda sıcaklık
izobar genişleme süreci sonunda sıcaklık

$$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}$$

eşitliğinden yararlanılarak bulunur.



Şekil-2.12

$$V_1 = \frac{\pi d^2}{4} \cdot l_1$$

$$V_2 = \frac{\pi d^2}{4} \cdot l_2$$

olduğu için

$$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}$$

eşitliği yerine

$$\frac{l_1}{T_1} = \frac{l_2}{T_2}$$

eşitliği yazılabilir.

$$t_1 = 0^\circ$$

$$T_1 = 273 + t_1 = 273 \text{ }^\circ\text{K}$$

$$T_2 = 273 \text{ }^\circ\text{K}$$

$$l_1 = 20 \text{ cm}$$

$$l_2 = 80 \text{ cm}$$

olarak verildiği için

$$T_2 = \frac{l_2}{l_1} \cdot T_1 = \frac{80}{20} \cdot 273 = 1092 \text{ } ^\circ\text{K}$$

$$T_2 = 1092 \text{ } ^\circ\text{K}$$

olur. Diğer yandan

$$t_2 = T_2 - 273 = 819 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$t_2 = 819 \text{ } ^\circ\text{C}$$

bulunur.

b) İzobar dönüşüm sürecinde basınç kuvvetlerinin işi izobar dönüşüm sürecinde basınç kuvvetlerinin işini hesaplamak için

$$W = P (V_2 - V_1)$$

eşitliğinden yararlanmak gerekir:

$$P = P_{\text{atm}} = 10^4 \text{ kg/m}^2$$

$$V_1 = \frac{\pi d^2}{4} \cdot l_1 = \frac{3,14 \cdot 40^2}{4} \cdot 20 = 25120 \text{ cm}^3$$

$$V_1 = 25120 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3$$

$$V_2 = \frac{\pi d^2}{4} \cdot l_2 = \frac{3,14 \cdot 40^2}{4} \cdot 80 = 100480 \text{ cm}^3$$

$$V_2 = 100480 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3$$

olarak verilmiştir. Bunları yerlerine koyacak olursak

$$W = P(V_2 - V_1) = 10^4 (10080 - 25120) \cdot 10^{-6} = 753,6 \text{ kgm}$$

$$W = 753,6 \text{ kgm}$$

buluruz.

c) İzobar dönüşüm sürecinde çevreden alınan ısı miktarı

izobar dönüşüm sürecinde pistonlu silindirin içerisinde bulunan havanın çevreden aldığı ısı miktarı

$$Q = \frac{\gamma}{\gamma-1} A P (V_2 - V_1)$$

eşitliğinden yararlanılarak bulunur.

$$W = P(V_2 - V_1)$$

olduğu için

$$Q = \frac{\gamma}{\gamma-1} A P (V_2 - V_1)$$

eşitliği yerine

$$Q = \frac{\gamma}{\gamma-1} A W$$

eşitliği yazılabilir. Hava bilindiği gibi, moleküler yapısı iki atomlu olan oksijen ve azotun oluşturmuş oldukları bir karışımdır. Bu nedenle hava için

$$\gamma = 1,41$$

alınır.

$$A = \frac{1}{427} \text{ kcal/kgm}$$

olarak verilmiştir. Diğer yandan

$$W = 753,6 \text{ kgm}$$

olduğu için

$$Q = \frac{\gamma}{\gamma-1} A W = \frac{1,41}{1,41-1} \cdot \frac{1}{427} \cdot 753,6 = 6,069 \text{ kcal}$$

$$Q = 6,069 \text{ kcal}$$

bulunur.

b) İzobar dönüşüm sürecinde pistonlu silindirin içerisinde bulunan havanın iç enerji değişimi

İzobar dönüşüm sürecinde pistonlu silindirin içerisinde bulunan havanın iç enerji değişimini hesaplamak için

$$U_2 - U_1 = Q - A W$$

eşitliğinden yararlanmak gerekir.

$$Q = 6,069 \text{ kcal}$$

$$W = 753,6 \text{ kgm}$$

$$A = \frac{1}{427} \text{ kcal/kgm}$$

olduğu için

$$U_2 - U_1 = Q - A W = 6,069 - \frac{753,6}{427} = 4,304 \text{ kcal}$$

$$U_2 - U_1 = 4,304$$

bulunur,

e) İzobar dönüşüm sürecinde pistonlu silindirin içerisinde bulunan havanın entropi değişimini

İzobar dönüşüm sürecinde pistonlu silindirin içerisinde bulunan havanın entropi değişimi

$$S_2 - S_1 = \frac{\gamma}{\gamma-1} G A R \ln \left(\frac{T_2}{T_1} \right)$$

eşitliğinden yararlanarak hesaplayacağız. Genel Gaz Kanununa göre,

$$G = \frac{P V_1}{R T_1}$$

olduğu için

$$S_2 - S_1 = \frac{\gamma}{\gamma-1} G A R \ln \left(\frac{T_2}{T_1} \right)$$

eşitliği yerine

$$S_2 - S_1 = \frac{\gamma}{\gamma-1} \cdot A \cdot \frac{P V_1}{T_1} \ln \left(\frac{T_2}{T_1} \right)$$

eşitliğini yazabiliriz.

$$\gamma = 1,41$$

$$A = \frac{1}{427} \text{ kcal/kgm}$$

$$P = 10^4 \text{ kg/m}^2$$

$$V_1 = 25120 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3$$

$$T_1 = 273 \text{ } ^\circ\text{K}$$

$$T_2 = 1092 \text{ } ^\circ\text{K}$$

olarak verildiği için

$$S_2 - S_1 = \frac{\gamma}{\gamma-1} A \cdot \frac{P V_1}{T_1} \ln \left(\frac{T_2}{T_1} \right) = \frac{1,41}{1,41-1} \cdot \frac{1}{427} \cdot \frac{10^4 \cdot 25120 \cdot 10^{-6}}{273} \cdot \ln \left(\frac{1092}{273} \right)$$

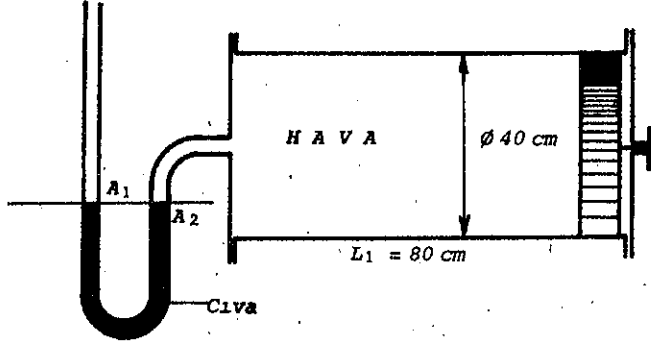
$$S_2 - S_1 = 0,01027 \text{ kcal/} ^\circ\text{K}$$

bulunur.

2.5. PROBLEM

(Şekil-2.13)'de görülen ve ana boyutları verilmiş olan pistonlu silindirin içerisine, piston A.Ö.N.'da iken (17 °C) sıcaklıkta ve atmosferik basınçta hava doldurulmuştur. Pistonlu silindir ayrıca içerisinde civa bulunan bir diferansiyel manometre ile donatılmıştır. Pistonlu silindirin içerisinde sabit

sıcaklıkta tutulan hava, daha sonra, pistonun Ü.Ö.N.'dan uzaklığı (20 cm) oluncaya dek sıkıştırılmıştır. Buna göre, izoterm sıkıştırma süreci sonunda diferansiyel manometredeki seviye farkını, izoterm sıkıştırma sürecinde basınç kuvvetlerinin işini, çevreye verilen ısı miktarı ve entropi değişimini bulunuz.



Şekil-2.13

PROBLEMİN ÇÖZÜMÜ

a) İzoterm sıkıştırma süreci sonunda diferansiyel manometredeki seviye farkı

İzoterm sıkıştırma sürecinde basınç ve hacim arasındaki ilişki bilindiği gibi, Boyle ve Mariotte Kanununa uyar ve

$$P_1 V_1 = P_2 V_2$$

eşitliği ile gösterilir.

$$V_1 = \frac{\pi d^2}{4} \cdot l_1$$

$$V_2 = \frac{\pi d^2}{4} \cdot l_2$$

$$P_1 = P_{atm}$$

$$P_2 = P_{atm} + \gamma_{Hg} \cdot h$$

ve

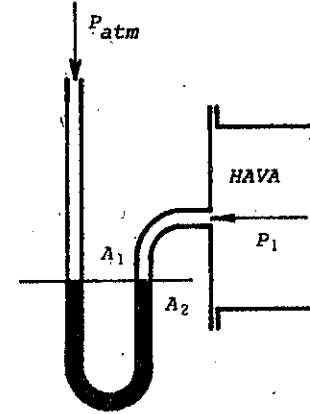
olduğu için

$$P_1 V_1 = P_2 V_2$$

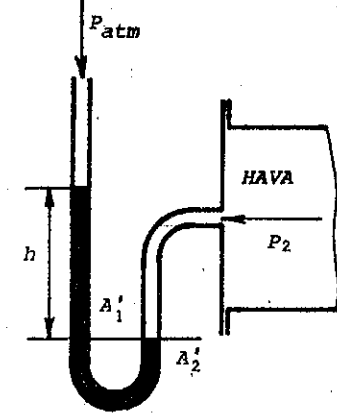
eşitliğinden yararlanarak

$$h = \frac{l_1}{\gamma_{Hg}} (P_{atm} \frac{l_1}{l_2} - P_{atm})$$

eşitliğini yazabiliriz.



Şekil-2.14a İzoterm sıkıştırma süreci başında diferansiyel manometrede cıvanın konumu



Şekil-2.14b İzoterm sıkıştırma süreci sonunda diferansiyel manometrede cıvanın konumu

$$\gamma_{Hg} = 13,6 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3$$

$$l_1 = 80 \text{ cm}$$

$$l_2 = 20 \text{ cm}$$

$$P_{atm} = 10^4 \text{ kg/m}^2$$

olarak verilmiştir. Bunun için

$$h = \frac{1}{\gamma_{\text{Hg}}} (P_{\text{atm}} \cdot \frac{l_1}{l_2} - P_{\text{atm}}) = \frac{1}{13,6 \cdot 10^3} (10^4 \cdot \frac{80}{20} - 10^4) = 2,2058 \text{ m}$$

$$h = 2,2058 \text{ m}$$

bulunur.

b) İzoterm sıkıştırma sürecinde basınç kuvvetlerinin işi
izoterm sıkıştırma sürecinde basınç kuvvetlerinin işi

$$W = P_1 V_1 \ln \left(\frac{V_2}{V_1} \right)$$

eşitliğinden yararlanılarak hesaplanır.

$$P_1 = P_{\text{atm}} = 10^4 \text{ kg/m}^2$$

$$V_1 = \frac{\pi d^2}{4} \cdot l_1 = \frac{3,14 \cdot 40^2}{4} \cdot 80 = 100480 \text{ cm}^3$$

$$V_1 = 100480 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3$$

$$V_2 = \frac{\pi d^2}{4} \cdot l_2 = \frac{3,14 \cdot 40^2}{4} \cdot 20 = 25120 \text{ cm}^3$$

$$V_2 = 25120 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3$$

olarak verildiği için

$$W = P_1 V_1 \ln \left(\frac{V_2}{V_1} \right) = 10^4 \cdot 100480 \cdot 10^{-6} \cdot \ln \left(\frac{25120 \cdot 10^{-6}}{100480 \cdot 10^{-6}} \right) = -1392,652 \text{ kgm}$$

$$W = -1392,652 \text{ kgm}$$

bulunur.

c) İzoterm sıkıştırma sürecinde pistonlu silindir içerisinde bulunan havanın çevreye ilettiği ısı miktarı

İzoterm sıkıştırma sürecinde pistonlu silindir içerisinde bulunan havanın çevreye ilettiği ısı miktarı, basınç kuvvetlerinin işine eşdeğerdir.

$$A = \frac{1}{427} \text{ kcal/kgm}$$

$$W = -1392,652 \text{ kgm}$$

olduğu için

$$Q = A W \frac{1}{427} \cdot (-1392,652) = -3,263 \text{ kcal}$$

$$Q = -3,263 \text{ kcal}$$

olarak bulunur.

d) İzoterm sıkıştırma sürecinde pistonlu silindir içerisinde bulunan havanın entropi değişimi

İzoterm sıkıştırma sürecinde pistonlu silindir içerisinde bulunan havanın entropi değişimi

$$S_2 - S_1 = \frac{Q}{T}$$

eşitliğinden yararlanılarak bulunur

$$Q = -3,263 \text{ kcal}$$

$$t = 17 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$T = 273 + t = 273 + 17 = 290 \text{ }^\circ\text{K}$$

$$t = 290 \text{ }^\circ\text{K}$$

olarak verilmiştir. Bu durumda entropi değişimi

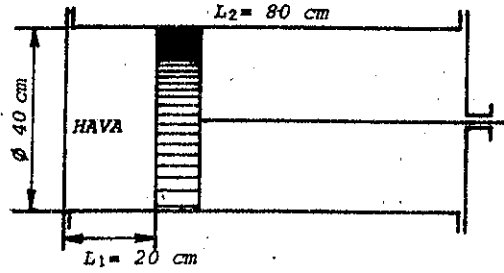
$$S_2 - S_1 = \frac{Q}{T} = - \frac{3,263 \text{ kcal}}{290 \text{ }^\circ\text{C}} = -0,01125 \text{ kcal/}^\circ\text{K}$$

$$S_2 - S_1 = -0,001125 \text{ kcal/}^\circ\text{K}$$

olur.

2.6. PROBLEM

(Şekil-2.15)'de görülen ve ana boyutları verilmiş olan pistonlu silindirin içerisine, piston Ü.Ö.N.'dan (20 cm) uzaklaşınca dek sıcaklığı ($t_1 = 27^\circ\text{C}$) ve basıncı da ($P_1 = 4 \cdot 10^4 \text{ kg/m}^2$)



Şekil-2.15

olan hava doldurulmuştur. Çevreden tamamen yalıtılan ve çevre ile ısı alış-verişi yapmayan hava daha sonra piston A.Ö.N.'ya gelinceye dek genişletilmiştir. Bu durumda adiyabatik genişleme süreci sonunda basınç ve sıcaklığı, adiyabatik genişleme sürecinde basınç kuvvetlerinin işini ve iç enerji değişimini hesaplayınız.

PROBLEMİN ÇÖZÜMÜ

A) Adiyabatik genişleme süreci sonunda pistonlu silindir içerisinde bulunan havanın basınç ve sıcaklığı

Adiyabatik genişleme süreci sonunda pistonlu silindir içerisinde bulunan havanın basınç ve sıcaklığı

$$P_1 V_1^\gamma = P_2 V_2^\gamma$$

ve

$$\frac{T_1}{T_2} = \left(\frac{V_1}{V_2}\right)^{\gamma-1}$$

eşitliklerinden yararlanılarak hesaplanır.

$$\gamma = 1,41$$

$$P_1 = 4 \cdot 10^4 \text{ kg/m}^2$$

$$V_1 = \frac{\pi d^2}{4} \cdot l_1 = \frac{3,14 \cdot 40^2}{4} \cdot 20 = 25120 \text{ cm}^3$$

$$V_1 = 25120 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3$$

$$V_2 = \frac{\pi d^2}{4} \cdot l_2 = \frac{3,14 \cdot 20^2}{4} \cdot 80 = 100480 \text{ cm}^3$$

$$V_2 = 100480 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3$$

$$t_1 = 27^\circ\text{C}$$

$$T_1 = 273 + t = 273 + 27 = 300^\circ\text{K}$$

$$T_1 = 300^\circ\text{K}$$

olarak verildiği için

$$P_2 = P_1 \left(\frac{V_1}{V_2}\right)^\gamma = 4 \cdot 10^4 \left(\frac{25120 \cdot 10^{-6}}{100480 \cdot 10^{-6}}\right)^{1,41} = 0,566 \cdot 10^4 \text{ kg/m}^2$$

$$P_2 = 0,566 \cdot 10^4 \text{ kg/m}^2$$

ve

$$T_2 = T_1 \left(\frac{V_2}{V_1}\right)^{1-\gamma} = 300 \left(\frac{100480 \cdot 10^{-6}}{25120 \cdot 10^{-6}}\right)^{1-1,41} = 169,932^\circ\text{K}$$

$$T_2 = 169,932^\circ\text{K}$$

$$t_2 = T_2 - 273 = 169,932 - 273 = -103,067^\circ\text{C}$$

$$t_2 = -103,067^\circ\text{C}$$

bulunur.

b) Adiyabatik genişleme sürecinde basınç kuvvetlerinin işi

Adiyabatik genişleme sürecinde basınç kuvvetlerinin işini hesaplamak için

$$W = \frac{P_1 V_1}{1-\gamma} \left[\left(\frac{V_2}{V_1}\right)^{1-\gamma} - 1 \right]$$

eşitliğinden yararlanacağız.

$$P_1 = 4.10^4 \text{ kg/m}^2$$

$$V_1 = 25120.10^{-6} \text{ m}^3$$

$$V_2 = 100480.10^{-6} \text{ m}^3$$

$$\gamma = 1,41$$

olduğu için

$$W = \frac{P_1 V_1}{1-\gamma} \left[\left(\frac{V_2}{V_1} \right)^{1-\gamma} - 1 \right] = \frac{4.10^4 \cdot 25120.10^{-6}}{1-1,41} \left[\left(\frac{100480.10^{-6}}{25120.10^{-6}} \right)^{1-1,41} - 1 \right]$$

$$W = 1062,535 \text{ kgm}$$

bulunur.

c) Adiyabatik genişleme sürecinde pistonlu silindirin içerisinde bulunan havanın iç enerji değişimi

Adiyabatik genişleme sürecinde pistonlu silindirin içerisinde bulunan havanın iç enerji değişimi

$$U_2 - U_1 = -A W$$

şitliğinden yararlanılarak hesaplanır.

$$W = 1062,535 \text{ kgm}$$

$$A = \frac{1}{427} \text{ kcal/kgm}$$

olduğu için

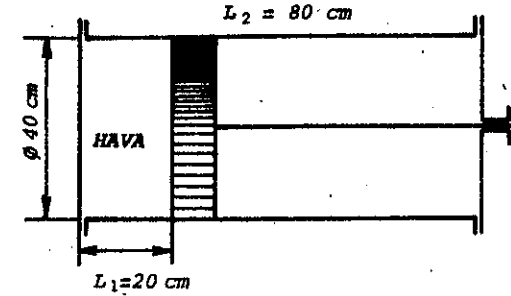
$$U_2 - U_1 = -A W = - \frac{1}{427} \cdot 1062,535 = -2,488 \text{ kcal}$$

$$U_2 - U_1 = -2,488 \text{ kcal}$$

olur.

2.7. PROBLEM

(Şekil-2.16)'da görülen pistonlu silindirin içerisine piston Ü.Ö.N.'dan (20 cm) uzaklaşmaya dek basıncı (4.10^4 kg/m^2) ve sıcaklığı da (27°C) olan hava doldurulmuştur. Çevreden yalıtılmayan hava daha sonra piston A.Ü.N.'ya gelinceye kadar



Şekil-2.16

politropik olarak genişletilmiştir. ($n = 1,1$) olduğuna göre, politropik genişleme süreci sonunda pistonlu silindir içerisinde bulunan havanın basınç ve sıcaklığını, politropik genişleme sürecinde basınç kuvvetlerinin işini, çevreden alınan ısı miktarını, iç enerji değişimi ile entropi değişimini bulunuz.

PROBLEMİN ÇÖZÜMÜ

a) Politropik genişleme süreci sonunda pistonlu silindirin içerisinde bulunan havanın basınç ve sıcaklığı

Politropik genişleme süreci sonunda pistonlu silindirin içerisinde bulunan havanın basınç ve sıcaklığı

$$P_1 V_1^n = P_2 V_2^n$$

ve

$$\frac{T_1}{T_2} = \left(\frac{V_1}{V_2} \right)^{1-n}$$

eşitliklerinden yararlanılarak hesaplanır.

$$P_1 = 4.10^4 \text{ kg/m}^2$$

$$t_1 = 27 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$T_1 = 273 + t_1 = 273 + 27 = 300 \text{ } ^\circ\text{K}$$

$$T_1 = 300 \text{ } ^\circ\text{K}$$

$$V_1 = \frac{\pi d^2}{4} \cdot l_1 = \frac{3,14 \cdot 10^2}{4} \cdot 20 = 25120 \text{ cm}^3$$

$$V_1 = 25120 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3$$

$$V_2 = \frac{\pi d^2}{4} \cdot l_2 = \frac{3,14 \cdot 40^2}{4} \cdot 80 = 100480 \text{ cm}^3$$

$$V_2 = 100480 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3$$

$$n = 1,1$$

olarak verilmiştir. Buna göre,

$$P_2 = P_1 \left(\frac{V_1}{V_2} \right)^n = 4 \cdot 10^4 \left(\frac{25120 \cdot 10^{-6}}{100480 \cdot 10^{-6}} \right)^{1,1} = 0,87 \cdot 10^4 \text{ kg/m}^2$$

$$P_2 = 0,87 \cdot 10^4 \text{ kg/m}^2$$

ve

$$T_2 = T_1 \left(\frac{V_1}{V_2} \right)^{1-n} = 300 \left(\frac{25120 \cdot 10^{-6}}{100480 \cdot 10^{-6}} \right)^{1-1,1} = 261,165 \text{ } ^\circ\text{K}$$

$$T_2 = 261,165 \text{ } ^\circ\text{K}$$

$$t_2 = T_2 - 273 = 261,165 - 273 = -11,835 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$t_2 = -11,835 \text{ } ^\circ\text{C}$$

bulunur.

b) Politropik genişleme sürecinde basınç kuvvetlerinin işi

Politropik genişleme sürecinde basınç kuvvetlerinin işini hesaplamak için

$$W = \frac{P_1 V_1}{1-n} \left[\left(\frac{V_2}{V_1} \right)^{1-n} - 1 \right]$$

eşitliğinden yararlanmak gerekir.

$$P_1 = 4 \cdot 10^4 \text{ kg/m}^2$$

$$V_1 = 25120 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3$$

$$V_2 = 100480 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3$$

$$n = 1,1$$

olduğu için

$$W = \frac{P_1 V_1}{1-n} \left[\left(\frac{V_2}{V_1} \right)^{1-n} - 1 \right] = \frac{4 \cdot 10^4 \cdot 25120 \cdot 10^{-6}}{1-1,1} \left[\left(\frac{100480 \cdot 10^{-6}}{25120 \cdot 10^{-6}} \right)^{1-1,1} - 1 \right]$$

$$W = 1300,709 \text{ kgm}$$

bulunur.

c) Politropik genişleme sürecinde pistonlu silindirin içerisinde bulunan havanın çevreden aldığı ısı miktarı

Politropik genişleme sürecinde pistonlu silindirin içerisinde bulunan havanın çevreden aldığı ısı miktarı

$$Q = \frac{\gamma - n}{\gamma - 1} \cdot A \cdot W$$

eşitliğinden yararlanılarak hesaplanır.

$$A = \frac{1}{427} \text{ kcal/kgm}$$

$$\gamma = 1,41$$

$$n = 1,1$$

$$W = 1300,709 \text{ kgm}$$

olarak verilmiştir. Bu durumda

$$Q = \frac{\gamma - n}{\gamma - 1} \cdot A \cdot W = \frac{1,41 - 1,1}{1,41 - 1} \cdot \frac{1}{427} \cdot 1300,709 = 2,303 \text{ kcal}$$

$$Q = 2,303 \text{ kcal}$$

bulunur.

d) Politropik genişleme sürecinde pistonlu silindirin içerisinde bulunan havanın iç enerji değişimi

Politropik genişleme sürecinde pistonlu silindirin içerisinde bulunan havanın iç enerji değişimini hesaplamak için

$$U_2 - U_1 = \frac{1-n}{\gamma-1} \cdot A \cdot W$$

eşitliğinden yararlanmak gerekir.

$$A = \frac{1}{427} \text{ kcal/kgm.}$$

$$\gamma = 1,41$$

$$n = 1,1$$

$$W = 1300,709 \text{ kgm.}$$

olduğu için iç enerji değişimi de

$$U_2 - U_1 = \frac{1-n}{\gamma-1} A W = \frac{1-1,1}{1,41-1} \cdot \frac{1}{427} \cdot 1300,709 = 0,742 \text{ kcal}$$

$$U_2 - U_1 = 0,742 \text{ kcal}$$

olur.

e) Politropik genişleme sürecinde pistonlu silindirin içerisinde bulunan havanın entropi değişimi

Politropik genişleme sürecinde pistonlu silindirin içerisinde bulunan havanın entropi değişimi

$$S_2 - S_1 = \frac{G \cdot A \cdot R}{\gamma - 1} \cdot \frac{\gamma - n}{1 - n} \cdot \ln \left(\frac{T_2}{T_1} \right)$$

eşitliğinden yararlanılarak hesaplanır. Genel Gaz Kanununa göre,

$$G = \frac{P_1 V_1}{R T_1}$$

olduğu için

$$S_2 - S_1 = \frac{G \cdot A \cdot R}{\gamma - 1} \cdot \frac{\gamma - n}{1 - n} \cdot \ln \left(\frac{T_2}{T_1} \right)$$

eşitliği yerine

$$S_2 - S_1 = \frac{A}{\gamma - 1} \cdot \frac{\gamma - n}{1 - n} \cdot \frac{P_1 V_1}{T_1} \cdot \ln \left(\frac{T_2}{T_1} \right)$$

eşitliğini yazabiliriz. Diğer yandan

$$A = \frac{1}{427} \text{ kcal/kgm}$$

$$\gamma = 1,41$$

$$n = 1,1$$

$$P_1 = 4 \cdot 10^4 \text{ kg/m}^2$$

$$V_1 = 25120 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3$$

$$T_1 = 300 \text{ }^\circ\text{K}$$

$$T_2 = 261,165 \text{ }^\circ\text{K}$$

olduğu için

$$S_2 - S_1 = \frac{A}{\gamma - 1} \cdot \frac{\gamma - n}{1 - n} \cdot \frac{P_1 V_1}{T_1} \cdot \ln \left(\frac{T_2}{T_1} \right) = \frac{1}{427} \cdot \frac{1}{1,41 - 1} \cdot \frac{1,41 - 1,1}{1 - 1,1} \cdot \frac{4 \cdot 10^4 \cdot 25120 \cdot 10^{-6}}{300} \cdot \ln \left(\frac{261,165}{300} \right)$$

$$S_2 - S_1 = 0,822 \text{ kcal/}^\circ\text{K}$$

bulunur.

III. B Ü L Ü M

TERMODİNAMİĞİN İKİNCİ KANUNU, TERMİK MAKİNALARIN
ÇEVİMLERİ VE SOĞUTMA MAKİNALARI

- 1) Termodinamiğin İkinci Kanunu - Carnot İlkesi
 - 1.a) Tersinirlik kavramı ve tersinir dönüşümler
 - 1.b) Tersinirliği gerçekleştirmenin fizik koşulları
 - 1.b.1) İzoterm sıkıştırma
 - 1.b.2) Adiyabatik sıkıştırma
 - 1.c) Isının işe dönüştürülmesi ve termik makineler
- 2) Termik Makinaların Çevimleri
 - 2.a) Carnot Çevrimi
 - 2.b) Beau de Rochas Çevrimi
 - 2.c) Joule Çevrimi
- 3) Soğutma makineleri

ÇÜZÜMLÜ PROBLEMLER

TERMODİNAMİĞİN İKİNCİ KANUNU, TERMİK MAKİNALARIN ÇEVİRİMLERİ VE SOĞUTMA MAKİNALARI

1) TERMODİNAMİĞİN İKİNCİ KANUNU - CARNOT İLKESİ

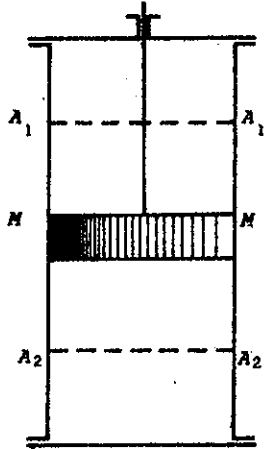
1.a) TERSİNİRLİK KAVRAMI VE TERSİNİR DÖNÜŞÜMLER

Tersinirlik kavramı ve tersinir dönüşümler, Termodinamiğin İkinci Kanununun tanımına giden yol üzerinde önemli bir aşamadır.

Carnot'nun yaşadığı çağda, termik makina olarak yalnızca buhar makinası biliniyordu. Bu dönemde, Termodinamiğin öncüleri buhar makinasını ters yönde devindirmenin yollarını araştırıyorlar, koşullarını tartışıyorlardı.

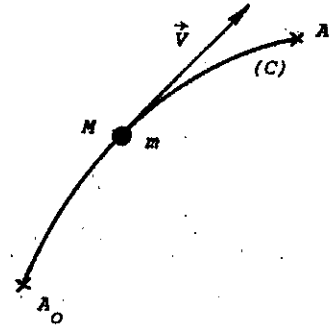
Bir buhar makinasının kondansörden aldığı ısıyı buhar kazanına vererek ters yönde devinebilmesinin yollarının ve koşullarının araştırıldığı ve tartışıldığı yıllarda tersinirlik kavramı Carnot tarafından bilime sokulmuştur. Tersinir dönüşümler birbirine zıt iki yönde oluşturulabilen dönüşümlerdir. Tersinir dönüşümlerin en belirgin niteliği, termodinamik sistemin durumunun, dönüşüm sürecinde her an sahip olabileceği denge durumlarından birini karşılaması, birine özdeş olmasıdır.

Bu olguyu, (şekil-3.1)'de görüldüğü gibi, bir pistonlu silindirin içerisinde bulunan bir yetkin gazın sıkıştırılması ve genişletilmesi ile ilgili basit bir örnekle açıklayacağız. Sıkıştırma sürecinde, pistonu ($A_1 A_1$)'den ($A_2 A_2$)'ye getirelim. Gaz, sıkıştırma sürecinde her an, bir denge durumunu tanımlayan ve karşılayan belirli bir basınç ve belirli bir sıcaklığa sahip olur. Eğer piston, silindir içerisinde, bulunduğu



Şekil-3.1

yerde kalır ve dönüşüm süreci kesintiye uğrarsa gaz bu basınç ve sıcaklığı sonsuza dek muhafaza eder. Dönüşüm sürecinde gaz dengede değildir ve duruma her an sahip olabileceği denge durumlarından birine özdeş olur. Bunun için dönüşüm sürecinde anlık durum, anlık duruma özdeş denge durumunu belirleyen parametrelerin aynı değerleri ile tanımlanır. Anlık durumun denge durumu ile özdeşleşmesi olgusunu daha iyi açıklamak için katıların mekaniğinden ilginç bir örnek vereceğiz. (Şekil-3.2) de görüldüğü gibi, ($A_0 A_1$) eğrisi üzerinde hareket eden bir



Şekil-3.2

maddesel nokta (m) alalım. (t) anında bu maddesel nokta (M)'de bulunsun. Maddesel noktanın konumu, bu durumda, (C) eğrisi üzerinde koordinatları (x, y, z) olan sabit (M) noktasına özdeşleştir ve (x, y, z) koordinatları maddesel noktanın (t) anındaki konumunu belirler. Pistonlu silindir içerisindeki gaz için de durum bundan farklı değildir. Piston (MM)'de bulunduğu zaman gazın hacmi (V), basıncı (P) ve sıcaklığı da (T)'dir. Bunun için (P, V, T) parametreleri dönüşüm sürecinde gazın denge durumlarından birini karakterize eder. Aynı parametrelerle belirlenen gazın bulunduğu durumla denge durumu arasındaki uyum ve özdeşlik anlık bir uyum ve özdeşliktir. Bu nedenle denge durumunun sabit (P, V, T) parametreleri ile belirlenmesine karşın anlık durumun, zamanın fonksiyonu olarak (P), (V) ve (T)'nin (t) anındaki değerleri ile belirlenmesi gerekir.

Maddesel nokta (m), (A_1)'e ulaştıktan sonra ters yönde, eğri üzerinde aynı konumdaki sabit noktalardan geçerek (A_0)'a geri gelebilir. Pistonlu silindir içindeki gaz için aynı şeyleri söyleyebiliriz. Piston hem yukarı doğru ve hem de aşağı doğru hareket ederken (MM)'den geçtiği zaman basınç ve sıcaklık hep aynı değerleri alır. Buna göre, aynı ara

durumlardan geçerek her iki yönde de oluşturulabilen ve gaz kütlesi içinde durum parametrelerinin üniformluğunu sağlayan biçimde gerçekleştirilen her dönüşüm Carnot'nun düşüdüğü anlamda tersinir olur. Şimdi yeniden pistonlu silindirin içerisinde yetkin gazın genişletilmesine ve sıkıştırılmasına dönelim.

Başlangıçta (MM)'de bulunan piston yukarıya ve aşağıya doğru hareket ederken (MM)'den geçtiği zaman basıncın hep aynı değere sahip olduğu deneysel olarak gösterilmiştir. Bu durumda, (MM)'den itibaren pistonun konumunda her iki yönde meydana gelen sonsuz küçük bir yer değiştirme miktarı için gazın dış çevreden aldığı ya da dış çevreye verdiği iş mutlak değer itibarıyla aynı olur. Bu arada hemen belirtelim ki, sonsuz küçük yer değiştirmeler için geçerli olan bu sonuç her iki yönde sınırlı bütün yer değiştirmeler için de geçerlidir. Piston silindir içerisinde yukarıdan aşağıya ve aşağıdan yukarıya doğru yer değiştirirken çevreden alınan ve çevreye verilen ısı miktarı da daima aynı değere sahip olur.

Bu tanım ve açıklamalar pratikte tersinir dönüşümün oluşturulmasını ve Termodinamikte bundan yararlanma yollarının gösterilmesini gündeme getirmiştir. Tersinir dönüşümün oluşumunda esas nokta, bir dönüşüm sürecinde her an termodinamik sistemin bulunduğu durumun bir denge durumunu karşılaması, bir denge durumuna özdeş olmasıdır. Bunun için ters yönde oluşan dönüşümde iş ve ısı alış-verişlerinin mutlak değer olarak eşit ve işaret olarak ters olması gerekir. Bu özellik, Termodinamiğin ikinci Kanununun oluşturulmasında önemli ve etkin bir rol oynar. Bir dönüşüm sürecinde, sistem her an dengedeymiş gibi, durum büyüklükleri ve parametreler arasındaki ilişkilerin açıklanabilmesi gerekir. Ayrıca, zaman değişkeni dikkate alınmaksızın, durum denklemi, özellikle, anlık değerlere de uygulanabilmelidir.

1.b) TERSİNİRLİĞİN GERÇEKLEŞTİRİLMESİNİN FİZİK KOŞULLARI

1.b.1) İZOTERM SIKIŞTIRMA

Sıkıştırmanın izoterm olması için sıcaklığın sıkıştırma sürecinde sabit kalması gerekir. Sıkıştırma sürecinde sıcaklığın sabit kalması, ortaya çıkan ısının anında ortaya çıktığı oran ve büyüklükte dış çevre tarafından soğurulmasına bağlıdır. Isının yavaş yavaş ortaya çıkması için sıkıştırmanın da yavaş yavaş yapılması zorunluluğu vardır. Ancak buna rağmen tersinirlik tam olarak gerçekleştirilemez. İzoterm sıkıştırma da termodinamik sistemin sıcaklığı ile yakın çevrenin sıcaklığının aynı değere sahip bulunması bir zorunluluktur. Ancak uygulamada, izoterm sıkıştırma sürecinde ortaya çıkan ısının anında yakın çevre tarafından soğurulabilmesi için termodinamik sistemle yakın çevre arasında bir sıcaklık farkının da oluşması gerekir.

1.b.2) ADİYABATİK SIKIŞTIRMA

Adiyabatik sıkıştırma sürecinde, termodinamik sistemin yakın çevre ile ısı alış-verişi yapmaması gerekir. Gazı oluşturan elementer partiküller, bilindiği gibi, birbirinden bağımsızdırlar. Gazın bulunduğu silindir çevreden iyi yalıtılmayacak olursa silindirin çeperlerine yakın olan elementer partiküller çevreye ısı iletirler. Bu durumda gaz kütlesinin merkezinde bulunan elementer partiküllerden silindirin çeperlerine yakın olan elementer partiküllere doğru bir ısı akımı başlar. Bunun için silindiri yakın çevreden iyi yalıtılarak gazı oluşturan elementer partiküller arasında ısı akımının oluşumunu engellemek gerekir. Ancak bu önlem yeterli değildir. Ayrıca gaz kütlesinin merkezinden silindirin çeperlerine doğru bir ısı akımının oluşumunu önlemek için belirli bir sıkıştırma hızına ulaşmak gerekir. Zaten gaz kütlesinde sıcaklığın üniform olmasını sağlamak da doğrudan doğruya belirli bir sıkıştırma hızına ulaşılmasına bağlıdır. Sıkıştırma hızı çok büyük bir değer aldığı zaman pistonu yakın yerlerde basıncın asıl gaz

kütlesinin basıncından daha büyük olduğu görülür. Bu durumda basıncın üniformluğu ve bunun sonucu tersinirlik gerçekleştirilemez. Sıkıştırılan gaz kütlesinde basınç için üniformluğu gerçekleştirmenin koşulları ile sıcaklık için üniformluğu gerçekleştirmenin koşulları arasında da benzerlik değil aykırılık vardır. Deneysel olarak gaz kütlesinde basıncın üniformluğu bozulmadan çok büyük sıkıştırma hızları elde etmek mümkündür. Gaz kütlesinde basıncın üniformluğu, sıkıştırma hızı ses hızının önemli bir kesrine ulaştığı zaman ancak bozulur. Zaten pistonlu makinalarda bu sıkıştırma hızlarını elde etmek de olanaksızdır. Pratikte ses hızına yakın sıkıştırma hızları ancak türbin, aksiyal kompresör gibi rotatif makinalarda elde edilebilir.

Gaz bazen silindir içerisinde sıkıştırılmaz da aspirasyonla bir menfezden geçirilir. Bu durumda karşılaşılan problem farklı olur. Gaz, aspirasyonla bir menfezden geçirildiği zaman basınç düşmesi meydana gelir ve akım hızı artınca basınç düşmesi de artar. Basıncın üniformluğunu sağlamak için burada da aspirasyonun yavaş yapılması gerekir.

Soğutma makinasında, kompresör, benzin ve Diesel motorları gibi termik makinalarda ısı transferleri, akışkan akımları, adiyabatik sıkıştırma ve genleşmeler bir arada bulunurlar. Bu nedenle termik makinalarda en iyi tersinirlik koşulları bunlar arasında sağlanabilen denge ve uyumla elde edilebilir. Termik makinalarda olabildiği ve yapılabildiği kadar tersinir dönüşüme yakın dönüşümlerin gerçekleştirilmesinde hem pratik bir yarar ve hem de bir zorunluluk vardır. Çünkü tersinir olmayan dönüşümler termik makinaların verimini azaltır.

Termodinamikte tersinirlik kavramından ancak kuramsal düzeyde yararlanılabilir. Bu nedenle termodinamikte uygulama alanında gerçekleştirilmesi olanaksız ve ancak kuramsal hesaplara konu olabilen nitelikte tersinir dönüşümlerle karşılaşırlır.

1.c) ISININ İŞE DÖNÜŞTÜRÜLMESİ VE TERMİK MAKİNALAR

İşin ısıya dönüşmesi, öteden beri, hiçbir pratik sorunla karşılaşmaksızın kolayca gerçekleşir. Fakat bunun tersi yani ısının işe dönüşmesi, bazı kuramsal ve pratik sorunların çözümlenmesini gerektirir. Isının işe dönüşmesinde karşılaşılan kuramsal ve pratik sorunların çözümünün Carnot ile başladığı kabul edilmektedir. Bunun nedeni, yaşadığı dönemde, ısıdan iş elde eden yani ısıyı işe dönüştüren makina olarak sadece pistonlu buhar makinası bilindiği halde, ısının işe dönüşmesinde karşılaşılan kuramsal ve pratik sorunların çözümüne Carnot'nun pistonlu buhar makinasını oluşturan mekanik organların işleyiş düzenini değil, ısının devitken gücünü esas alan bir yaklaşımla eğilmiş olmasıdır.

Carnot, termik makinayı hidrolik makinaya benzetmiştir. Carnot'ya göre, hidrolik makinada suyun bir seviye farkından düşmesine karşın termik makinada ısı bir sıcaklık düşmesine uğramaktadır. Bunun için farklı sıcaklıkta iki ısı kaynağına, örneğin buhar makinasında olduğu gibi, yüksek sıcaklıkta bir buhar kazanı ile düşük sıcaklıkta bir kondansöre gereksinim vardır. Her ısı kaynağı sıcaklığı ile karakterize edilir. Termik makinanın ısı aldığı kaynağa sıcak kaynak ve ısı verdiği kaynağa da soğuk kaynak denir. Carnot, hidrolik makinalarda su düşmesinden yararlanıldığı gibi, termik makinalarda da sıcaklık düşmesinden eksiksiz yararlanabilmek için kaçak ve sızıntıların önlenmesini, sıcaklık soğuk kaynağın sıcaklığına düşürüldükten sonra ısının hiçbir kayba uğramaksızın soğuk kaynağa geçmesini istemiştir. Carnot'ya göre, dönüşüm etkeni, örneğin buhar makinasında su buharı, kazandan kondansöre giderken aynı sıcaklıkta bulunan cisimlerin dışında hiçbir şeyle temas etmemeli ve ancak genişleyerek çevreye iş verdikten sonra soğumalıdır. Bu açıklamalardan da anlaşılacağı gibi, Carnot özgün fakat eksik bir benzeşimden yararlanmıştır. Çünkü sıcaklık farkı her ne kadar jeodezik seviye farkını andırırsa da bunlar arasındaki benzeşim, jeodezik seviye farkının

suyun akış yönünü belirlemesi gibi, sıcaklık farkının da ısının akış yönünü belirlemesinden öteye gidemez. Ayrıca ısı miktarı ile su miktarını da kıyaslamak olanaksızdır. Hidrolik makinada su bir hazneden diğer bir hazneye, bir bentten diğer bir bente eksilmeden geçer. Halbuki termik makinada sıcak kaynaktan alınan ısının bir bölümü Eşdeğerlik İlkesi uyarınca işe dönüştürülür. Eşdeğerlik İlkesi uyarınca, ısının işe dönüştürülen bölümü de soğuk kaynağa geçirilir. Bu açıklamadan sonra zıt yönde bağlanmış iki hidrolik makinanın oluşturdıkları bir dizge tasarlayalım. Bu dizgede, hidrolik makinalardan biri suyun akış yönünde devinerek iş elde edilmesini sağlar diğeri de kullanılmış olan suyu aşağıda bulunan haznedeki yukarıda bulunan hazneye ya da aşağıda bulunan bentten yukarıda bulunan bente çıkarmak için zıt yönde devinerek daha önce elde edilen işi tüketir. Bu şekilde çalışan bir dizgeden, başka bir amaçla kullanmak için iş almak olanaksızdır. Bunun gibi dönüşüm etkenleri birbirinden farklı olan ve zıt yönde devinen iki termik makineden oluşan bir dizge tasarlayabiliriz. Termik makinalar ters yönde devindikleri için birinci termik makinanın sıcak kaynaktan aldığı ısıyı ikinci termik makina sıcak kaynağa geri verir ve bu makinaların oluşturmuş oldukları dizgeden iş almak olanaksız olur. Carnot ilkesi, işte hidrolik ve termik makinaların bu benzeşiminden kaynaklanmaktadır.

Bir termik makinanın sıcak kaynaktan aldığı her birim ısı miktarına karşılık çevreye verdiği iş Carnot tarafından verim olarak adlandırılmıştır. Zıt yönde devinen ve zıt yönde devinirken çevreye iş iletmeyen iki termik makina aynı yönde devinmiş olsalardı çevreye aynı miktarda iş vermiş olurlardı. Aynı yönde devreye sokulan termik makinalar sıcak kaynaktan aynı miktarda ısı alacakları için Carnot tarafından yapılmış olan verim tanımı uyarınca bunları verimleri de birbirine eşit olurdu. Bu açıklamaya göre, Carnot ilkesini şöyle ifade edebiliriz: "Aynı sıcak ve soğuk kaynaklar arasında yani aynı sıcaklık sınırları arasında devinen termik makinaların verimi aynı değere sahiptir."

Carnot'dan sonra gelen Clausius adlı bilgin, Carnot ilkesini yeni bir anlayışla yorumlamış ve bir termik makinanın sıcak kaynaktan aldığı ısı miktarı ile soğuk kaynağa verdiği ısı miktarı arasında Carnot tarafından kurulmuş olan eşitliği kaldırarak ilkeye çağdaş bir görünüm kazandırmıştır. Bugün artık termik makinada sıcaklık düşmesine uğrayan nesnenin Carnot'nun sandığı gibi ısı değil entropi olduğu herkes tarafından bilinmektedir. "Carnot tarafından tasarlanmış olan termik makinada sıcak kaynaktan alınan entropi soğuk kaynağa eksiksiz verilmekte diğer bir deyişle alınan ve verilen entropi daima birbirine eşit olmaktadır."

Isının işe dönüşmesinde Eşdeğerlik İlkesine uyumun sağlanması için bilindiği gibi, kapalı devre koşulunun yerine getirilmesi gerekir. Bu nedenle termik makinalar sorununda bizi asıl ilgilendiren nesne, termodinamik sistemin bir çevrimi izledikten sonra periyodik olarak başlangıçtaki duruma getirilmesidir.

Termik makina, deviniminin bir aşamasında sıcak kaynaktan ısı alır ve diğer aşamasında da soğuk kaynağa ısı verir. Termik makinanın ısı aldığı sıcak kaynağın sıcaklığı (T_1) ve ısı verdiği soğuk kaynağın sıcaklığı da (T_2) olsun. Termik makinanın sıcak kaynaktan aldığı ısı miktarını (Q_1) ve soğuk kaynağa verdiği ısı miktarını (Q_2) ile göstereyim. Bunlar arasındaki farkı (q) ile gösterecek olursak

$$q = Q_1 - Q_2$$

eşitliğini yazabiliriz.

Tersinir termik makinada sıcak kaynaktan alınan entropi soğuk kaynağa verilen entropiye eşit ve tersinir olmayan termik makinada sıcak kaynaktan alınan entropi soğuk kaynağa verilen entropiden daha büyüktür. Bunun nedeni aynı sıcaklık sınırları arasında çalışan bir tersinir ve bir de tersinir olmayan iki termik makinanın sıcak kaynaktan aldıkları ısının aynı olmasına karşın soğuk kaynağa verdikleri ısının farklı olmasıdır.

Aynı sıcaklık sınırları arasında çalışan tersinir olmayan termik makina soğuk kaynağa tersinir termik makinadan daha fazla ısı verir. Tersinir termik makinada sıcak kaynaktan alınan entropi ($\frac{Q_1}{T_1}$) ve soğuk kaynağa verilen entropi de ($\frac{Q_2}{T_2}$) olduğu için

$$\frac{Q_1}{T_1} = \frac{Q_2}{T_2}$$

eşitliğini yazabiliriz. Bu eşitlikten

$$\frac{Q_1}{T_1} = \frac{Q_1 - Q_2}{T_1 - T_2}$$

eşitliği elde edilir.

$$q = Q_1 - Q_2$$

olduğu için

$$\frac{Q_1}{T_1} = \frac{Q_1 - Q_2}{T_1 - T_2}$$

eşitliği yerine

$$\frac{q}{Q_1} = 1 - \frac{T_2}{T_1}$$

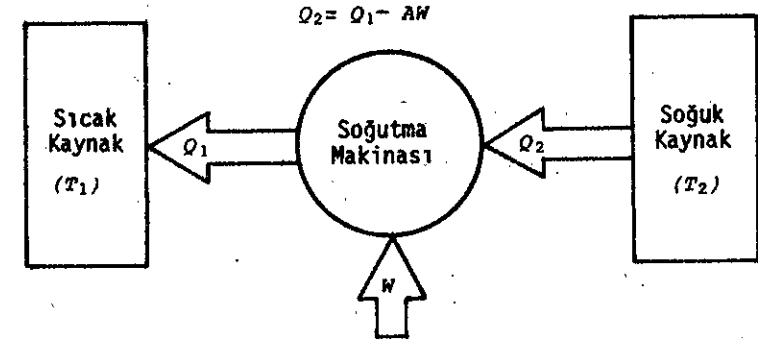
eşitliği yazılabilir. Carnot'ya göre verim (q/Q_1)'dir ve (η) ile gösterilir. Bu durumda

$$\eta = 1 - \frac{T_2}{T_1}$$

eşitliğini yazabiliriz.

Bu verime, Termodinamikte Carnot verimi de denir. Carnot verimi en büyük verimdir. (T_1) ve (T_2) sıcaklıkları arasında çalışan hiçbir termik makina sıcak kaynaktan almış olduğu ısıyı Carnot veriminden daha büyük oranda işe dönüştüremez. Termik makina oluşturulan mekanik organlar, dönüşüm ajanı (su buharı, gaz, v.b.) ve fizik olgular nasıl olursa olsun tersinir olduğu zaman ancak bir termik makinadan en büyük

cihazı ya da petrol, gaz, bütan ocakları ile sağlanır. (Şekil-3.7)'de soğutma makinalarının fonksiyonel şeması görülmektedir.



Şekil-3.7 Soğutma Makinalarının Fonksiyonel Şeması

ÇÖZÜMLÜ PROBLEMLER

3.1. PROBLEM

Ağırlığı (1 kg) olan hava kütlesi, (27°C) ve (327°C) sıcaklık sınırları arasında bir tersinir termik makinanın aracılığı ile Carnot çevrimini izlemektedir. İzoterm genişleme sürecinin sonundaki hacim izoterm genişleme sürecinin başındaki hacmin (4) katına eşit olmaktadır. Buna göre, sıcak kaynaktan alınan ısı miktarı ile çevrim boyunca çevreye iş olarak iletilen ısı miktarını ve verimi hesaplayınız.

PROBLEMİN ÇÖZÜMÜ

a) Verim

Verim

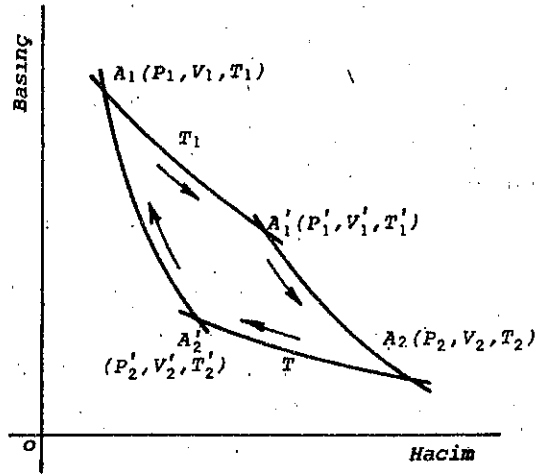
$$\eta = 1 - \frac{T_2}{T_1}$$

eşitliğinden yararlanılarak hesaplanır.

2.a) CARNOT ÇEVİRİMİ

Carnot çevrimi, yukarıda incelediğimiz ve sıcaklıkları (T_1) , (T_2) olan farklı iki ısı kaynağı ile ısı alış-verişi yapan termik makinanın çevrimidir. Carnot çevrimi, iki izoterm dönüşümle iki adiabatik dönüşümden oluşmuştur. İzoterm dönüşüm süreçlerinden birinde sıcak kaynaktan ısı alınır ve diğerinde de soğuk kaynağa ısı verilir. Adiabatik dönüşüm süreçlerinde akışkanın sıcaklığı önce (T_1) 'den (T_2) 'ye ve sonra (T_2) 'den (T_1) 'e gelir.

(Şekil-3.4)'de, Clapeyron koordinatları sisteminde bir gazın termik makinanın aracılığı ile izlediği Carnot çevrimi görülmektedir. Bir yetkin gaz için (A_1A_1') ve (A_2A_2') izotermle-ri, genel denklemi



Şekil-3.4 Carnot Çevrimi

$$PV = GRT_1$$

ve

$$PV = GRT_2$$

olan hiperbol parçalarıdır. (A_2A_1) ve $(A_1'A_2)$ adiabatikleri de genel denklemi

$$PV^\gamma = \text{SABİT}$$

olan sınırlı eğrilerdir. $(A_1A_1' A_2)$ yolu izlendikten sonra (A_2A_2') izotermi, (A_1) noktasından geçen adiabatik üzerindeki (A_2') noktasında son bulur. (A_1') ve (A_2) noktaları, görüldüğü gibi, aynı adiabatik üzerinde bulunan noktalardır. Sıcaklığın (T_1) 'den (T_2) 'ye, hacmin (V_1') 'den (V_2) 'ye geldiği bir adiabatik genişleme süreci için

$$\frac{T_1}{T_2} = \left(\frac{V_1'}{V_2}\right)^{1-\gamma}$$

eşitliğini ve sıcaklığın (T_2) 'den (T_1) 'ye, hacmin (V_2) 'den (V_1) 'e geldiği bir adiabatik sıkıştırma süreci için de

$$\frac{T_1}{T_2} = \left(\frac{V_1}{V_2'}\right)^{1-\gamma}$$

eşitliğini yazabiliriz. Bu eşitliklerin birleşiminden

$$\frac{V_1'}{V_2} = \frac{V_1}{V_2'}$$

eşitliği elde edilir. Ağırlığı (G) olan bir gaz kütlesi Carnot çevrimini izlediği zaman (A_1A_1') izotermi ile gösterilen izoterm genişleme sürecinde sıcak kaynaktan alınan ısı miktarı (Q_1)

$$Q_1 = GAR T_1 \ln \left(\frac{V_1'}{V_1}\right)$$

eşitliğinden ve (A_2A_2') izotermi ile gösterilen izoterm sıkıştırma sürecinde soğuk kaynağa verilen ısı miktarı (Q_2) de

$$Q_2 = GAR T_2 \ln \left(\frac{V_2}{V_2'}\right)$$

eşitliğinden yararlanılarak hesaplanır. Çevrim boyunca, termik makina tarafından çevreye iş olarak iletilen ısı miktarını bulmak için bilindiği gibi,

$$q = Q_1 - Q_2$$

eşitliğinden yararlanmak gerekir.

$$Q_1 = G A R T_1 \ln \left(\frac{V_1'}{V_1} \right)$$

ve

$$Q_2 = G A R T_2 \ln \left(\frac{V_2'}{V_2} \right)$$

olduğu için

$$q = Q_1 - Q_2$$

eşitliğinden yararlanarak

$$q = G A R \left[T_1 \ln \left(\frac{V_1'}{V_1} \right) - T_2 \ln \left(\frac{V_2'}{V_2} \right) \right]$$

eşitliğini yazabiliriz.

$$\frac{V_1'}{V_1} = \frac{V_2'}{V_2}$$

olduğu için

$$q = G A R \left[T_1 \ln \left(\frac{V_1'}{V_1} \right) - T_2 \ln \left(\frac{V_2'}{V_2} \right) \right]$$

eşitliğinden

$$q = G A R (T_1 - T_2) \ln \left(\frac{V_1'}{V_1} \right)$$

eşitliğini elde edebiliriz. Verimi bulmak için

$$\eta = \frac{q}{Q_1}$$

eşitliğinden yararlanmak gerekir.

$$Q_1 = G A R T_1 \ln \left(\frac{V_1'}{V_1} \right)$$

ve

$$q = G A R (T_1 - T_2) \ln \left(\frac{V_1'}{V_1} \right)$$

olduğu için

$$\eta = \frac{q}{Q_1} = \frac{G A R (T_1 - T_2) \ln \left(\frac{V_1'}{V_1} \right)}{G A R T_1 \ln \left(\frac{V_1'}{V_1} \right)} = 1 - \frac{T_2}{T_1}$$

$$\eta = 1 - \frac{T_2}{T_1}$$

olur. Görülüyor ki, (T_1) ve (T_2) sıcaklık sınırları arasında Carnot çevrimine göre devinen bir termik makinanın verimi Carnot verimine eşit olmaktadır.

(A_1A_1') izotermi ile gösterilen izoterm genişleme sürecinde termodinamik sistemin antropisinde meydana gelen değişim miktarı

$$S_1' - S_1 = G A R \ln \left(\frac{V_1'}{V_1} \right)$$

eşitliğinden ve (A_2A_2') izotermi ile gösterilen izoterm sıkıştırma sürecinde termodinamik sistemin antropisinde meydana gelen değişim miktarı da

$$S_2 - S_2' = G A R \ln \left(\frac{V_2'}{V_2} \right)$$

eşitliğinden yararlanılarak bulunur.

$$\frac{V_1'}{V_1} = \frac{V_2'}{V_2}$$

olduğu için

$$S_2 - S_2' = G A R \ln \left(\frac{V_2'}{V_2} \right) = G A R \ln \left(\frac{V_1'}{V_1} \right)$$

$$S_2 - S_2' = G A R \ln \left(\frac{V_1'}{V_1} \right)$$

olur. Bu durumda

$$S_1' - S_1 = S_2 - S_2'$$

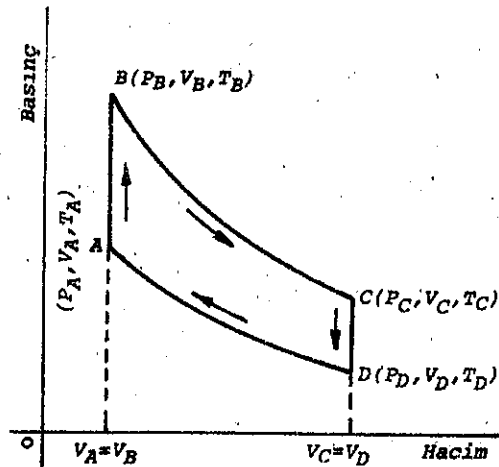
eşitliğini yazabiliriz. Açık olarak görülmektedir ki, Carnot

çevriminde (A_1A_1') genleşme izotermi ile gösterilen izoterm dönüşüm sürecinde termodinamik sistemin antropisinde meydana gelen değişme miktarı, (A_2A_2') sıkıştırma izotermi ile gösterilen izoterm dönüşüm sürecinde termodinamik sistemin antropisinde meydana gelen değişme miktarına eşit olmaktadır. Bu, Carnot çevrimine göre devinen bir tersinir termik makinanın sıcak kaynaktan aldığı antropinin soğuk kaynağa verdiği antropiye eşit olduğunu kanıtlar.

2.b) BEAU DE ROCHAS ÇEVİRİMİ

Kuramsal olarak dört zamanlı patlamalı motorlarda gazın dönüşümlerini şematize eden çevrim Beau de Rochas adlı araştırmacı tarafından bulunmuştur. Beau de Rochas çevrimine göre devinen termik makinayı ilk kez 19. yüzyılın ikinci yarısında Agust Otto adlı bir mühendis gerçekleştirmiştir. Bunun için uygulama alanında Beau de Rochas çevrimine Otto Çevrimi denilmektedir.

Beau de Rochas çevrimi, (şekil-3.5)'de, görüldüğü gibi, Clapeyron koordinatları sisteminde; (BC) ve (DA) adiyabatikleri tarafından birleştirilen iki izokor dönüşüm sürecinden oluşmuştur. (oP) eksenine paralel (AB) doğrusu ile gösterilen



Şekil-3.5 Beau De Rochas Çevrimi

izokor dönüşüm sürecinde sıcaklık yükseldiği için basınç artar ve gaz sıcak kaynaktan ısı alır. Sıcaklığın (T_A)'dan (T_B)'ye geldiği bu sınırlı izokor dönüşüm sürecinde gazın sıcak kaynaktan aldığı ısı miktarı (Q_1)

$$Q_1 = C_V (T_B - T_A)$$

eşitliğinden yararlanılarak bulunur. Yine (oP) eksenine paralel (CD) doğrusu ile gösterilen izokor dönüşüm sürecinde basınç ve sıcaklık düşmesine bağlı olarak soğuma meydana gelir ve gaz soğuk kaynağa ısı verir. Sıcaklığın (T_C)'den (T_D)'ye geldiği (CD) doğrusu ile gösterilen izokor dönüşüm sürecinde gazın soğuk kaynağa verdiği ısı miktarı (Q_2) de

$$Q_2 = C_V (T_C - T_D)$$

eşitliğinden yararlanılarak hesaplanır. Beau de Rochas çevrimine göre devinen termik makinanın çevreye iş olarak ilettiği ısı miktarını bulmak için bilindiği gibi,

$$q = Q_1 - Q_2$$

eşitliğinden yararlanmak gerekir. Bu durumda,

$$Q_1 = C_V (T_B - T_A)$$

ve

$$Q_2 = C_V (T_C - T_D)$$

olduğu için

$$q = Q_1 - Q_2 = C_V (T_B - T_A) - C_V (T_C - T_D)$$

$$q = C_V (T_B - T_A) - C_V (T_C - T_D)$$

eşitliğini yazabiliriz. Beau de Rochas çevriminde, daha önce de açıklamış olduğumuz gibi, (AB) ve (CD) doğruları ile gösterilen izokor dönüşümler (DA) ve (BC) adiyabatikleri ile birleştirilmişlerdir. Sıcaklığın (T_B)'den (T_C)'ye, hacmin (V_B)'den (V_C)'ye geldiği adiyabatik genleşme süreci için

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

eşitliği ve sıcaklığın (T_D)'den (T_A)'ya, hacmin (V_D)'den (V_A)'ya geldiği adiabatik sıkıştırma süreci için de

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

eşitliği yazılabilir.

$$V_A = V_B = V_0$$

ve

$$V_C = V_D = V_1$$

olduğu için

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

ve

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

eşitliklerinin birleşiminden

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

eşitlikleri elde edilir. Carnot'ya göre verim, bilindiği gibi,

$$\eta = \frac{q}{Q_1}$$

eşitliğinden yararlanılarak bulunur.

$$q = C_V (T_B - T_A) - C_V (T_C - T_D)$$

ve

$$Q_1 = C_V (T_B - T_A)$$

olduğu için

$$\eta = \frac{q}{Q_1} = \frac{C_V (T_B - T_A) - C_V (T_C - T_D)}{C_V (T_B - T_A)} = 1 - \frac{T_C - T_D}{T_B - T_A}$$

$$\eta = 1 - \frac{T_C - T_D}{T_B - T_A}$$

eşitliğini elde edebiliriz. Diğer yandan

$$\frac{T_B - T_A}{T_C - T_D} = \left(\frac{V_A}{V_D}\right)^{1-\gamma} = \left(\frac{V_0}{V_1}\right)^{1-\gamma}$$

olduğu için

$$\eta = 1 - \frac{T_C - T_D}{T_B - T_A}$$

eşitliği yerine

$$\eta = 1 - \left(\frac{V_1}{V_0}\right)^{1-\gamma}$$

eşitliğini yazmak mümkün olur. $\left(\frac{V_1}{V_0}\right)$ oranı SIKIŞTIRMA ORANI olarak adlandırılır. Görülüyor ki, Beau de Rochas çevrimine göre devinen bir termik makinanın verimi sıkıştırma oranına ve gazın moleküler yapısına bağlıdır. Bilindiği gibi, moleküler yapısı iki atomlu olan gazlar için ($\gamma = 1,41$) alınır. Otomobil motorlarında sıkıştırma oranı ($\epsilon = 7$) ve verim de genellikle ($\eta = 0,54$)'tür.

Bu arada hemen belirtelim ki, bir patlamalı motorun silindiri içerisinde dönüşüm sürecinde kimyasal reaksiyona katılan karışımın bir yetkin gaza benzerliği kanıtlanabilir. Çünkü havanın hacim olarak (4/5)'ni silindir içerisinde kimyasal reaksiyonun dışında kalan azot oluşturur.

Sıcaklığın (T_A)'dan (T_B)'ye geldiği, (AB) doğrusu ile gösterilen izokor dönüşüm sürecinde termodinamik sistemin antropisinde meydana gelen değişme miktarı

$$S_B - S_A = \frac{GAR}{\gamma - 1} \ln \left(\frac{T_B}{T_A} \right)$$

eşitliğinden ve sıcaklığın (T_C)'den (T_D)'ye geldiği, (CD) doğrusu ile gösterilen izokor dönüşüm sürecinde termodinamik sistemin antropisinde meydana gelen değişme miktarı da

$$S_C - S_D = \frac{GAR}{\gamma - 1} \ln \left(\frac{T_C}{T_D} \right)$$

eşitliğinden yararlanılarak bulunur.

$$\frac{T_B}{T_A} = \frac{T_C}{T_D}$$

olduğu için

$$S_B - S_A = S_C - S_D$$

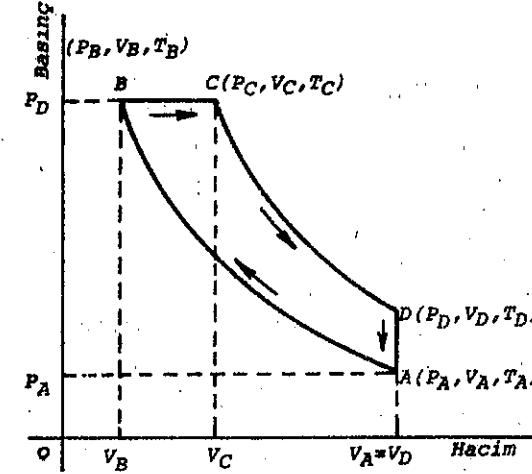
eşitliği yazılabilir. Görülüyor ki, Beau de Rochas çevriminde (AB) doğru ile gösterilen izokor dönüşüm sürecinde termodinamik sistemin antropisinde meydana gelen değişme miktarı, (CD) doğrusu ile gösterilen izokor dönüşüm sürecinde termodinamik sistemin antropisinde meydana gelen değişme miktarına eşit olmaktadır. Bu da Beau de Rochas çevrimine göre devinen bir tersinir termik makinanın sıcak kaynaktan aldığı antropinin soğuk kaynağa verdiği antropiye eşit olduğunu kanıtlar.

2.c) JOULE ÇEVİRİMİ

Joule çevrimi, hava ile püskürtmeli Diesel motorlarında gazın dönüşümlerini şematize eder. Joule çevrimine göre devinen termik makina, 19. yüzyılın sonunda, Rudolf Diesel'in başkanlığında, bir mühendisler topluluğu tarafından gerçekleştirilmiştir. Bunun için uygulama alanında Joule çevrimine Diesel Çevrimi denilmektedir.

(Şekil-3.6)'da, (AB) ve (CD) adiyabatikleri ile birleştirilen izobar ve izokor dönüşüm süreçlerinin oluşturmuş oldukları Joule çevrimi görülmektedir. (oV) eksenine paralel

(BC) doğrusu ile gösterilen dönüşüm sürecinde sıcaklık yükseldiği ve hacim büyüdüğü için dönüşüm etkeni yani gaz sıcak



Şekil-3.6 Joule Çevrimi

kaynaktan ısı alır. Sıcaklığın (T_B)'den (T_C)'ye ve hacmin (V_B)'den (V_C)'ye geldiği bu izobar dönüşüm sürecinde gazın sıcak kaynaktan aldığı ısı miktarı (Q_1),

$$Q_1 = C_p (T_C - T_B)$$

eşitliğinden yararlanılarak bulunur. (oP) eksenine paralel (DA) doğrusu ile gösterilen izokor dönüşüm sürecinde sıcaklık ve basınç azalır. (oP) eksenine paralel (DA) doğrusu ile gösterilen izokor dönüşüm sürecinde sıcaklık ve basınç azaldığı için gaz soğuk kaynağa ısı verir. Sıcaklığın (T_D)'den (T_A)'ya ve basıncın (P_D)'den (P_A)'ya geldiği izokor dönüşüm sürecinde gazın soğuk kaynağa verdiği ısı miktarı (Q_2) de

$$Q_2 = C_v (T_D - T_A)$$

eşitliğinden yararlanılarak hesaplanır. Joule çevrimine göre devinen termik makinanın çevreye iş olarak ilettiği ısı miktarını bulmak için

$$q = Q_1 - Q_2$$

eşitliğinden yararlanmak gerekir.

$$Q_1 = C_p (T_C - T_B)$$

ve

$$Q_2 = C_v (T_D - T_A)$$

olduğu için

$$q = Q_1 - Q_2 = C_p (T_C - T_B) - C_v (T_D - T_A)$$

$$q = C_p (T_C - T_B) - C_v (T_D - T_A)$$

eşitliğini yazabiliriz. Carnot'ya göre verim, daha önce de açıklamış olduğumuz gibi,

$$\eta = \frac{q}{Q_1}$$

eşitliğinden yararlanılarak bulunur.

$$q = C_p (T_C - T_B) - C_v (T_D - T_A)$$

ve

$$Q_1 = C_p (T_C - T_B)$$

olduğu için

$$\eta = \frac{q}{Q_1} = \frac{C_p (T_C - T_B) - C_v (T_D - T_A)}{C_p (T_C - T_B)} = 1 - \frac{1}{\gamma} \cdot \frac{T_D - T_A}{T_C - T_B}$$

$$\eta = 1 - \frac{1}{\gamma} \cdot \frac{T_D - T_A}{T_C - T_B}$$

eşitliği elde edilir.

Sıcaklığın (T_B) 'den (T_C) 'ye geldiği izobar dönüşüm sürecinde termodinamik sistemin antropisinde meydana gelen değişme miktarı

$$S_C - S_B = \frac{\gamma}{\gamma - 1} G A R \ln \left(\frac{T_C}{T_B} \right)$$

eşitliğinden ve yine sıcaklığın (T_D) 'den (T_A) 'ya geldiği izokor

dönüşüm sürecinde termodinamik sistemin antropisinde meydana gelen değişme miktarı da

$$S_D - S_A = \frac{G A R}{\gamma - 1} \ln \left(\frac{T_D}{T_A} \right)$$

eşitliğinden yararlanılarak bulunur. Diğer yandan sıcaklığın (T_A) 'dan (T_B) 'ye, hacmin (V_A) 'dan (V_B) 'ye geldiği adiyabatik dönüşüm süreci için

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

eşitliğini, sıcaklığın (T_B) 'den (T_C) 'ye, hacmin (V_B) 'den (V_C) 'ye geldiği izobar dönüşüm süreci için

$$\frac{T_C}{T_B} = \frac{V_C}{V_B}$$

eşitliğini ve sıcaklığın (T_C) 'den (T_D) 'ye, hacmin (V_C) 'den (V_D) 'ye geldiği adiyabatik dönüşüm süreci için de

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

eşitliğini yazabiliriz.

$$V_D = V_A$$

olduğu için

$$\frac{T_C}{T_B} = \frac{V_C}{V_B}$$

ve

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

eşitliklerinin birleşiminden

$$\frac{T_C}{T_D} = \left(\frac{T_C}{T_B} \cdot \frac{V_B}{V_A} \right)^{1-\gamma}$$

eşitliğini ve bu eşitlikle

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

eşitliğinin birleşiminden de

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

eşitliğini elde edebiliriz.

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

eşitliği yerine

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

eşitliği yazılabilir. Şimdi

$$S_C - S_B = \frac{\gamma}{\gamma-1} G A R \ln \left(\frac{T_C}{T_B}\right)$$

eşitliği ile

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

eşitliğinin birleşimini yapalım. Bu durumda

$$S_C - S_B = \frac{\gamma}{\gamma-1} G A R \ln \left(\frac{T_C}{T_B}\right) = \frac{\gamma}{\gamma-1} G A R \ln \left(\frac{T_D}{T_A}\right)^{1/\gamma} = \frac{G A R}{\gamma-1} \ln \left(\frac{T_D}{T_A}\right)$$

$$S_C - S_B = \frac{G A R}{\gamma-1} \ln \left(\frac{T_D}{T_A}\right)$$

eşitliğini elde ederiz. Diğer yandan

$$S_D - S_A = \frac{G A R}{\gamma-1} \ln \left(\frac{T_D}{T_A}\right)$$

olduğu için

$$S_C - S_B = S_D - S_A$$

olur. Yapmış olduğumuz bu açıklama göstermektedir ki, Joule çevriminde (ov) eksenine paralel (BC) doğrusu ile gösterilen izobar dönüşüm sürecinde termodinamik sistemin antropisinde meydana gelen değişme miktarı, (op) eksenine paralel (DA) doğrusu ile gösterilen izokor dönüşüm sürecinde termodinamik sistemin antropisinde meydana gelen değişme miktarına eşit olmaktadır. Bu da daha önce olduğu gibi, Joule çevrimine göre devinen bir tersinir, termik makinanın sıcak kaynaktan aldığı antropinin soğuk kaynağa verilen antropiye eşit olduğunu kanıtlar.

3) SOĞUTMA MAKINALARI

Soğutmada, sıcaklığı, soğutmak istenilen cismin sıcaklığından daha düşük olan bir ısı kaynağından yararlanılırsa hiçbir sorunla karşılaşılmaz. Soğutma makinalarında asıl sorun, bilindiği gibi, bir cismi çok düşük bir sıcaklığa getirmek için ondan ısı almaktır.

Soğutucular, genellikle, sıfır dereceye yakın bir sıcaklıkta ısıyı çekerler ve sonra bunu (20 °C) ya da (30 °C) sıcaklıkta bulunan yakın çevredeki havaya verirler. Bu işlem bir iş harcamayı gerektirir.

Tersinir soğutma makinalarında soğuk kaynaktan alınan antropi termodinamik sistem tarafından bir çevrim izlendikten sonra olduğu gibi sıcak kaynağa verilir. Sıcak kaynağa verilen ısı miktarını (Q_1), soğuk kaynaktan çekilen ısı miktarını da (Q_2) ile gösterelim. Sıcak kaynağın sıcaklığı (T_1) ve soğuk kaynağın sıcaklığı da (T_2) olduğu için

$$\frac{Q_2}{T_2} = \frac{Q_1}{T_1}$$

eşitliğini yazabiliriz. Soğuk kaynaktan çekilen ısı miktarı ile sıcak kaynağa verilen ısı miktarı arasındaki farka ARTIK ISI denir. Artık ısıyı yalnızca termodinamik sistemin çevrim boyunca çevreden almış olduğu iş sağlayabilir.

Tersinir olmayan soğutma makinası, sıcak kaynağa, soğuk kaynaktan aldığından daha fazla entropi verir. Bunun nedeni, aynı sıcaklık sınırları arasında devinen tersinir ve tersinir olmayan soğutma makinalarının soğuk kaynaktan aldıkları ısı miktarının aynı değere sahip olmasına karşın, tersinir olmayan soğutma makinasının, sıcak kaynağa, tersinir soğutma makinasından daha fazla ısı vermiş olmasıdır. Tersinir olmayan soğutma makinasının sıcak kaynağa verdiği ısı miktarını (Q_1') ile gösterecek olursak

$$\frac{Q_1'}{T_1} > \frac{Q_2}{T_2}$$

ve

$$Q_1' > Q_1$$

eşitsizliklerini yazabiliriz. Diğer yandan

$$q' = Q_1' - Q_2$$

ve

$$q = Q_1 - Q_2$$

olduğu için

$$q' > q$$

olur. Bu açıklama, bir kaynaktan aynı miktar ısı çekmek için tersinir olmayan soğutma makinasında, tersinir soğutma makinasından daha fazla iş harcadığını ortaya koyar.

İki ısı kaynağına bağlı kalan soğutma yalnız bir iş harcayarak gerçekleştirilebilir. Örneğin bir soğutma dolabından (0°C) sıcaklıkta ısı almayı ve bunu sıcaklığı (27°C) olan çevredeki havaya vermeyi tasarlayabiliriz. İşlem tersinir olduğuna göre,

$$q = Q_1 - Q_2$$

ve

$$\frac{Q_1}{T_1} = \frac{Q_2}{T_2}$$

eşitlikleri yazılabilir. Bu eşitliklerin birleşiminden de

$$q = Q_2 \left(1 - \frac{T_2}{T_1}\right)$$

eşitliği elde edilir.

$$T_1 = 273 + t_1 = 273 + 27 = 300^\circ\text{K}$$

$$T_1 = 300^\circ\text{K}$$

ve

$$T_2 = 273 + t_2 = 273^\circ\text{K}$$

$$T_2 = 273^\circ\text{K}$$

olduğu için

$$q = Q_2 \left(1 - \frac{T_2}{T_1}\right) = Q_2 \left(1 - \frac{273}{300}\right) \neq 0,1 Q_2$$

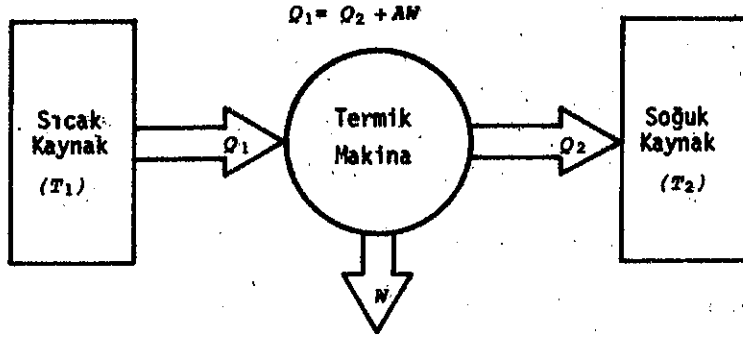
$$q \neq 0,1 Q_2$$

olur. Açık olarak görülmektedir ki, (0°C) ve (27°C) sıcaklık sınırları arasında çalışan soğutma dolabında (1 kcal) ısı çekmek için en azından (0,1 kcal) ısıya eşdeğer iş harcamak gerekmektedir.

Sıcaklıkları (T_1) ve (T_2) olan iki ısı kaynağına bağlı soğutma makinasının çevrimi, daha önce incelemiş olduğumuz ters yönde dolaşan bir Carnot çevrimidir. Ayrıca hemen belirtelim ki, ters yönde dolaşan her termik makina çevrimi de bir soğutma makinası çevrimi olabilir.

Soğutma makinalarında soğutma kükürtdioksit, amonyak ve fréon gibi sıvıların buharlaşması ile gerçekleştirilir. Bu sıvıların buharı daha sonra yoğunlaştırılır. Kükürtdioksit, amonyak ve fréon gibi sıvıların kullanıldığı soğutma makinalarının çevrimi, Rankine Çevrimine yakındır. Kompresyonlu soğutma makinalarında artık ısıya eşdeğer iş doğrudan doğruya bir motor tarafından sağlanır. Absorpsiyonlu makinalarda iş yerine sıcaklığı yüksek ısı verilir. Yüksek sıcaklıktaki ısı iş olarak belirli bir değeri karşılayan sıcaklık düşmesine uğrar. Absorpsiyonlu soğutucularda yüksek sıcaklıktaki ısı, elektrikli ısıtma

verim elde etmek mümkün olur. (Şekil-3.3)'de termik makinelerin fonksiyonel şeması görülmektedir.



Şekil-3.3 Termik Makinaların Fonksiyonel Şeması

2) TERMİK MAKİNALARIN ÇEVİMLERİ

Mekanik organlar tarafından oluşturulan bir termik makine, genel kural olarak, bir akışkandan aldığı işi çevreye iletir. Akışkan, termik makinenin içerisinde dönüşümlere uğrar ve periyodik olarak ısı kaynakları ile ısı alış-verişi yaptıktan sonra başlangıçtaki durumuna gelir. Örneğin buhar makinasında, su, yüksek sıcaklıkta, kazanın içerisinde buharlaşır ve sonra kondansör içerisinde, çok düşük sıcaklıkta, yoğunlaşarak başlangıçtaki durumunu alır.

Termik makineyi oluşturan mekanik organlar, bir termik makine projesi hazırlayan mühendis için büyük bir önem taşıyabilir ve taşınmalıdır. Fakat hemen belirtelim ki, bu mekanik organların termodinamik bakımdan birer ayrıntı olmaktan öteye hiçbir anlamı ve değeri yoktur.

Termik makinenin asıl işlevi, akışkanın, termik makine çevrimi olarak adlandırılan bir çevrimi izlemesini sağlamaktır. Uygulama değeri olan ve yararlanılan çok sayıda çevrim vardır. Biz burada, yalnızca, CARNOT, BEAU DE ROCHAS ve JOULE ÇEVİMLERİNİ incelemekle yetineceğiz.

$$t_1 = 327 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$T_1 = 273 + t_1 = 273 + 327 = 600 \text{ } ^\circ\text{K}$$

$$T_1 = 600 \text{ } ^\circ\text{K}$$

$$t_2 = 27 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$T_2 = 273 + t_2 = 273 + 27 = 300 \text{ } ^\circ\text{K}$$

$$T_2 = 300 \text{ } ^\circ\text{K}$$

olarak verilmiştir. Bu durumda

$$\eta = 1 - \frac{T_2}{T_1} = 1 - \frac{300}{600} = 0,50$$

$$\eta = 0,50$$

olur.

b) Çevrim boyunca çevreye iş olarak iletilen ısı miktarı

Çevrim boyunca çevreye iş olarak iletilen ısı miktarını bulmak için

$$q = GAR (T_1 - T_2) \ln \left(\frac{V_1'}{V_1} \right)$$

eşitliğinden yararlanmak gerekir.

$$G = 1 \text{ kg}$$

$$A = \frac{1}{427} \text{ kcal/kgm}$$

$$R = 29,4 \text{ kgm/kg.}^\circ\text{K}$$

$$T_1 = 600 \text{ } ^\circ\text{K}$$

$$T_2 = 300 \text{ } ^\circ\text{K}$$

$$\frac{V_1'}{V_1} = 4$$

olduğu için

$$q = GAR(T_1 - T_2) \ln \left(\frac{V_1}{V_2} \right) = 1 \cdot \frac{1}{427} \cdot 29,4(600-300) \cdot \ln 4 = 28,6349 \text{ kcal}$$

$$q = 28,6349 \text{ kcal}$$

bulunur.

c) Sıcak kaynaktan alınan ısı miktarı

Sıcak kaynaktan alınan ısı miktarını

$$\eta = \frac{q}{Q_1}$$

eşitliğinden yararlanılarak hesaplayacağız.

$$\eta = 0,50$$

$$q = 28,6349 \text{ kcal}$$

olarak bulundu. Bu durumda

$$Q_1 = \frac{q}{\eta} = \frac{28,6349}{0,50} = 57,2698 \text{ kcal}$$

$$Q_2 = 57,2698 \text{ kcal}$$

olur.

3.2. PROBLEM

Moleküler yapısı 2 atomlu olan bir dönüşüm etkeni, bir tersinir termik makinanın aracılığı ile Beau de Rochas çevrimini izlemektedir. Tersinir termik makinede anamilin devir sayısı ($n_d = 3600 \text{ dev/dak}$) silindir sayısı ($n_s = 4$), silindir çapı (0,073 m) ve silindir stroku da (0,077 m) olarak verilmiştir. Emme basıncı (10^4 kg/m^2), emme sıcaklığı (50°C), sıkıştırma oranı ($\epsilon = 7$) ve adiabatik sıkıştırma sürecini izleyen izokor dönüşüm süreci sonunda basınç ($24 \cdot 10^4 \text{ kg/m}^2$) olduğuna göre, sıkıştırma odasının hacmini, verimi ve gücü hesaplayınız.

PROBLEMİN ÇÖZÜMÜ

a) Verim

Verim

$$\eta = 1 - \left(\frac{V_1}{V_2} \right)^{1-\gamma}$$

eşitliğinden yararlanılarak hesaplanır. Dönüşüm etkeninin moleküler yapısı 2 atomlu olduğu için

$$\gamma = 1,41$$

alınır.

$$\epsilon = \frac{V_1}{V_2} = 7$$

olarak verilmiştir. Bu durumda

$$\eta = 1 - \left(\frac{V_1}{V_2} \right)^{1-\gamma} = 1 - (7)^{1-1,41} = 0,5496$$

$$\eta = 0,5496$$

bulunur.

b) Sıkıştırma odasının hacmi

(Ü.Ö.N.) ile (A.Ö.N.)'nin sınırladıkları hacmi yani strok hacmini (V) ile gösterecek olursak

$$V = V_1 - V_2$$

eşitliğini yazabiliriz.

$$V = V_1 - V_2$$

ve

$$\epsilon = \frac{V_1}{V_2}$$

eşitliklerinin birleşiminden

$$V = \frac{V}{\epsilon - 1}$$

eşitliği elde edilir.

$$\epsilon = 7$$

$$d = 0,073 \text{ m}$$

$$l = 0,077 \text{ m}$$

$$V = \frac{\pi d^2}{4} \cdot l = \frac{3,14 \cdot (0,073)^2}{4} \cdot 0,077 = 322 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3$$

$$V = 322 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3$$

olarak verildiği için

$$V_0 = \frac{V}{\epsilon - 1} = \frac{322 \cdot 10^{-6}}{7 - 1} = 53,67 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3$$

$$V_0 = 53,67 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3$$

bulunur.

c) Güç

Tersinir termik makinanın gücünü bulmak için önce çevrim boyunca çevreye iletilen işi hesaplamak gerekir. Çevrim boyunca çevreye iletilen iş, adiyabatik sıkıştırma sürecinde basınç kuvvetlerinin işi ile adiyabatik genleşme sürecinde basınç kuvvetlerinin işinin toplamıdır. Adiyabatik sıkıştırma sürecinde iş

$$W_S = \frac{P_D V_D}{1 - \gamma} \left[\left(\frac{V_0}{V_1} \right)^{1 - \gamma} - 1 \right]$$

eşitliğinden ve adiyabatik genleşme sürecinde iş

$$W_G = \frac{P_B V_B}{1 - \gamma} \left[\left(\frac{V_1}{V_0} \right)^{1 - \gamma} - 1 \right]$$

eşitliğinden yararlanılarak bulunur.

$$P_D = 10^4 \text{ kg/m}^2$$

$$V_D = V_1 = V + V_0 = 322 \cdot 10^{-6} + 53,67 \cdot 10^{-6} = 375,67 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3$$

$$V_D = 375,67 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3$$

$$\frac{V_1}{V_0} = 7$$

olduğu için

$$W_S = \frac{P_D \cdot V_D}{1 - \gamma} \left[\left(\frac{V_0}{V_1} \right)^{1 - \gamma} - 1 \right] = \frac{10^4 \cdot 375,67 \cdot 10^{-6}}{1 - 1,41} \cdot \left[\left(\frac{1}{7} \right)^{1 - 1,41} - 1 \right]$$

$$W_S = -11,158 \text{ kgm}$$

ve

$$P_B = 24 \cdot 10^4 \text{ kg/m}^2$$

$$V_B = V_0 = 53,67 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3$$

olduğu için

$$W_G = \frac{P_B V_B}{1 - \gamma} \left[\left(\frac{V_1}{V_0} \right)^{1 - \gamma} - 1 \right] = \frac{24 \cdot 10^4 \cdot 53,67 \cdot 10^{-6}}{1 - 1,41} \left[(7)^{1 - 1,41} - 1 \right]$$

$$W_G = 17,053 \text{ kgm}$$

olur. Çevrim boyunca çevreye iletilen işi (W) ile gösterecek olursak

$$W = W_S + W_G$$

eşitliğini yazabiliriz.

$$W_S = -11,158 \text{ kgm}$$

$$W_G = 17,053 \text{ kgm}$$

olduğu için

$$W = W_S + W_G = -11,158 + 17,053 = 5,9 \text{ kgm}$$

$$W = 5,9 \text{ kgm}$$

buluruz. Dönüşüm etkeninin Beau de Rochas çevrimini izleyebilmesi için tersinir termik makinede anamelin 2 devir yapması gerekir. Tersinir termik makinanın gücünü (N) ile gösterebiliriz.

Bu durumda

$$N \text{ (Beygir gücü)} = \frac{W \cdot n_d \cdot n_s}{60 \cdot 75 \cdot 2}$$

eşitliğini yazabiliriz.

$$W = 5,9 \text{ kgm}$$

$$n_d = 3600 \text{ dev/dak}$$

$$n_s = 4$$

olarak verildiği için

$$N = \frac{W \cdot n_d \cdot n_s}{60 \cdot 75 \cdot 2} = \frac{5,9 \cdot 3600 \cdot 4}{60 \cdot 75 \cdot 2} = 9,44 \text{ BG}$$

$$N = 9,44 \text{ BG}$$

bulunur.

3.3. PROBLEM

Moleküler yapısı (2) atomlu olan, bir dönüşüm etkeni bir tersinir termik makinanın aracılığı ile joule çevrimini izlemektedir. Bu tersinir termik makinada anamilin devir sayısı ($n_d = 900 \text{ dev/dak}$), silindir sayısı ($n_s = 4$), silindir çapı (0,140 m) ve silindir stroku da (0,210 m)'dir. Emme basıncı ($P_1 = 10^4 \text{ kg/m}^2$), emme sıcaklığı ($t_1 = 80 \text{ }^\circ\text{C}$) sıkıştırma oranı ($\epsilon = 14$) ve adiyabatik sıkıştırma sürecini izleyen izobar genişleme süreci sonunda sıcaklık ($1717 \text{ }^\circ\text{C}$) olduğuna göre, gücü ve verimi hesaplayınız.

PROBLEMİN ÇÖZÜMÜ

a) Tersinir termik makinanın gücü

Tersinir termik makinanın gücünü bulmak için önce

$$q = C_p (T_C - T_B) - C_v (T_D - T_A)$$

eşitliğinden yararlanarak çevrim boyunca çevreye iş olarak iletilen ısı miktarını hesaplamak gerekir.

$$C_v = \frac{GAR}{\gamma - 1}$$

$$C_p = \frac{\gamma}{\gamma - 1} GAR$$

$$GR = \frac{P_1 V_1}{T_1}$$

olduğu için

$$q = C_p (T_C - T_B) - C_v (T_D - T_A)$$

eşitliğinden yararlanılarak

$$q = \frac{P_1 V_1}{T_1} \cdot \frac{A}{\gamma - 1} [\gamma (T_C - T_B) - (T_D - T_A)]$$

eşitliği yazılabilir. Diğer yandan

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

$$\frac{T_B}{T_C} = \frac{V_B}{V_C}$$

ve

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

eşitliklerini yazabiliriz.

$$V_A = V_1$$

$$V_B = V_0$$

olduğu için

$$\epsilon = \frac{V_1}{V_0} = \frac{V_A}{V_B} = 14$$

olur.

$$t_A = 80 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$T_A = 273 + t_A = 273 + 80 = 353 \text{ } ^\circ\text{K}$$

$$T_A = 353 \text{ } ^\circ\text{K}$$

olarak verilmiştir. Bu durumda

$$T_B = T_A \left(\frac{V_B}{V_A}\right)^{1-\gamma} = 353 \left(\frac{1}{14}\right)^{1-1,41} = 1041,566 \text{ } ^\circ\text{K}$$

$$T_B = 1041,566 \text{ } ^\circ\text{K}$$

bulunur.

$$t_C = 1717 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$T_C = 1717 + t_C = 1717 + 273 = 1990 \text{ } ^\circ\text{K}$$

$$T_C = 1990 \text{ } ^\circ\text{K}$$

olduğu için

$$V_C = V_B \cdot \frac{T_C}{T_B} = V_B \cdot \frac{1990}{1041,566} = 1,91 \cdot V_B$$

$$V_C = 1,91 \cdot V_B$$

olur. Diğer yandan

$$V_D = V_A$$

ve

$$V_C = 1,91 V_B$$

olduğu için

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

eşitliğinden

$$T_D = T_C \left(\frac{1}{1,91} \cdot \frac{V_A}{V_B}\right)^{1-\gamma}$$

eşitliği elde edilir. Buradan

$$T_D = T_C \left(\frac{1}{1,91} \cdot \frac{V_A}{V_B}\right)^{1-\gamma} = 1990 \cdot \left(\frac{1}{1,91} \cdot 14\right)^{1-1,41} = 879,355 \text{ } ^\circ\text{K}$$

$$T_D = 879,355 \text{ } ^\circ\text{K}$$

bulunur.

$$d = 0,140 \text{ m}$$

$$l = 0,210 \text{ m}$$

$$V = \frac{\pi d^2}{4} \cdot l = \frac{3,14 \cdot (0,140)^2}{4} \cdot 0,210 = 3231 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3$$

$$V = 3231 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3$$

olarak verilmiştir.

$$\epsilon = \frac{V_A}{V_B} = \frac{V_1}{V_0} = \frac{V_0 + V}{V_0}$$

$$\epsilon = \frac{V_0 + V}{V_0}$$

olduğu için

$$V_0 = \frac{V}{\epsilon - 1} = \frac{3231 \cdot 10^{-6}}{14 - 1} = 248 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3$$

$$V_0 = 248 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3$$

ve

$$V_1 = V_0 + V = 248 \cdot 10^{-6} + 3231 \cdot 10^{-6} = 3479 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3$$

$$V_1 = 3479 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3$$

olur. Bulduğumuz bu değerleri

$$q = \frac{P_1 V_1}{T_1} \cdot \frac{A}{\gamma - 1} [\gamma (T_C - T_B) - (T_D - T_A)]$$

eşitliğinde yerlerine koyacak olursak

$$q = \frac{10^5 \cdot 3479 \cdot 10^{-6}}{353} \cdot \frac{1}{1,41 - 1} [1,41(1990 - 1041,566) - (879,355 - 353)]$$

$$q = 0,4565 \text{ k cal}$$

buluruz. Dönüşüm etkeninin Joule Çevrimini izleyebilmesi için tersinir termik makinanın anamlininin (2) devir yapması gerekir. Tersinir termik makinanın gücünü (N) ile gösterecek olursak, (W) çevrim boyunca elde edilen iş olduğuna göre,

$$N(\text{Bevgir Gücü}) = \frac{W \cdot n_d \cdot n_s}{60 \cdot 75 \cdot 2}$$

eşitliği yazılabilir.

$$n_d = 900 \text{ dev/dak}$$

$$n_s = 4$$

$$W = \frac{q}{A} = \frac{0,4565}{\frac{1}{427}} = 194,925 \text{ kgm}$$

$$W = 194,925 \text{ kgm}$$

olduğu için

$$N = \frac{W \cdot n_d \cdot n_s}{60 \cdot 75 \cdot 2} = \frac{194,925 \cdot 900 \cdot 4}{60 \cdot 75 \cdot 2} = 77,97 \text{ B G}$$

$$N = 77,97 \text{ B G}$$

bulunur.

b) Tersinir termik makinanın verimi
Tersinir termik makinanın verimi

$$\eta = 1 - \frac{1}{\gamma} \cdot \frac{T_D - T_A}{T_C - T_B}$$

eşitliğinden yararlanılarak hesaplanır.

$$T_D = 879,355 \text{ } ^\circ\text{K}$$

$$T_C = 1990 \text{ } ^\circ\text{K}$$

$$T_B = 1041,566 \text{ } ^\circ\text{K}$$

$$T_A = 353 \text{ } ^\circ\text{K}$$

olduğu için

$$\eta = 1 - \frac{1}{\gamma} \cdot \frac{T_D - T_A}{T_C - T_B} = 1 - \frac{1}{1,41} \cdot \frac{879,355 - 353}{1990 - 1041,566} = 0,606$$

$$\eta = 0,606$$

olur.

IV. B Ü L Ü M

GERÇEK GAZLAR, BUHARLAŞMA VE SU BUHARI

- 1) Sıvı-gaz karışımı ve sıkıştırma izotermi
- 2) Van der Waals Denklemi
- 3) Gerçek gazların genleşme sürecinde iş
 - 3.a) Gerçek gazların izoterm genleşme sürecinde iş
 - 3.b) Gerçek gazların adiyabatik genleşme sürecinde iş
- 4) Buharlaşma ve temel kavramlar
- 5) Buhar gerilim denklemi
- 6) Buharlaşma ısısı
- 7) Toplam buharlaşma ısısı
- 8) Buharlaşma sürecinde iş
- 9) Buharlaşma sürecinde iç enerji değişimi
- 10) Buharlaşma entropisi
- 11) Toplam buharlaşma entropisi
- 12) Doymuş buharın adiyabatik genleşme sürecinde iş
- 14) Rankine Çevrimi
- 14) SU BUHARININ ANTALPIK DİYAGRAMI-MOLLIER DİYAGRAMI

ÇÖZÜMLÜ PROBLEMLER

GERÇEK GAZLAR, BUHARLAŞMA VE SU BUHARI

1) SIVI-GAZ KARIŞIMI VE SIKIŞTIRMA İZOTERMLERİ

Bir gaz, bazı koşullar altında sıkıştırılırsa yoğunlaşmaya başlar. Yoğunlaşma, bütün gaz kütlesi sıvı hale geçinceye dek basınç artmaksızın devam eder. Bu fiziksel olayı açıklamak için Andrews adlı araştırmacı tarafından ortaya "DURUMLARIN SÜREKLİLİĞİ İLKESİ", atılmıştır. "Durumların Sürekliliği ilkesine göre, sıvı hali ile gaz hali arasında esaslı bir ayırım yoktur ve bunlar bir fiziksel değişim sürecinin sınırlarını oluştururlar"

Gazların hangi koşullar yerine getirildiği zaman yoğunlaşmaya başlayabileceğini de araştıran Andrews kritik basınç, kritik sıcaklık ve kritik özgül hacimle karakterize edilebilen KRİTİK DURUM kavramını bilime sokmuştur.

Andrews, önceleri, karbondioksit, amonyak ve eter buharı gibi gazlar üzerinde birçok deneyler yapmıştır. Bu deneylerle her gaz için ayrı kritik bir sıcaklığın bulunduğu gösterilmiş ve kritik sıcaklığın üstündeki sıcaklıklarda da sıkıştırma basıncı hangi değere sahip olursa olsun gazı sıvılaştırmanın olanaksızlığı anlaşılmıştır.

Kritik sıcaklıkta sıkıştırılan gazın basıncı belirli bir değere ulaştıktan sonra yoğunlaşma sıvı ve gaz fazlarına ayrışarak değil, bütün kütle gaz halinden sıvı haline dönüşerek gerçekleşir. İşte kritik sıcaklıkta izoterm olarak sıkıştırılan gazı sıvı hale getirmek için kullanılan en küçük basınca KRİTİK BASINÇ ve gazın işgal etmiş olduğu hacmin kütle birimine düşen değerine de KRİTİK ÖZGÜL HACİM denir.

Aşağıda (4.1 Numaralı Çizelgede) endüstriyel değeri bulunan gazların kritik sıcaklığı, kritik basıncı ve kritik özgül hacmi verilmiştir.

Genel Gaz Kanunu, bilindiği gibi,

$$PV = RT$$

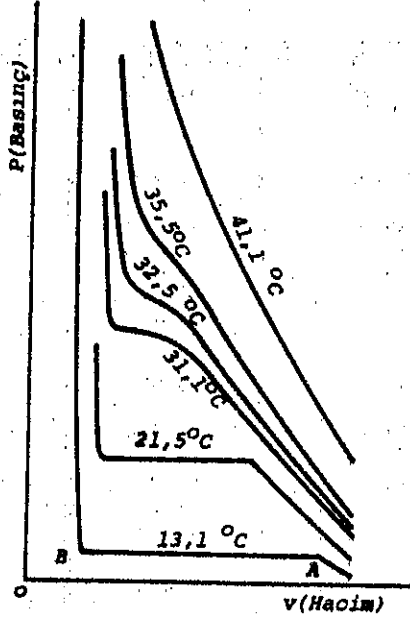
eşitliği ile ifade edilir. Kritik sıcaklığın altındaki sıcaklıklarda oluşturulan sıvı-gaz karışımına Genel Gaz Kanununu uygulamak olanaksızdır. Bunun için sıvı halini gaz haline

4.1. Numaralı Çizelge

	Kritik Sıcaklık t_k (°C)	Kritik Basınç p_k (kg/cm ²)	Kritik Özgül Hacim v_k (m ³ /kg)
Helyum (He)	- 268,97	2,8424	1,5151 · 10 ⁻²
Hidrojen (H ₂)	- 239,90	13,2300	3,2258 · 10 ⁻²
Azot (N ₂)	- 147,13	34,6256	0,3344 · 10 ⁻²
Argon (Ar)	- 122,44	49,6128	0,1886 · 10 ⁻²
Oksijen (O ₂)	- 118,80	51,3699	0,25 · 10 ⁻² - 0,15 · 10 ⁻²
Karbondioksit (CO ₂)	31,25	75,3494	0,2155 · 10 ⁻²
Klorlu hidrojen (HCL)	51,40	84,2384	0,163 · 10 ⁻² - 0,216 · 10 ⁻²
Amonyak (NH ₃)	122,90	119,4841	0,4237 · 10 ⁻²
Benzin (C ₆ H ₁₄ - C ₇ H ₁₆)	288,50	49,4991	0,3284 · 10 ⁻²
Su (H ₂ O)	364,30	201,1385	0,4812 · 10 ⁻²

bağlamak düşüncesi ile KARAKTERİSTİK DENKLEMLER olarak adlandırılan başka denklemler önerilmiştir. Bu denklemlere değinmeden önce kısaca, karbondioksitin izotermeleri üzerinde duracağız. (Şekil-4.1)'de, Clapeyron Koordinatları sisteminde, ilk kez Andrews tarafından çizilen karbondioksitin izotermeleri görülmektedir. (13,1 °C) sıcaklıkta elde edilen izotermi alalım. Alçak basınçta hacim, görüldüğü gibi, büyüktür. Basınç artınca yani karbondioksit sıkıştırılınca hacim küçülür. (A) noktasına gelindiği, diğer bir deyişle basınç (P_A) ve hacim de (v_A) değerini aldığı zaman yoğunlaşma başlar ve bu süreçte hacim küçülmeğe devam ederken basınç sabit kalır. Yoğunlaşma süreci (B) noktasında son bulur. İzoterm, (A) ve (B) noktalarının sınırladıkları aralıkta yatay konumdadır. (B) noktasından sonra

hacmi küçültmek için basıncın çok büyük değerlere ulaşması gerekir ve izoterm neredeyse (op) eksenine paralel olur. (31,1 °C) sıcaklığa kadar izoterm biribirine benzerler.



Şekil-4.1 (CO₂)'nin sıkıştırma izotermi

Ancak izotermilerin sahanlık denilen yatay konumdaki bölümleri giderek kısalır ve (32,5 °C) sıcaklıktaki izoterm üzerinde sahanlık bulunmaz. Bu ve bundan daha büyük sıcaklıklarda karbondioksiti sıkıştırarak yoğunlaştırmak artık olanaksızdır. Sıcaklık ne kadar yüksek olursa izoterm de yetkin gaz izotermine o kadar yakın olur. (32,5 °C) sıcaklıktaki izoterm üzerinde sahanlık olmaması, karbondioksit için kritik sıcaklığın (32,5 °C) ve (31,1 °C) sıcaklık sınırları arasında bulunduğunu gösterir.

2) VAN DER WAALS DENKLEMİ

Boyle ve Mariotte Kanunu deneysel bir kanundur. İlk yaklaşımda deneysel bulgulara uygun sonuçlar veren bu kanunun

düşük basınçlarda tüm gazlar için geçerli olduğu kabul edilir. Boyle ve Mariotte Kanununun geçerliliğini sağlamak düşüncesiyle moleküllerin boyutsuz olduğu kabul edilmiştir. Gerçekte her molekülün belirli bir hacmi vardır ve bir molekülün işgal etmekte olduğu yerin eş zamanda başka bir molekül tarafından işgal edilmesi de olanaksızdır.

Sıkıştırılan gazın hacmi küçülür. Fakat öyle bir an gelir ki, sıkıştırma basıncı ne kadar büyük bir değer alırsa alsın artık gazın hacmini küçültmek olanaksız olur. İşte sıkıştırma basıncı ne kadar büyük bir değer alırsa alsın sıkıştırılan gazın işgal edebileceği en küçük hacme KOVOLÜM denir. Kovolüm, normal koşullarda, bir gazın işgal etmiş olduğu hacmin çok küçük bir kesrini oluşturur.

Bir gazın belirli bir basınç ve belirli bir sıcaklıktaki hacminden kovolüm çıkarılırsa o gaz için moleküllerarası hacim bulunur.

Yapılan deneysel araştırmalarla sıkıştırılan gazlarda moleküllerarası etkileşimin dış basınç yönünde bir basınç oluşturduğu gösterilmiştir. Dış basınçla moleküllerarası etkileşimin oluşturduğu basıncın toplamına Termodinamikte TOPLAM BASINÇ denir.

Van der Waals adlı araştırmacıya göre, gerçek gazlar için Genel Gaz Kanununa girmesi gereken basınç ve hacim bu toplam basınçla moleküllerarası hacimdir. Laplace adlı araştırmacı, yapmış olduğu kuramsal ve deneysel çalışmalarla moleküllerarası etkileşimin oluşturduğu basıncın molar hacmin karesi ile ters orantılı olduğunu kanıtlamıştır. Moleküllerarası etkileşimin oluşturduğu basıncı (π), molar hacmi (v_m) ve oran etkenini de (a) ile gösterecek olursak, bu açıklama uyarınca

$$\pi = \frac{a}{v_m^2}$$

eşitliğini yazabiliriz. Diğer yandan toplam basıncı (P_G), dış basıncı da (P) ile gösterebiliriz. Toplam basınç, dış basınçla

moleküllerarası etkileşimin oluşturduğu basıncın toplamı olduğuna göre,

$$P_S = P + \pi$$

eşitliği yazılabilir. Moleküllerarası molar hacim (v), kovolüm de (b) olsun. Molar hacim (v_m) olduğu için

$$v = v_m - b$$

olur. Bu durumda üniversal gaz sabiti (R_u), sıcaklık (T) olduğuna göre, Van der Waals tarafından yapılan açıklama uyarınca Genel Gaz Kanununu ifade eden eşitliği gerçek gazlar için

$$P_S \cdot v = R_u T$$

şeklinde yazabiliriz.

$$P_S = P + \pi$$

$$\pi = \frac{a}{v_m^2}$$

ve

$$v = v_m - b$$

olduğu için

$$\left(P + \frac{a}{v_m^2}\right) (v_m - b) = R_u \cdot T$$

eşitliği elde edilir. Bu eşitliğe Termodinamikte Van der Waals Denklemi denir. Van der Waals Denklemi en belirgin niteliği, yoğunlaşma sürecinde de geçerliliğini korumuş olmasıdır. Bu denklemden yararlanılarak hem moleküllerarası etkileşimin oluşturduğu basınç ve hem de sıkıştırılarak yoğunlaştırılan gazın kritik sıcaklığı hesaplanabilir. Aşağıda (5.2. Numaralı çizelgede), endüstriyel değeri yüksek olan bazı gazlar için (a)'nin ve (b)'nin değerleri verilmiştir.

4.2. Numaralı Çizelge

	Oran Etkeni a ($\text{kg} \cdot \text{m}^4 / \text{mol}^2$)	Kovolüm b (m^3 / mol)
Helium (He)	$2,14 \cdot 10^{-4}$	$51 \cdot 10^{-6}$
Hidrojen (H_2)	$19,50 \cdot 10^{-4}$	$22 \cdot 10^{-6}$
Hava	$133 \cdot 10^{-4}$	$36,6 \cdot 10^{-6}$
Oksijen (O_2)	$134,10 \cdot 10^{-4}$	$31 \cdot 10^{-6}$
Karbondioksit (CO_2)	$364 \cdot 10^{-4}$	$42,75 \cdot 10^{-6}$
Amonyak (NH_3)	$406 \cdot 10^{-4}$	$36,40 \cdot 10^{-6}$
Su (H_2O)	$587 \cdot 10^{-4}$	$33,20 \cdot 10^{-6}$
Kükürtdioksit (SO_2)	$680 \cdot 10^{-4}$	$57,20 \cdot 10^{-6}$
Benzol (C_6H_6)	$1870 \cdot 10^{-4}$	$120 \cdot 10^{-6}$

3) GERÇEK GAZLARIN GENLEŞME SÜRECİNDE İŞ

Gerçek gazların genleşme sürecinde basınç kuvvetlerinin işini bulmak için gerçeğe yakın sonuçlar elde edilmek istendiği zaman

$$P v = R T$$

eşitliği ile ifade edilen Genel Gaz Kanunundan yararlanmak olanaksızdır. Bu nedenle gerçek gazların izoterm ve adiyabatik genleşme süreçlerinde basınç kuvvetlerinin işi hesaplanırken

$$\left(P + \frac{a}{v_m^2}\right) (v_m - b) = R_u \cdot T$$

şeklindeki Van der Waals Denklemi gözönünde bulundurmak zorunluluğu vardır.

3.a) GERÇEK GAZLARIN İZOTERM GENLEŞME SÜRECİNDE İŞ

Gerçek gazlar için basıncın (P_1)'den (P_2)'ye ve molar hacmin de (v_1)'den (v_2)'ye geldiği bir izoterm genleşme sürecinde basınç kuvvetlerinin işi

$$W_m = R_u T \ln\left(\frac{V_2 - b}{V_1 - b}\right) + a\left(\frac{1}{V_2} - \frac{1}{V_1}\right)$$

eşitliğinden yararlanılarak hesaplanır. Bu eşitlikte yer alan (R_u) üniversal gaz sabiti, (a) oran etkeni ve (b) kovolümdür. Üniversal gaz sabitinin değeri, bilindiği gibi, ($0,848 \text{ kJ/mol} \cdot \text{K}$) alınır. (a) ve (b)'nin değerini yukarıdaki çizelgeden yararlanarak belirlemek gerekir.

3.b) GERÇEK GAZLARIN ADIYABATİK GENLEŞME SÜRECİNDE İŞ

Gerçek gazlar için basıncın (P_1)'den (P_2)'ye, molar hacmin (V_1)'den (V_2)'ye ve sıcaklığın da (T_1)'den (T_2)'ye geldiği bir adiyabatik genleşme sürecinde basınç kuvvetlerinin işi

$$W_m = \frac{C_v}{A} (T_1 - T_2) + a\left(\frac{1}{V_2} - \frac{1}{V_1}\right)$$

eşitliğinden yararlanılarak hesaplanır. Bu eşitlikte yer alan (A) eşdeğerlik katsayısını ve (C_v) de gazın sabit hacimde özgül moleküler ısınma ısısını göstermektedir.

$$C_v = \frac{A R_u}{\gamma - 1}$$

olduğu için

$$W_m = \frac{C_v}{A} (T_1 - T_2) + a\left(\frac{1}{V_2} - \frac{1}{V_1}\right)$$

eşitliği yerine

$$W_m = \frac{R_u}{\gamma - 1} (T_1 - T_2) + a\left(\frac{1}{V_2} - \frac{1}{V_1}\right)$$

eşitliğini yazabiliriz.

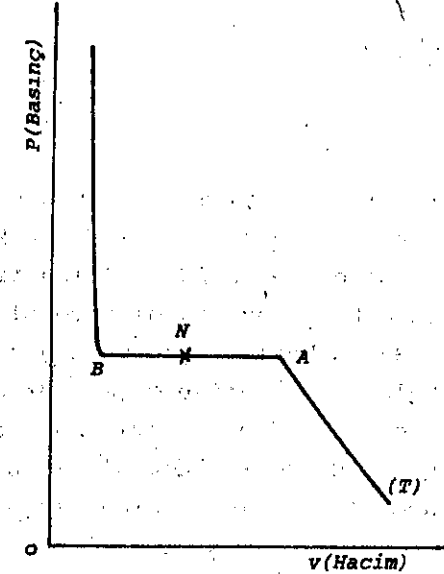
4) BUHARLAŞMA VE TEMEL KAVRAMLAR

Bir termodinamik sistemin belirli bir sıcaklıkta ve bu sıcaklığı karşılayan basınçta bir kaynaktan ısı alarak sıvı

halden gaz haline geçmesine BUHARLAŞMA denir.

Buhar ve buharlaşmaya ilişkin temel kavramları açıklayabilmek için sıkıştırılan gazların yoğunlaşmasına geri döneceğiz.

Kritik sıcaklığın altındaki bir sıcaklıkta bir gaz sıkıştırılırsa basınç belirli bir değere ulaştıktan sonra yoğunlaşmaya başlar ve gaz kütlesi tamamen yoğunlaşmaya dek basınç sabit kalır. (Şekil-4.2)'de, Clapeyron Koordinatları sisteminde, kritik sıcaklığın altında, (T) sıcaklığında sıkıştırılan bir gazın izotermi görülmektedir. (A) noktasına gelindiği zaman basınç, sıcaklığın gerektirmiş olduğu bir değere ulaşır ve yoğunlaşmaya başlar. (B) noktasında gaz kütlesi tamamen yoğunlaşmış olur. (A) ve (B) noktalarının sınırladıkları aralıkta basınç



Şekil-4.2

sabit kalır. (AB) sahanlığı yoğunlaşma sürecini gösterir. (AB) sahanlığı ile gösterilen yoğunlaşma sıvı ve gaz fazlarına ayrılarak gerçekleşir. (A) ve (B) noktaları dışında, (A) ve (B) noktalarının sınırladıkları aralıkta daima sıvı ve gaz fazlarından oluşan bir karışım bulunur. (AB) sahanlığı üzerinde herhangi bir nokta alalım ve bunu (N) ile gösterelim. (N) noktası,

yoğunlaşma sürecinde sıvı - gaz karışımının anlık durumunu belirler. Bu noktadan geçilirken kütlesi (1 kg) olan sıvı - gaz karışımında gazın kütleli değeri (x) ve sıvının kütleli değeri (y) ile gösterecek olursak

$$x + y = 1$$

eşitliğini yazabiliriz. (N) noktası (A) noktası üzerinde alındığı zaman sıvı - gaz karışımında

$$x = 1$$

$$y = 0$$

ve (N) noktası (B) noktası üzerinde alındığı zaman sıvı - gaz karışımında

$$x = 0$$

$$y = 1$$

olur.

Buharlaşma, Termodinamik anlamda, yoğunlaşmanın tersi olan bir olgu, bir süreçtir. Çünkü gerekli fizik koşullar yerine getirildikten sonra (şekil-4.2)'de görülen izoterm ters yönde izlenirse daha önce karşılaşılan olay ve olgularla karşılaşılar. Bu durumda (BA) sahanlığı yoğunlaşma sürecini değil buharlaşma yani sıvı halden gaz haline geçme sürecini ifade eder. (BA) sahanlığı ile gösterilen buharlaşma sürecinde (B) ve (A) noktaları dışında, (B) ve (A) noktalarının sınırladıkları aralıkta, daha önce olduğu gibi, daima sıvı - buhar karışımı bulunur. Burada sıvı - gaz karışımı değil de sıvı - buhar karışımı denilmesinin nedeni, belirli koşullarda sıvı halden gaz haline geçen maddesel sisteme Termodinamikte BUHAR denilmesidir.

(A) ve (B) noktalarının sınırlamış oldukları aralıkta, buharlaşma sürecinde, (A) ve (B) noktaları dışında buharlaşma sahanlığı üzerinde alınan herhangi bir noktadaki sıvı - buhar karışımına DOYGUN BUHAR ve bu noktadan geçildiği anda kütlesi (1 kg) olan doymuş buharın içerdiği buhar miktarının kütleli

değerine de BUHAR TITRİ denir. Buhar titri, genel olarak (x) ile gösterilir. Doymuş buharın içerdiği sıvı miktarının kütleli değeri (y) ile gösterecek olursak, daha önce olduğu gibi,

$$x + y = 1$$

eşitliğini yazabiliriz. (N) noktası (A) noktası üzerinde alındığı zaman buhar titri

$$x = 1$$

ve (N) noktası (B) noktası üzerinde alındığı zaman buhar titri de

$$x = 0$$

olur.

Termodinamikte buhar titri sıfır olan doymuş buhara KURU BUHAR denir. Kuru buhar denildiği zaman daima buhar titri sıfır olan doymuş buhar anlaşılmalıdır.

Kritik sıcaklığın altında ne kadar sıcaklık varsa o kadar da izoterm vardır. Bu izotermelerin yoğunlaşma ya da buharlaşma sahanlığı kritik sıcaklıktan uzaklaştıkça büyür kritik sıcaklığa yaklaştıkça küçülür. Buharlaşma sahanlığı kritik izoterm üzerinde sıfır olur ve bir nokta ile gösterilir. İşte Clapeyron Koordinatları sisteminde bu nokta ile kritik sıcaklığın altındaki sıcaklıklarda çizilen izoterm üzerinde bulunan buharlaşma ya da yoğunlaşma sahanlıklarını sınırlayan noktaların geometrik yerine DOYGUNLUK EĞRİSİ denir. (Şekil-4.3)'de, doymuşluk eğrisi görülmektedir. (K) noktası, kritik izoterm üzerinde bulunan ve buharlaşma sahanlığını gösteren noktadır. Clapeyron Koordinatları sisteminde (K) noktasının koordinatları kritik basıncı (P_k) ve kritik hacmi (v_k) ifade eder. (A) ve (B) noktalarının sınırladıkları hacim eksenine paralel doğru, kritik sıcaklığın altında bulunan bir sıcaklıktaki izoterm buharlaşma sahanlığını göstermektedir. (K) noktasının üzerinde kalan bölge SÜREKLİ GAZ BÖLGESİ olarak adlandırılır. Doymuşluk eğrisinin sağ yanında kalan bölge BUHAR BÖLGESİ ve sol yanında kalan bölge de SIVI BÖLGESİ'dir.

Bu açıklamadan sonra (AB) buharlaşma sahanlığı üzerinde

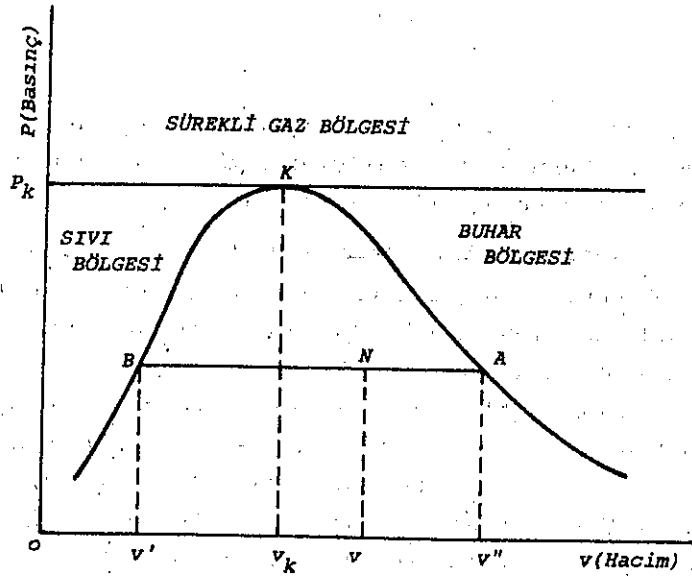
alınan (N) noktasında buhar titrinin nasıl hesaplandığını görelim. (A) noktasında buhar titri

$$x = 1$$

ve (B) noktasında buhar titri

$$x = 0$$

olduğu için (A) noktasında hacim salt buhar hacmi, (B) noktasında hacim de salt sıvı hacmi olur. (N) noktasında buhar titrinin (x) ve doymuş buhar hacminin de (v) olduğunu kabil edelim.



Şekil-4.3 Doymunluk Eğrisi

(A) noktasında salt buhar hacmi (v'') ve (B) noktasında salt sıvı hacmi (v') olduğuna göre,

$$v = (1 - x) v' + x v''$$

eşitliğini yazabiliriz. Buradan

$$x = \frac{v - v'}{v'' - v'}$$

eşitliği elde edilir. Diğer yandan

$$v - v' = BN$$

ve

$$v'' - v' = AB$$

olduğu için

$$x = \frac{v - v'}{v'' - v'}$$

eşitliğinden yararlanarak

$$x = \frac{BN}{AB}$$

ve

$$1 - x = \frac{AN}{AB}$$

eşitliklerini yazabiliriz. Bu eşitliklerin birleşiminden de

$$\frac{x}{1-x} = \frac{x}{y} = \frac{BN}{AN}$$

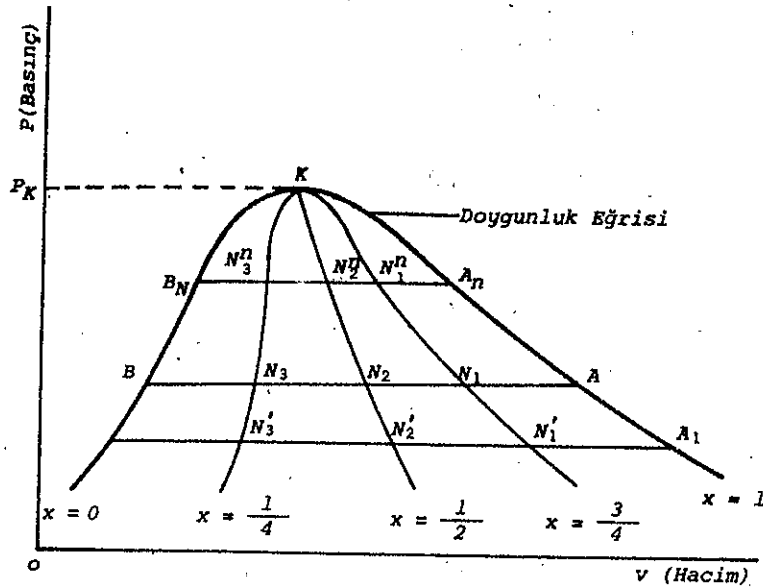
eşitliği elde edilir.

$$\frac{x}{y} = \frac{BN}{AN}$$

eşitliği, bizi, doğal olarak buharlaşma sahanlığı üzerinde titri sabit olan eğrilerin çizimini gerçekleştirmeğe yöneltir. Kritik izotermin altındaki izotermeler üzerinde bulunan buharlaşma sahanlıklarında alınan ve buhar titri aynı olan noktaların geometrik yerine TITRI SABİT EĞRİLER denir.

$$x = \frac{1}{2}$$

dışında kalan bütün titri sabit eğriler, (şekil-4.4)'de görüldüğü gibi, doymunluk eğrisine (K) noktasında teğet olurlar.



Şekil-4.4 Titri Sabit Eğriler

5) BUHAR GERİLİM DENKLEMİ

Üzerinde buharlaşma sahanlığı bulunan izotermin oluştuğu sıcaklığa DOYGUNLUK SICAKLIĞI ve Clapeyron Koordinatları sisteminde doğunluk sıcaklığında oluşan izoterm üzerinde buharlaşma sahanlığını sınırlandıran noktaların ordinatına da DOYGUNLUK BASINCI denir. Doğunluk sıcaklığından ve doğunluk basıncından doğun buharın oluştuğu buharlaşma sürecinde sabit kalan sıcaklık ve basınç anlaşılmalıdır.

Doğunluk basıncı ve doğunluk sıcaklığı arasında yakın bir ilişki vardır. Termodinamikte, buharlaşma sürecinde sabit kalan doğunluk basıncı ve doğunluk sıcaklığı arasındaki ilişkiyi gösteren eşitliklere BUHAR GERİLİM DENKLEMLERİ denir.

Su için, (0 °C) ve (200 °C) sıcaklık sınırları arasında geçerli olan Joseph Bertrand tarafından verilmiş

$$\log p = 17,443 - \frac{2795}{T} - 3,869 \log T$$

şeklindeki buhar gerilim denklemi ile (100 °C) ve (250 °C) sıcaklık sınırları arasında geçerli olan Duperray adlı araştırmacı tarafından verilmiş

$$p = \left(\frac{t}{100}\right)^n$$

şeklindeki buhar gerilim denkleminde yararlanılır. Bu buhar gerilim denklemlerinden birincisine Joseph Bertrand Formülü ve ikincisine de Duperray Formülü denir. Joseph Bertrand Formülünde yer alan (T) Kelvin derecesi olarak doğunluk sıcaklığını, (p) atmosfer olarak doğunluk basıncını ve Duperray Formülünde yer alan (t) santigrad derecesi olarak doğunluk sıcaklığını (p) de atmosfer olarak doğunluk basıncını göstermektedir.

6) BUHARLAŞMA ISISI

Kütlesi (1 kg) olan sıvıyı doğunluk sıcaklığında ve doğunluk basıncından tamamen buharlaştırmak için gerekli ısı miktarına BUHARLAŞMA ISISI denir. Su için buharlaşma ısısının hesabında, (0 °C) ve (250 °C) sıcaklık sınırları arasında geçerli olan Regnault tarafından verilmiş

$$r = 606,5 - 0,695 t$$

eşitliğinden yararlanılır. Bu eşitliğe, Termodinamikte Regnault Formülü denir. Regnault Formülünde yer alan (t) santigrad derecesi olarak doğunluk sıcaklığını ve (r) de (kcal/kg) olarak buharlaşma ısısını göstermektedir.

$$T = 273 + t$$

olduğu için Regnault Formülü

$$r = 606,5 - 0,695 t = 606,5 - 0,695 (T - 273)$$

$$r = 796,235 - 0,695 T$$

eşitliğine dönüşür. Buhar titri

$$0 < x < 1$$

olduğu zaman buharlaşma ısısı

$$r_x = x \cdot r$$

eşitliğinden yararlanılarak bulunur. Bu eşitlikte (r_x), buhar titri (x) olan doymuş buharın buharlaşma ısısını göstermektedir.

7) TOPLAM BUHARLAŞMA ISISI

Kütlesi (1 kg) olan sıvıyı bulunduğu sıcaklıktan doymuşluk sıcaklığına getirmek ve sonra doymuşluk sıcaklığında ve doymuşluk basıncında tamamen buharlaştırmak için gerekli ısı miktarına TOPLAM BUHARLAŞMA ISISI denir. Toplam buharlaşma ısısını (λ) ve kütlesi (1 kg) olan suyu bulunduğu sıcaklıktan doymuşluk sıcaklığına getirmek için gerekli ısı miktarını da (q) ile gösterecek olursak

$$\lambda = q + r$$

eşitliğini yazabiliriz. (0°C) ve (250°C) sıcaklık sınırları arasında su için buharlaşma ısısı bilindiği gibi,

$$r = 606,5 - 0,695 t$$

şeklindeki Regnault Denkleminden yararlanılarak bulunur. Regnault Denklemi ile

$$\lambda' = q + r$$

eşitliğinin birleşiminden

$$\lambda = q + (606,5 - 0,695 t)$$

eşitliği elde edilir. Suyun bulunduğu sıcaklığı (t_0) ile

gösterelim. (C) suyun özgül ısınma ısısı olduğuna göre,

$$q = C (t - t_0)$$

eşitliğini yazabiliriz. Bu durumda

$$\lambda = q + (606,5 - 0,695 t)$$

ve

$$q = C (t - t_0)$$

eşitliklerinin birleşiminden

$$\lambda = C (t - t_0) + (606,5 - 0,695 t)$$

eşitliğini elde edebiliriz. Buhar titri

$$0 < x < 1$$

olduğu zaman doymuş buharın toplam buharlaşma ısısı

$$\lambda_x = q + r_x$$

eşitliğinden yararlanılarak bulunur. Burada (λ_x), buhar titri (x) olan doymuş buharın toplam buharlaşma ısısını göstermektedir.

8) BUHARLAŞMA SÖRECİNDE İŞ

Buharlaşma sürecinde hacimde artış olur ve termodinamik sistem bu nedenle çevreye iş iletir. Buharlaşma sürecinde çevreye iletilen işi bulmak için önce hacimde meydana gelen değişme miktarını saptamak gerekir. Termodinamik sistemin buharlaşma sürecinin başında hacmi (v'), buharlaşma sürecinin sonunda hacmi (v'') olduğuna göre, buharlaşma sürecinde hacimde meydana gelen değişme miktarı ($v'' - v'$) olur. Bu durumda doymuşluk basıncını (P) ve buharlaşma sürecinde çevreye iletilen işi de (W) ile gösterecek olursak

$$W = P (v'' - v')$$

eşitliğini yazabiliriz. Buhar titri

$$0 < x < 1$$

olduğu zaman buharlaşma sürecinde çevreye iletilen iş

$$W_x = x \cdot W$$

eşitliğinden yararlanılarak bulunur. Bu eşitlikte (W_x), buharlaşma sürecinde, buhar titri (x) olduğu zaman çevreye iletilen işi göstermektedir.

9) BUHARLAŞMA SÖRECİNDE İŞ ENERJİ DEĞİŞİMİ

Buharlaşma sürecinde termodinamik sistemin iç enerjisinde meydana gelen değişme miktarı

$$P = r - A W$$

eşitliğinden yararlanılarak bulunur. Bu eşitlikte yer alan (P), buharlaşma sürecinde termodinamik sistemin iç enerjisinde meydana gelen değişme miktarını göstermektedir. Buhar titri

$$0 < x < 1$$

olduğu zaman, buharlaşma sürecinde termodinamik sistemin iç enerjisinde meydana gelen değişme miktarını hesaplamak için

$$P_x = r_x - A W_x$$

eşitliğinden yararlanmak gerekir. Diğer yandan

$$r_x = x \cdot r$$

ve

$$W_x = x \cdot W$$

olduğu için

$$P_x = x (r - A W)$$

eşitliğini yazabiliriz.

10) BUHARLAŞMA ANTROPİSİ

Buharlaşma sürecini sınırlayan sıvı hali ile gaz hali arasında kütlesi (1 kg) olan suyun antropisinde meydana gelen değişme miktarına BUHARLAŞMA ANTROPİSİ denir. Buharlaşma ısısı (r) ve doymuluk sıcaklığı da (T) olduğuna göre, buharlaşma antropisi (s''), buharlaşma sürecinde doymuluk sıcaklığı sabit kaldığı için

$$s'' = \frac{r}{T}$$

eşitliğinden yararlanılarak bulunur. Buhar titri

$$0 < x < 1$$

olduğu zaman buharlaşma antropisini

$$s''_x = \frac{r_x}{T}$$

eşitliğinden yararlanarak bulmak gerekir.

$$r_x = x \cdot r$$

olduğu için

$$s''_x = \frac{x \cdot r}{T}$$

eşitliğini yazabiliriz.

11) TOPLAM BUHARLAŞMA ANTROPİSİ

Kütlesi (1 kg) olan suyun bulunduğu sıcaklık ve doymuluk sıcaklığı arasında antropisinde meydana gelen değişme miktarı ile buharlaşma sürecini sınırlayan sıvı hali ve gaz hali arasında antropisinde meydana gelen değişme miktarının toplamına TOPLAM BUHARLAŞMA ANTROPİSİ denir. Kütlesi (1 kg) olan suyun bulunduğu sıcaklık ve doymuluk sıcaklığı arasında antropisinde meydana gelen değişme miktarını (s') ve toplam antropi

miktarını da (s) ile gösterecek olursak, buharlaşma antropisi (s") olduğuna göre, yukarıda yapmış olduğumuz tanım uyarınca

$$s = s' + s''$$

eşitliğini yazabiliriz. Buhar titri

$$0 < x < 1$$

olduğu zaman toplam buharlaşma antropisi

$$s_x = s' + s''_x$$

eşitliğinden yararlanılarak bulunur. Kütleli (1 kg) olan suyun bulunduğu sıcaklık ve doymuşluk sıcaklığı arasında antropisinin meydana gelen değişme miktarını hesaplamak için suyun özgül ısınma ısısı (C) olduğuna göre, daha önce açıklamış olduğumuz gibi,

$$s' = C \cdot \ln \left(\frac{T}{T_0} \right)$$

eşitliğinden yararlanmak gerekir. Diğer yandan

$$s'' = \frac{r}{T}$$

ve

$$s''_x = \frac{x \cdot r}{T}$$

olduğu için

$$s = s' + s''$$

ve

$$s_x = s' + s''_x$$

eşitlikleri yerine

$$s = C \cdot \ln \left(\frac{T}{T_0} \right) + \frac{r}{T}$$

ve

$$s_x = C \cdot \ln \left(\frac{T}{T_0} \right) + \frac{x \cdot r}{T}$$

eşitliklerini yazabiliriz.

12) DOYGUN BUHARIN ADİYABATİK GENLEŞME SÜRECİNDE İŞ

Basıncın (P_1)'den (P_2)'ye, hacmin (v_1)'den (v_2)'ye ve sıcaklığın (T_1)'den (T_2)'ye geldiği doymuş buharın adiyabatik genleşme sürecinde iş

$$W = \frac{P_2 v_2 - P_1 v_1}{1 - m}$$

eşitliğinden yararlanılarak hesaplanır. Bu eşitlikten yararlanarak doymuş buharın adiyabatik genleşme sürecinde işi hesaplamak için önce basınç ve hacim arasındaki ilişkiyi gösteren bir eşitliği ortaya koymak gerekir. Yapılan deneysel araştırmalar sonunda basıncın (P_1)'den (P_2)'ye ve hacmin de (v_1)'den (v_2)'ye geldiği adiyabatik genleşme sürecinde doymuş buharın basınç ve hacmi arasındaki ilişki,

$$m = 1,14$$

olduğuna göre, Rankin adlı araştırmacı tarafından

$$P_1 v_1^m = P_2 v_2^m$$

eşitliği ile gösterilmiştir. Daha önce yapmış olduğumuz açıklamaya dayanarak

$$v_1 = (1 - x_1) v_1' + x_1 v_1''$$

ve

$$v_2 = (1 - x_2) v_2' + x_2 v_2''$$

eşitliklerini yazabiliriz. Bu eşitliklerde yer alan (v_1') (t_1) doymuşluk sıcaklığında ve (v_2') de (t_2) doymuşluk sıcaklığında suyun özgül hacmini göstermektedir. Suyun özgül hacmi çoğu zaman göz önünde bulundurulmayı gerektirmeyecek kadar küçük bir değere sahiptir. Bunun için

$$v_1 = (1 - x_1) v_1' + x_1 v_1''$$

ve

$$v_2 = (1 - x_2) v_2' + x_2 v_2''$$

eşitliklerini yazabiliriz. Bu iki eşitliğin birleşiminden

$$\frac{v_2}{v_1} = \frac{x_2 v_2''}{x_1 v_1''}$$

eşitliği elde edilir. $\left(\frac{v_2}{v_1}\right)$ genişleme oranı olarak adlandırılır. Ayrıca

$$P_1 v_1^m = P_2 v_2^m$$

olduğu için

$$\left(\frac{P_1}{P_2}\right)^{1/m} = \frac{x_2 v_2''}{x_1 v_1''}$$

eşitliği de yazılabilir.

Adiyabatik dönüşüm sürecinde, bilindiği gibi, doymuş buharın toplam antropisi sabit kalır. Bu nedenle basıncın (P_1) 'den (P_2) 'ye, hacmin (v_1) 'den (v_2) 'ye ve sıcaklığın (T_1) 'den (T_2) 'ye geldiği bir adiyabatik dönüşüm süreci için

$$C \ln T_1 + \frac{x_1 F_1}{T_1} = C \ln T_2 + \frac{x_2 F_2}{T_2}$$

eşitliğini yazabiliriz.

$$C \ln T_1 + \frac{x_1 F_1}{T_1} = C \ln T_2 + \frac{x_2 F_2}{T_2}$$

eşitliğinden de

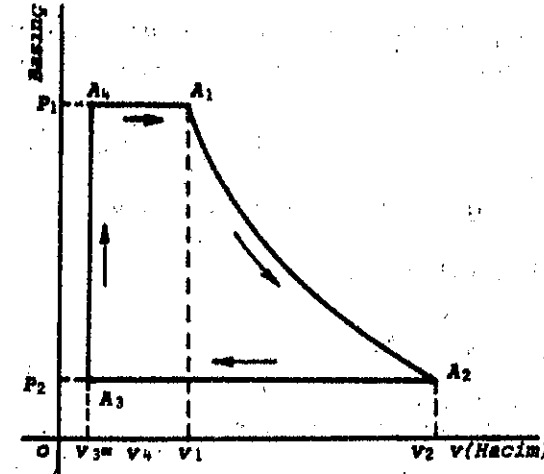
$$x_2 = \frac{T_2}{r_2} \left[C \ln \left(\frac{T_1}{T_2}\right) + \frac{x_1 F_1}{T_1} \right]$$

eşitliği elde edilir. Bu eşitlik, görüldüğü gibi, (x_2) 'yi (x_1) 'in fonksiyonu olarak ifade etmektedir. Adiyabatik genişleme sürecinin sonunda doymuş buharın buhar titri bu eşitlikten yararlanılarak hesaplanır.

13) RANKINE ÇEVİRİMİ

Rankine Çevrimi ilkel buhar makinasının çevrimidir. (Şekil-4.5)'de, Clapeyron Koordinatları sisteminde Rankine

Çevrimi görülmektedir. Buhar makinası, bilindiği gibi, sıcaklıkları farklı iki ısı kaynağına bağlı olarak çalışır. Bu ısı kaynaklarından biri sıcaklığı (T_1) olan buhar kazanı, diğeri de sıcaklığı (T_2) olan kondansördür.



Şekil-4.5 Rankine Çevrimi

Hacim eksenine paralel olan (A_4A_1) doğrusu, (T_1) kazan sıcaklığında buharlaşma sürecini, (A_2A_3) doğrusu da (T_2) kondansör sıcaklığında yoğunlaşma sürecini ifade eder. (A_4A_1) doğrusu ile (A_2A_3) doğrusu aynı zamanda, (T_1) izotermi üzerinde bulunan buharlaşma sahanlığı ile (T_2) izotermi üzerinde bulunan yoğunlaşma sahanlığını göstermektedir. Buharlaşma sürecinin sonu ile yoğunlaşma sürecinin başlangıcı (A_1A_2) adiyabatığı ile birleştirilmiştir. Clapeyron Koordinatları sisteminde suyun kondansörden buhar kazanına getirilerek buhar kazanı koşullarına uyandırılması (A_3A_4) doğrusu ile gösterilir. (A_3A_4) dönüşüm süreci ile (A_4A_1) buharlaşma sürecinde sıcak kaynaktan ısı alınır ve (A_2A_3) yoğunlaşma sürecinde de soğuk kaynağa ısı verilir. (A_3A_4) dönüşüm süreci ile (A_4A_1) buharlaşma sürecinde sıcak kaynaktan alınan ısı miktarı ile (A_2A_3) yoğunlaşma sürecinde soğuk kaynağa verilen ısı miktarı arasındaki fark işe dönüştürülür. Sıcak kaynaktan alınan ısı miktarını (q_1) , soğuk

kaynağa verilen ısı miktarını (q_2) ve işe dönüştürülen ısı miktarını da (q) ile gösterecek olursak

$$q = q_1 - q_2$$

eşitliğini yazabiliriz. (A_3, A_4) dönüşüm sürecinde alınan ısı miktarı $C(t_1 - t_2)$, buharlaşma sürecinde alınan ısı miktarı ($x_1 r_1$) ve yoğunlaşma sürecinde verilen ısı miktarı da ($x_2 r_2$) olduğu için

$$q = q_1 - q_2 = C(t_1 - t_2) + x_1 r_1 - x_2 r_2$$

$$q = C(t_1 - t_2) + x_1 r_1 - x_2 r_2$$

olur. Verim, bilindiği gibi,

$$\eta = \frac{q}{q_1}$$

eşitliğinden yararlanılarak bulunur.

$$q = C(t_1 - t_2) + x_1 r_1 - x_2 r_2$$

ve

$$q_1 = C(t_1 - t_2) + x_1 r_1$$

olduğu için

$$\eta = \frac{q}{q_1}$$

eşitliğinden

$$\eta = 1 - \frac{x_2 r_2}{C(t_1 - t_2) + x_1 r_1}$$

eşitliği elde edilir.

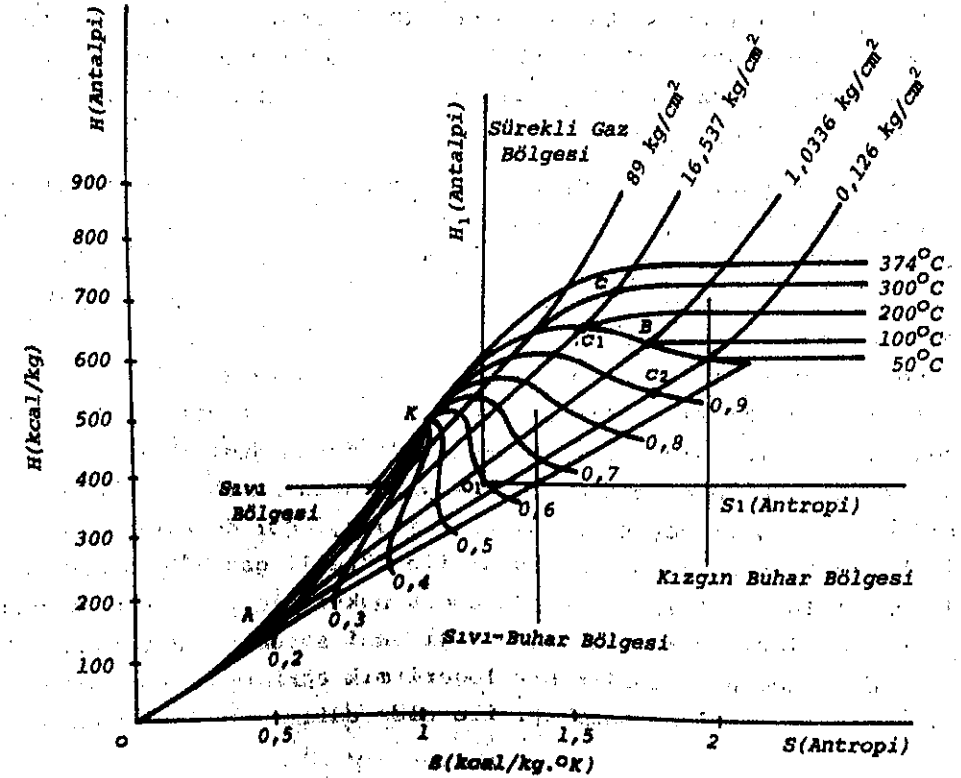
14) SU BUHARININ ANTALPİK DİYAGRAMI-MOLLIER DİYAGRAMI

Antalpi, sabit basınçtaki ısı tutumu olarak da nitelenir. Bunun nedeni, hemen belirtelim ki, buharlaşma sürecinde gizli işi de denilen buharlaşma ısısının bir yandan iç enerji değişimini ve diğer yandan da hacim değişiminden dolayı çevreye iletilen işi karşılamış olmasıdır. Basınç değişmediği için

buharlaşma sürecinde iç enerji değişimi ile çevreye iletilen işi karşılayan buharlaşma ısısı antalpi değişiminden başka bir şey değildir.

Antalpi diyagram doğrudan doğruya antalpi ve entropiyi verir. Bunun için pratik kullanımlara çok elverişlidir. Antalpi diyagramda yatay konumdaki eksen ($\text{kcal/kg} \cdot ^\circ\text{K}$) olarak entropiyi ve düşey konumdaki eksen de (kcal/kg) olarak antalpiyi gösterir.

Su buharının antalpi diyagramı, ilk kez Mollier adlı araştırmacı tarafından hazırlandığı için Termodinamikte MOLLIER DİYAGRAMI olarak adlandırılır. (Şekil-4.6)'da MOLLIER DİYAGRAMI görülmektedir. Yatay konumdaki entropi ve düşey konumdaki antalpi



Şekil-4.6 Su buharının Antalpi Diyagramı

eksenlerinin oluşturdıkları dik açılı koordinatlar sisteminde su buharının antalpik diyagramı doygunluk eğrisi, izobarlar, izoterm ve titri sabit olan eğrilerden oluşmuştur. Doymunluk eğrisi, bilindiği gibi, kritik noktanın altındaki sıcaklıklarda, buharlaşma sürecinin başlangıç ve sonunu gösteren noktaların geometrik yeri olarak tanımlanır. Bu eğri, sıvı bölgesi ile kızgın buhar bölgesini sınırlayan ve sıvı-buhar bölgesini sıvı bölgesi ile kızgın buhar bölgesinden ayıran eğridir,

Antalpik diyagramda, doygunluk eğrisinin altında kalan bölge sıvı-buhar bölgesi, üstünde kalan bölge de kızgın buhar bölgesi ile sürekli gaz bölgesidir. Bu arada yeri gelmişken kızgın buharın da tanımına yapalım. Bilindiği gibi, sabit basınçta tutulan doymun kuru buhar ısıtılırsa sıcaklığı yükselir. İşte sabit basınçta tutulan doymun kuru buharın ısıtılmasından elde edilen buhara KIZGIN BUHAR ve aynı basınçta doymun kuru buharın doygunluk sıcaklığı ile kızgın buharın sıcaklığı arasındaki farka da KIZDIRMA denir.

Su buharının antalpik diyagramında izobarlar sıvı bölgesinden, sıvı-buhar bölgesinden ve kızgın buhar bölgesi ile sürekli gaz bölgesinden geçerler. Su buharının antalpik diyagramında izobarların sıvı bölgesinde kalan kısımları neredeyse doygunluk eğrisi üzerinde bulunurlar. Bu nedenle izobarların sıvı bölgesinde kalan kısımlarını orijin noktası (o) ile kritik noktanın (K) sınırladıkları aralıkta doygunluk eğrisinin gösterdiğini kabul edebiliriz. Sıvı - buhar bölgesinde durum değişikliği sabit sıcaklıkta meydana geldiği için izobarların bu bölgede kalan kısımları, eğimi doygunluk sıcaklığına eşdeğer doğrular olur. İzobarların kızgın buhar bölgesi ile sürekli gaz bölgesinde kalan kısımları antalpi eksenine doğru bükülürler. Buharın durumu yetkin gazların durumuna yaklaştığı yani sürekli gaz bölgesine geçildiği zaman izobarlar bir logaritmik eğrinin antropi eksenine paralel öteleme hareketi ile elde edilen eğrilere dönüşürler.

İzoterm, sıvı - buhar bölgesinde izobarlarla çakışır yani izobarların üzerinde bulunurlar. Kızgın buhar bölgesi ile

sürekli gaz bölgesinde izoterm, antalpi ekseninden uzaklaştıkça antropi eksenine paralel bir konuma gelirler.

Titri sabit olan eğriler sıvı - buhar bölgesinde bulunan ve doygunluk eğrisine benzeyen eğrilerdir. Bu eğrilerin hepsi (K) noktasında birleşirler.

Su buharının antropik diyagramının oluşumunu bu şekilde açıkladıktan sonra kullanımı üzerinde duralım.

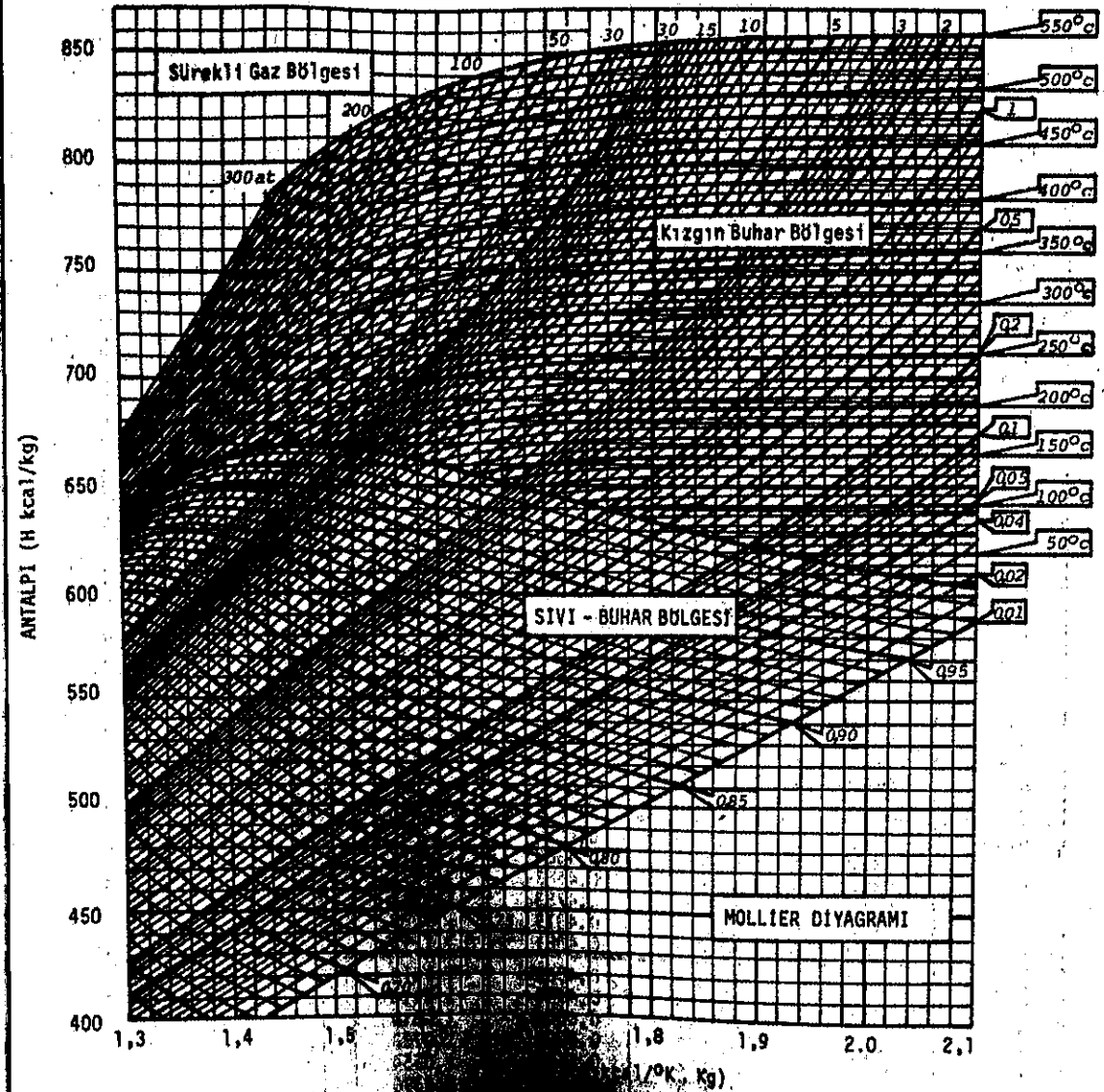
Kızgın buhar bölgesinde (300 °C) sıcaklıkta oluşan izotermle (16,537 kg/cm²) basınçta oluşan izobarı alalım. Bunlar (C) noktasında kesişirler. (C) noktası, su buharının antalpik diyagramı üzerinde, kızgın buhar bölgesinde (300 °C) sıcaklık ve (16,537 kg/cm²) basınçta buharı karakterize eden bir noktadır. Bunun için (C) noktasının koordinatları kızgın buharın antalpi ve antropisini gösterir. (C) noktasının koordinatları, görüldüğü gibi, (724 kcal/kg) ve (1,648 kcal/kg.°K)'dir. Bu durumda (300 °C) sıcaklıkta ve (16,537 kg/cm²) basınçta kızgın buharın antalpisi yani toplam buharlaşma ısı (724 kcal/kg) ve toplam buharlaşma antropisi de (1,648 kcal/kg.°K) olur.

Şimdi doygunluk eğrisi üzerinde, izotermle izobarların kesiştikleri noktaları inceleyelim. Doymunluk eğrisi üzerinde kesilen izobar ve izoterm hemen belirtelim ki, doymunluk basıncı ve doymunluk sıcaklığında oluşan izobar ve izoterm, (Şekil-4.6)'da görüldüğü gibi, (200 °C) sıcaklıkta oluşan izotermle (16,537 kg/cm²) basınçta oluşan izobar, doymunluk eğrisi üzerinde (C₁) noktasında kesişmektedirler. (C₂) noktasının koordinatları (658 kcal/kg) ve (1,538 kcal/kg.°K)'dir. Bunlar (200 °C) doymunluk sıcaklığında ve (16,537 kg/cm²) doymunluk basıncında doymun kuru buharın toplam buharlaşma ısı ile toplam buharlaşma antropisini göstermektedirler.

Doymunluk eğrisinin altında kalan sıvı - buhar bölgesinde titri sabit olan eğrilerle izobar ve izoterm, kesiştikleri noktalar antalpik diyagram üzerinde doymun buhar halini karakterize eden noktalardır. Sıvı - buhar bölgesinde, örneğin (50 °C) doymunluk sıcaklığında oluşan izoterm ve (0,126 kg/cm²) doymunluk

basıncında oluşan izobarla (0,90) buhar titrinde oluşan izotit-
rin kesiştikleri (C₂) noktasını alalım. (C₂) noktası, antalpik
diyagram üzerinde doymuluk basıncı (0,126 kg/cm²) doymuluk
sıcaklığı (50 °C) ve buhar titri de (0,90) olan doymun buharın
durumunu karakterize eden noktadır. Bu noktanın koordinatları
(526 kcal/kg) ve (1,751 kcal/kg.°K)'dir. Bunun için doymunluk
basıncı (0,126 kg/cm²), doymunluk sıcaklığı (50 °C) ve buhar
titri (0,90) olan doymun buharın toplam buharlaşma ısısı
(526 kcal/kg) ve toplam buharlaşma antropisi de (1,751 kcal/kg.°K)
olur.

Endüstriyel diyagramlar, hata payını azaltmak düşünce-
siyle (400 kcal/kg)'dan büyük toplam buharlaşma ısısı ve
(1,2 kcal/kg.°K)'den büyük toplam buharlaşma antropisi için ha-
zırlanmaktadır. (Şekil-4.7)'de, (şekil-4.6)'da olduğu gibi, (o)
orijin noktası (o₁) noktasına, (oS) eksenine (oS₁) eksenine üzerine
ve (oH) eksenine de (oH₁) eksenine üzerine kaydırılarak, (400 kcal/kg)'
dan büyük toplam buharlaşma ısısı ve (1,2 kcal/kg.°K)'den büyük
toplam buharlaşma antropisi için düzenlenmiş bir Mollier Diyag-
ramı görülmektedir.



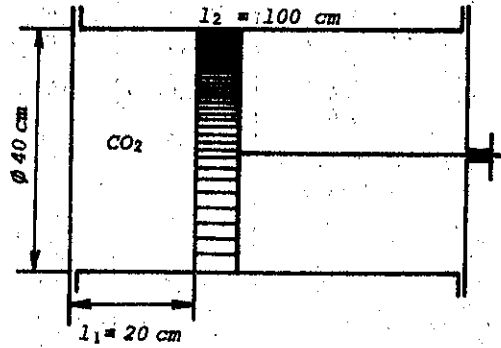
Doygunluk Basıncı p (at)	Doygunluk Sıcaklığı T (°K)	Kuru Buharın Özgül Hacmi v" (m³/kg)	Sıvı Antropisti s' (Kcal/kg.°K)	Buharlaşma Antropisti s" (Kcal/kg.°K)	Toplam Buharlaşma Antropisti s (Kcal/kg.°K)	Doygunluk eğrisi üzerinde buharın özgül ısıtma ısıtı Cp (kcal/kg.°K)
0,02	290,3	68,126	0,0616	2,0167	2,0783	0,478
0,04	301,8	35,387	0,1004	1,9198	2,0202	0,479
0,06	309	24,140	0,1240	1,8628	1,9868	0,480
0,08	314,3	18,408	0,1411	1,8220	1,9631	0,481
0,10	318,6	14,420	0,1546	1,7903	1,9449	0,481
0,12	322,2	12,568	0,1659	1,7641	1,9300	0,482
0,15	326,7	10,190	0,1799	1,7322	1,9121	0,483
0,20	332,8	7,777	0,1984	1,6906	1,8890	0,484
0,25	337,6	6,307	0,2129	1,6582	1,8711	0,486
0,30	341,7	5,314	0,2552	1,6314	1,8566	0,487
0,35	345,3	4,600	0,2356	1,6098	1,8444	0,488
0,40	348,5	4,060	0,2448	1,5888	1,8336	0,490
0,50	353,9	3,2940	0,2604	1,5555	1,8159	0,492
0,60	358,5	2,7770	0,2734	1,5281	1,8015	0,404
0,70	362,5	2,4040	0,2846	1,5049	1,7895	0,496
0,80	366	2,1216	0,2944	1,4845	1,7789	0,498
0,90	369,2	1,9003	0,3032	1,4666	1,7698	0,499
1	372,1	1,7220	0,3111	1,4504	1,7615	0,501
1,1	374,8	1,5761	0,3183	1,4358	1,7541	0,503
1,2	377,2	1,4521	0,3250	1,4223	1,7473	0,504
1,4	381,7	1,2571	0,3370	1,3982	1,7352	0,507
1,6	385,7	1,1096	0,3475	1,3773	1,7248	0,510
1,8	389,3	0,9939	0,3569	1,3587	1,7156	0,513
2	392,6	0,9006	0,3655	1,3420	1,7077	0,516
2,5	399,7	0,7310	0,3839	1,3064	1,6903	0,521
3	405,8	0,6163	0,3393	1,2767	1,6760	0,526
3,5	411,1	0,5335	0,4125	1,2515	1,6640	0,531
4	415,8	0,4708	0,4242	1,2295	1,6537	0,536
5	424	0,3820	0,4442	1,1921	1,6363	0,546
5,5	427,6	0,3494	0,4529	1,1761	1,6290	0,550
6	430,9	0,3220	0,4609	1,1612	1,6221	0,554
6,5	434,1	0,2997	0,4683	1,1475	1,6158	0,558
7	437	0,2786	0,4753	1,1349	1,6101	0,561
7,5	439,8	0,2611	0,4819	1,1229	1,6048	0,565
8	422,5	0,2458	0,4881	1,1116	1,5997	0,568
8,5	445	0,2322	0,4939	1,1010	1,5949	0,527
9	447,4	0,2200	0,4995	1,0910	1,5905	0,575
9,5	449,7	0,2091	0,5048	1,0815	1,5863	0,578
10	451,9	0,1993	0,5099	1,0723	1,5822	0,581
11	456,1	0,1822	0,5194	1,0554	1,5748	0,588
12	459,9	0,1678	0,5282	1,0396	1,5678	0,593
13	463,6	0,15565	0,5364	1,0252	1,5616	0,598
14	467	0,14516	0,5440	1,0117	1,5557	0,603
15	470,2	0,13601	0,5513	0,9991	1,5504	0,608
16	473,3	0,12797	0,5581	0,9871	1,5452	0,614
18	479,1	0,11450	0,5707	0,9652	1,5369	0,623
20	484,3	0,10365	0,5821	0,9453	1,5274	0,637

Doygunluk Basıncı p (at)	Doygunluk sıcaklığı t (°C)	Sıvı Isısı H' (kcal/kg)	Toplam Buharlaşma Isısı H" (kcal/kg)	Buharlaşma Isısı H"-H'=r (kcal/kg)	Buharlaşma Sürecinde iç enerji değişimi p (kcal/kg)	Buharlaşma Sürecinde ısıtma değeri AW (kcal/kg)
0,02	17,3	17,3	602,9	585,5	553,6	31,91
0,04	28,8	28,8	608,3	579,4	546,3	39,15
0,06	36	36	611,6	575,6	541,7	33,92
0,08	41,3	41,4	614,1	572,7	538,7	34,49
0,10	45,6	45,7	616	570,4	535,4	34,94
0,12	49,2	49,3	617,7	568,4	533,4	35,32
0,15	53,7	53,8	619,7	565,9	530,1	35,79
0,20	59,8	59,9	622,4	562,6	526,1	36,42
0,25	64,6	64,8	624,6	559,6	522,8	36,92
0,30	68,7	68,9	626,4	557,5	520,2	37,34
0,35	72,3	72,5	628	555,5	517,8	37,70
0,40	75,5	75,7	629,4	553,7	515,6	38,02
0,50	80,9	81,2	631,7	550,5	512	38,56
0,60	85,5	85,8	633,7	547,8	508,8	39,01
0,70	89,5	89,9	635,3	545,5	506,1	39,39
0,80	93	93,5	638,8	543,3	503,6	39,73
0,90	96,2	96,7	638,1	541,4	501,4	40,03
1	99,1	99,6	639,3	539,7	499,4	40,30
1,1	101,8	102,3	640,7	538,4	497,5	40,55
1,2	104,2	104,8	641,3	536,5	495,7	40,78
1,4	108,7	109,4	643,1	533,7	492,6	41,18
1,6	112,7	113,4	644,7	531,2	489,7	41,54
1,8	116,3	117,1	646	528,9	487,1	49,85
2,0	119,6	120,4	647,2	526,8	484,7	42,14
2,5	126,7	127,7	649,9	522,2	479,4	42,74
3	132,8	133,9	652	518,1	474,9	43,23
3,5	138,1	139,4	653,8	514,5	470,8	43,65
4	142,8	144,2	655,4	511,2	467,2	44,01
4,5	147,1	148,6	656,8	508,2	463,9	44,33
5	151	152,6	658,1	505,5	460,8	44,61
5,5	154,6	156,3	659,2	502,9	458	44,87
6	157,9	159,8	660,2	500,4	455,3	45,10
6,5	161,1	163	661,1	498,1	452,8	45,32
7	164	166,1	662	495,9	450,4	45,51
7,5	166,8	168,9	662,8	493,9	448,2	45,67
8	169,5	171,7	663,5	491,8	446	45,86
8,5	172	174,3	664,2	489,9	443,9	46,02
9	174,4	176,8	664,9	488,1	441,9	46,17
9,5	176,7	179,2	665,5	486,3	440	46,30
10	178,9	181,5	666,1	484,6	438,2	46,43
11	183,1	185,8	667,1	481,3	434,6	46,67
12	186,9	189,9	668,1	478,2	431,3	46,88
13	190,6	193,7	668,9	475,1	428,2	47,08
14	194	197,3	669,7	472,1	425,2	47,26
15	197,2	200,7	670,5	469,1	422,2	47,43
16	200,3	203,9	671,2	466,1	419,2	47,58
18	206,1	210	672,1	462,1	415,2	47,86
20	211,3	215,5	673,1	458,1	411,2	48,14

ÇÜZÜMLÜ PROBLEMLER

4.1. PROBLEM

(Şekil-4.8)'de görülen ve ana boyutları verilmiş olan pistonlu silindirin içerisine piston (Ü.Ö.N.)'dan (20 cm) uzaklaşmaya değin sıcaklığı (27 °C) olan (0,44 kg) karbondioksit



Şekil-4.8

doldurulmuştur. Pistonlu silindirin içerisine doldurulan ve sabit sıcaklıkta tutulan karbondioksit daha sonra piston (A.Ö.N.)'ya gelinceye dek genişletilmiştir. Karbondioksit için oran etkeni ($a = 364.10^{-4} \text{ kg.m}^4/\text{mol}$) ve kovolum de ($b = 42,75.10^{-6} \text{ m}^3/\text{mol}$) olarak verildiğine göre, izoterm genişleme sürecinde basınç kuvvetlerinin işi ile izoterm genişleme sürecinin başında ve sonunda karbondioksitin basıncını hesaplayınız.

PROBLEMİN ÇÖZÜMÜ

a) izoterm genişleme sürecinin başında ve sonunda karbondioksitin basıncı

izoterm genişleme sürecinin başında ve sonunda karbondioksitin basıncı

$$\left(P + \frac{a}{v_m^2}\right) (v_m - b) = R_u T$$

şeklindeki Van der Waals Denkleminden yararlanılarak bulunur.

Pistonlu silindirin içerisine doldurulan karbondioksitin molar kütlelerini (m) ile gösterelim. Bu durumda karbondioksitin molar hacmi ile hacmi arasındaki ilişki

$$V = m \cdot v_m$$

olduğuna göre, Van der Waals Denklemine

$$\left(P + \frac{m^2 \cdot a}{V^2}\right) (V - mb) = m R_u T$$

şeklinde yazabiliriz. İzoterm genişleme sürecinin başında basınç (P_1), hacim (V_1) ve izoterm genişleme sürecinin sonunda basınç (P_2), hacim (V_2) olursa Van der Waals Denklemine

$$\left(P_1 + \frac{m^2 \cdot a}{V_1^2}\right) (V_1 - mb) = m R_u T$$

ve

$$\left(P_2 + \frac{m^2 \cdot a}{V_2^2}\right) (V_2 - mb) = m R_u T$$

şeklinde yazmak mümkün olur. Karbondioksitin moleküler tartısı bilindiği gibi, ($G_m = 44.10^{-3} \text{ kg/mol}$)'dur. Pistonlu silindirin içerisine doldurulan karbondioksitin tartısı ($G = 0,44 \text{ kg}$) olduğu için molar kütle

$$m = \frac{G}{G_m} = \frac{0,44 \text{ kg}}{44.10^{-3} \text{ kg/mol}} = 10 \text{ mol}$$

$$m = 10 \text{ mol}$$

bulunur.

$$V_1 = \frac{\pi d^2}{4} \cdot l_1 = \frac{3,14 \cdot 40^2}{4} \cdot 20 = 25120 \text{ cm}^3$$

$$V_1 = 25120 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3$$

$$V_2 = \frac{\pi d^2}{4} \cdot l_2 = \frac{3,14 \cdot 40^2}{4} \cdot 80 = 100480 \text{ cm}^3$$

$$V_2 = 100480 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3$$

$$t = 27 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$T = 273 + t = 273 + 27 = 300 \text{ } ^\circ\text{K}$$

$$T = 300 \text{ } ^\circ\text{K}$$

$$R_u = 0,848 \text{ kgm/mol.}^\circ\text{K}$$

ve

$$a = 364 \cdot 10^{-4} \text{ kg.m}^4/\text{mol}$$

$$b = 42,75 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3/\text{mol}$$

olarak verilmiştir. Bu durumda

$$\left(P_1 + \frac{m^2 a}{V_1^2}\right) (V_2 - mb) = m R_u T$$

eşitliğinden yararlanılarak

$$\left[P_1 + \frac{10^2 \cdot 364 \cdot 10^{-4}}{(25120 \cdot 10^{-6})^2}\right] (25120 \cdot 10^{-6} - 10 \cdot 42,75 \cdot 10^{-6}) = 10 \cdot 0,848 \cdot 300$$

$$(P_1 + 5768,4936) \cdot 24692,5 \cdot 10^{-6} = 2544$$

$$P_1 = 9,7258 \cdot 10^4 \text{ kg/m}^2$$

ve

$$\left(P_2 + \frac{m^2 a}{V_2^2}\right) (V_2 - mb) = m R_u T$$

eşitliğinden yararlanılarak da

$$\left[P_2 + \frac{10^2 \cdot 364 \cdot 10^{-4}}{(100480 \cdot 10^{-6})^2}\right] (100480 \cdot 10^{-6} - 10 \cdot 42,75 \cdot 10^{-6}) = 10 \cdot 0,848 \cdot 300$$

$$(P_2 + 360,531) \cdot 100052,5 \cdot 10^{-6} = 2544$$

$$P_2 = 2,5066 \cdot 10^4 \text{ kg/m}^2$$

bulunur.

b) İzoterm genişleme sürecinde basınç kuvvetlerinin işi
izoterm genişleme sürecinde basınç kuvvetlerinin işini
hesaplamak için

$$W_m = R_u T \ln \left(\frac{v_{m2} - b}{v_{m1} - b} \right) + a \left(\frac{1}{v_{m2}} - \frac{1}{v_{m1}} \right)$$

eşitliğinden yararlanmak gerekir.

$$R_u = 0,848 \text{ kgm/mol.}^\circ\text{K}$$

$$T = 300 \text{ } ^\circ\text{K}$$

$$a = 364 \cdot 10^{-4} \text{ kgm}^4/\text{mol}$$

$$b = 42,75 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3/\text{mol}$$

$$v_{m1} = \frac{V_1}{m} = \frac{25120 \cdot 10^{-6}}{10} = 2512 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3/\text{mol}$$

$$v_{m1} = 2512 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3/\text{mol}$$

$$v_{m2} = \frac{V_2}{m} = \frac{100480 \cdot 10^{-6}}{10} = 10048 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3/\text{mol}$$

$$v_{m2} = 10048 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3/\text{mol}$$

olarak verildiği için

$$W_m = 0,848 \cdot 300 \cdot \ln \left(\frac{10048 \cdot 10^{-6} - 42,75 \cdot 10^{-6}}{2512 \cdot 10^{-6} - 42,75 \cdot 10^{-6}} \right) + 364 \cdot 10^{-4} \left(\frac{10^6}{10048} - \frac{10^6}{2512} \right)$$

$$W_m = 345,09 \text{ kgm/mol}$$

bulunur.

$$m = 10 \text{ mol}$$

olduğu için

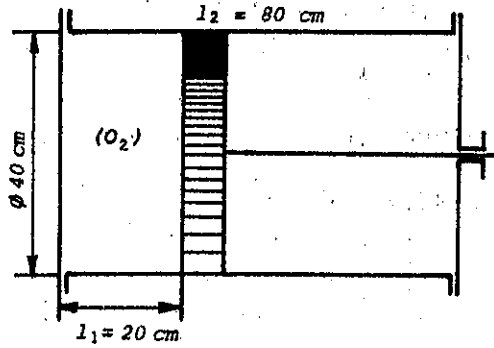
$$W = m \cdot W_m = 10 \cdot 345,09 = 3450,9 \text{ kgm}$$

olur.

$$W = 3450,9 \text{ kgm}$$

4.2. PROBLEM

(Şekil-4.9)'da görülen ve ana boyutları verilmiş olan pistonlu silindirin içerisinden piston (Ü.Ö.N.)'dan (20 cm) uzaklaşmaya dek sıcaklığı (27 °C) olan (0,32 kg) oksijen doldurulmuştur. Pistonlu silindirin içerisine doldurulan ve pistonlu



Şekil-4.9

silindir çok iyi yalıtıldığı için çevre ile ısı alış-veriş yapmayan oksijen daha sonra piston (A.Ö.N.)'ya gelinceye dek genişletilmiştir. Oksijen için oran etkeni ($a = 134,10 \cdot 10^{-4} \text{ kgm}^4/\text{mol}$) ve kovolum de ($b = 31 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3/\text{mol}$) olarak verildiğine göre, adiyabatik genişleme sürecinin sonunda oksijenin basınç ve sıcaklığı ile adiyabatik genişleme sürecinde basınç kuvvetlerinin işini hesaplayınız.

PROBLEMİN ÇÖZÜMÜ

a) Adiyabatik genişleme sürecinin sonunda oksijenin basınç ve sıcaklığı

Adiyabatik genişleme sürecinin sonunda oksijenin molar kütlesi (m) olduğuna göre, sıcaklığını

$$\frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{V_2 - mb}{V_1 - mb} \right)^{\gamma-1}$$

eşitliğinden ve basıncını da

$$\left(P_2 + \frac{m^2 a}{V_2^2} \right) (V_2 - mb) = m \cdot R_u \cdot T_2$$

şeklindeki Van der Waals Denkleminden yararlanarak hesaplayabiliriz. Oksijenin moleküler tartısı ($G_m = 32 \cdot 10^{-3} \text{ kg/mol}$)'dur. Pistonlu silindirin içerisine tartısı ($G = 0,32 \text{ kg}$) olan oksijen doldurulmuştur. Bu durumda, pistonlu silindirin içerisine doldurulan oksijenin molar kütlesi

$$m = \frac{G}{G_m} = \frac{0,32 \text{ kg}}{32 \cdot 10^{-3} \text{ kg/mol}} = 10 \text{ mol}$$

$$m = 10 \text{ mol}$$

olur.

$$V_1 = \frac{\pi d^2}{4} \cdot l_1 = \frac{3,14 \cdot 40^2}{4} \cdot 20 = 25120 \text{ cm}^3$$

$$V_1 = 25120 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3$$

$$V_2 = \frac{\pi d^2}{4} \cdot l_2 = \frac{3,14 \cdot 40^2}{4} \cdot 80 = 100480 \text{ cm}^3$$

$$V_2 = 100480 \text{ cm}^3$$

$$t_1 = 27 \text{ °C}$$

$$T_1 = 273 + t_1 = 273 + 27 = 300 \text{ °K}$$

$$T_1 = 300 \text{ °K}$$

$$a = 134,1 \cdot 10^{-4} \text{ kg} \cdot \text{m}^4/\text{mol}$$

$$b = 31 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3/\text{mol}$$

olarak verilmiştir. Diğer yandan oksijenin moleküler yapısı (2) atomlu olduğu için

$$\gamma = 1,41$$

alınır. Buna göre,

$$T_2 = T_1 \left(\frac{V_2 - m b}{V_1 - m b} \right)^{\frac{1-\gamma}{\gamma}} = 300 \left(\frac{100480 \cdot 10^{-6} - 10 \cdot 31 \cdot 10^{-6}}{25120 \cdot 10^{-6} - 10 \cdot 31 \cdot 10^{-6}} \right)^{\frac{1-1,41}{1,41}} = 169,283 \text{ } ^\circ\text{K}$$

$$T_2 = 169,283 \text{ } ^\circ\text{K}$$

$$t_2 = T_2 - 273 = 169,283 - 273 = -103,717 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$t_2 = -103,717 \text{ } ^\circ\text{C}$$

bulunur.

$$\left(P_2 + \frac{m^2 a}{V_2^2} \right) (V_2 - m b) = m \cdot R_u \cdot T_2$$

şeklindeki Van der Waals Denklemi

$$P_2 = \frac{m \cdot R_u \cdot T}{V_2 - m b} - \frac{m^2 \cdot a}{V_2^2}$$

şeklinde yazabiliriz.

$$R_u = 0,848 \text{ kgm/mol} \cdot ^\circ\text{K}$$

olduğu için

$$P_2 = \frac{m \cdot R_u \cdot T_2}{V_2 - m b} - \frac{m^2 a}{V_2^2} = \frac{10 \cdot 0,848 \cdot 169,283}{100480 \cdot 10^{-6} - 10 \cdot 31 \cdot 10^{-6}} - \frac{10^2 \cdot 134,10 \cdot 10^{-4}}{(100480 \cdot 10^{-6})^2} = 1,4197 \cdot 10^4 \text{ kg/m}^2$$

$$P_2 = 1,4197 \cdot 10^4 \text{ kg/m}^2$$

buluruz.

b) Adiyabatik genişleme sürecinde basınç kuvvetlerinin işi

Adiyabatik genişleme sürecinde basınç kuvvetlerinin işini

hesaplamak için

$$W_m = \frac{R_u}{\gamma-1} (T_1 - T_2) + a \left(\frac{1}{V_{m2}} - \frac{1}{V_{m1}} \right)$$

eşitliğinden yararlanmak gerekir.

$$R_u = 0,848 \text{ kgm/mol} \cdot ^\circ\text{K}$$

$$\gamma = 1,41$$

$$T_1 = 300 \text{ } ^\circ\text{K}$$

$$T_2 = 169,283 \text{ } ^\circ\text{K}$$

$$a = 134,10 \cdot 10^{-4} \text{ kg} \cdot \text{m}^4 / \text{mol}$$

$$V_{m1} = \frac{V_1}{m} = \frac{25120 \cdot 10^{-6}}{10} = 2512 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3 / \text{mol}$$

$$V_{m1} = 2512 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3 / \text{mol}$$

$$V_{m2} = \frac{V_2}{m} = \frac{100480 \cdot 10^{-6}}{10} = 10048 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3 / \text{mol}$$

$$V_{m2} = 10048 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3 / \text{mol}$$

olduğu için

$$W_m = \frac{0,848}{1,41-1} (300 - 169,283) + 134,10 \cdot 10^{-4} \left(\frac{1}{10048 \cdot 10^{-6}} - \frac{1}{2512 \cdot 10^{-6}} \right) = 149,0316 \text{ kgm}$$

$$W_m = 149,0316 \text{ kgm}$$

bulunur.

$$W = m \cdot W_m$$

olduğu için diğer yandan

$$W = m \cdot W_m = 10 \cdot 149,0316 = 1490,316 \text{ kgm}$$

$$W = 1490,316 \text{ kgm}$$

elde edilir.

4.3. PROBLEM

(0 °C) sıcaklıkta bulunan (1 Ton) su, (76 °C) sıcaklıkta, titri ($x = 0,85$) olan doymuş buhar haline getirilmiştir. Buna göre, doymuş basıncını, toplam buharlaşma ısısını, buharlaşma sürecinde işi, iç enerji değişimini ve toplam buharlaşma entropisini hesaplayınız.

PROBLEMİN ÇÖZÜMÜ

a) Doymuş basıncı

Doymuş basıncı

$$\log p = 17,443 - \frac{2795}{T} - 3,869 \log T$$

şeklindeki Joseph Bertrand Formülünden yararlanılarak hesaplanır. Doymuş sıcaklığı

$$t = 76 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$T = 273 + t = 273 + 76 = 349 \text{ } ^\circ\text{K}$$

$$T = 349 \text{ } ^\circ\text{K}$$

olarak verildiği için

$$\log p = 17,443 - \frac{2795}{T} - 3,869 \cdot \log T = 17,443 - \frac{2795}{349} - 3,869 \cdot \log 349 = 0,40369$$

$$\log p = -0,40369$$

$$p = 10^{-0,40369} = 0,3947 \text{ at}$$

bulunur. Diğer yandan

$$1 \text{ at} = 1,0336 \text{ kg/m}^2$$

olduğu için

$$p = 0,3947 \cdot 1,0336 = 0,40 \text{ kg/cm}^2$$

$$p = 0,40 \text{ kg/cm}^2$$

olur.

b) Toplam buharlaşma ısısı

Toplam buharlaşma ısısını hesaplamak için

$$\lambda_x = C(t - t_0) + x(606,5 - 0,695 t)$$

eşitliğinden yararlanmak gerekir.

$$C = 1 \text{ kcal/kg.}^\circ\text{C}$$

$$t = 76 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$t_0 = 0 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$x = 0,85$$

olarak verildiği için

$$\lambda_x = 1,76 + 0,85(606,5 - 0,695 \cdot 76) = 546,628 \text{ kcal/kg}$$

$$\lambda_x = 546,628 \text{ kcal/kg}$$

bulunur.

$$m = 1 \text{ Ton} = 10^3 \text{ kg}$$

olarak verilmiştir. Bu durumda

$$\lambda_{mx} = m \cdot \lambda_x = 10^3 \cdot 546,628 = 546628 \text{ kcal}$$

$$\lambda_{mx} = 546628 \text{ kcal}$$

olur.

c) Buharlaşma sürecinde iş

Buharlaşma sürecinde iş

$$W_x = x \cdot P(v'' - v')$$

eşitliğinden yararlanılarak hesaplanır.

$$x = 0,85$$

olarak verilmiştir. Doymuluk basıncını, daha önce

$$P = 0,40 \cdot 10^4 \text{ kg/m}^2$$

olarak bulmuştuk. Diğer yandan (4.3. Numaralı çizelgeden) yararlanarak doymuluk basıncı

$$P = 0,40 \cdot 10^4 \text{ kg/m}^2$$

olan doymuk kuru buharın özgül hacmini

$$v'' = 4,060 \text{ m}^3/\text{kg}$$

olarak belirleyebiliriz.

$$v' = 0,001 \text{ m}^3/\text{kg}$$

olduğu için

$$W_x = x \cdot P(v'' - v') = 0,85 \cdot 0,40 \cdot 10^4 (4,060 - 0,001) = 13800,6 \text{ kJm/kg}$$

$$W_x = 13800,6 \text{ kJm/kg}$$

buluruz ve

$$W_{mx} = m \cdot w_x$$

olduğu için

$$W_{mx} = m \cdot w_x = 10^3 \cdot 13800,6 = 13,8 \cdot 10^6 \text{ kJ}$$

$$W_{mx} = 13,8 \cdot 10^6 \text{ kJm}$$

elde ederiz.

d) Buharlaşma sürecinde iç enerji değişimi

Buharlaşma sürecinde iç enerji değişimini bulmak için

$$\rho_x = x (r - Aw)$$

eşitliğinden yararlanacağız.

$$r_x = x \cdot r = 470,628 \text{ kcal/kg}$$

$$Aw_x = A \cdot x \cdot W = 32,32 \text{ kcal/kg}$$

olduğu için

$$\rho_x = x(r - Aw) = 470,628 - 32,32 = 438,308 \text{ kcal/kg}$$

$$\rho_x = 438,308 \text{ kcal/kg}$$

olur. Diğer yandan

$$\rho_{mx} = m \cdot \rho_x$$

olduğu için

$$\rho_{mx} = m \cdot \rho_x = 10^3 \cdot 438,308 = 438308 \text{ kcal}$$

$$\rho_{mx} = 438308 \text{ kcal}$$

olarak bulunur.

e) Toplam buharlaşma antropisi .

Toplam antropisi

$$s_x = C \ln \left(\frac{T}{T_0} \right) + \frac{x r}{T}$$

eşitliğinden yararlanılarak hesaplanır.

$$C = 1 \text{ kcal/kg} \cdot ^\circ\text{K}$$

$$x \cdot r = 470,628 \text{ kcal/kg}$$

$$t_0 = 0^\circ \text{C}$$

$$T_0 = 273 + t_0 = 273 \text{ } ^\circ\text{K}$$

$$T_0 = 273 \text{ } ^\circ\text{K}$$

ve

$$T = 349 \text{ } ^\circ\text{K}$$

olduğu için

$$s_x = C \ln \left(\frac{T}{T_0} \right) + \frac{xr}{T} = 1 \cdot \ln \left(\frac{349}{273} \right) + \frac{470,628}{349} = 1,5941 \text{ kcal/kg.}^\circ\text{K}$$

$$S_x = 1,5941 \text{ kcal/kg.}^\circ\text{K}$$

bulunur. Diğer yandan

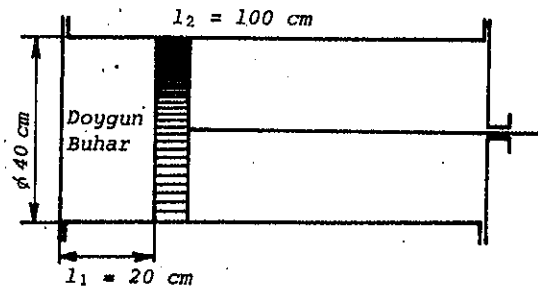
$$S_{mx} = m \cdot S_x = 10^3 \cdot 1,5941 = 1594,1 \text{ kcal/}^\circ\text{K}$$

$$S_{mx} = 1594,1 \text{ kcal/}^\circ\text{K}$$

elde edilir.

4.4. PROBLEM

(Şekil-4.10)'da görülen pistonlu silindirin içerisine, piston (Ü.Ö.N.)'dan (20 cm) uzaklaşmaya değin doymuluk sıcaklığı ($t_1 = 200^\circ\text{C}$) ve titri ($x_1 = 0,85$) olan doymu buhar



Şekil-4.10

doldurulmuştur. Pistonlu silindirin içerisine doldurulan ve pistonlu silindir çok iyi yalıtıldığı için çevre ile ısı alış-verişi yapmayan doymu buhar daha sonra piston (A.Ö.N.) ya gelinceye kadar genişletilmiştir. Buna göre, adiyabatik genişleme sürecinde basınç kuvvetlerinin işini ve adiyabatik genişleme süreci sonunda buhar titrini bulunuz.

PROBLEMİN ÇÖZÜMÜ

a) Adiyabatik genişleme sürecinde basınç kuvvetlerinin işi

Adiyabatik genişleme sürecinde basınç kuvvetlerinin işi

$$W = \frac{P_2 V_2 - P_1 V_1}{1 - m}$$

eşitliğinden yararlanılarak hesaplanır. Bunun için önce adiyabatik genişleme sürecinin başında ve sonunda doymuluk basıncını bulmak gerekir. Adiyabatik genişleme sürecinin başında doymuluk basıncını bulmak için

$$p_1 = \left(\frac{t_1}{100} \right)^4$$

şeklindeki Duperray Formülünden yararlanılır.

$$t_1 = 200^\circ\text{C}$$

olduğu için

$$p_1 = \left(\frac{t_1}{100} \right)^4 = \left(\frac{200}{100} \right)^4 = 16 \text{ at}$$

$$p_1 = 16 \text{ at}$$

olur. Diğer yandan

$$1 \text{ at} = 1,0336 \text{ kg/cm}^2$$

olduğu için

$$p_1 = 16 \cdot 1,0336 = 16,5376 \text{ kg/cm}^2$$

$$P_1 = 16,5376 \cdot 10^4 \text{ kg/m}^2$$

bulunur. Adiyabatik genişleme sürecinin sonundaki basınç

$$P_1 V_1^m = P_2 V_2^m$$

şeklindeki Rankine Formülünden yararlanılarak hesaplanır.

$$V_1 = \frac{\pi d^2}{4} \cdot l_1 = \frac{3,14 \cdot 40^2}{4} \cdot 20 = 25120 \text{ cm}^3$$

$$V_1 = 25120 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3$$

$$V_2 = \frac{\pi d^2}{4} \cdot l_2 = \frac{3,14 \cdot 40^2}{4} \cdot 100 = 125600 \text{ cm}^3$$

$$V_2 = 125600 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3$$

$$m = 1,14$$

olarak verilmiştir. Bu durumda

$$P_2 = P_1 \left(\frac{V_1}{V_2} \right)^m = 16,5376 \cdot 10^4 \cdot \left(\frac{25120 \cdot 10^{-6}}{125600 \cdot 10^{-6}} \right)^{1,14} = 2,64 \cdot 10^4 \text{ kg/m}^2$$

$$P_2 = 2,64 \cdot 10^4 \text{ kg/m}^2$$

olur. Bu değerleri

$$W = \frac{P_2 V_2 - P_1 V_1}{1 - m}$$

eşitliğinde yerlerine koyacak olursak

$$W = \frac{P_2 V_2 - P_1 V_1}{1 - m} = \frac{2,64 \cdot 10^4 \cdot 125600 \cdot 10^{-6} - 16,5376 \cdot 10^4 \cdot 25120 \cdot 10^{-6}}{1 - 1,14}$$

$$W = 5988,6078 \text{ kJm}$$

buluruz.

b) Adiyabatik genişleme süreci sonunda buhar titri Adiyabatik genişleme süreci sonunda buhar titrini bulmak için

$$x_2 = \frac{T_2}{r_2} \left[C \ln \left(\frac{T_1}{T_2} \right) + \frac{x_1 r_1}{T_1} \right]$$

eşitliğinden yararlanmak gerekir.

$$P_2 = 2,64 \cdot 10^4 \text{ kg/m}^2$$

$$p_2 = 2,64 \text{ kg/cm}^2$$

$$p_2 = \frac{2,64}{1,0336} = 2,5541 \text{ at}$$

$$p_2 = 2,5541 \text{ at}$$

olduğu için adiyabatik genişleme süreci sonunda doygunluk sıcaklığı Duperray Formülünden yararlanılarak

$$t_2 = 100 \cdot p_2^{1/4} = 100 \cdot (2,5541)^{0,25} = 126,418 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$t_2 = 126,418 \text{ } ^\circ\text{C}$$

bulunur.

$$T_2 = 273 + t_2 = 273 + 126,418 = 399,418 \text{ } ^\circ\text{K}$$

$$T_2 = 399,418 \text{ } ^\circ\text{K}$$

$$t_1 = 200 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$T_1 = 273 + t_1 = 273 + 200 = 473 \text{ } ^\circ\text{K}$$

$$T_1 = 473 \text{ } ^\circ\text{K}$$

$$x_1 = 0,85$$

$$r_1 = 606,5 - 0,695 t_1 = 606,5 - 0,695 \cdot 200 = 467,5 \text{ kcal/kg}$$

$$r_1 = 467,5 \text{ kcal/kg}$$

$$r_2 = 606,5 - 0,695 t_2 = 606,5 - 0,695 \cdot 126,418 = 518,639 \text{ kcal/kg}$$

$$r_2 = 518,639 \text{ kcal/kg}$$

olduğu için

$$x_2 = \frac{T_2}{r_2} \left[C \ln \left(\frac{T_1}{T_2} \right) + \frac{x_1 r_1}{T_1} \right] = \frac{399,418}{518,639} \left[1 \cdot \ln \left(\frac{473}{399,418} \right) + \frac{0,85 \cdot 467,5}{473} \right]$$

$$x_2 = 0,777$$

olur.

4.5. PROBLEM

Bir ilkel buhar makinesi, sıcaklığı ($t_1 = 200 \text{ }^\circ\text{C}$) olan bir buhar kazanı ile sıcaklığı ($t_2 = 20 \text{ }^\circ\text{C}$) olan bir kondansöre bağlı olarak çalışmaktadır. Titri ($x_1 = 0,90$) olan (1 kg) doymuş buharın bu ilkel buhar makinesinin aracılığı ile Rankine çevrimini izlediğini düşünerek çevrim boyunca işe dönüştürülen ısı miktarı ile verimi hesaplayınız.

PROBLEMİN ÇÖZÜMÜ

a) Çevrim boyunca işe dönüştürülen ısı miktarı

Çevrim boyunca işe dönüştürülen yani iş olarak çevreye iletilen ısı miktarı

$$q = C (t_1 - t_2) + x_1 r_1 - x_2 r_2$$

eşitliğinden yararlanılarak hesaplanır.

$$r_1 = 606,5 - 0,695 \quad t_1 = 606,5 - 0,695 \cdot 200 = 476,5 \text{ kcal/kg}$$

$$r_1 = 467,5 \text{ kcal/kg}$$

$$r_2 = 606,5 - 0,695 \quad t_2 = 606,5 - 0,695 \cdot 20 = 592,6 \text{ kcal/kg}$$

$$r_2 = 592,6 \text{ kcal/kg}$$

$$x_1 = 0,90$$

$$t_1 = 200 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$T_1 = 273 + t_1 = 273 + 200 = 473 \text{ }^\circ\text{K}$$

$$T_1 = 473 \text{ }^\circ\text{K}$$

$$t_2 = 20 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$T_2 = 273 + t_2 = 273 + 20 = 293 \text{ }^\circ\text{K}$$

$$T_2 = 293 \text{ }^\circ\text{K}$$

olduğu için

$$x_2 = \frac{T_2}{r_2} \left[C \cdot \ln \left(\frac{T_1}{T_2} \right) + \frac{x_1 r_1}{T_1} \right]$$

eşitliğinden yararlanarak

$$x_2 = \frac{T_2}{r_2} \left[C \cdot \ln \left(\frac{T_1}{T_2} \right) + \frac{x_1 r_1}{T_1} \right] = \frac{293}{592,6} \left[1 \cdot \ln \left(\frac{473}{293} \right) + \frac{0,90 \cdot 467,5}{473} \right] = 0,676$$

$$x_2 = 0,676$$

buluruz. Bunları

$$q = C (t_1 - t_2) + x_1 r_1 - x_2 r_2$$

eşitliğinde yerlerine koyalım. Bu durumda

$$q = C(t_1 - t_2) + x_1 r_1 - x_2 r_2 = 1(200 - 20) + 0,90 \cdot 467,5 - 0,676 \cdot 592,6 = 200,152 \text{ kcal/kg}$$

$$q = 200,152 \text{ kcal/kg}$$

bulunur.

b) Verim

Verimi bulmak için

$$\eta = \frac{q}{q_1}$$

eşitliğinden yararlanmak gerekir.

$$q = 200,152 \text{ kcal/kg}$$

ve

$$q_1 = C(t_1 - t_2) + x_1 r_1 = (200 - 20) + 0,90 \cdot 467,5 = 600,75 \text{ kcal/kg}$$

$$q_1 = 600,75 \text{ kcal/kg}$$

olduğu için

$$\eta = \frac{q}{q_1} = \frac{200,152}{600,75} = 0,333$$

$$\eta = 0,333$$

bulunur.

V. B Ü L Ü M

Y A N M A

- 1) Temel kavramlar ve genel tanımlar
- 2) Kuramsal yanma
 - 2.a) Kuramsal yanmada ağırlık analizi
 - 2.b) Kuramsal yanmada hacim analizi
- 3) Yakacakların hava ile yakılması
- 4) Yanmanın genel denklemi
- 5) Yanma gazlarının hacmi

ÇÖZÜMLÜ PROBLEMLER

Y A N M A

1) TEMEL KAVRAMLAR VE GENEL TANIMLAR

Uygun bir ortamda, gerekli koşullar yerine getirilirse karbon, hidrojen ve kükürt gibi, yaygın ve bilinen elementler, çevreye, ısı ve ışık yayarak oksijenle birleşirler. Yakacak ya da yakıt adı verilen maddeler genellikle bu elementlerden oluşmuşlardır. İşte yakacakların, daha doğru bir anlatımla yakacağı oluşturan karbon, hidrojen ve kükürt gibi elementlerin, uygun bir ortamda, gerekli koşullar yerine getirildikten sonra, çevreye ısı ve ışık yayarak oksijenle birleşmesine yanma denir.

Yanmanın gerçekleşmesi için yerine getirilmesi gereken koşullardan biri yakacağın tutuşma sıcaklığına dek ısıtılması ve diğeri de yeterince oksijen sağlanmasıdır. Yakacak tutuşma sıcaklığına dek ısıtılmaz ve yeterince oksijen sağlanmazsa yanmayı gerçekleştirmek olanaksızlaşır.

Yakacağın bileşiminde bulunan karbon, hidrojen ve kükürt oksijenle birleşerek karbondioksit, su buharı ve kükürt-dioksit oluşturduğu zaman yanma tam yanma olur. Tam yanma için yeterli bir miktar oksijene gereksinme vardır. Bir yakacağın tam yanması için gereksinme duyulan yeterli oksijen miktarına KURAMSAL OKSİJEN MİKTARI denir ve bu (O_k) ile gösterilir.

Hava oksijen ve azot karışımıdır. Bu nedenle yanma için gerekli olan oksijen havadan sağlanır. Bir yakacağın tam yanması için gerekli oksijeni sağlayan hava miktarına KURAMSAL HAVA MİKTARI denir. Pratikte tam yanmayı gerçekleştirmek için kuramsal hava miktarından daha fazla havaya gereksinme duyulur. İşte pratikte tam yanmayı gerçekleştirmek için gereksinme duyulan ve kuramsal hava miktarından daha fazla olan hava miktarına GERÇEK HAVA MİKTARI denir. Kuramsal hava miktarını (H_k), gerçek hava miktarını da (H_g) ile gösterelim. Yanma teknolojisinde gerçek hava miktarının kuramsal hava miktarına oranı HAVA FAZLALIK SAYISI olarak adlandırılır. Hava fazlalık

sayısını (h_f) ile gösterecek olursak

$$h_f = \frac{H_g}{H_k}$$

eşitliğini yazabiliriz.

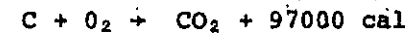
Yanma teknolojisinde, molar hacmin bir gazın moleküler ağırlığına oranına o gazın NORMAL METREKÜBÜ denir. Bilindiği gibi, (1 mol) gazın normal koşullarda yani (0°C) sıcaklıkta ve atmosferik basınçta hacmi ($22,44 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$)'tür. Molar hacmi (V_{om}), gazın moleküler ağırlığını (G_m) ve normal metrekübünü de (N_{mk}) ile gösterecek olursak bu tanım uyarınca

$$N_{mk} (\text{Nm}^3) = \frac{V_{om}}{G_m} (\text{m}^3/\text{kg})$$

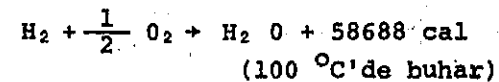
eşitliğini yazabiliriz.

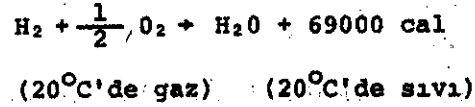
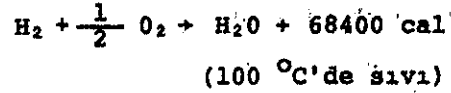
2) KURAMSAL YANMA

Uygulamada, yakacakların saf oksijenle yakılması birkaç kullanım alanı dışında hemen hemen olanaksızdır. Ancak yanma kuramsal düzeyde incelenirken, yakacakların saf oksijenle yakıldığını kabul etmek ve yakacakları oluşturan elementlerin de kimyasal anlamda oksijenle birleşme denklemlerini gözönünde bulundurmak gerekir. Yakacakların bileşiminde genellikle karbon (C), hidrojen (H_2), kükürt (S) gibi yanıcı elementlerden başka azot (N_2) ve oksijen (O_2) gibi elementler de bulunur. Bu elementlerden karbon (C), hidrojen (H_2) ve kükürt (S) çevreye ısı ve ışık yayarak oksijenle birleşirler. Karbon (C), hidrojen (H_2) ve kükürt (S) gibi elementlerin kimyasal anlamda oksijenle birleşme denklemlerine YANMA DENKLEMLERİ denir. Karbonun yanma denklemini

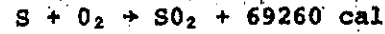


şeklinde, hidrojenin yanma denklemini





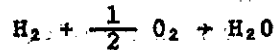
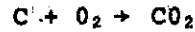
şeklinde ve nihayet kükürdün yanma denklemini de



şeklinde yazabiliriz. Bu yanma denklemlerinin de göstermiş olduğu gibi, karbonun, hidrojenin ve kükürdün oksijenle birleşmeleri çevreye ısı veren yani eksoterm reaksiyonlardır.

2.a) KURAMSAL YANMADA AĞIRLIK ANALİZİ

Kuramsal yanmada ağırlık analizi için önce karbon, hidrojen, kükürt ve oksijenin atom tartısının saptanması gerekir. Karbonun atom tartısı (12), hidrojenin atom tartısı (1), kükürdün atom tartısı (32) ve oksijenin atom tartısı (16)'dır. Buna göre karbon, hidrojen ve kükürdün



şeklindeki yanma denklemlerinden yararlanarak

$$12 \text{ kg (Karbon)} + 32 \text{ kg (Oksijen)} = 44 \text{ kg (Karbondioksit)}$$

$$2 \text{ kg (Hidrojen)} + 16 \text{ kg (Oksijen)} = 18 \text{ kg (Su buharı)}$$

$$32 \text{ kg (Kükürt)} + 32 \text{ kg (oksijen)} = 64 \text{ kg (Kükürtdioksit)}$$

şeklindeki yanma denklemlerini yazabiliriz. Bu yanma denklemlerinden de

$$1 \text{ kg (Karbon)} + \frac{8}{3} \text{ kg (Oksijen)} = \frac{11}{3} \text{ kg (Karbondioksit)}$$

$$1 \text{ kg (Hidrojen)} + 8 \text{ kg (Oksijen)} = 9 \text{ kg (Su buharı)}$$

$$1 \text{ kg (Kükürt)} + 1 \text{ kg (Oksijen)} = 2 \text{ kg (Kükürtdioksit)}$$

şeklindeki yanma denklemleri elde edilir. Açık olarak görülmektedir ki, kuramsal olarak (1 kg) karbonu yakmak için ($\frac{8}{3}$ kg) oksijene, (1 kg) hidrojeni yakmak için (8 kg) oksijene ve nihayet (1 kg) kükürdü yakmak için de (1 kg) oksijene gereksinime vardır.

2.b) KURAMSAL YANMADA HACİM ANALİZİ

Kuramsal yanmada hacim analizi için daha önce

$$1 \text{ kg (Hidrojen)} + \frac{8}{3} \text{ kg (Oksijen)} = \frac{11}{3} \text{ kg (Karbondioksit)}$$

$$1 \text{ kg (Hidrojen)} + 8 \text{ kg (Oksijen)} = 9 \text{ kg (Su buharı)}$$

$$1 \text{ kg (Kükürt)} + 1 \text{ kg (Oksijen)} = 2 \text{ kg (Kükürtdioksit)}$$

şeklinde çıkarmış olduğumuz yanma denklemlerinden yararlanacağız. Bilindiği gibi, (1 mol) gazın normal koşullarda yani (0 °C) sıcaklıkta ve atmosferik basınçta hacmi (22,44 . 10⁻³ m³)'tür.

$$1 \text{ mol (Hidrojen)} = 2 \cdot 10^{-3} \text{ kg (Hidrojen)}$$

$$1 \text{ mol (Oksijen)} = 32 \cdot 10^{-3} \text{ kg (Oksijen)}$$

$$1 \text{ mol (Su)} = 18 \cdot 10^{-3} \text{ kg (Su)}$$

$$1 \text{ mol (Karbondioksit)} = 44 \cdot 10^{-3} \text{ kg (Karbondioksit)}$$

$$1 \text{ mol (Kükürtdioksit)} = 64 \cdot 10^{-3} \text{ kg (Kükürtdioksit)}$$

olduğu için

$$1 \text{ kg (Hidrojen)} = \frac{22,44 \cdot 10^{-3}}{2 \cdot 10^{-3}} \text{ Nm}^3 \text{ (Hidrojen)} = 11,22 \text{ Nm}^3 \text{ (Hidrojen)}$$

$$1 \text{ kg (Oksijen)} = \frac{22,44 \cdot 10^{-3}}{32 \cdot 10^{-3}} \text{ Nm}^3 \text{ (Oksijen)} = 0,701 \text{ Nm}^3 \text{ (Oksijen)}$$

$$1 \text{ kg (Su buharı)} = \frac{22,44 \cdot 10^{-3}}{18 \cdot 10^{-3}} \text{ Nm}^3 \text{ (Su buharı)} = 1,246 \text{ Nm}^3 \text{ (Su buharı)}$$

$$1 \text{ kg (Karbondiyoksit)} = \frac{22,44 \cdot 10^{-3}}{44 \cdot 10^{-3}} \text{ Nm}^3 \text{ (Karbondiyoksit)} = 0,51 \text{ Nm}^3 \text{ (Karbondiyoksit)}$$

$$1 \text{ kg (Kükürtdiyoksit)} = \frac{22,4 \cdot 10^{-3}}{64 \cdot 10^{-3}} \text{ Nm}^3 \text{ (Kükürtdiyoksit)} = 0,3505 \text{ Nm}^3 \text{ (Kükürtdiyoksit)}$$

olur. (1 kg) karbon ($\frac{8}{3}$ kg) oksijenle yanmakta ve ($\frac{11}{3}$ kg) karbondiyoksit oluşturmaktadır, (1 kg) hidrojen (8 kg) oksijenle yanmakta ve (9 kg) su buharı oluşturmaktadır ve nihayet (1 kg) kükürt (1 kg) oksijenle yanmakta ve (2 kg) kükürtdiyoksit oluşturmaktadır. Bu durumda

$$1 \text{ kg (Hidrojen)} = 11,22 \text{ Nm}^3 \text{ (Hidrojen)}$$

$$1 \text{ kg (Oksijen)} = 0,701 \text{ Nm}^3 \text{ (Oksijen)}$$

$$1 \text{ kg (Su buharı)} = 1,246 \text{ Nm}^3 \text{ (Su buharı)}$$

$$1 \text{ kg (Karbondiyoksit)} = 0,51 \text{ Nm}^3 \text{ (Karbondiyoksit)}$$

$$1 \text{ kg (Kükürtdiyoksit)} = 0,3505 \text{ Nm}^3 \text{ (Kükürtdiyoksit)}$$

olduğuna göre, (1 kg) karbonun yanması için gerekli oksijen miktarı

$$\frac{8}{3} \cdot 0,701 = 1,87 \text{ Nm}^3$$

(1 kg) hidrojenin yanması için gerekli oksijen miktarı

$$8 \cdot 0,701 = 5,608 \text{ Nm}^3$$

ve (1 kg) kükürdün yanması için gerekli oksijen miktarı da

$$1 \cdot 0,701 = 0,701 \text{ Nm}^3$$

olur. Diğer yandan (1 kg) karbonun yanması ile

$$\frac{11}{3} \cdot 0,51 = 1,87 \text{ Nm}^3 \text{ (Karbondiyoksit)}$$

(1 kg) hidrojenin yanması ile

$$9 \cdot 1,246 = 11,214 \text{ Nm}^3 \text{ (Su buharı)}$$

ve (1 kg) kükürdün yanması ile de

$$2 \cdot 0,3505 = 0,701 \text{ Nm}^3 \text{ (Kükürtdiyoksit)}$$

oluşturduğu için

$$1 \text{ kg (Karbon)} + \frac{8}{3} \text{ kg (Oksijen)} = \frac{11}{3} \text{ kg (Karbondiyoksit)}$$

$$1 \text{ kg (Hidrojen)} + 8 \text{ kg (Oksijen)} = 9 \text{ kg (Su buharı)}$$

$$1 \text{ kg (Kükürt)} + 1 \text{ kg (Oksijen)} = 2 \text{ kg (Kükürtdiyoksit)}$$

şeklindeki yanma denklemleri yerine

$$1 \text{ kg (Karbon)} + 1,87 \text{ Nm}^3 \text{ (Oksijen)} = 1,87 \text{ Nm}^3 \text{ (Karbondiyoksit)}$$

$$1 \text{ kg (Hidrojen)} + 5,607 \text{ Nm}^3 \text{ (Oksijen)} = 11,214 \text{ Nm}^3 \text{ (Su buharı)}$$

$$1 \text{ kg (Kükürt)} + 0,701 \text{ Nm}^3 \text{ (Oksijen)} = 0,701 \text{ Nm}^3 \text{ (Kükürtdiyoksit)}$$

şeklindeki yanma denklemlerini yazabiliriz.

3) YAKACAKLARIN HAVA İLE YAKILMASI

Uygulamada yakacaklar hava ile yakılır. Yakacakların tam yanması için bu yakacaklar üzerine gönderilen havanın gerekli oksijeni sağlayacak yeterlik ve yetkinlikte olması gerekir. Hava, yukarıda da kısaca değinmiş olduğumuz gibi, azot ve oksijen karışımıdır. Hacimsel olarak havanın (0,79)'unu azot ve (0,21)'ini oksijen oluşturur. Havanın özgül ağırlığı normal koşullarda yani (0 °C) sıcaklıkta ve atmosferik basınçta

$$\frac{32}{22,44} \cdot 0,21 + \frac{28}{22,44} \cdot 0,79 = 1,285 \text{ kg/m}^3$$

olduğuna göre, havada oksijenin ağırlık oranı

$$\frac{\frac{32}{22,44} \cdot 0,21}{1,285} = 0,233$$

ve azotun ağırlık oranı da.

$$\frac{\frac{28}{22,44} \cdot 0,89}{1,285} = 0,767$$

olur. Genel anlamda, yakacakların bileşiminde karbon, hidrojen, kükürt, oksijen ve azot vardır. Hele katı yakacaklarda, bu elementler dışında önemli miktarda su ve yanmaya katılmayan diğer yabancı maddeler de bulunur. Yanmaya katılmayan bu yabancı maddelere yanma teknolojisinde kül adı verilir. Ağırlığı (1 kg) olan bir yakacak kütlesinde bulunan karbon miktarını (G_C), hidrojen miktarını (G_H), kükürt miktarını (G_S), oksijen miktarını (G_O) azot miktarını (G_N), kül miktarını (k) ve su miktarını da (n) ile gösterecek olursak

$$G_C + G_H + G_S + G_O + G_N + k + n = 1$$

eşitliğini yazabiliriz. Bu durumda

$$1 \text{ kg (Karbon)} + \frac{8}{3} \text{ kg (Oksijen)} = \frac{11}{3} \text{ kg (Karbondiyoksit)}$$

$$1 \text{ kg (Karbon)} + 8 \text{ kg (Oksijen)} = 9 \text{ kg (Su buharı)}$$

$$1 \text{ kg (Kükürt)} + 1 \text{ kg (Oksijen)} = 2 \text{ kg (Kükürtdiyoksit)}$$

ve

$$1 \text{ kg (Karbon)} + 1,87 \text{ Nm}^3 \text{ (Oksijen)} = 1,87 \text{ Nm}^3 \text{ (Karbondiyoksit)}$$

$$1 \text{ kg (Hidrojen)} + 5,607 \text{ Nm}^3 \text{ (Oksijen)} = 11,214 \text{ Nm}^3 \text{ (Su buharı)}$$

$$1 \text{ kg (Kükürt)} + 0,701 \text{ Nm}^3 \text{ (Oksijen)} = 0,701 \text{ Nm}^3 \text{ (Kükürtdiyoksit)}$$

olduğundan (1 kg) yakacağın tam yanması için gerekli oksijen miktarı ağırlık olarak

$$O_k \text{ (kg)} = \frac{8}{3} \cdot G_C + 8 \cdot G_H + G_S - G_O$$

eşitliğinden ve hacim olarak da

$$O_k \text{ (Nm}^3\text{)} = 1,87 G_C + 5,607 G_H + 0,701 G_S - 0,701 G_O$$

eşitliğinden yararlanılarak hesaplanır. Havanın hacimsel olarak (0,21)'ini ve ağırlık olarak (0,233)'ünü oksijen oluşturduğu için (1 kg) yakacağın tam yanması için gerekli oksijeni sağlayan hava miktarını hesaplarken

$$H_k \text{ (kg)} = \frac{O_k \text{ (kg)}}{0,233}$$

ve

$$H_k \text{ (Nm}^3\text{)} = \frac{O_k \text{ (Nm}^3\text{)}}{0,21}$$

eşitliğinden yararlanmak gerekir. Diğer yandan

$$O_k \text{ (kg)} = \frac{8}{3} G_C + 8 G_H + G_S - G_O$$

ve

$$O_k \text{ (Nm}^3\text{)} = 1,87 G_C + 5,607 G_H + 0,701 G_S - 0,701 G_O$$

olduğu için

$$H_k \text{ (kg)} = 4,292 \left(\frac{8}{3} G_C + 8 G_H + G_S - G_O \right)$$

ve

$$H_k \text{ (Nm}^3\text{)} = 4,762 (1,87 G_C + 5,607 G_H + 0,701 G_S - 0,701 G_O)$$

eşitliklerini yazabiliriz. Gerçek hava miktarını bulmak için kuramsal hava miktarını hava fazlalık sayısı ile çarpmak gerekir. Hava fazlalık sayısı (h_f) olduğuna göre, gerçek hava miktarının hesaplanmasında kullanılan eşitlikler

$$H_g \text{ (kg)} = h_f \cdot H_k \text{ (kg)} = 4,292 \cdot h_f \left(\frac{8}{3} G_C + 8 G_H + G_S - G_O \right)$$

ve

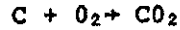
$$H_g \text{ (Nm}^3\text{)} = h_f \cdot H_k \text{ (Nm}^3\text{)} = 4,762 \cdot h_f (1,87 G_C + 5,607 G_H + 0,701 G_S - 0,701 G_O)$$

$$H_g \text{ (Nm}^3\text{)} = 4,762 \cdot h_f(1,87 G_C + 5,607 G_H + 0,701 G_S - 0,701 G_O)$$

şeklinde yazılabilir.

4) YANMANIN GENEL DENKLEMİ

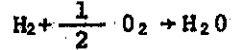
Yanmanın genel denklemini çıkarabilmek için önce yakacağın kimyasal formülünü belirlemek gerekir. Pratikte en çok kullanılan yakacaklar bilindiği gibi, kömür ve petrol ürünleridir. Kömür ve petrol ürünlerinin bileşiminde yüksek oranda karbon ve hidrojen vardır. Karbon ve hidrojen dışında bu yakacakların bileşiminde kükürt, azot ve oksijen gibi elementlerin de bulunduğunu kabul edeceğiz. Yanma teknolojisinde bileşiminde karbon, hidrojen, kükürt, oksijen ve azot gibi elementler bulunan bir yakacağın kimyasal formülü genel anlamda (C_a H_b S_c O_d N_e) şeklinde yazılır. Kimyasal formülü (C_a H_b S_c O_d N_e) olan yakacağın yanma formülünü yazmadan önce yeniden kısaca karbon, hidrojen ve kükürdün kimyasal, kütlelesel ve hacimsel yanma formüllerine değineceğiz. Bilindiği gibi, karbonun kimyasal, kütlelesel, hacimsel yanma formüllerini



$$1 \text{ kg (Karbon)} + \frac{8}{3} \text{ kg (Oksijen)} = \frac{11}{3} \text{ kg (Karbondioksit)}$$

$$1 \text{ kg (Karbon)} + 1,87 \text{ Nm}^3 \text{ (Oksijen)} = 1,87 \text{ Nm}^3 \text{ (Karbondioksit)}$$

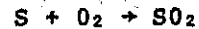
şeklinde, hidrojenin kimyasal, kütlelesel, hacimsel yanma formüllerini



$$1 \text{ kg (Hidrojen)} + 8 \text{ kg (Oksijen)} = 9 \text{ kg (Su buharı)}$$

$$1 \text{ kg (Hidrojen)} + 5,607 \text{ Nm}^3 \text{ (Oksijen)} = 11,214 \text{ Nm}^3 \text{ (Su buharı)}$$

şeklinde ve nihayet kükürdün de kimyasal, kütlelesel, hacimsel yanma formüllerini de



$$1 \text{ kg (Kükürt)} + 1 \text{ kg (Oksijen)} = 2 \text{ kg (Kükürtdioksit)}$$

$$1 \text{ kg (Kükürt)} + 0,701 \text{ Nm}^3 \text{ (Oksijen)} = 0,701 \text{ Nm}^3 \text{ (Kükürtdioksit)}$$

şeklinde yazmıştık.

Karbonun atom tartısı (12), hidrojenin atom tartısı (1), kükürdün atom tartısı (32), oksijenin atom tartısı (16) ve azotun atom tartısı da (14)'tür. Bu durumda (a), (b), (c), (d), (e) karbon, hidrojen, kükürt, oksijen ve azotun atom sayısı olduğuna göre, kimyasal formülü (C_a H_b S_c O_d N_e) olan yakacakta karbonun ağırlık oranı

$$A = \frac{12 a}{12 a + b + 32 c + 16 d + 14 e}$$

hidrojenin ağırlık oranı

$$B = \frac{b}{12 a + b + 32 c + 16 d + 14 e}$$

kükürdün ağırlık oranı

$$C = \frac{32 c}{12 a + b + 32 c + 16 d + 14 e}$$

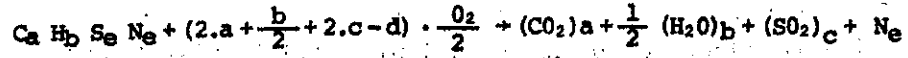
oksijenin ağırlık oranı

$$D = \frac{16 d}{12 a + b + 32 c + 16 d + 14 e}$$

ve azotun ağırlık oranı da

$$E = \frac{14 e}{12 a + b + 32 c + 16 d + 14 e}$$

olur. Kimyasal formülü (C_a H_b S_c O_d N_e) olan yakacakta karbon, hidrojen, kükürt, oksijen ve azotun ağırlık oranlarını bu şekilde belirledikten sonra genel kimyasal yanma denklemini



şeklinde, ağırlık arasındaki ilişkiyi gösteren genel yanma denklemini

$$1 \text{ kg } (C_a H_b S_c N_e) + \left(\frac{8}{3} A + 8B + C - D\right) \text{ kg (Oksijen)} =$$

$$\frac{11}{3} \cdot A \text{ kg (Karbondiyoksit)} + 9.B \text{ kg (Su buharı)} + 2.c \text{ kg (Kükürtdiyoksit)} + E \text{ kg (azot)}$$

şeklinde ve nihayet hacimler arasındaki ilişkiyi gösteren genel yanma denklemini de

$$1 \text{ kg } (C_a H_b S_c O_d N_e) + (1,87 A + 5,607.B + 0,701 C - 0,701 D) \text{ Nm}^3 \text{ (Oksijen)} =$$

$$1,87 \text{ Nm}^3 \text{ (Karbondiyoksit)} + 11,214 \text{ Nm}^3 \text{ (Su buharı)} + 0,701 \text{ Nm}^3 \text{ (Kükürtdiyoksit)} +$$

$$0,801 \cdot E \text{ Nm}^3 \text{ (Azot)}$$

şeklinde yazabiliriz.

5) YANMA GAZLARININ HACMI

Yanma sonunda oluşan gazlara yanma gazları denir. Yanma gazlarının toplam hacmini (V) ile gösterebiliriz. Yanma için gönderilen havanın hacimsel olarak (0,79)'u azottur. Yakacağın bileşiminde bulunan azotun hacmi (V_N), karbonun yanmasından oluşan karbondiyoksitin hacmi (V_C), hidrojenin yanmasından oluşan su buharının hacmi (V_H) ve nihayet kükürdün yanmasından oluşan kükürtdiyoksitin hacmi de (V_S) olsun. Yakacağın tam yanması için üzerine gönderilen gerçek hava miktarı (H_g) ve yakacağın içerdiği suyun buharlaşması ile elde edilen su buharının hacmi de (V_n) olduğuna göre,

$$V \text{ Nm}^3 = 0,79 H_k + (H_g - H_k) + V_C + V_H + V_S + V_N + V_n$$

eşitliğini yazabiliriz. Diğer yandan

$$V_C = 1,87 \cdot G_c$$

$$V_H = 11,214 \cdot G_H$$

$$V_S = 0,701 \cdot G_S$$

$$V_N = 1,244 \cdot G$$

$$V_N = 0,801 \cdot G_N$$

ve

$$H_g = h_f \cdot H_k$$

olduğuna göre

$$V \text{ Nm}^3 = 0,79 H_k + (H_g - H_k) + V_C + V_H + V_S + V_N + V_n$$

eşitliği yerine

$$V \text{ Nm}^3 = (h_f + 0,21) H_k + 1,87 G_c + 11,214 G_H + 0,701 G_S + 0,801 G_N + 1,244 G$$

eşitliği yazılabilir.

Aşağıdaki çizelgelerde, endüstriyel değeri yüksek olan bazı katı, sıvı ve gaz yakacakları oluşturan element ve maddelerin ağırlık ve hacim oranları, kalorifik değerleri, tam yanma için gerekli kuramsal oksijen ve hava miktarları ile yanma gazlarının hacmi verilmiştir.

5.1. Numaralı Çizelge

Katı Yakacaklar	Yakacağı oluşturan element ve maddelerin ağırlık oranı							Yakacağın kalorifik değeri Kcal/Kg	15°C Sıcaklıkta ve atmosferik basınçta kuramsal hava miktarı (Nm ³)
	% C	% H	% O	% N	% S	% Su	% Kül		
Turb	44	4,5	15	10	0,5	20	6	3850	4,70
Linyit Biriketi	51	4,3	10	8	1,7	15	10	4680	5,58
Linyit	60	5	3	1	1	20	10	5220	6,22
Yağlı Kömür	81	4,5	3	2,5	1	2	6	7680	9,00
İnce Kömür	84	4	3	1	1	1	6	7830	9,20
Antrasit	87	2,5	1,5	1	1	1	6	7670	9,10
Metallürjik Kok	88	0,5	1	0,5	1	1	8	7230	8,66
Gaz Koku	84	1	1	1	1	2	10	7030	8,40

5.2. Numaralı Çizelge

Sıvı Yakacaklar	Sıvı yakacağı oluşturan elementlerin ağırlık oranı		Sıvı Yakacağın Kaldırıcı Değeri (kcal/kg)	15°C sıcaklıkta ve atmosferik basınçta kurumsal oksijen ve hava miktarı		15 °C sıcaklıkta ve atmosferik basınçta yanma gazları	
	% C	% H		O _k (Nm ³)	H _k (Nm ³)	CO ₂ (Nm ³)	H ₂ O (Nm ³)
Alkol (C ₂ H ₆ O)	52	13	7100	1,59	7,6	1,06	1,59
Saf Benzol (C ₆ H ₆)	92,2	7,8	10000	2,35	11,2	1,87	0,94
Ticari Benzol	92,1	7,9	10000	2,35	11,2	1,86	0,96
Saf Naftalin(C ₁₀ H ₈)	93,7	6,3	9640	2,29	10,9	1,91	0,76
Saf Tetralin(C ₁₀ H ₁₂)	90,8	9,2	10240	2,40	11,4	1,85	1,12
Pentan (C ₅ H ₁₂)	83,2	11,8	11750	2,71	12,9	1,70	2,03
Heksan (C ₆ H ₁₄)	83,6	16,4	11550	2,70	12,9	1,70	1,99
Heptan (C ₇ H ₁₆)	83,9	16,1	11520	2,69	12,8	1,71	1,95
Oktan (C ₈ H ₁₈)	84,1	15,9	11500	2,68	12,8	1,71	1,93
Benzin	85	15	11000	2,7	12,8	1,7	1,9

- 1) Ticari nitelikteki benzol %84 saf benzol, %13 toluol ve %3 Xylol'dan oluşur.
- 2) Pentan, heksan, heptan, oktan gibi hidrokarburlerle metan dizisinin homologları benzini oluştururlar.

5.3. Numaralı Çizelge

Gaz Yakacaklar	Gaz yakacağı oluşturan element ve maddelerin hacim oranı						Gaz yakacağın Kaldırıcı değeri (kcal/m ³)	Gaz yakacağın özgül ağırlığı (kg/m ³)
	% H	% CO	% CH ₄	Hidrokarburler % Cn Hn	% CO ₂	% N ₂		
Kömür damıtma gazı	27	7	68	13	3	2	6900	0,58
Aydınlatma gazı	51	8	32	4	2	3	5000	0,40
Kok fırını gazı	50	8	29	4	2	7	4800	0,42
Su gazı	49	42	0,5	0,5	5	3	2600	0,52
Karışık gaz	12	28	3	0,2	3	54	1450	0,86
Havagazı	6	23	3	0,2	5	62	1140	0,92
Yüksek fırın gazı	4	28	-	-	8	60	950	0,99

ÇÜZÜMLÜ PROBLEMLER

5.1. PROBLEM

Bir termik santralde buhar türbinlerini besleyen bir buhar kazanının ocağında linyit kömürü yakılmaktadır. Bu linyit kömürünün nicel analiz sonunda ağırlık olarak (0,55) karbon, (0,05) hidrojen, (0,02) kükürt, (0,06) oksijen, (0,02) azot, (0,20) su ve (0,10) külden oluştuğu saptanmıştır. Hava fazlalık sayısı ($h_f = 1,75$) olduğuna göre, (1 kg) linyit kömürünün buhar kazanı ocağında yakılması için gerekli gerçek hava miktarı ile yanma gazlarının hacmini (Nm³) olarak hesaplayınız.

PROBLEMİN ÇÖZÜMÜ

Bu problemi

$$O_k \text{ (Nm}^3\text{)} = 1,87 G_C + 5,607 G_H + 0,701 G_S - 0,701 G_O$$

$$H_k \text{ (Nm}^3\text{)} = 4,762 \cdot O_k$$

$$H_g \text{ (Nm}^3\text{)} = h_f \cdot H_k$$

ve

$$V \text{ (Nm}^3\text{)} = (h_f + 0,21) H_k + 1,87 G_C + 11,214 G_H + 0,701 G_S + 0,801 G_N + 1,244 G$$

eşitliklerinden yararlanarak çözümlenebiliriz.

$$G_C = 0,55 \text{ kg}$$

$$G_H = 0,05 \text{ kg}$$

$$G_S = 0,02 \text{ kg}$$

$$G_O = 0,06 \text{ kg}$$

$$G_N = 0,02 \text{ kg}$$

$$G = 0,20 \text{ kg}$$

olarak verildiği için

$$O_k = 1,87 \cdot 0,55 + 5,607 \cdot 0,05 + 0,701 \cdot 0,02 - 0,701 \cdot 0,06 = 1,337 \text{ Nm}^3$$

$$O_k = 1,337 \cdot Nm^3$$

olur. Diğer yandan

$$H_k = 4,762 \cdot O_k = 1,337 \cdot 4,762 = 6,336 \text{ Nm}^3$$

$$H_k = 6,336 \text{ Nm}^3$$

ve

$$H_g = h_f \cdot H_k = 1,75 \cdot 6,336 = 11,088 \text{ Nm}^3$$

$$H_g = 11,088 \text{ Nm}^3$$

bulunur.

$$V(\text{Nm}^3) = (h_f + 0,21)H_k + 1,87 G_C + 1,214 G_H + 0,701 G_S + 0,801 G_N + 1,244 G$$

eşitliğinde yukardaki değerleri yerlerine koyacak olursak

$$V = (1,75 + 0,21)6,336 + 1,87 \cdot 0,55 + 11,214 \cdot 0,05 + 0,701 \cdot 0,02 + 0,801 \cdot 0,02 + 1,244 \cdot 0,20$$

$$V = 14,286 \text{ Nm}^3$$

elde ederiz.

5.2. PROBLEM

Bir sobada yakıt olarak kullanılan gazyağını oluşturan elementlerden karbonun ağırlık oranının (0,125) ve hidrojenin ağırlık oranının da (0,846) olduğu yapılan nitel analiz sonunda belirlenmiştir. Gaz yağıının ağırlık olarak (0,029)'unu yanıcı olmayan bazı yabancı maddeler oluşturmaktadır. Hava fazlalık sayısını ($h_f = 2$) kabul ederek sobada (1 kg) gaz yağıının yakılması için gerekli gerçek hava miktarını ağırlık olarak ve yanma gazlarının hacmini de (Nm^3) olarak hesaplayınız.

PROBLEMİN ÇÖZÜMÜ

Bu problemin çözümünde

$$O_k (\text{kg}) = \frac{8}{3} \cdot G_C + 8 G_H$$

$$H_k (\text{kg}) = 4,292 \cdot O_k$$

$$H_g (\text{kg}) = h_f \cdot H_k$$

eşitlikleri ile

$$V (\text{Nm}^3) = (h_f + 0,21) H_k + 1,87 \cdot G_C + 11,214 G_H$$

eşitliğinden yararlanılır.

$$G_C = 0,125 \text{ kg}$$

$$G_H = 0,846 \text{ kg}$$

olarak verilmiştir. Bu durumda

$$O_k = \frac{8}{3} \cdot G_C + 8 \cdot G_H = \frac{8}{3} \cdot 0,125 + 8 \cdot 0,846 = 7,101 \text{ kg}$$

$$O_k = 7,101 \text{ kg}$$

ve

$$H_k = 4,292 \cdot O_k = 4,292 \cdot 7,101 = 30,477 \text{ kg}$$

$$H_k = 30,477$$

$$H_g = h_f \cdot H_k = 2 \cdot 30,477 = 60,954 \text{ kg}$$

$$H_g = 60,954 \text{ kg}$$

elde edilir. Diğer yandan (Nm^3) olarak kuramsal hava miktarını bulmak için

$$O_k (\text{Nm}^3) = 1,87 G_C + 5,607 G_H$$

$$H_k (\text{Nm}^3) = 4,762 \cdot O_k$$

eşitliklerinden yararlanılır.

$$O_k = 1,87 \cdot G_C + 5,607 \cdot G_H = 1,87 \cdot 0,125 + 5,607 \cdot 0,846 = 4,976 \text{ Nm}^3$$

$$O_k = 4,976 \text{ Nm}^3$$

$$H_k = 4,762 \cdot O_k = 4,762 \cdot 4,976 = 23,695 \text{ Nm}^3$$

$$H_k = 23,695 \text{ Nm}^3$$

olur. Bu durumda

$$V \text{ (Nm}^3\text{)} = (h_f + 0,21) H_k + 1,87.G_G + 11,214 G_H$$

olduğu için

$$V = (2+0,21) \cdot 23,695 + 1,87 \cdot 0,125 + 11,214 \cdot 0,846 = 62,087 \text{ Nm}^3$$

$$V = 62,087 \text{ Nm}^3$$

bulunur.

5.3. PROBLEM

Otomobil motorlarında yakacak olarak kullanılan benzinin esasını kimyasal formülü (C_6H_{14}) olan heksan oluşturmaktadır. Hava fazlalık sayısı ($h_f = 1,5$) olduğuna göre, (1 kg) heksanın yakılması için gerekli gerçek hava miktarını ve yanma gazlarının hacmini (Nm^3) olarak hesaplayınız.

PROBLEMİN ÇÖZÜMÜ

Bu problemi çözmek için

$$O_k \text{ (Nm}^3\text{)} = 1,87 \cdot A + 5,607 B$$

$$A = \frac{12 a}{12 a + b}$$

$$B = \frac{b}{12 a + b}$$

$$H_k = 4,762 \cdot O_k$$

$$H_G = h_f \cdot H_k$$

eşitlikleri ile

$$V \text{ (Nm}^3\text{)} = (h_f + 0,21) \cdot H_k + 1,87 \cdot A + 11,214 \cdot B$$

eşitliğinden yararlanmak gerekir. Heksanın kimyasal formülü (C_6H_{14}) olduğu için

$$a = 6$$

$$b = 14$$

olur. Bu durumda

$$A = \frac{12 a}{12 a + b} = \frac{12 \cdot 6}{12 \cdot 6 + 14} = 0,837 \text{ kg}$$

$$A = 0,837 \text{ kg}$$

$$B = \frac{b}{12 a + b} = \frac{14}{12 \cdot 6 + 14} = 0,163 \text{ kg}$$

$$B = 0,163 \text{ kg}$$

buluruz. Bulduğumuz bu değerleri

$$O_k = 1,87 A + 5,607 B$$

eşitliğinden yerlerine koyalım.

$$O_k = 1,87 \cdot A + 5,607 \cdot B = 1,87 \cdot 0,837 + 5,607 \cdot 0,163 = 2,479 \text{ Nm}^3$$

$$O_k = 2,479 \text{ Nm}^3$$

elde edilir. Diğer yandan

$$H_k = 4,762 \cdot O_k$$

ve

$$H_G = h_f \cdot H_k$$

olduğu için

$$H_k = 4,762 \cdot O_k = 4,762 \cdot 2,479 = 11,805 \text{ Nm}^3$$

$$H_k = 11,805 \text{ Nm}^3$$

ve

$$H_G = h_f \cdot H_k = 1,5 \cdot 11,805 = 17,707 \text{ Nm}^3$$

$$H_G = 17,707 \text{ Nm}^3$$

bulunur. Son olarak

$$V = (h_f + 0,21) H_k + 1,87.A + 11,214 B$$

eşitliğinden yararlanılarak

$$V = (1,5 + 0,21) \cdot 17,707 + 1,87 \cdot 0,837 + 11,214 \cdot 0,163 = 52,341 \text{ Nm}^3$$

$$V = 52,341 \text{ Nm}^3$$

çıkarılır.

1'den 225'e kadar sayıların tabii logaritması

N	Ln N	N	Ln N	N	Ln N	N	Ln N	N	Ln N
1	0,00000	46	3,82864	91	4,51086	136	4,91265	181	5,19850
2	0,69315	47	3,85015	92	4,52179	137	4,91998	182	5,20401
3	1,09861	48	3,87120	93	4,53260	138	4,92725	183	5,20949
4	1,38629	49	3,89182	94	4,54329	139	4,93447	184	5,21494
5	1,60944	50	3,91202	95	4,55388	140	4,94164	185	5,22036
6	1,79176	51	3,93183	96	4,56435	141	4,94876	186	5,22575
7	1,94591	52	3,95184	97	4,57471	142	4,95583	187	5,23111
8	2,07944	53	3,97029	98	4,58497	143	4,96284	188	5,23644
9	2,19722	54	3,98898	99	4,59512	144	4,96981	189	5,24175
10	2,30259	55	4,00733	100	4,60517	145	4,97673	190	5,24702
11	2,39790	56	4,02535	101	4,61512	146	4,98361	191	5,25227
12	2,48491	57	4,04305	102	4,62497	147	4,99043	192	5,25750
13	2,56495	58	4,06044	103	4,63473	148	4,99721	193	5,26269
14	2,63906	59	4,07754	104	4,64439	149	5,00395	194	5,26786
15	2,70805	60	4,09434	105	4,65396	150	5,01064	195	5,27300
16	2,77259	61	4,11087	106	4,66344	151	5,01728	196	5,27811
17	2,83321	62	4,12713	107	4,67283	152	5,02388	197	5,28320
18	2,89037	63	4,14313	108	4,68213	153	5,03044	198	5,28827
19	2,94444	64	4,15888	109	4,69135	154	5,03695	199	5,29330
20	2,99573	65	4,17439	110	4,70048	155	5,04343	200	5,29832
21	3,04452	66	4,18965	111	4,70953	156	5,04986	201	5,30330
22	3,09104	67	4,20469	112	4,71850	157	5,05625	202	5,30827
23	3,13549	68	4,21951	113	4,72739	158	5,06260	203	5,31231
24	3,17805	69	4,23411	114	4,73620	159	5,06890	204	5,31812
25	3,21888	70	4,24850	115	4,74493	160	5,07517	205	5,32301
26	3,25810	71	4,26268	116	4,75359	161	5,08140	206	5,32788
27	3,29584	72	4,27667	117	4,76217	162	5,08760	207	5,33272
28	3,33220	73	4,29046	118	4,77068	163	5,09375	208	5,33754
29	3,36730	74	4,30407	119	4,77912	164	5,09987	209	5,34233
30	3,40120	75	4,31749	120	4,78749	165	5,10595	210	5,34711
31	3,43399	76	4,33073	121	4,79579	166	5,11199	211	5,35186
32	3,46574	77	4,34381	122	4,80402	167	5,11799	212	5,35659
33	3,49651	78	4,35671	123	4,81218	168	5,12396	213	5,36129
34	3,52636	79	4,36945	124	4,82028	169	5,12990	214	5,36598
35	3,55535	80	4,38203	125	4,82831	170	5,13580	215	5,37064
36	3,58352	81	4,39445	126	4,83628	171	5,14166	216	5,37528
37	3,61092	82	4,40672	127	4,84419	172	5,14749	217	5,37990
38	3,63759	83	4,41884	128	4,85203	173	5,15329	218	5,38450
39	3,66356	84	4,43082	129	4,85981	174	5,15906	219	5,38907
40	3,68888	85	4,44265	130	4,86753	175	5,16479	220	5,39363
41	3,71357	86	4,45435	131	4,87520	176	5,17048	221	5,39816
42	3,73767	87	4,46591	132	4,88280	177	5,17615	222	5,40268
43	3,76120	88	4,47734	133	4,89035	178	5,18178	223	5,40717
44	3,78419	89	4,48864	134	4,89784	179	5,18739	224	5,41165
45	3,80666	90	4,49981	135	4,90527	180	5,19296	225	5,41610

226'dan 450'ye kadar sayıların tabii logaritması

N	Ln N	N	Ln N	N	Ln N	N	Ln N	N	Ln N
226	5,42063	271	5,60212	316	5,75574	361	5,88888	406	6,00635
227	5,42495	272	5,60580	317	5,75890	362	5,89164	407	6,00881
228	5,42935	273	5,60947	318	5,76205	363	5,89440	408	6,01127
229	5,43372	274	5,61313	319	5,76519	364	5,89715	409	6,01372
230	5,43808	275	5,61677	320	5,76832	365	5,89990	410	6,01616
231	5,44242	276	5,62040	321	5,77144	366	5,90263	411	6,01859
232	5,44674	277	5,62402	322	5,77456	367	5,90536	412	6,02102
233	5,45104	278	5,62762	323	5,77765	368	5,90808	413	6,02345
234	5,45532	279	5,63121	324	5,78074	369	5,91080	414	6,02587
235	5,45959	280	5,63479	325	5,78383	370	5,91350	415	6,02828
236	5,46383	281	5,63835	326	5,78690	371	5,91620	416	6,03069
237	5,46806	282	5,64191	327	5,78996	372	5,91889	417	6,03309
238	5,47227	283	5,64545	328	5,79301	373	5,92158	418	6,03546
239	5,47646	284	5,64897	329	5,79606	374	5,92426	419	6,03787
240	5,48064	285	5,65249	330	5,79909	375	5,92693	420	6,04025
241	5,48480	286	5,65599	331	5,80212	376	5,92959	421	6,04263
242	5,48894	287	5,65948	332	5,80513	377	5,93225	422	6,04501
243	5,49306	288	5,66296	333	5,80814	378	5,93489	423	6,04737
244	5,49717	289	5,66643	334	5,81114	379	5,93754	424	6,04973
245	5,50126	290	5,66988	335	5,81413	380	5,94017	425	6,05209
246	5,50533	291	5,67332	336	5,81711	381	5,94280	426	6,05444
247	5,50939	292	5,67675	337	5,82008	382	5,94542	427	6,05678
248	5,51343	293	5,68017	338	5,82305	383	5,94803	428	6,05912
249	5,51745	294	5,68358	339	5,82600	384	5,95064	429	6,06146
250	5,52146	295	5,68698	340	5,82895	385	5,95324	430	6,06379
251	5,52545	296	5,69036	341	5,83188	386	5,95584	431	6,06611
252	5,52943	297	5,69373	342	5,83481	387	5,95842	432	6,06843
253	5,53339	298	5,69703	343	5,83773	388	5,96101	433	6,07074
254	5,53733	299	5,70044	344	5,84064	389	5,96358	434	6,07304
255	5,54126	300	5,70378	345	5,84354	390	5,96615	435	6,07535
256	5,54518	301	5,70711	346	5,84644	391	5,96871	436	6,07764
257	5,54908	302	5,71043	347	5,84932	392	5,97125	437	6,07993
258	5,55296	303	5,71373	348	5,85220	393	5,97381	438	6,08222
259	5,55683	304	5,71703	349	5,85507	394	5,97635	439	6,08450
260	5,56088	305	5,72031	350	5,85793	395	5,97889	440	6,08677
261	5,56452	306	5,72359	351	5,86079	396	5,98141	441	6,08904
262	5,56834	307	5,72685	352	5,86363	397	5,98394	442	6,09131
263	5,57215	308	5,73010	353	5,86647	398	5,98645	443	6,09357
264	5,57595	309	5,73334	354	5,86930	399	5,98896	444	6,09582
265	5,57973	310	5,73657	355	5,87212	400	5,99146	445	6,09807
266	5,58350	311	5,73979	356	5,87493	401	5,99396	446	6,10032
267	5,58725	312	5,74300	357	5,87774	402	5,99645	447	6,10256
268	5,59099	313	5,74620	358	5,88053	403	5,99894	448	6,10479
269	5,59471	314	5,74939	359	5,88332	404	6,00141	449	6,10702
270	5,59842	315	5,75257	360	5,88610	405	6,00389	450	6,10925

451'den 675'e kadar sayıların tabii logaritması

N	Ln N	N	Ln N	N	Ln N	N	Ln N	N	Ln N
451	6,11147	496	6,20658	541	6,29342	586	6,37332	631	6,44731
452	6,11368	497	6,20850	542	6,29527	587	6,37502	632	6,44889
453	6,11589	498	6,21060	543	6,29711	588	6,37673	633	6,45047
454	6,11810	499	6,21261	544	6,29895	589	6,37843	634	6,45205
455	6,12030	500	6,21461	545	6,30079	590	6,38018	635	6,45362
456	6,12249	501	6,21661	546	6,30262	591	6,38182	636	6,45520
457	6,12468	502	6,21860	547	6,30445	592	6,38351	637	6,45177
458	6,12187	503	6,22059	548	6,30628	593	6,38519	638	6,45834
459	6,12905	504	6,22258	549	6,30810	594	6,38688	639	6,45990
460	6,13123	505	6,22456	550	6,30992	595	6,38856	640	6,46147
461	6,13340	506	6,22654	551	6,31173	596	6,39024	641	6,46303
462	6,13556	507	6,22851	552	6,31355	597	6,39192	642	6,46459
463	6,13773	508	6,23048	553	6,31536	598	6,39359	643	6,46614
464	6,13988	509	6,23245	554	6,31716	599	6,39526	644	6,46770
465	6,14204	510	6,23441	555	6,31897	600	6,39693	645	6,46925
466	6,14419	511	6,23637	556	6,32077	601	6,39859	646	6,47080
467	6,14633	512	6,23832	557	6,32257	602	6,40026	647	6,47235
468	6,14847	513	6,24028	558	6,32436	603	6,40192	648	6,47389
469	6,15060	514	6,24222	559	6,32615	604	6,40357	649	6,47543
470	6,15273	515	6,24417	560	6,32794	605	6,40523	650	6,47697
471	6,15686	516	6,24611	561	6,32972	606	6,40688	651	6,47851
472	6,15698	517	6,24804	562	6,33150	607	6,40853	652	6,48004
473	6,15910	518	6,24998	563	6,33328	608	6,41017	653	6,48158
474	6,16121	519	6,25190	564	6,33505	609	6,41182	654	6,48311
475	6,16331	520	6,25383	565	6,33683	610	6,41346	655	6,48464
476	6,16542	521	6,25575	566	6,33859	611	6,41510	656	6,48616
477	6,16752	522	6,25767	567	6,34036	612	6,41673	657	6,48768
478	6,16961	523	6,25958	568	6,34212	613	6,41836	658	6,48920
479	6,17170	524	6,26149	569	6,34388	614	6,41999	659	6,49072
480	6,17379	525	6,26340	570	6,34564	615	6,42162	660	6,49224
481	6,17587	526	6,26530	571	6,34739	616	6,42325	661	6,49375
482	6,17794	527	6,26720	572	6,34913	617	6,42487	662	6,49527
483	6,18002	528	6,26910	573	6,35088	618	6,42649	663	6,49677
484	6,18208	529	6,27099	574	6,35263	619	6,42811	664	6,49828
485	6,18415	530	6,27288	575	6,35437	620	6,42972	665	6,49979
486	6,18621	531	6,27476	576	6,35611	621	6,43133	666	6,50129
487	6,18826	532	6,27664	577	6,35784	622	6,43294	667	6,50279
488	6,19032	533	6,27852	578	6,35957	623	6,43455	668	6,50429
489	6,19236	534	6,28040	579	6,36130	624	6,43615	669	6,50578
490	6,19441	535	6,28227	580	6,36303	625	6,43775	670	6,50728
491	6,19644	536	6,28413	581	6,36475	626	6,43935	671	6,50877
492	6,19848	537	6,28600	582	6,36647	627	6,44095	672	6,51026
493	6,20051	538	6,28786	583	6,36819	628	6,44254	673	6,51175
494	6,20254	539	6,28972	584	6,36990	629	6,44413	674	6,51323
495	6,20456	540	6,29157	585	6,37161	630	6,44572	675	6,51471

676'dan 900'e kadar sayıların tabii logaritması

N	Ln N	N	Ln N	N	Ln N	N	Ln N	N	Ln N
676	6,51619	721	6,58064	766	6,64118	811	6,69827	856	6,75227
677	6,51767	722	6,58203	767	6,64249	812	6,69950	857	6,75344
678	6,51915	723	6,58341	768	6,64379	813	6,70073	858	6,75460
679	6,52062	724	6,58479	769	6,64509	814	6,70196	859	6,75577
680	6,52209	725	6,58617	770	6,64639	815	6,70319	860	6,75693
681	6,52356	726	6,58755	771	6,64769	816	6,70441	861	6,75809
682	6,52503	727	6,58893	772	6,64898	817	6,70564	862	6,75926
683	6,52649	728	6,59030	773	6,65028	818	6,70686	863	6,76041
684	6,52796	729	6,59167	774	6,65157	819	6,70808	864	6,76157
685	6,52942	730	6,59304	775	6,65286	820	6,70930	865	6,76273
686	6,53088	731	6,59441	776	6,65415	821	6,71052	866	6,76388
687	6,53233	732	6,59578	777	6,65544	822	6,71174	867	6,76504
688	6,53379	733	6,59715	778	6,65673	823	6,71296	868	6,76619
689	6,53524	734	6,59851	779	6,65801	824	6,71417	869	6,76734
690	6,53669	735	6,59987	780	6,65929	825	6,71538	870	6,76849
691	6,53814	736	6,60123	781	6,66058	826	6,71659	871	6,76964
692	6,53959	737	6,60259	782	6,66185	827	6,71780	872	6,77079
693	6,54103	738	6,60394	783	6,66313	828	6,71901	873	6,77194
694	6,54247	739	6,60530	784	6,66441	829	6,72022	874	6,77308
695	6,54391	740	6,60665	785	6,66568	830	6,72143	875	6,77422
696	6,54535	741	6,60800	786	6,66696	831	6,72263	876	6,77537
697	6,54679	742	6,60935	787	6,66823	832	6,72383	877	6,77651
698	6,54822	743	6,61070	788	6,66950	833	6,72503	878	6,77765
699	6,54965	744	6,61204	789	6,67077	834	6,72623	879	6,77878
700	6,55108	745	6,61338	790	6,67203	835	6,72743	880	6,77992
701	6,55251	746	6,61473	791	6,67330	836	6,72863	881	6,78106
702	6,55393	747	6,61607	792	6,67456	837	6,72982	882	6,78219
703	6,55536	748	6,61740	793	6,67582	838	6,73102	883	6,78333
704	6,55676	749	6,61874	794	6,67708	839	6,73221	884	6,78446
705	6,55820	750	6,62007	795	6,67834	840	6,73340	885	6,78559
706	6,55962	751	6,62141	796	6,67960	841	6,73459	886	6,78672
707	6,56103	752	6,62274	797	6,68085	842	6,73578	887	6,78784
708	6,56244	753	6,62407	798	6,68218	843	6,73697	888	6,78897
709	6,56386	754	6,63539	799	6,68336	844	6,73815	889	6,79010
710	6,56526	755	6,62672	800	6,68461	845	6,73934	890	6,79122
711	6,56667	756	6,62804	801	6,68586	846	6,74052	891	6,79234
712	6,56808	757	6,62936	802	6,68711	847	6,74170	892	6,79347
713	6,56948	758	6,63068	803	6,68835	848	6,74288	893	6,79459
714	6,57088	759	6,63200	804	6,68960	849	6,74406	894	6,79571
715	6,57228	760	6,63332	805	6,69084	850	6,74524	895	6,79682
716	6,57368	761	6,63463	806	6,69208	851	6,74641	896	6,79794
717	6,57508	762	6,63595	807	6,69332	852	6,74759	897	6,79906
718	6,57647	763	6,63726	808	6,69456	853	6,74876	898	6,80017
719	6,57786	764	6,63857	809	6,69580	854	6,74993	899	6,80128
720	6,57925	765	6,63988	810	6,69703	855	6,75110	900	6,80239

KAYNAKÇA

FRANSIZCA ESERLER

- 1) Chaleur, Thermodynamique, E'tats de la Matière
P.Fleury - J.P. Mathieu
- 2) HOTTE- Manuel de L'ingénieur (Tome I)
- 3) La Thermodynamique - Prof. Dr. Charles Bory
- 4) La Vérité scientifique - Edmond Bouty
- 5) Mécanique appliquée (Tome II). Thermodynamique
R.Ouziaux - J. Perrier
- 6) Thermodynamique- G. Bruhat
- 7) Thermodynamique- Prof. Dr. Jean Mericet

TÜRKÇE ESERLER

- 1) Genel Anorganik Kimya- Prof.Dr.F.Arndt/Dr. Lütfi Ergener
- 2) Genel ve Genel Fizik- Prof.Dr.J.Lemoine/ Prof.Dr. M.A.Blanc
- 3) Fiziğin Evrimi - A.Einstein /L. Infeld
- 4) Fizik - Prof. Dr. R.Tomaschek
- 5) Mühendislik Termodinamiğin Esasları- Prof.Dr. Nejat Aybers
- 6) Termodinamik Notları- M.Emin Zorkun
- 7) Termodinamik Problemleri- A.Tétrél

