

T.C
YÜZÜNCÜ YIL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
FİZİK ANABİLİMDALI

GAZLARIN DİFÜZYONU VE KÜRESEL ISINMAYA ETKİSİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

HAZIRLAYAN: Nilgün ONURSAL

DANIŞMAN: Prof. Dr. Ekber PENAHOV

VAN – 2007

T.C
YÜZÜNCÜ YIL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
FİZİK ANABİLİMDALI

GAZLARIN DİFÜZYONU VE KÜRESEL ISINMAYA ETKİSİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

HAZIRLAYAN: Nilgün ONURSAL

VAN - 2007

KABUL VE ONAY SAYFASI

Prof. Dr. Ekber PENAHOV danışmanlığında Nilgün ONURSAL tarafından hazırlanan Gazların Difüzyonu ve Küresel Isınmaya Etkisi isimli bu çalışma .../.../2007 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Fizik Anabilimdalı'nda Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan..... İmza

Üye..... İmza

Üye..... İmza

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulunun/...../..2007 gün vesayılı kararı ile onaylanmıştır.

....

Enstitü Müdürü

ÖZET

GAZLARIN DİFÜZYONU VE KÜRESEL ISINMAYA ETKİSİ

ONURSAL, Nilgün

Yüksek Lisans Tezi, Fizik Anabilimdalı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Ekber PENAHOV

Ocak 2007, 44 sayfa

Difüzyon, bir gazın diğer bir gaz içerisinde yayılması olayıdır. Bu olayın temelde nasıl gerçekleştiğini, etkilerinin neler olduğunu, yararlarını ve zararlarını iyi belirlemek gerekir. Bunu daha anlaşılır hale getirmek için difüzyonun meydana geliş aşamalarına kısaca değinmek gerekir. Herhangi bir A molekülü, birim zamanda, taban alanı $\sigma = 4\pi r^2$, yüksekliği ise molekülün ortalama kare hızına (\bar{v}) eşit olan silindirdeki bütün moleküllerle çarpışacaktır. Birim zamanda bu molekülün yaptığı çarpışmaların ortalama sayısı: $\bar{Z} = \sigma \bar{v}_n$ şeklindedir. Burada n, birim hacimdeki molekül sayısını temsil eder. Bağıntı yazılırken A molekülünden başka, diğer bütün moleküller durgun kabul edilir. Oysaki gerçek böyle değildir. Sadece A molekülü değil bütün moleküllerin hareketli oldukları hesaba katılmalıdır.

Bir cins (homojen) gazın yoğunluğu, belli bir bölgesinde diğer kısmına oranla daha büyük olursa, gazı oluşturan moleküllerin, ısı hareketi sonucunda yoğunluğun çok olduğu yerden, az olduğu yere doğru net bir gaz akımının meydana geldiği gözlenir. Bu akım difüzyondur.

Gazların difüzyonu asırlardır bilinmektedir. Fakat bu konudaki çalışmalar 19. yüzyılda sistemli bir şekilde başlamıştır. 20. yüzyılın son çeyreğinde ise gazların difüzyonunun yarattığı etkiler (olumlu ve olumsuz) çok aleni tartışılmaya başlanmıştır. Son 5 yılda özellikle küresel ısınma üzerindeki etkisi uluslararası örgütler tarafından sürekli gündemde tutularak olayın önemi vurgulanmaktadır.

Bu çalışmada difüzyon olayındaki bazı kusurların oluşum nedenleri yorumlanacak ve difüzyon olayının küresel ısınma üzerindeki rolü araştırılıp difüzyon katsayısının basınç ve sıcaklığa bağlılıkları analiz edilecektir.

Anahtar Kelimeler: Difüzyon, Gaz akımı, Küresel ısınma.

ABSTRACT

DIFUSSION OF GASSES AND THE EFFECT TO GLOBAL HEATING

ONURSAL, Nilgün

Msc., Physics

Supervisor: Prof. Dr. Ekber PENAHOV

October 2007, 44 Pages

Diffusing of a gas among another one is termed as diffusion. It must be determined certainly how this event happens fundamentally, what the effects, the benefits and the harms. To make it clear progress of diffusion should be addressed. Any A molecule, in a unit time, in a cylinder which has the base area of $\sigma = \pi r^2$ and height is equal to the average speed of the molecule (\bar{v}) will collide with all moles. Number of average smashes of this molecule will equal to: $\bar{Z} = \sigma \bar{v}_n$. Here, n represents number of molecules in unit volume. All other molecules are assumed as stable while the equation is written. However, actual is not so. Not only A molecule but also all molecules should be taken into account.

If the density of one kind of a gas (homogeneous) is more intense in some regions than the other parts, molecules that constitute the gas will move to the less intense territories from the more intense parts in respect to the heat movement. Namely, this is diffusion.

Diffusion is known for many centuries. However, systematic researches have begun in nineteenth century. Effects of gas diffusion openly begin in the last quarter of twentieth century. In the last five years, particularly, effects of gas diffusion on global heating are held on the current issue by international organizations.

In this study, reasons about errors on the fact of diffusion will be interpreted, the role of the diffusion on global heating will be inquired, and associations between diffusion coefficient, pressure and heat.

Key Words: Dıffusion, Flow of gas , Global Heating.

ÖN SÖZ

Gazların difüzyonu, solunan havadan başlanarak birçok olayda karşılaşılabacak bir olgudur. Şayet doğru yer ve zamanda gerçekleşmezse birçok felaketi de beraberinde getirir. Temiz hava olarak nitelendirilen atmosferin alt katmanını azot, oksijen, karbondioksit ve çok az miktarda diğer gazlardan oluşur. Ayrıca atmosferin üst katmanında birde ozon gazının (O_3) oluşturduğu tabaka vardır. Ozon, güneşten gelen zararlı ışınların çoğunu yansıtır bir kısmını tutarak yer yüzüne ulaşmasını engeller. Evler, işyerleri, sanayi kuruluşları ve otomobillerin çevreye verdikleri gaz atıklar havanın içine difüze ederek bileşimini değiştirir. Aşırı artan CO_2 , atmosferin üst katmanlarında birikerek ısınır, atmosfer dışına çıkmasını engeller. Böylece yeryüzü giderek ısınır. Buda buzların eriyerek denizlerin yükselmesine, kıyıların sularla kaplanmasına ve iklimlerin değişmesine neden olacaktır.

Bilindiği üzere küresel ısınmanın en büyük nedeni gazların difüzyonudur. Dünya sağlık örgütü WHO tarafından 11 Aralık 2003 tarihinde yayınlanan ve BM çevre konferansında sunulan bir kaynakta 1990'lı yılların kayıtlarına en sıcak 10 yıl olarak geçtiği ve bu ısınma yüzünden 2000 yılında 150.000 insanın öldüğü bildirilmiştir.

Sonuç olarak zararlı gazların difüzyonu sonucunda meydana gelen küresel ısınma, iklimleri etkilemekte ve bundan dolayı bazı hayvan ve bitki türlerinin yok olmasına neden olarak, doğal denge bozulmaktadır. Bütün bu olumsuz sürecin önüne geçebilmek için difüzyon olayını iyi bir şekilde analiz etmemiz gerekir.

Bu çalışmaları yaparken istenen her türlü desteği veren değerli eşim Sıracettin ONURSAL'a ,çocuklarıma ve Hakime BATUR'a, bana bu konuyu öneren danışmanım ve saygıdeğer hocalarım Prof.Dr. Ekber PENAHOV'a, Prof.Dr. Bahşeli GULİYEV'e, Prof.Dr. Ramazan EMİNOV'a, Prof.Dr. Ramiz RASİMGİL'e ve bütün fizik bölümü öğretim üyeleri ile fen bilimleri enstitüsü çalışanlarına, Tıp Fakültesi Radyasyon Onkolojisi Anabilimdalından Uzm.Tahir ÇAKIR'a katkılarından dolayı teşekkürü bir borç bilirim.

Nilgün ONURSAL

Ocak 2007 Van

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET	i
ABSTRACT	iii
ÖNSÖZ	v
İÇİNDEKİLER	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ	ix
SİMGELER DİZİNİ	xi
1. GİRİŞ	1
2. LİTERATÜR BİLDİRİŞLERİ	3
3. MATERYAL VE YÖNTEM	5
3.1. Moleküler Hareketin Karakteristikleri	5
3.2. Molekül Çarpışmalarının Ortalama Sayısı	7
3.3. Moleküllerin Serbest Yolu ve Serbest Yolun Ortalama Uzunluğu	10
3.4. Kararlı (Stasionar) Difüzyon	12
3.5. Karşılıklı Difüzyon	15
3.6. Kararsız Difüzyon	18
3.7. Termo Difüzyon	21
3.8. Seyreltilmiş Gaz Akımı (Moleküler Akım)	23
3.9. Moleküler Efüzyon	24
3.10. Isı Efüzyonu	26
3.11. İzotermik Efüzyon	27
3.12. Difüzyon ile Solunum Arasındaki İlişki	28
3.12. Difüzyon ile Küresel Isınma Arasındaki İlişki	30
4. BULGULAR	33
5. TARTIŞMA VE SONUÇ	35
KAYNAKLAR	36
ÖZ GEÇMİŞ	38

ŞEKİLLER DİZİNİ

		Sayfa
Şekil 3.1. a,b.	Moleküllerin merkezleri arasındaki uzaklık.	6
Şekil 3.2.	Molekülün çarpışması.	6
Şekil 3.3.	Molekülün çarpışma modeli.	7
Şekil 3.4.	Çarpışmalarda moleküllerin takip ettiği yol.	8
Şekil 3.5.	Molekülün bağıl hızı.	9
Şekil 3.6.	Molekülün serbest yolları.	11
Şekil 3.7.	Kararlı difüzyon.	12
Şekil 3.8.	Kararsız difüzyon.	19
Şekil 3.9.	Termal difüzyon.	22
Şekil 3.10.	Gazların izotoplarına ayrılması.	23
Şekil 3.11.	Isı efüzyonu.	27
Şekil 3.12.a,b,c,d.	İki bölmeli kabın bölmelerinde farklı toplam basınç ve kısmi basınçlarda gazların oluşu.	30

SİMGELER DİZİNİ

N	Birim alandan geçen moleküllerin toplam sayısı.
r	Molekül yarıçapı
σ	Etkin kesit alanı
\bar{v}	Termal hareketin hızı
n	Birim hacimdeki molekül sayısı
\bar{Z}	Birim hacimdeki molekül çarpışmalarının ortalama sayısı
λ	Moleküllerin serbest yolu
$\bar{\lambda}$	Serbest yolun ortalama uzunluğu
P	Gazın basıncı
n_1, n_2	Tek cins gazların yoğunlukları
D	Difüzyon katsayısı
T	Sıcaklık
U	Hava akısının hareket hızı
Δn	Konsantrasyonlar farkı
V	Hacim
τ	Durulma (relaksasyon) zamanı
ΔP	Basınç farkı
c	Fick yasasında moleküllerin konsantrasyonudur.
m	Bir molekülün kütlesi.
S	Kapları birleştiren borunun kesiti.

1. GİRİŞ

Difüzyon Latince de Diffunder (Yayılma) kelimesinden türetilmiştir. Bir yabancı gaz veya sıvı moleküllerinin başka bir gaz veya sıvı içinde yayılması olayına difüzyon adı verilir. Difüzyon olayının yaşamımızda faaliyet gösteren hayati işlemlerde önemli bir yeri vardır. Solunum olayında dış solunumun ikinci evresi olan difüzyon akciğer havası ile akciğer kılcıl damarları arasında gaz alış veriş sürecidir. Yani; oksijen ve karbondioksitin bu alış veriş süreçleri oksijen ve karbondioksit kısmi basınç gradiyentleri etkisinde sürdürülür. Soluk alıp verme olayı bir gazların difüzyon olayıdır. Dünyamızı saran atmosferdeki azot, oksijen, karbon ve az miktarda bulunan diğer etkisiz gazlarla su buharının meydana getirdiği homojen gaz karışımı da difüzyon olayı ile gerçekleşir.

Difüzyon olayı olmasaydı çekim kuvvetlerinin etkisiyle atmosferde ayrı ayrı gazların oluşturduğu ince tabakalar dağılırdı. Böylelikle de en alt tabakalarda karbon gazı bu tabakaların üst yüzeyi de oksijen gazından ibaret tabaka ve daha yükseklerde azot ve etkisiz gazlardan ibaret tabakalar oluşmuş olurdu. Böyle tabakalardan oluşan sistemde birçok işlemler onda mevcut olan dengenin bozulmasına neden olur. bu anlamda da doğada gerçekleşen olayların incelenmesi için difüzyon olayının iyi bir şekilde analiz edilmesi gerekmektedir.

Yerkürede ki sıcaklık artışı gazlardaki (Kloroflorokarbon) difüzyonu sonucunda yerküre çevresine dağılarak küresel ısınmayı tetikler.

Difüzyon olayı gaz moleküllerinin bir ortalama serbest yollarının olmasının bir sonucudur. Konsantrasyon her noktada aynı oluncaya kadar difüzyon gözlenir. Bir sıvı veya gazın başka bir sıvı veya gaz içinde yayılabilmesi yatkınlığı difüzyon katsayısı ile ifade edilir. Bir cins (homojen) gazın yoğunluğu onun bir bölgesinde diğerlerine nazaran büyük olursa, gazı teşkil eden moleküllerin, ısı hareketi sonucunda, yoğunluğun çok olduğu yerden az olduğu yere doğru net bir gaz akımı meydana gelir. Böyle akım (difüzyon) dış etki olmazsa, belli bir zaman geçtikten sonra her yerde yoğunluğun eşitlenmesi sonucunu oluşturur. Molekülleri birbirleriyle reaksiyona girmeyen iki gaz karıştığında, birbirinin içine difüze ederek her yerde karışımın konsantrasyonunun eşitlenmesini sağlar.

Birinci taşıma süreci kendi kendine *difüzyon*, ikincisi ise, *karşılıklı difüzyon* olarak tanımlanır. Her iki süreçte de, sonuç olarak, akıma dik olarak koyulmuş yüzeyden belli sayıda (belli kütlede) moleküller, konsantrasyonu büyük olan taraftan konsantrasyonu küçük olan tarafa taşınır. Bu süreç fenomenolojik bakımdan Fick yasası olarak tasvir olunur.

$$N = -D \frac{dn}{dx} \quad (1)$$

Burada N , verilen x eksenine dik doğrultuda koyulmuş birim yüzeyden birim zamanda taşınan moleküllerin sayısı, D difüzyon katsayısı, n ise birim hacimdeki moleküllerine sayısıdır. (1) ifadesinin her tarafı bir molekülün kütlesi ile çarpılır ve $M=N m$, $p=mn$ $M=N m$, $p=mn$ olduğu dikkate alınır;

$$M = -D \frac{dp}{dx} \quad (2)$$

bulunur. Burada M ; $-x$ eksenine dik olarak koyulmuş birim yüzeyden birim zamanda taşınan gazın kütlesidir. N ve öylece de M difüzyon seli (akım) olarak tanımlanır. (1) ve (2) ifadelerinde görüldüğü gibi, her iki akım (biri moleküllerin sayısı, diğeri kütleleri ile belirlenir) birim yüzeye ait olduğundan onlara *akı yoğunluğu* demek daha doğru olurdu.

Difüzyon katsayısının birimi, difüzyon akımındaki moleküllerin sayısı ya da kütleleri ile ifade olunmasına bağlı olmayarak aynıdır. Bu katsayı MKSA sisteminde m^2/s , CGS sisteminde ise cm^2/s ile ölçülür. Difüzyon katsayısının gazın türüne, daha belirgin dersek gazın moleküllerini karakterize eden parametrelere bağlılığı daha önce yapılan alışmalarla tespit edilmiştir.

Difüzyon katsayısındaki bazı sabitlerin tamamen geçerli olduğu sonucuna varılmamalıdır. Çünkü bu bağıntı çıkarılırken faydalanılan modelin içeriğinde birçok kabullenişler (olasılıklar) söz konusudur. Bu nedenle bazı kusurlar mevcuttur.

Yapılan bu çalışmada söz konusu bu kusurların oluşum nedenleri yorumlanmış ve difüzyon olayının küresel ısınma üzerindeki rolü araştırılmıştır. Ayrıca difüzyon katsayısının bağlı olduğu parametrelerin basınç ve sıcaklığa bağlılıkları incelenmiştir.

2. LİTERATÜR BİLDİRİŞLERİ

Seyreltilmiş gazlarda difüzyon olayı ve kararlı difüzyon hakkında çalışmalar yapıldı (Frish ve Timoreva, 1962).

Difüzyon katsayısı kullanılarak canlı organizmalarda solunan havanın ne kadarlık hacminin alveollerde kaldığı hesaplandı (Peters, 1973).

Karşılıklı difüzyon olayı açıklandı (Kukoun ve Kukoun, 1976).

Alveoller ve kan arasında gazların değiş tokuşunun nasıl olduğu verileri toparlandı (Menteş ve Menteş, 1976).

Yapılan deneysel çalışmalarda gazların difüzyon hızının, mol kütlelerinin karekökü ile ters orantılı olduğu tespit edildi ve gazların difüzyon hızları ölçülerek bilinen bir gazın molekül ağırlığı ile kıyaslanarak molekül ağırlığı bilinmeyen gazların molekül ağırlığı tayin edilebildi (Suvuxun, 1979).

Moleküllerin hız dağılımını ($\bar{v} = \frac{\sqrt{8KT}}{\pi m} = 1.60\sqrt{\frac{KT}{m}}$) tam tasvir eden bağıntı bulundu (Suvuxun, 1979).

Gaz moleküllerinin hız dağılımı kuramsal ve deneysel olarak belirlenebildi ve istatistik tekniklerini kinetik gaz kuramına uygulanarak gazların moleküler hareketinin karakteristikleri belirlendi (Suvuxun, 1979).

Hücre zarlarında difüzyon olayının nasıl gerçekleştiği ifade edildi (Eliyev, 1985).

Gaz moleküllerinin serbest yolu, serbest yolun ortalama uzunluğu teorik ve deneysel yolla tayin edildi (Matveev, 1987).

Dinamik dalgalanma teorisi kullanılarak birbirleriyle etkileşim içerisinde olan tanecik karışımları için ortam yaklaştırması geliştirildi (Granek ve Nitzam, 1990).

N sayıda gaz molekülünün en olası hız dağılımlarını veren temel ifade elde edildi. (Hallidey ve Resnick, 1991).

Boltzman- Lorentz Kinetik denklemleri kullanılarak difüzyon olayı üzerinde kimyasal reaksiyonların etkisi araştırıldı (Nowakowski ve Popielawski; 1994).

Solunan havanın gazları akciğer alveollerinin zarı ile temas edince, gazların değiş tokuşu difüzyon ile ilgili mutlak fiziksel kanunlara göre meydana geldiği kabul edildi (Pehlivan, 1997).

Gazların effüzyonu ile ilgili literatürler birleştirildi (Kılıç ve ark., 1998).

Lattis gaz modelinin yer küre üzerindeki etkileri tasvir edilebildi (Ejtehadı ve ark., 2000).

Küresel ısınmaya bağılı olarak iklim değışiminin nedenlerini ve istatıksel verileri hazırlayarak bu konuda yapılması gerekenleri ortaya koydu (Kadıoğlu, 2001).

Hem akışkan gaz kromatografisinin teknikleri hemde yarı deneysel tekniklerin gaz karışımı içerisinde saf gazın difüzyon katsayısının elde edildi (Atta ve ark., 2002).

Küresel ısınmayı bir dizi açık, mantıklı analizle kıyaslama yaparak bunların bilimsel gerçeklerle uyumunu araştırdı (Baker, 2002).

Küresel ısınma konusunda bilimsel çalışmalarda gelinen son noktaları araştırdı (Radford, 2003).

Kyoto sözleşmesinin önemi ve dünya ekolojisi ile ilgili alarm raporu açıklandı (Töpfer, 2003).

SOX, NOX ve CO₂ gibi sera gazlarının ilgili değerlerini aşması, küresel ölçekte hava ve çevre kirliliği yaratması araştırıldı (Demirer, 2004).

Gözeneklerde difüzyonla yayılma gösteren maddeler farklı tarz kavrayışlarla çok iyi bir şekilde, gerek homojen gerekse heterojen maddeler test edildi (Marathe ve ark., 2005).

Atmosferde biriken zararlı gazların yarattığı sera etkisi ile bu yüzyılın sonuna kadar dünyanın sıcaklığının artacağı belirtildi (Tunç, 2005).

Fosil yakıtların yarattığı kirliliğe dikkat çekerek, atmosferdeki bu difüzyon olayının küresel ısınmaya olan etkisini bilimsel bir temele oturtarak, o dönemde birçok kimsenin dikkat etmediği bu konuda makaleler yayımladı(Asımov, 2005).

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Moleküler Hareketin Karakteristikleri

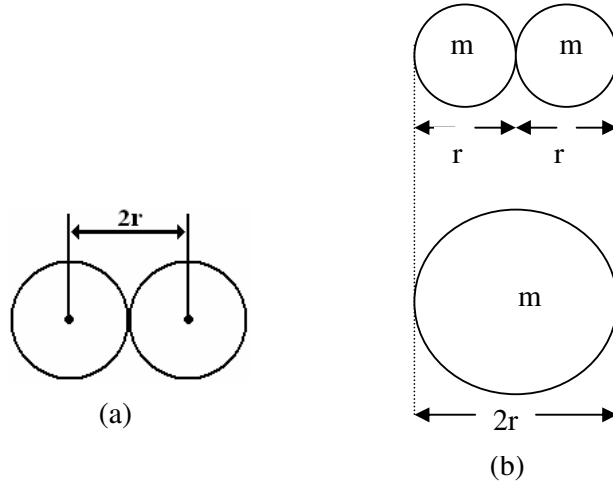
Biz moleküler kinetik teoremin esas denklemini çıkarırken denge halinde alınan gaz molekülleri arasındaki çarpışmaları dikkate almadık. Orada da kaydettiğimiz gibi moleküller arası çarpışmaların dikkate alınmaması hiç de böyle çarpışmaların yokluğu anlamına gelmez. Aslında denge halini oluşturan bu tür çarpışmalardır. Biz, gazı denge halinde aldığımızı göre ve moleküllerin karşılıklı çarpışmaları meydana gelmiş denge halini bozmadığına göre bu çarpışmaları dikkate almamakla yanlış yapmadık. Lakin bu hiç de o demek değildir ki, bütün moleküler olayları öğrenirken moleküller arası çarpışmaları dikkate almayabiliriz. Gelecekte göreceğiz ki, öyle fiziki olaylar vardır ki onların esas içeriği molekülleri arasındaki çarpışmalarla belirlenebilir. Buna göre de, moleküllerin çarpışmasını öğrenmeli ve bu çarpışmaları karakterize eden fiziki niceliği belirlemeliyiz.

Konsantrasyonun büyük olduğu taraftan konsantrasyonun küçük olduğu tarafa moleküler kütle taşınımı gerçekleşir. Bu olayda, bir noktadan birim zamanda birim yüzeyden geçen mol sayısı “difüzyon akı yoğunluğu” olarak ifade edilir. Difüzyon akı yoğunluğu konsantrasyon gradiyenti ile orantılıdır. Buna Fick yasası denir.

$$M_{dif} = \frac{dn}{dt.A} = -D \frac{dc}{dx} = \frac{\Delta n}{\Delta t} \cdot \frac{l}{A}$$

Burada, c moleküllerin konsantrasyonudur.

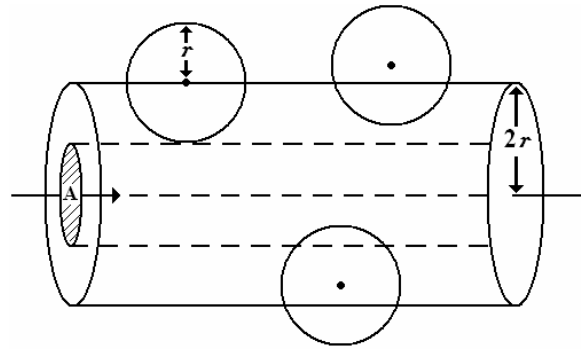
Molekülleri birbirine yaklaştıırken onların merkezleri arasındaki mesafeden (bu mesafenin değeri *molekülün yarıçapı* olarak adlandırılır) başlayarak itme kuvveti üstünlük teşkil eder. Moleküllerin ısısal hareketi esnasında sahip olduğu ortalama kinetik enerjiler (yani, ortamın sıcaklığı) büyük oldukça bu mesafe, yani molekülün yarıçapı az da olsa küçülür. Molekülün yarıçapının sıcaklığa bağlı olarak çok azda olsa değişmesi, moleküller arasındaki itme kuvvetinin mesafe küçüldükçe keskin artmasıyla ilgilidir. Demek ki; her bir moleküle, sözün gerçek anlamıyla belirli yarıçaplı sert küre gibi bakmak doğru değildir. Lakin, şunu da unutmamak gerekir ki, moleküler maddi nokta değildir; o kendi iç yapısı (yükli zerreciklerden ibaret olması) ile ilgili olarak bir etki küresi meydana getirir; başka bir deyişle, uzayın belirli bir kısmını “kaplar” ve bu kısma diğer moleküllerin dahil olmasına engel olur (şekil 3.1).



Şekil 3.1. a,b. Moleküllerin Merkezleri Arasındaki Uzaklık.

Verilen bir molekülün uzayın ne kadarlık kısmını “kapladığı” (yani molekülün yarıçapı), “hücum eden” molekülün ortalama kinetik enerjisiyle ilgilidir. Molekülün “kapladığı” bölgeye diğer bir molekül geldiğinde “hücum eden” molekül kendi hareket yönünü değiştirir. Bu olay, yani karşılıklı etkileşme sonucunda hareket yönünün değişmesi, *moleküllerin çarpışması* ve yahut *saçılması* olarak adlandırılır. Şimdi çarpışmayı (saçılmayı) karakterize eden niceliklerden biri olan tesir – kesiti (etkin – kesit) anlayışla tanışalım.

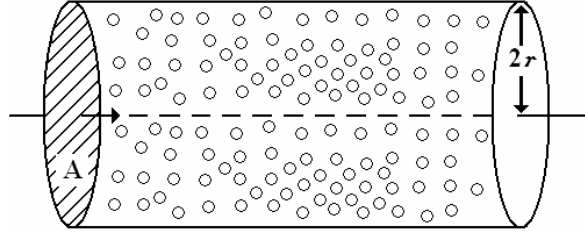
Farz edelim ki, herhangi bir A molekülü belirli bir yönde hareket ediyor (Şekil3.2). Molekülü r yarıçaplı küre gibi düşünersek çok sade düşüncelere doğrudan inanmak olur ki,



Şekil 3.2. Molekülün Çarpışması.

A molekülü yalnız merkezi onun merkezinden $d=2r$ mesafede yer alan moleküllerle, bir başka deyişle merkezleri $d=2r$ yarıçaplı (şekil 3.3) silindir (silindirin eksenini A molekülünün ilk hareket yönünde alırız) içinde yer alan moleküllerle çarpışabilir. Olayın koyuluşunu

değiştirebiliriz de A molekülünü $2r$ yarıçaplı diskle, diğer molekülleri ise maddi noktalarla göstersek de (Şekil 3.3) aynı sonuca geliriz. Böyle bir değiştirmeden ilginç bir sonuca



Şekil 3.3. Moleküllerin Çarpışma Modeli

gelebiliriz. A molekülünü durgun kabul etsek silindir içindeki moleküller için alanı $\sigma = \pi d^2 = 4\pi r^2$ olan yüzey kendini saçıcı yüzey gibi gösterir; bir başka deyişle hareket izdüşümü bu yüzeye dik olan bütün moleküller, kendi önceki hareket yönlerini değiştireceklerdir. Onlar büyüklüğü σ olan yüzeyden saçılacaklardır.

Bu ifadelerden şöyle bir sonuca gelindi: “ r yarıçaplı her molekülü $\sigma = 4\pi r^2$ bir saçıcı yüzey gibi alabiliriz”. Bu yüzeye dik yönde hareket eden ve hedef mesafesi (harekette olan molekül mesafesi ve şekil 3.4’ teki $2r$ yarıçaplı yüzey arasındaki mesafe) $2r$ ’den küçük olan her bir molekül, önceki hareket yönünü saçıcı yüzeyin merkezinden dışarı doğru yönelerek değiştirecektir; yani, çarpışmaya maruz kalacaktır. Bu sebepten moleküllerin çarpışma kabiliyetlerini karakterize etmek için alanı $\sigma = 4\pi r^2$ olan *yüzey çarpışmasını* (yahut saçılmanın) *tesir – kesiti* olarak adlandırılır. Belirtmek gerekir ki, aslında molekül sert küre olmadığından etkin kesitin alanı da gaz moleküllerinin sahip olduğu ortalama kinetik enerjiye (gazın sıcaklığına) bağlı olarak, zayıfta olsa, değişir. Sıcaklığın yeterince büyük değerlerinden başlayarak, sıcaklığın artmasıyla kesit alanı küçülür.

3.2. Molekül Çarpışmalarının Ortalama Sayısı

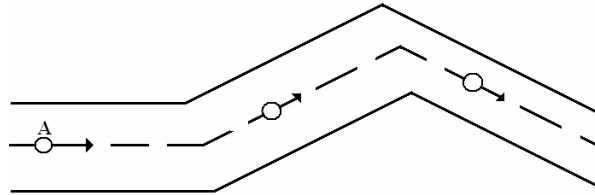
Belirli bir molekülün birim zamanda ki çarpışmalarının sayısını ve verilen hacimdeki gaz moleküllerinin yaptıkları çarpışmaların sayısını bilmekle birçok fiziksel olayları nicel olarak karakterize edebiliriz. Ortaya koyduğumuz olayı çözümleyebilmek için ideal gaz molekülünü şu bakımdan akılda tutalım. İdeal gaz molekülleri yalnız çarpışma anında karşılıklı etkileşimde bulunurlar. Ardı ardına çarpışmalar arasında molekül sabit hızla

doğrusal hareket eder. Çarpışmalar karmaşık karakter taşıdığından, her çarpışmadan sonra moleküllerin hızının değeri ve yönü değişmesi de karmaşık karakter taşıyor. Buna göre de her molekülün birim zamanda ki çarpışmalarının sayısı çeşitli moleküller için farklı olacaktır. Demeliyiz ki, konuya çarpışmaların ortalama sayısından gidilmelidir. Kaydettiklerimizi dikkate alarak, bir molekülün birim zamandaki çarpışmalarının ortalama sayısını bulmak için göz önüne aldığımız molekülden başka diğer moleküllerin sükûnette olduğunu kabul edelim. Herhangi bir A molekülü birim zamanda, tabanının alanı $\sigma = 4\pi r^2$, yüksekliği ise molekülün ortalama kare hızına (\bar{v}) eşit olan silindir içindeki bütün moleküllerle çarpışacaktır. Birim hacimdeki moleküllerin sayısını n ile işaret edersek, birim zamanda bu molekülün yaptığı çarpışmaların ortalama sayısı

$$\bar{Z} = \sigma \bar{v} n \quad (3)$$

olur. Bu bağıntıda ideal gaz moleküllerinin hareket karakterleri ile ilgili iki unsur dikkate alınmamıştır.

1. Molekül her çarpışma anında hareket yönünü değiştirdiğinden, aslında yüksekliği \bar{v} olan silindirin şekli şekil 3.3' teki gibi düzgün değil şekil 3.4'deki gibi kırık silindirlerden ibaret olacaktır.



Şekil 3.4, Çarpışmalarda Moleküllerin Takip Ettiği Yol

(3) bağıntısını çıkarırken biz formal olarak şekil 3.4' teki kırık silindirleri düzelttik. Basitlik için yaptığımız bu işlemin son neticeye, yani (3) bağıntısına hiçbir etkisi yoktur.

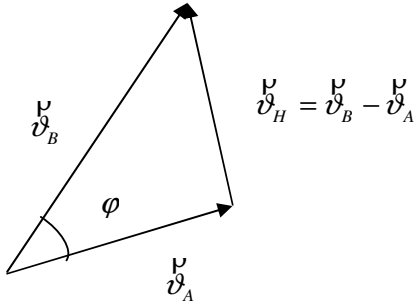
2. (3) bağıntısını çıkarırken A molekülünden başka bütün molekülleri durgun kabul ettik. Gerçek böyle değildir ve buna göre de sadece A molekülünün değil, bütün moleküllerin hareketinde olduğunu hesaba katmalıyız.

A molekülünün diğer moleküllerle, mesela B molekülüyle çarpışmasını analiz ederken A molekülünü hareketli, B molekülünü durgun kabul etmekle olay, A molekülünün hızının B molekülüne göre belirlenmesi olayına indirgenir. Bu ise o demektir ki, bütün moleküllerin

hareketli olduğunu dikkate alırsak, (3)'teki $\overline{\vartheta}$ yerine moleküllerin bağlı hızlarının ortalama değerini ($\overline{\vartheta}_b$) almalıyız:

$$\overline{Z} = \sigma \vartheta_b \eta \quad (4)$$

Şimdi $\overline{\overline{v}}_b$ ile $\overline{\overline{v}}$ arasındaki ilişkiyi bulalım. Farz edelim ki, çarpışmalardan evvel A ve B moleküllerinin silindirik duvarına göre hızları \overline{v}_A ve \overline{v}_B 'dir. Şekil 9'dan A molekülünün B molekülüne göre hızını tayin edebiliriz



Şekil 3.5 Molekülün Bağlı Hızı.

$$\vartheta_H^2 = \vartheta_A^2 + \vartheta_B^2 - 2\vartheta_A\vartheta_B \cos \varphi \quad (5)$$

Her çarpışmada, iştirak eden bir çift molekül için, uygun ϑ_A , ϑ_B ve $\cos\varphi$ 'ler olacaktır. Ona göre de (5) ifadesini bütün çarpışmalar için yazıp taraf tarafa toplayarak çarpışmaların toplam sayısına bölmeliyiz, bir başka deyişle, (5) ifadesinin çarpışmaların sayısına göre ortalama değerini almalıyız:

$$\overline{\vartheta_H^2} = \overline{\vartheta_A^2} + \overline{\vartheta_B^2} - 2\overline{\vartheta_A \vartheta_B} \cos \varphi \quad (6)$$

Moleküller karmaşık hareket ettiğinden, onların birbirine göre hareketi de karmaşık olacaktır. Bu sebepten $\cos\varphi$ aynı olasılıkla artı ve eksi değerler alacak ve (6)'nın üçüncü terimi sıfır olacaktır.

Diğer taraftan, verilen bir sıcaklıkta gaz moleküllerinin ortalama kare hızı sabit kaldığından $\overline{v_A^2} = \overline{v_B^2} = \overline{v^2}$ 'dir. Böylelikle $\overline{v_H^2} = 2\overline{v^2}$ ve

$$\overline{v_H} = \sqrt{2\overline{v^2}} \quad (7)$$

dır. Bütün moleküllerin harekette olduğu dikkate alındığında her molekülün birim zamandaki çarpışmalarının ortalama sayısı

$$\overline{Z} = \sqrt{2}\sigma\overline{v_H} \quad (8)$$

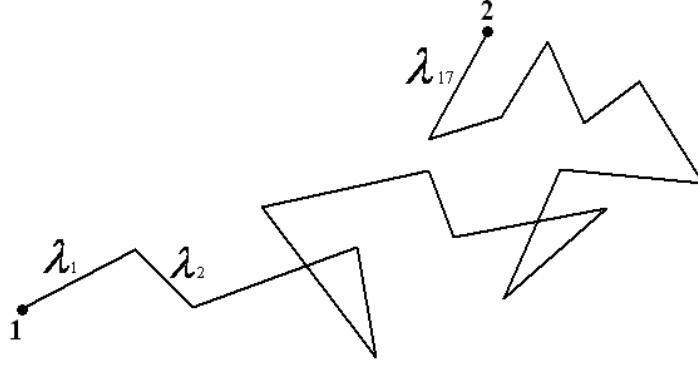
olacaktır. (8) bağıntısı esas alınarak birim zamanda, birim hacimdeki çarpışmaların sayısı da bulunabilir. Bu amaçla (8) ifadesini birim hacimdeki moleküllerin sayısı ile çarpıp 2'ye bölmeliyiz. 2'ye bölme işleminin nedeni, her çarpışmaya iki molekül iştirak ettiğinden çarpışmaların toplam sayısını 2'ye bölmezsek her bir çarpışma yerine 2 çarpışma almış oluruz. Böylece söylediklerimizi göz önüne alırsak, birim hacimde oluşan çarpışmaların ortalama sayısı için

$$\overline{Z_1} = \overline{Zn} / 2 = 2\sqrt{2}\pi\sigma^2\overline{v_H}n \quad (9)$$

ifadesini buluruz.

3.3. Moleküllerin Serbest Yolu ve Serbest Yolu Ortalama Uzunluğu

Belirttiğimiz gibi, iki ardışık çarpışma arasında molekül, hiçbir etkiye maruz kalmaz kalmadan serbest ve sabit hızlı doğrusal hareket yapmaktadır. Bu yol, yani iki ardışık çarpışma arasında molekülün gittiği yol *serbest yol* olarak adlandırılır. Moleküller noktasal kabul edildiklerinde, hiç çarpışma olmayacağından ortalama serbest yol sonsuz kabul edilir. Tam tersi düşünüldüğünde moleküllerin bulundukları ortamı hareket bile edemeyecek kadar doldurdukları durumda ise ortalama serbest yol sıfır olur. Böylece ortalama serbest yolun moleküllerinin büyüklüğü ve birim hacimdeki sayıları ile ilişkili olduğu anlaşılmaktadır. Bu yolun uzunluğunu λ simgesi ile gösterelim. Molekül bir noktadan (örneğin şekil 3.6'daki 1 noktasından) diğer noktaya (2 noktasına) gidene kadar belirli sayıda



Şekil 3.6. Molekülün Serbest Yolları.

çarpışmalar yapar. Her çarpışmadan sonra hareket yönü değiştiğinden, molekülün hareket yolu, serbest yolların sayısı kadar kırık çizgiler topluluğundan oluşacaktır. Hareket tam karmaşık olduğundan genel halde serbest yolların uzunlukları birbirinden farklı olacaktır. Ona göre de serbest yolun ortalama uzunluğu ($\bar{\lambda}$) anlayışından yararlanmalıyız.

Karmaşık hareket sırasında molekülün belirli bir Δt zamanında gittiği yolun uzunluğu $\bar{v}\Delta t$ olduğundan, serbest yolun ortalama uzunluğunu bulmak için $\bar{v}\Delta t$ 'yi verilen molekülün bu zaman müddetinde ki çarpışmaları sayısına bölmek gerekir:

$$\bar{\lambda} = \frac{\bar{v}\Delta t}{Z\Delta t} = \frac{\bar{v}}{4\sqrt{2}\pi r^2 \bar{v}n} = \frac{1}{4\sqrt{2}\pi r^2 n} = \frac{0,057}{nr^2} \quad (10)$$

Serbest yolun ortalama uzunluğu için elde ettiğimiz bu ifadeyi şimdi analiz edelim.

1. Serbest yolun ortalama uzunluğu $\bar{\lambda} \propto \frac{1}{n}$ ve $n \propto P$ olduğundan $\bar{\lambda} \propto 1/P$ 'dir; yani, moleküllerin serbest yolunun ortalama uzunluğu gazın basıncı ile ters orantılıdır. Bu bağılıktan yararlanarak gazın basıncı öyle azaltılabilir ki kap içindeki gaz moleküllerinin serbest yolunun ortalama uzunluğu kabın boyutlarına eşit ve ondan büyük olsun. Böyle bir gazın molekülleri kendi aralarında çarpışmayıp yalnız kabın duvarı ile çarpışacaklardır.

2. Moleküllerin serbest yolunun ortalama uzunluğu $\bar{\lambda} \propto \frac{1}{4\pi r^2} = \frac{1}{\sigma}$ olduğu açıktır. Biraz

evvel belirttiğimiz gibi, molekülün yarıçapı ve etkin kesit alanı ($\sigma = 4\pi r^2$) sıcaklığın artmasıyla küçülür. Demek ki serbest yolun uzunluğu, sıcaklığın büyümesine bağlı olarak az da olsa, büyümelidir. Deneysel gerçekler bu neticeyi vermektedir. Burada bu deneysel gerçekleri esas alarak moleküllerin sert küre olmadığı söylenebilir. Sıcaklığın

değişmesine bağlı olarak molekül yarıçapının çok zayıf değişmesini dikkate alarak çoğu hallerde molekülleri sert (rijit) küre olarak kabul ederiz.

(8) ve (10) ifadelerini esas alarak, 1 atm basınçta 20 °C'deki azot moleküllerinin ortalama serbest yolu ve çarpışma frekansı hesaplanabilir. Bir molekül çapının $2 \cdot 10^{-10}$ m olduğu kabul edilirse, gazı, ideal gaz kabul edip $PV=NKT$ bağıntısını kullanarak, bu şartlarda birim hacimdeki molekül sayısı bulunabilir.

$$n_v = \frac{N}{V} = \frac{p}{kT} = \frac{1,01 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2}{(1,38 \cdot 10^{-23} \text{ J/K})(293 \text{ K})} = 2,5 \cdot 10^{25} \frac{\text{molekül}}{\text{m}^3}$$

Buradan ortalama serbest yol

$$\bar{\lambda} = \frac{1}{\sqrt{2} \pi d^2 n_v} = \frac{1}{\sqrt{2} \pi (2 \cdot 10^{-10} \text{ m})^2 (2,5 \cdot 10^{25} \frac{\text{molekül}}{\text{m}^3})} = 2,25 \cdot 10^{-7} \text{ m}$$

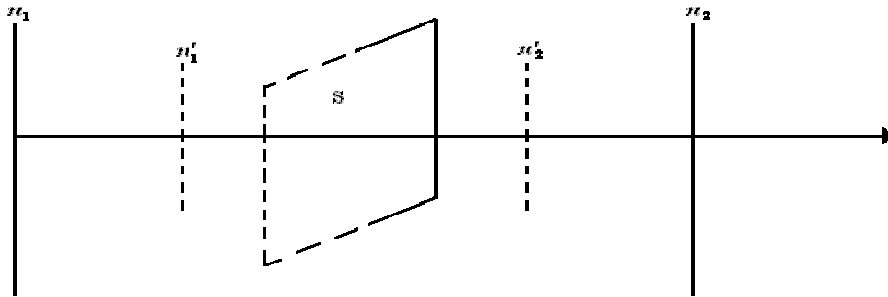
Olur. Bu yaklaşık olarak, molekül çapından 10^3 kez büyüktür. 20 °C'de azot moleküllerinin ortalama hızı yaklaşık 511 m/s olduğundan, çarpışma frekansı ;

$$\bar{Z} = \frac{\bar{v}}{\bar{\lambda}} = \frac{511}{2,25 \cdot 10^{-7}} = 2,27 \cdot 10^9 \text{ 1/s bulunur.}$$

Bir molekül, diğer moleküllerle ortalama olarak saniyede 2 milyar kez çarpışır.

3.4. Kararlı (Stasionar) Difüzyon

Daha önce belirttiğimiz gibi sabit gradiyent (çekim, derece, eğim, değişim ölçüsü) altında meydana gelen difüzyon kararlı difüzyon olarak tanımlanır. Kararlı ısı taşımadan kabul ettiğimiz modele uygun bir model kabul ederek, kararlı difüzyonu inceleyelim. Yine de kabul edelim ki, süreç bir doğrultuda, mesela x eksenı doğrultusunda, meydana gelmektedir. Bu eksene dik olarak koyulmuş S yüzeyini inceleyelim (şekil 3.7).



Şekil 3.7. Kararlı difüzyon.

Bu yüzeyin çeşitli taraflarında baktığımız bir cins gazın yoğunlukları çeşitli, mesela solda belli bir mesafede n_1 , sağda aynı mesafede n_2 olsun. Belirginlik için $n_1 > n_2$ kabul edelim. Termal hareket her zaman mevcut olduğundan görülür ki, moleküller hem soldan sağa hem de sağdan sola doğru hareket edecektir. Gaz moleküllerinin termal hareketinin hızının büyük olmasına bakmayalım, çünkü difüzyon hızı ona oranla çok küçük olur. Olayın derinliğini dikkate almazsak anlaşmazlık oluşur; difüzyon, moleküllerin işte bu termal hareketinin sonucudur. Ona göre de, termal hareketin hızı, difüzyon hızına eşit olmalıdır. Elbette dikkatli okuyucu buna itiraz edecek, termal hareket yapan moleküllerin hem de karşılıklı çarpışmalara maruz kaldığını, bu sebepten de difüzyon hızının ısı hareketi hızından hayli küçük olduğunu söyleyecektir. Gerçekten de, herhangi bir molekül, uzayın bir noktasından ondan hayli (serbest yolun uzunluğundan büyük) uzakta yerleşen diğer bir noktasına engelsizce değil, belli sayıda çarpışmalar yaparak gittiğinden, kırık çizgili yoldan ulaşmaktadır. Bu gerekçeye göre molekül yolunun uzunluğu başlangıç ve son noktalar arasında ki mesafeden defalarca büyük olur.

Bu büyük yolu gitmek için gereken zaman da yeterince büyük olduğundan, difüzyon hızı, ısı hareketi hızından yeterince küçük olur. Gazın sıcaklığı her yerde aynı olduğundan, birim zamanda soldan sağa geçen moleküllerin sayısı, sağdan sola geçen moleküllerin sayısından büyük olacaktır. Bu nedene göre toplam olarak, soldan sağa difüzyon akımı oluşacaktır. Bu akımı bulmak için, S yüzeyinden her iki tarafa geçen moleküllerin sayısını belirlemeliyiz. Hareket tam karmaşık olduğundan x ekseninin her iki (pozitif ve negatif) yönünde, moleküllerin (uygun olarak soldaki ve sağdaki) genel sayısının $1/3$ 'ü hareket edecektir. Buna göre,

$$N_{12} = \frac{1}{6} n_1 \bar{v}, \quad N_{21} = \frac{1}{6} n_2 \bar{v} \quad (11)$$

yazılabilir. Burada N_{12} ve N_{21} birim zamanda birim yüzeyden, uygun olarak, sağa ve sola geçen moleküllerin sayısıdır. \bar{v} ise termal hareketin hızıdır. Birim hacimdeki moleküllerin sayısı x eksen boyunca düzgün değiştiğinden, ısı taşımada olduğu gibi, (11) bağıntısındaki n_1 ve n_2 kemiyetlerini belirlemeliyiz. Yoğunluk dağılımı gaz moleküllerinin çarpışmaları ile belli olduğundan n_1 ve n_2 , S yüzeyini geçmeden önce meydana gelen sonuncu çarpışmalarla belirlenmelidir. Başka bir deyişle, n_1 verilen S yüzeyinden $\bar{\lambda}$ kadar solda, n_2 ise $\bar{\lambda}$ kadar sağda gazın yoğunlukları olmalıdır. Yoğunlukların bu değerlerini, sırayla, n_1' ve n_2' ile gösterirsek

$$N_{12} = \frac{1}{6} n_1' \bar{v}, \quad N_{21} = \frac{1}{6} n_2' \bar{v} \quad (12)$$

yazabiliriz. Baştan kabul ettiğimiz şartımıza göre $n'_1 > n'_2$ idi. O halde, $N_{12} > N_{21}$ ve bu nedenden difüzyon akımını bulmak için bu niceliklerin farkını bulmak gerekir.

$$N = N_{12} - N_{21} = \frac{1}{6} \bar{v} (n'_1 - n'_2) \quad (13)$$

$n'_1 - n'_2$ birbirinden $2\bar{\lambda}$ mesafede yerleşmiş noktalar arasındaki konsantrasyonlar (yoğunluklar) farkı olduğundan ve yoğunluk gradiyenti sabit kaldığından

$$n'_1 - n'_2 = -2\bar{\lambda} \frac{n'_2 - n'_1}{\bar{\lambda}} = -2\bar{\lambda} \frac{dn}{dx}$$

yazılabilir. Bunu (13)' te dikkate alırsak

$$N = -\frac{1}{3} \bar{v} \bar{\lambda} \frac{dn}{dx} \quad (14)$$

olur. (14) ve (1) aynı kemiyeti ifade eder. Bunlar arasındaki tek fark şundan ibarettir, (1) fenomenolojik bakımından yazılmış bir bağıntıdır. (14) ise moleküler-kinetik teori esas alınarak çıkarılmış bir bağıntıdır. Bu iki bağıntının karşılaştırılması gösterir ki,

$$D = \frac{1}{3} \bar{v} \bar{\lambda} \quad (15)$$

dir.

Kendi kendine difüzyon katsayısı için kullandığımız ifade, bir katsayı vasıtasıyla makroskopik kemiyetle, bir molekülü karakterize eden mikroskobik kemiyetler (\bar{v} ve $\bar{\lambda}$ ile) arasındaki ilişki kuran bir ifadedir. (15)'nin esas değeri de işte böyle ilişkinin varlığını göstermesindedir. Bu ifadeye dahil olan $1/3$ katsayısının geçerliliğine inanmaya çok gerek yoktur. Çünkü bu bağıntıyı çıkarmak için faydalandığımız modelin özünde bir çok kabuller (tahminlikler), daha açık söylersek kusurlar vardır. Bu kusurlardan bazıları şunlardır:

1. Biz, açık şekilde söylemesek de, bütün gaz boyunca basıncın sabit olduğunu kabul ettik. Böyle kabul etmeseydik, yoğunluk çok olan yerden yoğunluk az olan yere, söz konusu basınçlar farkı hesabına, meydana gelebilecek hava akımını, yani gazın makroskobik hareketini de dikkate almamız gerekirdi. Bu ise olayın gerçekleşmesini zorlaştırır.

2. Bildiğimiz gibi, gaz moleküllerinin hepsi hiç de aynı \bar{v} hızı ile hareket etmez. Onların hareket hızları çeşitlidir ve bu çeşitlilik bilindiği gibi Maxwell dağılımı ile belirlenir. Biz ise hesaplama işlerini sadeleştirmek adına, moleküllerin hızlarının çeşitliliğini dikkate almayarak, bütün moleküllerin gazın verilen sıcaklığı ile karakterize edilen termal hareketinin hızına eşit bir hızla hareket ettiklerini kabul ettik.

3. Gaz molekülleri, çeşitli hızlarla hareket ettikleri gibi, çeşitli uzunluklu serbest yollara sahiptirler. Difüzyon olayını incelerken bu çeşitliliği dikkate almak, hesaplamaları

oldukça güçleştirdi. İşte buna göre de kolaylık olması bakımından, moleküllerin hepsinin serbest yollarının uzunluklarının aynı olduğunu (serbest yolun ortalama uzunluğuna eşit olduğunu) kabul ettik.

(15) bağıntısı difüzyon katsayısının hassas değerini vermese de, onun basınç ve sıcaklığa nasıl bağlı olduğunu açıklamaya olanak sağlar. Açık ki, bu bağıllığı araştırmak için, bu bağıntıya dahil olan niceliklerin (termal hareketlerin ortalama hızlarının ve serbest yolun ortalama uzunluğunun) bu kemiyetlere bağıllıklarını belirlemek lazımdır. Serbest yolun ortalama uzunluğu basınçla ters orantılı; termal hareketin hız ise sıcaklığın karekökü ile doğru orantılıdır. Bu sebepten kendi kendine difüzyon katsayısı basınçla ters, mutlak sıcaklığın karekökü ile doğru orantılı olmalıdır. Yapılan deneyler difüzyon katsayısının basınçla ters orantılı olduğunu doğrulamaktadır. Lakin sıcaklığa bağıllığından sapma göstermektedir. Difüzyon katsayısı, sıcaklığın karekökü ile ($T^{1/2}$) orantılı olmayıp bu bağıllığa oranla biraz daha hızlı değişmektedir. Böyle bağıllıkta hiçbir gariplik yoktur ve bu bağıllık (15) bağıntısına zıt değildir. Asıl olay, serbest yolun ortalama uzunluğu zayıf da olsa sıcaklığa bağlıdır. Sıcaklığın artmasıyla serbest yolun ortalama uzunluğu da zayıf olarak artmaya başlayacaktır. Bu bağıllığı da dikkate alsak kendi kendine difüzyon katsayısını T^q ile ($q>1/2$) orantılı olduğu sonucuna varırız.

3.5. Karşılıklı Difüzyon

Biz difüzyonu araştırırken, sistemin (gazın) aynı tür moleküllerden meydana geldiğini kabul etmiştik. Böyle sistemde meydana gelen difüzyonun kendi kendine difüzyon olduğunu söyledik. Şimdi iki ayrı çeşit moleküllerden oluşan gaz içindeki difüzyonu araştıralım.

Farz edelim ki ayrı tür moleküllerin çeşitli kısımlarındaki konsantrasyonları farklı olup zaman geçtikçe termal hareket sonucunda her tür bileşenin (komponentin) konsantrasyonu bütün hacim boyunca eşitlenmeye başlayacaktır. Bu işlemle, ayrı tür moleküllerin birbirine nüfuz etmesi, yani karşılıklı difüzyonu, adına meydana gelecektir. İki bileşenden oluşan gazdaki karşılıklı difüzyon işlevi, ayrı ayrı bileşenlerin kendi kendine difüzyonu gibi düşünülebilir. Bu durumda, her iki bileşen içinde (1) bağıntısı yazılabilir:

$$N_1 = \frac{1}{3} \bar{v} \bar{\lambda}_1 \frac{dn_1}{dx} = -D_1 \frac{dn_1}{dx}, \quad N_2 = \frac{1}{3} \bar{v} \bar{\lambda}_2 \frac{dn_2}{dx} = -D_2 \frac{dn_2}{dx} \quad (16)$$

(16) bağıntılarına giren $\bar{\lambda}_1$ ve $\bar{\lambda}_2$ ayrı ayrı iken birinci ve ikinci tür moleküllerden

ibaret bir cins sistemin moleküllerin serbest yollarının uzunlukları değildir. Böyle olsaydı $\overline{\lambda}_1$ sadece birinci tür, $\overline{\lambda}_2$ ise yalnızca ikinci tür moleküllerin kendi aralarındaki çarpışmalarını karakterize eden nicelikler olurdu. Baktığımız halde ise ne var ki, her tür moleküller hem kendi aralarında hem de diğer tür moleküllerle çarpışırlar. $\overline{\lambda}_1$ tayin olunurken, hem birinci tür moleküllerin kendileriyle çarpışmaları hem de birinci tür moleküllerin ikinci tür gaz molekülleri ile çarpışması dikkate alınmalıdır. Aynı sözleri $\overline{\lambda}_2$ içinde söyleyebiliriz.

Karışık gaz iki tür moleküllerden meydana geldiğinden doğaldır ki, bu ayrı tür moleküllerden biri diğerine nazaran hafif olacaktır.

Moleküllerin kütlelerini ve konsantrasyonlarını uygun olarak m_1 , m_2 ve n_1 , n_2 ile gösterelim. Basınç ve sıcaklığın bütün gaz boyunca sabit olduğunu kabul edelim:

$$n = n_1 + n_2 = sbt, \quad T = sbt \quad (17)$$

N_1 ve N_2 difüzyon akımları, genel halde farklı olduğundan, basıncın sabitliği zaman geçtikçe bozulabilir. Bu sebepten gazın makroskobik akışı meydana gelebilir. Basıncın bütün gaz boyunca sabit kalması için toplam (net) difüzyon akımını telafi edecek (dengeleyecek) bu akımda dikkate alınmalıdır. Hava akışının hareket hızı (U) öyle olmalıdır ki, bu akım (nU), hafif bileşenin yarattığı ilave difüzyon akımını telafi edebilsin; başka bir deyişle,

$$N_1 + N_2 + nU = 0 \quad (18)$$

olsun. (18) ifadesinden gaz kütlesinin makroskobik akım hızını, yani gaz akımını hidrodinamik hızını, bulabiliriz:

$$n = n_1 + n_2$$

$$\frac{dy}{dx} = \frac{dn_1}{dx} + \frac{dn_2}{dx} = 0 \Rightarrow \frac{dn_1}{dx} = -\frac{dn_2}{dx} \Rightarrow$$

$$U = \frac{1}{n_1 + n_2} \left(D_1 \frac{dn_1}{dx} + D_2 \frac{dn_2}{dx} \right)$$

buradan (1) nolu denklemde $D_2 = \frac{dn_2}{dx}$ yerine yazarsak

$$U = \frac{1}{n_1 + n_2} \left(D_1 \frac{dn_1}{dx} - D_2 \frac{dn_1}{dx} \right)$$

$$U = \left(\frac{1}{n_1 + n_2} \right) \cdot \frac{dn_1}{dx} (D_1 - D_2)$$

bütün ifade sıfıra eşit olduğundan

$$\frac{dn}{dx} = \frac{dn_1}{dx} = 0 \text{ yazabiliriz.}$$

$$U = \frac{1}{n_1 + n_2} (D_1 - D_2) \frac{dn}{dx}$$

İfadesinde U'lar yerine yazılırsa ve $N = -D \frac{dn}{dx}$ te yerine konursa

$$N'_1 = N_1 + n_1 U, \quad N'_2 = N_2 + n_2 U$$

$$\begin{aligned} N'_1 &= -\frac{D_1(n_1 + n_2)}{n_1 + n_2} \frac{dn_1}{dx} + \frac{n_1}{n_1 + n_2} (D_1 - D_2) \frac{dn}{dx} \\ &= \left(-\frac{D_1 n_1}{n_1 + n_2} - \frac{D_1 n_2}{n_1 + n_2} \right) \frac{dn_1}{dx} + \frac{D_1 n_1 - D_2 n_1}{n_1 + n_2} \frac{dn}{dx} \\ &= -\frac{D_1 n_1}{n_1 + n_2} \frac{dn_1}{dx} - \frac{D_1 n_2}{n_1 + n_2} \frac{dn_1}{dx} + \frac{D_1 n_1}{n_1 + n_2} \frac{dn}{dx} - \frac{D_2 n_1}{n_1 + n_2} \frac{dn}{dx} \end{aligned}$$

$$= -\frac{1}{n_1 + n_2} [D_1 n_2 + D_2 n_1] \frac{dn_1}{dx} \left(\frac{dn_1}{dx} = \frac{dn}{dx} \right)$$

$$U = -\frac{N_1 + N_2}{n_1 + n_2} \quad (19)$$

N_1 ve N_2 'nin (16) ifadesi ile tayin olunan değerlerini (19) de dikkate alırsak

$$U = \frac{1}{n_1 + n_2} (D_1 \frac{dn_1}{dx} + D_2 \frac{dn_2}{dx}) \quad (20)$$

olur. Basıncın bütün gaz boyunca sabitliği şartı olan (17)'un birinci denkleminde

$$\frac{dn}{dx} = \frac{dn_1}{dx} + \frac{dn_2}{dx} = 0$$

olur. Buradan

$$\frac{dn_1}{dx} = -\frac{dn_2}{dx}$$

Olduğunu (20)'de dikkate alırsak

$$U = \frac{1}{n_1 + n_2} (D_1 - D_2) \frac{dn}{dx} \quad (21)$$

buluruz. (21) ifadesi esas alınarak, her bir bileşen için difüzyon ve hidrodinamik akımlar toplamı ile ifade edilen tam akım bulunabilir:

$$N'_1 = N_1 + n_1 U; \quad N'_2 = N_2 + n_2 U \quad (22)$$

(21)'ü (22)'te dikkate alırsak

$$\begin{aligned}
 N'_1 &= -D_1 \frac{dn_1}{dx} + \frac{n_1}{n_1 + n_2} (D_1 - D_2) \frac{dn}{dx} \\
 &= \frac{D_1 n_2 + D_2 n_1}{n_1 + n_2} + \frac{dn_1}{dx} \\
 N'_2 &= -D_2 \frac{dn_2}{dx} + \frac{n_2}{n_1 + n_2} (D_1 - D_2) \frac{dn}{dx} \\
 &= -\frac{D_2 n_1 + D_1 n_2}{n_1 + n_2} \frac{dn_2}{dx} + \frac{n_2}{n_1 + n_2} (D_1 - D_2) \frac{dn}{dx} \\
 &= -\frac{D_2 n_1 + D_1 n_2}{n_2 + n_1} \frac{dn_2}{dx}
 \end{aligned}$$

olur. Böylelikle;

$$N'_1 = -\frac{D_1 n_2 + D_2 n_1}{n_1 + n_2} \frac{dn_1}{dx} = -D_{12} \frac{dn_1}{dx} \quad (23)$$

$$N'_2 = -\frac{D_2 n_1 + D_1 n_2}{n_1 + n_2} \frac{dn_2}{dx} = -D_{21} \frac{dn_2}{dx} \quad (24)$$

yazılabilir. Burada

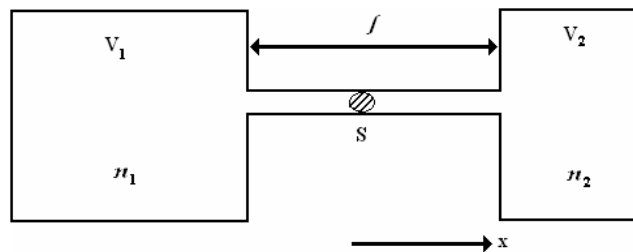
$$D_{12} = \frac{D_1 n_2 + D_2 n_1}{n_1 + n_2} \quad (25)$$

$$D_{21} = -\frac{D_2 n_1 + D_1 n_2}{n_1 + n_2} \quad (26)$$

dir. (25) ve (26)' de görüldüğü gibi karşılıklı difüzyon katsayıları birbirine eşittir: $D_{21}=D_{12}$

3.6. Kararsız Difüzyon

Birbiri ile uzunluğu l , kesit alanı S olan bir boru vasıtası ile birleştirilen, hacimleri V_1 ve V_2 olan iki kap içinde gaz karışımı olduğunu farz edelim. (Şekil 3.8) Karışım içinde bizi ilgilendiren



Şekil 3.8. Kararsız difüzyon .

bileşenin birinci ve ikinci kaplardaki konsantrasyonlarını, uygun olarak, n_1 ve n_2 ile gösterelim. Her iki kaptaki gaz karışımlarının sıcaklık ve basınçlarının eşit olduklarını da kabul edelim. Kolaylık için $n_1 > n_2$ olsun. Açık ki zaman geçtikçe $\Delta n = n_1 - n_2$ küçülerek sıfıra eşit olacaktır. Amacımız konsantrasyonlar farkının zamana bağlı olarak nasıl değiştiğini belirlemekten ibarettir. dt zaman müddetinde, difüzyon sonucunda birinci kaptan ikinci kaba geçen moleküllerin sayısı $dN = D \frac{dn}{dx} s dt$ olur. Kapları birleştiren boru boyunca

konsantrasyon gradiyentinin sabit kaldığını kabul etsek $\frac{dn}{dx} = \frac{\Delta n}{l}$ yazmak mümkün olur. Bu durumda

$$dN = D \frac{\Delta n}{l} s dt \quad (27)$$

olur. Açık ki, dt zaman süresince birinci kaptan ikinci kaba dN sayıda moleküllerin geçmesi nedeniyle, kaplarda bizi ilgilendiren türdeki moleküllerin konsantrasyonları uygun olarak dn_1' ve dn_2' kadar değişecektir:

$$dn_1' = -\frac{dN}{V_1} ; \quad dn_2' = \frac{dN}{V_2} \quad (28)$$

$$n_1' = n_1 - \frac{dN}{V_1} ; \quad n_2' = n_2 + \frac{dN}{V_2}$$

(28) ifadelerine dayanarak dt zaman müddetinden sonra kaplardaki konsantrasyonlar farkı

$$\Delta n' = n_1' - n_2' = n_1 - n_2 - \left(\frac{1}{V_1} + \frac{1}{V_2}\right) dN \quad (29)$$

ile belirlenebilir. İndirgenmiş hacmi V ile gösterirsek $\frac{1}{V} = \frac{1}{V_1} + \frac{1}{V_2}$ ve (27)'i (29) te dikkate alırsak

$$\Delta n' = \Delta n - D \frac{\Delta n}{l V} s dt \quad (30)$$

buluruz. $\Delta n' - \Delta n$ ifadesi dt zaman müddetinde konsantrasyon farklarının değişmesi olduğundan, onu $d(\Delta n)$ ile gösterelim. Böylece

$$d(\Delta n) = -D \frac{\Delta n}{l V} s dt \quad (31)$$

olur. (31) ifadesi $\frac{d(\Delta n)}{\Delta n} = \frac{D}{l V} s dt$ şeklinde gruplaştırılıp integrali alınırsa

$$\ln \Delta n = -\frac{DS}{lV}t + \text{sabit} \quad (32)$$

elde edilir. (32)'daki integral sabiti başlangıç şartından kolayca bulunabilir. Gerçekten de $t=0$ anındaki konsantrasyonlar farkını Δn_0 ile gösterirsek $\ln \Delta n_0 = \text{sabit}$ bulunur ve bu (32)'da dikkate alınırsa

$$\ln \Delta n = -\frac{DS}{lV}t + \ln \Delta n_0$$

$$\ln \frac{\Delta n}{\Delta n_0} = -\frac{DS}{lV}t, \quad \frac{\Delta n}{\Delta n_0} = \exp\left(-\frac{DS}{lV}t\right) \quad (33)$$

elde edilir. Böylelikle karşımıza konulmuş olan bu olayı çözümledik. Konsantrasyonlar farkının zamanla eksponansiyel olarak azaldığını belirlemiş olduk.

Azalma hızı yalnız karakteristik olan S/lV oranına ve difüzyon katsayısına bağlıdır. S/lV ve D kemiyetleri büyüdükçe konsantrasyonlar farkının azalma hızı da artar.

Açıktır ki, eksponansiyel; birimsiz bir kemiyet olmalıdır. O halde DS/lV kemiyetinin birimi zaman biriminin tersini almalıdır. $\frac{lV}{DS} = \tau$ dersek

$$\Delta n = \Delta n_0 \exp\left(-\frac{t}{\tau}\right) \quad (34)$$

olur. (34)'den görüldüğü gibi $t = \tau$ olduğunda

$$\Delta n = \frac{\Delta n_0}{e} = \frac{\Delta n_0}{2,71}$$

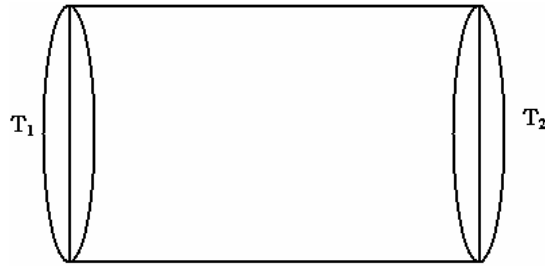
olur; başka bir deyişle, $\tau = \frac{lV}{DS}$ zaman müddeti geçtikten sonra konsantrasyonlar farkı, takriben üç kez azalır. Konsantrasyonlar farkının üç defa azalması, bu farkın pratik olarak sıfıra eşit olması gibi, yani konsantrasyonların pratik olarak eşitlenmesi şeklinde kabul edilebilir. Dolayısıyla, τ dengeden çıkmış sistemin denge haline dönmesi için gereken zaman müddeti olarak anlaşılmalıdır. Sistemin dengeye gelme yeteneğini karakterize eden bu kemiyet (τ) *durulma (relaksasyon) müddeti* olarak tanımlanır. Açıktır ki, durulma müddeti küçük olduğunda sistem kendi başına daha çabuk denge haline gelir.

Durulma müddeti belirgin bir prosesi karakterize eder. Yoğunluğun eşitlenme prosesi, kendi durulma müddeti; sıcaklığın eşitlenme prosesi ise termal müddeti ile karakterize olur. Buna benzer olarak denge halinden çıkarılmış sistemin denge haline gelme süreci, sistemde meydana gelen belirgin bir durulma prosesi ile belirlenir. Bunu daha açık düşünebilmek için polar moleküllerden (dipollerden) ibaret bir gazı göz önüne alalım. Denge de olan bu gazın

dengesini çeşitli yöntemlerle bozabiliriz. (Belli oranda konsantrasyonu kalan gaz kütlelerine nazaran artırma ya da azaltmakla, gaz kütlelerinin bir bölümünü diğer bölümüne nazaran ısıtmak ya da soğutmakla, dış elektrostatik alan dahil edilerek dipollerin karmaşık yönelmesini bozmakla). Dış etki ortadan kaldırıldığında, her üç halde de uygun zaman süreleri geçtikten sonra sistem kendi başına denge haline gelir. Birinci halde konsantrasyon, ikinci halde sıcaklık bütün gaz boyunca eşitlenir, ikinci halde ise dipoller durulmakla düzenli yönelme halinden çeşitli yönlerde özdeş doğrultudan bağımsız yönelme haline, yani denge haline döner. Bu proseslerden her birinin kendine has durulma müddeti vardır. Şunu belirtmek gerekir ki genel halde belirli bir prosesin kendi de, sadece bir durulma müddeti ile değil, durulma müddetleri kümesi, (durulma spektrumları) ile karakterize olunur.

3.7. Termo Difüzyon

Biz difüzyon olayını araştırırken, toplam gaz karışımının her yerinde basınç ve sıcaklığın aynı olduğunu ve bu nedenden dolayı konsantrasyonun eşitlenme prosesinin yalnız difüzyon ile ilgili olduğunu belirttik. Elbette bizde öyle bir düşünce oluşmamalıdır ki, güya difüzyon yalnız konsantrasyon gradiyenti tarafından meydana getirilir. Bu fikri düzeltmek amacı ile gaz karışımından oluşan sistem içinde sıcaklık gradiyenti meydana getirelim. Yatay doğrultuda koyulmuş ve içerisi gaz karışımıyla doldurulmuş silindirik bir kabın sağ ve sol kapaklarını, uygun olarak, sabit T_1 ve T_2 sıcaklıklarında tutsak (3.9), boru boyunca sıcaklık



Şekil 3.9. Termal Difüzyon.

gradiyenti meydana getirmiş oluruz. Karışımı oluşturan moleküllerin kütleleri m_1 ve m_2 olduğunda, bir kural olarak, daha büyük kütleli moleküller kabın soğuk bölgesine, nispeten hafif moleküller ise sıcak bölgesine dağılmaya çalışırlar. Gaz moleküllerinin böyle seçilmesi sonucunda, önceden sıcaklık gradiyenti yokken ki, her iki tür moleküllerin bütün gaz boyunca eşit yoğunluklu dağılımı bozulur. Bu nedenle de sıcaklık gradiyentine aksi yönde

konsantrasyon gradiyenti oluşur. Bu ise sıcaklık gradiyentinin meydana getirdiği akımın zıt yönünde bir difüzyon akımı meydana getirir. Karşılıklı zıt yönlerde meydana gelen bu iki akım sonucunda, boru boyunca hem sıcaklığın hem de konsantrasyonların kararlı dağılımları meydana gelir.

İki tür bileşenlerden oluşan gaz karışımında moleküllerin kütleleri pratik olarak eşit olsa, yarı çapı daha büyük olan bir tür moleküller ise kabın daha sıcak tarafında toplanmaya çalışır. Gaz bir cins moleküllerden oluşsa ya da gaz karışımını meydana getiren çeşitli tür moleküllerin kütle ve yarıçapları pratik olarak eşit olsa, böyle sistemde sıcaklık gradiyenti adına moleküllerin yönlenmiş akımı meydana gelmez.

Hakkında konuşulan olay, oluşturulan sıcaklık gradiyentinin etkisiyle gaz karışımına dahil olan ağır moleküllerin kabın soğuk bölgesine doğru, hafif moleküllerin ise zıt yönde hareket etmesi (difüzyon akımının oluşma prosesi) *termik difüzyon* yahut kısaca *termodifüzyon* olarak tanımlanır.

Termodifüzyonun meydana gelme mekanizması kendi kendine ve karşılıklı difüzyonunkine nazaran daha karmaşıktır. İşte bu sebebe göre de, termodifüzyonun teorik analizi çok karmaşık olduğundan bu olayın geniş açıklaması ile ilgilenmeyeceğiz. Fakat, bazı kayıtlar vermeye ihtiyaç vardır. Termodifüzyon, moleküller arası karşılıklı etki kuvvetleri ile ilgilidir. Böyle bağlılığın nedeni de, moleküller arasında termodifüzyonu meydana getiren çarpışma yoğunluğunun (sık veya seyrek oluşunun) moleküllerin hareket hızına bağlılığı ile belirlenir. Molekülleri, merkezi kuvvet kaynağı gibi düşünürsek onlar arasındaki itme kuvvetinin moleküller arası uzaklığın n . derecesi ile ters orantılı olduğunu söyleyebiliriz.

$$F = \frac{A}{r^n} \quad (35)$$

Burada; A sabit bir kemiyet, r ise moleküllerarası mesafedir. Yapılan hesaplamalar sonucunda belirlenmiştir ki, termodifüzyon ve bu proses sırasında difüzyon akımının yönü n 'nin değerine bağlıdır. Hesaplamalar gösterir ki, $n > 5$ oldukça termodifüzyon biraz önce kaydettiğimiz yönlerde meydana gelir; ağır moleküller sıcaklığı nispeten küçük olan tarafa, hafif moleküller ise sıcaklığı büyük olan tarafa toplanmaya çalışır. $n = 5$ olduğunda termodifüzyon meydana gelmez; $n < 5$ olduğunda ise difüzyon akımlarının yönleri $n > 5$ halindeki aksine olur; ağır moleküller sıcaklığı nispeten küçük olan tarafa toplanmaya çalışır.

Mevcut sıcaklık gradiyenti altında, çeşitli kütleli ve çeşitli boyutlu moleküllerin sıcaklıkları çeşitli olan yerlere toplanması çok ciddi öneme sahip bir teknik olayı, gaz

3.8. Seyreltilmiş Gaz Akımı (Moleküler Akım)

Vakum şartında olan seyreltilmiş gazda, moleküller kendi aralarında değil yalnız kabın duvarları ile çarpıştığından, moleküller arası momentum değişimi olmuyor. Bu nedenle ister özlü akım, isterse de gazın özlülüğü bir anlam taşımaz ve onlardan söz etmeye gerek kalmaz. Demek ki seyreltilmiş gazda iç sürtünme, iç özlülük, bulunmamaktadır. Sanki moleküller kendi tekliklerini korumaktadırlar. Bu nedenle seyreltilmiş gazın akımı *moleküler akım* olarak adlandırılır.

Seyrekleşmiş gaz moleküllerinin akım sırasında birbiri ile çarpışmaması hiç de o demek değildir ki böyle gazın varlığı çevreye etki etmesin. Buna inanmak için, çeşitli hızlarda aynı doğrultuda hareket eden iki düzlem levha arasında, vakum şartında olan seyreltilmiş aynı cins bir gaz yerleştiği kabul edilsin. Gaz molekülleri hayli büyük hızlı levha ile çarpıştıktan sonra bu levhanın hareket hızına uygun momentum elde eder. Sonra, bu molekül epeyce küçük hızlı levha ile çarpışarak momentumunun bir kısmını ona verir ve bu levhanın hareket hızına uygun olan momentumla ondan saçılır. Böylelikle epeyce hızlı levha yavaşlamalı, nisbeten yavaş levha hızlanmalıdır; sanki hızlı levhayı yavaşlatma, yavaş hareket eden levhayı da hızlandırma doğrultularında kuvvetler etki eder. Demek ki aralarında seyrek gaz olan levhalar birbirlerine sürtünme etkisi gösterirler.

Seyrek gazlarda meydana gelen taşıma olayları, yapılan çalışmalarda tamamen açıklanmamıştır. Bu tür gazlarda meydana gelen olaylar merak uyandırdığından onların bazıları üzerinde durmak gerekir.

3.9. Moleküler Efüzyon

Birbirine ince boru ile birleştirilmiş iki kap içinde seyrek gaz olduğunu düşünelim. Vakum şartında olan bu gazlardaki basınçlar birbirinden farklı olsun; $P_1 > P_2$ olsun. Kapları birleştiren borunun çapı, moleküllerin serbest yolları uzunluklarından küçük olsun ki akma sırasında boru içindeki moleküller birbiriyle çarpışmasın. Başka bir deyişle, birleştirici boru içinde de gaz vakum şartında olsun. Birleştirici borunun kesitini S ile gösterelim. Basıncı P_1 olan kapta moleküllerin konsantrasyonu n_1 , basıncı P_2 olan kapta ise n_2 olsun. Açık ki ilk anda $P_1 > P_2$ olduğundan $n_1 > n_2$ olur. Birleştirici boruya yerleştirilmiş K musluğunu (Şekil 6.11) açsak, termal hareketin etkisiyle gaz molekülleri çarpışmadan birinci kaptan ikinciye ve tersine geçeceklerdir. Birim zamanda, borunun kesitinin birim alanından geçen moleküllerin toplam sayısını bulalım

Açıktır ki, bu sayı

$$N = N_{12} - N_{21} \quad (36)$$

dir. Burada N_{12} ve N_{21} uygun olarak birinci kaptan ikinci kaba ve tersine, birim zamanda, birim yüzeyden geçen moleküllerin sayısıdır. Basit düşünceler gösterir ki,

$$N_{12} = n_1 \bar{v} ; N_{21} = n_2 \bar{v} \quad (37)$$

dir. Yapılan hassas hesaplamalar sonucunda belirlenmiştir ki, (37)'deki ifadeler gerçek ifadelerden 4 defa daha büyüktür. Yani,

$$N_{12} = \frac{1}{4} n_1 \bar{v} ; N_{21} = \frac{1}{4} n_2 \bar{v} \quad (38)$$

dir. (38)'i (36)'da yerine yazıp aynı zamanda $n_1 = \frac{P_1}{kT}$ ve $n_2 = \frac{P_2}{kT}$ olduklarını dikkate alarak

$$N = \frac{1}{4} \bar{v} \frac{\Delta P}{kT} \quad (39)$$

olur. Burada $\Delta P = P_1 - P_2$ dir.

Birim yüzeyden, birim zamanda geçen moleküllerin sayısı ve bir molekülün kütlesi (m) bilindiğinde birleştirici borunun kesitinden, birim zamanda geçen moleküllerin toplam sayısı ve gazın kütlesi bulunabilir.

$$N_s = NS = \frac{1}{4} \bar{v} \frac{\Delta P}{kT} S \quad (40)$$

$$M_s = mN_s = \frac{1}{4} m \bar{v} \frac{\Delta P}{kT} S \quad (41)$$

Gazın moleküller kütlesini μ ile gösterirsek $\mu = mN_A$ ve $R = KN_A$ olduğundan,

$$M = \frac{1}{4} \bar{v} \frac{\mu}{RT} S \Delta P \quad (42)$$

Olur.(42) bağıntısı vakum şartında olan seyrek gazın ΔP basınç farkının etkisi ile akması sırasında, birim zamanda geçen gazın kütlesini ifade eder. Belirtmek gerekir ki, bu ΔP basınç farkının etkisi ile aynı zaman süresinde akan sık gazın kütlesi, (42)'da ifade edilen kütleden çok büyüktür.

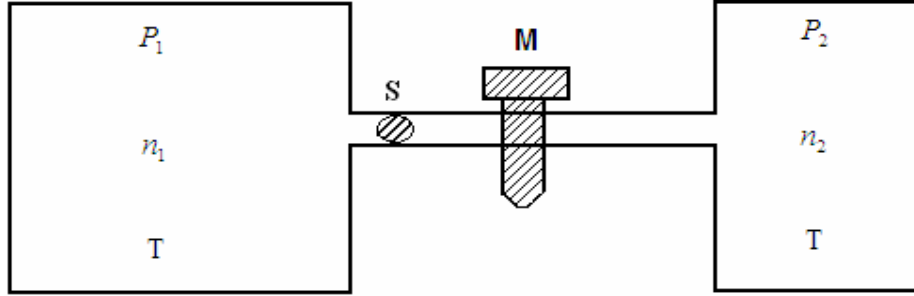
Bilinmelidir ki, olgu yalnız aynı zaman süresinde, aynı basınç farkının etkisi altında akan seyrek ve yoğun gaz kütlelerinin farklılığından değildir. Bu akımlar bir birinden prensipçe farklı olurlar.Seyrek gazın akımı sırasında moleküller birbiri ile çarpışmadan ferdi şekilde hareket eder.Bu nedene göre bu akma oluşumu da moleküler bir oluşumdur.Basınç farkı altında dar borudan *gazın akma* oluşumu efüzyon olarak adlandırıldığından, seyrek gazın böyle akımı *moleküler efüzyon* olarak adlandırılır.

3.10. Isı Efüzyon

Önceki konuda, kaplardaki gazın sıcaklıklarının aynı olduğunu kabul ettik. Şimdi ise, kaplardaki gazların sıcaklıklarının çeşitli olduğunu kabul ederek vakum durumunda olan gazların denge şartını belirlemek gerekir. Denge şartında birleştirici borunun (şekil 1.5) enine kesitinden, her iki doğrultuda, birim zamanda geçen moleküllerin sayısı eşit olmalıdır.

$$n_1 \bar{v}_1 = n_2 \bar{v}_2 \quad (43)$$

Bir daha belirtmek gerekir ki gaz hem kaplarda hem de birleştirici boruda vakum şartında olduğundan, karşılıklı zıt yönlerde hareket eden gaz molekülleri birbirini “hissetmeden” geçer. Açıktır ki, moleküllerin birbirini “hissedip-etmemesi” yalnız onların çarpışmaları aracılığı ile olurdu; çarpışma ise, belirtildiği gibi, vakum şartında olan gaz molekülleri için mümkün değildir.



Şekil 3.11. Isı Efüzyonu.

(43) nolu formüle ait olan parametrelerin basınç ve sıcaklığa belirgin bağılıklarını

($n = \frac{P}{kT}$, $\bar{v} \propto \sqrt{T}$) dikkate alırsak.

$$\frac{P_1}{\sqrt{T_1}} = \frac{P_2}{\sqrt{T_2}} \quad (44)$$

Yazabiliriz. (44), birbiri ile ince boru aracılığı ile birleştirilmiş kapta olan çeşitli basınç ve sıcaklıktaki seyrek gazın denge şartıdır. Kaplar birbiri ile ince boru ile değil, vakum şartı sağlanan gözenekli bir ara kesit ile ayrılırdı da (44) bağıntısı aynı şekilde kalırdı. Bu bağıntıda görüldüğü gibi, çeşitli sıcaklıktaki seyrek gazlar, yalnız farklı basınçlara sahip olduklarında dengede kalabilirler. Bunun tersini söylemekte mümkündür. Farklı basınçlı seyrek gazlar yalnız onların sıcaklıkları farklı olduğunda dengede olabilirler.

Özel hal olarak kaplardaki basınçların aynı olduğu halde onların denge şartını belirleyelim.(44)'den görüldüğü gibi denge şartında $\frac{P}{\sqrt{T}}$ oranı sabit kalmalıdır. Yani sıcaklık büyük olduğu yerde basınçta büyük olmalıdır. Belirginlik için $T_1 > T_2$ kabul edersek, dengenin oluşması $\frac{P}{\sqrt{T_1}}$ oranı öyle büyümeli, $\frac{P}{\sqrt{T_2}}$ oranı ise öyle küçülmelidir ki, İbu oranlar eşitlensin. Bu ise o zaman mümkündür ki, gaz, sıcaklığı küçük olan ikinci kaptan sıcaklığı nisbeten büyük olan birinci kaba aksın ki birinci kaptaki basıncın büyümesi ve ikinci kaptaki $\frac{P}{\sqrt{T}}$ oranı eşitlensin. Seyrek gazlarda bu şekilde meydana gelen olay ısı efüzyonu olarak adlandırılır.

3.11. İzotermik Efüzyon

Şimdiye kadar birbirine ince boru aracılığıyla birleştirilmiş iki kaptaki seyrek gazların hangi prosesleri yaptığını analiz ettik. Çeşitli durumlarda basınç ve sıcaklıkların çeşitli ilişkilerini gözden geçirdik. Fakat bütün durumlarda her iki kaptaki gazların aynı olduğunu kabul ettik. Şimdi ise kaplardaki gazların farklı kütleli (birinde m_1 , diğesinde m_2) olan moleküllerden oluştuğu duruma bakalım. Belirginlik için $m_1 > m_2$ olduğunu kabul edelim. Her iki basınç ve sıcaklığın aynı olduğunu farz edelim. $P_1 = P_2 = P, T_1 = T_2 = T_0$ şartımıza göre $m_1 > m_2$ olduğundan $N_{12} > N_{21}$ olmalıdır. Yani verilen yüzeyden birim zamanda soldan sağa geçen ağır kütleli moleküllerin sayısı sağdan sola geçen oranla hafif kütleli moleküllerin sayısından az olacaktır. Bu olay izotermik efüzyon olarak adlandırılır. Kaplar birbirine ince boru aracılığı ile birleşmeyip vakum şartını sağlayan gözenekli bir ara kesitle ayrılıyorsa da aynı olay gözlemlenirdi; yani, hafif gaz ağır gaza oranla daha şiddetli akım meydana getirmektedir.

Daha genel olan hali, yani kaplardaki gaz moleküllerinin farklı türde olduklarını, aynı zamanda kaplardaki basınç ve sıcaklıkların da farklı oldukları karmaşık hali gözden geçirelim. Açıktır ki zaman geçtikçe birinci tür moleküller ikinci kaba; ikinci tür moleküller ise birinci kaba geçecektir. Bunun sonucunda, her iki kaptaki, her iki tür moleküller olacaktır. Bu karışık moleküller, kaplarda kısmi basınçlar meydana getireceklerdir. Birinci tür moleküllerin birinci ve ikinci kaplarda oluşturduğu kısmi basınçları P_{11} ve P_{12} ile; ikinci tür moleküllerin ikinci ve birinci kaplarda meydana getirdiği kısmi basınçları P_{22} ve P_{21} ile göstereyim. Gaz hem

kaplarda, hem de kaplar arasındaki gözeneklerde (ya da kapları birbirine birleştiren ince boru içinde) vakum şartında olduğundan akım sırasında moleküller, birbirine hiçbir engel oluşturmadan geçerler. Yapılan bu açıklamalar dikkate alınarak birinci tür moleküllerin birinci kaptan ikinciye efüzyon akımı

$$N_{12} = \frac{1}{4} (n_{11} \bar{v}_{11} - n_{12} \bar{v}_{12}) S \quad (45)$$

ile verilebilir. Burada S birleştirici borunun kesiti; n_{11} , n_{12} ve \bar{v}_{11} , \bar{v}_{12} , uygun olarak, birinci ve ikinci kaplarda birinci tür moleküllerin yoğunlukları ve termal hızlarıdır. Yoğunluğun $n = P/KT$ ve $v \propto \sqrt{T/m}$ olduğu dikkate alınırsa

$$N_{12} = C \frac{S}{\sqrt{m_1}} \left(\frac{P_{11}}{\sqrt{T_1}} - \frac{P_{12}}{\sqrt{T_2}} \right) \quad (46)$$

olur. Burada $C = 1/\sqrt{2\pi k}$ sabit bir kemiyettir. Aynı kural ile ikinci tür gazın, ikinci kaptan birinci kaba doğru meydana gelen akımı için de, uygun olarak,

$$N_{21} = C \frac{S}{\sqrt{m_2}} \left(\frac{P_{22}}{\sqrt{T_2}} - \frac{P_{21}}{\sqrt{T_1}} \right) \quad (47)$$

ifadesi yazılabilir. Burada P_{22} ve P_{21} , uygun olarak, ikinci ve birinci kaplarda ikinci tür moleküllerin yarattığı kısmi basınçlardır. (46) ve (47) ifadelerine dayanarak, efüzyon olayını esas alarak, izotopların ayrıştırılması gerçekleştirilebilir. Gerçekten de, farz edelim ki, kaplarda aynı gazın iki izotopunun karışımı seyrekleştirilmiştir. Başlangıçta her iki kapta basınç ve sıcaklıkların aynı olduğunu kabul etsek ($P_{12} = P_{21}, P_{11} = P_{22}, T_1 = T_2$)

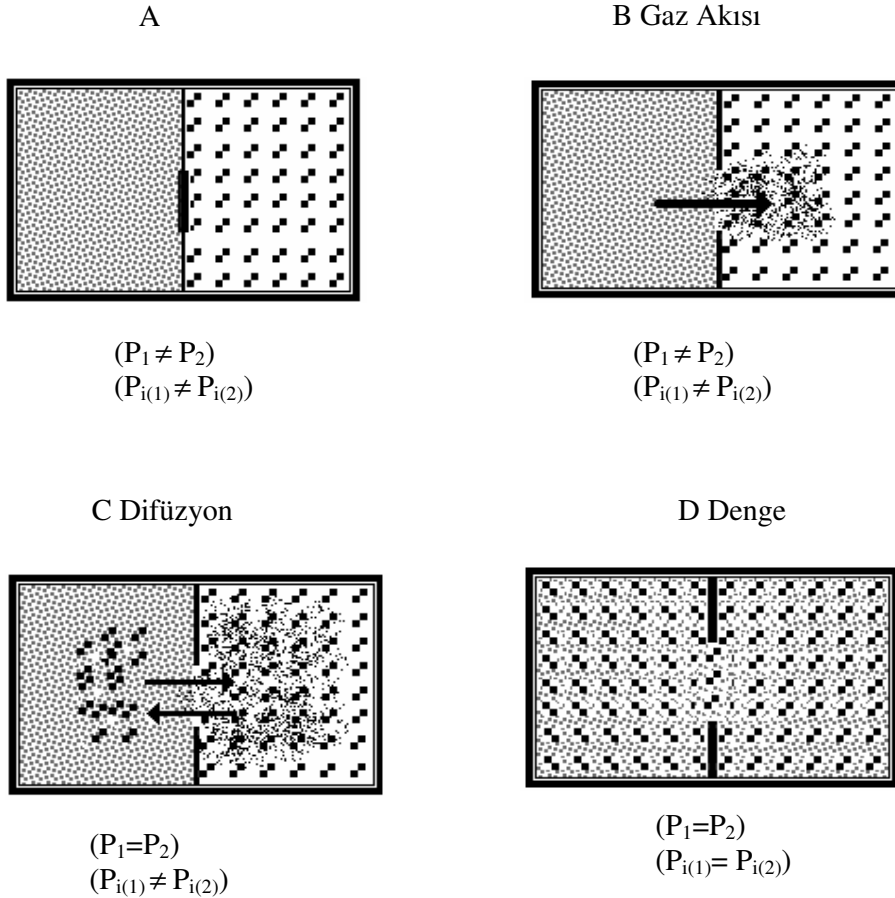
$$\frac{N_{12}}{N_{21}} \sqrt{\frac{m_2}{m_1}} \quad (48)$$

olur. Burada m_1 ve m_2 izotopların kütleleridir. Görüldüğü gibi, gaz moleküllerinin basınç ve sıcaklıkları eşit olunca, akımları kütleleri ile ters orantılı olur ki bu da izotopların karışımdan ayrılmasına neden olur. Olayı pratik çözümlemek için, kaplar arasında çok sayıda, gözenekli arakesit yerleştirmek gerekir. Ancak, gözeneklerin boyutları moleküllerin serbest yollarının ortalama uzunluklarından küçük ($d < \bar{\lambda}_1, d < \bar{\lambda}_2$) olmalıdır ki, vakum şartı bozulmasın.

3.12. Difüzyon ile Solunum arasındaki İlişki

Canlılar oksijeni farklı şekillerde alabilmektedir. Tek hücrelilerde hücre zarından difüzyonla, boyutları küçük canlılarda deriden difüzyonla oksijen sağlanabilmektedir.

Solunumda difüzyon dış solunumun ikinci evresindeki oksijen ve karbondioksit alışveriş süreçleriyle gerçekleşmektedir. Solunan havanın gazları akciğer alveollerinin zarı ile temas edince, gazların değiş-tokuşu difüzyon ile ilgili mutlak fiziksel kanunlara göre meydana geldiği kabul edilir. Böylece söz konusu gaz, bu gazın kendisinin, alveol zarının her iki tarafındaki basınçları arasındaki farka uyarak, bu membran içinden geçer ve kana girer veya tersi yönde hareket eder. Buna bağlı olarak akciğer havasında da bir miktar su buharı bulunduğu gerçeğine dayanarak, bu olay aşağıdaki şekilde şemalandırılabilir.



Şekil 3.12 A. İki bölmeli kabın bölmelerinde farklı toplam basınç ve kısmi basınçlarda gazlar bulunsun. B. Ara kapak açılınca toplam basıncı büyük olandan küçük olana doğru poiseulle yasasına göre gaz akışı olur. C. Toplam basınçlar eşitlenince gaz akışı durur, ancak kısmi basınçlar henüz farklı olduğu için Fick yasasına göre kısmi basınç gradiyentleri etkisinde difüzyon olayları sürer. D. Kısmi basınçlarda eşitlenince denge tam sağlanmış olur.

3.13. Difüzyon ile Küresel Isınma Arasındaki İlişki

Gazların difüzyonu, solunan havadan başlanarak birçok olayda karşılaşılabacak bir olgudur. Şayet doğru yer ve zamanda gerçekleşmezse birçok felaketi de beraberinde getirir. Temiz hava olarak nitelendirilen atmosferin alt katmanını azot, oksijen, karbondioksit ve çok az miktarda diğer gazlardan oluşur. Ayrıca atmosferin üst katmanında birde ozon gazının (O_3) oluşturduğu tabaka vardır. Ozon, güneşten gelen zararlı ışınların çoğunu yansıtır bir kısmını tutarak yeryüzüne ulaşmasını engeller. Evler, işyerleri, sanayi kuruluşları ve otomobillerin çevreye verdikleri gaz atıklar havanın içine difüze ederek bileşimini değiştirir. Havaya karışan zararlı maddelerin başlıcaları kükürt dioksit (SO_3), karbon monoksit (CO), Karbondioksit (CO_2) kurşun bileşikler, karbon partikülleri (duman) v.b kirleticilerdir. Ayrıca deodorant, saç spreyleri ve böcek öldürücülerde kullanılan azot oksitleri, freon gazları ile süpersonik uçaklardan çıkan atıklarda havayı kirletir. Aşırı artan CO_2 , atmosferin üst katmanlarında birikerek ısının, atmosfer dışına çıkmasını engeller. Böylece yeryüzü giderek ısınır. Buda buzların eriyerek denizlerin yükselmesine, kıyıların sularla kaplanmasına ve iklimlerin değişmesine neden olacaktır.

Şimdi küresel ısınmanın tarihçesine bir göz atalım. Lonnie Thompson ve Ohio State Üniversitesi'nden bir ekibe göre, Tanzanya'daki Kilimanjaro Dağı'nın zirvesinde, 11.700 yıl boyunca buzdan bir şapka vardı. Thompson, yıllık kar tabakaları sayesinde, eski iklimlerin kanıtlarına ulaşmaktadır. Bu ekip, 17 Ekim 2002'de *Science* dergisine, tropikal bölgeleri 8.300 yıl önce, 5.200 yıl önce ve 4.000 yıl önce canından bezdirmiş olan felaket derecesindeki kuraklığın sinyallerini bulduklarını yazdı.

Fakat ekip daha da acil bir veri getirdi. Onlar, dağın buzdan şapkasının, 1962'den beri on yedi metre azalmış olduğunu ve 2000 yılından beri de iki metre geri çekilmiş olduğunu hesapladı.

Massachusetts Üniversitesi'nden bir ekip, havaya ilişkin fotoğraflar ve diğer kayıtlar üzerine çalıştı ve 1912 – 2000 arasında Kilimanjaro'nun buz şapkasının yüzde 80 oranında azalmış olduğunu not etti. Buzun, on bin yıldır Kilimanjaro'nun zirvesinde insan yardımı olmaksızın gelip gidiyor olmasından beri, hiç kimse küresel ısınmayla insan etkisi konusunda doğrudan bağlantı kurmayı istemedi. Fakat Dr. Thompson, Kilimanjaro'nun buz alanlarının 15 yıl içinde ortadan yok olabileceği konusunda uyarısını yaptı ve "Geçmişte bu dramatik iklim değişikliğine her ne sebep olduysa, kesinlikle tekrar meydana gelebilir," dedi; "Fakat bugün dünya nüfusunun yüzde 70'i tropik bölgelerde yaşamaktadır. Onlar bu olaydan dramatik bir şekilde etkilenecektir."

Havaya ilişkin çalışmalar, geçen 50 yıl içerisinde, buzul kütlelerinin yaklaşık yüzde 85'i gibi çok geniş parçalarının kaybedildiğini doğruladı.

Artan şehirleşme ve özellikle sanayi ve yerleşim bölgelerinden çıkan sera gazları ile atmosferik çevremiz büyük miktarda kirlenmekte, küresel ölçekte havanın ısınma eğilimi giderek artmaktadır. Bunun sonucunda, küresel ısınma ve iklim değişimi; seller kuraklık, insanların, hayvanların ve tarım kuşaklarının yer değiştirmesi, kutuplardaki buzulların erimesi ve deniz su seviyelerinin yükselmesi gibi dünya üzerindeki canlı yaşamı için tehdit oluşturmaktadır.

Birleşmiş Milletler koruması altında iki bine yakın sayıda bilim insanından oluşan Hkmetler arası İklım Değişimi Paneli (IPCC)'nin 1990'da yayımlanan ilk raporunda, dünya üzerinde yer seviyesindeki hava sıcaklığının gelecek yüzyılda belirgin şekilde artacağı kesin (virtual certainty) olduğu söylenmiştir (New York Times, 16 Nisan 1990). Gerçekten de yaşayıp dikkat edenler veya meteorolojik kayıtlara bakanlar bilir; 90'lı yıllar son 1400 yılın en sıcak yılları olmuştur! Nasıl ki atmosferde belirli bir seviyede bulunan sera gazları sayesinde yeryüzünde yaşayabileceğimiz kadar sıcak havaya sahip olmuşsak; son 100 yıldır havayı kirleterek atmosferin doğal sera etkisini kuvvetlendirmekte havayı ısıtarak yeryüzünü yaşanmayacak bir hale sokmaktayız.

Bu hengmenin ortasında, tropik hastalıklar kuzeye ve güneye yayılacak ve hepimizi tehdit edecek. Ilıman iklimli ülkeler tropik hayatın kötü yanlarıyla baş etmeye çalışırken, ekvatorial komşuları durmaksızın büyüyen bir lle, Güney Afrika'dan Fransa'ya uzanıp dünyayı kuşatan bir kum kuşağıyla uğraşacak.  yüz elli milyon insan kıtlık tehlikesiyle karşı karşıya kalacak.

İnsanoğlunun küresel ısınmaya en büyük katkısı atmosferdeki karbondioksit miktarını artırmasıdır. Atmosfere bu gazları her gün ağırlıklı olarak fosil yakıtların, kömür petrol ve doğal gazların yakılması yoluyla ve bu gazları doğal yollarla soğuran ormanları yok ederek insanoğlu yollar.

Ayrıca sanayide ve evlerde kullanılan gazlar sera gazına dönüşerek difüzyon yoluyla troposferdeki ozon miktarını arttırırken aynı yolla stratosferdeki ozon miktarını azaltır. 1970'li yılların ortalarına doğru kloroflorokarbon (CFC) denilen kimyasal bileşimler difüzyon yoluyla atmosferin st katlarındaki ozon tabakasını parçalamışlardır. Bu gazlar yaygın biçimde aerosol spreylerde sanayide tarım ilaçlarında pşkrtc olarak kullanılmaktadır. Bu gazlar serbest kaldıktan sonra yavaş yavaş atmosferin st katmanlarına yükselirler. Stratosfere geldiklerinde güneşin ultraviyole radyasyonu onları parçalar. Molekül parçalarından bazıları ozonla tepkimeye girer ve böylece ozon miktarını azaltır. Atmosferde ozon miktarın azalması

ozon tabakasının incelmesine neden olur. İlk kez 1958’de dikkatli ölçüm yapılarak atmosferdeki karbondioksit oranı % 0.036 bu birikim her yıl yukarıya doğru tırmanmaya başladı. 2020’ye gelindiğinde bu oranın şimdikininki neredeyse 2 katına çıkacağı tahmin edilmektedir. Difüzyon olayı, atmosferin bileşimini yaklaşık sabit tutar. Çünkü bir gazın normal derecede yüksek derişimi onun yayılmasına ve dağılmasına neden olur.

Atmosfer içinde yer alan kimyasal tepkimelerle sıcaklıktaki değışimleri yansıtan birkaç bölgeye ayrılmıştır. Bu kimyasal reaksiyonlar, güneş ışınları ile oluşur. Yüksek irtifalarda difüzyon olayı çok önemlidir. Ozon tabakasında floroklorokarbonların ciddi bir problem oluşunun diğeri bir nedeni de stratosferin alt katmanlarının daha ılık olması ve bu yüzden karışmanın çok az olmasıdır. Stratosfere difüzlenen kimyasal maddeler orada yıllarca kalabilirler. Yere yakın havada da difüzyon yiyecek, çiçek ve parfümlerin kokusundan sorumlu olan maddelerin dağılmasına yardım eder.

Sonuç olarak bu zararlı gazların difüzyonu neticesinde oluşan küresel ısınma, iklimleri değıştirmekte ve bundan dolayı insanlar, hayvanlar ve bitkiler zarar görmektedir. Ozon tabakasının incelmesiyle güneşin zararlı ışınları yeryüzüne ulaşarak cilt kanseri gibi hastalıklara ve ölümlere neden olmaktadır. Sonuçta biyosferin canlı kitlesini yok etme tehlikesinin olduğu unutulmamalıdır.

Bilindiğı üzere küresel ısınmanın en büyük nedeni gazların difüzyonudur. Dünya sağlık örgütü WHO tarafından 11 Aralık 2003 tarihinde yayınlanan ve BM çevre konferansında sunulan bir kaynakta 1990’lı yılların kayıtlarına en sıcak 10 yıl olarak geçtiğı ve bu ısınma yüzünden 2000 yılında 150.000 insanın öldüğü bildirildi.

4. BULGULAR

Gaz moleküllerinin hareket karakteristiklerinden görüldü ki; çok küçük moleküller, kendilerinden daha büyük bir molekülle karşılaştıklarında esnek çarpışma yaparak saçılırlar. Burada büyük molekül saçıcı bir yüzey gibi davranır. Bu nedenle moleküllerin çarpışmalarını karakterize etmek için saçıcı yüzeyi tesir kesiti şeklinde düşünülebilir. Gaz moleküllerinin sahip oldukları ortalama kinetik enerji sıcaklığa bağlı olarak değişir. Çünkü çok büyük sıcaklıklarda moleküller arası uzaklık azalacağından kesit alanı da küçülecektir.

Moleküllerin çarpışma sayıları hesaplanırken tek bir molekül hareketli diğerleri ise, hareketsiz olarak kabul edilmelidir. Çünkü her bir çarpışmada moleküllerin hem hızları hem de yönleri değiştiğinden hesaplamalar içinden çıkılmaz bir hal alır. Sadece iki molekülün çarpışması hesaplanırsa, birinin hızının diğerinin hızına göre belirlenmesi sonucuna varırız. Bütün bu verileri dikkate alarak ortalama hız yerine moleküllerin bağıl hızlarının ortalama değerleri alınarak hesaplama yapılabileceği gerçeğine ulaşılabilir.

Difüzyon olayında gaz moleküllerinin ortalama serbest yolun hesaplanması, bir silindir içerisindeki çarpışmalara bağlıdır. Çünkü her bir molekülün yolu rasgeledir. Moleküllerin çapı ve gazın yoğunluğu serbest yolu etkiler. Ayrıca sıcaklığın artmasıyla ortalama serbest yolun arttığı gözlemlenmiştir.

Kararlı difüzyon olayında gaz moleküllerin hareketi çok karmaşık olduğundan sadece $+x$ ve $-x$ yönlerinde moleküllerin genel sayısının $1/3$ 'ü hareket edeceği kabul edilir. Bu sayının tamamen geçerli olduğunu düşünmek doğru değildir. Çünkü burada bir çok kabullenişler vardır. Bunlardan bazıları şöyle sıralanabilir;

1. Basınç her yerde sabit kabul edilmiştir. Oysa ki, gerçekte böyle değildir. Fakat basınçlar farklılığından meydana gelebilecek hava akımını da hesaba katmak gerekir.
2. Bütün gaz molekülleri aynı hıza sahip değildirler. Burada işlemlerin sadeleştirilmesi adına bu ihmal yapılarak gazın sahip olduğu sıcaklığa bağlı olarak sanki ısısal hareketinin hızına eşit bir hızla hareket ettiği düşünülmüştür.
3. Gaz molekülleri hem farklı hızlarla hem de çeşitli uzunluktaki serbest yollarla hareket ederler. Difüzyon olayında bu farklılıklar dikkate alınmamıştır. Çünkü difüzyon katsayısının hesaplanmasının oldukça güçleşeceği aşikârdır.
4. Serbest yolun ortalama uzunluğu basınçla ters orantılı; ısısal hareketin hızı ise sıcaklığın karekökü ile doğru orantılı olarak bulunmuştur. Bu gerçekten hareketle kendi kendine

difüzyon katsayısı da basınçla ters, mutlak sıcaklığın kareköküyle doğru orantılı olmalıdır. Ama yapılan deneyler de bunun böyle olmadığı, bazı sapmaların olduğu tespit edilmiştir.

5. Şu ana kadar sistemin aynı cins gazlardan oluştuğu kabul edilmiştir. Diyelim ki iki çeşit molekül göz önünde bulundursun. Bunlar karşılıklı difüzyon gerçekleştirirler. Basıncın tüm gaz boyunca sabit kalacağı kabulüyle her iki gazın da aynı difüzyon katsayısına sahip olduğu ortaya çıkar.

Birbirine boru aracılığıyla bağlı iki kaptaki konsantrasyonları farklı, basınç ve sıcaklıkları eşit gazların zaman geçtikçe meydana gelen konsantrasyonları farkının gitgide küçülerek sıfıra yaklaştığı görülür.

Şu ana kadar sıcaklık ve basıncın eşit kabul edildiği durumlarda difüzyon olgusu üzerinde duruldu. Sıcaklık gradiyenti oluşturulduğunda değişik kütlelere sahip moleküllerin sıcaklık akımının tersi yönde difüzyon akımı meydana getirdiği görülür. Termodifüzyon olayı sayesinde gaz karışımları çeşitli kütleli bileşenlere ayrılabilir.

Efüzyon olayında vakum koşullarında seyreltilen gazlarda momentum değişimi olmadığı için bu gazların iç sürtünmesinden de söz edilemez. Çeşitli sıcaklıklarda seyreltilmiş gazlar, sadece farklı basınçlara sahip olduklarında dengede kalabilirler.

Değişik kütleli, seyreltilmiş gazların izotermik efüzyonunda akım selleri ile kütlelerinin ters orantılı olması, izotopların karışımdan ayrılmasına neden olur.

5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Gaz moleküllerinin sahip oldukları kinetik enerjinin sıcaklığa bağlılığını analiz edildiğinde Maxwell'in moleküllerin hız dağılım fonksiyonu ile paralellik gösterdiği anlaşılmıştır. Çünkü Maxwell dağılımı fonksiyonu da sıcaklığın karekökü ile doğru orantılıdır.

Moleküllerin çarpışma frekansının net olarak hesaplanabilmesi için moleküllerin ortalama hızı yerine mutlaka bağlı hızları göz önüne alınması gerektiği analiz edilmiştir. Ve bu yolla çarpışmalar arasında geçen ortalama serbest zaman da hesaplanabilir.

Difüzyon olayında gaz moleküllerinin ortalama serbest yolu moleküllerin yarıçapına ve konsantrasyonlarına bağlı olarak değişebilmektedir.

Difüzyon katsayısının sıcaklığa bağlılığından bazı sapmalar göstermesinin nedeni sıcaklık arttıkça serbest yolun ortalama uzunluğu da artacak ve sıcaklık derecesi olan q ifadesi ($q > \frac{1}{2}$) biraz daha büyük olacaktır.

Farklı cins moleküllerin difüzyon katsayılarının eşit çıkması, kendi kendine difüzyon olayının, karşılıklı difüzyondan elde edilebileceği görülmektedir.

Konsantrasyonların farkının sıfıra yaklaşması bir anlamda eşitlendiğini gösterir. Bu durumda durulma süresi ne kadar az olursa sistemin kendi başına dengeye gelmesi o kadar hızlı olur.

Sıcaklığa bağlı olarak, difüzyon akımı ile sıcaklık akımı zıt yönlerde oluşmaktadır. Bunun nedeni moleküller arası karşılıklı etki kuvvetlerinin olmasıdır. Moleküller arasında termodifüzyonu oluşturan çarpışma yoğunluğu moleküllerin hareket hızına bağlıdır.

Isı efüzyonun da vakum şartında seyreltilmiş gazda, moleküller kendi aralarında çarpışma yapmayıp sadece bulundukları kabın duvarlarıyla çarpışma yaparlar. Bu yüzden moleküller arasında momentum değiş tokuşu söz konusu olmaz. Ayrıca efüzyon olayında gaz moleküllerinin basınç ve sıcaklıkları eşit olunca, efüzyon akımları, kütleleri ile ters orantılı olur.

Sonuç olarak bu zararlı gazların difüzyonu neticesinde oluşan küresel ısınma, iklimleri değiştirmekte ve bundan dolayı insanlar, hayvanlar ve bitkiler zarar görmektedir. Ozon tabakasının incilmesiyle güneşin zararlı ışınları yeryüzüne ulaşarak cilt kanseri gibi hastalıklara ve ölümlere neden olmaktadır. Sonuçta biyosferin canlı kitlesini yok etme tehlikesinin olduğu unutulmamalıdır.

KAYNAKLAR

- Asımov, I.,2005.***Dün Bugün Yarın***,Güncel Yayıncılık,İstanbul, s:346-350.
- Atta, K.R., Gavril,D., Karaiskakis, G., 2002. *New methodology fort he measurment of diffision coefficients of pur gases into gas mixtures insturmentation Science γ Technology*, 30(1), 67-78.
- Baker, R.,2002. ***Kırılğan Bilim***,Güncel Yayıncılık,İstanbul, s:155-180.
- Demirer G., 2004. ***Küresel ölçekte hava ve çevre kirliliği***, www.tubitak.gov.tr,1-2
- Ejtehadı M, Shahreza V, Hamedanı N., 2000. ***Global results in space of inter monomer interactions for H P lattice model***, J. Chem. Phys.
- Eliyev, G.,1985. ***Tıbbi ve biyolojik fizik***, Bakü, s:173-183.
- Frish, S.E.,Timoreva A.V., 1964. ***Temel Fizik I***, Bakü, s:229-253.
- Granek, R., Nitzam, A., 1990. ***Dynamic bond percalation theory for diffision of interacting particles:Tracer diffision in a binary mixtures lattis gas***, j.Chem. Phys. 93(8).
- Hallidey, D., Resnick R., 1991. ***Fundamentals of physics*** 2d, p:439-442.
- Kadioğlu,M.,2001. ***Bildiğiniz Havaaların Sonu***,Güncel Yayıncılık,İstanbul, s:17-31,353-357.
- Kılıç, E., Köseoğlu, F., Yılmaz H., 1998. ***Moleküler Maddeler ve değişimler***, cilt I, bilim yayıncılık, Ankara, s:163-165.
- Kukoun, A.K., Kukoun U.K., 1976. ***Moleküler fizik***, nauka yayınevi, Moskova, s:131-160.
- Marathe, R.P., Farooq S., Srinivasan M.P., 2005. ***Modeling gas adsorption and transpotion small-pore titanium silicates***, national library of medicine. 10;21(10):4532-46.
- Matveev, A.N., 1987. ***Moleküler fizik***, nauka yayınevi, Moskova, s:320-339.
- Menteş, N.K., Menteş, G., 1976. ***Fizyolojik Kimyaya Bakış***, Ege üniversitesi yayınları, s:285.
- Novakowski, B., Popielawski, J., 1994. ***The kinetic theory of the effect of chemical reaction on diffision of trace gas***, J.Chem Phys., 100(10).
- Pehlivan, F., 1997. ***Biyofizik***, Hacettepe Taş Yayınları, Ankara, s: 8, 251-254.
- Peters, R.M., 1973. The respiratory apparatus In: Engineering principles in physiology II, Newyork akademik pres.
- Radford,T.,2003. ***Sınırlar***,Güncel Yayıncılık,İstanbul, s:79-82.
- Suvuxun, D.N., 1979. ***Temel Fizik (Moleküler fizik)II***, nauka yayınevi, Moskova, s:326-363.

Töpfer, K., 2003. *İklim değışikliğı ve insan hayatı*, www.ntvmsnbc.com, 1.

Tunç, H., 2005. *Sera etkisi*, www.2023.gen.tr/eylul2001/cevre.

ÖZ GEÇMİŞ

1962 yılında Diyarbakır ili Ergani ilçe'sinde doğdu. İlk öğrenimini Diyarbakır'da orta ve lise öğrenimini Mardin' de tamamladı.1980 yılında Dicle Üniversitesi Eğitim fakültesi Fizik bölümünü bitirdi. 1985–1988 yılları arasında Gümüşhane-Şiran lisesinde, 1988–1991 yılları arasında İstanbul Bahçelievler Lisesinde,1991-1998 yılları arasında Siirt Lisesinde Öğretmen olarak görev yaptı. 1998'de Dicle Üniversitesi Siirt Eğitim Fakültesin' de öğretim görevliliği kadrosuna atandı. Halen görevini sürdürmektedir.2004 yılında Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fizik Anabilim dalında Yüksek Lisans öğrenimine başladı. Çalışmalarına halen devam etmektedir.